

2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
SECOND CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

CAVTAT - DUBROVNIK, 17-20.05.2000.

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS



Urednici - Editors:

Igor VLAHOVIĆ & Ranko BIONDIĆ

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

ZAGREB, 2000

2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
SECOND CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

Cavtat - Dubrovnik, 17-20.05.2000.

Organizator - Organized by:

Institut za geološka istraživanja

Suorganizatori - Supported by:

Hrvatsko geološko društvo
Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu
INA d.d. - Zagreb
Hrvatske vode

Pokrovitelj - Sponsorship:

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske

Medijski pokrovitelj - Media sponsorship:

“Večernji list”

ORGANIZACIJSKI ODBOR
ORGANISING COMMITTEE

Božidar **BIONDIĆ**
Predsjednik - President
Đuro **BENČEK**
Dopredsjednik - Vicepresident
Marko **ŠPARICA**
Tajnik - Secretary
Ranko **BIONDIĆ**
Marija **BRAJKOVIĆ**
Ivan **DRAGIČEVIĆ**
Mladen **HVALA**
Darko **IVIČIĆ**
Vladimir **JELASKA**
Krešimir **KRIZMANIĆ**
Marijan **MACHALA**
Željko **MATIŠA**
Željko **MIKLIN**
Davor **PAVELIĆ**
Tomislav **PAVIŠA**
Igor **VLAHOVIĆ**

POČASNI ODBOR
HONORARY COMMITTEE

Stjepan **BAHUN**
Milan **HERAK**
Ivan **JURKOVIĆ**
Velimir **KRANJEC**
Vladimir **MAJER**
Jakob **PAMIĆ**
Branko **SOKAČ**
Stjepan **ŠČAVNIČAR**

ZNANSTVENI ODBOR
SCIENTIFIC COMMITTEE

Ivan **GUŠIĆ**
Predsjednik - President
Károly **BREZSNYÁNSZKY**
Giovanni Battista **CARULLI**
Dragutin **GEREŠ**
Hazim **HRVATOVIĆ**
Werner R. **JANOSCHEK**
Darko **MAYER**
Ladislav **PALINKAŠ**
Simon **PIRC**
Josip **SEČEN**
Slobodan **ŠESTANOVIĆ**
Josip **TIŠLJAR**
Ivo **VELIĆ**
Miran **VESELIĆ**

ISBN 953-96520-7-3

Izdavač - Publisher: Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

Urednici - Editors: Igor **VLAHOVIĆ** & Ranko **BIONDIĆ**

Tisak - Printing: PAGIgraf - Intergrafika, Zagreb

Izdano - Issued: svibanj 2000., 400 primjeraka - May 2000, 400 copies

Ovitak - Cover: Hidrogeološka karta Republike Hrvatske (Institut za geološka istraživanja) - Hydrogeological Map of the Republic of Croatia (Institute of Geology)

**2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
SECOND CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS**

CAVTAT - DUBROVNIK, 17-20.05.2000.

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS



Urednici - Editors:

Igor VLAHOVIĆ & Ranko BIONDIĆ

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology

ZAGREB, 2000

Autori su u potpunosti odgovorni za sadržaj svojih članaka.
The authors are entirely responsible for the contents of their papers.

SADRŽAJ CONTENTS

PLENARNI ČLANCI - PLENARY PAPERS

PALINKAŠ, L.A., PAMIĆ, J. & BERMANEC, V.: Mineralogija, petrologija i znanost o rudnim ležištima u Hrvatskoj, jučer, danas, sutra.....	1
BIONDIĆ, B., MAYER, D., BRAUN, K. & JURAK, V.: Geološko inženjerstvo: stanje i perspektive.....	7
HERNITZ, Z., SEČEN, J., VLAŠIĆ, B. & BOKOR, N.: Naftogeološka istraživanja u Republici Hrvatskoj.....	11

IZDVOJENI ČLANCI - KEY PAPERS

PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V.: Alpinske tektonostratigrafske jedinice Dinarida i njihova geodinamička evolucija (Alpine Tectonostratigraphic Units of the Dinarides and Their Geodynamic Evolution).....	15
CSÁSZÁR, G., HALMAI, J., HRICKO, J., JANOSCHEK, W., KOVÁČIK, M., MATURA, A. & NEMESI, L.: DANREG - Danube Region Environmental Geology Programme as an Example for Cross-Border Cooperation.....	23
MIKO, S., PEH, Z., HALAMIĆ, J., PROHIĆ, E., GALOVIĆ, L. & ŠPARICA, M.: Geokemijsko kartiranje u Hrvatskoj - današnje stanje (Geochemical Mapping in Croatia - State of the Art).....	27
GEREŠ, D.: Upravljanje podzemnim vodama u sklopu vodnoga gospodarstva Republike Hrvatske (Managing of Ground Water Resources in the Framework of Water Management in the Republic of Croatia).....	33
VESELIĆ, M.: Karst Groundwater Protection.....	43
BRAUN, K., NOVOSEL, T. & STOJKOVIĆ, B.: Inženjerskogeološko modeliranje svojstava stijenskih masa za tunel "Sv. Rok" (Engineering Geological Modelling of Rock Mass Properties for the Tunnel "Sv. Rok").....	47
BREZSNYÁNSZKY, K.: Perspectives of Crossborder Activity in Geology Between Croatia and Hungary....	53

GEOLOGIJA - GEOLOGY

ČLANCI - PAPERS

ALJINOVIĆ, D., SLOVENEK, D., DURN, G., SLAVKOVIĆ, R., MIKO, S. & KOLARIĆ, D.: Mineralne pojave u paleozojskim klastitima i donjotrijaskim karbonatima Gorskoga kotara (Hrvatska) (Mineral Occurrences in Palaeozoic Clastic and Lower Triassic Carbonate Rocks in Gorski Kotar (Croatia)).....	59
ALJINOVIĆ, D. & TIŠLJAR, J.: Razvoj karbonatnih i siliciklastičnih facijesa donjega trijasa Gorskoga kotara (Hrvatska) (The Evolution of Lower Triassic Siliciclastic and Carbonate Facies in Gorski Kotar (Croatia)).....	65
ANIČIĆ, B., DOZET, S. & ŽNIDARČIĆ, M.: Correlation of Neogene Beds in Northeastern Slovenia.....	69
AVANIĆ, R., GRGASOVIĆ, T., PAVELIĆ, D., ŠIMUNIĆ, A. & KOVAČIĆ, M.: Litostratigrafske jedinice donjeg trijasa na području Žumberka i Samoborske gore (Lithostratigraphic Units of Early Triassic in the Area of Žumberak and Samobor Mt.).....	71
BAJRAKTAREVIĆ, Z., ČOSOVIĆ, V., VANIČEK, V. & JURAČIĆ, M.: Raznovrsnost bentičkih foraminifernih zajednica s odabраних lokaliteta mljetskih jezera (Diversity of Benthic Foraminiferal Assemblages from Selected Sites in the Mljet Lakes).....	77
BALEN, D.: Compositional Zoning in Minerals from Metamorphic Rocks of the South Tisia in Croatia (Zonalnost u sastavu minerala iz metamorfnih stijena južne Tisije u Hrvatskoj).....	83
BALEN, D., BELAK, M. & BERMANEC, V.: The Chemographic Relations Between Minerals in Olivine Gabbro from Kamenjača, Moslavačka Gora (Northern Croatia) (Kemografski odnosi između minerala u olivinskom gabru Kamenjače, Moslavačka gora (sjeverna Hrvatska)).....	89

BALEN, D., BELAK, M., TIBLJAŠ, D. & TOMAŠIĆ, N.: The Succession of Metamorphic Parageneses in Mineral Assemblage from Marble - Zorovac Creek (Moslavačka Gora, Northern Croatia) (Slijed metamorfnih parageneza u mineralnoj zajednici mramora potoka Zorovac (Moslavačka gora, sjeverna Hrvatska)).....	93
BALEN, D., TIBLJAŠ, D., BELAK, M. & CRNKO, J.: Geochemistry of Amphibolites from the Moslavačka Gora and Slavonian Mountains (Northern Croatia) (Geokemija amfibolita Moslavačke gore i slavonskih planina (sjeverna Hrvatska)).....	97
BARIŠIĆ, D., JANJANIN, L. & CRMARIĆ, R.: Određivanje brzine sedimentacije u Plominskom zaljevu pomoću ¹³⁷ Cs (Determination of Sedimentation Rate in the Plomin Bay Using ¹³⁷ Cs).....	103
BELAK, M., MIKNIĆ, M., KRUK, B., KASTMÜLLER, Ž. & KRUK, Lj.: Bazalt-glinovitovapnenački peperiti: litofacijsni i kronostratigrafski prinos poznavanju vulkanita Budima kod Voćina (Basalt-Clayey Limestone Peperites: Lithofacies and Chronostratigraphic Contribution to the Knowledge of the Volcanites of the Mt. Budim near Voćin).....	109
BENAC, Č., JURAČIĆ, M. & CRMARIĆ, R.: Sedimenti u podmorju Kvarnera (The Sediments in the Submarine Zone of the Kvarner Area).....	115
BOGNER, D., JURAČIĆ, M., UJEVIĆ, I., KLJAKOVIĆ GAŠPIĆ, Z. & BARIĆ, A.: Changes in Holocene Sedimentation near the Cres Island (Holocenske promjene uvjeta sedimentacije u okolici otoka Cresa).....	119
BOROJEVIĆ, S., PALINKAŠ, L.A. & BERMANEC, V.: Fluid Inclusions in Pillow Lavas of Hruškovec, Mt. Kalnik (Fluidne inkluzije u jastučastim lavama Hruškoveca, Kalnička gora).....	123
BRAJKOVIĆ, D. & KRIZMANIĆ, K.: Statistika u palinologiji (Statistics in Palynology).....	127
BRODARIĆ, A., VLAHOVIĆ, T., MILETIĆ, D. & HERNITZ-KUČENJAK, M.: Mikrofosilne zajednice sarmatskih naslaga iz nekih bušotina Panonskog bazena (Microfossil Assemblages of the Sarmatian Sediments from Some Wells in the Pannonian Basin).....	133
CHIKÁN, G.: Tertiary Deposits of Mórágý Hill (Hungary).....	137
DALLA VECCHIA, F., TARLAO, A., TENTOR, M., TUNIS, G. & VENTURINI, S.: First Record of Hauterivian Dinosaur Footprints in Southern Istria (Croatia).....	143
DMITROVIĆ, Z. & TRUTIN, M.: Biostratigrafija eocenskih naslaga u području dubrovačkog primorja (Biostratigraphy of the Eocene Deposits in Dubrovnik Coastal Area).....	151
DOBNIKAR, M., DOLENEC, T., ČINČ-JUHANT, B. & ZUPANČIĆ, N.: Characteristics of the Magmatic Rocks of Karavanke Granitic Belt (Slovenia).....	153
DOLENEC, T.: Some Characteristics of Todorokite from the Jabuka Pit (Central Adriatic).....	157
DOLENEC, T., LOJEN, S. & DOLENEC, M.: The Permian-Triassic Boundary in Western Slovenia (Idrija Valley Section): Th/U Ratio as Evidence of Changing Redox Conditions at the P/Tr Transition.....	159
DOLENEC, T., MEDAKOVIĆ, D. & LOJEN, S.: Environmental Impact on <i>Mytilus galloprovincialis</i> Shells in the Coastal Zone of the Northern Adriatic, Croatia.....	163
DROBNE, K., PUGLIESE, N. & TRUTIN, M.: Correlation of Paleocene Biota of the North Adriatic Karst Area and Hercegovina.....	167
GALOVIĆ, I.: Biostratigrafija naslaga sarmata na osnovi kremičnog fitoplanktona u području Markuševca (Medvednica, Hrvatska) (Biostratigraphy of Sarmatian Beds on the Markuševac Area Based on Siliceous Phytoplankton (Medvednica, Croatia)).....	171
GALOVIĆ, L., HALAMIĆ, J. & BUKOVEC, D.: Geokemijski atlas Medvednice: Prirodna raspodjela elemenata u stream sedimentima (Geochemical Atlas of Medvednica Mt.: Natural Distribution of Elements in Stream Sediments).....	177
GRGASOVIĆ, T., HALAMIĆ, J., GORIČAN, Š., SLOVENEK, D. & KOLAR-JURKOVŠEK, T.: Trijaske dubokovodne naslage odabranih lokaliteta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Triassic Deep-Water Sediments of Selected Localities in Northwestern Croatia).....	181
GRGASOVIĆ, T. & SOKAČ, B.: Fosilne asocijacije dazikladalnih algi u trijasu Hrvatske (Fossil Associations of Dasycladalean Algae in the Triassic of Croatia).....	189

GUŽVICA, G., RADANOVIĆ-GUŽVICA, B. & HUBER, Đ.: Prvi rezultati istraživanja špilje Vinice - novog paleontološkog i paleolitičkog nalazišta (Preliminary Results of Investigation of Vinica Cave - A New Paleontologic and Palaeolithic Site).....	193
HEĆIMOVIĆ, I.: Morfostrukturni sklop Medvednice (Morphostructural Fabric of Medvednica Mt.).....	199
HRVATOVIĆ, H.: Paleozoik Srednjobosanskog škrljavog gorja (Paleozoic of Mid-Bosnian Schist Mountains).....	203
HUSINEC, A. & FUČEK, L.: Biozone s orbitolinidama (Foraminiferida) na otocima Cresu i Lošinj, Hrvatska (Orbitolinid (Foraminiferida) Biozones from the Islands of Cres and Lošinj, Croatia).....	209
IBRAHIMPAŠIĆ, H. & GUŠIĆ, I.: Biostratigraphical Correlation of the Deposits of Southeastern Part of the Krk Island.....	213
IVKOVIĆ, Ž., MATEJ, S. & ŠKOKO, M.: Seizmostratigrafska interpretacija gornjomiocenskih i pliocenskih sedimentata Savske depresije (Seismostratigraphic Interpretation of Upper Miocene and Pliocene Sediments of the Sava Depression).....	219
JAMIČIĆ, D.: Laramijski pokreti u području južnog dijela Panonskog bazena (The Laramian Movements in the Area of Southern Part of the Pannonian Basin).....	223
JUNGWIRTH, E. & ĐEREK, T.: Osobitosti paleoflore lokaliteta Planina (Some Characteristics of Palaeoflora of the Planina Locality).....	225
JURIŠIĆ-POLŠAK, Z., BULIĆ, J. & POSILOVIĆ, H.: Pojava visokospecijaliziranih oblika nekih gastropoda u miocenskim slatkovodnim naslagama Crvenoga Klanca, Sinjsko polje, Hrvatska (The Appearance of Highly-Specialized Gastropods in the Miocene Freshwater Deposits at the Locality of Crveni Klanac, the Polje of Sinj, Croatia).....	231
KALAC, K., MARKOVIĆ, Z. & BARBIĆ, Z.: Stratigrafska istraživanja pliocensko-pleistocenskih naslaga u bušotinama podmorja Jadrana (Stratigraphic Research of the Pliocene-Pleistocene Deposits in the Adriatic Off Shore Wells).....	239
KLEIN, V., ŠPARICA, M. & KRUŠLIN, Ž.: Nove spoznaje o morfotektonskoj građi europskoga kontinenta (New Conceptions of the Morphotectonic Build of the European Continent).....	247
KLEPAČ, K.: Eocenska makrofauna otoka Krka (The Eocene Macrofauna of the Island of Krk).....	255
KNEZ, M.: Lithology, Stratigraphy and Selective Corrosion (Example from Shilin Stone Forest, Yunnan Province, China).....	261
KOCH, G., ALAJBEG, A., ŠPARICA, M. & BERGANT, S.: Palinofacijes, organska geokemija i sedimentologija subrecentnih taloga Morinjskog zaljeva (srednja Dalmacija, Hrvatska) - prinos poznavanju procesa nastanka prekursora kerogena matičnih stijena (Palynofacies, Organic Geochemistry and Sedimentology of Recent Sediments from Morinje Bay (Middle Dalmatia, Croatia) - A Contribution to the Knowledge of Formation Processes of Kerogen Precursor of Source Rocks).....	265
KOŠIR, A., OTONIŠAR, B., DEBELJAK, I. & BUFFETAUT, E.: The Late Cretaceous Vertebrate Fauna of Kozina, SW Slovenia.....	273
KOZUR, H.W.: Northern Origin of the Antalya and Alanya Nappes (Western Taurus, Turkey) and Causes for the End of the Tethyan Faunal Provincialism During the Middle Carnian.....	275
KUDRNOVSKI, D. & BERMANEC, V.: Zinc-rich Phlogopite from Nežilovo - Macedonia (Cinkom-bogati flogopit iz Nežilova - Makedonija).....	283
KURTANJEK, D., BABIĆ, Lj. & ZUPANIĆ, J.: Palaeokarst and Caliche at C/T Boundary on the Island of Brač (Dinarides, Croatia) (Fosilni krš i kalkret na granici K/T na otoku Braču (Dinaridi, Hrvatska)).....	287
KURTANOVIĆ, R.: Osvrt na epigenetske karakteristike polimetalnično-baritnih mineralizacija rudne zone Vareš (Notes on Epigenetic Characteristics of Polymetallic-Barite Mineralization in the Vareš Metallogenic Zone).....	289
LOJEN, S., OGRINC, N., DOLENEC, T., MIHELČIĆ, G. & BRANICA, M.: Decomposition of Sedimentary Organic Matter in the Recent Sediment of Makirina Bay.....	293
LOJEN, S., OGRINC, N., JAČIMOVIĆ, R., JERAN, Z., VREČA, P., DOLENEC, T. & BRANCELJ, A.: Isotope Study of Recent Sediments in Some Slovene Alpine Lakes (Lakes Bled, Krn and Planina pri Jezeru).....	299

LONČARIĆ, N.: Mid Pleistocene History of the Benguela Current, SE Atlantic (ODP Site 1085).....	305
LONČARIĆ, N., AUFFRET, G.A., ABRANTES, F., BAAS, J.H., GASPAR, L. & PUJOL, C.: Late Quaternary Climate, Circulation and Sediment Source Changes in the Bay of Biscay, NE Atlantic.....	307
LUČIĆ, D. & FORŠEK, G.: Palmyride Evolution: Geologic, Stratigraphic and Structural Overview (Central Syria) (Evolucija Palmirida: geološki, stratigrafski i strukturni pregled (središnja Sirija)).....	311
LUGOVIĆ, B.: Postlutetni vulkanski epiklasti na sjevernojadranskim otocima (Hrvatska) (Post-Lutetian Volcanic Epiclasts from the Northern Adriatic Islands (Croatia)).....	317
MIKO, S., PEH, Z., KASTMÜLLER, Ž., SUČIĆ, V., NOVOSSEL-ŠKORIĆ, S. & JURISIĆ-MITROVIĆ, V.: Geochemical Baseline Mapping of Southern Dalmatia: Geogene and Environmental Implications.....	321
MILETIĆ, D. & LUGOVIĆ, B.: Kontrastni ultraalkalijski litoklasti iz pliocenskih naslaga u podmorju Dugootočkog bazena (Hrvatska) (Contrasting Ultraalkali Lithoclasts in Pliocene Sedimentary Rocks from the Depression of Dugi Otok Island, Adriatic Off-shore (Croatia)).....	327
PAMIĆ, J.: Periadriatsko-savsko-varđarska suturna zona (The Periadriatic-Sava-Vardar Suture Zone).....	333
PAVELIĆ, D., AVANIĆ, R. & ZUPANIĆ, J.: Otnangian Lacustrine Sediments on Mt. Medvednica: Facies, Depositional Environments, and Tectonic Controls (Pannonian Basin System, Croatia).....	339
PREMEC FUČEK, V., SOKOLOVIĆ, B. & VLAHOVIĆ, T.: Biostratigrafija i sedimentologija naslaga eggenburga u bušotini Gola-8 (Biostratigraphy and Sedimentology of the Eggenburgian in the Gola-8 Well).....	345
PR LJ-ŠIMIĆ, N., KRIZMANIĆ, K. & SAKAČ, K.: Biometrija i taksonomski status srednjotrijaskih amonita (Ptychitidae) iz okolice Knina, Hrvatska (Biometry and Taxonomical Status of Middle Triassic Ammonoids (Ptychitidae) from Knin Vicinity, Croatia).....	353
RADANOVIĆ-GUŽVICA, B., ŠČAVNIČAR, S. & ZEBEC, V.: Poredbena analiza parametara jedinične ćelije kristala barita različitih tipova habitusa (Comparative Analysis of the Unit Cell Dimensions of Different Habit Type of Barite Crystals).....	361
RAMOVIĆ, E.: Temperature of Homogenization of Fluid Inclusions in Ore Parageneses of Vareš Metallogenic Zone, Central Bosnia.....	367
RAŠKAJ, N., IVANIČEK, Z. & TADEJ, J.: Karakteristike vulkansko-sedimentnih facijesa Dravske potoline na primjerima bušotina Bačkovica-1 i Crna Bara-1 α (Characteristics of the Volcanic-Sedimentary Facies in Bačkovica-1 and Crna Bara-1 α Wells, Drava Depression).....	369
ŠENEL, M., GÖNCOĞLU, Y. & KOZUR, H.W.: Conodont-dated Cambrian Rocks from the Tahtalıdağ Nappe (Antalya Nappes) of the Kemer Area, Western Taurides (Turkey).....	371
SLOVENEK, D. & LUGOVIĆ, B.: Ultramafitne kumulatne stijene ofiolitnog kompleksa Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska) (Ultramafic Cumulate Rocks from the Medvednica Mts. Ophiolite Complex (Northwestern Croatia)).....	379
SONDI, I., JURAČIĆ, M. & MILAT, O.: Sedimentation of Aragonite in the Mljet Lakes (Mljet Island, Adriatic Sea) (Taloženje aragonita u Mljetskim jezerima (otok Mljet, Jadransko more)).....	387
SOUVENT, P., FIORETTI, A.M., BELLINI, G. & DOLENEK, T.: Tourmalines from the Ravne Pegmatite and Metamorphic Country Rock.....	391
STANKOVIĆ, D., VESELI, V. & SLAVKOVIĆ, R.: Pelagični mikriti i kanalna sedimentna tijela u gornjem mastrihtu bušotine Istra More-3 (sjeverni Jadran, Hrvatska) (Pelagic Micrites and Channel Sedimentary Bodies of the Upper Maastrichtian in the Well Istra More-3 (Northern Adriatic, Croatia)).....	397
STOJSAVLJEVIĆ, M.M., MATIĆ, J. & PALINKAŠ, L.: Mogućnost razlikovanja dubine okoliša taloženja gomjojurskih karbonata područja Koreničko Vrelo pomoću sadržaja mangana (Mn) (Possibility of Differentiation of Sedimentary Environment Depth of Upper Jurassic Carbonates of the Koreničko Vrelo Area by Manganese (Mn) Content).....	405
STOJSAVLJEVIĆ, M.M. & OLUIĆ, M.: Prstenaste-kružne i polukružne strukture u geologiji Hrvatske (Ring Structures in Croatian Geology).....	409
STRMIĆ, S., PALINKAŠ, L., JURKOVIĆ, I. & HRVATOVIĆ, H.: The Fluids in Quartz from Central Bosnia.....	415
ŠPARICA, M., BERGANT, S., HAJEK-TADESSE, V. & FUČEK, L.: Geologija područja Morinjskog zaljeva (srednja Dalmacija, Hrvatska) (Geology of Morinje Bay Area (Middle Dalmatia, Croatia)).....	421

TIBLJAŠ, D., LOPARIĆ, V., BALEN, D., BELAK, M., CRNJAKOVIĆ, M. & HALAMIĆ, J.: Geokemijske i mineraloške karakteristike miocenskih vulkanoklastita sjeverozapadne Hrvatske (Geochemical and Mineralogical Characteristics of Miocene Volcaniclastic Rocks from the North-Western Croatia).....	429
TOMLJENOVIĆ, B.: Kinematske značajke srednjomiocenske ekstenzije u području Samoborskog gorja (Middle Miocene Extensional Kinematics at Mt. Samoborsko Gorje).....	433
TRUBELJA, F., MARCHIG, V., BURGATH, K.P. & HÖHNDORF, A.: Initiation of Tethys-Formation: Evidence from Triassic Magmatic Rocks from Bosnia and Herzegovina.....	441
TRUTIN, M., DROBNE, K., DMITROVIĆ, Z., PAVLOVEC, R. & VRANARIČIĆ, D.: Prilog poznavanju stratigrafije starijeg paleogena na području jugoistočne Hercegovine (Bosna i Hercegovina) (Contribution to the Knowledge on Stratigraphy of the Early Paleogene in the Southeastern Area of the Hercegovina (Bosnia and Herzegovina)).....	447
VERBIČ, T., RIŽNAR, I., POLJAK, M., DEMŠAR, M. & TOMAN, M.: Quaternary Sediments of the Krško Basin.....	451
VESELI, V., SLAVKOVIĆ, R. & STANKOVIĆ, D.: Peritajdalni ciklusi oplićavanja naviše tijekom mladeg titona u bušotini Jadran-15/3 (sjeverni Jadran, Hrvatska) (Late Tithonian Peritidal Shallowing-upward Cycles in the Well Jadran-15/3 (Northern Adriatic, Croatia)).....	459
VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & FUČEK, L.: Stratigrafske značajke gornjokrednih naslaga otoka Lokruma (južna Hrvatska) (Stratigraphy of the Upper Cretaceous Deposits of the Lokrum Island (Southern Croatia)).	465
VRBANAC, B., ŠIMON, J. & HERNITZ, Z.: Sjeverna Hrvatska tijekom gornjeg panona - plitkovodni ili dubljovodni taložni bazen? (Northern Croatia During the Upper Pannonian - Shallow or Deepwater Depositional Basin?).....	469
VREČA, P., DOLENEC, T. & ŠPARICA, M.: Evaluation of Metal Pollution in Coastal Sediment from Makirina Bay in the Central Adriatic.....	475
VREČA, P., DOLENEC, T., ŠPARICA, M., PANDŽA, M., LOJEN, S., OGRINC, N. & LAMBAŠA, Ž.: A Stable Isotope Study of Organic Carbon in Makirina Bay (Central Adriatic).....	479
VULAMA, I.: Some Source Rock Localities in Croatia Exploration Area Evaluated on the Basis of the Geochemical and Geophysical Correlation (Neki lokaliteti matičnih stijena istražnog prostora Republike Hrvatske na temelju korelacije geokemijskih i geofizičkih mjerenja).....	483
ZUPAN HAJNA, N.: Some Ideas About the Origin, Diagenesis and Time of Sedimentation of Clastic Sediments from the Karst Surface and Caves Around Divača, SW Slovenia.....	489

SAŽECI - ABSTRACTS

BOGNAR, A. & TOMIĆ, V.: Geološke i geomorfološke značajke zavala polja u kršu Sungera, Mrkoplja i Matić poljane (Geologic and Geomorphologic Features of the Basin of the Polje in Karst of Sunger, Mrkopalj and Matić Poljana).....	495
BUCKOVIĆ, D.: Coarsening-Upward Cycles - Sedimentary Signature of the Sea-Level Changes.....	496
BUCKOVIĆ, D.: Lithostratigraphic Correlation of the Selected Jurassic Carbonate Successions in Western Croatia.....	497
CHIKÁN, G.: Possibilities and Problems in Correlation of Quaternary Sediments of Drava-Basin (Hungary and Croatia).....	498
CIMERMAN, F., OGORELEC, B. & DROBNE, K.: Foraminifere iz fino-zrnatih sedimenata Velikog jezera i sedimenata otvorenog mora na rtu Lenga (Otok Mljet, Jadransko more) (Foraminifera from Fine-Grained Sediments of the Veliko Jezero Lake and from the Open Sea Sediments of the Lenga Cliff (Island of Mljet, Adriatic Sea)).....	499
CVETKO TEŠOVIĆ, B., KOIĆ, M. & GUŠIĆ, I.: Aptian-Albian Stratigraphic Succession: An Example from the Adriatic-Dinaridic Carbonate Platform (Lakovići, West Istria, Croatia).....	500
DROBNE, K., ČOSOVIĆ, V. & HOTTINGER, L.: Oligocene Shallow Benthic Foraminifera from Biševo Island (Croatia) in the Adriatic Sea.....	501
MARTON, E., DROBNE, K. & ČOSOVIĆ, V.: Cretaceous and Tertiary Paleomagnetic Results from Istria and NW Dinarides.....	502

DURN, G., OTTNER, F., TIŠLJAR, J., SCHWAIGHOFER, B., FRÖSCHL, H. & ČOVIĆ, M.: Mineraloški, mikromorfološki i geokemijski pokazatelji pedogenetske prirode glina vezanih na regionalnu emersion u mladem aptu i starijem albu u Istri, Hrvatska (Mineralogical, Micromorphological and Geochemical Indicators of the Pedogenic Nature of Clays Associated with Late Aptian and Early Albian Regional Emersion in Istria, Croatia).....	503
KALINSKI, V. & GUŠIĆ, I.: Albian-Upper Cretaceous Lithostratigraphy of the Area East of the Cres City....	505
KORBAR, T., FUČEK, L. & JELASKA, V.: Rudistne zajednice i taložni okoliši duž rubnog područja između zaštićene platforme i unutarplatformnog bazena u cenomanu otoka Cresa (Rudist Communities and Sedimentary Environments along Shallow-Platform to Intraplatform Basin Transition in the Cenomanian of the Island of Cres (Adriatic Sea, Croatia).....	507
OGORELEC, B. & DOZET, S.: Oolitic Limestone and Dolomite in Mesozoic Beds of Slovenia: Preliminary Report.....	509
PAVLOVIĆ, G., PROHIĆ, E. & TIBLJAŠ, D.: Tekstura, struktura i mineralni sastav sedri sa Zrmanje i Krupe (Structure, Fabric and Mineralogical Composition of Calcareous Tufa from the Zrmanja and Krupa Rivers).....	512

GEOLOŠKO INŽENJERSTVO - GEOLOGICAL ENGINEERING

ČLANCI - PAPERS

BAČANI, A., PERKOVIĆ, D. & CAPAR, A.: Prilog poznavanju vodonosnog sustava nizvodne Podravine (Pitomača-Vukovar) (New Data on Aquifer System in Downstream Part of the Drava River Valley (Pitomača-Vukovar)).....	513
BENAC, Č., ARBANAS, Ž., JURAK, V., KASAPOVIĆ, S., DUJMIĆ, D., JARDAS, B. & PAVLETIĆ, Lj.: Klizište Grohovo - složeno klizanje u dolini Rječine (Landslide Grohovo - Complex Landsliding in the Valley of the Rječina River).....	517
BENAMATIĆ, D., PEŠT, D. & PAVIČIĆ, A.: Doprinos geofizičkih istraživanja pri lociranju gubitaka vode iz bazena Gusić polje (Contribution of Geophysical Exploration in Water Leakage Discovering from the Gusić Polje Reservoir).....	525
BIONDIĆ, B., BIONDIĆ, R. & KAPELJ, S.: Problem utjecaja mora na krške vodonosnike u Hrvatskoj (The Sea Water Influence on Karst Aquifers in Croatia).....	531
BIONDIĆ, D.: Erozijska korita Save kod Zagreba (Erosion of the Sava Riverbed Near Zagreb).....	539
BORTEK, Ž. & PODUNAVAC, B.: Litostratigrafski sastav ležišta Bukova Glava i Vranović tvornice cementa Našicecement d.d. (Lithostratigraphic System of Bukova Glava and Vranović, Cement Factory Beds of Našicecement d.d.).....	545
BRKIĆ, Ž. & LARVA, O.: Hidrogeološki uvjeti aluvijalnog vodonosnika u dolini Orljave (Hydrogeological Conditions of the Alluvial Aquifer in the Orljava Valley).....	549
BULJAN, R., PRELOGOVIĆ, E. & PAVIŠA, T.: Izvorište Ombla (The Spring Area of Ombla).....	555
BUSER, I.: Landslide Stabilisation by a Drainage Tunnel on the Low Radioactive Mill-Tailings Disposal.....	561
ČENČUR CURK, B., PINTAR, M. & VESELIĆ, M.: Macro Scale Experimental Study of Agricultural Pollution in Karst.....	567
ČENČUR CURK, B. & WITTHÜSER, K.: Field Study of Flow and Transport from Soil to Unsaturated Fractured Rock.....	571
DUJMIĆ, D., KASAPOVIĆ, S. & PEŠT, D.: Geofizička istraživanja za projektiranje tunela (Geophysical Investigations for Tunnel Design).....	575
FILIPOVIĆ, N. & ILJAŠ, T.: Geološka interpretacija novih ležišta nafte polja Privlaka (Geological Interpretation of New Oil Reservoirs of the Privlaka Field).....	581
GARAŠIĆ, M.: Speleohidrogeološka istraživanja Crvenog jezera kraj Imotskoga u Dinarskom kršu (Hrvatska) (Speleohydrogeological Research of Crveno jezero (Red Lake) near Imotski in Dinaric Karst Area (Croatia)).....	587

GRGEC, D. & NOVOSEL, T.: Primjena geoelektričnog mjerenja Lund Imaging System tehnikom pri geotehničkim istraživanjima klastičnih naslaga (Application of Geoelectrical Measuring Using Lund Imaging System in Geotechnical Survey of Clastic Layers).....	591
HRABAK, N. & UDJBINAC, Ž.: Nove stratigrafsko-strukturne spoznaje i naftnoplinski potencijal Požeške kotline (New Stratigraphic-Structural Knowledge and Oil/Gas Potential of the Požega Valley).....	597
JURAK, V. & FABIĆ, Z.: Erozijska kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri (Torrential Catchment Raindrop Erosion in the Central Istria).....	603
JURKOVIĆ, I.: Nov koncept sistematizacije primarnih rudnih pojava genetski vezanih za lercolitski pojas ofiolita Dinarida (A New Concept of Systematics of Primary Mineral Ore Deposits Bounded Genetically to the Lherzolite Belt of the Dinarides).....	613
KAPELJ, J., KAPELJ, S. & MARKOVIĆ, T.: Hidrogeološke i hidrogeokemijske značajke podzemnih voda otoka Raba (Hydrogeological and Hydrogeochemical Characteristics of the Groundwaters on the Rab Island).....	621
KOGOVIŠEK, J.: Underground Water Velocities in Slovene Karst (Tracing Experiments).....	629
KOLBAH, S., GRANDIĆ, S., ROMANIĆ-KRISTENSEN, N. & NOVAK, J.: Integralni pristup naftnom istraživanju na slabo istraženim prostorima JZ Save (The Integral Approach to the Oil Exploration in the Frontier SW Sava Area).....	635
KOVAČIĆ, M.: Osvrt na geotermijska istraživanja u Hrvatskoj (Review of Geothermal Exploration in Croatia).....	641
KRANJC, A.: Karst Research in the Last Decade (1990-1999) in Slovenia.....	645
KRSNIK, M. & MRAZ, V.: Pregled rezultata vodoistražnih radova u Krapinsko-zagorskoj županiji (Survey Results of the Water Investigation in Krapinsko-Zagorska District).....	649
KUHTA, M. & NOVOSEL, A.: Hidrogeološka istraživanja vrulja u zaljevu Jurjevske Žrnovnice (Hydrogeological Explorations of the Vruljas in the Jurjevska Žrnovnica Bay).....	653
LEŠKO, J., ŠURIĆ, I. & KADIĆ, M.: Šire područje naftno-plinskog polja Lipovljani - duboki dio (Oil & Gas Field Lipovljani Wider Area - Deeper Part).....	659
LIPOVAC, R.: Sanacija uljnih zagađenja krškog podzemlja u priobalnom području na primjeru INA-Rafinerija nafte Rijeka (Sanitation of Oil Pollution of the Karst Underground at the Coastal Zone: An Example of INA-Rafinery of Rijeka).....	665
LUKŠIĆ, B. & PENCINGER, V.: Izdanci paleocenskih boksita u prebačenim naslagama okolice Metajne na otoku Pagu (Outcrops of Paleocene Bauxites in Overturned Beds on Metajna Area, Island of Pag).....	669
MARINIĆ, B., MALEKOVIĆ, B., ŽIVKOVIĆ, M. & ŠALER, M.: Perspektivno šire područje naftno-plinskog polja Lipovljani, Savska potolina, Hrvatska (Perspective Wider Area of the Gas Oil Field Lipovljani, Sava River Depression, Croatia).....	673
MIHALIĆ, S.: Inženjerskogeološka baza podataka - analiza potreba (Engineering Geological Database - Needs Assessment).....	677
MIKLIN, Ž., MULABDIĆ, M. & TERZIĆ, J.: Određivanje inženjerskogeoloških značajki tla metodom statičke penetracije na primjeru kanala "Dunav-Sava" (Application of the CPTU Method for the Determination of Soil Characteristics: A Case Study on the "Danube-Sava" Canal).....	683
MIKO, S., MESIĆ, S. & PROHIĆ, E.: The Environmental Geochemistry of the Vrana Lake Sediments and Adjacent Soils on Cres Island, Croatia.....	689
MIRKOVIĆ, O. & VUJNOVIĆ, T.: Utjecaj diskontinuiteta na vrijednosti brzina seizmičkih valova (laboratorijska ispitivanja ultrazvukom) (The Influence of Discontinuities on Seismic Wave Velocities (Ultrasonic Laboratory Tests)).....	695
MIRTIĆ, B., KRAJNC, V. & JARC, S.: Influence of the Aging on the Reflectivity of the Limestones.....	701
MITROVIĆ, G., KRSNIK, M. & NOVOSEL, T.: Otkrivanje speleoloških objekata novijim geofizičkim metodama (Detection of Speleological Objects by Newer Geophysical Methods).....	705
MLINAR, Ž. & GALOVIĆ, I.: Kvartarna tektonika u području vijadukta "Drežnik" - Karlovac (Quaternary Tectonics in the Area of the Viaduct "Drežnik" near Karlovac).....	711

MRAZ, V. & KRSNIK, M.: Novi zahvati podzemne vode iz karbonatnog vodonosnika Ivanščice kod Lobora (New Groundwater Extractions from Carbonate Aquifer of the Ivanščica Mountain at Labor).....	717
MUNDA, B. & TRUTIN, M.: Sanacija podzemlja i jezera Vlaška, zagađenog naftnim derivatima u Rogotinu (Remediation of Oil Polluted Environment and Lake Vlaška in Rogotin).....	721
NOVOSEL, T.: Sanacija vodoistražne bušotine glinenom brtvom (voda pod tlakom) (Recovery of the Waterwell by Bento Packer (Artesian Water)).....	727
OPIĆ, I., GRGANIĆ, Z. & ŠEPETAVAC, V.: Hidrogeološki odnosi termomineralnog izvorišta u Lipiku (Hydrogeological Relations of Thermomineral Source in Lipik).....	731
PENCINGER, V., LUKŠIĆ, B., CRNOGAJ, S. & JURIC, A.: Geološka građa i pokazatelji potencijalnosti boksitonosnih struktura Ervenika i Dmiša (Geological Setting and Indicators of Bauxite-Bearing Structures of Ervenik and Dmiš).....	735
POLLAK, D. & NAVRATIL, D.: Inženjerskogeološko istraživanje na trasi Jadranske autoceste (dionica Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica) Engineering-Geological Investigation of the Adriatic Highway (Section: Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica).....	741
POLLAK, Z. & POLLAK, D.: Osnovni kriteriji odabira metode kondicioniranja podzemne vode (Basic Principles in Selection of Ground Water Purification Method).....	749
RENIĆ, A. & PAVIČIĆ, A.: Mogućnosti vodoopskrbe iz slijeva izvora uz istočni obod Kninskoga polja (Water-Supply Possibility from Recharge Areas of Springs Situated along the Eastern Edge of the Kninsko Polje).....	755
ROMANIĆ KRISTENSEN, N., ŠTIGLIĆ, S. & TRENC, N.: The Application of Satellite Images in Hydrocarbon Exploration in Syria (Primjena satelitskih snimaka u naftnogeološkim istraživanjima u Siriji).....	761
ROMIĆ, L. & ŠVEL-CEROVEČKI, S.: Fugitivne emisije prirodnog plina iz izvora emisija u naftnoj industriji i njihov doprinos pojavi učinka staklenika (Fugitive Emissions of Natural Gas from Sources of Emissions in Petroleum Industry and Their Contribution to Greenhouse Effect).....	767
SLIŠKOVIĆ, I., BILOPAVLOVIĆ, V. & TERZIĆ, J.: Hidrogeološke značajke sliva Mostarskog Blata (Hydrogeological Properties of the Mostarsko Blato Catchment Area).....	773
SLIŠKOVIĆ, I. & ZELENKA, M.: Podzemne i površinske vode Parka prirode Blidinje (On Ground and Surface Waters in the Blidinje Park of Nature).....	779
STADLER, H.: Remote Data Transmission for Hydrological Investigations: State-of-the-Art and Further Trends.....	785
STANKOVIĆ, I. & ČULJAK, V.: Stable Carbon Isotopes as the Specific Parameter of Genetic Relationship in Petroleum Geochemistry (Stabilni izotopi ugljika kao specifični faktor genetičke povezanosti u naftnoj geokemiji).....	791
ŠABAN, B., BLAGUS, Z., VULIĆ, Ž. & NOVOSEL, T.: Inženjerskogeološka istraživanja za projektiranje prometnica u kršu (Engineering Geological Investigations for Road Designs in Karst Areas).....	795
ŠESTANOVIĆ, S. & SAKAČ, K.: Inženjerskogeološke značajke brda Marjan (Split, Hrvatska) (Engineering-Geological Characteristics of the Marjan Hill (Split, Croatia)).....	801
ŠTEFANEK, Ž., PAVIČIĆ, A. & IVIČIĆ, D.: Akumulacija Križ Potok: vododrživost akumulacije i otješnjenje pregradnog mjesta (Surface-Water Reservoir Križ Potok: Storage-Water Sustainment and Dam Impermeability).....	807
URUMOVIĆ, K.: Uvjeti prodora morske vode u krški vodonosnik pulskih zdenaca (Conditions of the Seawater Intrusion into Karst Aquifer of the Pola's Wells).....	815
URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B. & DUIĆ, Ž.: Vodonosnici kvartarnih naslaga ilovske depresije (Aquifers of the Quaternary Deposits in the Ilova River Depression).....	821
VLAHOVIĆ, T.: Kemizam voda kao indikator regionalnog kretanja podzemne vode u krškim vodonosnicima: izvor Sv. Ivan, Istra (Chemistry of Water as Indicator of Regional Movement of Groundwater in Karstic Aquifers: the Spring Sv. Ivan, Istria).....	827
WEISSER, M., MARETIĆ, S., VESELINOVIĆ, M., PETOŠIĆ, M. & TRGOVEC-GREIF, N.: Geotermalni kolektori hrvatskog dijela Murske depresije (The Geothermal Reservoirs in Croatian Part of the Mura Depression).....	833

WEISSER, M., ŠUMANOVAC, F. & ŠIKONJA, Ž.: Plinska ležišta polja Bilogora (The Gas Reservoirs on Bilogora Field).....	93
--	----

SAŽECI - ABSTRACTS

DUKARIĆ, F. & BIONDIĆ, R.: Zaštita kakvoće podzemne vode i obalnog mora na primjeru odvodnje autoceste Rijeka-Trst (Groundwater and Coastal Sea Water Quality Protection in the Case of Drainage from the Rijeka-Trieste Highway).....	103
FILIPOVIĆ, N.: Geološki prikaz naftnih polja Slavonsko-Srijemske depresije (Geological Review of Oil Fields of the Slavonija-Srijem Depression).....	109
HERAK, D., HERAK, M. & PRELOGOVIĆ, E.: Ston-Slano Earthquake Sequence of 1996.....	109

SLOBODNE TEME - MISCELLANEOUS

ČLANCI - PAPERS

BRAJKOVIĆ, M.: Zaštita i očuvanje hrvatske geološke baštine (Protection and Conservation of Croatian Geological Heritage).....	119
MARJANAC, Lj. & MARJANAC, T.: Children's Geo-workshops in Geoconservation Programme - New Approach for Better Understanding of Geological Heritage.....	127
ŠEBEČIĆ, B., ŠMIT, Z. & BELUŠIĆ, M.: Prirodno izvorište ugljikovodika kod Mikleuške - potencijalni rudarski spomenik u prirodi (The Natural Source of Hydrocarbons near Mikleuška - Potential Mining Monument in Nature).....	133

Mineralogija, petrologija i znanost o rudnim ležištima u Hrvatskoj, jučer, danas, sutra

Ladislav A. PALINKAŠ¹, Jakob PAMIĆ² & Vladimir BERMANEC¹

Vremenska koincidencija kraja dvadesetog stoljeća, 50-godišnjice osnutka HGD-a te Drugog hrvatskog geološkog kongresa dobra je prilika za reminiscenciju o prošlom i sadašnjem razvoju mineralogije, petrologije i znanosti o rudnim ležištima u našoj zemlji, te njihove moguće buduće putove. Ovaj kratki prigodni prikaz svakako ne pretendira da dá enciklopedijski pregled личности i događanja u razvoju osnovnih geoloških znanosti, već se može shvatiti kao impresija pisana iz perspektive dviju generacija istraživača, starije i srednje, uvjetno rečeno. Mnoga imena će biti izostavljena, a neizbježna subjektivnost neće nauditi osnovnoj namjeni ovog teksta, a to je lični stav autora, neskromno uvjerenih da poznaju "domaću" situaciju i stanje u navedenim disciplinama.

Pisati o razvoju tri srodne discipline, koje se neizbježno isprepliću u svom zajedničkom znanstvenom interesu autora i sadržaja, dovodi do izvjesnog ponavljanja naročito u povijesnom dijelu. Utemeljitelji ovih disciplina djelovali su u širokom znanstvenom spektru, kroz primjenu, za tadašnje vrijeme skromnih analitičkih metoda i znanja, približavajući se renesansnom idealu univerzalnosti. Zbog toga nas ne treba čuditi da su neki osnivači geologije u svijetu i kod nas, Agricola i Ami Boué bili uz sve ostalo i liječnici. Razvoj geologije u prošlim vremenima bio je potican interesima vladara za kontrolom i iskorištavanjem rudnog bogatstva, te je primarni interes ranih istraživača bio u registraciji i opisu rudnih i mineralnih pojava. Zbog preglednosti prikaza odlučili smo se ipak dati odvojene, kraće povijesne opise razvoja i stanja mineralogije, petrologije i znanosti o rudnim ležištima.

MINERALOGIJA (V. Bermanec)

U našoj je tradiciji da na Sveučilištu u Zagrebu imamo vrlo razvijenu mineralogiju. Od najranijih dana imamo vrsne stručnjake i znanstvenike na ovom polju. Svaki od njih boreći se s mnogobrojnim problemima ostavio je traga u našoj mineralogiji. Teško bi bilo pobrojati sve njihove doprinose i u mnogo opširijem pri-

kazu, pa se ovdje možemo osvrnuti samo na one koji su ostavili najdublje tragove u razvoju mineralogije, kao moderne znanstvene discipline i našeg obrazovanja, kojim bez srama možemo razvijati kontakte sa svjetskim mineralozima.

Mogli bismo započeti ovaj kratki pregled, kao što je već postalo uobičajeno da je razvoj mineralogije kod nas počeo s dolaskom **Gjüre Pilara** (1846-1893) u Zagreb za muzejskog pristava 1870., njegovim imenovanjem prvo za dopisnog člana JAZU 1873. ili za redovitog profesora na obnovljenom Sveučilištu u Zagrebu 1875. Međutim potrebno je sjetiti se i da je Gjuro Pilar dolaskom u Zagreb, nakon doktorata u Bruxellesu u Belgiji, zatekao zbirku od preko 1.000 uzoraka raznih minerala u zbirci koju su sakupili amateri! Njihova ljubav prema prirodi, a napose prema mineralogiji ostavlja duboki trag sve do današnjih dana. Prije Gjüre Pilara o toj zbirci su se brinuli **Rakovec**, **Vukotinić** i **Sabljar**. Teško bi danas bilo pobrojati sve one koji su pridodali svoje doprinose rastu ove zbirke.

Međutim svakako treba istaći svestran rad Gjüre Pilara, koji je u svojem kratkom životu zahvatio izuzetno široko poznavanje mnogih prirodnih znanosti, tako da ni mnogi koji su živjeli znatno više nisu mogli ni sanjati o tako značajnom tragu u našoj, ali i svjetskoj znanosti.

Mijo Kišpatic (1851-1926), koji nasljeđuje Pilara, svakako predstavlja jednu izuzetnu pojavu u našoj geoznanosti. Nemjerljiv i danas gotovo neshvatljiv za naše znanstvenike je njegov doprinos modernoj kemijskoj klasifikaciji stijena. On svakako spada u pionire ovakvog pristupa petrologiji u svijetu. Kao vrstan mikroskopičar ostavio je za sobom radove na kojima bi mu i danas pozavidjeli mnogi geolozi i mineralozi, ne samo kod nas nego i u svijetu. Također je ostavio iza sebe prve udžbenike iz mineralogije, petrologije i pedologije na hrvatskom jeziku.

U vrijeme Pilara i Kišpaticića naša mineralogija je svakako na svjetskom glasu, pa tako u Demetrovu ulicu dolaze na školovanje i brojni strani studenti. Među njima posebno se treba prisjetiti bugarskih mineraloga, koji su osnovali danas cijenjeni mineraloški centar u Sofiji (Bončev je diplomirao na našem fakultetu 1893.,

¹ Prirodoslovno-matematički fakultet, Mineraloško-petrografski zavod, Sveučilišta u Zagrebu, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Zrinjski trg 11, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

a Vankov 1894.). Pored svojeg znanstvenog djelovanja Kišpatić je ostavio neizbrisiv trag u popularizaciji znanosti, pa ga još i danas možemo smatrati jednim od naših najuspješnijih popularizatora.

Nakon Kišpatića slijedeći naš značajan mineralog **Fran Tučan** (1878-1954). On je poznat brojnim generacijama, ne samo geologa, po svojim udžbenicima Opće mineralogije i Specijalne mineralogije. Izuzetna je knjiga Specijalna mineralogija, koja se po svojem sadržaju i koncepciji može mjeriti s bilo kojim tadašnjim svjetskim udžbenikom. Još se i danas u jedino u njoj mogu naći podaci o nekim već zaboravljenim nalazištima i starim nazivima minerala.

U znanstvenom pogledu će se dulje od svega pamtiti njegov doprinos izučavanju nastanka zemlje crljenice i boksita. Ova istraživanja se nastavljaju na radove njegovog prethodnika, a nastavlja i njegovu sklonost popularizaciji. Tako se i danas prestižna nagrada za popularizaciju znanosti naziva imenom Frana Tučana. U njegovu vrijeme dolazi do znatnog razvoja naše mineralogije, kao i geologije općenito. Već za njegovog života djeluje više mineraloga od kojih su najznačajniji **Ljudevit Barić** (1902-1984), **Miroslav Tajder** (1909-1983), **Luka Marić** (1899-1980) i **Stjepan Šćavničar** (1923-).

Barić je postao svjetski poznati znanstvenik nakon svoje disertacije, izrađene kod jednog od najpoznatijih svjetskih kristalnih optičara Nikitina, u kojoj je detaljno opisao kristalooptička svojstva kianita i epitaksijski rast kianita i staurolita. Svojom preciznošću i strpljivošću u istraživanju minerala nastojao je zaraziti i brojne studente, koji su slušali njegova dodiplomska ili postdiplomaska predavanja (često i dragovoljno). Zato je ostavio iza sebe nekoliko udžbenika od kojih se neki i danas koriste u nastavi.

Njegov rad se ne završava u fakultetskim predavaonicama i laboratorijima nego se nastavlja i u okviru muzeja, danas Hrvatskog Prirodoslovnog. Kao jedan u nizu njegovih ravnatelja on je prvi koji djeluje odvojeno od funkcije predstojnika Mineraloško petrografskog zavoda - iako je u jednom teškom periodu bio i predstojnik (1942-1945).

Po Ljudevitu Bariću je nazvan i novoopisani mineral *baricit*, pronađen na dalekom sjeveru u području Yukon, Kanada. To je mineral iz grupe vivijanita (još jednog minerala koji je on detaljno obradio).

Tajderovo djelovanje je prvenstveno uočljivo u području petrologije, ali je i on ostavio iza sebe važne udžbenike. U mineralogiji su njegovi najvažniji doprinosi u području minerogeneze.

Marić je također prvenstveno djelovao u okvirima petrologije, a iza sebe je ostavio, već tradicionalno, i važne udžbenike. Po njemu je također dobio ime novoopisani mineral, iz istog područja kao i baričit, *maričit*. To je također mineral iz razreda fosfata (ali bezvodnih).

Možemo reći da moderna mineralogija, u današnjem smislu, počinje sa Stjepanom Šćavničarom. On je u našu mineralogiju uveo rentgenske i termičke metode

ispitivanja minerala. Na žalost nije imao prilike razvijati i eksperimentalnu mineralogiju u kojoj je također dao važan doprinos. Od njegovog znanstvenog rada svakako među najcitatiranije spadaju rane sinteze berila i utočnjavanje kristalne strukture stibnita. Svoj izuzetan osjećaj za instrumente i eksperiment širi ne samo fakultetom nego i po Institutu Rudjer Bošković. Obavljajući čitav niz odgovornih poslova na fakultetu i u društvu nije zapostavio svoje dužnosti nastavnika. U svoja predavanja je unosi sav svoj duh.

Kao što je već i prije spomenuto naši mineralozi su ostavili svoj trag i u svjetskoj mineralogiji. Osim što su se školovali po najznačajnijim ustanovama i što su obrazovali brojne stručnjake i znanstvenike u susjednim i udaljenim zemljama neki od naših vrsnih znanstvenika su i odselili iz Hrvatske pod pritiskom tadašnjih teških ekonomskih i političkih prilika. Među njima možemo se prisjetiti **Rudolfa Klarića**, **Božidara Darka Šturmana** i **Tončija Balića-Žunića**. Svakako je najupečatljiviji trag iza sebe ostavio Šturman, koji je sada već u mirovini, ali je djelovao dugi niz godina u jednoj od najvažnijih mineraloških grupacija u Royal Ontario Museum u Torontu u Kanadi. Pri tome je u zajednici s mnogim velikim imenima današnje mineralogije (sjetimo se samo Joe Mandarina, Pit Dunna, Antony Kempfa...) opisao čitav niz do tada nepoznatih minerala.

Danas je u području mineralogije u Hrvatskoj aktivno petnaestak znanstvenika i stručnjaka, koji nastoje održati korak s istraživanjima u Europi i svijetu. Dužni smo spomenuti **Dragutina Slovenca**, **Nevena Tadeja**, **Vladimira Zebeca**, **Darka Tibljaša**, **Gorana Kniewalda** i **Vladimira Bermanca** koji sa suradnicima otkriva nekoliko novih minerala. U tu svrhu se teško osiguravaju sredstva, ali se naši mineralozi pojavljuju na domaćim, europskim i svjetskim kongresima. Pri tome se zbog kroničnog nedostatka opreme, koja više nije u svjetskom vrhu, kao što je bila na početku svog razvoja u okviru Austro-ugarske monarhije, nužno udružuju povezani zajedničkim interesom. Tako se ostvaruje i značajna suradnja s kolegama iz Slovenije, BiH, Makedonije, Mađarske, Rumunjske, Njemačke, Švicarske, Velike Britanije, Španjolske, Švedske, Rusije. Nadamo se da će se ta suradnja još više intenzivirati, kako u znanstvenom tako i obrazovnom pogledu.

Kao što je napomenuto, gotovo je nemoguće razdvojiti djelovanje naših ranih, pa i kasnijih prethodnika po disciplinama, zbog njihovog mnogostranog znanstvenog interesa u prošlosti. Prikaz razvoja i stanja gledano iz perspektive petrologa slijedi, iako uz neizbježno preklapanje historiografije s prethodnim prikazom.

PETROLOGIJA

(J. Pamić)

Đuro Pilar, otac hrvatske geoznanosti započeo je prvi sistematska petrografska ispitivanja magmatskih i metamorfih stijena iz naših krajeva, premda je neusporodivo više znanstvenih radova objavio iz geološke pro-

blematike. On je, relativno mlad, podigao dva velikana hrvatske geologije - **Dragutina Gorjanović-Krambergera** za geološko usmjerenje, i **Miju Kišpatića** za mineraloško-petrografsko. Taj pionirski trolist hrvatske geologije, upisan je zlatnim slovima u anale naše geoznanosti, a njihov rad prepoznaje, u svom cijelom znanstvenom opusu, i europska geologija, koja se istovremeno rađa i razvija. Hrvatska je geoznanost, to je sasvim sigurno, u svoje pionirsko doba bila dio europske geologije.

Otac hrvatske petrografije **Mijo Kišpatić** (1851-1926) objavio je 188 radova, brojna znanstveno-popularna djela, prve udžbenike iz mineralogije, petrografije i pedologije, mnoštvo seizmoloških radova, no ipak najviše znanstvenih, petroloških, vezanih za različitu problematiku. Dao je temelje poznavanju petrologije kristalinih stijena Medvednice, Slavonije i Moslavine. Lista njegovih metamornih indeks minerala tek se neznatno dopunila u najnovije doba. Također je objavio radove o vulkanskim stijenama iz Hrvatske i Bosne u kojima se pojavljuju i prve kemijske analize. No njegovo najveće znanstveno djelo odnosi se na ofiolitne komplekse Bosne i sjeverozapadne Hrvatske. Već tada, 1897. godine, uočava da dominantne ultramafitne stijene imaju metamorfni sklop, koji se manifestira u "vrstanju" (folijaciji). Za tadašnje vrijeme, kada nisu postajali pojmovi poput gornjeg plašta, astenosfere i dr., zaključuje proročanski, da su to prvotne, iskonske stijene (u smislu postanka Zemlje), koje potječu iz duboke unutrašnjosti njezine. Premda je njegovo kapitalno djelo o ofiolitima objavljeno na njemačkom u Beču, njegove originalne genetske ideje ne nailaze odjeka u tadašnjoj europskoj petrologiji. Međutim, one se aktualiziraju tek mnogo kasnije s pojavom ideja o tektonici ploča, i to uglavnom u našim, a manje u inozemnim petrološkim radovima. Njegov nasljednik **Fran Tučan** (1878-1954) započeo je svoje znanstveno djelo na petrografskoj problematici (pegmatiti Moslavačke gore). On je objavio 207 bibliografskih jedinki među kojima je relativno malo petroloških radova, a više mineraloških, te naročito popularizatorskih. Posebno su mu značajni radovi iz problematike terra rosse i boksita, a prvi u nas uvodi i geokemijski pristup, objavljujući rad o geokemiji karbonatnih stijena iz našeg krša. Vrlo su mu značajni naši prvi sveučilišni udžbenici iz opće i specijalne mineralogije. Zajedno sa svojim suradnicima započinje intenzivna petrografska istraživanja u Makedoniji.

Njegov nasljednik **Luka Marić** (1899-1980), počinje svoja petrološka istraživanja 1928. na jablaničkom gabru. Specijalizirao je i radio kod čuvenog francuskog petrologa Lacroixa, tako da je u taj rad, po prvi puta u nas, uveo obilje petrokemijskih podataka. Među njegovih 111 objavljenih radova najčešći su oni petrološkog karaktera o magmatskim stijenama iz Hrvatske, Bosne, Srbije i Makedonije. Zadnjih desetak godina svoju je aktivnost posvetio boksitima i terra rossi. Prvi je u nas objavio sveučilišne udžbenike iz teoretske i sistematske petrografije.

Tučanov nasljednik je i **Ljudevit Barić** (1902-1984), koji je objavio 174 rada; najvećim su dijelom mineraloški, tako da on predstavlja našeg prvog mineraloga. Od malog broja petroloških radova ističu se oni o kontaktolitima Moslavačke gore i trijaskim vulkanitima Dalmacije. Vrlo je značajna njegova suradnja s Nikitinom iz Ljubljane kroz koju je uveo u hrvatsku petrografiju Fedorovu teodolitnu metodu, koja se na PMF-u počela predavati ranih pedesetih godina. Vrlo je značajan njegov udžbenik, u koautorstvu s Tajderom, o mikro-fiziografiji petrogenih minerala.

Miroslav Tajder (1909-1983), premda je objavio manji broj radova od svojih suvremenika (56), u svakom slučaju također predstavlja "kamen međaš" hrvatske petrologije. On je uveo Bowenova dostignuća eksperimentalne petrologije, i na taj način utemeljio moderni pristup kristalizaciji magme. Napisao je (1964) naš prvi udžbenik iz petrogeneze kao autorizirana skripta, a zajedno s Herakom petrografiju i geologiju koja je doživjela nekoliko izdanja. Među znanstvenim radovima se ističe disertacija o gabrima Dren Boule i vulkanskim stijenama iz Makedonije, te vulkanitima i metamorfita iz Slavonskih planina. Značajan je doprinos dao hrvatskoj petrologiji jer je inaugurirao nekoliko uspješnih i plodotvornih doktora znanosti, koji su u odvojenim znanstvenim sredinama razvijali modernu petrologiju.

Svi naši dosad navedeni petrolozi, svoj znanstveni rad su posvetili gotovo isključivo, uz rijetke pojedinačne izuzetke, studiju magmatskih i metamornih stijena naših terena. U toj prvoj fazi razvoja hrvatske petrologije analitički podaci su temeljeni na mikroskopskim određivanjima, uključujući teodolitnu metodu, te na kemijskom određivanju makroelemenata, prema uobičajenim standardima tadašnje europske petrologije.

Nova generacija petrologa uključuje **Mihovila Vragovića**, koji je svoj najopsežniji rad u disertaciji posvetio magmatima i metamorfita Slavonskih planina. U zajednici s **Ljubom Golubom** objavljuje i detaljnija istraživanja trijaskih magmatita jadranskih otoka Jabuke i Visa. Lj. Golub pak svoju najdetaljniju studiju posvećuje bazitima i ultrabazitima Kozare.

Početak šezdesetih godina nastupa druga faza razvoja, kada dolazi do diferenciranja petrografije i odvajanja sedimentne petrografije. Premda se ta diferencijacija u razvijenim zemljama odigrala nešto ranije, hrvatska petrografija ipak uspješno prati nove trendove. I doajeni naše petrografije, obraćali su pažnju, doduše rijetko, na sedimentne stijene, primjerice, Tučan, a kasnije i Marić, na crvenicu i boksite, pa čak i na geokemiju dolomita i vapnenca. No sistematska sedimentno-petrografska ispitivanja nisu se obavljala u toj prvoj fazi razvoja hrvatske petrografije.

Kamen-međaš u hrvatskoj sedimentnoj petrografiji, to je posve izvjesno, postavila je **Biserka Šćavničar**. Ona već samim početkom šezdesetih objavljuje, sama ili u koautorstvu, prve radove iz sedimentne petrografije, a samo nekoliko godina kasnije počinje, prva u nas,

predavati sedimentnu petrografiju na poslijediplomskom studiju. **Jožica Zupanić** svojim radovima o Promina naslagama, prati razvitak sedimentne petrografije, koju ujedno predaje kao prvi profesor na dodiplomskom studiju PMF-a. Nekoliko godina kasnije **Josip Tišljar** započinje predavati sedimentnu petrografiju na RGN-u. On je ujedno autor našeg prvog sveučilišnog udžbenika iz sedimentne petrografije.

Prosto je nevjerojatno kako se eksplozivno u nas razvijala sedimentna petrografija u narednih dvadesetak godina. Može se pretpostaviti da su poticaj izazvala intenzivna naftno-geološka istraživanja, a vjerojatno je to pospješila i činjenica da se na dva fakulteta predaju predmeti iz domena sedimentne petrografije. Taj trend se nastavlja sve do današnjeg dana, i u posljednje vrijeme, to je posve sigurno, sedimentna petrografija je potisnula znatno današnju petrologiju magmatita i metamorfita, što se naročito očituje u broju obranjenih magisterija i doktorata.

Pored troje navedenih istraživača, utemeljitelja moderne sedimentne petrografije, ističe se još desetak plodnih istraživača, također zaslužnih za njezin razvoj. To su, poredani abecednim redom, **Marta Crnjaković**, **Zlata Magdalenić**, **Rozalija Mutić**, **Berislav Šebečić**, **Alka Šimunić**, a među mladima **Dunja Aljinović** i **Igor Vlahović**. Kao posebnu granu sedimentne petrografije smatramo pedološku petrografiju, a njezin mladi osnivač u nas je **Goran Durn**.

Treće razdoblje u razvoju hrvatske petrologije, započinje u vrijeme "zlatnog doba svjetske geologije", tj. pojavljivanjem modernih geodinamskih ideja, odnosno tektonike ploča, početkom sedamdesetih godina. Naime, radanje te nove geotektonske teorije bilo je temeljeno na novim, bogatim i raznovrsnim analitičkim podacima: geofizičkim, oceanografskim, marinsko-geološkim, geokronološkim, eksperimentalno-petrološkim, ali i na sofisticiranoj mineraloško-geokemijsko-petrološkoj faktografiji. Stiglo je novo doba, u kojem mikroskop i silikatna analiza glavnih elemenata, koliko god su važne, postaju nedovoljne za rješavanje složenih petroloških problema. Uvode se moderne i sofisticirane metode, odnosno nova, ali i skupa, "laboratorijska mašinerija" koja služi za određivanje faznog kemijskog sastava (mikrosonda), sadržaj elemenata u tragovima, uključujući rijetke zemlje (NAA, ICP, ICP-MS, AAS plamena i bezplamena), stabilnih i radiogenih izotopa (masena spektrometrija), za uspješno i egzaktno određivanje složenih petrogenih problema.

U toj novoj, bitno izmjenjenoj situaciji, hrvatska petrologija gubi korak s europskom i svjetskom geoznanošću, koju je nesumnjivo pratila u prve dvije razvojne faze. Ne uspijeva se nabaviti adekvatni instrumentarij, tako da je ova treća faza sučeljena s izrazitim zaostajanjem. Intenzivno prodiranje geokemije u sve pore suvremene petrologije sprečava naše uključivanje u međunarodnu cirkulaciju. Međutim, apsurdno je da i u toj financijsko-organizacijskoj krizi hrvatska petrologija nalazi snage za držanje kakvog-takvog priključka. Nai-

me, stariji istraživači s međunarodnom reputacijom, održavaju suradnju s odgovarajućim dobro opremljenim laboratorijima u Europi i SAD-u. **Vladimir Majer** održava kontakte s njemačkim znanstvenim institucijama, te u suradnju uključuje **Boška Lugovića** i **Vesnicu Garašić**, koja uspješno brani disertaciju na geobarometriji ksenolita iz Vanjskog plašta u Istočno-afričkom riftu. Suradnju s inozemnim suradnicima uspostavlja u manjem opsegu i **IGI (Josip Halamić i Mirko Belak)**. Ista organizacija je realizirala dva petogodišnja kooperacijska ugovora s USGS iz SAD-a, kao i s Atomskim institutom Mađarske, u Debrecinu (voditelj **Jakob Pamić**). Pored toga, pojedinci se "snalaze", naročito mladi istraživači, prikupljajući analitičke podatke kroz osobne znanstvene kontakte ili korištenjem usluga relativno jeftinih, komercijalnih, geokemijskih laboratorija u Kanadi. S takvim pristupom hrvatska petrologija čini uspješne prodore u modernu interpretaciju geokemijskih podataka. Urađena su prva sistematska određivanja izotopne starosti na preko 100 uzoraka stijena i minerala, objavljeno je nekoliko stotina mikroskopskih analiza i izvršena su određivanja elemenata u tragovima na preko 100 uzoraka. Važnu ulogu u interpretacijama zauzimaju rijetke zemlje, a što je naročito značajno na velikom broju reprezentativnih uzoraka iz različitih formacija određeni su izotopni sastavi Sr, Nd, Pb, i O.

Vladimir Majer i **Boško Lugović** u kooperaciji s njemačkim kolegama, a **Jakob Pamić** u suradnji s američkim suradnicima, te s **Ladislavom Palinkašom**, **Mirkom Belakom** i **Draženom Balenom**, uspjevaju s tako dokumentiranim radovima objavljivati u vodećim zapadnim časopisima (*Journal of Petrology*, *Contribution to Mineralogy and Petrology*, *Mineralogy and Petrology* i dr.). Budući da se radi o još živućim petrolozima, njihov znanstveni opus, kao ni značaj u razvoju petrologije, za sada nećemo komentirati niti pridjevati epitete kao što je "kamen-međaš".

ZNANOST O RUDNIM LEŽIŠTIMA ILI RUDNA PETROLOGIJA

(L. Palinkaš)

Govoriti odvojeno o mineralogiji, petrologiji i znanosti o rudnim ležištima je gotovo nemoguće. Rani mineralozi bili su i petrolozi i poznavatelji ruda, pa prikaz o razvoju ove treće discipline, nakon prethodna dva poglavlja, može započeti s djelovanjem istraživača čiji rad je gotovo isključivo vezan sa studijom rudnih ležišta. Luka Marić u svojoj knjizi "Minerali, stijene i rudna ležišta u našoj zemlji od prehistorije do danas" dijeli, posve opravdano, razvoj petrologije na predmikroskopsko i mikroskopsko doba. Otkriće polarizacijskog mikroskopa je revolucioniralo petrološka istraživanja. Isto to se može tvrditi i za uvođenje rudnog ili metalurškog mikroskopa u rudnoj petrologiji. Istinsko istraživanje rudnih ležišta započinje s pojavom **Ivana Jurkovića**, mladog asistenta, diplomanda na dva fakultetska smjera, geologiji i kemiji, idealnoj kombinaciji za razumije-

vanje geneze rudnih i mineralnih pojava. Kao pratnja svoga profesora Marića, u predratnim godinama posjećuje i istražuje rudne pojave Srednjobosanskog rudogorja, mjesta kojem će se vraćati u svojoj disertaciji, pa i u svom poznom znanstvenom djelovanju do dana današnjeg. Ratne godine neprirodno kočće ovog vrsnog istraživača da se posveti svom prvom interesu, tetraedritskim ležištima središnje Bosne. Stjecajem okolnosti, zarobljavanje njemačkog vrhunskog stručnjaka za rudna ležišta **Arnolda Cissarza** u Beogradu, i visok položaj **I. Jurkovića** kao Glavnog geologa za područje bivše Jugoslavije, omogućuju mu izvanredan pregled svih raspoloživih rudnih ležišta i pojava, a na mnogima od njih intenzivno istražuje. Rudna mikroskopija i geosinklinalni metalogenetski pristup Cissarza u zajednici s dobrim temeljnim mineraloško-petrološkim znanjem stečenim na Sveučilištu u Zagrebu, te neiscrpan radna energija, po kojoj je nadaleko poznat, rezultiraju brojnim vrhunskim znanstvenim radovima, na svjetskom nivou. Njegov razvoj, nakon specijalizacije kod **Ramdohra** u Heidelbergu, je u stalnom usponu, pa ubrzo postaje međunarodno poznat kroz rad na projektima Ujedinjenih nacija u Sjevernoj Africi, Jugoistočnoj Aziji, Centralnoj Africi i Južnoj Americi. Treba svakako napomenuti njegovu važnu ulogu u obrazovnom procesu na studiju geologije, gdje slovi kao najbolji predavač, čija nadahnuti predavanja motiviraju mnoge naraštaje geologa da zavole punim srcem znanost, opterećenu memoriranjem silnog broja nazivlja i podataka, a može se reći i nastavnika, neumješnih da savladaju taj problem u nastavnim procesima. Njegov rad, nakon prekida od desetak godina, zbog bavljenja društveno-političkom aktivnošću, nastavlja se odlaskom u mirovinu, usvajanjem novih dostignuća globalne tektonike, izotopne geologije, studija fluidnih inkluzija, u metalogenetskoj studiji Dinarida.

Uz **I. Jurkovića** stasao je velik broj geologa rudištaraca, a poznatiji od njih su **Dean Bošković**, **Karlo Braun** i **Josip Crnički**, koji uspješno istražuju mineralne sirovine u zemlji i inozemstvu, radom na fakultetu i drugim geološkim institucijama ili stranim kompanijama.

Kao zasebnu, samozatajnu i skromnu znanstvenu ličnost moramo spomenuti **Borisa Šinkovca**, đaka beogradske geološke škole, koji je cijeli svoj radni vijek posvetio ležištima u Hrvatskoj. Uz vrsno poznavanje metalnih ležišta, što se prepoznaje u odličnom, original-

nom radu o genezi Samoborskog vulkanogeno-sedimentnog ležišta, svoj glavni opus posvetio je ležištima boksita u Dinaridima. Boksiti Dinarida postaju poznati kroz njegove radove i u svijetu, pa je uz **Pamića** vjerojatno najcitiraniji autor u našem okružju.

U IGI-u djeluje **Eugen Krkalo** sa suradnicima, uspješno istražujući metalne i nemetalne sirovine Slavonije.

Zaostajanje razvoja petrologije zbog slabe materijalne baze i istraživačke tehnologije prisutno je i u znanosti o rudnim ležištima. Ova treća faza razvoja, karakterizirana je dostignućima globalne tektonike, što bitno utječe na metalogenetski način razmišljanja. Masovno uvođenje geokemije, s razvojem modernih analitičkih metoda, te izotopne geologije, za sada je nepremostiva prepreka u bržem uključivanju naše znanosti u svjetske tokove. Izvjesni pomaci učinjeni su uvođenjem studija fluidnih inkluzija, čije se značenje za studij rudnih ležišta može usporediti s uvođenjem rendgenske difrakcije u mineralogiji (**Ladislav Palinkaš**), te upotrebom stabilnih i radiogenih izotopa, S,O,Pb-zajedničko olovo, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, K/Ar, (**Dubravko Šiftar**, **L. Palinkaš**, **I. Jurković**).

Odnos prema fundamentalnim istraživanjima u društvu je nezadovoljavajući, što se nadalje zrcali u zaostajanju naše geoznanosti za svjetskim dostignućima. Razvoj znanosti o rudnim ležištima u zemljama gdje je trenutno zamrla rudarska aktivnost treba gledati u drugom svjetlu, neopterećenom materijalnim aspektima **ekonomske geologije**. **Stanton** je nazvao svoju dobro poznatu knjigu "Rudna petrologija" (*Ore Petrology*), uvođći termin koji bolje opisuje naziv predmeta što se do današnjih dana nije skrasio sa stalnim imenom, pa luta od Znanosti o rudnim ležištima, Ekonomske geologije, Geologije rudnih ležišta i sl. Rudno tijelo je posebna, rijetka vrsta stijene, jedinstvenih geokemijskih osobina, koja nosi karakteristične znake svoje geneze, temperature, pritiska, vrijeme postanka i dr. Ti podaci su skriveni u njenom mineralnom, geološkom, geokemijskom i izotopnom sastavu i predstavljaju dragocjenost u interpretaciji evolucije nekog terena, jednako vrijedno kao provodni fosili, markirajući stratigrafski horizonti, tektonske strukture, petrološke asocijacije stijena i sl. Zato ih treba i dalje studirati kao posebnu **rudnu petrologiju**, važan dio opće petrologije. Mladi naraštaj našeg Sveučilišta djeluje uporno u tom smjeru.



Geološko inženjerstvo: stanje i perspektive

Božidar BIONDIĆ¹, Darko MAYER², Karlo BRAUN¹ & Vladimir JURAK²

Geološko inženjerstvo je relativno novi termin, koji se u Hrvatskoj koristi umjesto naziva "primjenjena geologija", ali ima i znatno veću širinu, jer osim hidrogeološke i inženjerske geologije obuhvaća i mineralne sirovine i naftnu geologiju, koji zasigurno pripadaju geološkom inženjerstvu. U Europi se u posljednje vrijeme vode brojne diskusije o znanosti i njenoj ulozi u tehnološkom napretku na svim područjima ljudske djelatnosti. Citirat ćemo riječi jednog visokog dužnosnika Europske Unije, koji je nakon slušanja dugotrajnih diskusija o daljnjem razvitku znanosti zaključio "dobio sam dojam da postoje dvije vrste znanosti - jedna koja je u primjeni i druga koja to još nije". Ta rečenica najbolje oslikava svjetske trendove u znanstvenom okruženju, a to znači što brži protok rezultata istraživanja od pojedinačnog znanstvenika preko institucija prema razvojnim programima. Jasno je da pri tome treba riješiti pitanja autorskih prava i vlasništva, što nije baš tako jednostavan problem. Treba naglasiti da su u današnjim uvjetima razvitka svih područja ljudske djelatnosti znanstveni rezultati kao "voće", koje ako ne plasiraš na vrijeme svakodnevno gubi svoju vrijednost. Već smo na Prvom hrvatskom geološkom kongresu koristili termin "geologija u primjeni", koji je primjeren trendu znanosti u svijetu, ali opća primjena geologije i protok znanstvenih rezultata u Hrvatskoj u odnosu na tadašnje stanje nisu pokazali veći napredak. U najvećem je to dijelu nedostatak znanstvenog managementa, koji kao opće prihvatljiv pojam u svijetu, još nije prihvaćen u hrvatskim znanstvenim krugovima.

Ovo izvješće usmjereno je samo na dio vrlo aktivnog inženjerskog djelovanja na području geologije, a to su hidrogeologija i inženjerska geologija. I jedna i druga geološka disciplina proučavaju s jedne strane podzemne vode, glavni izvor pitke vode u Hrvatskoj, a s druge strane inženjerskogeološka svojstva stijena, erozijske procese i cijeli niz drugih procesa aktualnih u interakciji različitih vrsta objekata i prirodne podloge. Uobičajeno, te dvije djelatnosti organizacijski povezuje, ali potpuno je jasno da se hidrogeologija i inženjerska geologija razvijaju kao zasebne tehničke discipline na području geoznanosti.

HIDROGEOLOGIJA

Podzemne vode su zasigurno najznačajniji izvor pitke vode u Republici Hrvatskoj i stoga je odgovornost geologa za znanstveno i tehničko unapređenje upravljanja tim prirodnim resursom veliki izazov. Iako se upravljanjem vodnim resursima kao cjelinom uglavnom bave hidrotehničari (građevinari), tek njihova uska suradnja s hidrogeolozima može dati dobre rezultate.

U kakovom su stanju podzemni vodni resursi u Hrvatskoj? U prvom redu, treba naglasiti različitosti u geološkoj građi Hrvatske, pa povezano s tim i različitost u tipovima vodonosnika (Panonski bazen, krško područje Dinarida).

U Panonskom bazenu dominiraju veliki vodonosnici međuzrnske poroznosti uz najveće hrvatske rijeke Savu, Dravu i Dunav. To su ujedno područja najvećeg urbanog i industrijskog opterećenja (Zagreb, Sisak, Sl. Brod, Varaždin, Koprivnica, Osijek i dr.), ali zbog zaravnjenog reljefa i intenzivne poljoprivredne proizvodnje, stanje kakvoće podzemne vode u tom području je u najmanju ruku zabrinjavajuće, a nedavna izlaganja naše kolegice s RGN fakulteta i stručnjaka Zagrebačkog vodovoda, upućuju čak i na alarmantno stanje u području Zagreba. Izuzetno bogati vodonosnici uz rijeku Dravu na području Varaždina opterećeni su nitratima zbog prevelikog korištenja umjetnih gnojiva i pesticida, pa je čak trebalo premjestiti crpilište pitke vode u danas još neopterećeni dio vodonosnika. S druge strane, količine podzemne vode uglavnom prelaze potrebe, ali na pojedinim područjima ima elemenata precrcpljivanja (crpilište Mlaka u Zagrebu, crpilište Vinogradi u Osijeku), što također upozorava na oprez. U Osijeku su to duboki subarteški vodonosnici, čija izdašnost ima ograničene vrijednosti, pa se manjak vode nadoknađuje crpljenjem iz rijeke Drave uz potreban tretman prije korištenja. Međutim, u Zagrebu je situacija nešto osjetljivija zbog mogućih posljedica efekata precrcpljivanja. Ovdje se količina crpljene vode ne smanjuje, ali konus sniženja se širi prema urbanim područjima grada na južnoj obali Save, pa to može izazvati određene geotehničke probleme u tom području. U svakom slučaju, treba istaći da

¹ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

stanje s pitkom vodom iz podzemlja u sjevernoj Hrvatskoj upozorava na oprez, posebno na području grada Zagreba, gdje živi gotovo četvrtina stanovništva cijele države.

Krški vodonosnici Dinarida, iako prirodno daleko ranjiviji od međuzrnkih vodonosnika, u daleko su boljem stanju, zahvaljujući u prvom redu slabijoj razvijenosti tih područja. Planinska područja Dinarida, glavni vodonosnici južne Hrvatske, uglavnom su slabo urbano i industrijski razvijena područja, međutim ne i potpuno bez problema. Kada kažemo daleko bolje stanje, onda je to generalna slika, ali ima i ugroženih krških vodonosnika u Dinaridima. Visoke kakvoće su krški izvori sa slivovima u planinskim područjima od Gorskog Kotara, preko Like, Dinare, Kamešnice prema planinama istočne Hercegovine. Od krških vodonosnika najugroženije su podzemne vode na Istarskom poluotoku, iako su to nešto niža opterećenja od vodonosnika na području grada Zagreba, ali situacija je također upozoravajuća. Jedan od glavnih razloga lošijeg stanja kakvoće vode na Istarskom poluotoku je nepročišćavanje otpadnih voda gradova u centralnom dijelu poluotoka, a posebno grada Pazina, čije otpadne vode i povremeni incidenti industrije imaju najveći negativni utjecaj. Probleme kakvoće vode čine i duga ljetna sušna razdoblja, kada se količine istjecanja bitno smanjuju, a utjecaj zaslanjene morske vode u otvorenim priobalnim krškim vodonosnicima raste. Veliki su to problemi za brojne otočne vodonosnike (Krk, Rab, Hvar, Vis), a posebno one koji nisu cjevovodom vezani za kopnene vodne resurse, zatim brojne priobalne gradove (Pula, Labin, Rijeka, Zadar, Šibenik, Ploče, Slano) i dr.

Glavni zadatak hidrogeologije su određivanje optimalnog korištenja i zaštita podzemnih voda. Zvuči jednostavno, ali sadrži u sebi cijeli kompleks znanstveno-istraživačkih metoda, od geološkog i hidrogeološkog kartiranja različitih mjerila, geofizičkih metoda istraživanja, geohidrokemijskih istraživanja, istražnog bušenja, bušenja zdenaca, probnih crpljenja, modeliranja itd. Jasno da u ovom relativno kratkom izvješću nećemo opisivati metode istraživanja, ali spomenut ćemo što je danas aktualno i što nas stavlja u razinu s europskim zbivanjima u tom području.

Treba spomenuti "Osnovnu hidrogeološku kartu", čija je izrada započela još prije osamostaljenja Republike Hrvatske, kada su načinjene Upute i prvi ogledni listovi. Od početka devedesetih karta se razvija kao informatički sustav za podzemne vode GIS programskom tehnologijom ARC/INFO, opće prihvaćenim programskim paketom u svim Geological Surveyima svijeta. U sklopu OHGK je završena Hidrogeološka karta M 1:300.000 s informatikom za sva crpilišta pitke vode i veće vodne pojave u Hrvatskoj s potrebnim tumačem. Osim toga, završeno je i više listova OHGK M 1:100.000 s tumačima. Treba naglasiti da se veliki dio istraživanja radi uz sufinanciranje Hrvatskih voda. Značajan informatički sustav za podzemne vode je i EGPV. Oba ova informatička sustava bit će korištena pri izradi

Vodnogospodarske osnove Republike Hrvatske. Želimo naglasiti da je informatika ušla na velika vrata u geološko inženjerstvo, da će budući projekti isključivo biti prikazani GIS tehnologijom i različitim vrstama pratećih modela. Napominjemo da u tom području ne zaostajemo za razvijenim zemljama Europe.

U razdoblju između dva geološka kongresa, hidrogeolozi su izradili Smjernice i Pravilnik o zaštiti izvorišta pitke vode u Hrvatskoj, u koje su ugrađena iskustva s dosadašnjih istraživanja na tom području i metode istraživanja, kojima se znatno povisuje vrijednost izvedenih projekata. U 2000. godini se može očekivati konačno uvođenje u proceduru tih važnih dokumenata i početak primjene, što znači novelacije projekata zaštite crpilišta pitke vode u Hrvatskoj. Neće to biti lagan posao za hidrogeologe, jer će trebati apsolvirati nove metode istraživanja i znatno povećati interdisciplinarnost pristupa. Činjenica je da trend kontinuiranog procesa onečišćenja podzemnih voda u velikom dijelu Hrvatske treba zaustaviti, a čiste vode planinskog područja Dinarida zadržati na današnjoj razini.

Hidrogeolozi su u prošlom razdoblju najviše svako radili na zaštiti voda, što osim zaštite crpilišta pitke vode uključuje i sanacije deponija urbanog i opasnog otpada, sudjelovanje u izradama studija utjecaja za velike građevinske zahvate (autoceste, tuneli), rudarske zahvate (kamenolomi, pozajmišta), industrijske objekte i dr. Međutim, i novi kaptažni zahvati su također bili važni zadatak hidrogeologa u cijeloj zemlji. Izvedeni su brojni zdenci pitke vode u Panonskom području, a u krškim terenima treba spomenuti izgradnju jednog od najmodernijih crpilišta u Europi, Zvir u Rijeci, koje je koncepcijski postavljeno temeljem hidrogeoloških istraživanja. Posebno osjetljivo hidrogeološko pitanje je odvodnja autocesta kroz krška područja, gdje je načinjen ogroman posao u zaštiti vodonosnika. Za ilustraciju spominjemo i izmicanje autoceste Bosiljevo-Sv. Rok iz neposrednog zaleđa izvorišta Gacka.

Međunarodna znanstvena suradnja hidrogeologa uglavnom je vezana uz Institut za geološka istraživanja i RGN fakultet, ali i ostale institucije i poduzeća koje mogu izraziti taj interes. Od znanstvenih projekata to su COST 65, 620 i 621 projekti Europske Unije, koji se bave zaštitom krških vodonosnika, što je za Hrvatsku od izuzetnog značaja. Zatim su to projekti međugraničnih vodonosnika, koji se rade preko Državne uprave za vode i cijeli niz bilateralnih projekata, koji imaju veliki utjecaj na razvitak hidrogeologije u Hrvatskoj. Geološku struku, pa tako i hidrogeologe očekuje znatno otvaranje prema Europi i svijetu, što zvuči zanimljivo, ali predstavlja veliku transformaciju znanstvenika i znanstvenih projekata. Do sada i za sada su projekti Europske Unije (osim COST-a) uglavnom zatvoreni za Hrvatsku, pa rijetko koji znanstvenik u Hrvatskoj nešto zna o Okvirnim programima Europske Unije. U četverogodišnjem razdoblju bit će investirano gotovo 80 milijardi Eura u znanstvene razvojne projekte. Naši susjedi Slovenija i Mađarska izuzetno su iskoristili tu priliku i mi

od njih možemo puno naučiti. Za nadati se da će VI Okvimi program Europske Unije biti otvoren i za Hrvatsku, ali to su potpuno nove aktivnosti za geologe. Radne aktivnosti hidrogeologa u inozemstvu su znatno smanjene u odnosu na prije petnaestak godina i uglavnom se sve svodi na nove pokušaje proboja na tržište zemalja u razvoju.

Ono što u Hrvatskoj postaje moderno je "flaširanje" vode, ali za sada su to samo pokušaji, jer teško je uspostaviti tržište u uvjetima kada svi još mogu piti vodu iz javnih vodovoda. Očito je da će to biti važna djelatnost hidrogeologa u slijedećih pet godina.

Jedno od važnijih područja geološke djelatnosti su prirodni sustavi nacionalnih parkova. Veliki dio tog posla pripada hidrogeolozima, jer voda je najčešće važan dio tih sustava (Plitvička jezera, Slapovi Krke, Kopački rit, Risnjak). Saznanja o Nacionalnim parkovima su uglavnom nedostatna, pa treba očekivati znatnu aktivnost na tom području.

INŽENJERSKA GEOLOGIJA

Inženjerskogeološka istraživanja u Republici Hrvatskoj posljednjih godina teže sve većem prilagođavanju potrebama geotehničkog projektiranja, što uključuje i adekvatno kvantificiranje njihovih rezultata. Kod toga se potrebni podaci iskazuju kao rezultat inženjerskogeološkog modeliranja, osnovanog na vrlo detaljnim i različitim terenskim mjerenjima, manjem broju laboratorijskih analiza, kompleksnim geofizičkim istraživanjima i primjeni metoda matematske statistike i teorije vjerojatnosti.

Inženjerskogeološki model je obično definiran kao sistematski opis stijenskih masa i tala kao odraz prirode (geneze, tekture, strukture i dr.), stanja (deformacije i ispućalost, okršenost, trošnost) i mehaničkih svojstava inženjerskogeoloških sredina od kojih je izgrađen. Taj se opis osniva na analizama, generalizaciji i kategorizaciji "in situ" opažanja i mjerenja, kao i laboratorijskih ispitivanja, uz korištenje analogije s drugim ispitivanim područjima. Inženjerskogeološko modeliranje prvi je, vrlo važan korak pri projektiranju građevina, posebno podzemnih, jer se tek na osnovu inženjerskogeološkog modela može izraditi adekvatni geotehnički model za potrebe projektiranja i izvođenja građevinskih objekata. U suštini, inženjerskogeološko i geotehničko modeliranje su interaktivni. Primjena rezultata inženjerskogeološkog modeliranja na konkretan prototip ovisi o točnosti podataka, nedvosmislenosti rezultata i mogućnosti usporedbe prototipa s realnim modelom, odnosno, stvarnim stanjem na terenu.

Znanstvena istraživanja u inženjerskoj geologiji koja produbljuju poznavanje procesa i pojava obuhvaćaju široki spektar problema. Među njima se ističu procesi erozije i akumulacije materijala, istraživanje i tipizacija klizišta te njihova rajonizacija, istraživanje procesa koji

se odvijaju u okvirima kora trošenja koje se razvijaju na klastičnim stijenama, veze strukturno-teksturnih i sedimentoloških karakteristika stijena i njihovih fizičko-mehaničkih osobina, istraživanje flišnih naslaga u okvirima problema koji postoje kod definiranja razlika između prekonsolidiranog tla i mekih stijena, proširenje primjene "geološkog indeksa čvrstoće" i dr. Inicira se i modificiranje "genetske klasifikacije stijenskih masa i tala" prema klasifikaciji stijenskih masa osnovanoj u prvom redu na karakteristikama veza između čestica, očekuje se uvođenje daljnjih inovacija u inženjerskogeološkom modeliranju s povezivanjem sedimentološkog, strukturno tektonskog i fizičko-mehaničkog modela, kao i proširenjem primjene modela u procjeni mogućnosti pojava nestabilnih blokova pri iskupu tunela analizom podataka inženjerskogeološkog kartiranja i dr. Posebna se važnost u posljednje vrijeme pridaje izradi karata rizika i hazarda vezano za posljedice različitih inženjerskogeoloških procesa.

Osnovna inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske kao podloga za regionalna planiranja treba omogućiti razvoj i izgradnju u Republici Hrvatskoj u skladu s geološkom sredinom i na taj način osigurati trajnost i ekonomičnost objekata i zaštitu okoliša. Služi za izradu prostornih planova, planiranje u građevinarstvu, vodarstvu, rudarstvu, poljoprivredi, šumarstvu i industriji, za znanstvene studije i tumačenje inženjerskogeoloških procesa i pojava. Elementi te karte ulaze u banku podataka Geografskog informacijskog sustava (GIS) Republike Hrvatske čime se sadržajno doprinosi njegovoj cjelovitosti.

U razdoblju između dva geološka kongresa izrađena je definitivna verzija "Uputa za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske, mjerila 1:100.000", izrađena je Inženjerskogeološka karta Republike Hrvatske mjerila 1:300.000 i pojedini listovi karata mjerila 1:100.000.

Razvijena je baza podataka za bušotine i terenska opažanja, prema principima koji su sukladni odgovarajućim klasifikacijama u mehanici tla i u mehanici stijena, a razvija se i baza podataka za klizišta i druge egzogene inženjerskogeološke procese.

Konačno treba istaći i nastojanje da se uspostavi međunarodna suradnja s Republikom Slovenijom s prijedlogom znanstveno istraživačkog projekta "Kriteriji i standardi izrade Osnovnih inženjerskogeoloških karata Republike Hrvatske i Republike Slovenije", u skladu s postojećim odgovarajućim nacionalnim projektima.

Iz opisa djelovanja hidrogeologije i inženjerske geologije u razdoblju između dva kongresa, može se vidjeti da se obje geološke discipline generalno razvijaju u skladu s razvojem u svijetu. Najbolje to pokazuje sudjelovanje hidrogeologa u projektima Europske Unije i suradnja sa susjednim zemljama, a inženjerska geologija je svoju verifikaciju imala u projektima autocesta i tunela, koji se grade ili će se graditi u suradnji s velikim kompanijama iz inozemstva.



Naftogeološki istraživanja u Republici Hrvatskoj

Zvonimir HERNITZ¹, Josip SEČEN², Boro VLAŠIĆ² & Nikola BOKOR²

POVIJESNI PREGLED

Prisutnost nafte u Hrvatskoj zamijećena je odavno. Prva su istraživanja "zemnoga ulja" započela, čini se, u 16. stoljeću, a proizvodnja nafte sredinom 19. stoljeća. Izdanci nafte kod Peklenice u literaturi se spominju prvi puta 1788., a zatim 1852. Mikleuška i Bačin Dol (FILJAK & NIKOLIĆ, 1968; JAGAČIĆ, 1983). Izdanci nafte i plina kod Ludbrega uvjetovali su izradu okana. Oko 1880. iskopano je nekoliko, a jedno do dubine od 163 m. Iz god. 1856. spominje se kod Peklenice 4 m duboki rov iz kojega se dobivalo oko 20 kg teške asfaltne nafte. Bušenjem se započelo 1886. u Peklenici, a 1893. u Selnici. Naftogeološka kartiranja započela su 1926.

Staro naftno polje Selnica nalazi se u istočnom dijelu murske potonine u dolini između Drave i Mure. Njemačka firma *Seizmos Hanover* izvela je 1941. i 1942. god. gravimetrijska mjerenja, koja su potvrdila postojanje antiklinalne strukture. Ova firma preuzela je koncesije i osnovala poduzeće *Petrolej d.d.* Na polju Selnica istraživački radovi nastavljani su i poslije drugog svjetskog rata. Kolektori nafte i plina bile su pješćane naslage miocena, miopliocena i pliocena. Ukupno je izbušeno 140 bušotina, od kojih 121 plitka i 19 dubokih. Za 60 godina proizvodnje dobiveno je svega 26.000 tona nafte.

Na istraživanju nafte i plina te njihovoj eksploataciji izmjenjivale su se i radile razne tvrtke iz Engleske, Mađarske, Njemačke i Italije. Rezultati bušenja bili su slabi ili gotovo nikakvi. Izradene bušotine bile su locirane bez prethodnih, neophodnih geoloških i geofizičkih istraživanja. Gravimetrijska mjerenja koja su Nijemci proveli otkrivala su nove strukture te potvrdila one poznate od ranije.

Nakon drugog svjetskog rata kod nas se naftna industrija naglo razvija. Provode se sustavna geološka i geofizička istraživanja (VUGRINEC et al., 1979).

Radove je u području sjeverozapadne Hrvatske odnosno murske potonine provodio *Jugoslavenski kombinat za naftu i plin*. Nakon decentralizacije u naftnoj industriji radove na eksploataciji nafte i plina na području Hrvatske nastavio je *Naftaplin* iz Zagreba. Upravo to poduzeće nakon svojega osnivanja 1952. god. inten-

zivira geološke, a osobito geofizičke radove. Obavljaju se detaljna gravimetrijska mjerenja, regionalna i detaljna magnetometrijska mjerenja, geoelektrična sondiranja, te seizmička profiliranja regionalnog karaktera.

Površina hrvatskoga dijela Panonskoga bazena ispuštenoga tercijarnim sedimentima cijeni se na 30.000 km². Od toga više od polovice ima prirodne uvjete pogodne za nastanak i akumulaciju ugljikovodika (VLAŠIĆ & BAUK, 1994). U proteklih pedesetak godina istraživanja izrađeno je 3.586 bušotina (stanje travanj 1998.), a od toga 900 istraživačkih. U Panonskom bazenu snimljeno je preko 40.000 km profila reflektivne seizmike.

O početnom razdoblju (1952. god.) nema sasvim pouzdanih podataka. Međutim nakon prelaska na analogno snimanje u vremenu od 1970. do uključivo 1999. snimljeno je na kopnu 31.723,94 km profila 2D seizmike, a na moru 41.933,3 km (1982.-1990. god.). U najnovije vrijeme snimljeno je na kopnu 2.173,40 km² 3D seizmike (1994.-1999.) i 4.377,357 km² na moru (1997.-1999.).

PANONSKI BAZEN

Hrvatski dio Panonskoga bazena samo je manji dio šireg prostora koji je smješten među gorjima Alpa, Karpata i Dinarida čiji je postanak vezan uz Alpsku orogenezu, a podijeljen je na veći broj potonina koje su nastale kao posljedica smicanja i razdvajanja Zemljine kore. Potonine su zapunjavane tijekom miocena obiljem sedimentata s okolnih mladih planinskih lanaca tvoreći sedimente čija se debljina mjestimice cijeni i do 7.000 m. Uz povoljan geotermijski gradijent, prisutnost većih količina organske tvari u pojedinim fazama taloženja (naročito u badenu i donjem panonu), te veoma raznolike sedimentološke prilike pogodne za odlaganje rezervoarskih stijena gotovo tijekom cijelog razdoblja, došlo je do stvaranja značajnih ležišta ugljikovodika (VUGRINEC, 1975). Široko su rasprostranjena i prema starosti pojedinih taložnih jedinica i bočno, tako da ih nalazimo od temeljnog gorja do gornjeg ponta te od murske potonine na zapadu do Ilače i Tovarnika na krajnjem istoku Hrvatske.

¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²INA Naftaplin, Šubičeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

Matične su stijene lapori badena, sarmata i panona odnosno formacije Prečec, Prkos te Moslavačka gora, što je ustanovljeno korelacijom organske tvari u matičnoj stijeni s naftama iz pojedinih polja. Oko 75% uzorka ima sadržaj TOC (ukupni organski ugljik) veći od 0,5%, a to se smatra dovoljnim za generiranje ugljikovodika.

Na području hrvatskoga dijela Panonskoga bazena nalazi se samo jedan genetski tip nafte, a varijacija u svojstvima nafte potječe od različite zrelosti matičnih stijena i izmjena unutar rezervoarskih stijena. Lakša nafta potječe iz zrelijih stijena, a teža je nastala biodegradacijom.

Plin potječe iz dva nivoa: iz dubljih sedimenata termalni plin, a biogeni plin iz gornjeg miocena i pliocena. Uz postojeći geotermijski gradijent nafta se počinje stvarati na dubini 2.200 m, a termogeni plin na 3.550 m. Zahvaljujući strukturnoj razvedenosti Panonskoga bazena omogućena je razvijenost matičnih stijena u neposrednu kontaktu s rezervoarskim stijenama, ali i vertikalna migracija ugljikovodika po tektonskim lomovima. Bočna migracija iznosi od nekoliko stotina metara do najviše 40 km.

Ležišta su gotovo svih tipova, no prevladavaju ona sa strukturnim i strukturno-stratigrafskim zamkama. Postoje i stratigrafske zamke pa i "buried hill" ležišta. Naime, otkriven je znatan broj ležišta sa stratigrafskom zamkom, koja doduše, najčešće nisu bila tražena kao takva, nego kao strukturna. Posljednjih je godina bilo pokušaja da se pomoću seizmičkih snimanja pronađu i daljnja takva ležišta, ali u tome nije bilo osobita uspjeha. Očito je da je pored veoma kvalitetnih seizmičkih podataka potrebno, uz sva dosadašnja znanja koja nisu mala, i mnogo bolje poznavanje paleogeomorfoloških, sedimentoloških te tektonskih elemenata.

Prema dosadašnjim spoznajama u hrvatskom je dijelu Panonskoga bazena otkriveno geoloških rezervi oko $330 \times 10^6 \text{ m}^3$ nafte i kondenzata te oko $120 \times 10^9 \text{ m}^3$ prirodnog plina (JURČIĆ & SEČEN, 1993; SEČEN et al., 1994; SEČEN et al., 1988).

Od toga je proizvedeno oko $103 \times 10^6 \text{ m}^3$ nafte i kondenzata, odnosno preko $46 \times 10^9 \text{ m}^3$ plina i to iz 34 naftna, 19 plinskih, odnosno naftno-plinskih polja.

Trenutno se proizvodnjom ugljikovodika iz vlastitih izvora podmiruje preko 50% energetske potrebe Hrvatske. Prema procjenama, a uz današnje stanje istraženosti, može se računati da će eksploatabilnih količina nafte iz hrvatskih nalazišta dostajati približno za daljnjih dvadesetak godina.

Pored toga, u Panonskom bazenu otkrivene su i značajne zalihe geotermijske energije koja se trenutno proizvodi na dva mjesta (VLAŠIĆ et al., 1993).

Ako se kao pokazatelj istraženosti uzme odnos broja ukupno otkrivenih zamki i preostalog broja bušenjem neprovjerenih zamki, može se reći da je hrvatski dio Panonskoga bazena u dobroj mjeri istražen. Međutim, prema procjenama rađenim u okviru studija, čak je 2 do 4 puta više ugljikovodika bilo generirano, nego je utvr-

deno u postojećim zamkama. To je razlog da, unatoč trendovima otkrića i količinama otkrivenih rezervi ugljikovodika te preostalom prostoru nezahvaćenom istraživačkim bušenjem, i dalje ima motiva za istraživanja tog prostora.

Prema dosadašnjim spoznajama, preostala potencijalna ležišta mogu se očekivati u podlozi tercijara na rubovima potonina, i u stratigrafskim zamkama u sedimentima panonske i pontske starosti (SEČEN et al., 1988).

Premda je distribucija litofacijesa u srednjem i donjem miocenu jako promjenjiva i pogodna za formiranje stratigrafskih zamki, znatno ih je teže otkriti s obzirom na kvalitetu metoda istraživanja, a i kolektorska svojstva rezervoara često su veoma loša.

S obzirom na površinu i broj bušotina djeluje da je stupanj istraženosti vrlo visok. Međutim, ako se promatraju i drugi pokazatelji, a to je u prvome redu razmještaj bušotina i volumen stijena, tada slika može biti sasvim drugačija. Od ukupnoga broja bušotina preko 80% imaju vrlo gusti razmještaj, jer su vezane na pojedina polja, a svega 575 uglavnom na rubnim dijelovima potonina doprlo je do stijena podloge. Prema nekim proračunima dosadašnjim bušenjem istraženo je manje od 10% obujma tercijarnih naslaga interesantnih s današnjega naftogeološkoga stajališta. Stupanj istraženosti podloge je izuzetno mali (VRBANAC et al., 1998). Razumljivo nije cijeli volumen tercijarnih naslaga jednako povoljan za nakupljanje ugljikovodika, ali to je već pitanje odgovarajuće rajonizacije.

JADRANSKO PODMORJE

Intenzivna istraživanja provedena su u području podmorja. Ondje je izrađeno 101 bušotina u razdoblju od 1970. do 1990. godine. Provedena su i opsežna seizmička istraživanja pa je snimljeno oko 75.000 km profila. Hrvatskoj pripada oko 54.000 km² jadranskoga podmorja, a na oko 17.000 km² provedena su istraživanja. U razdoblju 1982-89. istraživanja su načinjena u zajednici sa stranim partnerima. Ustanovljeno je da su prisutni debeli sedimenti od perma do pliokvartara, a njihova debljina ponegdje prelazi 12.000 m kao mjestimice uz rub dugootočkog bazena.

U geološkoj prošlosti znatno su se razlikovali uvjeti taloženja i tektonski pokreti. Za vrijeme perma i donjeg trijasa vladali su normalni tektonski pokreti uz širenje i pucanje Zemljine kore omogućavajući taloženje klastita koji postupno prelaze u evaporite i karbonate. Od srednjeg trijasa pa praktično do paleogena vladali su uvjeti pogodni za stvaranje debele serije karbonata. Krajem krede počinje dezintegracija platforme i neravnomjerno tonjenje pojedinih dijelova pa se stvaraju uvjeti za nastanak tercijarnih bazena čiji postanak je vezan za Alpsku orogenezu, tj. za boranje i reverzno rasjedanje uzduž Dinarida. Nakon kratke emerzije krajem miocena, kada mjestimice nastaju i evaporiti mesi-

na (KRANJEC, 1979) ponovo dolazi do transgresije koja uz veće ili manje oscilacije traje do danas.

Pored regionalnog položaja Jadrana u odnosu na kretanje kontinentskih ploča ovakav taložni razvoj određuje i njegovo naftogeološko značenje.

Dosadašnjim istraživanjima otkrivena su ležišta plina u pliokvartarnim sedimentima. To su tri značajnija polja: Ika, Ivana, Ana-Maria i veći broj manjih kamo spadaju Ida, Irna, Irma, Ksenija, Koraljka. Ležišta se nalaze u kolektorima metarskih debljina, na malim dubinama (500-1000 m, rijetko više) i s velikom bočnom rasprostranjenosti što otežava ograničenje polja, poskupljuje razradu i dovodi u pitanje ekonomičnost proizvodnje. Polje Ika je jedino koje ima ležište i u karbonatima iz kojih je moguća znatno ekonomičnija proizvodnja. Međutim radi strukturne građe krovine karbonata u predjelima gdje ih prekrivaju plio-kvartarni sedimenti, teško je moguće očekivati daljnja otkrića sa sličnim strukturnim i kolektorskim značajkama. Nezadovoljavajući rezultati ovih istraživanja kao i karbonata neposredno ispod tercijarnog pokrova nužno su ukazivali na potrebu izrade veoma dubokih bušotina do permotrijaskih klastičnih taložina. Kako bi se došlo do mogućih ležišta potrebno je probušiti cijeli karbonatni kompleks gdje su česte pojave gubitaka isplake i opasnosti od zaglave alata. Zatim slijedi serija evaporitno-klastično-karbonatnih taložina gdje vladaju natpritisici. Svakako je dokazana mogućnost generiranja ugljikovodika. U bušotini Vlasta-1 na dubini od cca 5.400 m ispitivanjem je dobivena nafta. Ovo otkriće nema komercijalno značenje obzirom na nepovoljna rezervoarska svojstva stijena i mogućnost pronalaženja odgovarajućih zamki za ugljikovodike na razumnim dubinama. Glavni problem u istraživanju ugljikovodika na Jadranu ipak nije tehnologija istraživanja, nego naftogeološki odnosi, tj. relativno niske temperature i upitna rasprostranjenost matičnih stijena, iako pojave nafte na ovoj i drugim bušotinama ukazuju da postoje uvjeti za generiranje ugljikovodika.

Razrada polja Ivana započela je prije par godina zajedno s kompanijom Agip (na bazi ugovora o podjeli proizvodnje), a prva proizvodnja počela je u 1999. god. Ležišta su plitka, a naftonosnici su slabo vezani pješčenjaci male debljine i vrlo dobre propusnosti. Primjenjuje se koncept razrade "clusterima" s po 4 do 6 bušotina uz uglavnom višezonsku opremu bušotina te primjenu pješčenih zasipa.

Predviđa se dovršetak razrade toga polja s 4 platforme do 2001. god., a maksimalna proizvodnja bila bi oko 2 mln m³/dan. Ostala 3 do sada otkrivena polja ušla bi u proizvodnju do 2003., a ukupna proizvodnja iz sva 4 polja iznosila bi najviše oko 4,3 x 10⁶ m³/dan.

DINARIDI

Iako su u Dinaridima do sada izrađene 23 bušotine u usporedbi sa sličnim područjima u svijetu, možemo

smatrati da su u njima tek pokrenuti istražni radovi. Glavni problem ovdje je nemogućnost dobivanja interpretabilnih seizmičkih podataka. Naime, dosadašnjim radovima, koji su doduše samo djelomično na suvremenom nivou, nije bilo moguće jasno definirati strukturnu građu u podzemlju što je prvi preduvjet za efikasno istraživanje. Određeni napredak učinjen je kada je izrađen veći broj seizmičkih profila uz korištenje vibratora kao izvora seizmičke energije i modernih uređaja za registraciju seizmičkog signala. Na nekoliko mjesta su dobiveni znatno bolji rezultati. Inače, u Dinaridima je ukupno snimljeno oko 1.500 km seizmičkih profila od čega samo 555 km digitalnih, podesnih za obradu na računskim strojevima. Nažalost, za ovo područje su vezane i neke druge značajke koje otežavaju istraživanje ugljikovodika: vrlo duboke očekivane zamke zbog niskog geotermalnog stupnja i duboke karstifikacije, te kompleksna strukturna grada (KRANJEC, 1981). Ipak, dosadašnjim istraživanjima utvrđene su pojave ugljikovodika na bušotinama RK-1, RK-3 i Brač-1. Ovi rezultati obvezuju da se nastavi istraživanje, ali postupno uz primjenu odgovarajućih metoda. Seizmička snimanja moraju osiguravati minimum kvalitete koji omogućava definiranje strukturne građe podzemlja.

ZAKLJUČAK

Zaključno se može spomenuti da se proizvodnja odvijala na ukupno 54 naftnih, plinskih i naftno-plinskih polja. Tri najveća plinska polja u Panonskom bazenu Molve, Kalinovac i Stari Gradac sudjeluju s preko 90% u preostalim pridobivim zalihama, a preko 80% u tekućoj proizvodnji.

Ondje su ležišta na dubini od 3.000 do 3.700 m, početni tlak je znatno iznad hidrostatskog, a ležišna temperatura je 180-210°C.

Proizvodnja nafte i plina u posljednjih 20 godina prikazana je tablicom 1.

Uočljivo je da je ukupni koeficijent obnove u 20 godišnjem periodu oko 63%, ali sa znatno lošijim trendovima u posljednjih 10 god., a posebno u posljednjih 5 godina. Posebno su nezadovoljavajući rezultati istraživanja u posljednjih 10 godina. Otkrivena manja ležišta uglavnom su plinska. Posljedica je to dijelom smanjenih ulaganja u istraživanje, ali i stupnja istraženosti hrvatskoga dijela panonskoga bazena. Takve potrebe su već davno uočene te su se činili napori da se istraživanjima u inozemstvu i kupnjom zaliha nastoji osigurati nivo zaliha koji omogućuje stabilni razvoj proizvodnje.

U cilju što racionalnijeg istraživanja cijeli prostor Panona podijeljen je u blokove, a u većini njih se nalaze već otkrivena polja nafte i plina.

Dinaridi su podijeljeni u 4 bloka, a područje Jadrana u 3 područja (uglavnom off-shore).

Može se očekivati da će se dio blokova u Panonu te svi blokovi u Dinaridima i off-shore Jadranskog mora ponuditi za zajedničko istraživanje sa stranim partneri-

period	nafta (t)		vijek zaliha god.	kondenzat (t)	nafta iz inoz. konces. (t)	plin (m ³)	vijek zaliha god.
	sek. metode	ukupno					
1980-1984	10203	14927	9,4	31	-	5898	27,5
1985-1989	8820	13469	10	1056	674	9436	21,4
1990-1994	4345	748	12,5	1966	1709	9482	23,4
1995-1999	2771	5293	10	1855	1335	8590	21,0
1999	467	934		359	308	1551	

Tablica 1 Proizvodnja nafte i plina u posljednjih 20 godina.

ma. Cilj je smanjiti rizik i povećati efikasnost istraživanja na geološki najtežim područjima.

Vlastitim naporima i sredstvima potrebno je što prije definirati preostali potencijal većeg dijela panonskog taložnog prostora. Snimljena opsežna 3D seizmička mjerenja potrebno je kvalitetno geološki interpretirati te u sljedeće 2-3 godine predložiti racionalni program istraživačkog bušenja u cilju dobivanja odgovora u kojoj mjeri Panon može doprinijeti povećanju proizvodnje te obnavljanju preostalih zaliha ugljikovodika.

Racionalnom razradom polja u proizvodnji može se također doprinijeti prethodno navedenom cilju. Postojeća naftna polja su stara i uglavnom su u završnom stadiju proizvodnje.

Primijenjene su, efikasno, sekundarne metode, a na nizu polja primjenjuje se progušnjenje mreže bušotina (*in-fill drilling*) primjenom *re-entry* tehnologije ili izradom horizontalnih bušotina. Također se opsežno izvode hidraulička frakturiranja na slabo propusnim dijelovima ležišta i to s vrlo velikim uspjehom. Tim metodama aktivira se t.zv. zaobidena nafta (*by-passed oil*) i povećava se koeficijent obuhvata na poljima sa sekundarnim metodama.

U cilju aktiviranja nepokretne nafte potrebno je definirati racionalnost primjenom CO₂ "miscible" procesa kao tercijarne metode na nekim poljima. *Pre-feasibility* studije su već izradene.

Sve to zahtijeva daljnje vrlo stručno upravljanje ležištima uz još intezivniju primjenu numeričke simulacije, geostatistike te uvođenja najnovijih tehnoloških metoda za dobivanje preostalih zaliha nafte i plina.

LITERATURA

- DOKUMENTACIJA INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb.
- FILJAK, R. & NIKOLIĆ, D. (1968): Razvoj i perspektive istraživačke djelatnosti s obzirom na naftu i plin u Jugoslaviji.- Simpozij o nafti, 13-26, JAZU, Zagreb-Sisak, 1966.
- JAGAČIĆ, T. (1983): Istraživanje nafte i plina u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.- Varaždinski zbornik 1181-1981, 89-98, JAZU, Skupština općine Varaždin, Varaždin.
- JURČIĆ, M. & SEČEN, J. (1993): INA-Naftaplin u energetici Republike Hrvatske u sljedećim godinama.- Naftaplin - stručno glasilo DIT-a INA-Naftaplin, 1-5, Zagreb.
- KRANJEC, V. (1979): O naftoplinosnosti karbonatno-evaporitnih naslaga u cirkum-mediteranskim i nekim drugim zemljama te o asocijacijama s našim prilikama u Dinaridima i jadranskom podmorju.- Nafta, 3, 103-124, Zagreb.
- KRANJEC, V. (1981): Neke značajke naftoplinosnosti naslaga i moguća daljnja nalazišta ugljikovodika u predjelima Vanjskih Dinarida i jadranskog područja.- Pomorski zbornik, 19, 385-412, Rijeka.
- SEČEN, J., VLAŠIĆ, B. & BAUK, A. (1994): Istraživanje i proizvodnja nafte, plina i termalnih voda u Hrvatskoj.- Zbornik radova "Razvitak i dostignuća tehničkih područja u Hrvatskoj", 197-211, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- SEČEN, J., VLAŠIĆ, B., JANČIKOVIĆ, B. & ČORAK, V. (1988): Većom kvalitetom radova do novih zaliha ugljikovodika.- Znanstveni skup "INA u 90-im", Zagreb.
- VLAŠIĆ, B. & BAUK, A. (1994): Possibilities of oil and gas exploration and production in the Republic of Croatia.- Nafta, May-June 1994, Zagreb.
- VLAŠIĆ, B., ČUBRIĆ, S. & THALLER, J. (1993): Istraživanje nafte, plina, termalnih voda i pitke vode.- Zbornik radova simpozija "Doprinos rudarstva energetici Hrvatske", 65-81, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- VRBANAC, B., HERNITZ, Z. & PAVLOVIĆ, Z. (1998): O stupnju istraženosti hrvatskoga dijela panonskoga bazena.- Javno predavanje na godišnjoj skupštini Sekcije za geologiju, geofiziku i geokemiju ZVN HAZU, travanj 1998, Zagreb.
- VUGRINEC, J. (1975): Kompleksni problemi geološko-geofizičkih istraživanja u daljnjem razvoju industrije nafte i plina.- Savjetovanje o nafti - Konferencija, Split.
- VUGRINEC, J., NOWINSKI, A. & ŠPARICA, M. (1979): Geološka, geofizička i naftogeološka istraživanja u SR Hrvatskoj.- Nafta, 7-8, 326-332, Zagreb.



Alpinske tektonostratigrafske jedinice Dinarida i njihova geodinamska evolucija

Alpine Tectonostratigraphic Units of the Dinarides and Their Geodynamic Evolution

Jakob PAMIĆ¹, Ivan GUŠIĆ² & Vladimir JELASKA²

Ključne riječi: tektonostratigrafske jedinice, dinaridski Tetis, riftovanje, otvaranje, subdukcija, kolizija.

Key words: Tectonostratigraphic units, Dinaridic Tethys, Rifting, Opening, Subduction, Collision.

Sažetak

U Dinaridima se mogu razlikovati 5 glavnih tektonostratigrafskih jedinica: 1) Jadransko-dinaridska karbonatna platforma; 2) karbonatno-klastične formacije pasivnog ruba; 3) formacije Ofiolitne zone Dinarida; 4) formacije aktivnog ruba (Vardarska zona) i 5) formacije Prelazne alpsko-dinaridske zone. Dinaridi su nastali sljedećim geodinamskim procesima: 1) srednjopermskim do noričkim riftovanjem; 2) gornjotrijaskim do gornjojurskim otvaranjem dinaridskog Tetisa; 3) prvom gornjojurskom subdukcijom i pratećom obdukcijom ofiolita Dinaridske ofiolitne zone; 4) stvaranjem kredno-donjopaleogenskog zalučnog bazena u kojem se nastavlja kreiranje oceanske kore i 5) post-lutetskom kolizijom koja je dovela do druge obdukcije ofiolita Vardarske zone, definitivnog strukturiranja Dinarida i njihovog izdizanja.

Abstract

In the Dinarides the following five main units can be distinguished: 1) Adriatic-Dinaridic carbonate platform formations; 2) carbonate-clastic formations of the passive margin; 3) Dinaride Ophiolite Zone formations; 4) active margin formations, and 5) transitional Alps-Dinaride formations. The Dinarides originated by the following geodynamic processes: 1) Middle Permian to Norian rifting; 2) Late Triassic to Late Jurassic opening of the Dinaridic Tethys; 3) first Late Jurassic subduction and accompanied obduction of ophiolites of the Dinaride Ophiolite Zone; 4) generation of the Cretaceous-Early Paleogene back-arc basin in which continued creation of the oceanic crust (Vardar Zone) and 5) post-Lutetian collision which gave rise to second ophiolite obduction of the Vardar Zone, final structuration of the Dinarides and their uplift.

1. UVOD

Dinaridi predstavljaju složeni borani, ljuskavi i navlačni jugozapadno-vergentni gorski sustav SZ-JI pružanja, koji se može pratiti na dužini od oko 700 km. Opće je prihvaćeno shvaćanje, još od vremena SUESSA (1875), da se Dinaridi nastavljaju kontinuirano u Alpe. No, to je tek djelomice točno, budući da se samo Južne Alpe kontinuirano nastavljaju na jugoistok, ali samo u Vanjske Dinaride. Što se tiče Unutarnjih Dinarida, PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ (1998) su iznijeli mišljenje da bi poprečni rasjed Zagreb-Zemlen mogao predstavljati granicu između Dinarida i Alpa.

Najsjeverozapadniji i najjugoistočniji dijelovi Dinarida, koji se nalaze uz Apuliju i Meziju, ne pokazuju istu strukturnu pravilnost kao središnji Dinaridi. Zbog toga u ovom radu razmatramo centralne Dinaride kao "zatvoren sustav" koji je bio u manjoj mjeri poremećen zbog tercijarnog utiskivanja (*indentation*) Apulije i Mezije.

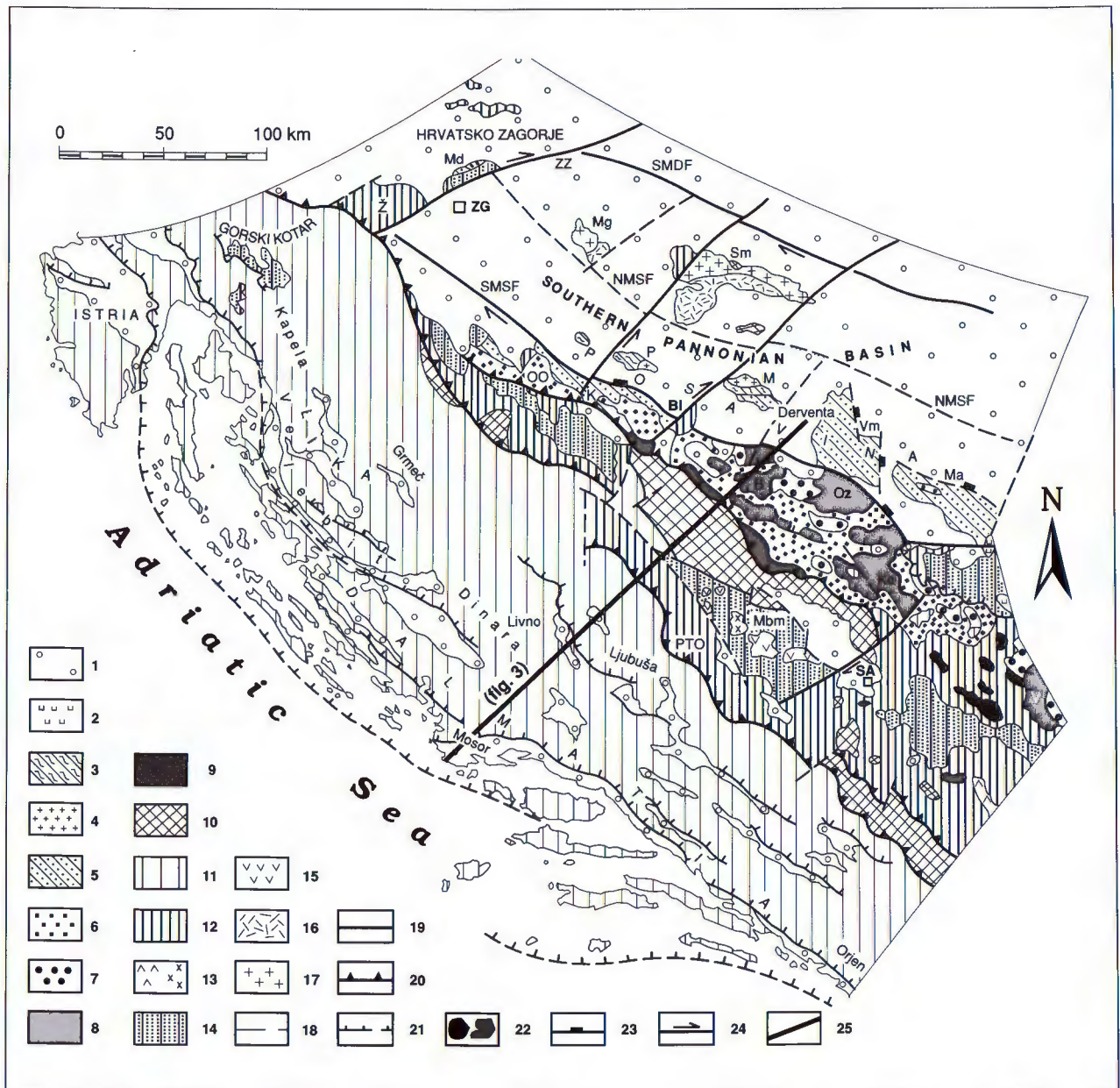
Velik je broj radova objavljen o geotektonskoj evoluciji Dinarida, a pregled svih tih radova dao je HERAK (1986). Prve moderne geodinamske prikaze Dinarida iznijeli su francuski geolozi (AUBOUIN et al., 1970; DERCOURT, 1970), a kasnije su Dinaridi uključivani u geodinamske interpretacije cjelokupnog Alpsko-himalajskog pojasa (DEWEY et al., 1973; DERCOURT et al., 1993 i drugi).

2. GLAVNE ALPINSKE TEKTONOSTRATIGRAFSKE JEDINICE CENTRALNIH DINARIDA

Najveći dio centralnih Dinarida, i pored njihove složene borane, navlačne i ljuskave građe, ima pravilan, zonaran prostorni raspored karakterističnih mezozojsko-paleogenskih tektonostratigrafskih jedinica koje su nastale za vrijeme alpinske evolucije dinaridskog dijela Tetisa (PAMIĆ, 1993). U Dinaridima se nalaze sljedeće alpinske tektonostratigrafske jedinice (sl. 1) nastale u

¹ Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, Ante Kovačića 5, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Geološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Geološka karta centralnih Dinarida temeljena pretežno na podacima AUBOUINA et al. (1970). Legenda: 1) paleogensko-neogenske transgresivne sekvencije; 2) terciarni vulkaniti; *Aktivni tetiski rub (Vardarska zona)*: 3) paleogene metamorfne sukcesije; 4) paleogenski granitoidi; 5) gornjokredno-donjopaleogenski fliš; *Oceanski prostor dinaridskog Tetisa*: 6) Ofiolitna zona Dinarida, pretežno melanž; 7) Kredne transgresivne formacije urgonskog facijesa; 8) veći ultramafitni masivi, 9) radiolaritna formacija; *Pasivni tetiski rub*: 10) jursko-kredne klastično-karbonatne formacije ("bosanski fliš", "pretkrška zona"); 11) Jadransko-dinaridska karbonatna platforma; *Paleozojsko-trijaska navlaka*: 12) alohtone trijaskne sekvencije; 13) trijaskne magmatske stijene; 14) alohtone paleozojske formacije; 15) paleozojski vulkaniti; *Tisija*: 16) variscijske progresivnometamorfne sekvencije; 17) variscijski granitoidi i migmatiti; 18) normalan rasjed; 19) pružno-klizni rasjed; 20) intraterrenska navlaka; 21) interterrenska navlaka; 22) tektonska okna ofiolitnog melanža i radiolarita; 24) spuštjeni blok. *Veći rasjedi*: BL) banjalučki; NMSF) sjeverni rubni rasjed Savske potoline; OO) ofiolitna navlaka; PTO) paleozojsko-trijaska navlaka; SA) Sarajevski; SMDF) južni rubni rasjed Dravske potoline; SMSF) južni rubni rasjed Savske potoline; ZZ) Zagreb-Zemlen. *Planine*: B) Borje; K) Kozara; Ko) Konjuh; M) Motajica; Ma) Majejica; Mbm) Srednjobosansko škriljavo gorje; Md) Medvednica; Mg) Moslavačka gora; Oz) Ozren; P) Prosara; Sm) Slavonske planine; V) Varda; Vu) Vučjak; Ž) Žumberak.

Fig. 1 Geological map of the central Dinarides based mainly on data of AUBOUIN et al. (1970). Legend: 1) Paleogene-Neogene overstep sequences; 2) Tertiary volcanics: *Active Tethyan margin (Vardar Zone)*: 3) Paleogene metamorphic sequences; 4) Paleogene granitoids; 5) Upper Cretaceous-Lower Paleogene flysch; *Oceanic realm of the Dinaridic Tethys*: 6) Dinaridic Ophiolite Zone, mainly mélangé; 7) Cretaceous Urgon facies overstep sequences; 8) larger ultramafic massifs; 9) radiolarite sequences; *Passive Tethyan margin*: 10) Jurassic carbonate-clastic formations ("flysch bosniaque", "zone prekarstic"); 11) Adriatic-Dinaridic carbonate platform; *Paleozoic-Triassic overthrust*: 12) allochthonous Triassic sequences; 13) Triassic igneous rocks; 14) allochthonous Paleozoic formations; 15) Paleozoic volcanics; *Tisia*: 16) Variscan progressive metamorphic sequences; 17) Variscan granitoids and migmatites; 18) normal fault; 19) strike-slip fault; 20) intra-terrane thrust; 21) inter-terrane thrust; 22) tectonic windows of ophiolite mélangé and radiolarites; 23) downthrown block; *Larger faults*: BL) Banja Luka; NMSF) Northern marginal fault of the Sava Depression; OO) Ophiolite thrust; PTO) Paleozoic-Triassic overthrust; SA) Sarajevo; SMDF) Southern marginal fault of the Drava Depression; SMSF) Southern marginal fault of the Sava Depression; ZZ) Zagreb-Zemlen. *Mountains*: B) Borje; K) Kozara; Ko) Konjuh; M) Motajica; Ma) Majejica; Mbm) Mid-Bosnian Schist Mts.; Md) Medvednica; Mg) Moslavačka gora; Oz) Ozren; P) Prosara; Sm) Slavonian Mts.; V) Varda; Vu) Vučjak; Ž) Žumberak.

različitim tetiskim okolišima: 1) Jadransko-dinaridska karbonatna platforma (JDKP) - Vanjski Dinaridi; 2) karbonatno-klastične formacije pasivnog ruba dinaridskog Tetisa; 3) ofioliti s genetski povezanim sedimentnim formacijama - Ofiolitna zona Dinarida; 4) sedimentne, magmatske i metamorfne jedinice aktivnog ruba Tetisa (Vardarska zona). Jedinice 2) do 4) uključene su u Unutarnje Dinaride, odnosno Supradinarikum (HERAK, 1986). Tu pravilnu zonarnu građu remete: 5) paleozojsko-trijaske navlake koje leže preko jedinica Unutarnjih Dinarida, a frontalnim su dijelom na jugozapadu navučene na Vanjske Dinaride. U sjeverozapadnim graničnim dijelovima Dinarida i Alpa izdvaja se Prelazna alpsko-dinaridska zona (6) koja se najvećim dijelom pruža SI-JZ, dakle, okomito na pružanje dinaridskih struktura.

2.1. JADRANSKO-DINARIDSKA KARBONATNA PLATFORMA (JDKP)

Brojne litostratigrafske jedinice JDKP mogu se podijeliti u 4 osnovne grupe.

- a) *Gornjopaleozojski kompleks* obuhvaća poslijeverisvarske transgresivne sekvencije koje leže preko nepoznate variscijske podloge (KOCHANSKI-DEVIDÉ & RAMOVŠ, 1979 i drugi) - sl. 2A.
- b) *Srednjopermski do norički riftogeni kompleks* izgrađen je u najnižim dijelovima od klastičnih i karbonatnih formacija te evaporita za koje se općenito smatra da markiraju početak alpskog ciklusa. Preko toga slijede skitski klastiti i karbonati te srednjotrijaski i gornjotrijaski vapnenci, često proslojeni rožnjacima, šejlovima, piroklastitima i vulkanitima, naročito u nivou ladinika. Lokalno, zbog emerzija, dolazi do redukcije srednjeg trijasa (BABIĆ, 1968) ili pak preko njega naliježu boksiti s transgresivnim Rabeljskim slojevima. No mjestimice na srednjotrijaskim tvorevinama leže konformno karbonati gornjeg trijasa, tako da je u noriku definitivno uspostavljen režim karbonatne platforme na velikim površinama.
- c) *Noričko-lutetska karbonatna platforma* započinje u gornjem trijasu s peritajdalnim stromatolitnim dolomitima ("Hauptdolomit"), a stabilni i plitkovodni okoliš nastavlja se kroz juru i kredu. Takav režim, s nekoliko pelagičkih prodiranja i kratkotrajnih emerzija, trajao je na JDKP sve do luteta, tj. do konačnog završetka egzistiranja JDKP (ĆOSOVIĆ et al., 1994).
- d) *Transgresivne sekvencije* predstavljene su eocenskim flišom te oligocensko-miocenskim molasnim Promina slojevima (MARJANAC & ĆOSOVIĆ, 1996) i neogenskim ugljenonosnim bazenima. Poslijeeocenske tektogenetske Jelarske breče izgrađene su od fragmenata mezozojsko-eocenskih karbonatnih stijena; bez nekog su unutrašnjeg sklopa i vjerovatno su taložene u neoautohtonim "pull-apart"

bazenima (BAHUN, 1974; HERAK & BAHUN, 1979).

2.2. KARBONATNO-KLASTIČNE FORMACIJE PASIVNOG KONTINENTALNOG RUBA (KKFPR)

KKFPR izgrađene su od jurskih i krednih karbonatnih i klastičnih sekvencija, debljine oko 3.500 m, koje su se taložile na padini JDKP i njezinom podnožju (sl. 2B i C). One odgovaraju Bosanskom flišu i Pretkrškoj zoni francuskih geologa (AUBOUIN et al., 1970) i nastavljaju se na SZ, s prekidima, u Banovinu - "Pregibna zona" - GRANDIĆ (1974), te na jugoistoku do Gacka i dalje u Crnu Goru - "Durmitorski fliš" (BEŠIĆ, 1951). Mogu se podijeliti u dvije glavne grupe formacija (HRVATOVIĆ, 1999).

Vrandučke formacije, debljine oko 1.300 m, karakteriziraju se povećanjem pjeskovite komponente od SI ka JZ. Izgrađene su pretežno od laporovitih mikrita, arenita i laporovitih šejlova. Imaju neflišne, paraflišne do prave flišne karakteristike. Stijene iz donjih dijelova ovih formacija sadrže ljaske amonite, tako da bi konformne nefosilne podinske, litološki identične sekvencije mogle pripadati i gornjem trijasu. U najmlađim sekvencijama karakteristično se pojavljuju titonsko-berijaski vapnenci s donjokrednim kalpionelidama.

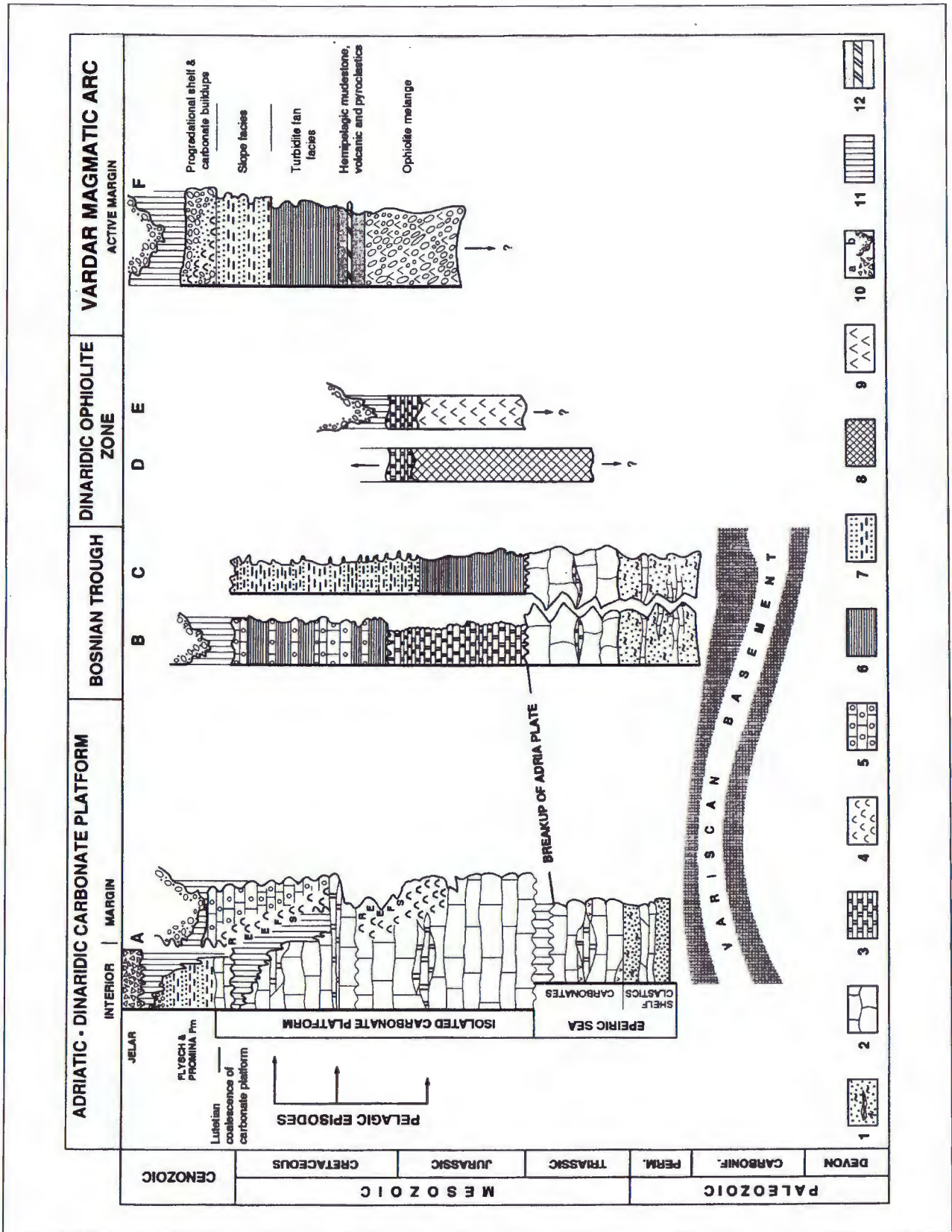
Ugarske formacije, debljine oko 2.200 m, imaju sve karakteristike "karbonatnog fliša". Među njima se izdvaja 6 litoloških jedinica koje su izgrađene pretežno od arenita, mikrita, intramikrita i intramikrudita s olistostrumima te laporovitih mikrita i laporovitih šejlova.

Najstariji dijelovi ovih formacija pripadaju turonsenu, a mlađi i najveći dio gornjem senonu i donjem paleogenu. Do danas nije pouzdano riješeno da li se one razvijaju postupno iz podinskih jursko-donjokrednih formacija.

2.3. DINARIDSKA OFIOLITNA ZONA (DOZ)

Ofioliti, u asocijaciji s genetski srodnim sedimentnim formacijama, predstavljaju najkarakterističnije i najrasprostranjenije jedinice Supradinarikuma. U DOZ se razlikuju četiri grupe formacija (sl. 2D i E).

- 1) *Mezozojska radiolaritna formacija* s izljevima bazalta, debljine oko 800 m, u kojoj dominiraju radiolariti s proslojcima šejlova i mikrita. Radiolaritna formacija obuhvaća veliki stratigrafski raspon od gornjeg trijasa do zaključno donje krede (PAMIĆ, 1982). Ona je korelativna s Krasta-Cukali i Subpaleogenskim zonama Helenida (AUBOUIN et al., 1970).
- 2) *Grauvakno-šejlna formacija - olistostromski ofiolitni melanž*. Na tektonski neporemećenim profilima u ovom kompleksu alterniraju crni šejlovi i grauvake sa čestim slampovima i izljevima bazalta. No najčešće je to kaotična, melanžna tvorevina koja izgrađuje glavni dio DOZe. Olistostromski melanž izgrađen je od šejlno-siltne matriksa u kojem dolaze frag-



Sl. 2 Litostratigrafske faciesne asocijacije centralnih Dinarida: 1) plitkomarinski siliciklastični i subtajdalni karbonati; 2) platformni karbonati; 3) pelagički vapnenci; 4) grebenske karbonatne tvorevine; 5) alodapni vapnenci, 6) glinoviti pelagički vapnenci; 7) fliš; 8) radiolariti sa šejlovima, vulkanitima i podređenim grauvakama; 9) ofiolitne tvorevine; 10a) karbonatne breče; 10b) različiti meduplaninski klastiti; 11) hijatus; 12) hemipelagični mudstoni, vulkaniti i piroklastiti.

Fig. 2 Stratigraphy and main lithofacies associations of the Central Dinarides: 1) shallow-marine siliciclastic and subtidal carbonates; 2) platform carbonates; 3) pelagic limestones; 4) reefal carbonate buildups; 5) alodapic limestones; 6) argillaceous pelagic limestones; 7) flysch; 8) radiolarites with shales, volcanics, subordinate graywackes; 9) ophiolite suite; 10a) carbonate breccias; 10b) various intramontane clastics; 11) hiatus; 12) hemipelagic mudstones, volcanic and pyroclastic rocks.

menti najčešće grauvaka, zatim bazalta, tufova, dijabaza, gabra, serpentiniziranih peridotita, šejlova, radiolarita te egzotičnih blokova vapnenaca srednjotrijaske do gornjojurske starosti, koji su nastali u različitim okolišima. U rijetkim proslojcima vapnenaca dolaze jurski mikrofosili, a najmlađi olistoliti vapnenaca su titonske starosti (DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ, 1973).

- 3) *Ofioliti*, obično u različitim stupnju raskomadani, predstavljeni su bazaltdijabazima, gabrima i peridotitima. Najčešći peridotiti u melanžu dolaze kao cm-m-dkm-hkm blokovi, no pojavljuju se i kao veliki masivi (do 500-1.000 km²); obično su to izrasjedane ploče, debljine nekoliko stotina do 2.000 m, koje su navučene na melanž. Podlogu većih peridotitnih masiva izgrađuju zone amfibolita, s rijetkim eklogitima. Gabri, dijabazi i bazalti izgrađuju manje mase maksimalne površine do 20 km. DOZ se kontinuirano nastavlja u Helenide gdje se označava kao Mirdita zona (SHALLO, 1994).

Radiometrijska određivanja dala su K-Ar starosti od 185-180 Ma na dijabazima i 170-160 Ma na amfibolitima proslojenim s peridotitima (PAMIĆ, 1982).

- 4) *Gornjojursko-donjokredne do gornjokredne transgresivne formacije urgonskog facijesa*, debljine 1.000-2.000 m, leže preko ofiolitnog melanža, uključujući i velika peridotitna tijela. Izgrađuju ih konglomerati i breče s fragmentima pretaloženih ofiolita, ali i crvenih egzotičnih paleozojskih (?) granita, zatim litični pješčenjaci i podređeni laporoviti šejlovi, koji lateralno prelaze u grebenske titonsko-berijaske vapnence. U nekim područjima dolaze senonski slojeviti vapnenci, u podini s pretaloženim ofiolitnim korama trošenja (PAMIĆ et al., 1998).

2.4. FORMACIJE AKTIVNOG TETISKOGRUBA (VARDARSKA ZONA - VZ)

VZ je najunutrašnjija jedinica Dinarida; mnogo je bolje otkrivena u svojim istočnim dijelovima približnog pružanja SSZ-JJI negoli u sjevernim dijelovima približnog ZSZ-IJI pružanja, gdje je najvećim dijelom prekrivena neogenskim sedimentima Panonskog bazena. U njoj se može izdvojiti pet glavnih jedinica.

- 1) *Kredno-donjopaleogenske sekvencije* izgrađene su u donjim dijelovima od donjokrednih do turonskih vapnenaca, šejlova i breča. Preko njih diskonformno leže senonski laporoviti šejlovi, siltiti i vapnenci, na pojedinim mjestima s izljevima bazalta i riolita s piroklastitima; rijetko se nalazi i na olistolite blušista (MAJER & LUGOVIĆ, 1992; PAMIĆ, 1993).

Međutim, mnogo su zastupljenije gornjosenonske do srednjoeocenske turbiditne sekvencije debljine oko 2.000 m. U starijim dijelovima fliš izgrađuju uglavnom pješčenjaci i šejlovi, dok u višim dijelovima pretežu laporoviti šejlovi, vapnoviti pješčenjaci, pjeskoviti vapnenci i vapnenci (JELASKA, 1978).

- 2) *Tektonizirani ofiolitni melanž* na nekim mjestima je diskordantno prekriven kredno-paleogenskim sedimentima. Šejlno-siltitni matriks ovog melanža je pervazivno tektonski deformiran, a u njemu dolaze gotovo svi isti fragmenti kao i u olistostromskom melanžu DOZa plus egzotični blokovi gornjokrednih i paleocenskih vapnenaca. Na fragmentima bazičnih ofiolita iz melanža određene su K-Ar starosti od 110 do 62 Ma (ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ, 1979; PAMIĆ, 1997), a na peridotitima Sm-Nd izokrona starost od 136 Ma (LUGOVIĆ et al., 1991).

- 3) *Paleogenske regionalno metamorfozirane sekvencije* koje su nastale postupnim metamorfizmom od okolnih kredno-donjopaleogenskih stijena. Izgrađene su od slejtova, filita, grinšista, metapješčenjaka, kvarc-muskovitnih škrljavaca, tinjčevih škrljavaca, gnajsova, amfibolita i mramora, nastalih u vrlo niskim, niskim i srednjim P-T metamorfnim uvjetima. U slejtovima i filitima određena je gornjokredna i donjopaleogenska mikroflora (PANTIĆ & JOVANOVIĆ, 1970), a na gnajsovima K-Ar starost od 48-38 Ma (LANPHERE & PAMIĆ, 1992).

- 4) *Sinkinematski kolizijski granitoidi* pojavljuju se kao žile i manji plutoni u paleogenskim regionalnometamorfničkim sekvencijama; češći su u podzemlju nego na površini. Na granitima Motajice i Prosare određena je Rb-Sr starost od 48 Ma (PAMIĆ, 1993).

- 5) *Postkolizijske vulkanske stijene*, koje se javljaju u VZ i dodirnim područjima DOZa te u okolnim terciarnim sedimentima Panonskog bazena, predstavljene su: a) donjooligocenskim (31-28 Ma) šošonitima, b) egersko-egenburškim (25-19 Ma) andezitima, dacitima i bazaltima, c) karpatskim (17-16 Ma) trahandezitima; d) badenskim (15-12 Ma) bazaltima, andezitima, dacitima i riolitima i e) poslijebadenskim (10-8 Ma) bazaltima (PAMIĆ, 1997).

2.5. PRELAZNA ALPSKO-DINARIDSKA ZONA (PADZ)

Ova zona prostorno je definirana Periadrijskim lineamentom na sjeveru, Zagreb-Zemlen rasjedom na JI, te čelom Savske navlake na JZ. PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ (1998) je označavaju kao Zagorje-Srednjotransdanubijsku zonu.

PADZ uključuje Savsku navlaku, odnosno paleozojsko-trijaske formacije Južnih Alpa, odnosno sjeverozapadnih Vanjskih Dinarida, ispod koje u tektonskim oknima dolaze bazenski sedimenti "Slovenskog korita" i kredno-paleogeni fliš (MIOČ, 1996) identičan onom iz VZ. U istočnim dijelovima PADZe dolazi na Medvednici i paleozojsko-trijaski metamorfni kompleks istočnoalpskog (austroalpskog) afiniteta, koji je zahvaćen donjokrednim metamorfnim utiskivanjem ("overprint"), te tektonizirani ofiolitni melanž sa značajkama VZ (ŠIKIĆ et al., 1979; BELAK et al., 1995 i drugi).

3. DISKUSIJA

Najranije faze u alpinskoj evoluciji Dinarida vezane su za srednji perm, kada na podlozi Pangee započinju riftni procesi, popraćeni s magmatskom aktivnošću, koji su trajali oko 40-50 Ma (PAMIĆ, 1984). Na JDKP pojavljuju se odvojene i jasno individualizirane stokilometarske i duže zone trijaskih magmatskih stijena koje markiraju površinske tragove drevnih riftova na paleozojskoj podlozi Pangee.

U ranoj fazi (gornji perm i skit) dolazi do spuštanja riftnih zasvođenja i formiranja šelfa na kojem se vrši sedimentacija klastita i karbonata s lokalnom magmatskom aktivnošću.

Početak anizika dolazi do globalne transgresije i uspostavljanja prostranog karbonatnog šelfa na riftnim bokovima. Samo se lokalno vrši miješana klastično-karbonatna sedimentacija uz slabu vulkansku aktivnost. Postupno dolazi do redukcije u prinosu klastičnog materijala kao rezultat povećanja transgresije.

U ladiniku se intenziviraju riftna rasjedanja i magmatska aktivnost dosiže svoj vrhunac duž reaktiviranih riftova, a u međuprostorima između riftnih vulkanogenih bazena nastavlja se kontinuirana karbonatna platformna sedimentacija (PAMIĆ, 1984).

Samo se u sjeverozapadnim dijelovima Dinarida vulkanska aktivnost odvija sve do sredine noričkog kata, kada se završavaju riftni procesi, a na JDKP se definitivno uspostavlja stabilan platformni okoliš koji je trajao, uz povremene i lokalne ingresije i emerzije, sve do luteta.

Otvaranje dinaridskog Tetisa moglo je započeti krajem trijasa i/ili početkom donje jure. Sasvim je pojmljivo da su ladiničko-gornjotrijaski izolirani riftni bazeni, koji su bili locirani duž vanjskog SI ruba JDKP, mogli predstavljati predispoziciju za postanak budućeg akrecijskog centra i otvaranje dinaridskog Tetisa. Nasuprot tome, riftne zone locirane u unutrašnjosti JDKP istovremeno su abortirale.

U to vrijeme započinje i razvoj padine JDKP. Na toj se padini i u njenom podnožju kroz juru i kredu kontinuirano talože klastični i karbonatni sedimenti. Karbonatna platforma je bila izvorišno područje za karbonatni detritus, dok je siliciklastični materijal potjecao iz nekog sjeverno lociranog izvorišnog područja i bio longitudinalno transportiran mutnim tokovima u smjeru juga, kako to indiciraju mjereni podaci paleotransporta (BLANCHET, 1975).

Procesi otvaranja dinaridskog Tetisa mogli su trajati oko 70-80 Ma, od gornjeg trijasa do gornje jure/donje krede. Male debljine mezozojske radiolaritne formacije (prosječno oko 500-600 m) rezultat su male brzine taloženja u dubokomorskim uvjetima. Sačuvani kompletni profili oceanske kore, debljine do 5.000 m (PAMIĆ & DESMONS, 1989), slični su debljini neporemećene oceanske kore duž suvremenih srednjooceanskih hrpto-

va, što dokazuje da je ona morala biti u potpunosti obducirana.

Vrlo je teško modelirati aktivni rub dinaridskog Tetisa, jer su mezozojske formacije sjevernih Dinarida prekrivene tercijskim sedimentima Panonskog bazena. No, u svakom slučaju grauvake i šejlovi i olistostromski melanž stvarani su duž aktivnog ruba dinaridskog Tetisa uz snažan sinsedimentacijski vulkanizam, kako to dokumentira često proslojavanje vulkanita i sedimentata. Duž aktivnog ruba morao je biti jako razvijen reljef s uzvišenjima i koritima, što je omogućilo uspostavljanje olistostromskog mehanizma taloženja.

Kao rezultat globalne gornjojurske reorganizacije ploča i sjeverne migracije Apulije (FOURCADE et al., 1993) započeli su procesi subdukcije i zatvaranja, što dokazuje prvo smještanje (obdukcija) ofiolita DOZE s pratećim visokotlačnim blušistnim metamorfizmom. Obducirani ofioliti su djelomice izdignuti i zahvaćeni erozijom te se pretaložavaju u okolnim marinskim depresijama, kako to dokazuju transgresivne formacije urgonskog facijesa (PAMIĆ et al., 1998).

Gornjojursko-donjokredni procesi obdukcije doveli su do znatne prostorne redukcije dinaridskog Tetisa. Južno od obduciranih ofiolita sedimentacija se nastavlja duž pasivnog ruba i na JDKP. Sjeverno od obduciranih ofiolita DOZE formira se magmatski luk, odnosno zalučni bazen (BARB) u čijem se žlijebu vrši sedimentacija kredno-paleogenskog fliša, dok aktivna subdukcijaska zona predisponira magmatske procese. Vrlo je vjerojatno istovremeno nastavljeno formiranje oceanske kore (sekundarna akrecija), kako to dokazuju fragmenti ofiolita iz tektoniziranog melanža starosti 110-62 Ma. Taj je magmatski luk vjerojatno predstavljao najzapadniji dio velike Tetiske subdukcijaska strukture koja se na istok protezala sve do Irana i Afganistana (CAMOIN et al., 1993).

Posljednja jaka kompresijsko-kolizijska deformacija odigrala se nakon luteta (ca 45-50 Ma). Ona je dovela do: (a) definitivnog zatvaranja dinaridskog Tetisa i prestanka tetiske subdukcije; (b) tektoniziranja prvotnog jurskog olistostromskog melanža i drugog smještanja ofiolita DOZE; (c) kasnopaleogenskog regionalnog metamorfizma; (d) sinkinematskog granitnog plutonizma i (e) definitivnog izdizanja Dinarida. Ova završna alpinska tektonska faza dovela je ustvari do definitivnog strukturiranja Dinarida.

Dakle, Dinaridi su nastali kao rezultat sljedećih geodinamskih procesa: 1) srednjopermskog do noričkog riftovanja; 2) gornjotrijaskog do gornjojurskog otvaranja (oceanizacije) dinaridskog Tetisa; 3) prvog gornjojursko-donjokrednog obduciranja ofiolita DOZE; 4) formiranja kredno-paleogenskog zalučnog bazena i 5) posljednjeg kompresijsko-kolizijske faze kada dolazi i do drugog smještanja ofiolita VZ. Nakon toga slijedi postorogenetska evolucija Dinarida koja u ovom radu nije razmatrana.

4. VAŽNIJA LITERATURA

- AUBOUIN, J., BLANCHET, R., CADET, J.-P., CELET, P., CHARVET, J., CHOROWICZ, J., COUSIN, M. & RAMPNOUX, J.-P. (1970): Essai sur la géologie des Dinarides.- *Bull. Soc. Géol. Fr.*, ser. 7, 12, 1060-1095.
- BABIĆ, Lj. (1968): O trijasu Gorskog kotara i susjednih područja.- *Geol. vjesnik*, 21, 11-18.
- BAHUN, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar-naslaga.- *Geol. vjesnik*, 27, 35-51.
- BELAK, M., PAMIĆ, J., KOLAR-JURKOVŠEK, T., PÉCSKAY, Z. & KARAN, D. (1995): Alpinski regionalno-niskometamorfni kompleks Medvednice u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.- 1. hrv. geol. kongr., Zbornik radova, 1, 67-70, Zagreb.
- BEŠIĆ, Z. (1951): Prilog poznavanju rasporeda i starosti geološke građe u Dinaridima.- *Glas. prirod. muz.*, 4, 197-222.
- BLANCHET, R. (1975): De l'Adriatique au Bassin Pannonique-essai d'un modèle de chaîne alpine.- *Mém. Soc. Géol. Fr.*, 120, 1-72.
- CAMOIN, G., BELLION, Y., DERCOURT, J., GUIRAUD, R., LUCAS, J., POISSON, A., RICOU, E. & VRIELYNCK, B. (1993): Late Maastrichtian (69.5-65 Ma).- U: DERCOURT, J., RICOU, E. & VRIELYNCK, B. (ur.): Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps, Explanatory Notes. Gauthiers-Villars, Paris, 179-196.
- ĆOSOVIĆ, V., BALANČIĆ, D., KOIĆ, M., MARJANAC, T., MORO, A., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1994): Paleontological evidence of Paleogene transgression on Adriatic carbonate platform.- *Géol. Méditerranéenne*, 21, 49-53.
- DERCOURT, J. (1970): The Canadian Cordillera, the Hellenides and the sea-floor theory.- *Can. J. Earth Sci.*, 9, 709-743.
- DEWEY, J.F., PITMAN, W.C., RYAN, W.B.F. & BONNIN, J. (1973): Plate tectonics and evolution of the Alpine system.- *Bull. Geol. Soc. Am.*, 84, 3137-3170.
- DIMITRIJEVIĆ, M. & DIMITRIJEVIĆ, M. (1973): Olistostrome mélange in the Yugoslavian Dinarides and Late Mesozoic plate tectonics.- *J. Geology*, 81, 328-340.
- DRAGAŠEVIĆ, T. (1977): Contemporary structure of the Earth's crust and upper mantle on the territory of Yugoslavia (in Russian).- U: SOLLOGUB, V.B. & CHEKUNOV, A.V. (ur.): Stroenie zemnoi kori i verhnjej mantii po dannimi seismičeskikh isledovanii. Naukova Dumka, Kiev, 185-193.
- FOURCADE, E., AZEMA, J., CECCA, F., DERCOURT, J., GUIRAUD, R. & RICOU, E. (1993): Late Tithonian (138-135 Ma).- U: DERCOURT, J., RICOU, E. & VRIELYNCK, B. (ur.): Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps, Explanatory Notes. Gauthier-Villars, Paris, 113-134.
- HERAK, M. (1986): A new concept of the geotectonics of the Dinarides.- *Acta Geologica*, 16, 1-42.
- HERAK, M. & BAHUN, S. (1979): The role of calcareous breccias (Jelar Formation) in the tectonic interpretation of the High Karst Zone of the Dinarides.- *Geol. vjesnik*, 31, 49-59.
- HRVATOVIĆ, N. (1999): Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu.- *Zav. geol.*, Sarajevo, 203 str.
- JELASKA, V. (1978): Senonsko-paleogenski fliš planine Trebovac (sjeverna Bosna) - stratigrafija i sedimentologija.- *Geol. vjesnik*, 30, 95-118.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. (1979): Carboniferous of NW Jugoslavia.- 8th Cong. Int. Strat. Geol. Carb., Comp. Rendu, 2, 17-21.
- LUGOVIĆ, B., ALTHERR, R., RACZEK, I., HOFMANN, A. W. & MAJER, V. (1991): Geochemistry of peridotites and mafic igneous rocks from central Dinaride Ophiolite belt, Yugoslavia.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 106, 201-216.
- MAJER, V. & LUGOVIĆ, B. (1992): Metamorfne stijene s alkalijskim amfibolima ("glaukofanski škrljci") u Jugoslaviji.- *Rad JAZU*, 458, 103-139.
- MARJANAC, T. & ĆOSOVIĆ, V. (1996): Tertiary extension in eastern Adriatic realm.- *Intern. Works. Medit. Basin, Works, Progr.*, 2, Paris.
- MIOČ, P. (1996): Explanation to the terrane map of Slovenia.- *Geol. Surv.*, Ljubljana, 44 str.
- PAMIĆ, J. (1982): Some geological problems of the Dinaridic ophiolites and their associations.- *Earth Evol. Sci.*, 2, 30-35.
- PAMIĆ, J. (1984): Triassic magmatism of the Dinarides in Yugoslavia.- *Tectonophysics*, 109, 273-307.
- PAMIĆ, J. (1993): Eoalpine to Neoalpine magmatic and metamorphic processes in the northwestern Vardar Zone, the easternmost Periadriatic Zone and the southwestern Pannonian Basin.- *Tectonophysics*, 226, 503-518.
- PAMIĆ, J. (1997): Vulkanske stijene Savsko-dravskog međuriječja i Baranje.- *Pos. izd. Nafta*, Zagreb, 192 str.
- PAMIĆ, J. & DESMONS, J. (1989): A complete ophiolite sequence in Ržav area of Zlatibor and Varda ultramafic massifs, the Dinaride Ophiolite zone.- *Ofioliti*, 14, 13-32.
- PAMIĆ, J. & TOMLJENOVIĆ, B. (1998): Basic geological data from the Croatian part of the Zagorje-Mid-Transdanubian Zone.- *Acta geol. Hung.*, 41, 389-400.
- PAMIĆ, J., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1998): Geodynamic evolution of the Central Dinarides.- *Tectonophysics*, 297, 251-268.
- PANTIĆ, N. & JOVANOVIĆ, O. (1970): O starosti "azojskih" i "paleozojskih škrljaca" Motajice na temelju mikroflorističkih podataka.- *Geol. glasnik*, 14, 109-113.
- SHALLO, M. (1994): Outline of the Albanian ophiolites.- *Ofioliti*, 19, 57-75.
- SUESS, E. (1875): Die Entstehung der Alpen.- Wilhelm Braumüller, Wien, 168 str.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Zagreb.- *Inst. Geol. istr. Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd*, 81 str.
- ŠIMUNIĆ, A. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Litofacijsno rasčlanjivanje mezozojskih naslaga Kalničkog gorja.- *IV. geol. znan. skup. znan. savj. Nafta JAZU*, 125-137, Zagreb.



DANREG - Danube Region Environmental Geology Programme as an Example for Cross-Border Cooperation

Géza CSÁSZÁR¹, János HALMAI¹, Jozef HRICKO², Werner JANOSCHEK³, Milos KOVÁČIK⁴,
Alois MATURA³ & László NEMESI⁵

Key words: Danube region, Geology, Geophysics, Environmental geology, International co-operation, Central European Initiative.

Abstract

It happened for the first time that Austria, Hungary and Slovakia, three countries linked by the Danube, had produced, after a thorough preparatory work, a map series of unified approach, eliminating the differences due to specific national traditions and techniques, which would make a uniform interpretation rather difficult, in some cases definitely impossible.

A bilateral agreement to undertake a joint study of their respective regions separated by the Danube was signed by Hungary (MÁFI, Budapest) and Slovakia (GUDS, Bratislava - later on GSSR, Bratislava) in 1989, Austria (GBA, Vienna) joined in 1990, making it trilateral. In 1994 the DANREG was officially accepted as one of the projects of the Central European Initiative.

Joint work has been extended to the following topics and products: surface geological map, genetic types and thickness map of the Quaternary sediments, lithofacies and thickness map of the Pontian and the Pliocene, lithofacies and thickness map of the Pannonian, map of the pre-Tertiary basement, tectonic map, neotectonic map, engineering-geological map, hydrogeological map, geothermal potential map, Bouguer anomaly map, different geophysical maps, map of environmental hazards.

The main part of the present paper is an overview of the objectives, tasks, results and how three countries went ahead for one goal. One of the important achievements is the assessment of the obvious surface damages and harms already affecting the environment, thus rendering possible their repair, mitigation or prevention. Furthermore, attention is drawn also to subsurface hazards, which used to be left out of consideration, and ways of practical application are indicated, thus contributing to the maintenance, eventually even to the improvement, to the living-standard of the population in the Danube Region.

THE DANREG PROGRAMME

The DANREG Programme (DANube Region Environmental Geology) was launched in 1989, originally on bilateral (Hungarian-Slovak) basis. Later, in 1990, after the fundamental political changes in Central and Eastern Europe, the representatives of the national geological surveys of Austria (Geologische Bundesanstalt), Hungary (Magyar Állami Földtani Intézet) and Slovakia (Geologický ústav Dionýza Štúra, later on Geologická služba Slovenskej republiky) signed the agreement. Since then work has been going on in 14 working groups, in which the geophysical maps were compiled by two collaborating institutions: Geocomplex (Bratislava) and Eötvös Loránd Geophysical Institute (Budapest). Results and things to be done are reviewed by a Coordinating Board (see: most of the authors of that paper) which held its meetings every 3-4 months. The basic objective of this co-operative effort is to integrate the existing knowledge that is inadequate along the borders and in the deep basins and should be completed with new investigations. The extension of the study area is about 20,000 km², situated between Vienna, Bratislava and Budapest (Fig. 1). The aim was to establish a common geological language on national data bases, different in systems, approaches and detailedness, to compile different thematic map versions assisted by GIS, with explanatory notes and a specific study.

The DANREG was listed among the potential joint projects on the meeting of PENTAGONALE, on April 9-10, 1991 in Budapest. In 1994 (Vienna), on the First Meeting of Section A - Geology in the frame of Central European Initiative, this project was one of the first to be accepted as official project of CEI.

In 1995 the Federal Ministry of Science and Transport (Austria) has decided to support the publishing of the maps and their explanatory notes. Geological Institute of Hungary (MÁFI) was selected for GIS work,

¹Geological Institute of Hungary, Stefánia str. 14., H-1143 Budapest, Hungary.

²Geocomplex, Geologická 21, SK-88207 Bratislava, Slovakia.

³Geological Survey of Austria, Rasumofskygasse 23, A-1031 Vienna, Austria.

⁴Geological Survey of Slovak Republic, Mlynská dolina 1, SK-81704 Bratislava, Slovakia.

⁵Eötvös Loránd Geophysical Institute, Columbus str. 17-23, H-1145 Budapest, Hungary.



Fig. 1 Sketch map of the DANREG area.

using Intergraph products (source data: MGE and Arc/Info) and for coordinating the printing procedure. After a long preparatory work, the following maps have been printed by the end of 1999:

Maps in scale of 1:100,000:

Surface geological map, Map of environmental geohazards

Maps in the scale of 1:200,000:

Map of the pre-Tertiary basement, Lithofacies and thickness map of the Pontian and the Pliocene, Lithofacies and thickness map of the Pannonian, Map of genetic types and thickness of Quaternary sediments, Tectonic map, Neotectonic map, Engineering-geological map, Hydrogeological map, Geothermal potential map, Bouguer anomaly map, Geological cross sections

Maps in scale of 1:500,000:

Stripped gravity anomaly map, Magnetic ΔT anomaly map, Gravity lineament map (calculated with Blakely-method), Results of the magnetotelluric measurements, Contour map of the Pre-Tertiary basement, Contour map of the Pannonian basement, Thickness of the Quaternary sediments (based on Schlumberger DC soundings), Apparent resistivity map $AB=200$ m (based on Schlumberger DC soundings).

The Explanatory notes for the maps and the cross-sections, including a special study on water quality are in press.

SHORT NOTES ON THE DANREG PRODUCTS

The Surface geological map is the base for all the other maps with special regard to the Quaternary map,

to the Engineering-geological map and to the Map of environmental geohazards. The complicated geological setting of the area is reflected in the number of elements of the legend that exceeded 300 originally. Special attention is paid to the Quaternary sediments the elements of which are genetic types in contrast to the older formations where lithostratigraphic units are distinguished.

The Map of genetic types and thickness of Quaternary sediments summarizes the main genetic types of sediments and their cumulative thickness. In the deepest part of the basin the thickness values are based mainly on geoelectric measurements. The isopach lines separate territories of fast subsidence from the uplifting or slowly subsiding areas. The process of fast subsidence that is going on even today was restricted to the western part of the Little Hungarian Plain in the Quaternary (where even some 600 m thick deposit was accumulated during a period of some 2 million years). The separation of subsidence and uplift is indicating the most mobile zones along which one can expect earthquakes and tectonic movements even today.

The Lithofacies and thickness maps of the Pannonian and the Pliocene show a differentiation (particularly, subsidence) of the terrain that started at the beginning of the Miocene, as well as an intensive acceleration of this process during the Pannonian (the accumulation of 6,000 to 7,000 m deposits over a period of some 8 million years). The Little Hungarian Plain - the Danube Lowland area is the deepest Neogene basin within the Carpathian arc. The thickness lines are drawn with the help of various geophysical (seismic and electric) measurements, wells and borehole data. The very mighty sequence is composed of two sedimentary cycles that are illustrated on two maps: the Lower Pannonian and the Upper Pannonian - Pontian ones.

The **Map of the pre-Tertiary basement** is used to properly document the differences in depth and age of the basement and also the origin of the individual tectonic units. The last data can be used for palaeogeographic reconstruction and for distinguishing the tectonic movements of a great number of tectonic lines indicated on the surface of the pre-Tertiary basement. In addition to the wells and boreholes indicated in the map geophysical data are also used for the setting of the isolines. Due to irregular distribution of basement data in boreholes there are areas with great uncertainty in age, in rock type and even in depth of the basement.

The **Tectonic map** excluding the Quaternary formations represents units according to the successive deformation phases. The main Alpine tectonic phases are as follows: Cretaceous, Palaeogene, Early to Middle Miocene, Late Miocene to Pliocene. The present-day tectonic outline of the region was developed during the Early to Middle Miocene, that is the paroxysm of the volcanic activity and the formation of the deep basins. The majority of the lines supplied with names in the map, is connected with the events listed above. There is clear evidence for the rejuvenation of the movements along some tectonic lines. The following tectonic elements are distinguished: axes of synclines and anticlines, nappes, overthrusts, strike slip faults and normal faults. Separating the Pelso unit from the Veporic unit, among many important tectonic lines the Rába-Hurbanovo-Diósjenő Line is considered to be the most important one. The folded, overthrust structures that had developed in the Cretaceous were later pulled apart by conjugate displacement in response to a NW-SE compression. In the Neogene, the stress field changed several times, resulted in the rotation of certain tectonic units.

The **Neotectonic map** is based mainly on the seismic activity and on the thickness differences in the sediments of the Upper Pliocene to Recent. Tectonic lines and structures active this time separate faults of basinal structure (Gabcíkovo Basin) and faults of other structures. The most intensive young tectonic activity in the region has been observed on the contact of the Little Carpathian Mts. (with Hainburg Hills) to the basinal part of the Danube Lowland. Renewal of some Miocene (or older) tectonic lines is also indicated.

The **Engineering-geological map** belongs to the group of zoning maps. In general, its legend is based on the internationally accepted IAEG (International Association of Engineering Geologists) methodology of engineering geological maps. Altogether 29 zones (lithologic-genetic units) and 11 lithological types (from solid rocks up to anthropogenic deposits) were distinguished in the map (by lines, marks and colours). Important tectonic and neotectonic lines are presented in the map as well. Selected hydrogeologic data, geodynamic phenomena - like slope deformations, erosional features, karst phenomena, hydrocompaction failures in loc-

ss, undermining features, open pits, and sources of possible pollution - like waste disposals, which are usually components for engineering geological maps are not presented. These data appear on Environmental hazards map only.

The **Hydrogeological map** presents basically the type of permeability of aquifers and their lithology. Primary (pores), secondary (fissures) and karst permeability have been distinguished in the map, with seven categories according to their value. The lithology of the aquifers is displayed identifying 21 types. The map also includes hydrogeological, hydrological and other relevant data like springs, mineral and thermal waters, hydrogeologically important artificial objects, groundwater dynamics, drainage network, karstic features and important tectonic lines. The methodology of the preparation of this map complies with the UNESCO/IAH Convention of 1970.

The **Geothermal potential map** indicates the distribution of temperature recorded at 1,500 m depth. This was used because the majority of open intervals in aquifers producing geothermal water from existing boreholes falls roughly within this depth range. The input information on the depth at 1,500 m (in basins mostly Tertiary formations) was based on data from the boreholes and from the seismic and geological sections. Due to their geothermal potential two main areas are delineated: the Vienna Basin and the Little Hungarian Plain-Danube Lowland. A study with several cross sections is attached to the map.

The common **Bouguer anomaly map** has been constructed using a density value of 2.67 g/cm^3 , the interval of isolines is 1 mGal. A characteristic feature of the map is an elevation strip with axis oriented to SW-NE in the NW part of the project area, corresponding to the "heavier" Little Carpathian Mts. and Hainburg Hills. The large distinct depression in the Dunakiliti-Senec region represents the deepest part of the pre-Tertiary basement. The Vienna Basin shows similar gravity values, although its depth is considerably less than that of the previous depression. Gravity maps are usually compiled for two reasons: to obtain information on the depth of basins, and to obtain information on the internal structure of the crust. However, in the DANREG area the gravity method could not deliver the above information entirely because of the distortion of the Bouguer anomalies by crustal and upper mantle effects. Therefore in addition to the Bouguer anomaly map, the map of residual anomalies, indication map of density contrasts by Blakely stripped gravity map, etc. have been compiled.

The common **Magnetic ΔT anomaly map** has been constructed in the project area in order to clarify the extent, shape, depth and distribution of the sources of magnetic anomalies, i.e. mafic and ultramafic rocks. Prior to the start of the DANREG project, the magnetic

maps for Slovakia and Hungary could not be fitted together along the border, therefore some special problems had to be solved for the compilation of the common map. Their reason was that the previous measurements had not been agreed between the countries (measurement of ΔZ in Hungary, ΔT in Austria, ΔZ and ΔT in Slovakia, ground and airborne surveys, different altitudes in the airborne surveys, etc.). Connecting profile lines have been measured between Slovakia and Austria, and between Hungary and Slovakia, after which the Geological Survey of Austria compiled the common ΔT map. Many magnetic anomalies have been detected in the project area. According to the seismic and magnetotelluric measurements, the sources of major magnetic anomalies are surely situated within the pre-Tertiary basement.

As one version of the geoelectrical maps, **Apparent resistivity map** have been compiled to assess the lithology of the Quaternary sediments, which represent one of the most important freshwater reservoirs in Central Europe. Three resistivity maps have been compiled for different AB distances, (for AB = 200 m, 600 m and 1,000 m), corresponding to approximate depth levels of 50 m, 150 m and 250 m. The maps show extensive accumulation of coarse to medium grained Quaternary sediments (gravel and sand) occurring in the central depression of the Danube Basin and the Little Hungarian Plain. Here on the basis of electrical soundings, the **Thickness map of the Quaternary sediments** has also been compiled, showing that the thickness reaches even 600-700 m.

Among other geophysical activities in the DANREG programme it should be mentioned that **magnetotelluric and seismic measurements** have been performed in the region for the investigation of deep structures. Their most important result is that the Rába-Hurbanovo structural line could be located. It is, in fact, a contact zone between two microplates of different origin. The results of the DANREG programme allow a new interpretation of the structure of the crust and the upper mantle.

The **Map of environmental geohazards** is intended to show some phenomena of natural impact on the geological environment and the risk factors associated with the man-made hazardous establishments. The methodology is new and has been developed specially for the DANREG programme. The mapped area is divided into five zones according to the sensitivity of the area to pollution. Another data which represent some types of natural or man-induced environmental hazards are also presented (active tectonic faults, epicentres of recorded earthquakes, boundaries of floods, sites of waste disposals, quarries and mines, areas of high level of pollution of soils, etc.). The main philosophy of this map is

to show the sensitivity of rocks to contamination (thus, the protection level of groundwater, some confined groundwaters and karst water).

All three cross sections cut the Rába-Hurbanovo tectonic line(s) separating the Lower Austro-Alpine-Carpathian units from the Pelso unit. In addition to this the Vienna Basin-Little Hungarian Plain section shows the relation between the Austro-Alpine units and the Bohemian massive.

The **Study of water quality** evaluates the quality of surfacewater, groundwater and precipitation water. Natural and anthropogenic factors that influence the quality of water are described and evaluated. The study is based mainly on archive data. Some new sampling and laboratory testing are performed within the project. The present situation and prognosis for the future of the quality of water is presented in the study.

CONCLUSIONS

The region of the DANREG Programme is divided by borders into three independent states, but geoscientific questions can not be solved isolated, as well as problems of the environment cross the borders and their solving needs multinational co-operation. The DANREG Programme is an attempt to create a set of unified thematic maps in the field of geoscience and applied geology. These maps and the connected data base should function as an unanimously accepted basis for decision makers for land use planning. Conflicts in land use always existed, but in highly developed industrialised regions as the DANREG area they increased dramatically in the past decades. Some of the major possible conflict topics are: residential areas, industrial precincts, recreation sites and nature parks, protected areas for groundwater use, preserved areas for mining (mass row material included), and agricultural areas.

The maps and the profiles of the DANREG Programme are available at the relevant institutions of the countries involved. The explanatory notes including the study of water quality will be available in the middle of 2000 and they will be offered to the planning and deciding authorities in the communities, in the districts (regions) and in the states, which are covered by the DANREG Programme. All collaborators to the DANREG Programme (it have been many dozens in each participating country) hope that the information elaborated and collected could contribute to increase the quality of life of the population.

If the DANREG will be successful it can be an example for other regions to help in solving their problems on the base of the cross-border co-operations.



Geokemijsko kartiranje u Hrvatskoj - današnje stanje

Geochemical Mapping in Croatia - State of the Art

Slobodan MIKO¹, Zoran PEH¹, Josip HALAMIC¹, Esad PROHIĆ²,
Lidija GALOVIĆ¹ & Martina ŠPARICA¹

Ključne riječi: geokemija, geokemijsko kartiranje, arsen, bakar, olovo, Hrvatska.

Key words: Geochemistry, Geochemical mapping, Arsenic, Copper, Lead, Croatia.

Sažetak

Izrada geokemijskog atlasa Republike Hrvatske provodi se u sklopu projekta "Osnovna geokemijska karta Republike Hrvatske". Istraživanja su usmjerena na utvrđivanje sadržaja i raspodjele Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Ag, Au, U, Th, Sr, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, W, Al, Na, K, Zr, Be, Y, Nb, Sc i Hg u tlima. Dosadašnjim geokemijskim kartiranjem obuhvaćeno je više od 2/5 teritorija Republike Hrvatske, s gustoćom uzorkovanja od 1 uzorka na 25 km². Ovdje je prikazana metodologija geokemijskog kartiranja i preliminarni rezultati s do sada obuhvaćenih područja. Dosadašnja istraživanja pokazuju da tla razvijena na karbonatima imaju viši prosječni sadržaj svih elemenata osim K, Na, Mg i Ba, makar se vrijednosti kreću u sličnim rasponima. U odnosu na nekarbonatna područja, tla razvijena na karbonatnim terenima u prosjeku imaju viši ukupni srednji sadržaj Al, As, Co, Cu, Fe, La, Mn, Pb, Ni, Mn, Th, V, Cr, Zn i Zr i Nb te isti ili blizak sadržaj Sr, P i Ti. Geokemijski atlas sastoji se od skupa monoelementnih geokemijskih karata (grafički prikazanih na CD-ROM-u) od kojih svaka utvrđuje varijabilnost prirodnog geokemijskog pozadinskog šuma ("geochemical background") pojedinog kemijskog elementa. Ovako dobiveni rasponi vrijednosti uz prostorne distribucije elemenata omogućuju pravilno vrednovanje prirodnih anomalija i antropogenih doprinosa, što je prikazano na primjerima arsena, bakra i olova.

Abstract

The geochemical atlas of Croatia is a result of the geochemical mapping program performed within the project "The Basic Geochemical Map of the Republic of Croatia". The investigation is aimed at the determination of content and distribution of Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Ag, Au, U, Th, Sr, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, W, Al, Na, K, Zr, Be, Y, Nb, Sc and Hg in the topsoil cover. During the past years geochemical mapping at a density of 1 sample per 25 km² has been performed on approximately 2/5 of the Croatian territory. This paper is the presentation of the methodology applied and results of these preliminary investigations. The results imply that the soils developed on carbonate bedrock have higher mean values of almost all elements excluding K, Na, Mg and Ba which are lower in carbonate terrains. In comparison with the non-carbonate terrains, for the carbonate terrains the following elements have higher mean concentrations: Al, As, Co, Cu, Fe, La, Mn, Pb, Ni, Mn, Th, V, Cr, Zn, Zr and Nb, and similar contents of Sr, P and Ti. The geochemical atlas which contains single element maps (presented on CD-ROM) portraying the variability and distribution of the geochemical background of each element. These concentration ranges and the spatial distribution of the elements allow the correct evaluation of natural anomalies and anthropogenic influences on the environment, as shown on examples of arsenic, copper and lead.

1. UVOD

Geokemijsko kartiranje Republike Hrvatske izvodi se iz potrebe za izradom koherentne i sustavne geokemijske baze podataka trajne vrijednosti koja će se uklopiti u zajedničku, globalnu (prije svega europsku) geokemijsku bazu podataka. Neprekidni razvitak ovog projekta zahtijeva proučavanje ravnoteže mnogih čimbenika, ponajviše odnosa čistoće okoliša i eksploatacije prirodnih izvora. Pri tome je opsežna geokemijska baza

podataka neophodna za smotreno upravljanje nad oba spomenuta područja.

Rezultati istraživanja prikazuju se u formi atlasa koji se sastoji od skupa monoelementnih geokemijskih karata od kojih svaka utvrđuje varijabilnost prirodnog geokemijskog pozadinskog šuma ("geochemical background") pojedinog kemijskog elementa. Ovaj se pozadinski šum odnosi na prirodnu raspodjelu kemijskih elemenata sadržanih u tlu i određen je njihovom prosječnom vrijednošću za istraživano područje ("baseline").

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Mineraloško-petrografski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac b.b., HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

Eliminacijom spomenute komponente na lokalnim ili regionalnim razinama može se uočiti i ocijeniti antropogeni doprinos (onečišćenje) raspodjeli kemijskih elemenata i izdvojiti područja ili zone koje se odlikuju povišenim ili čak štetnim koncentracijama. U području krša, koje u hidrogeološkom pogledu predstavlja vrlo osjetljivu cjelinu, ove karte su od neprocjenjive ekološke vrijednosti (zaštita voda, nacionalni parkovi i dr.) te predstavljaju osnovu za procjenu rizika u upravljanju okolišem.

Zbog geoloških, poglavito litoloških, strukturno-geomorfoloških i hidrogeoloških različitosti terena u sjevernim i južnim dijelovima naše zemlje, izrada geokemijske baze podataka i odgovarajućeg atlasa podijeljeni su inicijalno u dvije radne cjeline: 1) "karbonatni" tereni i 2) "nekarbonatni" tereni. Ove cjeline predstavljaju zasebne teme čitavog projekta sa zajedničkim ciljevima, postupcima i metodama istraživanja.

"Karbonatni" tereni obuhvaćaju Dinaride i Jadran, a izgrađeni su pretežito od sedimenata karbonatne platforme. U dinaridskom dijelu prevladavaju karbonatne mezozojske stijene (dolomiti i vapnenci trijasa, jure i krede), dok u priobalju značajan udio čine tercijarni sedimenti (vapnenci i turbiditne stijene paleocena i eocena).

"Nekarbonatni" tereni obuhvaćaju panonski dio sjeverne Hrvatske, zatim Žumberak, Samoborsko gorje, Kordun i Banovinu. Najstarije stijene ovih područja su metamorfiti slavonskih planina, Moslavačke, Petrove i Trgovske gore te Medvednice. Mezozojske naslage (pretežito karbonati) prisutne su na rubnim dijelovima gore navedenog gorja te na Žumberku, Samoborskom gorju, Ivanščici, Kalniku, Ravnoj gori i Požeškoj gori, dok sedimenti tercijara čine širi prsten oko spomenutog gorja. Međutim, pretežiti dio "nekarbonatnih" terena izgrađen je od kvartarnih sedimenata koje najvećim dijelom čine prapor i aluvijalni šljunci, pijesci i gline poplavnih dolina rijeka Save, Drave, Mure i Dunava te njihovih pritoka (GEOLOŠKA KARTA REPUBLIKE HRVATSKE 1:300.000, 2000).

Razvoj tala na "nekarbonatnim" terenima može karakterizirati vlaženje samo oborinskim vodama bez dopunskog vlaženja sa slobodnim procjeđivanjem kroz profil i bez dužeg zadržavanja vode (automorfna tla) ili prekomjerno vlaženje oborinskim i dodatnim vodama (hidromorfna tla) (ŠKORIĆ, 1986; MARTINOVIĆ, 1997). Sukladno Namjenskoj pedološkoj karti Republike Hrvatske 1:300.000 (BOGUNOVIĆ et al., 1996), automorfna tla rasprostranjena su pretežito na uzvišenijim dijelovima savsko-dravskog međuriječja, a predstavljena su najvećim dijelom lesiviranim tlima na praporu (ovisno o litološkoj podlozi). Hidromorfna tla vezana su najvećim dijelom za poplavne ravnice rijeka Save, Drave, Mure, Kupe i Dunava te njihovih pritoka. U "karbonatnim" terenima, karakter geološke podloge daleko snažnije utječe na raspodjelu karakterističnih tipova tala. Naglašen je kontrast između karbonatnog i nekarbonatnog matičnog supstrata, pa je jedan tip tala

vezan uz "čiste" vapnence i dolomite, uključujući i njihove laporovite varijetete, a drugi koji je znatno manje zastupljen, uz fliš i paleozojske klastične stijene (uglavnom u Gorskom kotaru). U prvom slučaju najzastupljenije su crvenice (terra rosse) i smeđa tla (kalcikambisoli) koje su uglavnom vezani za primorski pojas, te crmice (kalcimelanosoli) i rendzine u gorskim područjima i zaobalju. U drugom slučaju najčešće su rendzine (na flišu) i kisela smeđa tla (BOGUNOVIĆ et al., 1996). Velik dio ovih drugih pretvoren je obrađivanjem u antropogena tla koja su u potpunosti izgubila svoj primarni karakter i vezu s geološkom podlogom.

2. UZORKOVANJE, PRIPREMA UZORAKA, ANALITIKA I BAZA PODATAKA

Istraživanja su pokazala da u usporedbi s vodotočnim sedimentima gotovo svi elementi u tlu pokazuju višu prirodnu varijabilnost koncentracija, bez obzira na tip tla, što omogućuje manju gustoću uzorkovanja, prikladniju regionalnom okviru istraživanja. Budući da je izbor sredine uzorkovanja u skladu s preporukama IGCP-a i FOREGS-a (npr. DARNLEY et al., 1995; PROHIĆ et al., 1997a), gdje je tlo svrstano u prvu grupu uzorkovanih materijala (regolit) s najširoom geokemijskom uporabljivošću, ovom su metodom geokemijskog kartiranja objedinjena sva područja Republike Hrvatske.

Uzorkovan je profil tla do dubine od 25 cm (ispod A_{mo} ili A_{oh} horizonta). Svaki uzorak predstavlja kompozit od 5 uzoraka uzetih na površini od oko 400 m². Ukupna masa homogeniziranih uzoraka iznosila je od 3 do 5 kg.

Položaj točaka i gustoća uzorkovanja definirani su polaganjem pravilne kvadratne mreže jedinične površine 25 km² preko cjelokupnog teritorija Republike Hrvatske. Slučajnost izbora mjesta uzorkovanja osigurana je metodom slučajnog izbora točaka tijekom izrade inicijalnog projekta geokemijskog kartiranja karbonatnih terena, a ishodište jediničnih površina veličine 5 x 5 km palo je u područje Istre (PIRC et al., 1991). U svrhu izrade atlasa geokemijskih karata nacionalnih parkova koji se smatraju ekološki zaštićenim oazama primijenjena je i gušća mreža uzorkovanja s jediničnom površinom 1 km² (1 x 1 km), za sada tek na području NP Risnjak, Brijuni i Mljet. Ova mreža je, s ciljem kritičkog istraživanja i znanstvenog utvrđivanja prirodnog geokemijskog pozadinskog šuma u karbonatnom, krškom okolišu, primijenjena i na području Sinjskog polja (PROHIĆ et al., 1995, 1998).

Brojnim geokemijskim istraživanjima pokazalo se da je za kemijsku analizu optimalna frakcija čestica tla manja od 0,180 mm. Frakcija koja je korištena u ovom projektu ima dimenziju čestica <0,063 mm (glinovita komponenta). Priprema uzoraka odvija se u dvije faze. U prvoj se obavlja fizička obrada uzoraka koju čini sušenje na sobnoj temperaturi i sijanje, nakon čega se prosijani uzorci dalje homogeniziraju u ahatnom mlinu. U

drugo fazi uzorci se podvrgavaju kemijskoj pripremi koja zahtjeva njihovo prevođenje u otopinu smjesom koncentriranih kiselina $\text{HCl} + \text{HF} + \text{HNO}_3$ u mikrovalnom digestoru ili pak smjesom kiselina $\text{HClO}_4 + \text{HCl} + \text{HF} + \text{HNO}_3$.

Kemijske analize uzorkovanih tala obavljene su pomoću simultane multielementne analize atomskom emisijskom spektrometrijom s induktivno spregnutom plazmom (ICP-AES) i atomske adsorpcijske spektroskopije (AAS). Ovim tehnikama analizirani su slijedeći elementi: Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Ag, Au, U, Th, Sr, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, W, Al, Na, K, Zr, Be, Y, Nb, Sc i Hg. Kontrola točnosti analitičkih tehnika ostvarena je pomoću međunarodnih geokemijskih referentnih standarda U.S.G.S. iz serije GXR, SJS i SO, a ponovljivost pomoću paralelnih analiza uzoraka. Koeficijenti varijacije za točnost i preciznost su redovito manji od 5 %.

Baza podataka sadrži podatke prikupljene na terenu, kartografske i analitičke podatke. Terenska opažanja zabilježena na tipiziranim dnevnicima tijekom uzimanja uzoraka sadrže opće informacije kao što su broj uzoraka, naziv TK 1:25.000, pripadnost županiji, tip reljefa, veličina i smjer nagiba terena, HCl reakciju, granulometriju, boju tla, vrstu potencijalnog izvora onečišćenja (ako je prisutan), nakupine u tlu, vrstu organske tvari u tlu (ako je prisutna) te datum i imena djelatnika koji su obavili uzorkovanje. Kartografski podaci koji su očitani iz topografskih karata sadrže zemljopisne koordinate i nadmorsku visinu. Podaci koji su očitani iz geoloških karata sadrže litologiju i starost podloge, a pedološki podaci odnose se na tip tla. Analitički dio baze podataka sadrži sve numeričke vrijednosti koncentracije elemenata dobivene različitim analitičkim tehnikama. Sadašnja baza podataka sadrži informacije o 1.150 lokacija, a ukupno bi trebala sadržavati informacije o preko 3.000 lokacija. Osnovni statistički parametri procijenjeni su kako bi se proučila raspodjela analiziranih kemijskih elemenata, a prikazani su u atlasima pojedinih regija, pojedinačnim radovima i izvješćima istraživačkih projekata (HAUSBERGER et al., 1995; PROH-IĆ et al., 1997a, b; PEH & MIKO, 1999; HALAMIĆ & GALOVIĆ, 1999; MIKO et al., 1999a).

Prostornu varijabilnost geokemijskih podataka najpreglednije je prikazati u vidu geokemijskih karata, bilo da je riječ o kartama pojedinačnih elemenata ili elementnih asocijacija.

Za izradu geokemijskih karata korišten je komercijalni kompjuterski program koji omogućuje linearnu interpolaciju između prostorno raspoređenih podataka te izradu odgovarajućih konturnih karata. Program SURFER® korišten je za interpolaciju podataka tehnikom gridinga koja omogućuje procjenu vrijednosti u čvorovima ("grid node") pravilne mreže koja se postavlja preko postojeće mreže nepravilno distribuiranih točaka uzorkovanja. Izolinije koncentracija, tj. konture koje se provlače kroz interpolirane čvorove, definirane su pomoću kumulativnih dijagrama vjerojatnosti, a na

osnovi percentila, tako da su konture određene kao vrijednosti za 10, 25, 50, 90, 95, 98 i 99 percentil normalne distribucije pojedinog elementa.

3. RASPODJELA KEMIJSKIH ELEMENATA

Ukupni sadržaj kemijskih elemenata u tlu je rezultat doprinosa iz nekoliko izvora: matične stijene, atmosferskog odlaganja, umjetnih gnojiva, agrokemikalija, organskih otpada i drugih anorganskih onečišćivača, te gubitaka koji su posljedica rasta biljaka, izluživanja i volatilacije.

Rasponi sadržaja analiziranih kemijskih elemenata za područja Hrvatske, gdje su dosada obavljena uzorkovanja prikazani su u tablici 1. U toj tablici prikazani su osnovni statistički parametri za koncentracije analiziranih elemenata u tlima sjeverozapadne Hrvatske, zapadne Hrvatske te srednje i južne Dalmacije. Uspoređeni su medijani svih analiziranih uzoraka koji su podijeljeni na dva glavna geološko-geografska područja, "karbonatne" terene i "nekarbonatne" terene. "Nekarbonatni" tereni su analogni sjeverozapadnoj Hrvatskoj, a područje zapadne Hrvatske te srednje i južne Dalmacije čine zajedno "karbonatne" terene. Vidljivo je da, prema dosadašnjim istraživanjima, tla razvijena na karbonatima imaju viši prosječni sadržaj svih elemenata osim K, Na, Mg i Ba, makar se vrijednosti kreću u sličnim rasponima. U odnosu na nekarbonatna područja, tla razvijena na karbonatnim terenima u prosjeku imaju viši ukupni srednji sadržaj Al, As, Co, Cu, Fe, La, Mn, Pb, Ni, Mn, Th, V, Cr, Zn i Zr i Nb, te isti ili blizak sadržaj Sr, P i Ti. Opis distribucije nekoliko odabranih potencijalno toksičnih elemenata u dosada analiziranim tlima u Hrvatskoj je sljedeći:

Arsen

Sadržaj arsena varira od 1,8 do 60 mg/kg s medijanom od 8 mg/kg u sjeverozapadnoj Hrvatskoj što je vrlo slično tlima na teritoriju Slovačke (VRANA et al., 1997), dok je prosječna vrijednost oko 14 mg/kg u tlima razvijenim na karbonatnim terenima. U rendzinama iznad dolomita i mekih vapnenaca izmjerene su i povišene koncentracije arsena, a također i na intenzivno obrađivanim poljoprivrednim površinama (npr. okolica Varaždina).

Niske koncentracije registrirane su u donjem Polonju, Marijagoričkom pobrđu, okolici Sv. Ivana Zeline, okolici Sesveta, okolici Jastrebarskog, Vukomeričkim goricama i gornjem porječju Sutle. Najviši sadržaj ovog elementa u tlima na karbonatnim terenima vezan je uz razne tipove crvenica na vapnencima, dolomitima i laporovitim vapnencima i kreće se pretežito oko 20 mg/kg. Tla nastala na flišu, aluviju i siparima redovito sadrže niske koncentracije arsena koje su najčešće ispod 10 mg/kg. Područja s najvišim sadržajem ovog elementa nalaze se na istočnim obroncima Dinare, u blizini Sinja, te u okolici Stona, gdje su koncentracije u tlu preko 40 mg/kg.

	Broj Uzoraka Number of samples	Republika Hrvatska Republic of Croatia					Karb. tereni Carb. terrains	Nekarb. tereni Non carb. terrains
		Aritmet. sredina Mean	Medijan Median	Min. Min.	Maks. Max.	Raspon Range	Medijan Median	Medijan Median
Al (%)	1143	7,23	7,32	0,70	14,04	13,34	7,58	6,90
As (mg/kg)	984	14	12	2	74	72	14	8
Ba (mg/kg)	1151	345	326	35	3300	3265	300	408
Ca (%)	1153	3,77	1,41	0,05	35,09	35,04	1,69	0,66
Cd (mg/kg)	293	0,4	0,1	0,1	9,4	9,3	-	0,1
Co (mg/kg)	1152	15	15	2	120	118	16	11
Cr (mg/kg)	1153	104	96	10	2.270	2.260	102	80
Cu (mg/kg)	1153	49	34	5	923	918	39	23
Fe (%)	1153	3,68	3,67	0,40	35,00	34,60	3,19	3,88
Hg (mg/kg)	293	94	60	5	4535	4530	-	60
K (%)	1024	1,34	1,36	0,12	3,28	3,16	1,21	1,64
La (mg/kg)	1151	45	43	4	577	573	49	35
Mg (%)	1152	1,09	0,75	0,05	10,47	10,42	0,75	0,80
Mn (mg/kg)	1153	844	770	59	10000	9941	899	562
Na (%)	1151	0,51	0,43	0,02	3,21	3,19	0,35	0,79
Nb (mg/kg)	1024	13	12	1	101	100	14	9
Ni (mg/kg)	1153	65	59	7	427	420	67	36
P (%)	1024	0,076	0,064	0,016	0,68	0,664	0,07	0,06
Pb (mg/kg)	1153	46	42	9	720	711	48	30
Sb (mg/kg)	293	1,0	0,9	0,3	6,6	6,3	-	0,9
Sc (mg/kg)	1023	11	11	1	34	33	11	9
Sr (mg/kg)	1153	120	98	20	1.200	1.180	94	107
Th (mg/kg)	1024	14	13	2	29	27	14	11
Ti (%)	1153	0,39	0,41	0,05	7,00	6,95	0,40	0,41
V (mg/kg)	1153	125	117	16	2000	1984	127	98
Y (mg/kg)	1024	25	24	4	201	197	27	16
Zn (mg/kg)	1153	101	94	16	974	958	100	80
Zr (mg/kg)	1023	73	62	9	1583	1574	76	38

Tablica 1 Sadržaj kemijskih elemenata u tlima sa područja Hrvatske zahvaćenih dosadašnjim istraživanjima.

Table 1 The content of chemical elements in soils from Croatia based on the investigations performed up to present.

Bakar

Sadržaj bakra u sjeverozapadnoj Hrvatskoj kreće se od 5 do 248 mg/kg s medijanom od 26 mg/kg. Koncentracije iznad dopuštenih vrijednosti registrirane su na dva mjesta uzorkovanja i najvjerojatnije su antropogenog podrijetla. Nalaze se južno od Kalnika i na Vukomeričkim goricama.

Povišene vrijednosti izmjerene su u tlima koja su pod utjecajem intenzivnog vinogradarstva tj. kontaminacije bakrenim sulfatom. Niske koncentracije bakra karakteriziraju Maceljsko gorje, Vukomeričke gorice (s izuzetkom antropogene anomalije) i sjeverozapadne obronke Medvednice.

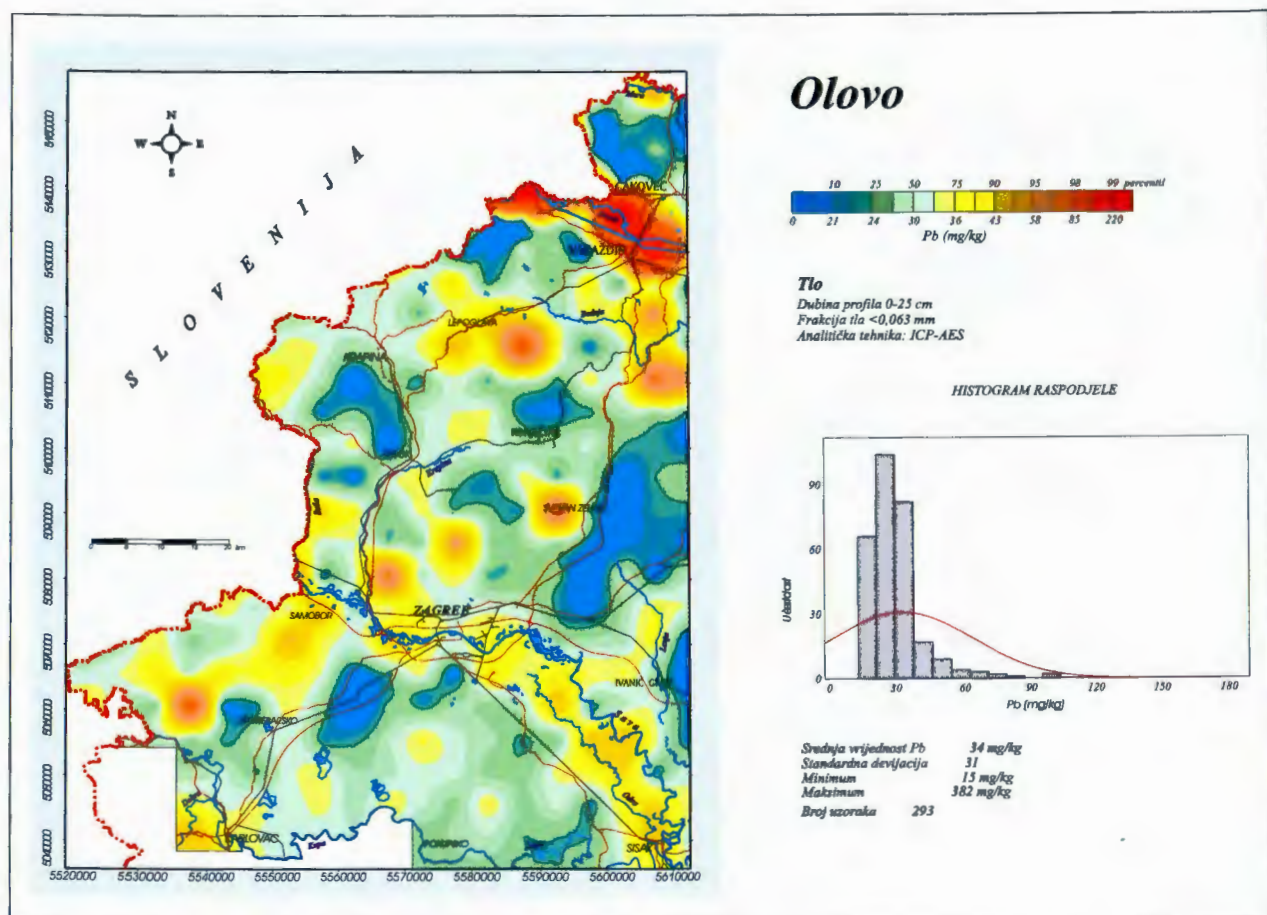
Sadržaj bakra u analiziranim tlima karbonatnih terena varira u rasponu od 6 do 923 mg/kg, a medijan iznosi 39 mg/kg. Najviši sadržaj vezan je uz aluvijalna tla i smeđa tla razvijena na flišu, te uz voćnjake, maslinike i

vinograde, što nesumnjivo upućuje na njegovo antropogeno porijeklo. Područja s najvišim koncentracijama bakra obuhvaćaju južni rub Sinjskog polja, gdje su vrijednosti mjestimično i preko 300 mg/kg, zatim Konavosko polje (oko 200 mg/kg) te deltu rijeke Neretve (do 250 mg/kg).

Olovo

Rasprostranjenje olova u sjeverozapadnoj Hrvatskoj kreće se od 15 do 385 mg/kg, s medijanom od 30 mg/kg. Visoke anomalije prate porječje alpske rijeke Drave i vezane su za njena poplavna područja. Podrijetlo im može biti i prirodno i antropogeno.

Povišene vrijednosti u granicama dopuštenih koncentracija registrirane su isto uz alpske rijeke Savu i Muru te u poplavnim ravnica Odre i Sutle. Tolike vrijednosti izmjerene su i u pojedinačnim uzorcima na Žum-



Sl. 1 Raspodjela olova u tlima sjeverozapadne Hrvatske.

Fig. 1 The distribution of lead in soils of Northwestern Croatia.

beračkom gorju, Samoborskom gorju, Medvednici, Ivanšćici, Kalniku i Varaždin-bregu (sl. 1). Uzrok povećane koncentracije olova na Samoborskom gorju su rudnjenja. Niske koncentracije olova izmjerene su u srednjem Polonju, Međimurju, na području između Krapine, Zaboka i Kumrovcu te na području između Samoborskog gorja i Vukomeričkih gorica.

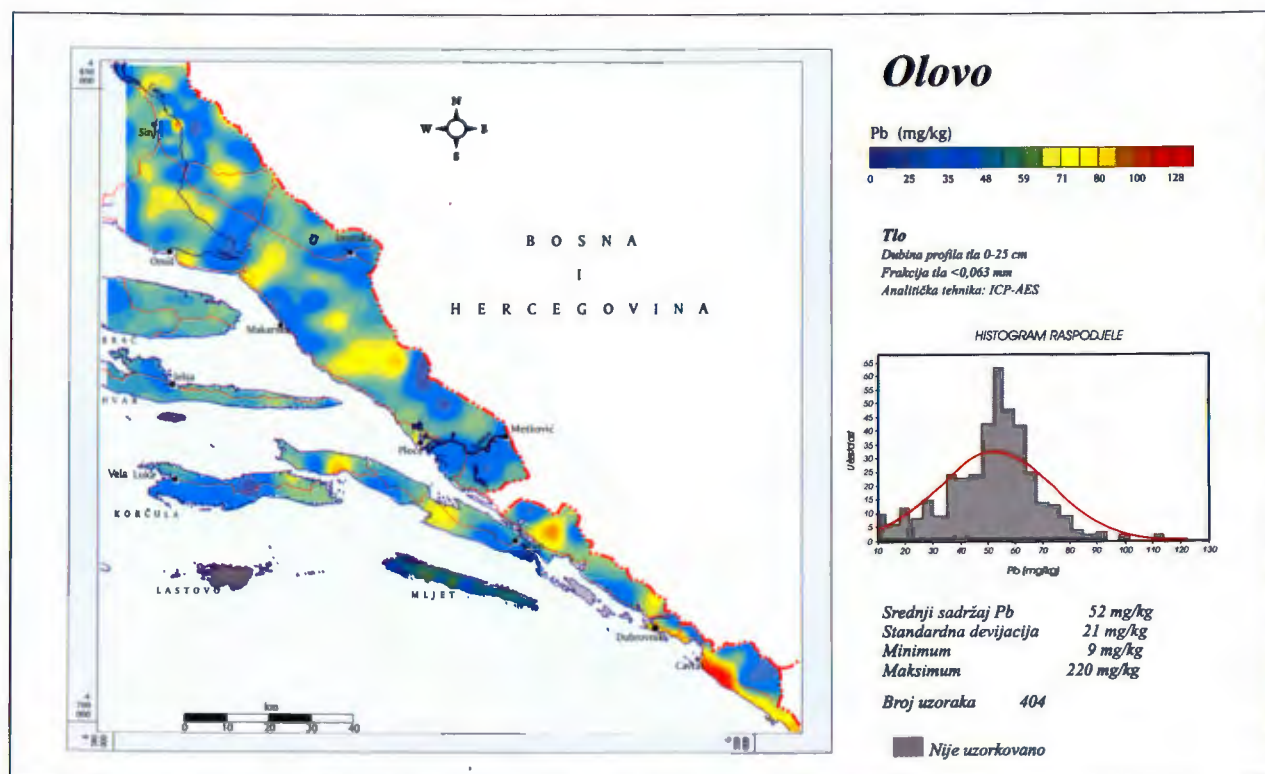
Sadržaj Pb u tlima na karbonatnim terenima varira u rasponu 9-220 mg/kg, s medijanom od 48 mg/kg. Postoji velika razlika u sadržaju kod tipova tla razvijenih na karbonatnim i nekarbonatnim podlogama. Najviše vrijednosti koje, međutim, ne prelaze znatnije srednju vrijednost u području južne i srednje Dalmacije, vezane su za smeđa tla, crvenice i crnice na vapnencima i dolomitima (<60 mg/kg). Nasuprot tome, smeđa tla, eugleji i aluvijalna tla koja leže pretežito na flišnim pješčenjacima i laporima te raznim tipovima kvartarnih sedimenata poput riječnih, jezerskih i barskih taložina, odlikuju se izrazito niskim koncentracijama olova (20-30 mg/kg). Područja s najnižim sadržajem Pb uglavnom su vezana za područja krških depresija (sl. 2). Povećane koncentracije olova u tlu, koje bi mogle ukazivati na onečišćenje (>100 mg/kg) zamijećuju se najviše u području Konavala (zračna luka) i NP Risnjak (MIKO et al., 1999b).

5. OSNOVNA GEOKEMIJSKA KARTA HRVATSKE - SADAŠNJE STANJE I UPOTREBA PODATAKA U ZAŠTITI OKOLIŠA

Dosadašnjim geokemijskim kartiranjem obuhvaćeno je više od 2/5 teritorija Republike Hrvatske, a završetak se planira tijekom slijedećih pet godina.

Rezultati istraživanja u sklopu izrade geokemijske karte Republike Hrvatske prikazuju se u formi atlasa koji se sastoji od skupa monoelementnih geokemijskih karata (grafički prikaz na CD-ROM-u) od kojih svaka utvrđuje varijabilnost prirodnog geokemijskog pozadinskog šuma ("geochemical background") pojedinog kemijskog elementa. Ovaj se pozadinski šum odnosi na prirodnu raspodjelu kemijskih elemenata sadržanih u tlu i određen je njihovom prosječnom vrijednošću za istraživano područje ("baseline"). Eliminacijom spomenute komponente na lokalnim ili regionalnim razinama može se uočiti i ocijeniti antropogeni doprinos (onečišćenje) raspodjeli kemijskih elemenata i izdvojiti područja ili zone koje se odlikuju povišenim ili čak štetnim koncentracijama.

U području krša, koje u hidrogeološkom pogledu predstavlja vrlo osjetljivu cjelinu, ove karte su od ne-



Sl. 2 Raspodjela olova u tlima srednje i južne Dalmacije.

Fig. 2 The distribution of lead in soils of Middle and Southern Dalmatia.

procjenjive ekološke vrijednosti (zaštita voda, nacionalni parkovi i dr.) te predstavljaju osnovu za procjenu rizika u upravljanju okolišem.

6. LITERATURA

- BOGUNOVIĆ, M., VIDAČEK, Ž., RACZ, Z., HUSNJAK, S. & SR-
AKA, M. (1996): Namjenska pedološka karta, Mjerilo 1:300.
000.- Agronomski fakultet Sveuč. u Zagrebu, Zavod za pedologi-
ju, Zagreb.
- DARNLEY, A.G., BJÖRKLUND, A., BOLVIKEN, B., GUSTAVS-
SON, N., KOVAL, P.V., PLANT, J.A., STEENFELT, A., TAU-
CHID, M., XIE XUEJING, GARRET, R.G. & HALL, G.E.M.
(1995): A global geochemical database for environmental and
resource management.- Final report of IGCP Project 295, UNE-
SCO Publishing, Paris, 122 str.
- GEOLOŠKA KARTA REPUBLIKE HRVATSKE 1:300.000
(2000).- Zavod za geologiju Instituta za geološka istraživanja,
Zagreb.
- HALAMIĆ, J. & GALOVIĆ, L. (1999): Geochemical maps of North-
western Croatia (in Croatian).- Institut za geološka istraživanja,
Fond stručne dokumentacije, br 72/99, Zagreb, 111 str.
- HAUSBERGER, G., DAVIS, J.C., PROHIĆ, E., HOCHREITER, M.
& BUKOVEC, D. (1995): Report on map documentation, geosta-
tistics and geochemical interpretation of a soil survey in Istria,
Gorski Kotar, Cres, Rab and Krk (Croatia).- Geologische Bundes-
anstalt, Wien, Institute of Geology, Zagreb, 38 str.
- MARTINOVIĆ, J. (1997): Tloznanstvo u zaštiti okoliša.- Državna
uprava za zaštitu okoliša, Zagreb, 288 str.
- MIKO, S., DURN, G. & PROHIĆ, E. (1999a): Evaluation of terra
rossa geochemical baselines from Croatian karst regions.- J. Geo-
chem. Explor., 66, 173-182.
- MIKO, S., PEH, Z., BUKOVEC, D., PROHIĆ, E. & KASTMÜL-
LER, Ž. (1999b): Geochemical baseline mapping and Pb pollu-
tion assesment of soils on karst in Western Croatia.- *Natura Cro-
atica* (in press).
- PEH, Z. & MIKO, S. (1999): The geochemical atlas of Middle and
Southern Dalmatia.- Open file report (in Croatian).- Institute of
Geology, Zagreb, 102 str.
- PIRC, S., McNEAL, M.J., LENARČIĆ, T., PROHIĆ, E. & SVRKO-
TA, R. (1991): Geochemical mapping of carbonate terrain.- *Bull.
Inst. Metall. Min., Applied Earth Sci.*, 100, B74-B83.
- PROHIĆ, E., MIKO, S. & PEH, Z. (1995): Normalization and trace
element contamination of soils in a karstic polje - an example fr-
om the Sinjsko Polje, Croatia.- *Geol. Croatica*, 48/1, 67-86.
- PROHIĆ, E., HAUSBERGER, G. & DAVIS, J.C. (1997a): Geoche-
mical patterns in soils of the karst region, Croatia.- *J. Geochem.
Explor.*, 60, 127-138.
- PROHIĆ, E., HAUSBERGER, G., HALLE, R., MIKO, S., KAST-
MÜLLER, Ž., SCHERMANN, O., DAVIS, J.C., HOCHREIT-
ER, M., PEH, Z., ROSS, G. & BUKOVEC, D. (1997b): Tumač
Osnovne geokemijske karte Republike Hrvatske: Rezultati dosa-
dašnjih istraživanja (Radna verzija za područje Istre, Gorskog
kotara, Cresa, Raba i Krka).- Institut za geološka istraživanja,
Zagreb, 42 str.
- PROHIĆ, E., PEH, Z. & MIKO, S. (1998): Geochemical characteri-
zation of a karst polje - an example from Sinjsko polje, Croatia.-
Environmental Geology, 33/4, 263-273.
- ŠKORIĆ, A. (1986): Postanak, razvoj i sistematika tla.- *Fakultet polj-
opriv. znan. Sveuč. u Zagrebu, Zagreb*, 172 str.
- VRANA, K., RAPANT, S., BODIŠ, D., MARSINA, K., MAŌKOV-
SKÁ, B., ČURLIK, P., ŠEPIČEK, P., DANIEL, J., LUČIVJAN-
SKY, L., LEXA, J. & PRAMUKA, S. (1997): Geochemical Atl-
as of the Slovak Republic at a scale of 1: 1.000.000.- *J. Geochem.
Explor.*, 60, 7-38.



Upravljanje podzemnim vodama u sklopu vodnoga gospodarstva Republike Hrvatske

Managing of Ground Water Resources in the Framework of Water Management in the Republic of Croatia

Dragutin GEREŠ

Ključne riječi: vodni resursi, ekosustav, slivno područje, zakonski okvir, zaštita voda.

Key words: Water resources, Ecosystem, Catchment area, Legal framework, Water pollution control.

Sažetak

Voda može postati kritički resurs razvoja u Svijetu na početku 21. stoljeća. Uravnoteženi i održivi pristup razvoju i iskorištavanju vodnih resursa je put rješavanja nadolazeće krize. U radu su ukratko definirani vodni resursi, njihovo značenje za život, zatim podzemne vode i ekosustav te slivno područje i upravljanje resursima voda. Zatim se prikazuje odnos svjetske zajednice prema vodi. Opisan je odnos okoliša i upravljanja vodama. Upravljanje vodama na slivnom području prikazano je u više dijelova, od principa do zakonskih okvira. Prikazano je vodno bogatstvo Hrvatske. Opisani su uzroci onečišćenja podzemnih voda, aktivnosti na zaštiti voda i stanje kakvoće podzemnih voda. Na kraju je poglavlje o iskorištavanju podzemnih voda za vodoopskrbu u Hrvatskoj.

Abstract

Water may become the critical resource for the development in the World in 21st century. Balanced and sustainable approach to the development and use of water resources is the way to solve the coming crisis. The paper briefly defines the water resources, their importance for life, ground water, the ecosystem and the catchment area, and management of water resources, followed by the presentation of the attitude of the global community towards water. The description is given of the relation between the environment and water management. Water management in the catchment area is presented in several parts, from the principles to the legal framework. The paper also presents the water resources in Croatia. Descriptions are also given of the reasons of ground water pollution, activities on water pollution control, as well as the status of ground water quality. The final chapter deals with the use of ground water for water supply in Croatia.

1. UVOD

Cjelokupni život na Zemlji, sve društvene i gospodarske djelatnosti oslanjaju se na količinu i kakvoću slatke vode. Opseg doprinosa vodnih resursa društvenom blagostanju i gospodarskoj produktivnosti nedovoljno se poznaje i cijeni. Podzemne vode su često zaboravljeni resurs, nema dovoljno informacija o njihovoj količini i kakvoći. Hidrosfera na Zemlji uključuje oceane, jezera, vodotoke, podzemne vode, glečere, vlagu u tlu i vodenu paru u atmosferi. U prirodi se vrši kružno kretanje vode. Podzemna voda je komponenta hidrološkog ciklusa, uskladištena ispod površine tla, u geološkim slojevima, u vodonosnicima ili akviferima. Prema načinu postanka, u podzemlju postoji juvenilna, konatna i meteorska (oborinska, atmosferska) voda, koja je u podzemlje došla s površine.

Ukupne količine u hidrosferi procjenjuju se na približno $1,5 \times 10^9 \text{ km}^3$. Od te je količine 95% slana voda, a 5% slatka voda. Podzemne vode pak čine oko 30% vodenih bogatstava svježe vode na Zemlji ili oko $22,5 \times 10^6 \text{ km}^3$.

Podzemne su vode u Hrvatskoj nejednoliko raspoređene, ovisno o klimatskim uvjetima i geološkoj građi. Područja sa znatnim oborinama osiguravaju znatno i obnovljivo punjenje vodonosnika. Temeljem geološke građe formiraju se dva tipa vodonosnika: panonski bazen na sjeveru Hrvatske i krško područje južno od Karlova. U panonskom bazenu protežu se vodonosnici međuzrnske poroznosti, a u području krša vodonosnici sekundarne pukotinske poroznosti. Zajedno s površinskim vodama vodonosnici osiguravaju dobru godišnju regulaciju vodnih bogatstava. U sušnim zonama nedostaju oborine, vodonosnici primaju manje obnovljivih količi-

na vode. U tim područjima podzemna je voda najznatniji vodni resurs. Procjeđivanje oborinskih i površinskih voda kroz porozne slojeve u vodonosnike rezultira, općenito, dobrom kakvoćom podzemnih voda. Iz tih je razloga iskorištavanje podzemnih voda za ljudske potrebe veliko, pokriva preko 90% potreba. Cjeloviti prikaz podzemnih voda u Hrvatskoj su dali BIONDIĆ (1998) i GEREŠ et al. (1998).

Podzemne su vode ugrožene zbog neprimjerenog gospodarenja. Česta je prekomjerna eksploatacija, što izaziva spuštanje njihove razine. Podzemna voda može biti onečišćena ispuštanjem otpadnih voda u rijeke ili u podzemlje, te od poljoprivrednih aktivnosti. Veoma je teško i potrebna su velika sredstva za dostizanje početnog stanja kakvoće podzemne vode nakon njezina onečišćenja.

Ekosustav podzemnih voda karakteriziraju vječni mrak, stalne temperature vode, povećane koncentracije ugljičnog dioksida uz male koncentracije otopljenog kisika i organske tvari. U takvim prilikama života prirodno stanište imaju specijalizirani hidrobionti. U podzemnim vodama ne nalaze uvjete života autotrofni organizmi, alge ni više biljke jer je svjetlost izvor njihove životne energije. Procesima samoočišćenja možemo zahvaliti što imamo razmjerno čistu i zdravu podzemnu vodu.

Riječni bazen ili slivno područje uključuje mrežu vodotokova, koji dreniraju slivno područje, kao i podzemne vode unutar vododjelnice, površinske ili podzemne. Upravljanje resursima vode u slivu znači poznavati vodno bogatstvo i njihovo iskorištavanje, kakvoću voda i onečišćivače ili zagađivače, znači zaštitu od poplava velikih voda i zaštitu ekosustava. Princip integralnog upravljanja slivom vodotoka znači da se navedena pitanja ne rješavaju izolirano, već se uzima u obzir interakcija među svim pitanjima vodnih resursa. Podzemnim vodama mora se upravljati i zaštititi ih u najvećoj mjeri kako bi se osiguralo njihovo održivo iskorištavanje za vodoopskrbu, gospodarstvo i poljoprivredu. Potrebno je procijeniti raspoložive i obnovljive količine podzemnih voda kao preduvjet racionalnog gospodarenja. Održivo upravljanje podzemnim vodama mora biti povezano s površinskim vodama u integralnom pristupu na razini sliva, na regionalnoj razini i na području cijele zemlje. Vodnom politikom treba definirati sve aktivnosti vezane za podzemne vode, njezino iskorištavanje i zaštitu od onečišćenja (ŠARIN et al., 1997).

2. VODA I SVJETSKA ZAJEDNICA

2.1. GLOBALNI PROBLEM VODNIH RESURSA

Stanovništvo u svijetu i dalje se povećava i svi pokazatelji ukazuju da će i dalje rasti u narednih nekoliko desetljeća. Ponor između bogatih, industrijski razvijenih zemalja svijeta i ostalih zemalja u razvoju je u stalnom povećanju. U zoru 21. stoljeća prognoza je sigurna: novo stoljeće donosi mnoge izazove. Globalni prob-

lemi imaju direktan ili indirektan utjecaj na opći razvoj pitanja vode, koja je ograničeni resurs na globalnoj razini (BISWAS, 1992).

Očekuje se kriza u pitanjima iskorištenja vodnih resursa. Kriza je i danas prisutna u zemljama s nedovoljnim količinama vode. Svijet je bio u prošlosti zaokupljen s ostalim krizama, kao što su kriza energije, hrane, okoliša, dugova itd., međutim problem vode nikada nije izazvao globalnu pažnju (POSTEL, 1992).

Neki pokazatelji govore da je potrošnja vode u 20. stoljeću, od 1900. do 2000. godine porasla približno 10 puta. Jasno je da se ovaj fenomen porasta potrošnje vode ne može održati u 21. stoljeću (IBRD, 1992). Postoje fizikalna, ekonomska, tehnološka i okolišna ograničenja za razvitak novih izvorišta vode. Dosadašnji planerski i prilaz donosioca odluka, koji se može sažeti u "business kao uvijek" rješenja, više neće biti dovoljan niti odgovarajući. Porast se potrošnje vode događa zbog povećanja stanovništva. To znači da znatno raste potrošnja vode za kućnu upotrebu, poljoprivredne i industrijske potrebe i proizvodnju električne energije. Potrebno je istaći da su skoro sve zemlje u razvoju smještene u tropskom ili subtropskom klimatu, koji je obilježen izmjenama kišnih i sušnih sezona. Kritično pitanje u narednom stoljeću biti će problem nerazvijenih zemalja u pribavljanju dovoljno kapitala za izgradnju održivih vodnogospodarskih projekata. Slijedeći uzrok povećanoj potrošnji vode je veća potreba za vodom zbog povećanog standarda života. Povećanje stanovništva i porast životnog standarda negativno će djelovati na vodne resurse u budućnosti. Opseg proizvodnje povećanog broja ljudi, od produkcije kućnog otpada do poljoprivrednog i industrijskog razvoja uvjetuje nepovoljne utjecaje na resurse. Otpadni proizvodi bi se trebali tretirati-pročišćavati prije ispuštanja u okoliš. Bez monitoringa nije moguće dobiti jasnu sliku o stanju kakvoća voda. Na osnovu ograničenih i nedovoljnih informacija ipak se može reći da je problem ozbiljan u blizini urbanih centara, posebno za podzemnu vodu i jezera kao i za mnoge vodotokove. To znači da se zbog ozbiljnih problema onečišćenja ili zagađenosti mnoga izvorišta vode neće moći koristiti, posebno ne kao voda za piće.

Količina vode koju troši pojedina zemlja u nekom specifičnom vremenu je u biti funkcija gospodarstva, tehnologije i raspoloživosti investicija. Do danas su uglavnom većina izvorišta vode, koja su u blizini potrošača i koja su se razvila s relativno niskim investicijama već osvojena. Nova su izvorišta, koja treba razvijati u budućnosti, tehnološki kompleksnija, ekonomski nepovoljnija i često s većim zahtjevima u pogledu zaštite okoliša. Izvješće Svjetske banke (1992) pokazuje da se troškovi svakog kubnog metra vode dva do tri puta veći za narednu generaciju u odnosu na sadašnju generaciju.

Zaključujući ova opća pitanja svjetske zajednice i vodnih resursa, mogu se navesti neke općenite prognoze:

- za zadovoljenje potreba vode povećanog broja ljudi potrebno je sve više i više vode,

- osiguranje vode za ekosustave postaje sve važnije društveno-političko pitanje,
- kako su već iskorištena povoljna izvorišta vode, budući vodni projekti će biti skuplji, tehnološki kompleksniji, a izgradnja tih zahvata će trajati dulje vrijeme,
- ako se ostvari stopa rasta evidentno je da većina zemalja neće imati dovoljno vode za zadovoljenje potreba za različite korisnike, među kojima će rasti konflikti u pitanjima podjele vode,
- iako se uočava težina problema, kod većine uprave vodnih resursa i donosioca odluka još se ne primjećuju promjene u dosadašnjoj praksi upravljanja vodnim resursima.

2.2. PITANJE VODA U MEĐUNARODNIM DOKUMENTIMA

Problem nestašice vode postaje globalni problem. Svjetska zajednica ga pokušava analizirati i predložiti obrađene akcije. Na međunarodnoj konferenciji eksperata o vodi i okolišu (ICWE), koje je održana u siječnju 1992. godine u Dublinu u organizaciji UN pokušalo se definirati održivu vodnu politiku i program akcija za nadolazeću svjetsku konferenciju u Rio de Janeiru. Rezultati konferencije u Dublinu, uz naznake ideja i programa, očituju se u kritičnim pitanjima koliko će koštati takvi programi, tko će osigurati sredstva i tko će izvoditi programe. Na ekspertske konferenciji u Dublinu su se mogli naznačiti problemi i dati preporuke za vladinu konferenciju UNCED u Riju. Razlika između sastanka eksperata i vladinih konferencija je vrlo značajna, posebno u kontekstu Organizacije ujedinjenih naroda. Tako se dogodilo da osnovni dokument konferencije UN o okolišu i razvitku (UNCED) održane u Rio de Janeiru u lipnju 1992. godine, AGENDA 21, ne sadrži niti skromne doprinose konferencije u Dublinu (UNCED, 1992 i ICWE, 1992).

Oduvijek se smatra da je voda vitalni sastavni dio razvoja u prošlosti, a trendovi ukazuju da će voda postati kritični resurs u budućnosti. Potražnja za vodom će znatno rasti u narednim desetljećima. Zbog ekonomskih, okolišnih i političkih razloga, nije vjerojatno da postojeći pristup kontinualnog proširivanja opskrbe da bi se zadovoljile potrebe može biti stvaran pristup. Različiti pristupi u upravljanju potražnjom vode moraju se temeljito razmotriti u bliskoj budućnosti, međutim mora se reći da to neće biti jednostavan proces, na pr. primjena principa "korisnik plaća" zbog postojećih društveno-političkih i institucionalnih ograničenja. Interesi nerazvijenih i razvijenih zemalja svijeta su danas različiti, već i u pitanjima prioriteta. Za zemlje u razvoju voda je kritično pitanje, dok to nije za razvijene zemlje kojima je dominantno pitanje kakvoće vode. U vrijeme prije nastupa 21. stoljeća, naša profesija ima dva izbora: nastaviti kao i ranije s "business as usual" aktivnostima koje nastoje riješiti buduće probleme na temelju iskustva iz prošlosti ili nastaviti ubrzanim naporima u identificiranju problema budućnosti i susresti se s izazovima u primjeni održivih rješenja.

3. OKOLIŠ I UPRAVLJANJE VODAMA

Pitanja okoliša i upravljanje vodama pobuđuje posebnu pažnju. Kao u mnogim ostalim društvenim pitanjima, niti ovdje ne postoji opća suglasnost oko ove kompleksne teme. Postoje mnogi koji se bave razvitkom, koji bi željeli ostvariti što veći broj vodnogospodarskih projekata što je prije moguće ali s površnim ili letimičnim istraživanjem utjecaja na okoliš. Ta grupa planera izabire brzi razvoj, dodajući samo formalnu važnost različitim pitanjima okoliša i društva.

Suprotna gornjoj grupi planera je grupa koja prenačava pitanja okoliša u razvitku. U stvari, oni se zalažu za "ništa nigdje graditi", pod bilo kojim uvjetima. Njihova se djelatnost može opisati u smislu "ništa u mom dvorištu" ili "apsolutno ne graditi bilo gdje blizu bilo čega". Ova grupa planera, koja bi se mogla nazvati i "environmentalistima", danas uživa veliku pažnju javnosti, jer ih prate svi mediji. Pogledi i ciljevi obje grupe planera su pogrešni. Danas je evidentno da je prošlo vrijeme velikih infrastrukturnih razvojnih projekata koji su se izvodili bez ozbiljnih procjena utjecaja na okoliš. Objektivni promatrač ne može zbog toga žaliti. Osnovno je da se svi novi vodnogospodarski projekti planiraju i upravlja s dugoročnom održivošću. Jednako je važno da se pažljivo upravlja postojećim projektima koji su u pogonu, da bi se osigurala kontinuirana raspoloživost voda za više nadolazećih desetljeća. Bez takvih dogovornih i cjelovitih pristupa, nestašica vode u budućnosti biti će ozbiljnija nego što se danas može racionalno pretpostaviti.

U konačnim analizama, krajnji ciljevi obje interesne grupe morali bi biti jednaki: kako osigurati razvitak koji će biti usuglašen u pogledu očuvanja okoliša. Ako se taj cilj ne prihvati a nastavi se razilaženje između dvije grupe planera, problem upravljanja vodnim resursima u budućnosti može postati ozbiljniji i kompleksniji nego što je danas.

4. UPRAVLJANJE VODAMA NA SLIVNOM PODRUČJU

4.1. PRINCIPI UPRAVLJANJA VODAMA

Upravljanje vodama temelji se na zaštiti vodnih resursa i njihovim iskorištavanjem i zaštitom od štetnog djelovanja na području sliva ili rječnog bazena te na ekološkim vrijednostima sliva. To se može nazvati integralnim upravljanjem vodnim resursima i okolišem.

Koncept upravljanja slivnim područjem, koji uključuje površinske podzemne vode na slivu, znači da se odluke donose za sliv kao cjelinu. Ključna pitanja čine: vodni resursi ili zalihe, koncesije za korištenje zaliha voda, kakvoća voda, količina onečišćenih voda, kontrola velikih voda i obrana od poplava te zaštita ekosustava. Princip integralnog upravljanja rječnim bazenom znači da se navedena pitanja ne razmatraju pojedinačno već se pri donošenju odluka uzimaju u obzir ekološke i

Red. br.	Sliv	Površina km ²	Srednje godišnje količine			Minimalne godišnje količine	
			Q m ³ /s	W 10 ⁶ m ³	q l/skm ²	Q ₉₅ m ³ /s	W ₉₅ 10 ⁶ m ³
1.	Crno more	33.940	719	22.674	21,2	191	6.023
2.	Jadransko more	22.598	319	10.060	14,1	23	725
3.	Ukupno	56 538	1 038	32 734	18,4	214	6 748

Tablica 1 Vodni resursi koji nastaju na području Hrvatske.

Table 1 Water resources originating on the territory of Croatia.

Naziv		Srednje godišnje količine			Izraženo visinom H mm
		Q m ³ /s	W 10 ⁶ m ³	q l/skm ²	
OTJECANJE:	tranzitno	1.038	32.734	18,4	579
	lokalno	3.668	115.674	-	2.046
	Ukupno	4.706	148.408	-	2.625
OBORINE, UKUPNO		1.952	61.570	34,5	1.089

Tablica 2 Ukupni vodni resursi Hrvatske.

Table 2 Entire water resources in Croatia.

SLIV		Maksimalna procjena zaliha				Minimalna procjena zaliha	
		Obnovljive		Stalne		Obnovljive	
		m ³ /s	10 ⁶ m ³ /god.	m ³ /s	10 ⁶ m ³ /god.	m ³ /s	10 ⁶ m ³ /god
1.	Crno more	357	11.255	3.022	90.304	69,8	2.201
2.	Jadransko more	602	18.996	-	-	108,2	3.415
3.	Ukupno	959	30.251	3.022	90.304	178	5.616

Tablica 3 Bilanca podzemnih voda Hrvatske.

Table 3 Ground water balance in Croatia.

ostale vrijednosti. Princip se može proširiti na pitanja korištenja prostora (izgradnja, poljoprivreda, industrija, otpad), u slučajevima gdje difuzni ulazi onečišćenja mogu utjecati na kakvoću površinskih i podzemnih voda. To dovodi do šireg pogleda na integrirano upravljanje slivnim područjem, tj. to je upravljanje svim dijelovima okoliša na geografskoj osnovi rječnog sliva (GEREŠ, 1995).

4.2. VODNO BOGATSTVO HRVATSKE

Hrvatska se nalazi na jugu centralne Europe. Geografski lik Hrvatske, uz geopolitičke čimbenike, određen je prirodnim obilježjima, posebno velikim rijekama i krškim obalnim područjem. Hidrografski, oko 60% površine Hrvatske pripada slivu Crnog mora a oko 40% površine pripada slivu Jadranskog mora.

Regionalnu analizu i prikaz vodnog bogatstva Hrvatske dao je GEREŠ (1998). U narednim tablicama prikazuju se bilance površinskih i podzemnih voda.

U tablicama su prikazane veličine prosjeka višegodišnjih protjecanja Q, ukupnog godišnjeg otjecanja W, višegodišnjeg protjecanja q i otjecanja malih voda 95% osiguranja.

Podzemne vode u Hrvatskoj nisu dovoljno istražene. Uočljiva je i nejednakost istraženosti različitih vrsta podzemnih voda. Problem je i u dostupnosti i kakvoći raspoloživih informacija. Zbog svega toga o bilanci podzemnih voda Hrvatske može se govoriti samo načelno. Konačni rezultati bilanciranja znatno se razlikuju, pa uvjetno podaci u tablici 3 predočuju maksimalnu i minimalnu procjenu količine podzemne vode.

4.3. ZAKONSKI OKVIRI UPRAVLJANJA VODAMA

Vodno gospodarstvo u Hrvatskoj djeluje unutar četiri pravna okvira: prvi je Ustav Republike Hrvatske iz prosinca 1991. godine; drugi okvir čine dva matična zakona, Zakon o vodama i Zakon o financiranju vodnoga gospodarstva iz prosinca 1995. godine; treći okvir čine zakoni koji su u kontinuiranoj primjeni u poslovanju vodnog gospodarstva ili se isprepliću s propisima vodnog gospodarstva ili imaju utjecaj na obavljanje djelatnosti vodnoga gospodarstva i četvrti okvir čine propisi o poslovanju i djelatnosti trgovačkih društva ili institucija koji obavljaju poslove osobito značajne za upravljanje vodama.

Zakonom o vodama definiran je pravni status voda i vodnog dobra, način i uvjeti upravljanja vodama, način organiziranja i obavljanja poslova i zadataka kojima se ostvaruje upravljanje vodama, osnovni uvjeti za obavljanje djelatnosti vodnoga gospodarstva kao i ovlasti i dužnosti tijela državne uprave, jedinica lokalne samouprave i uprave te drugih pravnih subjekata. Zakonom je određeno da vode nemaju vlasnika, vode su opće dobro pod posebnom zaštitom Republike Hrvatske. Zakonom su osnovane Hrvatske vode, koje su zakonski upravitelj voda. Zakonom o vodama su određena načela upravljanja vodama; definirane su i vodne građevine s obzirom na namjenu, upravljanje i vlasnički status; određene su teritorijalne osnove za upravljanje vodama i to četiri vodna područja - sliv Save, slivovi Drave i Dunava, primorsko-istarski slivovi te dalmatinski slivovi, te u njihovom okviru slivna područja (sl. 1). Zakon je definirao planske osnove za upravljanje vodama, a to su vodnogospodarska osnova Hrvatske, te vodnogospodarske osnove i vodnogospodarski planovi slivnih područja.

5. UTJECAJ LJUDSKIH DJELATNOSTI NA STANJE VODNIH RESURSA I NA OKOLIŠ

5.1. UZROCI ONEČIŠĆENJA VODA

Glavni uzroci onečišćenja vodnih resursa u Hrvatskoj su stalna ispuštanja otpadnih voda, neuređena odlagališta otpada, korištenje pesticida i gnojiva u poljoprivredi, erozija, onečišćenje zraka, termalno onečišćenje itd. Većina problema koji utječu na kakvoću voda su rezultati ljudskih djelatnosti. Podzemna je voda izložena mogućim onečišćenjima iz poljoprivredne prakse, kao i od nepročišćenih otpadnih voda gradova i naselja, industrije ili individualnih korisnika voda, incidentima iz prometa i sl. Problemi degradacije tla i vode su vezani uz nedostatak sustavnog monitoringa kakvoće voda. Na prvom je mjestu nedostatak opažanja organskih zagađivača i sustavnog opažanja podzemnih voda. Neki od uzroka degradacije okoliša su: razvoj javne vodoopskrbe je izraženiji od razvoja kanalizacijskih sustava i uređaja za pročišćavanje otpadnih voda; brzi gospodarski razvoj nakon 2. svjetskog rata koji je obilježen velikim industrijama, za koje nisu građeni uređaji; izgradnja kanalizacijskih kolektora bez uređaja za pročišćavanje; zaštita okoliša je vrlo slaba, posebno u gradovima i industrijama; voda je jeftina, cijena ne stimulira štednju vode pa su na taj način velika hidraulička opterećenja odvodnih sustava i uređaja. Može se zaključiti da temeljni problem, neprimjerene ljudske djelatnosti, dovodi do onečišćenja vodnih resursa u Hrvatskoj. Ovakvo opće stanje se mijenja zadnjih nekoliko godina pa je postignut napredak u kakvoći vode na slivnim područjima.

5.2. AKTIVNOSTI NA ZAŠTITI PODZEMNIH VODA

Aktivnosti na zaštiti voda u okviru vodnog gospodarstva aktivno se provode od sedamdesetih godina.

Zakonski i podzakonski akti postavili su principe i propisali odredbe o zaštiti vodnih resursa, posebno podzemnih voda. Neki od podzakonskih akata su u fazi pripreme. Isto tako se primjenjuju međunarodni sporazumi i konvencije, koje je ratificirala Republika Hrvatska. Slika 2 prikazuje neke od međunarodnih sporazuma ili konvencija.

Cilj je Smjernica za vode Vijeća europske zajednice zaštita i razvoj vodnih bogatstava, koja čine površinske vode, stajaće ili tekuće, podzemne vode i obalne vode. U okviru strukture smjernica za vode Europske zajednice govori se o upravljanju vodama na slivnom području, određivanju karakteristika sliva, monitoringa statusa površinskih i podzemnih voda sliva te o programu mjera za postizavanje ciljeva. Zaštititi vodna bogatstva znači dostići ili održavati "dobro stanje površinskih voda", tj. kada se ekološko i kemijsko stanje može opisati kao dobro te "dobro stanje podzemnih voda", tj. kada se njihovo količinsko i kemijsko stanje može opisati kao dobro. Ekološko stanje je izraz kakvoće strukture i funkcioniranja vodnih ekosustava u svezi s površinskim vodama. Kemijsko stanje je stanje površinske vode, u kojoj koncentracija zagađivača ne prelazi standarde kakvoće okoliša. Količinsko stanje je izraz stupnja do kojeg na podzemne vode utječe, izravno ili neizravno, zahvaćanje vode.

Kad je riječ o zaštiti voda potrebno je primijeniti kombinirani pristup: standarde kakvoće vode (engl. WQS) i kontrolne emisije otpadne vode (engl. ELV). Kontrolne emisije su kontrole koje zahtijevaju specifično ograničenje emisije ili na drugi način određuju granice ili uvjete za posljedice ili druge osobine emisije ili rubnih uvjeta koji utječu na emisiju.

Na određeni način Smjernice za vode Vijeća europske zajednice (COUNCIL OF EU, 1999) su komplementarne UN/ECE konvenciji za zaštitu i korištenje vodonosnika presječenih državnim granicama i međunarodnih jezera - Helsinškoj konvenciji.

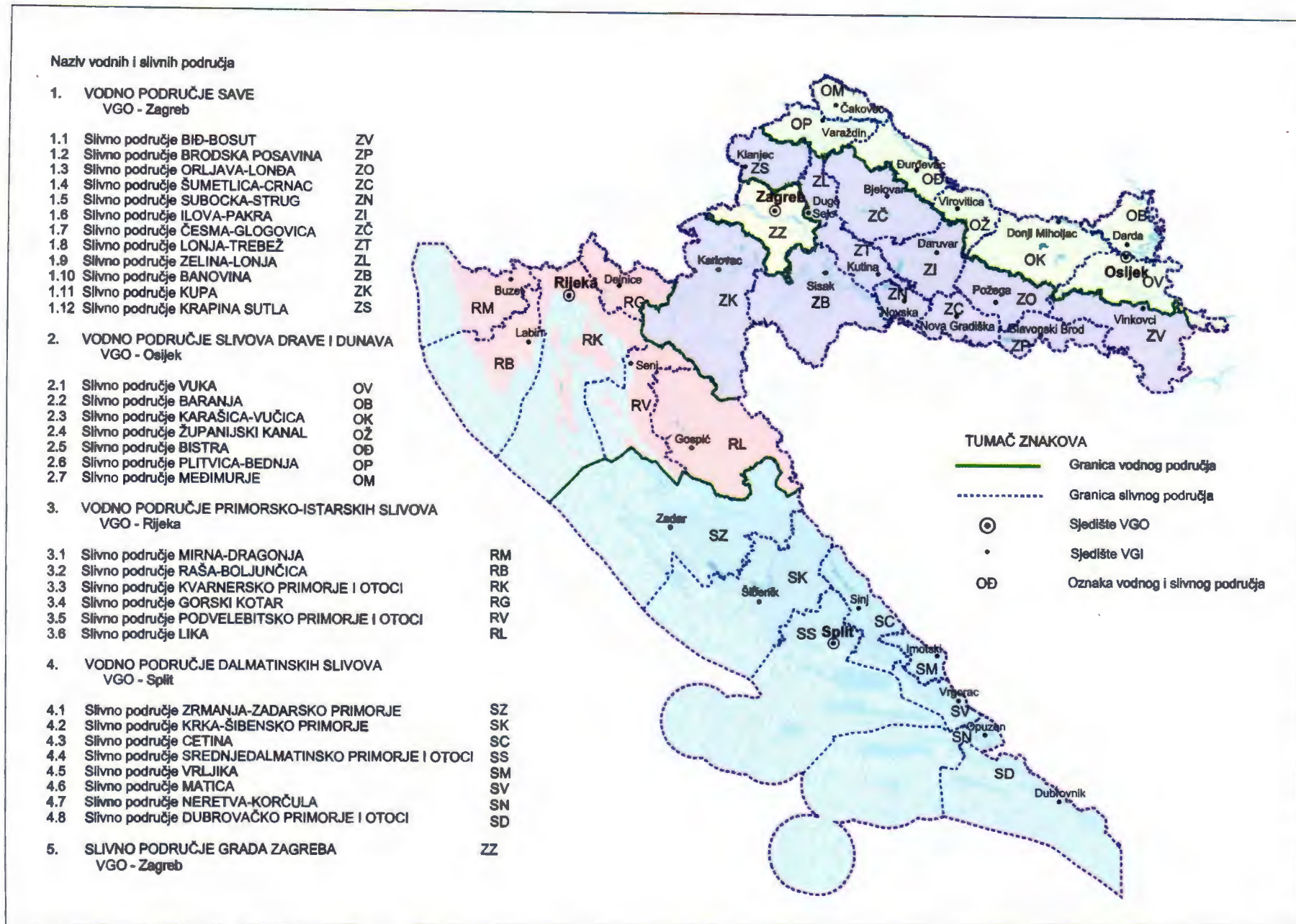
Republika Hrvatska nije članica Europske unije. Međutim, započeo je proces pridruživanja Hrvatske Europskoj uniji. Područje Hrvatske se nalazi u Dunavskom bazenu - slivu, pa temeljem principa zajedničke stečevine (acquirio comunitas) Smjernice za vode Europske unije postaju obvezne i za vodnu politiku u Hrvatskoj.

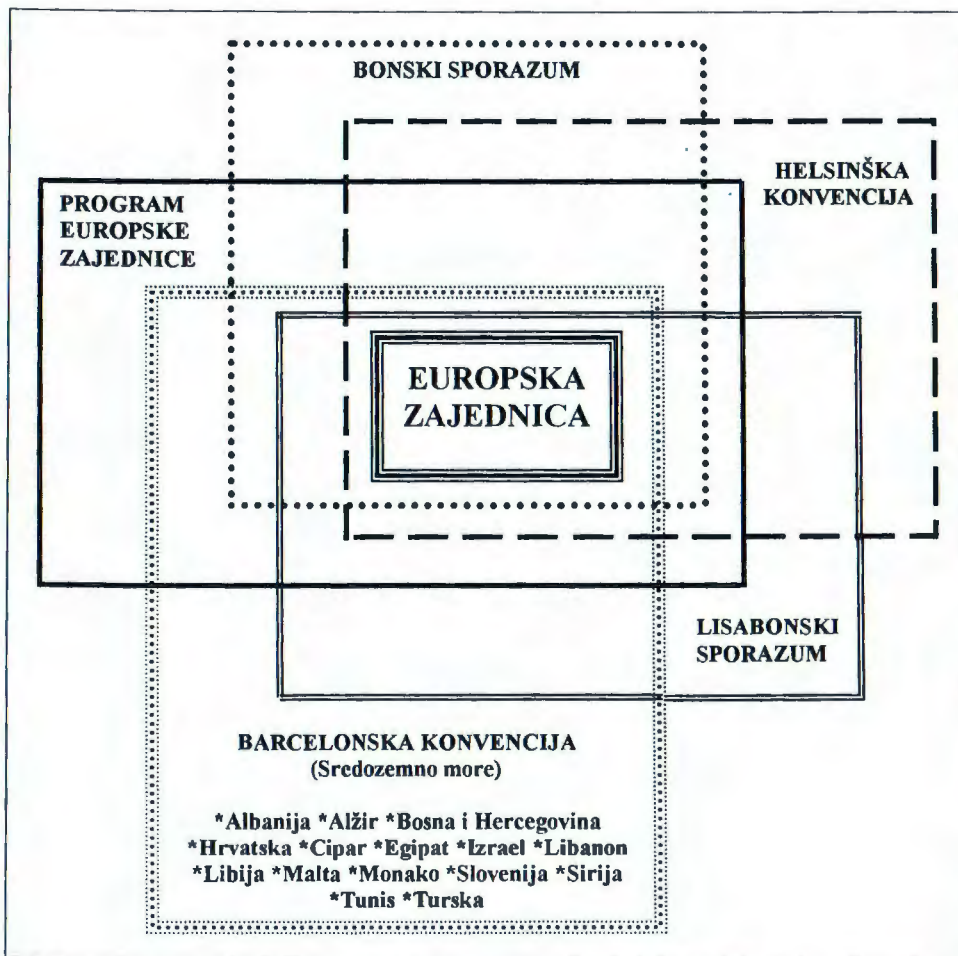
5.3. KAKVOĆA PODZEMNIH VODA

Vodonosnici se prihranjuju oborinama ili procjeđivanjem površinskih voda. Prihranjivanje podzemnih voda ovisi o regionalnoj geologiji, o klimi i o vegetacijskom pokrovu površine tla. Podzemna je voda veći dio vremena u kretanju, od mjesta prihranjivanja do izvora, do površinskih voda ili mora. Vertikalno kretanje vode kroz tlo ima karakter filtriranja. To uvjetuje da je podzemna voda općenito dobre kakvoće.

Onečišćenje podzemnih voda sve je veći problem. Intenzivan razvoj urbanih centara, industrijske i poljoprivredne proizvodnje i prometa, isto tako i porast živ-

Sl. 1 Vodna i slivna područja u Hrvatskoj.
Fig. 1 River-basins and catchment areas in Croatia.





Sl. 2 Međunarodni sporazumi i konvencije.

Fig. 2 International agreements and conventions.

otnog standarda ljudi nužno prati sve veća proizvodnja krutih, tekućih i plinovitih otpadnih tvari. Kruti i tekući otpaci uglavnom se odlažu na površinu tla, zakapaju u tlo ili ispuštaju u površinske vode i u podzemlje. S vremenom se njihov veći dio razlaže i pretvara u tvari jednostavnijeg kemijskog sastava. Topljivi proizvodi se pak nošeni vodom šire prostorom.

Suvremena poljoprivredna proizvodnja nezamisliva je bez masivne uporabe različitih agrotehničkih kemijskih sredstava. Dio tih sredstava utroše biljke, ali dio nužno ulazi u tlo i u površinske i podzemne vode. U pojedinim regijama više nema voda koje nisu ozbiljno opterećene nitratima, a zatim i brojnim spojevima iz skupine pesticida.

Svjedoci smo brojnih nesreća na prometnicama, pri kojima dolazi do izlivanja naftnih derivata iz rezervoara vozila, ili pak do prolijevanja tekućih kemikalija koje se prevoze. Posebno značenje problemu onečišćenja podzemnih voda daje činjenica da je vjerojatnost onečišćenja najveća upravo ondje gdje su potrebe za pitkom i industrijskom vodom najveće, što je vezano uz trend porasta koncentracije stanovništva u gradovima. Koncentraciju stanovništva u gradovima prate dva gotovo nerješiva problema: potreba dobave velike količine pitke vode na razmjerno malom prostoru, i pretvaranje sve te vode u zagađenu otpadnu vodu, koja se nužno,

više ili manje koncentrirano, ispušta u okoliš i ugrožava još preostale zalihe čiste podzemne vode. U praksi se najčešće susrećemo s različitim kemijskim zagađenjima, a česte su i kombinacije kemijskog anorganskog, kemijskog organskog i biološkog zagađenja. Tehničke mogućnosti sanacije jednom onečišćene podzemne vode ograničene su, složene i skupe, a njihov ishod mahom je neizvjestan; uostalom, utvrđeno je da jednom onečišćen rezervoarski prostor u podzemlju ostaje veoma dugo, ili gledano iz perspektive ljudskog vijeka, za uvijek upropašten.

Danas je podzemna voda u Hrvatskoj znatno bolje kakvoće od podzemnih voda u visoko razvijenim europskim i drugim zemljama svijeta, ali treba istaknuti da je i u trajnom procesu blagog pada kakvoće i da se taj trend pojačanom brigom mora zaustaviti.

6. ISKORIŠTAVANJE PODZEMNIH VODA ZA VODOOPSKRBU

Srednja godišnja potrošnja vode u Hrvatskoj u razdoblju od 1990. do 1998. godine za potrebe stanovništva i za gospodarstvo iznosila je $870 \times 10^6 \text{ m}^3$ (bruto iznos). Instalirani kapacitet izvorišta podzemne vode za vodoopskrbu danas iznosi $49 \text{ m}^3/\text{s}$, od toga su crpilišta

kapaciteta 21 m³/s a izvori kapaciteta 28 m³/s. Planira se potrošnja za jednake namjene u 2015. godini u iznosu od 1.000 x 10⁶ m³, a u 2050. godini 1.525 x 10⁶ m³. Oko 90% količine vode za vodoopskrbu u Hrvatskoj osigurava se iz podzemnih voda. Za osiguranje vode za vodoopskrbu najvažnije su obnovljive zalihe podzemnih voda ili raspoloživi resurs podzemne vode, kojeg čine dugoročni godišnji prosjek ukupnog prihranjivanja podzemne vode, umanjen za istjecanje iz vodonosnika, koje je potrebno za ekološke ciljeve. Pri tome je važno da se obnovljive zalihe podzemnih voda mogu trajno iskorištavati.

Iskorištavanje podzemne vode za vodoopskrbu u Hrvatskoj ima više prednosti u usporedbi sa drugim mogućim izvorima pitke vode. To je prije svega veoma ekonomičan način vodoopskrbe, za razliku od ostalih načina, koji iziskuju izvanredno velika ulaganja u izgradnju uređaja za pročišćavanje vode i velike troškove eksploatacije. Dalje, utjecaj zahvata vode na okoliš uglavnom je minimalan. Vodnosnici uglavnom imaju veliku akumulativnost, pa omogućuju sigurnu vodoopskrbu i za dugih sušnih razdoblja. Napokon, podzemna je voda obično dobre kemijske i bakteriološke kakvoće, veoma često ne iziskuje preradu, a ako je prerada nužna, može se razmjerno jednostavnim postupkom djelotvorno ostvariti.

Koncesija za iskorištavanje podzemne vode je prije svega potrebna u upravljanju vodama. Za koncesije je nužna pravno-institucionalna podloga kao i poznavanje vodnih resursa, njihove količine i kakvoće. To su prethodni elementi, nužni za izdavanje koncesija za iskorištavanje ali i za kontrolu onečišćenja resursa. Mora se analizirati dugoročni učinak aktivnosti prema izdanim koncesijama na resurse podzemnih voda. Te aktivnosti su moguće ako postoji monitoring, baza podataka, modeliranje i planiranje vodnih resursa.

7. ZAKLJUČAK

Voda se treba smatrati vitalnim sastavnim dijelom održivog razvitka. Današnji trendovi ukazuju da voda može postati kritični resurs u bližoj budućnosti. S porastom broja stanovnika raste i potrošnja vode. Različiti su interesi razvijenih i nerazvijenih zemalja Svijeta u pitanjima iskorištavanja vodnih resursa. Na Konferenciji UN o okolišu i razvoju u Rio de Janeiru, 1992. godine, pitanja vode su obrađivana s nedovoljnom pažnjom.

Resursi površinskih i podzemnih voda su krajnji recipijent za prirodna i umjetno stvorena onečišćenja. Onečišćenja mogu biti prenošena na velike udaljenosti i mogu ozbiljno ugroziti nizvodne korisnike vode. Onečišćena voda i promjene koje je izazvao čovjek u hidro-

loškom sustavu, npr. rezultati promjena u korištenju površina, precrcpljenja podzemne vode za vodoopskrbu i dr., glavne su prijetnje vodnim resursima i okolišu. Glavni onečišćivači odgovorni za pogoršanje stanja površinskih i podzemnih voda na slivnom području su gradovi i naselja bez odgovarajućeg uređaja za pročišćavanje otpadnih voda, industrija s djelomičnim ili nikakvim uređajima za pročišćavanje otpadnih voda i neriješenim pitanjem odlaganja otpada, i poljoprivredni sektor s nekontroliranom upotrebom pesticida i gnojiva te neprimjerenom tehnologijom.

Glavna tema zaštite okoliša se odnosi na pitanja vode. Vodni resursi se moraju zaštititi, unaprijediti i racionalno iskorištavati na slivnom području. Potrebno je kontrolirati velike vode - obrana od poplava, i smanjiti unos onečišćenja u vodne resurse. To znači održivo korištenje vodnih resursa na slivnom području.

Podzemne se vode koriste na slijedeće načine: potrošnja vode u poljoprivredi i u prirodi direktno je vezana na pojavu podzemnih voda; u vodoopskrbi stanovništva i industrije podzemna voda se koristi kao proizvodni faktor iz razloga njezine dobre i stalne kakvoće. Međutim, velika gustoća naseljenosti, stalni rast industrijske proizvodnje i intenzivna poljoprivredna proizvodnja imaju negativan učinak na kakvoću tla i podzemne vode. Tlo postaje sve više i više onečišćeno. U plitkoj podzemnoj vodi takva onečišćenja se jednostavno prenose na druga područja, gdje mogu nanijeti štetu korisnicima. Ovi se problemi događaju na slivnom području, neovisno o državnim granicama. Zbog toga je izuzetno važan monitoring kakvoće tla i vode i odgovarajuće aktivnosti na spriječavanju onečišćenja.

Hrvatska raspolaže vrijednim resursima podzemne vode, danas još visoke kakvoće ali je sudbina te vode izravno povezana s uloženom brigom i sa sredstvima za njenu zaštitu. Ugroženije su podzemne vode područja uz rijeku Savu i Dravu, ali premda su krške vode dobre kakvoće, treba imati na umu da su veoma ranjivi vodonosnici i da mala nebriga može dugoročno oštetiti ta područja. Stoga veliku brigu treba posvetiti preventivnoj zaštiti što racionalnijim utvrđivanjem zaštitnih prostora i mjera zaštite i sve to ugraditi u planske dokumente. Pri tome se ne smije zaboraviti i sanacija sadašnjeg stanja u zonama visokog rizika. Zaštita voda traži sredstva ali čuva zdravu pitku vodu za nas i za buduće naraštaje.

Podzemne vode imaju strateško značenje za današnji i za budući razvoj Republike Hrvatske jer je oko 90% vodoopskrbe stanovništva i gospodarstva vezano uz taj podzemni resurs. Kad prirodni resurs dobije status strateške vrijednosti, a podzemne vode kao najznatniji resurs pitke vode u Hrvatskoj to zaslužuju, tada treba upotrijebiti sve snage i znanje u očuvanju tog prirodnog resursa za sadašnje i buduće naraštaje.

8. LITERATURA

- BIONDIĆ, B. (1998): Podzemne vode - hrvatsko nevidljivo blago.- Hrvatska vodoprivreda, 66, 28-30, Zagreb.
- BISWAS, A.K. (1992): Water for the Third World development: a perspective from the South.- Int. Jour. of Water Resources Development, 8/1, 3-9.
- COUNCIL OF EU (1999): Water Framework Directive.- Council of European Union, Brussels.
- GEREŠ, D. (1995): Integralno upravljanje vodama.- Građevinar, 47, 7, 391-396, Zagreb.
- GEREŠ, D., MAYER, D. & BIONDIĆ, B. (1998): Podzemna voda - hrvatsko bogatstvo.- Hrvatska vodoprivreda, 67, 6-11, Zagreb.
- GEREŠ, D. (1998): Water resources in Croatia.- Int. Symp. on Water Management and Hydraulic Eng., Dubrovnik, 1998, Proceedings, 1, 109-117.
- IBRD (1992): World development report 1992: development and the environment.- Oxford University Press, New York.
- ICWE (1992): International Conference on Water and the Environment, Development Issues for the 21-st Century, January 26-31, 1992, Dublin, ICWE Sec. and WMO, Switzerland, 1992.
- POSTEL, S. (1992): Last oasis: facing water scarcity.- W.W. Norton, New York.
- ŠARIN, A., GEREŠ, D., URUMOVIĆ, K. & BRKIĆ, Ž. (1997). Hydrogeological and water management problems in Croatia, in a small country of classical karst and larger river plains.- Hydrological Science and Technology, 13/1-4, 1997, 57-64.
- UNCED (1992): Protection of the quality and supply of freshwater resources, application of integrated approaches to the development, management and use of water resources.- UN Conference of Environment and Development - AGENDA 21, Geneva.

Karst Groundwater Protection

Miran VESELIĆ

Key words: Karst groundwater protection, Protection zones, Unsaturated zone function, Pollution risk.

INTRODUCTION

According to its objectives, groundwater pollution protection can be regarded as a part of the general environmental protection or, more specifically, only as water resources protection. In the first case, we try to prevent any release of toxic substances from their source into environment and to contain an existing pollution within a given volume of rocks and of aquifers. In the second case groundwater protection consists of a complex combination of protection, prevention and intervention measures and activities, initiated with the aim to keep the supplied water quality within the prescribed standards.

Protection zones around the water tapping structures represent at the actual state of the art of groundwater protection its main legal and preventive measure. The rational basis of their definition is the expected pollutant travel times, namely those of dangerous microorganisms, from their potential source to the protected spring or water tapping structure.

In case of aquifers with intergranular porosity it is generally easy to define their zones quantitatively. This is already more difficult for fractured aquifers, while in the case of karstic aquifers it becomes nearly impossible. This is due to the internal heterogeneity of these aquifers and the resulting complexity in pollutant spreading. According to this, most of the protection zones in karst aquifers are defined on qualitative and intuitive bases. These aquifers are of great importance for public water supply in a series of countries, with Slovenia included. Due to the related actuality of their protection, a steady effort is being made to advance the methodology of protection zones definition and to set it on rational and quantitatively verifiable bases. The aim of these efforts is to reduce the qualitative and intuitive approaches to as few cases as possible.

In order to follow the spreading of pollution from its source to a spring, water tapping structure, or aquifer

observation point, it is necessary to dispose the following information:

- 1) type of pollutant, the locality of imission point or area, concentration of pollutant at the imission point or area, distance from the point of imission to the point of observation;
- 2) hydrogeologic conditions of the aquifer;
- 3) flow conditions: flow rate, velocity and direction, water saturation, single-phase or multi-phase flow;
- 4) concentration of pollutant at the observation point.

Before we will be able to define protection zones in all types of aquifers precisely enough, the question will be raised whether the involved protection paradigm is still an appropriate one. Is water resources=protection, based primarily on the protection from dangerous microorganisms, still optimal at the actual and expected state of development in drinking water conditioning technology (micro-filtration and ultra-filtration)? Should it become more closely related to the protection from some persisting, toxic and from the standpoint of drinking water conditioning unsuitable chemical pollutants? Views of engineers and hydrogeologists quite often diverge with this respect.

Groundwater resources=protection, however, does not require only the mastering of pollutant transport equations, but before all a throughout capacity in territorial management. This means that hydrogeological information shall be conveyed to physical planners in a consistent and easily understandable way. The concept of aquifer vulnerability as a general groundwater protection concept was introduced for the purpose. In combination with protection zones it should allow for a more transparent planning of the activities within a territory. The aim of research in this field is to achieve that aquifer vulnerability becomes a parameter, which will be scientifically rigorous enough and at the same time also practical enough for applications in physical

planning. But, this concept may dispose of some hidden traps as well. What is the relative weight of water resources in the general system of values of a given society?

When speaking of groundwater protection, we are generally thinking of their protection from pollution only. But, this is but one aspect of their protection in their function of natural resource. Besides the protection of their quality, we have to protect also their quantity. Economic activities have reduced groundwater quantity in many places without damaging their quality simultaneously. The concept of groundwater degradation tries to involve both aspects of groundwater deterioration. Their protection is therefore to be understood as a prevention of their overall degradation and a reclamation of their local degradation. In matters of sustainable water resources management, the politics should follow exactly this approach. And science has to help her with this respect.

KARST AQUIFER SPECIFICS

Taking into account the above general considerations, which are the main open questions in the field of karst groundwater protection? Without pretending that the list might be complete within this framework, four questions have certainly to be forwarded:

1. Protection zones sizing

Passive protection system in Slovenia and in most of European countries defines the following groundwater protection areas:

- water protection area (aquifer area and corresponding water catchment area)
- water protection zones:
 - 1) inner water protection zone,
 - 2) outer water protection zone,
 - 3) impacting water protection zone.

The world trends go in the direction of definition of a set of three water protection zones, which in Slovenia were proposed under the above given names. The outer limit of the inner water protection zone is based on the time needed for dangerous microorganisms to die in a water saturated medium, which with the necessary safety margin amount to $t_r = 50$ days. The outer limit of the outer water protection zone is set to one year as a close approximation of a hydrologic cycle under middle-European conditions. The impacting water protection zone is identical with the corresponding water catchment area.

The difficulty in definition of the limits of these zones in karst aquifers is caused by the great flow velocities met in these aquifers, which made the above required residence times often unachievable. This is valid especially for mountainous areas. Thus, the gov-

erning criteria in the definition of outer limits of the individual water protection zones become the possibility of an intervention within a given water supply system and the involved intervention time t_r . For karst aquifers were in Slovenia proposed: 1) the outer limit of the inner water protection zone (corresponding to the time t_r): $t_r = 4-12$ hours, 2) the outer limit of the outer water protection zone: $t_r > 12$ hours, 3) the outer limit of the impacting water protection zone: $t_r \gg 12$ hours.

It is clear that by application of the above criteria, the protective function of the water protection zones qualitatively changes. As much as the involved protective measures considered, they ought not be assimilated to protection zones in aquifers with intergranular porosity. One of the problems of the practical application of these measures is, that this fact is sometimes forgotten.

2. Karst aquifer regionalisation

The definition of groundwater protection zones in karst aquifers has to follow the distribution of measured or supposed outflow times from areas in question. This means that it has to follow spatial distribution of more pervious and less pervious zones. In karst aquifers is this distribution due to their heterogeneity very uneven. For this reason can the spatial distribution of protective zones with respect to the protected spring or tapping structure not be concentric, but may zones of higher protection be unevenly nested within zones of lower protection and vice versa. That is why the old name "water protection belt" is being abandoned.

The above means that a regionalisation of karst aquifers according to spatial distribution of their permeability is one of the primary tasks in process of their water protection zones determination. Professionally, this is not an easy task. With this respect one has to follow the guidelines of COST 65 and complete them with the related research newest results.

3. Impact of the unsaturated zone of karst aquifers

In the general review, the groundwater protection role of the unsaturated zone of the aquifers was mentioned already. With this respect, clear enough standards for the evaluation of protective function of this zone (cf. DVGW norms) have been defined for aquifers with intergranular porosity and even for those with fracture porosity. These standards seek to translate the unsaturated rock thickness above the saturated zone of a phreatic aquifer into the number of days, for which the prescribed water flow residence time within this water horizon (i.e. the residence time of dangerous microorganisms within a saturated media) can be reduced.

For the karst aquifers, a quantification of protective function of the unsaturated zone remains an open question. Due to this, a definition of the spatial distribution of its impacts within the aquifers remains unsolved as well. It is obvious that this zone impacts the vulnerability of karst aquifers and should therefore influence both

the position and the extent of groundwater protection zones. Experience shows, that the definition of its impact requires a very detailed analysis of karst aquifers. This can result in a definition of areas that are really homogenous from the groundwater protection aspect, but very small. Unfortunately, only karst aquifers surface partitioning into areas being big enough satisfies practical needs of physical planners.

Maybe, the ultimate practical guideline to karst aquifer surface area partitioning in general, would be to execute this task by a joint multi disciplinary team of hydrogeologists and physical planners. Within such a team, an optimum partitioning with respect to the needs of physical planning could be achieved also in areas where hydrogeologic limits cannot be unequivocally defined without really impacting the actual needs of groundwater protection.

It must be mentioned, that there is no unanimity within the world hydrogeologist community as far as the impact of the unsaturated zone on the aquifers vulnerability is considered. This is especially true with respect to the karst aquifers. That is why this is one of the more important problems of karst groundwater protection, especially in karst aquifers with deep phreatic water horizons and great thicknesses of unsaturated zones.

4. Pollution risk conceptualisation and risk level definition in karst aquifers

The concept of risk as function of an existing hazard or set of hazards, extensively used for safety assessment in engineering practices, in nuclear techniques particularly, has been transposed to the environmental problems. Here, it became related to the vulnerability of the environment and of its constituents. Waters in general, and groundwaters as their subsystem, are part of the environment. The risk concept was therefore introduced also to groundwater and karst aquifers protection. From the aspect of these two, an introduction of the risk concept has to be understood in view of an effort to make their protection more rational by means of a quantification of the existing pollution risks.

The questions of karst aquifer vulnerability definition were already discussed. Here, we turn the attention to the fact that in the engineering practices the notion of a hazard implies a probabilistic approach. By now, solutions in the application of this concept to groundwater protection define a hazard as existing or potential polluter or pollutant. Pollution incidence and intensity levels are defined by the duration, spatial extent and intensity of the related polluting activity.

With groundwater protection and karst aquifer protection in particular, problems arise already with the risk conceptualisation. This involves also a definition of

an economic value of the considered aquifer or part of thereof, taking therefore some distance from the extreme concepts of groundwater protection. That is why in the process of risk evaluation some of the scientists try to attribute an absolute, so to say super-economic, value to every karst aquifer. It is clear that in this way the concept of risk changes substantially and loses its sense.

This is obviously a question which has to be thoroughly discussed in hydrogeological scientific and professional circles. It is natural that we all, by the very nature of our profession, tend to maximize the protection of all groundwaters, with karst groundwaters included. Yet, it is also not in the very nature of science to recognize anything as absolute. Neither can this be an interest of a profession trying to get involved and really impact processes and activities both in the environment and in the society.

CONCLUSION

It follows from what has been said that many conceptual and practical questions addressing a perfect karst groundwater protection still remain open. Unfortunately, our science and profession have difficulties to reach a consensus on a world scale, since the extent of karst terrains and the nature of karst aquifers differ so much from country to country.

Where karst terrains and karst groundwater are a natural rarity and due to this given by the society a specific, super-economic status, they are going to enjoy absolute protection. Groundwater protection will there become and remain a scientific and theoretic question.

Questions related to the rational protection of karst groundwaters are economically and from a development aspect very important for the countries disposing of large karst areas. For these countries, a rationalisation of karst aquifer protection practically means a reduction in the extent of the protected areas, by a better identification of low risk areas, and a simultaneous rise in the protection efficiency in areas, where the pollution risks are really high. It is probable that this will not be achieved with passive measures only. Therefore, active intervention measures (cf. intervention monitoring) will get more and more involved in the karst groundwater protection.

In a society, taking a rational karst groundwater protection as one of its important development targets, hydrogeological science and profession are undoubtedly facing great tasks and challenges. I personally firmly believe that, if given proper chance for a continuous working effort, they will be able to face and master them.

Inženjerskogeološko modeliranje svojstava stjenskih masa za tunel "Sv. Rok"

Engineering Geological Modelling of Rock Mass Properties for the Tunnel "Sv. Rok"

Karlo BRAUN¹, Tomislav NOVOSEL¹ & Branko STOJKOVIĆ²

Ključne riječi: inženjerska geologija, modeliranje, tunel.

Key words: Engineering geology, Modelling, Tunnel.

Sažetak

Inženjerskogeološko modeliranje svojstava stjenskih masa za cestovni tunel "Sv. Rok" kroz Velebit provedeno je u sklopu kompleksnih geoloških i geotehničkih istraživanja. Rezultati temeljnih geoloških istraživanja su podloga za snimanje inženjerskogeoloških podataka, u skladu s metodologijom, postupcima i preporukama koji su prihvaćeni u mehanici stijena (ISRM, 1978; HOEK et al., 1995). Inženjerskogeološko modeliranje i prognoziranje svojstava stjenskih masa u tunelu provedeno je statističkom obradom podataka snimljenih tijekom inženjerskogeološkog kartiranja, rezultata istražnog bušenja i laboratorijskih ispitivanja odgovarajućih uzoraka. Rezultati istraživanja omogućili su klasifikaciju stjenskih masa prema geomehaničkoj "RMR-klasifikaciji" (BIENIAWSKI, 1989; HOEK et al., 1995) i "Q - klasifikaciji" (BARTON et al., 1974). Nakon proboja tunela može se sa zadovoljstvom konstatirati da tijekom iskopa nije zapaženo značajno odstupanje snimljenih geoloških i geotehničkih karakteristika stjenskih masa od prognoziranih.

Abstract

Engineering geological modelling of rock mass properties for motorway tunnel "Sv. Rok" through Velebit Mt., was performed within complex geological and geotechnical investigations. The results of basic geological investigations are the basis for surveying the engineering geological data, in accordance with methodology, procedures and suggested methods accepted in rock mechanics (ISRM, 1978; HOEK et al., 1995). Engineering geological modelling and predicting of rock mass properties inside the tunnel was carried out by statistical analysis of the data assembled during engineering geological mapping, and of the results of drilling investigations and laboratory testing of adequate samples. Investigation results enabled rock mass classification according to geomechanical "RMR-Classification" (BIENIAWSKI, 1989; HOEK et al., 1995) and "Q-Classification" (BARTON et al., 1974). After the tunnel excavation one can state with satisfaction, that no significant deviation between surveyed (real) geological and geotechnical characteristics of rock masses and those predicted, was detected.

1. UVOD

U sklopu istraživanja za najveće infrastrukturne objekte u Republici Hrvatskoj, provedena su geološka, inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja za projektiranje cestovnog tunela kroz Velebit, ukupne dužine 5.670 m.

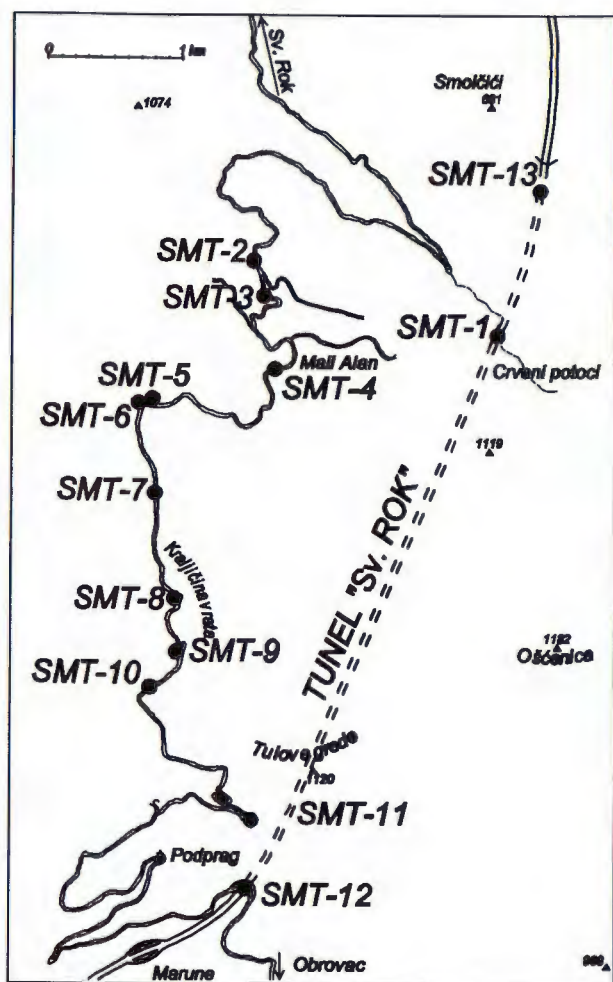
Odmah na početku je potrebno naglasiti poteškoće koje su pratile terenska geološka istraživanja. Naime, područje planirane trase tunela je za vrijeme Domovinskog rata predstavljalo graničnu zonu koja do izvedbe terenskih istraživanja nije razminirana. Zbog toga je u istraživanjima primjenjena metodologija koja se zasnivala na korištenju podataka dobivenih duž ceste od Sv. Roka, preko M. Alana i Tulovih greda do Obrovca, tada jedinog sigurnog prijelaza preko Velebita. Rezultati tog istraživanja transponirani su fotogeološki na trasu tunela (VELIĆ et al., 1997).

Geološke podloge izradio je Zavod za geologiju Instituta za geološka istraživanja (VELIĆ et al., 1997). Terenska temeljna geološka istraživanja obavila je ekipa u sastavu: I. Velić, D. Matičec, L. Fuček, N. Oštrić, i I. Vlahović (1997). Metodologija rada sastojala se od snimanja detaljnog geološkog stupa duž ceste Sv. Rok-Tulove grede - Marune, te prikupljanja svih raspoloživih podataka za interpretaciju strukturno-tektonskog sklopa ovog dijela Velebita. Na geološkom stupu i na geološkoj karti izdvojene su prepoznatljive litoške cjeline, jasnih obilježja, tako da su na taj način definirane litostratigrafske jedinice kojima su kao rezultat odgovarajućih istraživanja pridodani inženjerskogeološki i geotehnički atributi.

Litostratigrafske jedinice su neformalno obilježene brojevima od I do XI prema slijedećem redoslijedu: *litostratigrafska jedinica I* (ladinik - srednji trijas), *litostratigrafska jedinica II* (karnik - gornji trijas), *litostra-*

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut građevinarstva Hrvatske, J. Rakuše 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Skica položaja tunela i istražnih bušotina.

Fig. 1 Sketch map of the tunnel and the investigation borehole locations.

tigrafska jedinica III (norik-ret - gornji trijas), litostratigrafska jedinica IV (donji lijas - donja jura), litostratigrafska jedinica V (srednji lijas - donja jura), litostratigrafska jedinica VI (gornji lijas - donja jura), litostratigrafska jedinica VII (donji doger - srednja jura), litostratigrafska jedinica VIII (gornji doger - srednja jura), litostratigrafska jedinica IX (oksford - gornja jura), litostratigrafska jedinica X (kimeridž - gornja jura), litostratigrafska jedinica XI ("Jelar"-naslage - paleogen-neogen).

Rezultati temeljnih geoloških istraživanja bili su podloga za planiranje i izvođenje inženjerskeoloških istraživanja. Podaci za inženjerskeološku interpretaciju grade i karakteristika stijenskih masa u području tunela snimani su u skladu s metodologijom koju preporuča Internacionalno udruženje za mehaniku stijena. Sva mjerenja i drugi relevantni podaci za klasifikaciju stijenskih masa uneseni su u odgovarajuću bazu podataka informatičkog sustava za tunel kroz Velebit, koji je kompatibilan GIS-u Republike Hrvatske.

Tijekom provedenog istražnog bušenja, uzeti su uzorci intaktnih stijena koji su analizirani. Na samoj

trasi izbušene su tri bušotine i to SMT-1 (400 m), SMT-12 (50 m) i SMT-13 (100 m), dok su ostale izvedene na cesti Sv. Rok - Meki Bunari (Marune), od kojih je bušotina SMT-11 (350 m) najbliža trasi tunela. Bušotine od broja SMT-2 do SMT-10 izvedene su uz cestu kod čega su im lokacije odabrane tako da se nalaze u različitim litostratigrafskim jedinicama (sl. 1).

Inženjerskeološke karakteristike stijenskih masa u tunelu prognozirane su na osnovu snimljenih podataka tijekom geološkog i inženjerskeološkog kartiranja, statističke obrade dobivenih podataka, rezultata istražnog bušenja te fotogeološkog transponiranja rezultata istraživanja na trasu tunela. U inženjerskeološkim istraživanjima i obradi rezultata sudjelovali su K. Braun, T. Novosel jr., R. Buljan, O. Larva i J. Kolarić.

Hidrogeološkim istraživanjima su kao podloga poslužili izrađena geološka i inženjerskeološka karta s odgovarajućim uzdužnim profilima, zatim rezultati hidrogeološkog rekognosciranja terena, kao i svi raspoloživi rezultati ranijih hidrogeoloških istraživanja koja su u širem području izvedena za razne namjene (osobito podaci dobiveni izradom hidrotehničkog tunela za RHE "Velebit", ranije "Obrovac"). Svrha ovih istraživanja bila je određivanje općih hidrogeoloških prilika na trasi tunela kroz Velebit, uključujući hidrogeološke značajke stijena i stijenskih masa obzirom na propusnost, ocjenu stanja podzemne vode na niveleti tunela i ocjenu utjecaja površinskih voda na izgradnju tunela. U bušotini SMT-13 ugrađen je piezometar u kojem je povremeno mjereno nivo podzemne vode. Hidrogeološka istraživanja proveli su A. Pavičić i J. Kolarić.

Informacijski sustav za tunel kroz Velebit izradili su i grafičku obradu proveli T. Novosel, D. Singer, T. Kolander, S. Dolić i M. Dolić.

2. INŽENJERSKEOLOŠKE KARAKTERISTIKE STJENSKIH MASA

Inženjerskeološke karakteristike stijenskih masa određene su za svaku od litostratigrafskih jedinica, uzimajući u obzir i podjelu područja istraživanja na tektonske blokove. Litološki sastav stijena preuzet je iz dijela izvještaja koji prikazuje rezultate temeljnih istraživanja (VELIĆ et al., 1997), s tim da su za potrebe inženjerskeološke interpretacije i definiranja svojstava intaktnih stijena opisi pojednostavljeni.

Prilikom terenskih radova za svaku je litostratigrafsku jedinicu snimana orijentacija diskontinuiteta osnovnog tektonskog sklopa, razmaci između diskontinuiteta, procijenjena je njihova rasprostranjenost, određena hrpavost, zijeve i ispune, ocijenjena je rastrošenost stijenci te skupljeni i drugi podaci relevantni za klasifikaciju stijenskih masa.

Na površini snimljeni podaci uspoređeni su i po potrebi korigirani prema rezultatima istražnog bušenja (RQD, FF i dr.) i fotogeološkoj interpretaciji terena. Inženjerskeološke karakteristike stijenskih masa

prikazane su također po litostratigrafskim jedinicama (od I do XI), i tektonskim blokovima (A do E).

2.1. INTAKTNE STIJENE

Intaktne stijene litostratigrafske jedinice I, predstavljene su ladiničkim masivnim svjetlosivim vapnencima različitog strukturnog i teksturnog tipa, s brojnim i vrlo nepravilnim stilolitskim šavovima (*mudstone*, *wackestone*, fenestralni *mudstone*, peletoidalno-intraklastično-bioklastični *packstone* do *grainstone*, *floatstone*). Stijene su u velikoj mjeri kataklazirane, tako da u pojedinim svojim dijelovima poprimaju brečoidnu teksturu. U starijem dijelu serije sedimenata vapnenci su i dolomitizirani, kod čega stupanj dolomitizacije varira u širokim granicama. Dolomitizirani vapnenci do dolomiti su kasnodijagenetski, kristalinični i najčešće šupljikavi.

Litostratigrafska jedinica II izgrađena je od crveno obojenih kvarcnih pješčenjaka, glinenih *shale*-ova i brečokonglomerata s lečastim i nepravilnim tijelima bemitdijasporskog boksita. Vezivo pješčenjaka i konglomerata čini krupnozrnasti kalcit s nešto kvarcnih zrnaca.

Gornjotrijaski dolomiti, norik-retske starosti, litostratigrafske jedinice III, transgresivno leže na karničkim naslagama. Osnovno obilježje ovog kompleksa je nepravilna izmjena *ranodijagenetskih* (dolomikriti, dolopelspariti, dolointramikriti i stromatolitni dolomiti) i *kasnodijagenetskih dolomita* (kristalinični dolomiti različite veličine zrna).

Stijene litostratigrafske jedinice IV predstavljene su vapnencima s *emerzijama donjeg lijasa* koji se u stvari sastoje u starijem dijelu od nepravilne izmjene fenestralnih *mudstone*-a, stromatolitskih laminata i kasnodijagenetskih dolomita, na kojima slijedi serija vapnenaca u kojoj se izmjenjuju *mudstone-wackestone*-i, peletoidalno-intraklastično-skeletni *wackestone-packstone*-i i bioklastično-onkoidni *packstone* do *floatstone*-i.

Na donjolijskim kontinuirano slijede srednjelijaske naslage poznate pod imenom "*Lithiotis vapnenci*", koji izgrađuju litostratigrafsku jedinicu V. Vapnenci su predstavljeni fenestralnim *mudstone*-ima, peloidno-oidno-bioklastičnim *packstone-grainstone*-ima, te mikritnim i kriptalgalmim laminitima, a u dijelovima naslaga kojima glavno obilježje daju ljuštore školjkaša *Lithiotis problematica*, u obliku *coquina* i *floatstone*-a.

Litostratigrafska jedinica VI predstavljena je *Mrljastim vapnencima gornjeg lijasa* ("*fleckenkalk*"), odnosno nodularnim do blago valovitim, bioturbiranim vapnencima strukturnog tipa *mudstone*, karakterističnog mrljastog izgleda od obogaćenja glinovitom supstancijom. U tanjim prosljocima nalaze se i peloidno-oidni *packstone-grainstone*. Lokalno su zapažene i manifestacije kasnodijagenetske dolomitizacije vapnenaca.

U litostratigrafskoj jedinici VII dominiraju tamnosivi *mudstone*-i koji sadrže, ali sporadično, onkoide. Pojedini paketi debelouslojenih porculanastih *mudstone*-a završavaju s nejasno horizontalno laminiranim *wackestone*-ima. Idući prema gornjem dijelu normalnog slije-

da naslaga povećava se udio sitnozrnastog, dobro sortirano peletnog *packstone*-a sa sve većim udjelom ooida, te peloidno-intraklastičnih *packstone-grainstone*-a.

Od litoloških tipova koji izgrađuju naslage litostratigrafske jedinice VIII, nepravilno se izmjenjuju *mudstone*-i, sitnozrnasti dobro sortirani peletni *packstone*-i, peloidno-oidni *grainstone*-i, te intraklastično-onkoidno-skeletni *wackestone-packstone*-i.

U litostratigrafskoj jedinici IX dominiraju vapnenci različitog strukturnog tipa, koji su u pojedinim nivoima jače dolomitizirani. Tako se izmjenjuju onkoidno-skeletni *wackestone* koji su bogati bentičkim foraminiferama, tamnosivi *mudstone*-i s prosljocima *wackestone-packstone*-a koji sadrže onkoide, peloide, bentičke foraminifere i drugo skeletno kršje, te ooidni *grainstone*-i.

Litostratigrafsku jedinicu X gotovo isključivo izgrađuju *mudstone* i *mudstone-wackestone*, koji se nepravilno izmjenjuju s tanjim prosljocima peloidnih *wackestone-packstone*-a.

Naslage "Jelara" od kojih je izgrađena litostratigrafska jedinica XI, predstavljaju posebni tektonski blok izdvojen oznakom F. U litološkom pogledu to su vapnenačke, nesortirane, neuslojene breče, sastavljene od ulomaka vapnenaca iz jurskih, donjokrednih, gornjokrednih i paleogenskih sedimenata. Fragmenti su vezani mikrokristalastim do sitnozrnastim, često prekrizaliziranim kalcitom u kojemu ima primjesa gline, limonita i kvarca sitnijih dimenzija. Ulomci su angularni do subzaobljeni, promjera od nekoliko mm do 20 cm, a katkada i veći (VELIĆ et al., 1997).

2.2. ČVRSTOĆA INTAKTNIH STIJENA

Čvrstoća intaktnih stijena određena je standardnim laboratorijskim ispitivanjem jednoaksijalne tlačne čvrstoće u skladu s preporukama, svedenim na valjkasti uzorak promjera 50 mm (HOEK et al., 1995) s odnosom visine i promjera probnog tijela $L/d=2$, te ispitivanjem tlačne čvrstoće u triaksijalnim uvjetima.

Čvrstoća stijenskog materijala određena je korištenjem empirijskog kriterija sloma:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left(m_1 \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + 1 \right)^{0.5}$$

gdje je: σ_1' = veće glavno efektivno naprezanje kod sloma; σ_3' = manje glavno efektivno naprezanje kod sloma; σ_c = jednoaksijalna tlačna čvrstoća stijenskog materijala; m_1 = materijalna konstanta stijenskog materijala.

Za intaktne stijene materijalna konstanta stijenskog materijala m_1 , gdje je to bilo moguće, određena je triaksijalnim ispitivanjima, dok je kod dijela intaktnih stijena određena prema veličini zrna stijene, odnosno njenim strukturno-teksturnim karakteristikama (STOJKOVIĆ, 1997).

Laboratorijskim ispitivanjima, analiziranim uzorcima određena je i gustoća i modul elastičnosti (tablica 1; STOJKOVIĆ, 1997).

GEOTEHNIČKA JEDINICA I LITOL. SASTAV STIJENE	MATERIJALNA KONSTANTA (MPa)	JEDNOAKS. ČVRSTOĆA (Mg/m ³)	VOLUMNA MASA (GPa)	MODUL ELASTIČNOSTI
I mudstone do wackestone	11	90	2,70	50
I dolomitični vapnenci	11	115	2,70	75
I kristalinični dolomiti	8	150	2,75	60
II klastiti karnika	nema podataka zbog pomanjkanja odgovarajućih uzoraka			
III stromatolitski dolomiti	8	40	2,79	40
III kristalinični dolomiti	12	70	2,58	40
IV wackestone - packstone	10	170	2,70	80
V fenestralni wackestone	10	120	2,68	55
VI glinoviti mudstone	8	120	2,68	55
VII mudstone	8	120	2,68	55
VII dolomit	8	80	2,78	50
VIII mudstone, wackestone	8	120	2,69	75
VIII dolomitizirani vapnenac	8	200	2,74	75
IX wackestone, packstone	12	110	2,66	50
X mudstone, wackestone	10	150	150	70
XI breče i brečokonglomerati	20	15	2,72	60

Tablica 1 Rezultati laboratorijskih ispitivanja.

Table 1 Results of laboratory analysis.

Dobiveni rezultati potvrđuju vezu veličina jednoaksijalne čvrstoće sa strukturno-teksturnim karakteristikama karbonatnih stijena (POLLAK & BRAUN, 1998).

2.3. STRUKTURNI SKLOP

U strukturnom sklopu razlikuju se dvije krupne makrotektonske jedinice od kojih je prva izgrađena od mezozojskih stijena, a druga od paleogensko-neogenskih "Jelar"-naslaga.

U mezozojskom kompleksu naslaga koji je uglavnom dobro uočljive slojevitosti, orijentacija osnovnog tektonskog sklopa je statistički relativno uniformna s položajem slojevitosti, generalno, 200/46°, diskontinuiteta paralelnih klivažu aksijalne ravnine 20/53° i tenzijskih pukotina okomitih na regionalnu strukturnu os "b" 97/86°. Najveći utjecaj na konačni rezultat kod klasifikacije stjenjskih masa prema "RMR"-klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1989) imaju pukotine okomite na strukturnu os "b".

U "Jelar" naslagama tektonski sklop je složeniji obzirom na to da slojevitost nigdje nije uočljiva, a struktura je vezana za "lepezasto čelno istiskivanje blokova" (VELIĆ et al., 1997). U osnovnom tektonskom sklopu zapaženi su diskontinuiteti općeg statističkog položaja 184/75°, koji se smatraju intraslojnim, zatim diskontinuiteti paralelni klivažu aksijalne ravnine položaja 56/29° i diskontinuiteti okomiti na strukturnu os "b" položaja 125/71°. I kod "Jelar"-naslaga, prema "RMR"-klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1989), najveći utjecaj na konačni rezultat imaju pukotine okomite na strukturnu os "b".

2.4. FIZIČKO-MEHANIČKI MODEL STJENSKIH MASA

Fizičko-mehanički model za stjenjske mase u stvari uključuje parametre potrebne za klasifikaciju stjenjskih masa prema "RMR"-klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1989) i "Q"-klasifikaciji (BARTON et al., 1974), odnosno onih njihovih dijelova koji su potrebni za određivanje "Geološkog indeksa čvrstoće" (GSI), kako ga je definirao Hoek. Svi ulazni podaci za navedene klasifikacije snimani su u skladu s preporukama i postupcima koji su prihvaćeni u mehanici stijena (ISRM, 1978; HOEK et al., 1995).

Osim jednoaksijalne čvrstoće, koja je određena laboratorijski, na terenu je snimana orijentacija diskontinuiteta osnovnog tektonskog sklopa, ali i drugih (takozvanih "slučajnih") te za svaki od sustava osnovnog sklopa posebno razmak između diskontinuiteta, njihova perzistencija, hrapavost stijenki diskontinuiteta izražena opisno (posebno za primjenu "RMR" i posebno za primjenu "Q"-klasifikacije stjenjskih masa) i kroz numerički indeks hrapavosti "JRC" ("Joint Roughness Coefficient"), rezidualni kut trenja, zijev, ispuna i rastrošenost stijenki, također izraženu opisno i kroz numerički indeks trošnosti ("Joint Coefficient of Strength"). Osim toga, vezano za primjenu "Q"-klasifikacije, određivan je broj sistema diskontinuiteta, a na jezgri istražnih bušotina se, osim postotka dobivene jezgre mjerio R.Q.D., broj diskontinuiteta/m' (F.F.), kutevi nagiba i hrapavost diskontinuiteta (JRC) te procjenjivao njihov zijev i ispuna. Podaci snimljeni na površini, tijekom kabinetske obrade korelirani su s podacima iz bušotina.

Stanje podzemne vode određeno je hidrogeološkim istraživanjima, kojima je potvrđeno da će se iskop tunela izvoditi u nesaturiranoj zoni (u suhom), u kojoj mjestimice mogu postojati određene količine tzv. "višeće vode" koja će tijekom proboja tunela u određenom vremenu iscuriti.

Na temelju ovako snimljenih podataka, provedeno je klasificiranje stjenjkih masa u svakoj od litostratigrafskih jedinica (I do XI) i po tektonskim blokovima (A do F), s prikazom "Geološkog indeksa čvrstoće", rezultata klasifikacije po "RMR"-sustavu (s oznakom kategorije stjenjske mase u pojedinim dionicama tunela) i "Q"-sustavu.

Na bazi klasifikacije stjenjkih masa određena je kategorija podgrade i tip podgradnog sklopa po dionicama (STOJKOVIĆ, 1997).

Karikirani uzdužni profil tunela "Sv. Rok" kroz Velebit (sl. 2), temeljen na rezultatima osnovnih geoloških istraživanja (VELIĆ et al., 1997), prikazuje sumarni produkt inženjerskogeoloških ("Geološki indeks čvrstoće") i geotehničkih istraživanja (BRAUN, et al., 1997), iz kojih je proizašla kategorizacija stjenjkih masa (vezano za orijentaciju osnovnog tektonskog sklopa i stanje podzemne vode), kao i određivanje podgradnog sklopa (STOJKOVIĆ, 1997).

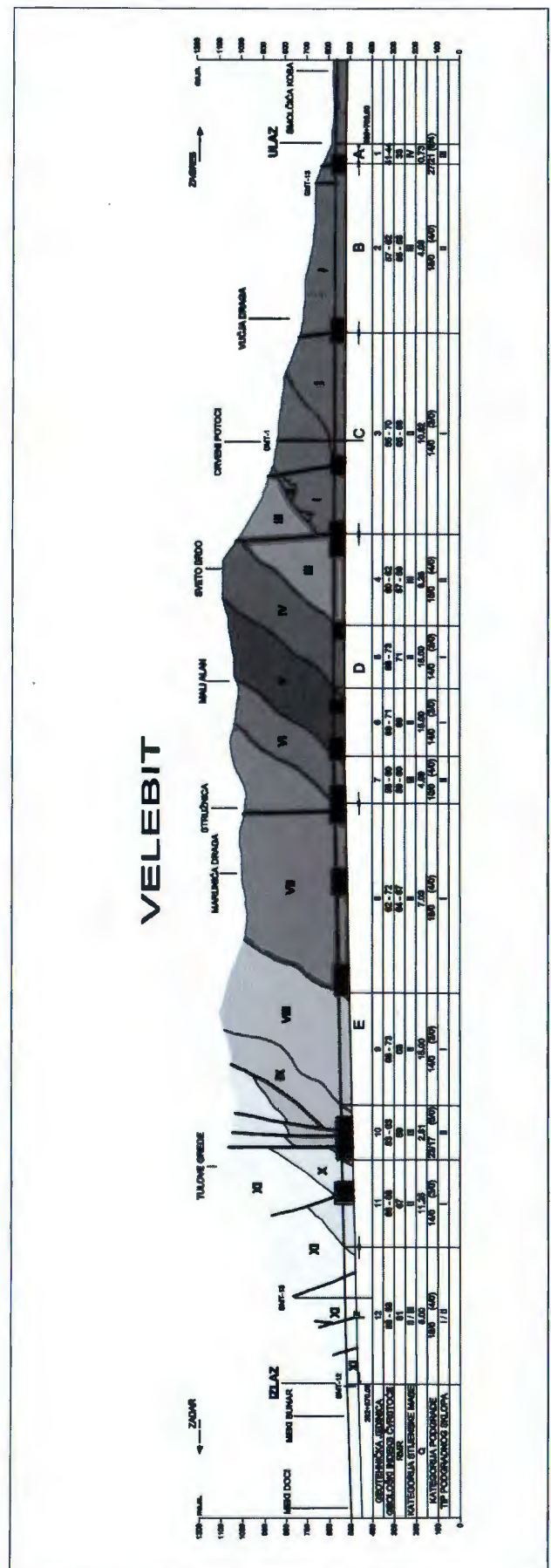
3. ZAKLJUČAK

Inženjerskogeološko modeliranje svojstava stjenjkih masa za cestovni tunel "Sv. Rok" kroz Velebit provedeno je u sklopu kompleksnih istraživanja.

Rezultati temeljnih geoloških istraživanja bili su podloga za planiranje i izvođenje inženjerskogeoloških istraživanja. Podaci za inženjerskogeološku interpretaciju grade i karakteristika stjenjkih masa i tla u području tunela, snimani su u skladu s metodologijom koju preporuča Internacionalno udruženje za mehaniku stijena. Sva mjerenja i drugi relevantni podaci za klasifikaciju stjenjkih masa uneseni su u odgovarajuću bazu podataka informatičkog sustava za tunel kroz Velebit, koji je kompatibilan GIS-u Republike Hrvatske.

Inženjerskogeološke karakteristike stjenjkih masa u tunelu prognozirane su na osnovu snimljenih podataka tijekom inženjerskogeološkog kartiranja, statističke obrade dobivenih podataka, rezultata istražnog bušenja te fotogeološkog transponiranja rezultata istraživanja na trasu tunela, a dijelom i analogijom s karakteristikama stjenjkih masa koje su probijene hidrotehničkim tunelom "Velebit".

Prezentirani rezultati istraživanja omogućili su klasifikaciju stjenjkih masa prema geomehaničkoj "RMR"-klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1989; HOEK et al., 1995) i "Q"-klasifikaciji (BARTON et al., 1974) kod čega su ulazni podaci za klasifikaciju stjenjkih masa određeni po litostratigrafskim jedinicama i tektonskim blokovima. Pokazano je da najveći dio stjenjkih masa u tunelu pripada II. i III. kategoriji. U tunelu su se već od samog



Sl. 2 Projektni geotehnički profil tunela.

Fig. 2 Design geotechnical cross section of the tunnel.

Kategorija prema "RMR"-klasifikaciji	II	II/III	III	IV	V
Dužina iskopa	2230 m	510 m	1790 m	570 m	570 m
Učešće u %	39	9	32	10	10
Učešće u %		80			20

Tablica 2 Odnos stjenskih masa po kategorijama prema geotehničkom projektu (STOJKOVIĆ, 1997).

Table 2 Proportion of rock mass categories, according to geotechnical design (STOJKOVIĆ, 1997).

Kategorija prema "RMR"-klasifikaciji	II	III	IV	V
Dužina iskopa	1716 m	124 m	55,8 m	210,7 m
Učešće u %	81	6	3	10
Učešće u %		87		13

Tablica 3 Odnos kategorija stjenskih masa sa sjeverne strane tunela (LUGOMER et al., 1999).

Table 3 Proportion of rock mass categories on the northern side of tunnel (LUGOMER et al., 1999).

početka (praktički već od ulaza), pa skoro sve do izlaza iz tunela, mogle očekivati pojave kavernozihih zona, otvorenih ili glinom ispunjenih kaverni kao i špilja.

Geotehničkim projektom tunela "Sv. Rok" prognoziran odnos stjenskih masa po kategorijama prikazan je u tablici 2.

Nakon proboja tunela može se sa zadovoljstvom konstatirati da su prognozirane karakteristike stjenskih masa najvećim dijelom i ostvarile.

RADIĆ & PERVAN (1999) o tome izvješćuju za južnu stranu tunela, za koju navode da je "praćenjem geološke građe tijekom iskopa tunela utvrđeno da u iskopenom dijelu tunela nije došlo do značajnijeg odstupanja od prognoziranih geoloških uvjeta".

Odnos kategorija stjenskih masa sa sjeverne strane tunela navode LUGOMER et al. (1999), a prikazan je u tablici 3.

U ovom dijelu tunela registriran je i probijen niz tektonskih zona, kaverni i kavernozihih kanala, od kojih se najveći broj nalazio u stjenskim masama u kojima je njihovo postojanje i prognozirano.

Na kraju treba napomenuti da su u osi tunela izvedene samo 3 bušotine koje su dosegle niveletu tunela te da su svi podaci s površine ekstrapolirani na niveletu tunela s nadslojem koji je najvećim dijelom bio preko 350 m! Može se ustvrditi da je podudarnost prognoznog i izvedenog stanja stjenskih masa u tunelu izvanredno dobra.

4. LITERATURA

- BARTON, N., LIEN, R. & LUNDE, J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.- *Rock Mech.*, 6, 183-236.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): *Engineering rock mass classifications.*- John Wiley & Sons, 251 str.
- BRAUN, K., BULJAN, R., NOVOSEL, T. & LARVA, O. (1997): Geotehnički projekt tunela "Sveti Rok", Glavni projekt, knjiga A/2.- Fond struč. dok. Instituta građevinarstva Hrvatske, RN 2200-1-220140/97, Zagreb.
- HOEK, E., KAISER, P.K. & BAWDEN, W.F. (1995): *Support of underground excavations in hard rock.*- A.A. Balkema, Rotterdam/Brookfield, 215 str.
- ISRM (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.- *Int. Jr. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 15, 319-368, Pergamon Press.
- LUGOMER, D., BUBANOVIĆ, B. & REDEPAGIĆ, M. (1999): Iskopen tunela Sveti Rok - sjeverna strana.- Znanstveno-stručno savjetovanje "Mehanika stijena i tuneli", Zbornik radova, 199-209, Zagreb.
- POLLAK, D. & BRAUN, K. (1998): Sedimentology in the service of engineering geology: Study of some results of the explorations for highway construction and tunneling in Croatia.- 8th International Congress, International Association for Engineering Geology and Environment, Proceedings, 1, 195-199, Vancouver, Canada.
- RADIĆ, Đ. & PERVAN, G. (1999): Radovi na iskopenju tunela "Sveti Rok" - južna strana.- Znanstveno-stručno savjetovanje "Mehanika stijena i tuneli", Zbornik radova, 165-173, Zagreb.
- STOJKOVIĆ, B. (1997): Geotehnički projekt tunela "Sveti Rok", Glavni projekt, knjiga B.- Fond struč. dok. Instituta građevinarstva Hrvatske, RN 2200-1-220140/97, Zagreb.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., FUČEK, L., OŠTRIĆ, N. & VLAHOVIĆ, I. (1997): Geotehnički projekt tunela "Sveti Rok", Glavni projekt, knjiga A/1.- Fond struč. dok. Instituta građevinarstva Hrvatske, RN 2200-1-220140/97, Zagreb.



Perspectives of Crossborder Activity in Geology Between Croatia and Hungary

Károly BREZSNYÁNSZKY

Key words: Research programmes, Geological Survey of Hungary, Geological Institute of Hungary, Loránd Eötvös Geophysical Institute, Hungary.

The Hungarian Geological Survey (MGSz), the Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) and the L. Eötvös Geophysical Institute (ELGI) operating in its framework quite recently elaborated a new concept of the state geological and geophysical tasks (GEO XXI, 2000) which must and should be funded by the state budget, as prescribed in the Act on Mining and in the Governmental Decree on the Hungarian Geological Survey.

In the year 2000 all research programmes and projects are terminated which were started before the transformation of the national institutional system of geology. From 2001, new research programmes will be initiated according to a new concept.

The new research concept differs from the previous one in several aspects. Earlier our tasks were determined by the requirements of the transition from the centralised planning economy to market economy. Now the main aim is to prepare ourselves for admission to the European Union. Accordingly, the concept, established for a 4-5 year preparatory term, comprises tasks which serve this aim.

According to the programme of the Hungarian Government, the share of scientific research in the state budget, steadily growing, should attain 1.5% of the GDP (Gross Domestic Product) by 2002. Prerequisites of this is the significant improvement of the efficiency of the institutional system of research, and the establishment of high priority research targets, approved by the Government. In accordance with the objectives of the Government, we have proposed the following.

- In order to control and improve the efficiency of the geological institutional system, to introduce the ISO quality assurance system.

- In the framework of the GEO-XXI concept such geological and research tasks are specified, which belong exclusively to the competence of the Hungarian state, and are indispensable for the environmental protection and area (regional) development programs, which are of high priority for Hungary's adhering to the European Union.
- After the successive stages of clear and need-oriented planning, high level implementation and severe control, an equally important task is to make use of the results for the benefit of the entire society.

The two research institutions of the geological and geophysical sciences, MÁFI and ELGI, plan to start the following four co-ordinated research programmes in 2001:

- 1) Basic research programme,
- 2) Surveying (mapping) programme,
- 3) Mineral prospecting programme,
- 4) Applied geological research programme.

The maintenance of archives, libraries, laboratories, museums, and observatories is obviously a prerequisite of the successful high-level execution of the research programmes. These units serve not only the tasks of the institutional system, but, under special conditions, have to fulfil the requirements formulated by the partners performing geological and geophysical exploration and by the larger public.

1. PROGRAMME OF BASIC RESEARCH

Basic research is indispensable for the maintenance of the high professional standard of concrete research activities, and it has a direct impact on geological mapping, mineral prospecting, and applied geological research, too. Consequently, when defining the tasks of basic research, a feedback with the other programmes is very much needed.

The explicit aim of the *Programme of Basic Research* is:

- to improve our understanding of the geological environment, achieving new knowledge,

Field of research	Specification
Stratigraphy, palaeontology	Quaternary Neogene Mesozoic
Tectonics, neotectonics	Investigation of megastructures
Sedimentology	Investigation of Quaternary sediments Foundation of hydrocarbon prognostic Carbonate sedimentology
Geochemistry	Investigation of water-rock interaction Geochemistry of stable isotopes
Mineralogy, petrology	Investigation of sedimentary rocks Development of analytical methods Igneous petrography
Geological modelling	Development and interpretation of D3 data bases
Lithosphere research	Investigation of the large-scale structures of the Earth's crust Radiometry Base-line survey Monitoring
Improvement of geophysical methods	Inversion methods Development of information systems
Observatory activities	Collecting, transfer and processing of data in international co-operation
Particularly fostered research topics	Instrumental mineralogy and petrography Organic geochemistry Palaeomagnetism Volcanology

Table 1 Fields of the basic research which should have priority in the framework of the two institutes.

- to maintain the leading role of our institutes in the state-financed geological research and to improve their scientific level,
- to cope with the progress of science,
- to keep our staff capable of adapting novel achievements on global scale, and to maintain the level of technical facilities,
- to identify adequate answers to the questions steadily raised by applied research.

Basic research is financed above all by the state. Requirements are: high scientific level, publication of the results, scientific progress of the individual research associates. The state budget is incapable of financing in equal manner all fields of science. This problem can be solved, at least partially, by national and international competitions, and by domestic and international co-operation. Our membership and activity in international organisations may be particularly helpful in this respect. The better use of human and technical resources and the improvement of the scientific level requires the harmonisation of the present programme of basic research with the mid-term concepts of other institutions which are also doing basic research.

In the framework of basic research the two institutes have to give priority to the fields presented in Table 1.

2. PROGRAMME OF SURVEYING (MAPPING)

The production of geological and geophysical maps has been one of the main tasks of both MÁFI and ELGI from the very beginning. The products of mapping, for which the achievements of basic research are continuously adapted, provide a solid basis for mineral prospecting and applied geological research. Maps of various scales have to be produced, for two reasons. On one hand, the differences in data density impose constraints as to the degree of detailedness. On the other hand, the various uses of the maps requires both outline maps and detailed ones. Advances in science, improvement of our knowledge require regular updating of the geological maps, at time intervals of about 20 years. However, we have not succeeded yet in making this understood by the competent authorities of the state budget. Consequently, there are areas in Hungary which have not been mapped in detail since World War II. It is one of our most important tasks to fill this gap.

The declared objective of the Programme of Geological Mapping is:

- to cover the entire territory of the country,
- to assure that the content of the maps be standardised and updated,
- to implement the **National Base Map Programme**.

The geological and geophysical mapping, which is an integral part of the activity of the two research institutes, has to be financed from the state budget. However, for the time being the state is able to fulfil this obligation only partially. There are no legal provisions which would assure free-of-charge access to the data needed for the mapping, which also have been financed from the state budget (topographic maps, air photographs, space imagery, results of airborne geophysics, etc.). For this reason we have to complement the funds available for geological mapping: one part of the applied geological tasks has to be executed in a way that they include also the preparation of the geological map of the given area. This holds true for both the works obtained by competition and by marketing. In Hungary, regular and detailed geological and geophysical mapping is being performed only by the two institutes. Other cooperation is confined to the incorporation of accidental data obtained in smaller areas and of those produced by mineral exploration, concerning the deeper horizons. In the framework of geological mapping MÁFI focuses on the presentation of the different geological horizons of the Earth's crust, on the maintenance and updating of the data bases needed to this effect, and on the top-level use of modern technologies.

In the framework of geophysical mapping the most important tasks of ELGI are: to produce country-wide geophysical parameter maps, to develop and exploit pertinent data bases, to continue the structural research of the Earth's crust, among other things to execute gap-filling geophysical measurements, and to collect regional geophysical data in order to improve our geophysical knowledge about the country.

The geological and geophysical mapping, as an activity essentially bound to regions, plays a very important part in the ongoing establishment of regions within Hungary. Namely, it is impossible to make those regions approaching the European level without an adequate knowledge of the relevant part of the Earth's crust, which is the physical basis of any development.

The National Base Map Programme is made up by maps produced on a unified topographical basis and according to uniform principles of surveying and plotting.

Surveying is concentrated on determined areas, in order to assure a homogeneity of regional data distribution. Those areas obtain priority for producing the various kinds of maps, with the pertinent data bases (Table 2).

3. MINERAL PROSPECTING PROGRAMME

The fundamental tasks of the research institute within the mineral prospecting programme are: the gathering of data on the mineral commodities of the country, their continuous updating and processing; the elaboration of prognostic of mineral resources; participation in the definition of the national regional and occurrence-level tasks of mineral resource management and of the specification of the necessary professional requirements; participation in the establishing of the system of mineral resources assessment, evaluation and registration.

The mineral prospecting will be based, because of the rather restricted financial sources, on the exploitation of the archives, libraries, laboratories, computer based data processing systems which are operated in the framework of public service activity, on the base maps produced and being produced by the mapping programme, on the new results of basic research and applied research, as well as on the integrated interpretation of the information obtained from the public service activity.

The mineral prospecting programme could be completed by prognostic mineral exploration, high-risk mineral prospecting, their geological and geophysical field work, and the drilling of necessary boreholes. However, this can be done only by exploiting further funding sources (mine royalty). High-risk mineral prospecting may discover new mineral deposits, and new types of mineral commodities, promoting the ensuing announcement of concessions. During the execution of the programme priority will be given to those mineral raw materials which are the most important for mining at present: hydrocarbons, building materials (sand, gravel, decorative stones) and other non-metallic mineral commodities.

Data gathering relies mainly on the geological and geophysical maps of the mapping programme. The explicit aim is to produce maps with the attached data base which contains all geological data available at the plotting, which can be interpreted unequivocally by any user. This makes possible a continuous updating of the information system and easy retrieval of any data which has been entered into the system.

The geophysical data bases (gravity, geomagnetic, airborne magnetic, geoelectric and seismic ones) have to be completed and updated.

A system of prescriptions has to be established for the regular recording of information concerning mineral resources during all kinds of field work.

Mainly in order to create a solid basis for a future new assessment of hydrocarbon potential, the plotting of subsurface geological maps of formations by horizons has to be continued, relying on the mapping programme. The principles of presentation have to be developed, as well as a relevant, unified, revised database system of drilling evidence and geophysical (seis-

Map types	Methods and tasks
Data reference maps	Establishing of prescriptions Development of a meta data base Internet access
Surface geological map	Geological surveying Surface geophysical surveying Development of different kinds of data bases Map plotting Map editing
Subsurface geological maps	Establishing of prescriptions Surface geophysical surveying Development of different kinds of data bases Map plotting 3D display
Tectonic and neotectonic maps	Establishing of prescriptions Development of various data bases Map plotting Geophysical lineament maps
Geophysical parameter maps	Use of new data sources Development of data bases Complementary measurements Map plotting

Table 2 Review of different types of maps with their methods and tasks.

mic, geoelectric, logging) data bases. Such subsurface horizon maps, complemented with tectonic and hydrogeological data, may be suitable also for the modelling of mineral occurrences and deposits.

The geological and geophysical data of the *Unified National Geological Map System* has to be complemented by data available at present in other data systems: mining plots; operating, suspended, in construction, stopped, abandoned, illegal mines; explored (free) areas; data of the National Mineral Resources Inventory; areas being explored (areas of exploration licences); national parks, nature protection areas. These data sets have to constitute a "level" of mineral commodities - mineral resources within the UNGMP, providing us with the possibility of further development.

An appropriate software-hardware system has to be developed, which assures data transfer between data bases and data base levels. This should be reasonably accessible.

4. APPLIED GEOLOGICAL RESEARCH PROGRAMME

The GEO-XXI document, i.e. the summary of the geological and geophysical research tasks of the Hungarian Geological Survey, MÁFI and ELGI, sums up the applied geological research as follows.

"Under applied geological research are understood those varied activities, which, relying upon the basic research and mapping, and complementing them, pro-

duces such maps and information that may be directly utilised by the society. Such are our tasks of environmental geology, hydrogeology, geochemistry, agroteology and agroteophysics, engineering geology and engineering geophysics, geological nature protection, and geological hazard assessment. This is the field where we must establish the closest link with society both in the definition of tasks and the utilisation of the results."

I would like to add: it is not enough to take into consideration the demands of society. Often it is necessary to advance them.

The main priorities in applied geological research are: the assessment of the state of the environment affected by human intervention, observation and monitoring of the occurring changes. This kind of research comprises all geological and geophysical operations, which investigate the uppermost layer of the lithosphere, the groundwater moving in it as a system, as well as those effects which, due to human activity (linear and areal construction works, agricultural activity, disposition of various kinds of waste, traffic, water management, mining and industrial activities etc.) have an impact on the natural state of the system.

Also the geological processes are studied which affect the natural and man-made environment, the geological objects/areas to be protected at various levels.

Consequently, the applied, the strategic and the preventive geological research make up an organic unit. The immediate aims are different, but the objects of study and the methods used are not.

It is also obvious that applied geological research is based on basic research and mapping.

Since the methods of mapping and those of the applied research are the same, overlappings are unavoidable. At the same time, applied research adopts and exploits the achievements of methodological development performed within the framework of basic research. Overlapping and linkage are evident also in this case.

As far as the general aims are concerned, six more or less distinct map groups can be distinguished:

- environment geological maps (including the contamination sensibility map as the map of vulnerable water bases),
- hydrogeological maps,
- engineering geological maps (including the suitability-for-construction map),
- agrogeological maps,
- earthquake risk maps,
- radiometric maps.

Having presented and discussed the core research programmes established for the forthcoming years, cooperation with the Croatian Institute of Geology seems to be assured in the following fields.

- 1) Compilation of a crossborder geological map, scale 1:100.000.
- 2) Joint GIS processing of the maps and borehole databases of the area concerned.
- 3) Preparation of a complex environment geological map series of the Danube-Drava national Park along the border between Hungary and Croatia, scale 1:100.000
- 4) Elaboration of a joint submission in the framework of the key action "Sustainable Water Management and Water Quality" of the EU-V frame programme.
- 5) Joint actions in international organisations (UNESCO, FOREGS, EuroGeoSurveys).

REFERENCES

- GEO XXI (2000): A Magyar Geológiai szolgálat és keretében működő Magyar Állami Földtani Intézet és Eötvös Loránd Geofizikai Intézet földtani, földtani kutatási feladatai a XXI. század kezdetén. (Összeállította: FARKAS, I., BREZSNYANSZKY, K. & BODOKY, T.).- Budapest, 22 p.
- A Magyar Állami Földtani Intézet és a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kutatási programja 2001-2003. (Összeállította: BODOKY, T. & BREZSNYANSZKY, K.).- Kézirat, Budapest, 39 p.



Mineralne pojave u paleozojskim klastitima i donjotrijaskim karbonatima Gorskoga kotara (Hrvatska)

Mineral Occurrences in Palaeozoic Clastic and Lower Triassic Carbonate Rocks in
Gorski Kotar (Croatia)

Dunja ALJINOVIĆ¹, Dragutin SLOVENEĆ¹, Goran DURN¹, Renata SLAVKOVIĆ²,
Slobodan MIKO³ & Danijela KOLARIĆ⁴

Ključne riječi: Gorski kotar, perm, donji trijas, mineralna parageneza, barit, pirit, kasnodijagenetska mineralizacija.

Key words: Gorski Kotar, Permian, Lower Triassic, Mineral paragenesis, Barite, Pyrite, Late diagenetic mineralization.

Sažetak

Mineralna asocijacija istraživana u permskim i donjotrijaskim sedimentnim stijenama Gorskoga kotara pokazuje da su uz dominantni barit te pirit i kvarc prisutni i do sada neopisani minerali: magnetit, hematit, te moguće sfalerit, anglezit/cerusit, viterit, gips i manganski i titanski oksidi. Geneza spomenutih minerala tumači se kasnodijagenetskim procesima i cirkuliranjem vrućih pornih otopina, moguće iniciranim povišenjem geotermijskoga gradijenta uslijed magmatizma u srednjem trijasu. Pojava barita nije vezana samo za područje Lokvi, Mrzle Vodice i Crnoga Luga već i za južni dio Gorskoga kotara oko Fužinskoga Benkovca.

Abstract

Mineral association which occurred in Palaeozoic clastic and Lower Triassic carbonate rocks in Gorski Kotar embrace various minerals, including some not noticed before. Except dominant barite, pyrite and quartz, also magnetite, haematite, and possibly sphalerite, anglesite/cerussite, witherite, gypsum, manganese and titanite oxides have been found in mineral paragenesis. The origin of barite and other associated minerals accumulated in Permian and Triassic sedimentary rocks is interpreted as mineralization by late diagenetic high-temperature solution possibly initiated by Middle Triassic magmatism that increased the geothermal gradient. Barite mineralization as described in the vicinity of Lokve, Mrzla Vodica and Crni Lug was also documented in the southern part of Gorski Kotar near Fužinski Benkovac.

1. UVOD

Jedna od karakteristika paleozojskih (permskih) klastita i donjotrijaskih karbonata Gorskoga kotara je pojava baritne i piritne mineralizacije. Ona je opisana u centralnom dijelu Gorskoga kotara, u okolici Lokava, Mrzle Vodice i Crnoga Luga gdje se nalaze i napušteni kopovi bilo baritne ili piritne rude (SALOPEK, 1949a, b, 1960; JURKOVIĆ, 1959; PALINKAŠ & ŠINKOVEC, 1986; PALINKAŠ et al., 1993). U mineralnoj paragenezi obično se nalaze oba minerala jer je uočeno njihovo intimno prorastanje (JURKOVIĆ, 1959), samo što je relativno obogaćenje jednoga od njih uvjetovalo eksploataciju barita odnosno pirita. Osim barita i pirita u mineralnoj paragenezi se spominju meljnikovit-pirit i mar-

kazit kao primarni minerali, te igličasta željezna ruda - lepidokrokrit, hidrohematit, psilomelan i kalcedon kao sekundarne mineralne faze (JURKOVIĆ, 1959).

Sedimentološkim, mineraloškim (rentgenska difrakcijska analiza, SEM/EDAX analiza), kemijskim (ICP-AES) i rudnoležištarskim istraživanjima provedenim na čitavom području Gorskoga kotara utvrđene su neke nove pojedinosti obzirom na mineralnu paragenezu.

2. ZNAČAJKE MINERALNE PARAGENEZE PALEOZOJSKIH SEDIMENTNIH STIJENA

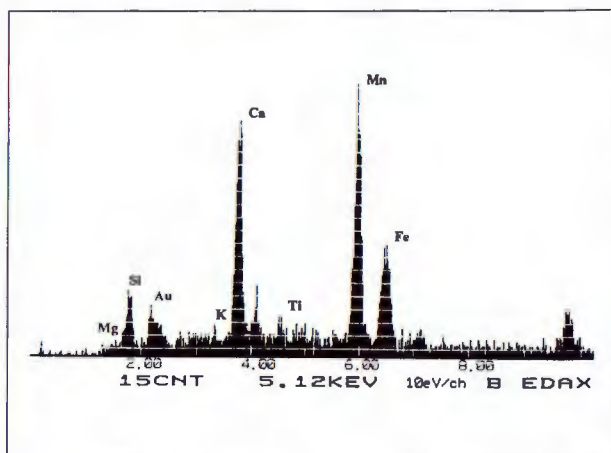
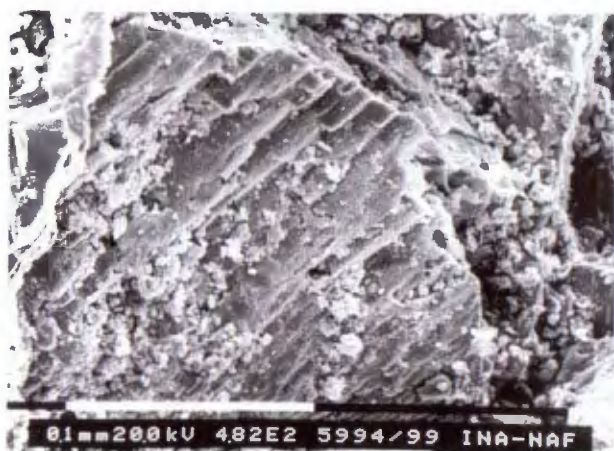
U paleozojskom (permskom) sedimentnom kompleksu mineralizacija je vezana za litološki različite tipove stijena.

¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²INA-Naftaplin, Poslovna jedinica laboratorij, Lovinčićeva 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

⁴Gorjanska 15, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 a) SEM analiza veziva parakonglomerata s lokaliteta Kosmačev Brijeg (okolica Mrzle Vodice). Na slici se vidi veliki kristal dolomita na čijoj su površini izlučeni manji kristali manganskih i titanskih minerala (strelice), vjerojatno, oksida; povećanje 482x. b) Prisustvo manganskih i titanskih minerala dokumentirano EDAX analizom.

Fig. 1 a) SEM analysis of parakonglomerate matrix (Kosmačev Brijeg locality, vicinity of Mrzla Vodica). On the surface of a large dolomite crystal a small manganese and titanite minerals (arrows), possibly oxides, occurred; exaggeration 482x. b) The presence of the manganese and titanite mineral documented by EDAX analysis.

Izmjena tankoslojevitih pješčenjaka i šejlova

U sedimentima koje karakterizira izmjena centimetarskih slojeva crnih šejlova, silita i pješčenjaka utvrđen je barit koji se pojavljuje duž pukotina u obliku pločastih bijelih makrokristala ili u asocijaciji s dolomitom kao makrokristali koji rastu pričvršćeni za podlogu. Sistem pukotina je nepravilan, debljina pukotina iznosi nekoliko centimetara do decimetara i često se pruža poprečno na slojeve. Takvo pojavljivanje barita zamijećeno je na lokalitetima Kosmačev Brijeg i Opaljenac u blizini Mrzle Vodice te na lokalitetu Bajer nedaleko Fužinskoga Benkovca.

U proslojcima šejlova u centralnom dijelu Gorskoga kotara, u okolici Mrzle Vodice (ležište Kosmačev Brijeg) rentgenskom difrakcijskom analizom utvrđeno je prisustvo barita, dolomita i pirita dok su u šejlovima okolice Fužinskoga Benkovca osim dominantnih kvarca, feldspata i dolomita utvrđeni barit pirit i gips.

Konglomerati

Konglomerati odgovaraju ili ortokvarcitnim ili petromiktinim konglomeratima te često pokazuju karakteristike normalne gradacije, kose slojevitosti ili kose laminacije. Pojavljivanje barita u konglomeratima zamijećeno je u centralnom dijelu Gorskoga kotara, kod Mrzle Vodice na lokalitetima Školski Brijeg i Opaljenac te u okolici Fužinskoga Benkovca na lokalitetu Bajer, na mjestu saniranog klizišta. Primarna boja konglomerata je siva, međutim površinskim trošenjem i stvaranjem željeznih oksida boja im prelazi u narančastožutu. U vezivu ortokvarcitnih konglomerata prisutni su barit, pirit te sekundarne faze (željezni oksidi nastali kao produkt trošenja). U vezivu petromiktinim konglomerata okolice Fužinskoga Benkovca barit je dokazan rentgenskom difrakcijskom analizom u pjeskovitom vezivu.

Osim kao vezivo, barit se u paleozojskim konglo-

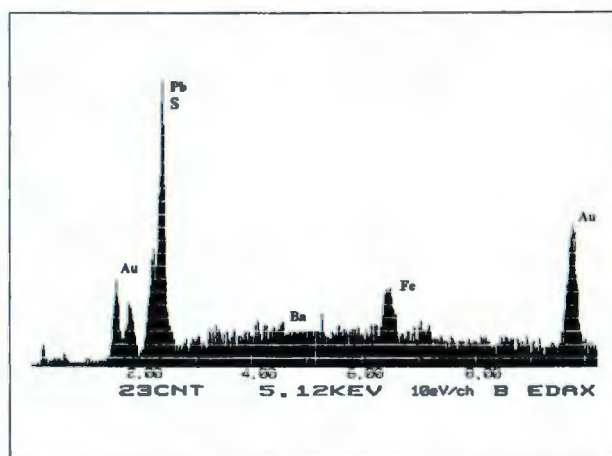
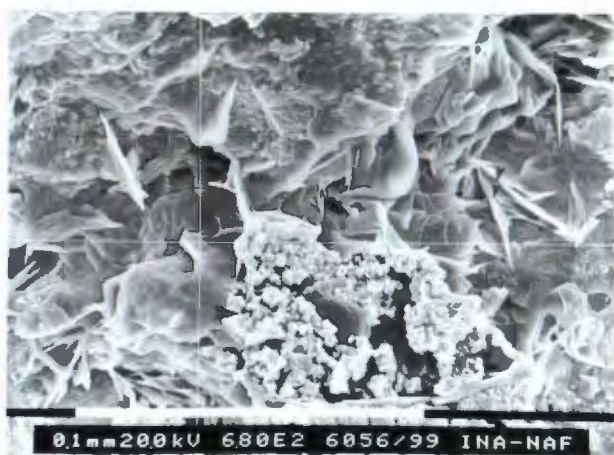
meratima pojavljuje i u obliku tankih žilica centimetarske debljine također u asocijaciji s željeznim oksidima. U nekim slojevima s baritnom mineralizacijom mogu se uočiti kalupne šupljine otopljenih klasta. Iako ovakve stijene imaju izgled "rauchwacka" u njima je udio karbonatne komponente neznatan.

Parakonglomerati

U sastavu parakonglomerata se nalaze valutice kvarcita, grebenskoga vapnenca, šejla i karbonatnoga madstona, dok je matriks uglavnom sastavljen od pijeska, šejla i granulskog materijala. Neki klasti obavijeni su "koricom" željeznih oksida, dok je barit izlučen oko klasta u vezivu. U vezivu parakonglomerata elektronskim mikroskopom su utvrđeni barit, dolomit, te manganski i titanski minerali, vjerojatno oksidi (sl. 1a i b). U parakonglomeratima se također uočavaju kalupne šupljine nastale otapanjem dijela klasta.

Pješčenjaci

Pješčenjaci su tipa kvarcnih arenita i grauvaka, a slojevi pješčenjaka variraju po debljini od centimetarskih do decimetarskih dimenzija, te se lateralno i vertikalno izmjenjuju s konglomeratima. Interna tekstura pješčenjaka je kosa laminacija što ukazuje na mogućnost taloženja strujama. U sastavu detritusa dominiraju klasti kvarca i kvarcita. U vezivu pješčenjaka utvrđen je barit i opâki minerali. Primjenom rudnog mikroskopa kao dominantna opâka mineralna faza u vezivu pješčenjaka utvrđen je getit. Uz njega, sporadično i u vrlo maloj količini prisutan je mineral čija optička svojstva ukazuju da se vjerojatno radi o sfaleritu. U ovakvom tipu stijena u paragenezi s baritom pojavljuje se i mineral koji bi možda mogao odgovarati anglezitu ili cerusitu što je utvrđeno elektronskim mikroskopom. Kristali pretpostavljenih minerala anglezita ili cerusita su ploča-



Sl. 2 a) SEM analiza uzorka paleozojskoga pješčenjaka s ležišta Školski Brijeg (okolica Mrzle Vodice). U vezivu pješčenjaka vidljivi su varijeteti lističastoga barita (označenog nitnim križem), granularnog barita (označenog velikom strelicom), te mineral cerusit ili anglezitet (označen s dvije male strelice); povećanje 680x. b) Prisustvo cerusita/anglezita dokumentirano EDAX analizom.

Fig. 2 a) SEM analysis of the Palaeozoic sandstone from the Školski Brijeg locality (vicinity of Mrzla Vodica). In the matrix a platy barite crystals can be seen (cross), as well as granular barite (large arrow) and anglesite or cerussite (two arrows); exaggeration 680x. b) The presence of the cerussite/anglesite crystals documented by EDAX analysis.

sta habitusa i ne razlikuju se od pločastih baritnih kristala (sl. 2a i b) te bi se, obzirom na sličnost habitusa i pojavu karakteristične linije koja odgovara liniji olova i sumpora, moglo pretpostaviti da se radi o anglezitu. No, nemogućnost detektiranja ugljika EDAX analizom dozvoljava i mogućnost postojanja cerusita.

3. ZNAČAJKE MINERALIZACIJE DONJOTRIJASKIH SEDIMENTNIH STIJENA

Orudnjeni paleozojski i trijaski sedimenti su u diskordantnom odnosu.

Na kontaktu paleozoika i donjega trijasa postoje nepravilni štokovi i skladovi barita približno jednakih širina i dužina, debljine u prosjeku 1-2 m s odebljanjem u sredini do 5 m, a dužine desetke metara. Ovi skladovi imaju oblik spljoštenih leća i predstavljaju stratiformni tip ležišta (JURKOVIĆ, 1959). Na samom kontaktu paleozoika i donjega trijasa postoji i tzv. orudnjeni horizont gdje je dominantna pojava barita te veće crne nakupine - gnijezda pirita, dok se mikropetrografski mogu uočiti samo relikti primarnog dolomita pored dominantnih krupnih rozetnih formi baritnih kristala i pirita. Zbog specifičnog izgleda i načina površinskoga trošenja orudnjeni horizont je na izdancima vrlo jasno uočljiv (sl. 3).

Reprezentativni uzorak rude dokumentiran je mikropetrografskim istraživanjem u prolaznom i reflektiranom svjetlu te su u mineralnoj paragenezi utvrđeni barit, pirit, magnetit, hematit, getit i kvarc. Pritom se na osnovu tekstura može razlikovati nekoliko faza mineralizacije.

Kemijski su analizirane paleozojske stijene ispod i donjetrijaski dolomiti iznad orudnjenog horizonta. Koncentracije mikro i makroelemenata u stijenama podine i

krovine orudnjenog horizonta s lokaliteta Kosmačev Brijeg i Homer pokazuju da niti za jednu mjerenu komponentu osim za željezo ne postoji karakteristični trend povišenja ili sniženja koncentracije duž profila od podine ka krovini. Zapaženo je samo znakovito povišenje barija i stroncija u uzorku rude na granici paleozoika i trijasa. Koncentracija barija i stroncija drastično opada udaljavanjem od orudnjenog horizonta.

Postoji također više načina pojavljivanja barita u trijaskom dolomitu. Mineralizacija je vezana za metarski interval makrokristalastog kososlojevitog dolomita s reliktima ooidnog detritusa kojim u centralnome dijelu Gorskoga kotara započinje donjetrijaska sedimentacija ("bazni dolomit" prema ŠČAVNIČAR, 1973). Istraživanja baritiziranih stijena donjeg trijasa pokazala su da je barit u dolomitu izlučen kao nepravilna uprskanja potiskujući dolomit, u lećama, gnijezdima, duž nepravilnog sistema žica, žila i žilica, te u stilolitskim šavovima.

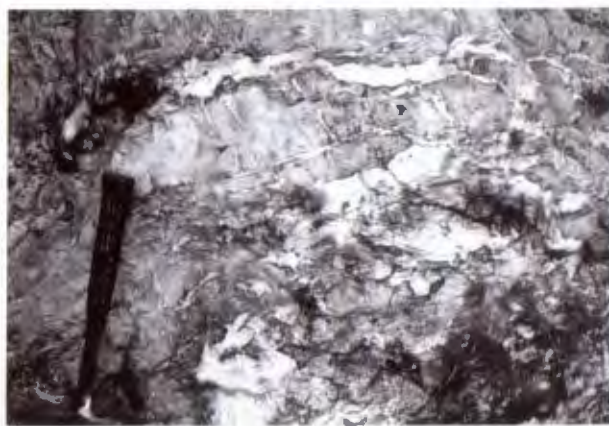
Nepravilna uprskanja barita u dolomitu

Barit se pojavljuje u obliku nepravilnih uprskanja u baznom dolomitu. Dolomitne stijene nosioci baritne mineralizacije su karakterizirane ksenotipnom i mjestimično hipidiotipnom makrokristalastom strukturom. Duž pojedinih smjerova u uzorku razvijeni su euhedralni do subhedralni planarni dolomitni romboedri koji su bistri, prozirni. Duž zona pojavljivanja hipidiomorfnih kristala prisutni su i opâki minerali, potisnuti na rubove kristala. Primarni vapnenački sastojci su u tim stijenama gotovo potpuno uništeni dolomitizacijom, no obično se u dolomitima mogu uočiti tragovi primarne strukture. U baznom dolomitnom kompleksu to su ooidi, koji su ponegdje očuvani kao "duhovi" markirani filmom željezovita pigmenta, što ukazuje da su primarni talozi odgovarali ooidnim vapnencima. Iako je primarna ooid-



Sl. 3 Izgled rudnjenog horizonta (rude) u uvjetima površinskoga trošenja; lokalitet Opaljenac (okolica Mrzle Vodice).

Fig. 3 Characteristic appearances of the ore horizon in weathered condition; Opaljenac locality (vicinity of Mrzla Vodica).



Sl. 4 Sistem žila i žilica u donjetrijaskom dolomitu; lokalitet Kosmačev Brijeg (okolica Mrzle Vodice).

Fig. 4 Veins and veinlets in Lower Triassic dolomite; Kosmačev Brijeg locality (vicinity of Mrzla Vodica).

na građa gotovo potpuno uništena, makroskopski se može uočiti kosa slojevitost ili kosa laminacija koja je interpretirana kao forseti 2D i 3D dina (ALJINOVIĆ, 1997). Forseti su bolje uočljivi na mjestima izloženim površinskom trošenju i djelovanju atmosferilija, dok se na svježem presjeku gotovo uopće ne vide. Uzrok tome je pojava rezistentnijih minerala - barita i kvarca koji vidno strše duž lamina što je doprinijelo očuvanju teksturnih karakteristika.

Barit je u ovim stijenama izlučen u obliku nepravilnih uprskanja potiskujući dolomit, kao poikilitsko vezi-vo ooida ili duž određenih pravaca u stijeni koji se obično poklapaju sa smjerom nizanja lamina. U dolomitu se mogu uočiti i opaki minerali, vjerojatno pirit, koji se pojavljuje izolirano kao male kuglaste nakupine ili potisnut na rubove dolomitnih kristala, te u kontaktu s baritnim kristalima. Elektronskim mikroskopom i EDAX analizom uočen je mineral barija, vjerojatno viterit jer je odsutna linija karakteristična za sumpor.

Uz barit, minerale željeza i viterit u mineralnoj paragenezi se gotovo redovito uočava kvarc. Makrokristali kvarca idiomorfna do alotriomorfna oblika ispunjavaju žilice, leće i gnijezda ili se radi o nepravilnim uprskanjima kvarca u makrokristalastoj dolomitnoj osnovi. Strukture kvarca ponekad nalikuju bubrežastim strukturama što potječe, vjerojatno, od primarno izlučenog kalcedona. Rudnim mikroskopom zapažena su potiskivanja kvarca baritom ali je zamijećen i njihov linijski kontakt što ukazuje na moguće izlučivanje u istoj fazi mineralizacije.

Leće

Duž lamina ili slojeva u baznom intervalu kosolaminiranog ili kososlojevitog dolomita barit i kvarc mogu biti izlučeni u obliku konkavno-konveksnih leća centimetarskih dimenzija. Takvo lečasto izlučivanje duž lamina uzrokuje valovito povijanje lamina iznad i ispod leća.

Gnijezda

Barit je izlučen također u nepravilnim šupljinama - gnijezdima rastući od ruba šupljine poput druznog cementa. U gnijezdima su uočeni kristali pločastog barita veličine do nekoliko milimetara. Na rubovima takvih šupljina uočavaju se opaki minerali ili produkti oksidacije tih minerala.

Žice

Žice su dužine nekoliko metara i širine nekoliko centimetara (oko 2-5 cm), vertikalno presijecaju "bazni dolomit" tj. položene su poprečno na slojevitost, a osim baritne ispune u njima su prisutni minerali željeza od kojih su neki izmijenjeni u uvjetima površinskoga trošenja.

Žile i žilice

U centralnom dijelu Gorskoga kotara, na ležištima Homer, Štemberger, Opaljenac, Kosmačev Brijeg i Školski Brijeg u dolomitima su uočeni spletovi žila i žilica nepravilnih ili planparalelnih stranica (sl. 4). Debljine im variraju od nekoliko centimetara do nekoliko decimetara, dok je njihova širina u rasponu od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara. Ponegdje se može uočiti kako žilice presijecaju primarnu strukturu stijene (npr. žilice položene poprečno na setove kosih lamina). Kratkim žilicama s baritnom ispunom ima i neposredno iznad "baznog dolomita" u sloju pjeskovitog dolomikrita koji je s njim u kontaktu.

Stilolitski šavovi

Stilolitski šavovi su zapaženi u makrokristalastom kososlojevitom dolomitu u centralnom dijelu Gorskoga kotara. Ispunjeni su baritom, piritom i željeznim oksidima nastalim kao produkt trošenja.

4. INTERPRETACIJA GENEZE ORUDNENJA

Mineralna asocijacija istraživana u permskim i donjotrijaskim sedimentnim stijenama Gorskoga kotara pokazuje da se uz dominantni barit te pirit i kvarc pojavljuju i do sada neistraženi i neopisani minerali kao što su magnetit, hematit, sfalerit, cerusit, viterit, gips te vjerojatno manganski i titanski oksidi.

Ovaj rad je pokazao da baritna mineralizacija nije vezana samo za centralni dio Gorskog kotara već i za njegov južni dio (okolica Fužinskog Benkovca), gdje je uočena u permskim klastitima.

Žile, žice, žilice, leće i gnijezda, te skramice i stiloliti s baritom i željeznim sulfidima i oksidima te ostalim pratećim mineralima kako u paleozojskim tako i u trijaskim sedimentima ukazuju na kasnodijagenetsko porijeklo odnosno tvorbu pukotinskih sistema duž kojih su cirkulirale otopine iz kojih je bio odlagan barit, minerali željeza i ostali prateći minerali. Znakovito povišenje barija i stroncija u uzorku rude te drastično opadanje njihove koncentracije u stijenama podine i krovine također pretpostavljaju otvoreni sistem i donos ovih elemenata uslijed cirkulacije pornih otopina.

Promatrajući karakteristike potiskivanja dolomita baritom, linearno izlučivanje baritnih kristala duž kosih slojeva ili lamina dolomita, te zonalnost dolomitnih kristala, promatranih katodno-luminiscentnom metodom, ALJINOVIĆ (1997) smatra da su orudnjenje i dolomitizacija na području Gorskoga kotara vezani za nekoliko kasnodijagenetskih faza i cirkulaciju pornih otopina duž pukotina te kroz porozne zrnске sedimentne stijene. Moguće je pretpostaviti, dakle, da su otopine koje su dolomitizirale stijene ali i nosile baritnu mineralizaciju i mineralizaciju željeznih i drugih minerala cirkulirale duž propusnih ooidnih grejnstona donjega trijasa, te pješčenjaka i konglomerata paleozoika te dolomitizirale oba tipa propusnih stijena. Cirkulacija fluida odvijala se i duž pukotina.

Mineralizacija u Gorskome kotaru vezana je, barem djelomično, za procese koji su dolomitizirali primarne vapnenačke taloge u kasnoj fazi dijagenoze pri visokoj temperaturi (ALJINOVIĆ, 1997). SIBLEY & GREGG (1987) i NICOLAIDES (1995) smatraju da različite planarne ili neplanarne dolomitne strukture nastaju pod utjecajem dvaju dominantnih faktora: temperature na kojoj kristali rastu i stupnja zasićenosti dolomitizirajućih fluida. Neplanarni dolomitni kristali, koji odgovaraju ksenotipskim strukturama, kako ih opisuju GREGG & SIBLEY (1984), nastaju uslijed dolomitizacije pri visokim temperaturama. Iako visokotemperaturni uvjeti obično podrazumijevaju veću dubinu zalijeganja sedimenta, moguće je pretpostaviti i strujanje vrućih fluida naviše duž pukotinskih sistema, većih fraktura ili rasjeda. Tako se mogu izmijeniti sedimenti koji nisu sami bili na velikoj dubini (KUPECZ & LAND, 1991). Zbog toga se pretpostavlja cirkulacija vrućih pornih otopina uslijed povišenja geotermijskog gradijenta.

Dolomitizacija te izlučivanje barita, željeznih minerala i kvarca moglo je, dakle, nastati kao produkt kasno-

dijagenetskih procesa u bilo kojem mladem geološkom razdoblju. No, kako pojava barita nije registrirana u gornjotrijaskom kompleksu, a niti u mladim stijenama, proces cirkulacije vrućih pornih otopina može se vezati za povišenje geotermijskog gradijenta uslijed vulkanizma u srednjem trijasu. Anđezitu Fužinskog Benkovca po svim geokemijskim karakteristikama odgovara upravo srednje trijaska starost (VRAGOVIĆ & GOLUB, 1969) te bi bilo opravdano pretpostaviti taj magmatizam kao mogući uzrok povišenja geotermijskog gradijenta i inicijalni momenat za cirkulaciju pornih otopina.

Moguće prisustvo viterita može se objasniti metasomatskim djelovanjem sekundarno-hidrotermalnih otopina na dolomit i sekundarnom mobilizacijom barija što je sukladno ranijim istraživanjima (ŠIFTAR, 1978).

Na kemogeno porijeklo kvarca i barita ukazuju idiomorfne forme kvarca uočene u dolomitu i uzorku rude te rozetne forme baritnih makrokristala i makrokristali barita uočeni u gnijezdima dolomita.

Elektronskim mikroskopom u paragenezi je, također, pretpostavljena pojava anglezita ili cerusita koji se po habitusu ne razlikuju od baritnih kristala što se može objasniti pseudomorfozom cerusita po baritu.

Obzirom da je mineralizacija barita, piritu i ostalih opisanih minerala vezana za kasnodijagenetsku fazu, ležišta barita i piritu mogu se smatrati epigenetskim (SELLEY, 1976).

5. LITERATURA

- ALJINOVIĆ, D. (1997): Facijesi klastičnih sedimenata mlađega paleozoika i starijega trijasa Gorskoga kotara.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 163 str.
- GREGG, J.M. & SIBLEY, D.F. (1984): Epigenetic dolomitization and the origin of xenotopic dolomite texture.- *Jour. Sed. Petrology*, 54, 908-931
- JURKOVIĆ, I. (1959): Pojave barita u Hrvatskoj.- *Geol. vjesnik*, 12, 115-124.
- KUPECZ, J.A. & LAND, L.S. (1991): Progressive recrystallization and stabilization of early-state dolomite: Lower Ordovician Ellenburger Group, west Texas.- U: PURSER, B.H., TUCKER, M.E. & ZENGER, D.H. (eds.): *Dolomites: A volume in Honour of Dolomieu*. Spec. Publ. Int. Ass. Sedimentol., 21, 255-279.
- NICOLAIDES, S. (1995): Origin and modification of Cambrian dolomites (red Heart Dolomite and Arthur Creek Formation), Georgina Basin, central Australia.- *Sedimentology*, 42, 249-266.
- PALINKAŠ, L.A. & ŠINKOVEC, B. (1986): Tidal flat facies and barite mineralization in Gorski Kotar.- *Geol. vjesnik*, 39, 215-224.
- PALINKAŠ, L.A., PEZDIČ, J. & ŠINKOVEC, B. (1993): The Lokve barite deposit, Croatia: an example of early diagenetic sedimentary ore deposits.- *Geol. Croatica*, 46/1, 97-106.
- SALOPEK, M. (1949a): Gornji paleozoik u okolini Mrzle Vodice u Gorskom kotaru.- *Ljetopis JAZU*, 55, 175-184, Zagreb.
- SALOPEK, M. (1949b): O gornjem paleozoiku u okolini Gerova i Tršća u Gorskom kotaru.- *Ljetopis JAZU*, 55, 193-198, Zargeb.
- SALOPEK, M. (1960): O gornjem paleozoiku u okolici Mrzle Vodice i Crnoga Luga.- *Acta geologica* 2, 121-132, Zagreb.
- SELLEY, R.D. (1976): *An introduction to sedimentology*.- Academic Press, London, New York, San Francisco, 377-388.
- SIBLEY, D.F. & GREGG, J.M. (1987): Classification of dolomite rock textures.- *Jour. Sed. Petrology*, 57, 967-975.

ŠČAVNIČAR, B. (1973): Klastiti trijasa u Gorskom kotaru (Clastic Sediments of the Triassic in the Gorski Kotar Region).- Acta Geologica, 7/1, 105-106.

ŠIFTAR, D. (1978): Bakteriogeno otopljeni barit kao mogući izvor sekundarno mobiliziranog barija.- Geol. vjesnik, 30/2, 359-362.

VRAGOVIĆ, M. & GOLUB, Lj. (1969): Hornblenda andezit (porfir-it) Gornjeg Benkovca kod Fužina, Gorski kotar (Hornblende-andezite (porphyrite) from G. Benkovac near Fužine, Gorski kotar).- Acta geologica, 6, 55-66, Zagreb.



Razvoj karbonatnih i siliciklastičnih facijesa donjega trijasa Gorskoga kotara (Hrvatska)

The Evolution of Lower Triassic Siliciclastic and Carbonate Facies in Gorski Kotar (Croatia)

Dunja ALJINOVIĆ & Josip TIŠLJAR

Ključne riječi: donji trijas, karbonatni i siliciklastični facijesi, ooidni prudovi, unutarnji šelf, epikontinentalno more, zapadna Hrvatska.

Key words: Lower Triassic, Carbonate and siliciclastic facies, Ooid bars, Inner shelf, Epicontinental sea, Western Croatia.

Sažetak

Donjotrijaski karbonatni i siliciklastični sedimentni kompleks Gorskoga kotara pokazuje razlike bočnoga i vertikalnoga rasporeda facijesa u svom središnjem dijelu (područje Lokvi i Mrzle Vodice) u odnosu na rubna područja na sjeverozapadu (okolica Gerova), jugu (okolica Fužinskoga Benkovca) i istoku (okolica Vrbovskoga). Dok u središnjem dijelu prevladavaju plitkomorski karbonatni facijesi s tendencijom povišenja udjela siliciklastične komponente naviše, u sjeverozapadnim i jugoistočnim su se područjima naizmjenično taložili karbonati te srednje i sitnozrnasti klastiti kakvi su inače karakteristični za sajske naslage širega područja Dinarida. Takav raspored facijesa posljedica je transgresivnih tendencija tijekom starijega trijasa s tipičnim retrogradacijskim trendom na relaciji plitkomorski obrubljeni karbonatni šelf s ooidnim prudovima - prostrana laguna i/ili zaštićeni plićak - unutarnji šelf - epikontinentalno more.

Abstract

Lower Triassic carbonate and siliciclastic sedimentary complex in Gorski Kotar differentiates in its lateral and vertical facies distribution. A facies assemblage as noticed in the central part of Gorski Kotar (vicinity of Lokve and Mrzla Vodica) differs from the surrounding areas in the North-West (vicinity of Gerovo), in the South (vicinity of Fužinski Benkovac), and in the East (vicinity of Vrbovsko). In central part the shallow water carbonate facies predominate and reflect the shallow water marine sedimentation of the stable shelf rimmed by ooid bars. The amount of siliciclastic (terrigenous) detritus increases upward. In Northwestern, Southern and Eastern part of Gorski Kotar the carbonate sedimentation was interrupted by sedimentation of siliciclastic, usually terrigenous detritus. The interlayering of carbonate (ooid) limestones and red pelites and sandstones is well known in the wider area of Outer Dinarides. Such different lateral facies distribution was interpreted as the result of transgression in shallow carbonate rimmed shelf. The shallow facies transforms from shallow carbonate rimmed shelf to lagoon and/or restricted bay, then to unrestricted inner shelf and finally to wide epicontinental sea.

KARBONATNI I KARBONATNO-SILICIKLASTIČNI FACIJESI (SREDIŠNJI DIO GORSKOGA KOTARA)

Karbonatni i karbonatno-siliciklastični razvoj središnjega dijela Gorskoga kotara najbolje prezentiraju izdanci u starim kopovima barita u području Homera zapadno od Lokava i Školskoga Brijega kod Mrzle Vodice (sl. 1). U transgresivnom slijedu na sedimentima paleozoika nalazi se kososlojeviti kasnodijagenetski dolomitizirani ooidni grejnstoni izdvojeni kao **facijes F-1 - dolomitizirani ooidni prudovi**. Planarna kosa slojevitost primarnih ooidnih pijesaka pripada forse-

tovima migrirajućih subakvatskih kompleksnih dina, kakve su opisane u mnogim recentnim sedimentima (BOGGS, 1974; ANDERTON, 1976; SWIFT et al., 1978; AIGNER, 1985; HINE, 1977). Pri taloženju ooidnih pijesaka dominantnu je ulogu imao utjecaj olujnih i tajdanih procesa uz formiranje i migraciju ooidnih prudova i njihove postolujne tajdane prerade. Na taj su način nastale subakvatske dine odnosno pješčani prudovi (*sand bars*) čija je površina preradena tajdalom dje-latnošću u megariplove. Na to ukazuju deblji setovi kosih slojeva koji su interpretirani kao olujama taloženi ooidni pijesci, a tanji planarni i koritasti kosetovi kao tajdalni talozi. Taloženje se zbivalo u plitkoj vodi, naj-



Sl. 1 Lokacijska karta.
Fig. 1 Location map.

većim dijelom ispod razine oseke, tj. u *shoreface*-u. Tijekom dijagenetskih procesa oidni su pijesci dobro cementirani i kasnodijagenetski dolomitizirani.

Oidni prudovi izdvojeni u facijes F-1 tvorili su tipičnu morfologiju barijernih prudova smještenih između otvorenoga mora i obale (sl. 2A). Iza njih su od otvorenog morskog plićaka prema obali postojale lagune i/ili zaštićeni plićaci s taloženjem pretežito karbonatnih muljeva i karbonatnih pijesaka ponegdje s manjom ili većom količinom siliciklastičnoga detritusa. To su talozi izdvojeni kao **lagunski facijes - F-2** koji se odlikuje tankoslojevitim (2-40 cm) dolomikritima s proslojcima pjeskovitih dolomita i/ili kalkarenacejskih pješčenjaka koji pokazuju blago valovitu i paralelnu laminaciju. Po rubnim dijelovima laguna i plimnih ravnica karbonatni su muljevi procesima ranodijagenetske dolomitizacije pretvoreni u ranodijagenetske dolomite.

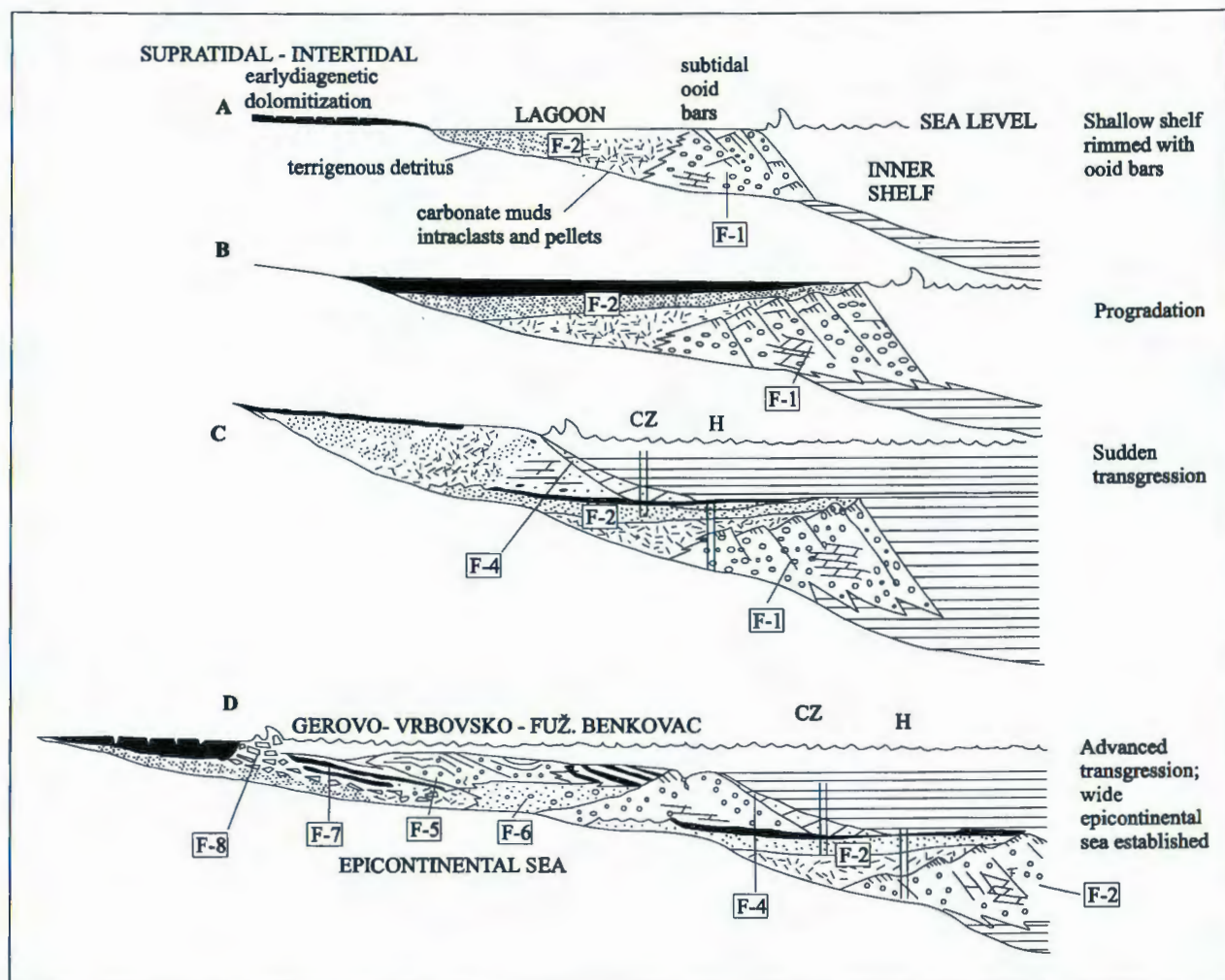
Unutar dolomikrita lagunskoga facijesa F-2 nalaze se pločasti (15-60 cm debeli) slojevi oidnih grejnstona koji pokazuju nejasnu kosu slojevitost. Izdvojeni su kao posebni **facijes F-3 - pločasti olujni oidni grejnstoni**. Interpretirani su kao olujni slojevi nastali naplavlivanjem oidnih pijesaka s barijernih prudova u lagunu tijekom olujnoga vremena.

Sjevernije od Lokava i Mrzle Vodice u području Crnoluškoga Zelina (sl. 1) donjotrijaski karbonatni sedimenti imaju drukčiji razvoj. Na dolomitiziranim oidnim grejnstonima - facijesu dolomitiziranih oidnih prudova (F-1) nisu taloženi dolomikriti s kalkarenacejskim proslojcima, tj. lagunski facijes F-2, jer je zbog nagle transgresije i potapanja prudova odmah stvoren prostrani plitkomorski *shoreface-offshore* taložni sustav (sl. 2C). Na to ukazuju sedimenti izdvojeni u **karbonatno-siliciklastični "shoreface-offshore" facijes F-4** koji se pretežito sastoji od mikrokristalnih do makrokristalnih dolomita i pjeskovitih dolomita s rijetkim pločastim

i lećastim, do 15 cm debelim, ulošcima siltita. Bitna strukturalno-teksturalna odlika toga facijesa jesu kasnodijagenetska dolomitizacija i reliktna strukturalna ooidnih i intraklastičnih grejnstona do pjeskovitih grejnstona, koje čine dobro očuvane olujne sekvencije sa setovima humčastih kosih lamina, paralelnom i riplastom laminacijom, te sa žljebastim "gutter cast" teksturalama na donjim slojnim ploham dolomita i pjeskovitih dolomita. Na temelju takvih strukturalno-teksturalnih značajki ovi primarno pretežito zrnasti vapnenački sedimenti s ulošcima i lećama siltita interpretirani su kao *shoreface-offshore* talozi s učestalim pojavama olujnih sekvencija, dakle kao plitkomorski sedimenti taloženi između osnovice valova lijepa i osnovice valova olujna vremena tijekom transgresivne faze.

KARBONATNO-SILICIKLASTIČNI I SILICIKLASTIČNI FACIJESI (SJEVEROZAPADNI, JUŽNI I JUGOISTOČNI DIO GORSKOGA KOTARA)

U sjeverozapadnom, južnom i jugoistočnom dijelu Gorskoga kotara (područje Gerova, Fužinskoga Benkovca i Vrbovskoga - sl. 1) karbonatni facijesi F-1, F-2 i F-3 nisu pronađeni, što se objašnjava paleogeomorfološkom situacijom toga područja tj. postupnim širenjem morskoga taložnoga prostora s napredovanjem transgresije. Blizina i utjecaj kopna odražava se u povećanju udjela siliciklastičnoga, pretežito pješčanoga, materijala obojenog crvenim hematitnim i getitnim pigmentom, što je posebice izraženo u profilima Kramarčin potok u blizini Gerova i Vrbovskoga. U izmjeni se nalaze metarski intervali kososlojevitih dolomitiziranih oidnih grejnstona ili pjeskovitih dolomita izdvojenih u **facijes ooidnih plićaka F-5**, dobro slojeviti laminirani crveni



Sl. 2 Model napredovanja transgresije koji objašnjava prijelaz od početne faze plitke marinske sedimentacije i formiranja oidnih prudova koji predstavljaju barijeru prema laguni do uspostavljanja uvjeta prostranog epikontinentalnoga mora. Unutar općih transgresivnih tendencija moguće je očekivati i lokalne kratkotrajne periode progradacije. A) Marinski okoliš sa subtajdalnim oidnim prudom koji predstavlja barijeru; B) zbog polagane transgresije dolazi do pomicanja barijernog pruda prema moru i širenja lagunskih sedimenata na sedimente pruda ili, moguće, do kratkotrajne progradacije; c) tonjenje pruda uslijed nagle transgresije i stvaranje nove obalne zone; D) uspostavljanje uvjeta taloženja u prostranom epikontinentalnom moru. H - pretpostavljeni položaj slijeda Homer; CZ - pretpostavljeni položaj slijeda Crnoluški Zelin.

Fig. 2 The model of transgression which explains the transition from shallow carbonate shelf with ooid bars as barriers (point A) to the wide epicontinental sea (point D). Within overall transgressive trend a short-term progradation can be expected. A) Shallow shelf with the subtidal ooid bars as barrier; B) due to slow transgression a barrier degrade and moves towards outer shelf while the lagoon facies widens and overlaps the bars, or a short-term progradation condition occurred; C) due to rapid transgression the bars drowned and a new coast formed; D) established sedimentary condition as in wide epicontinental sea. H - proposed position of the sedimentary succession Homer; CZ - proposed position of the sedimentary succession Crnoluški Zelin.

pješčenjaci s ulošcima siltita - **facijes crvenih pješčenjaka F-6**, te nepravilni tanki slojevi, leće ili lamine dolomita i crvenoga siltita izdvojeni kao **facijes laminiranih dolomita i siliciklastičnih muljeva zaštićenih plicaka F-7**. Sedimenti izdvojeni u facijes F-6 i F-7 i njihova izmjena s facijesom F-5 tipičan su slijed za sajske naslage. To su talozi plitkoga mora u kojemu je taloženje bilo utjecano valovima, olujama i tajdalnim strujama. U plitkome moru postojale su i prostrane muljne plimne ravnice na kojima su supratajdalni i intertajdalni dijelovi bili podvrgnuti isušivanju, tvorbi poluočvrstih, pločastih klasta i njihovom pretaloživanju, te nastaju intraformacijski karbonatni brečo-konglomerati

izdvojeni u **facijes intraformacijskih brečo-konglomerata F-8**, interpretirani kao olujni sedimenti potopljenog žala (*shoreface-a*).

INTERPRETACIJA TALOŽNOGA SUSTAVA I ZAKLJUČAK

Bočni i vertikalni raspored prikazanih facijesa donjega trijasa Gorskoga kotara interpretiran je kao uzročno-posljedična veza dvaju osnovnih činitelja: paleogeomorfologije i postupnog napredovanja transgresije, odnosno širenja morskoga taložnoga prostora s pre-

vlašću retrogradacijskih taložnih procesa (sl. 2A, B, C i D).

U središnjem dijelu današnjega Gorskoga kotara (područje Lokve - Mrzla Vodica) početkom trijasa postojali su plitkomorski okoliši povoljni za tvorbu velikih količina ooida i njihovu neprestanu migraciju i akumulaciju u obliku kososlojevitih subakvatskih dina ili megariplova u funkciji barijere ili proslojaka unutar lagunskih taloga. Istodobno je u sjeverozapadnom, južnom i jugoistočnom dijelu današnjega Gorskoga kotara (područje okolice Gerova, Fužinskoga Benkovca i Vrbovskoga) egzistiralo kopno. Postupnom transgresijom morski se prostor sve više širi i tvori plitkomorske okoliše na relaciji *shoreface* - *offshore*.

Različiti razvoj facijesa na različitim mjestima, posebice odnosi karbonatnih facijesa F-1, F-2, F-3 i F-4 i karbonatno-siliciklastičnih facijesa F-5, F-6, F-7 i F-8, interpretirani su, uz neophodno postojanje paleogeomorfoloških razlika, općim transgresivnim tijekom taložnih procesa. Premda sekvencije u kojima se u osnovici nalaze sedimenti karbonatnih pješćanih prudova prekriveni lagunskim talozima neki autori (REINSON, 1984) tumače progradacijom prudno-lagunskoga kompleksa u smjeru mora, smatramo da to nije bio slučaj s ovdje izdvojenim facijesima F-1 i F-2. Naime, sekvencije s identičnim slijedom ooidni prud - lagunski talozi nastaju i pri naglom relativnom porastu morske razine - nagloj transgresiji - po mehanizmu "potapanjem pruda na mjestu" (*in-place drowning* - ELLIOTT, 1986). Pri postupnoj transgresiji barijerni prudovi mogu biti djelomično erodirani tako da pješćani detritus pruda progradacijski migrira u smjeru mora uz širenje lagune i prema obali i prema moru. Međutim, pri nagloj transgresiji, kakvu pretpostavljamo u ovome slučaju, prekida se erozija pruda i njegova progradacija i širenje u smjeru mora, a zbog njegova nagloga "potapanja na mjestu" na prudove naliježu talozi proširenih zaštićenih plićaka ili laguna koji omogućavaju prekrivanje prudnih pijesaka (F-1) lagunskim talozima (F-2 ili F-2 i F-3).

U takvom taložnom sustvu nisu, međutim, isključeni i povremeni progradacijski uvjeti, o čemu svjedoči povremeno pojačani terigeni utjecaj - donos siliciklastičnoga materijala. Napredovanjem transgresije i širenjem taložnoga prostora formira se prostrani *shoreface-offshore* okoliš s manjim ili većim donosom siliciklastičnog materijala s kopna (F-4) - sl. 2C. U ovom slučaju takav okoliš i uvjeti taloženja (F-4) nastupili su nakon potapanja ooidnih prudova i daljnega napredovanja transgresije u uvjetima obale izložene utjecajima valova, tj. otvorenoga mora. Dakle, facijes F-4 je na ovome mjestu mladi od facijesa F-1 i F-2, a na nekom drugom mjestu bočno od prudova istodoban ili uglavnom mladi, premda je izravno taložen na paleozojsku podlogu.

Daljnje napredovanje transgresije uz postupno širenje morskoga prostora u sjeverozapadnim, južnim i jugoistočnim dijelovima današnjega Gorskoga kotara na paleozojsku se podlogu, u uvjetima širenja *shoreface-offshore* - *šelfnih* okoliša, talože facijesi F-5, F-6, F-7 i F-8 (sl. 2D). To ujedno znači da karbonatni facijesi F-1, F-2, F-3 i F-4 izdvojeni na području Lokve - Mrzla Vodica i facijesi F-5, F-6, F-7 i F-8 izdvojeni u sjeverozapadnom i jugoistočnom dijelu današnjega Gorskoga kotara (područje Gerova, Fužinskoga Benkovca, odnosno okolica Vrbovskog) nisu istodobni, te da su ovi posljednji mladi i da odgovaraju tipičnim donjotrijaskim sajskim naslagama širega prostora Dinarida kakve su opisale ŠČAVNIČAR (1973) i ALJINOVIĆ (1991).

LITERATURA

- AIGNER, T. (1985): Storm depositional systems: dynamic stratigraphy in modern and ancient shallow-marine sequences.- Lecture Notes in Earth Sci., 3, Springer-Verlag, New York, 173 str.
- ALJINOVIĆ, D. (1991): Petrološke i sedimentološke karakteristike naslaga donjega trijasa na području Plavno i Sirmica.- Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet i Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 93 str.
- ANDERTON, R. (1976): Tidal shelf sedimentation: an example from the Scottish Dalradian.- *Sedimentology*, 23, 429-458.
- BOGGS, S.Jr. (1974): Sandwave fields in Taiwan Strait.- *Geology*, 2, 251-253.
- ELLIOTT, T. (1986): Clastic shorelines.- U: READING, H.G. (ur.): *Sedimentary environments and facies*.- Blackwell, Oxford, 155-188.
- HINE, C.A. (1977): Lily Bank, Bahamas: history of an active oolite sand shoal.- *Jour. Sed. Petrology*, 47, 1554-1583.
- REINSON, G.E. (1984): Barrier Island and associated strand plain systems.- U: Walker, K.R. (ur.) *Facies Models*.- Ainsworth Press Ltd., Kitchner, Ohio, 119-207.
- SWIFT, D.J.P., SEARS, P.C., BOHLKE, B. & HUNT, R. (1978): Evolution of a shoal retreat massif, North Carolina shelf: inferences from areal geology.- *Mar. Geol.*, 27, 19-42.
- ŠČAVNIČAR, B. (1973): Klastiti trijasa u Gorskom kotaru (Clastic Sediments of the Triassic in the Gorski Kotar Region).- *Acta Geologica*, 7/1, 105-106.



Correlation of Neogene Beds in Northeastern Slovenia

Bogoljub ANIČIĆ, Stevo DOZET & Miro ŽNIDARČIČ

Key words: Litho- and biostratigraphy, Correlation, Pannonian basin, Northeastern Slovenia.

Abstract

On the basis of detailed sedimentological investigations as well as microfacies and biofacies analysis of several cross-sections in the Northeastern Slovenia a lithostratigraphical and biostratigraphical subdivision and correlation of the Neogene beds in the Gorjanci Mts., Krško hills, Sremič, Orlica and Bizeljsko area have been performed. In the study area a continual marine-brackish-fresh water sedimentation from the Upper Oligocene to the end of the Pliocene occurs, namely: Egerian, Ottnangian, Badenian, Sarmatian, Pannonian and Pontian beds. In the Tertiary period the study area was a part of the Central Paratethys.

INTRODUCTION

The Northeastern Slovenia comprises the area of Goričko, Lendavske gorice, Slovenske gorice, Haloze, Sava folds, Kozjansko as well as Mura, Drava, Ptuj and Krško plain. The greater part of the study area is built of the Tertiary and Quaternary deposits. On the borderland of the Tertiary basin the Triassic, Jurassic and Cretaceous shallow-water and deeper-marine as well as metamorphic and igneous rocks occur. The up to the present geological data show that the basement of the Tertiary stratigraphic sequence is composed of extreme parts of the Southern and Eastern Alps. In Neogene the area of the Northeastern Slovenia was covered by the Pannonian sea. About 2,000 metres thick sedimentary succession of prevalently clastic rocks was formed during that time. Only in the Badenian a carbonate sedimentation was commonly predominant. From the geological point of view the considered area belongs to the unit of the Pannonian basin.

STRATIGRAPHY

Slovenske gorice

In this area the Neogene series (RIJAVEC, 1970, 1976, 1978; PLENIČAR, 1970; MIOČ & ŽNIDARČIČ, 1978; ŠKERLJ, 1985; ŽNIDARČIČ & MIOČ, 1989) is represented by the Ottnangian-Karpatian, Badenian, Pannonian and Pontian beds. The above-mentioned beds lie transgressively upon the metamorphic basement of the Eastern Kozjak, but here and there in the inner part of Slovenske gorice they rest upon the Paleozoic and Mesozoic carbonate outcrops as well. The oldest Tertiary rocks in this part of Eastern Slovenia are consequently Ottnangian-Karpatian beds.

Haloze

In the Haloze area (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985; ŽNIDARČIČ & MIOČ, 1989) the oldest Tertiary rocks i.e. alveolinid-nummulitic as well as algal limestone and calcarenite belong to Eocene. The Egerian beds are composed of clay, sandy marl as well as quartz sandstone and sand containing plant remains. In the southern part of Haloze, the Macelj Mts respectively, the Eggenburgian beds are exposed. They are represented by the so called "Macelj sandstone", composed of quartz sandstone intercalated at some places by tuff and claystone. The most extended rocks in the Haloze area are Ottnangian and Karpatian beds consisting of bituminous marl, sandy marl and claystone in the lower part. Upwards alternate sandstones and marls. In the upper part of the Ottnangian-Karpatian succession in the northern Haloze area a conglomerate and sandstone prevail. The Badenian rocks, composed of *Lithothamnium* limestone and quartz-limestone conglomerate, are developed in the extreme Haloze and Donačka gora area.

Kozjansko

Kozjansko (GRAD, 1967; RIJAVEC, 1965, 1984; BUSER, 1979; ŠKERLJ, 1985; ANIČIĆ & JURIŠA, 1985; ANIČIĆ, 1991; DOZET & RIJAVEC, 1994; PETRICA et al., 1995; RIJAVEC & DOZET 1996; GRAD et al., 1997) comprises the Eastern Sava folds con-

sisting of mountainous area of Orlica and Boč, prevalently built of Mesozoic dolomites and limestones, as well as lower land built exclusively of Tertiary sediments surrounding both mountains. According to microfossils the Tertiary beds of this area belong to the Upper Oligocene as well as Lower, Middle and Upper Miocene. Egerian consists of sand and sandstone intercalated with claystones and marls. The Badenian, which unconformably overlies the older rocks, consists of *Lithothamnium* limestone, calcareous sandstone and marl. The Sarmatian sequence consists of calcareous sandstone, sandy and clayey marl and sand. Overlying marl, sand and sandstone belong to the Pannonian. The Pliocene succession is chiefly represented by quartz sand.

Western Sava folds

The Tertiary succession in the Western Sava folds area (HAMRLA, 1954; KUŠČER, 1967) consists of the Upper Oligocene and Miocene rocks. The basal carbonate conglomerate, the Socka beds, the Marine marly clay and the andesitic tuff are ranged into the Upper Oligocene. Upon the andesitic tuff lie the sandy clayey beds, sedimentation of which was performed continuously in the course of the Upper Oligocene. After the deposition of the Lower Govec beds the sedimentation in the study area was interrupted. The Miocene succession begins with the Laško beds, which are overlain by the Sarmatian and Pliocene sedimentary rocks.

Krško plain

The Tertiary stratigraphic sequence of the Krško plain and its borderland (ŠIKIĆ, 1967; PLENIČAR & PREMUR, 1977; ŠIKIĆ et al., 1979; ANIČIĆ & JURIŠA, 1985; ŠKERLJ, 1985; STEVANOVIĆ & ŠKERLJ, 1985; DOZET et al., 1998, 1999) consists of Egerian, Otnangian, Badenian, Sarmatian, Pannonian and Pliocene beds. On the basis of foraminifera the Badenian sedimentary succession is subdivided into three parts. On the basis of fauna the Pannonian and Pontian succession can be divided into the lower and upper part.

Mura, Drava and Ptuj plain

The considered plains (MIOČ & ŽNIDARČIČ, 1978; ŽNIDARČIČ & MIOČ, 1989) are filled with Quaternary gravel, sand and clay, whereas in their borderland the Plio-Quaternary sediments have been deposited.

REFERENCES

- ANIČIĆ, B. (1991): Geološke razmere na Orlici.- *Geologija*, 33, 233-287, Ljubljana.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač za list Rogatec L33-68. Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod Beograd, 76 p.
- BUSER, S. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač za list Celje L33-68.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod, Beograd, 76 p.
- DOZET, S. & RIJAVEC, L. (1994): On the geological relations of the Šentjur-Planina, Trobni dol-Loka at Žusem area.- *Rud.-met. zbornik*, 41, 27-41, Ljubljana.
- DOZET, S., RIJAVEC, L. & STOJANOVIČ, B. (1998): Geological reambulation of northern slopes of Gorjanci Mts. and southern Borderland of Krško-Brežice plain between Mokrice and Šentjernej (Southeastern Slovenia).- *Materiali in geokolje*, 45, 3-4, 295-313, Ljubljana.
- DOZET, S., RIJAVEC, L., ANIČIĆ, B., ŠKERLJ, Ž. & STOJANOVIČ, B. (1999): Neogene beds of the Krško-Brežice plain and its borderland (Southeastern Slovenia).- *Materiali in geokolje*, 45, 3-4, 375-404, Ljubljana.
- GRAD, K. (1967): *Geologija Kozjanskega*.- *Geografski zbornik - Acta geografica*, 10, 7-16, Ljubljana.
- GRAD, K., DOZET, S., PETRICA, R. & RIJAVEC, L. (1997): Pseudosocka beds with coal in borehole Tđp-1/84 Trobni Dol (Eastern Sava folds, Slovenia).- *Geologija*, 39, 97-118, Ljubljana.
- HAMRLA, M. (1954): Geološke razmere ob severnem robu Laške sinklinale vzhodno od Savinje.- *Geologija*, 2, 118-144, Ljubljana.
- KUŠČER, D. (1967): Zagorski terciar.- *Geologija*, 10, 5-58, Ljubljana.
- MIOČ, P. & ŽNIDARČIČ, M. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač za list Slovenj Gradec L33-55.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod Beograd, 74 p.
- PETRICA, R., RIJAVEC, L. & DOZET, S. (1995): Stratigraphy of the Upper Oligocene and Miocene beds in the Trobni Dol area (Kozjansko).- *Rud. met. zbornik*, 42/3-4, 127-141, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač za list Goričko L33-57.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod Beograd, 39 p.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač za list Novo mesto L33-79.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod Beograd, 61 p.
- RIJAVEC, L. (1965): Razvoj terciarnih sedimentov med Rudnico in Bočem.- *Geologija*, 8, 111-120, Ljubljana.
- RIJAVEC, L. (1970): Stratigrafija terciarnih plasti severno od Maribora.- 7. kongres geologa SFRJ, Zbornik radova, 1, 275-286, Zagreb.
- RIJAVEC, L. (1976): Biostratigrafija miocena v Slovenskih goricah.- *Geologija*, 19, 53-82, Ljubljana.
- RIJAVEC, L. (1978): Tortonska in sarmatska mikrofavna v zahodnem delu Slovenskih goric.- *Geologija*, 21/2, 309-328, Ljubljana.
- RIJAVEC, L. (1984): Oligocen i miocen područja između Rudnice i Boča (Istočna Slovenija) na osnovu mikrofosila.- Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 144 p.
- RIJAVEC, L. & DOZET, S. (1996): Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Upper Oligocene and Miocene beds from the Central Sava folds.- *Rud.-met. zbornik*, 43/1-2, 11-22, Ljubljana.
- STEVANOVIĆ, P. & ŠKERLJ, Ž. (1985): Prilog biostratigrafiji panonsko-pontskih sedimenata u okolini Videm-Krškoga.- *Zbornik Ivana Rakovca, Razprave LIV. razr. SAZU, XXVI*, 281-304, Ljubljana.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Zagreb L33-80.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 81 p.
- ŠIKIĆ, L. (1967): Torton i sarmat jugozapadnog dijela Medvednice na osnovi favne foraminifera.- *Geol. Vjesnik*, 20, 127-136, Zagreb.
- ŠKERLJ, Ž. (1985): Ablagerungen des Pannonien in Slowenien (Jugoslawien).- In: *Chronostratigraphie und Neostatotypen. Miocen, M₆ Pannonien. Ung. Geol. Anst.*, 85-89, Budapest.
- ŽNIDARČIČ, M. & MIOČ, P. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tolmač za lista Maribor L33-56 in Leibnitz L33-44.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod Beograd, 60 p.



Litostratigrafske jedinice donjeg trijasa na području Žumberka i Samoborske gore

Lithostratigraphic Units of Early Triassic in the Area of Žumberak and Samobor Mt.

Radovan AVANIĆ, Tonći GRGASOVIĆ, Davor PAVELIĆ,
Alka ŠIMUNIĆ & Marijan KOVAČIĆ

Ključne riječi: Hrvatska, Žumberak, Samoborska gora, donji trijas, litostratigrafske jedinice.

Key words: Croatia, Žumberak, Samobor Mts., Early Triassic, Lithostratigraphic units.

Sažetak

Na temelju snimljenih geoloških stupova u donjotrijaskim naslagama na području Žumberka i Samoborske gore, definirane su litostratigrafske jedinice Konjarić Vrh i Ludvić. Konjarić Vrh jedinica je donjoskitske starosti i sastoji se od facijesa tinjčastih pješčenjaka, pješčenjaka s ooidnim vapnencima, silita s proslojcima pješčenjaka i pješčenjaka s proslojcima vapnenaca. Klastiti i karbonati su taloženi vjerojatno u priobalnom marinskom okolišu između delte i preljevne lepeze. Ludvić jedinica je gornjoskitske starosti i izgrađuju je facijesi ooidnih kalkarenita s laminama pješčenjaka, vapnenaca s proslojcima lapora, laminiranih kalkarenita s proslojcima vapnenaca i kalsilita s ooidnim kalkarenitima. Ovi sedimenti su odlagani također u plitkom moru, ali između lagune i baze valova olujnog vremena. Slijed facijesa jedinica Konjarić Vrh i Ludvić na permiskim i permotrijaskim naslagama pokazuje da je u donjem skitu nastupila marinska transgresija. Zbog relativno velike količine kopnenog materijala prevladava deltini okoliš. Uz smanjenjeni donos terigenog materijala u gornjem skitu okoliš se produbljava i talože se naslage prijelazne zone. Nakon toga dolazi do postupnog oplićavanja te odlaganja lagunarnih sedimenata, čime završava cjeloviti transgresivno-regresivni slijed. Kontinuitet sedimentacije se nastavlja u aniziku taloženjem karbonatnog materijala u morskom plićaku.

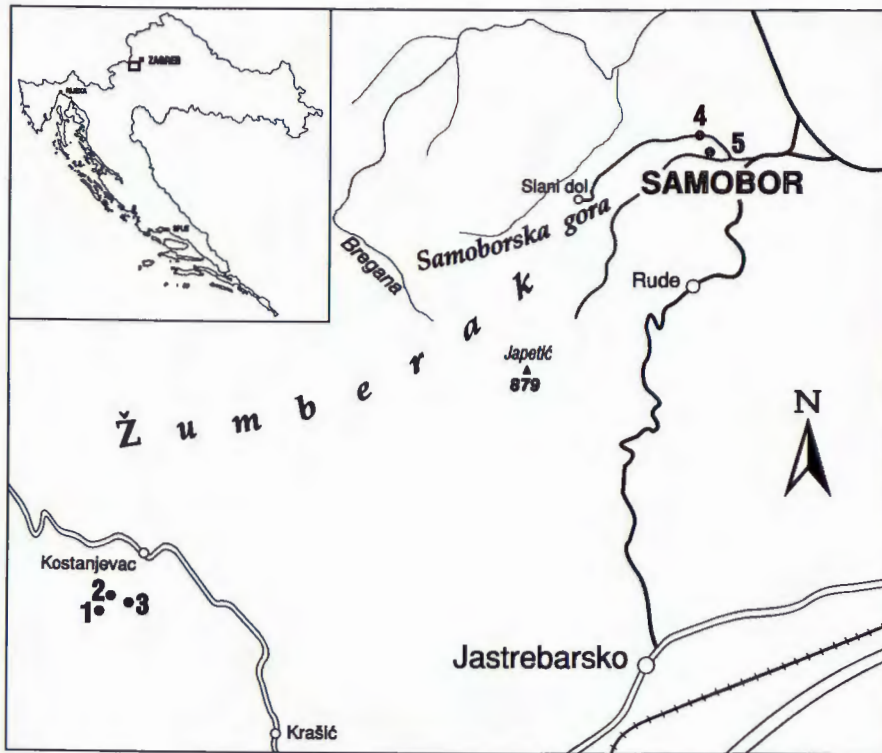
Abstract

On the basis of detailed geological columns investigated within the Lower Triassic succession in the area of Žumberak and Samoborska Gora Mt. lithostratigraphic units Konjarić Vrh and Ludvić have been defined. Konjarić Vrh unit of the Lower Scythian age is composed of different facies: micaceous sandstones, sandstones with ooid limestones, siltites with sandstone layers and sandstones with limestone layers. Clastic and carbonate rocks were probably deposited in coastal marine environments between delta and washover fan. Ludvić unit of Upper Scythian age is composed of facies ranging from ooid calcarenites with sandstone laminae, limestones with marl layers and laminated calcarenites with limestone layers to calcisiltites with ooid calcarenites. These deposits were also accumulated in the shallow marine environments, but in the area between lagoon and storm-weather wave base. Facies succession of Konjarić Vrh and Ludvić units over Permian and Permian-Triassic deposits indicate marine transgression in the Early Scythian. Predominance of deltaic environments represents the consequence of relatively abundant continental detritus. Decrease of the terrigenous input in the Late Scythian resulted in deepening of the environment and deposition in the offshore-transition zone. This was followed by gradual shallowing and deposition of lagoonal deposits, concluding the entire transgressive-regressive cycle. Continuation of deposition resulted in accumulation of carbonate material in the shallow-water environments during the Anisian.

UVOD

U okviru izrade Geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000 na području Žumberka i Samoborske gore snimljeni su litostratigrafski stupovi (sl. 1) u već ranije poznatim naslagama donjeg trijasa. Terenskim opažanjima i analitičkim odredbama sedimenti su svrstani u facijese i interpretiran je njihov taložni okoliš, što je omogućilo definiciju litostratigrafskih jedinica.

Geološka istraživanja donjotrijaskih naslaga istraživanog područja plijenila su pozornost mnogih geologa već od kraja 19. stoljeća. Tako GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1894) na području Samoborskog i Žumberačkog gorja izdvaja naslage verfena (donji trijas). Kasnije HERAK (1956) navodi sva nalazišta donjeg trijasa u Samoborskom gorju, a nedugo zatim HERAK (1968) nabraja i lokalitete na Žumberku. PLENIČAR & PREMRU (1977) na području Žumberka razlikuju gornji i



Sl. 1 Istraživano područje s lokacijama litostratigrafskih stupova: 1) Konjarić Vrh I; 2) Konjarić Vrh II; 3) Kostanjevac; 4) Ludvić I; 5) Ludvić II.

Fig. 1 Investigated area with the locations of lithostratigraphic columns: 1) Konjarić Vrh I; 2) Konjarić Vrh II; 3) Kostanjevac; 4) Ludvić I; 5) Ludvić II.

donji dio naslaga skita (donji trijas) uz nalaze makrofaune. ŠIKIĆ et al. (1979) spominju i nova nalazišta donjeg trijasa u Samoborskom gorju te navode litoške članove saja i kampila (donji i gornji skit), uz paleontološku dokumentaciju. O litostratigrafiji naslaga srednjeg i gornjeg trijasa koji su u neposrednoj krovini istraživanih sedimenata pišu BUKOVAC et al. (1995). O granici gornji perm-donji trijas te o donjotrijaskim klastično-karbonatnim naslagama na području sjeverozapadne Hrvatske diskutiraju ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ (1997). No ovi se radovi nisu posebno bavili interpretacijom taložnog okoliša donjeg trijasa.

LITOSTRATIGRAFSKE JEDINICE

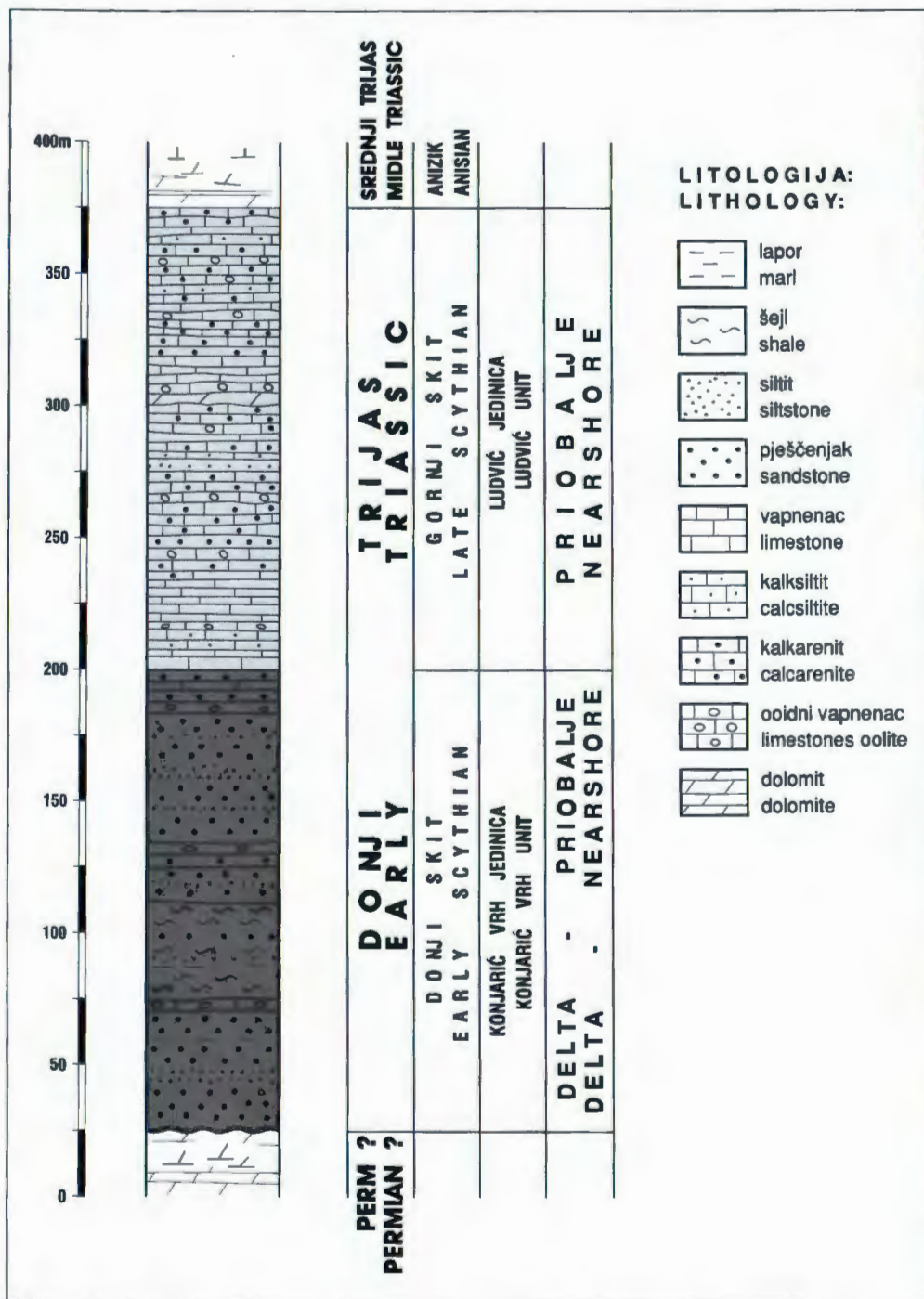
Na području Žumberka i Samoborske gore donjotrijaske naslage su podijeljene na litostratigrafske jedinice Konjarić Vrh i Ludvić (sl. 2), unutar kojih se razlikuje osam facijesa.

Konjarić Vrh jedinica je donjoskitske starosti i ukupne debljine oko 175 m (sl. 2). Nalazi se vjerojatno u erozijski-diskordantnom odnosu s karbonatnim naslagama permske te mjestimično na klastitima s pojavom gipsa permotrijaske starosti (ŠIKIĆ et al., 1977). Prilikom snimanja stupova na lokalitetima Ludvić i Konjarić Vrh sam dodir sa starijim stijena nije bio vidljiv, ali prema odnosima na terenu on je rasjedan (ŠIKIĆ et al., 1979).

Konjarić Vrh jedinica se sastoji od facijesa tinjčastih pješčenjaka, pješčenjaka s ooidnim vapnencima, silita s prosljocima pješčenjaka i pješčenjaka s prosljocima

cima vapnenaca. Naslage karakterizira crvenkastosmeđa boja, zatim horizontalna, kosa i valovita laminacija te pojava valnih riplova i bioturbacija. **Pješčenjaci** su sitnozmatni do srednjezmatni, često tinjčasti. Zrna su uglata, poluuglata do poluzaobljena, srednje i dobro sortirana. Glavni sastojci su kvarc, sekundarno izmjenjeni ortoklas te albit i mikroklin, dok se muskovit, biotit i klorit pojavljuju u promjenljivim količinama. Rijetke čestice predstavljaju kvarcit, kvarcni škriljac i kalcitna zrna biogenog podrijetla. Od akcesornih teških minerala određeni su cirkon, turmalin, apatit i rutil. Cement pješčenjaka je smjesa kvarca, sericita, hematita i limonita, a samo ponegdje dolazi sericit-kloritni matriks. Ovi sedimenti su određeni kao limonitične, litične, tinjčaste i kvarcne subarkoze te kao limonitični, sublitični i limonitični kvarcni areniti. **Siliti** su tinjčasti s milimetarskim laminama pješčenjaka. Sastojci su kvarc, izmjenjeni feldspati, muskovit, klorit, biotit te čestice tufa i pelita. **Vapnenci** su često dolomitizirani, kalkarenitske strukture, s brojnim ooidima te rjedim peletima i fragmentima fosila. U njima se rijetko pojavljuju zrna kvarca i muskovita. Cement je sitnozmatni do srednjezmatni kalcit. Vapnenci su određeni kao pjeskoviti dolomitizirani oospariti, pjeskoviti dolomitizirani biointraspariti i oospariti.

ŠIKIĆ et al. (1979) su u pješčenjacima starijeg dijela donjeg trijasa odredili kamene jezgre školjaka *Myacites* (*Anodontophora*) *fassaensis*, *Pseudomonotis* (*Claria*) *clarai* i *P. (Eumorphosis)* *venetiana*. Vrlo slaba fosilifernost naslaga ne omogućuje točniju odredbu starosti ove jedinice. Nadeni su samo neodređeni fragmenti školjkaša i gastropoda, te foraminifere *Glomospirella* sp. i *Cornuspira mahajeri* (BRÖNNIMANN et al.).



Sl. 2 Idealizirani sintetski stup litostratigrafskih jedinica donjeg trijasa.

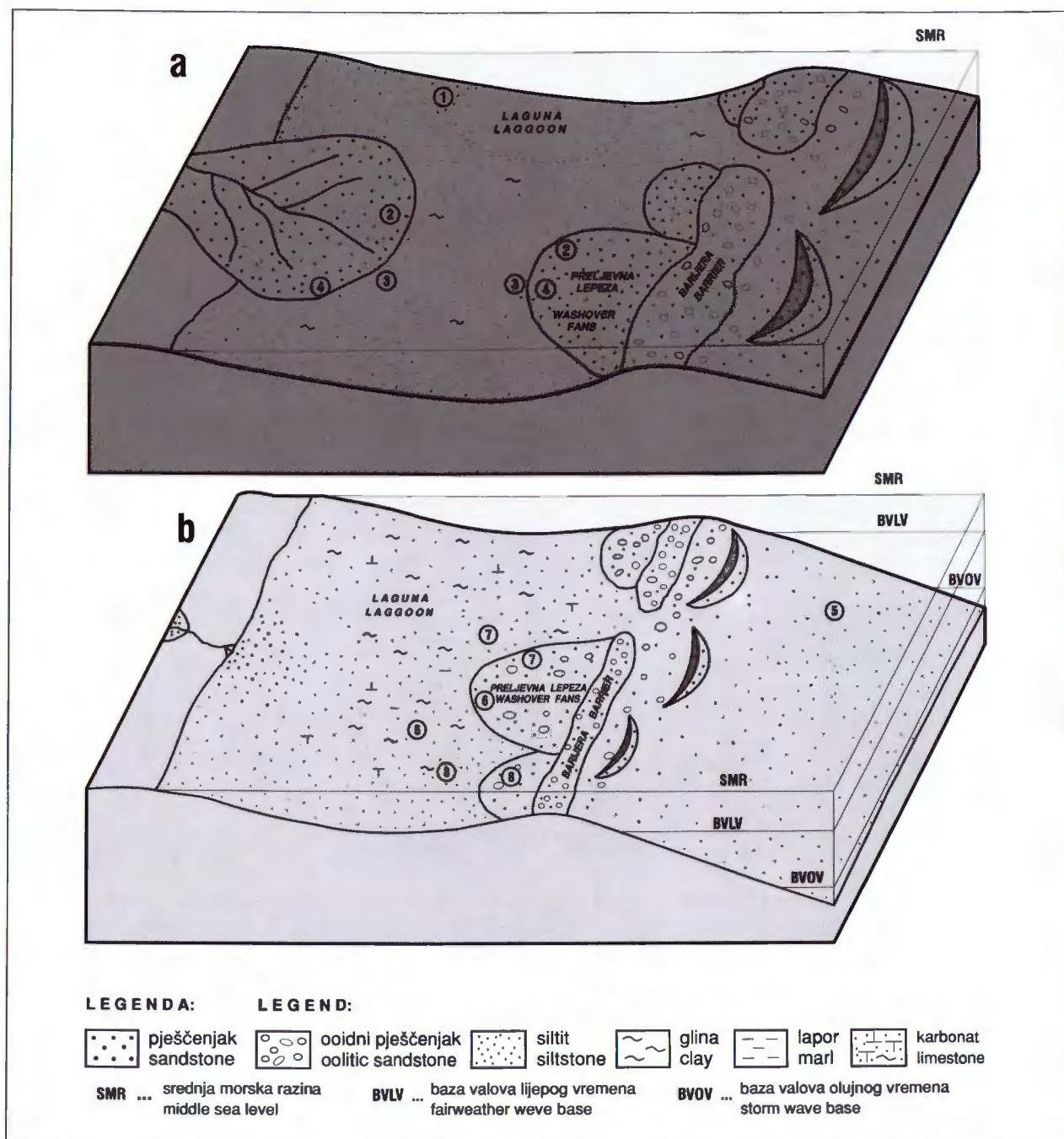
Fig. 2 Idealized synthetic lithostratigraphic column of Early Triassic lithostratigraphic units.

Nalazi *C. mahajeri* (BRÖNNIMANN et al.) u donjem dijelu stupa Ludvić-1 važan je zbog provodnosti ove foraminifere za griesbachian (najniži skit) (RETTORI, 1995).

Prema taložnim karakteristikama PLENIČAR & PREMURU (1977) karbonatne sedimente donjeg trijasa smještavaju u plitko more. ŠIKIĆ et al. (1979) smatraju da su naslage odlagane u plićacima, gdje kasnije unutar klastično-karbonatnog slijeda prevladava karbonatna sedimentacija. Za donjoskitske naslage Muća ŠČAVNIČAR et al. (1983) navode intenzivan donos pjeskovitog i siltnog terigenog materijala u plitko more. Istovremene naslage okolice Knina prema ALJINOVIĆ (1995)

čine facijes cikličke izmjene šejlova, silita i pješčenjaka, taložen u distalnom dijelu unutarnjeg šelfa te facijes oolitičnih pješčenjaka odlagan u proksimalnom dijelu unutarnjeg šelfa ili na obalnom licu. HIPS (1996) opisuje donjotrijaske sedimente na području Aggtelek-Rudabánya u sjeveroistočnoj Mađarskoj. Najdonji dio ovih naslaga (gornji greisbachian-smithian) izdvaja u Bódvaszilas pješčenjake formaciju, koju čine pješčenjaci u izmjeni sa silitima i šejlovima, taloženi između plimske ravnice i barijernih otoka.

Na temelju ooidnih vapnenaca kao okolišnog indikatora (DAVIS, 1985; JONES & DESROCHERS, 1994) te prema paleontološkoj dokumentaciji može se



Sl. 3 Modeli taloženja: a) Konjarić Vrh jedinice s facijesima: 1) tinjčastih pješčenjaka, 2) pješčenjaka s ooidnim vapnencima, 3) siltita s proslojcima pješčenjaka i 4) pješčenjaka s proslojcima vapnenaca; b) Ludvić jedinice s facijesima: 5) ooidnih kalkarenita s laminama pješčenjaka, 6) vapnenaca s proslojcima lapora, 7) laminiranih kalkarenita s proslojcima vapnenaca i 8) kalsiltita s ooidnim kalkarenitima.

Fig. 3 Depositional models: a) Konjarić Vrh unit with facies: 1) micaceous sandstones, 2) sandstones with oolitic limestones, 3) siltstones with interlayers of sandstones and 4) sandstones with interlayers of limestones; b) Ludvić unit with facies: 5) oolitic calcarenites with sandy laminae, 6) limestones with interlayers of marls, 7) laminated calcarenites with interlayers of limestones and 8) calcsiltites with oolitic calcarenites.

konstatirati da su sedimenti Konjarić Vrh jedinice odlagani u plitkom i uzburkanom moru (sl. 3a). Facijes tinjčastih pješčenjaka karakterizira općenito priobalne naslage sa znatnim donosom kopnenog materijala. Facijes pješčenjaka s ooidnim vapnencima, u usporedbi s recentnim primjerima (READING & COLLINSON, 1996), može predstavljati terigeni materijal koji su taložile

rijeke u blizini preljevnih lepeza. Facijes siltita s proslojcima pješčenjaka odražava sedimentaciju lagune, uz povremeni značajni donos kopnenog materijala. Facijes pješčenjaka s proslojcima vapnenaca nastao je također u okolišu lagune s povećanim prinosom terigenog materijala, ali se unutar njega nalazi prerađeni materijal barijera koji je nanešen za vrijeme povremenih oluja.

Ludvić jedinica je gornjoskitske starosti, a ukupna joj debljina ne prelazi 175 m (sl. 2). Slijedi kontinuirano na Konjarić Vrh jedinici, a u njejoj krovini se nalaze dolomiti anizičke starosti. Sastoji se od facijesa ooidnih kalkarenita s laminama pješčenjaka, vapnenaca s proslojcima lapora, laminiranih kalkarenita s proslojcima vapnenaca i kalksilita s ooidnim kalkarenitima. **Kalkareniti** su sitno do srednjozrnati s horizontalnom, kosom i valovitom laminacijom te s humčastom kosom i slabo izraženom horizontalnom slojevitosti. Određeni su kao pjeskoviti dolomitizirani biomikspariti, pjeskoviti dolomitizirani oospariti, pjeskoviti biospariti, pjeskoviti dolomitizirani biointraoomikriti i pjeskoviti biooomikspariti. **Vapnenci** su kalklutiti masivnog izgleda ili kalksiliti s izraženom horizontalnom te rjeđe valovitom laminacijom. Izgrađeni su od mikrokristalastog i sitnozrnatog kalcita. U donjem dijelu Ludvić jedinice unutar vapnenaca nalaze se siliti u obliku centimetarskih proslojaka te milimetarske lamine pješčenjaka. Sastojke ovih klastita čine kvarc, muskovit, feldspati i fragmenti vulkanskog stakla. Vapnenci su određeni kao pjeskoviti fosiliferni mikriti, silt pjeskoviti fosiliferni mikriti, pjeskoviti dolomitizirani oobiomikriti i pjeskoviti dolomitizirani oobiomikspariti.

U naslagama Ludvić jedinice nadeni su relativno brojni fragmenti krinoida, ježinaca, puževa, školjkaša i rjeđe foraminifera. Od školjkaša određena je *Myophoria costata*, a od foraminifera *Glomospirella* sp., *G. cf. triphonensis* BAUD et al., *Hoyenella sinensis* (HO), *Meandrospira pusilla* (HO) i *Arenovidalina chialingchiangensis* HO. Nedovoljan broj podataka omogućuje odredbu starosti samo kao gornji skit. *Meandrospira pusilla* javlja se inače od dieneriana do kraja skita, a rijetki su nalazi i u aniziku (RETTORI, 1995).

PLENIČAR & PREMRU (1977) smatraju da su na granici donjeg trijasa i anizika odlagani sedimenti plitkog mora u zoni između plime i oseke. Gornjoskitske naslage Muća ŠČAVNIČAR et al. (1983) svrstavaju u zaštićeni bazenski ili lagunarni okoliš, humidne klime. ALJINOVIĆ (1995) interpretira sive gornjoskitske lapore, vapnence i vapnenačke silitite okolice Knina kao sedimente dubljeg vanjskog šelfa. Tijekom cijelog skita važnu ulogu u sedimentaciji imale su oluje. HIPS (1996) unutar gornjoskitskih naslaga sjeveroistočne Mađarske izdvaja formaciju Szin lapora (donji i srednji spathian), taloženu na unutarnjoj rampi između lagune i baze valova za vrijeme oluja i formaciju Szinpetri vapnenaca (gornji spathian) odlaganih u laguni.

Facijes ooidnih kalkarenita s laminama pješčenjaka Ludvić jedinice taložen je u prijelaznoj zoni između obalnog lica i šelfa (sl. 3b). Facijes vapnenaca s proslojcima lapora predstavlja lagunarni okoliš uz povremenu pojavu više energije vode, koja je karakteristična za preljevne lepeze. Kalkareniti s ooidima, facijesa laminiranih kalkarenita s proslojcima vapnenaca, odlagani su za vrijeme olujnih događaja, a vapnenci u lagunama u koje su u obliku preljevnih lepeza olujni valovi povremeno nanosili prerađeni materijal barijera. Facijes kalk-

silita s ooidnim kalkarenitima pripada laguni i preljevnoj lepezi.

Promatrajući evoluciju taložnog prostora može se konstatirati da je na području Žumberka i Samoborske gore nakon odlaganja gornjopermskih karbonata i permskih klastita nastupila kratka emerzija. Nakon toga u donjem skitu dolazi do transgresije i talože se sedimenti Konjarić Vrh jedinice. U početku je donos kopnenog materijala u marinski okoliš bio intenzivan te je dominantan deltni okoliš. Kasnije slijedi sitnozrnata sedimentacija, a talože se gline, siliti i ooidni vapnenci priobalja (laguna i preljevna lepeza). U gornjem skitu je terigeni utjecaj znatno smanjen pa prevladavaju klastiti i karbonati priobalja. Nakon taloženja sedimenata lagune slijede naslage prijelazne zone, a zatim ponovno lagune, što upućuje na regresiju. Kontinuirana sedimentacija se nastavlja u anizik odlaganjem karbonatnog mulja u plitkovodnom okolišu.

ZAKLJUČAK

Donjotrijaske naslage Žumberka i Samoborske gore razvrstane su u litostratigrafske jedinice Konjarić Vrh donjoskitske i Ludvić gornjoskitske starosti. Konjarić vrh jedinica se sastoji se od četiri facijesa u kojima se izmjenjuju pješčenjaci i siliti s rjeđim proslojcima vapnenaca. Klastiti su taloženi u priobalnom marinskom okolišu između delte i preljevne lepeze. Ludvić jedinicu karakteriziraju četiri facijesa u kojima prevladavaju kalkareniti, kalksiliti i vapnenci, a u manjoj mjeri pojavljuju se proslojci pješčenjaka. Ovi sedimenti su odlagani također u plitkom moru, ali između lagune i baze valova olujnog vremena. Slijed facijesa jedinica Konjarić Vrh i Ludvić na klastično-karbonatnim naslagama perma upućuje da je nakon kratke emerzije između perma i trijasa u donjem skitu nastupila transgresija. Tada su u lagunarni okoliš donošane veće količine terigenog materijala. U gornjem skitu nastavljen je transgresivni slijed sa smanjenim kopnenim prinosom uz odlaganje sedimenata prijelazne zone. Nakon toga dolazi do postupnog oplicavanja te odlaganja lagunarnih naslaga, čime završava transgresivno-regresivan slijed donjeg trijasa. Kontinuitet taloženja se nastavlja u aniziku s karakterističnom plitkovodnom karbonatnom sedimentacijom.

LITERATURA

- ALJINOVIĆ, D. (1995): Storm influenced shelf sedimentation - an example from the Lower Triassic (Scythian) siliciclastic and carbonate succession near Knin (southern Croatia and western Bosnia and Hercegovina).- *Geologia Croatica*, 48/1, 17-32.
- BUKOVAC, J., GRGASOVIĆ, T., GLOVACKI-JERNEJ, Ž., JERINIĆ, G., GALOVIĆ, I. & PRTOLJAN, B. (1995): Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka u okviru radova na Geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000.- U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 1, 137-142, Zagreb.

- DAVIS, R.A.Jr. (1985): Beach and nearshore zone.- U: DAVIS, R.A. Jr. (ur.): Coastal Sedimentary environments. Springer-Verlag, New York-Berlin-Heidelberg-Tokyo, 379-444.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1894): Geologija gore Samoborske i Žumberačke.- Rad Jugosl. akad. znan. umjet., 120, 1-182, Zagreb.
- HERAK, M. (1956): Geologija Samoborskog gorja.- Acta geologica, 1, 49-73, Zagreb.
- HERAK, M. (1968): Noviji rezultati istraživanja osnovnih stratigrafskih jedinica u Žumberku.- Geološki vjesnik, 21, 111-116.
- HIPS, K. (1996): Stratigraphic and facies evaluation of the Lower Triassic formations in the Aggtelek-Rudabánya Mountains, NE Hungary.- Acta geol. Hungarica, 39/4, 369-411.
- JONES, B. & ESROCHERS, A. (1994): Shallow platform carbonates.- U: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. (ur.): Facies Models. Can. Geol. Assoc., 277-301, Stittsville.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Novo Mesto, L33-79.- Geol. zavod Ljubljana (1970), Sav. geol. Zavod, Beograd, 61 str.
- READING, H.G. & COLLINSON, J.D. (1996): Clastics coasts.- U: READING, H.G. (ur.): Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. Blackwell., 154-231, Oxford-London-Edinburgh.
- RETTORI, R. (1995): Foraminiferi del Trias inferiore e medio della Tetide: revisione tassonomica, stratigrafia ed interpretazione filogenetica.- Université de Genève, Publications du Département de Géologie et Paléontologie, 18, 147 p., Genève.
- ŠČAVNIČAR, B., ŠUŠNJARA, A. & PROHIĆ, E. (1983): The geologic column of the Lower Triassic in the Zmijavac Valley (Muć, Southern Croatia).- U: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (ur.): Contribution to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. 4th I.A.S. Regional Meeting, Split, 1983, Excursion Guide-book, 87-97, Zagreb.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Zagreb, L33-80.- Inst. geol. istraživanja, Zagreb (1972), Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Zagreb, L33-80.- Inst. geol. istraživanja, Zagreb (1972), Sav. geol. zavod, Beograd, 81 str.
- ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, Al. (1997): Triassic deposits of Hrvatsko Zagorje.- Geologia Croatica, 50/2, 243-250, Zagreb.



Raznovrsnost bentičkih foraminiferskih zajednica s odabranih lokaliteta mljetskih jezera

Diversity of Benthic Foraminiferal Assemblages from Selected Sites in the Mljet Lakes

Zlatan **BAJRAKTAREVIĆ**, Vlasta **ĆOSOVIĆ**, Vlatka **VANIČEK** & Mladen **JURAČIĆ**

Ključne riječi: bentičke foraminifere, raznolikost, morfotipovi, ekologija, Mljetska jezera.

Key words: Benthic foraminifera, Diversity, Morphotypic variability, Ecology, Mljet Lakes.

Sažetak

Istraživane su bentičke foraminiferske zajednice iz prva dva centimetra sedimenata dna Mljetskih jezera, koje su uzorkovane u svibnju 1995. Žive foraminifere najbrojnije su na pjeskovitoj podlozi, dok na muljevitoj podlozi broj jedinki varira od 12 do 91 na 10 ml standardiziranog uzorka. Utvrđena je i pojava dva morfotipa vrste *Elphidium crispum* čiji su biotopi vezani za različite dubine, tip podloge i energiju vode. Omjer nađenih foraminifera i niska vrijednost indeksa raznolikosti (H) potvrđuju lagunarni karakter jezera, a viša vrijednost indeksa raznolikosti vrsta na okoliš otvorenog mora u Solinama i Križu.

Abstract

Benthic foraminiferal assemblages from upper 2 cm of the Mljet Lakes sediments have been investigated in samples collected in May, 1995. Living foraminifera were most abundant on a sandy substrate, whereas on muddy substrates number of individuals varied between 12 and 91 in 10 ml standard sample. Two morphotypes of species *Elphidium crispum* have been found in biotopes different in depth, substrate and environmental energy. Low species diversity index (H) and low foraminiferal abundance confirm lagoonar character of the Mljet Lakes, whereas higher species diversity index (H) in Soline Channel and Križ its open marine character.

1. UVOD

Veliko i Malo Jezero su poluzatvorene depresije koje uski plitki kanal povezuje s otvorenim morem. Jezera su tipične krške uvale (depresije), koje uslijed holocenskog podizanja mora danas nalazimo pod morem. Niske amplitude plime i oseke i neznatan utjecaj vjetrova mogu izazvati uslojenost vodenog stupa, posebice ljeti u Malom Jezeru (BULJAN & ŠPAN, 1976). Cilj ovog rada bio je usporediti bentičku foraminifersku zajednicu s biokemijskim, sedimentološkim i ekološkim karakteristikama osebujnog fenomena krša.

2. METODE UZORKOVANJA I OBRADE

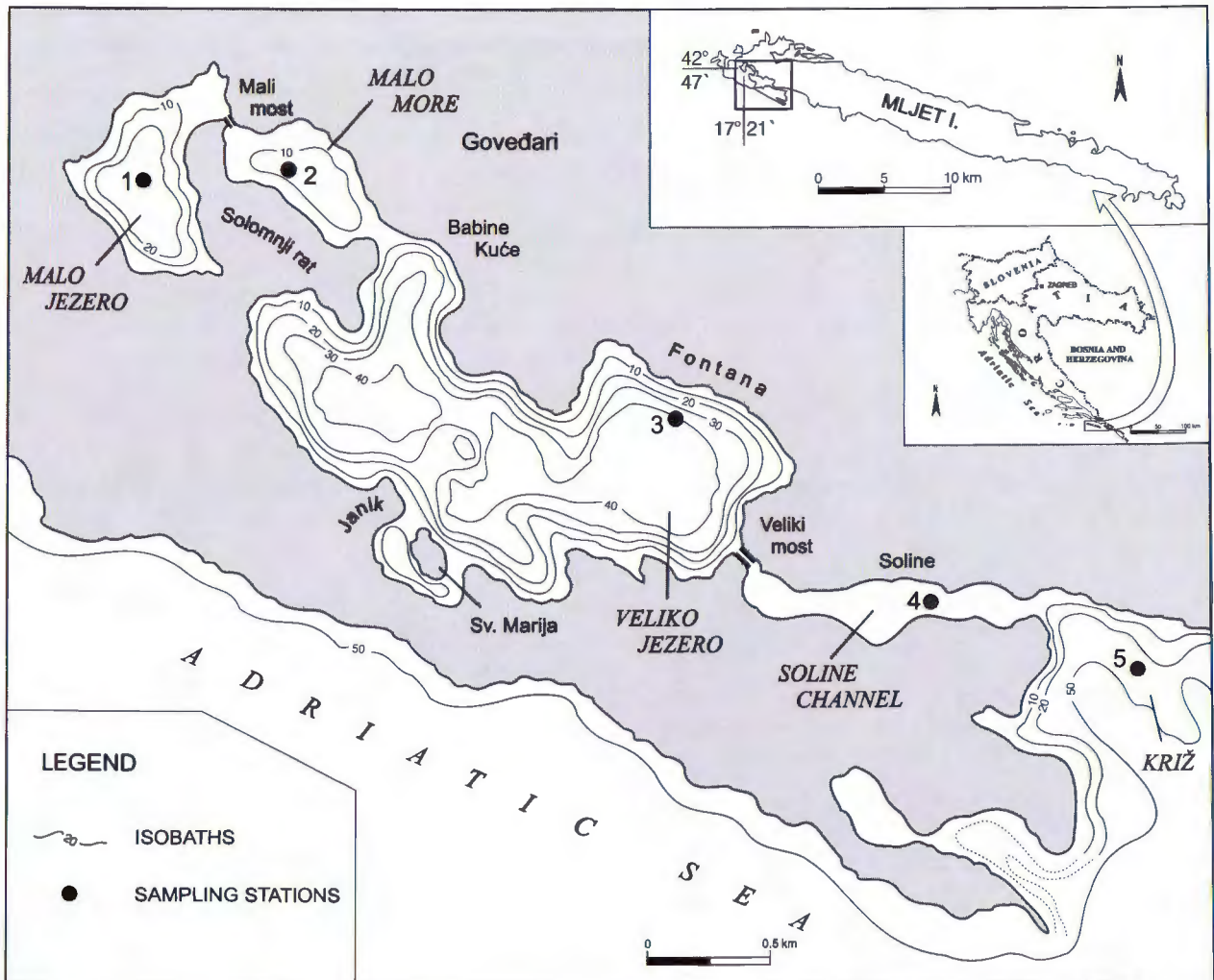
Ronjenjem su skupljene jezgre do 80 cm dužine s pet lokacija u Mljetskim jezerima i jedne s dna otvorenog mora (sl. 1). Dužina profila s kojeg su uzimani uzorci iznosi 4,75 km. Za našu analizu korištena su površinska dva centimetra smrznute jezgre, koju smo prvo isprali na situ od 250 µm, a potom tretirali meto-

dom Rose Bengal (KUMMEL & RAUP, 1965). Analizirane su 3.942 jedinke (neobojane-uginule i obojane-žive), koje su raspoređene u 58 foraminiferskih vrsta. Zanimljivo je da od 58 prepoznatih vrsta, žive jedinke broje 37 vrsta. Izračunat je Shannon-Wienerov indeks - H (raznolikost vrsta), kao i postotak udjela *Textulariina*, *Miliolina* i *Rotaliina* u svakom uzorku.

Biološke i sedimentološke osobine istraživanih lokaliteta prikazane su na tablici 1.

2.1. RAZNOLIKOST VRSTA I ZAJEDNICA

Uzorak iz Malog jezera (lokacija 1, dubina mora 28 m, muljevita podloga) sadrži 132 jedinke bentičkih foraminifera (120 neobojanih i 12 obojanih) s 12 određenih vrsta. Većina jedinki pripada podredu *Rotaliina* (R) od čega 77,5% neobojanih i 75% obojanih; zatim podredu *Miliolina* (M) od čega neobojanih 22,5% i obojanih 25%. Podred *Textulariina* (T) nije zastupljen ni kod neobojanih niti kod obojanih jedinki. Zajednicu neobojanih foraminifera karakteriziraju vrste tankih stijenki, od kojih su najbrojnije: *Haynesina depressula* (WALKER & JACOB) s 32,5% učešća, *Valvulineria bradyana*



Sl. 1 Položajna skica istraživanog područja s označenim mjestima uzorkovanja.

Fig. 1 Location map of the investigated area with location of sampling sites.

(FORNASINI) s 16,7%, te *Ammonia tepida* (CUSHMAN) s 15% učešća.

Od obojanih jedinki, najbrojnija je vrsta *H. depressula*. Opisana zajednica ima najniži Shannon-Wienerov indeks (H), koji iznosi 0,81.

U Malom moru (lokacija 2, dubina mora 13 m, muljevita podloga), određene su 32 vrste, 978 jedinki (887 neobojenih i 91 obojena), te $H = 0,91$. Većina jedinki pripada podredu Miliolina (M) od čega 70,5% neobojenih i 74,8% obojenih; podredu Rotaliina (R) 29,3% neobojenih i 25,2% obojenih. Od podreda Textulariina (T) neobojanim pripada svega 0,1%, obojenih-živih nema.

Dominantne vrste su: *Peneroplis planatus* (FICHTEL & MOLL) s 32,4% neobojenih i 33% obojenih jedinki, te *P. pertusus* (FORSKAL) s 26% neobojenih i 28,6% obojenih, koje čine 60% foraminiferske zajednice, dok su male Rotaliine poput epifaunalne vrste *Asterigerinata mamilla* (WILLIAMSON), i infaunalne vrste *Haynesina depressula* također prisutne.

Uzorak iz Velikog jezera (lokacija 3, dubina mora 40 m, muljevita podloga) sadrži 146 jedinki (122 neobojene i 24 obojene). Velika većina pripada podredu

Rotaliina (R) (91% neobojenih i 91,6% obojenih), a manji postotak podredu Miliolina (M) (8,2% neobojenih i 8,3% obojenih), te podredu Textulariina (T) simboličnih 0,8% neobojenih i ništa posto obojenih. Najčešće vrste su: *Asterigerinata mamilla* (30,3% neobojenih jedinki), *Valvulineria bradyana* (17,2% neobojenih), *Elphidium crispum* (LINNE) (14,8% neobojenih), *Haynesina depressula* (11,5% neobojenih). Indeks raznovrsnosti vrsta $H = 0,97$.

Uzorak iz kanala Soline (lokacija 4, dubina mora 1,5 m, krupnija pjeskovita podloga) sadrži 1.810 jedinki (1.462 neobojene i 348 obojenih) od kojih je određeno 38 vrsta. Najzastupljeniji su predstavnici podreda Miliolina (M) (73,6% neobojenih i 54,3% obojenih), zatim podred Rotaliina (R) (26,4% neobojenih i 45,6% obojenih). Podred Textulariina nije zastupljen. Od određenih bentičkih vrsta prevladavaju: *Peneroplis pertusus* (21,1% neobojenih i 20,1% obojenih), *P. planatus* (19,7% neobojenih i 15,5% obojenih), *Quinqueloculina parvula* SCHLUMBERGER (13% neobojenih, 2,6% obojenih), *Elphidium crispum* (6,4% neobojenih i 23% obojenih), te od sesilnih vrsta čiji je udio (14,6% neobojenih jedin-

Lokacije	MALO JEZERO # 1	MALO MORE # 2	VELIKO JEZERO # 3	SOLINE # 4	KRIŽ # 5
Dubina	28 m	13 m	40 m	1,5 m	35 m
Salinitet ¹	36 - 38	34 - 36	35,5 - 37	36 - 38	38
Temperatura ¹	9 - 18°C	9 - 28°C	9 - 17°C	9 - 27°C	13 - 16°C
Kisik ¹	0,0 - 6,6 ml/l	4,8 - 6,4 ml/l	0,5 - 6,6 ml/l	5,0 - 6,0 ml/l	4,2 - 4,6 ml/l
Energija vode ²	niska	niska	niska	visoka	visoka
Podloga ²	mulj	mulj	mulj	pijesak	pijesak
% mulja ²	95,1	48,4	73,3	5,1	12,2
Hrana ³	+++	++	+++	+	+
Broj neob.jedinki	120	887	122	1.462	771
Broj oboj. jedinki	12	91	24	348	105
Neob./oboj.foram	10 : 1	10 : 1	20 : 1	24 : 1	14 : 1
(H) ⁴	0,8	0,91	0,97	1,12	1,47
Elfidiji ⁵ %	10 / 0,0	3,5 / 2,2	18,9 / 29,2	11,2 / 27,3	14,4 / 10,5
Peneroplisi ⁵ %	1,7 / 0,0	58,4 / 61,5	2,5 / 8,3	27,4 / 35,6	2,2 / 1,9
<i>V. bradyana</i> ⁵ %	16,7 / 0,0	0,8 / 0,0	17,2 / 4,2	—	0,0 / 1,9
<i>H. depressula</i> ⁵ %	32,5 / 66,7	4,1 / 8,0	11,5 / 12,5	0,0 / 0,3	—

Tablica 1 Fizičko-kemijske i biološke osobine istraživanih lokaliteta. ¹ Rasponi značajki u pridjenoj vodi (BULJAN & ŠPAN, 1976). ² Preuzeto od JURAČIĆ et al. (1995). ³ Količina hrane (org. tvari) u sedimentu proporcionalna je udjelu sitnozmate granulometrijske muljevite frakcije u sedimentu. +++ > 70% mulja, mnogo hrane. ++ 30-70% mulja, srednja količina hrane. + < 30% mulja, malo hrane. ⁴ (H) Raznolikost vrsta (BUZAS, 1979). ⁵ Postotak pojedinih rodova ili vrsta među neobojanim/obojanim jedinkama.

Table 1 Selected physical, chemical and biological parameters at the studied sites. ¹ The average values of some physical parameters of bottom water (BULJAN & ŠPAN, 1976). ² After JURAČIĆ et al. (1995). ³ The nutrient contents are presumed to be proportional to percentage of mud in sediments. +++ >70% of mud, means a lot of nutrients. ++ 30 to 70% of mud, a medium contents of nutrients. + < 30% of mud, means low nutrients level. ⁴ (H) Species diversity (BUZAS, 1979). ⁵ The proportions of stained and unstained individuals of selected genera and species counted per each sample.

ki, odnosno 17,3% obojenih): *Gavelinopsis lobatulus* (PARR), *Cibicides refulgens* MONTFORT, *Cibicidella variabilis* (D'ORBIGNY), *Lobatula lobatula* (WALKER & JACOB), *Planorbulina mediterraneensis* D'ORBIGNY, *Rosalina bradyi* CUSHMAN. Indeks raznovrsnosti vrsta H = 1,23.

Zajednica uzorka iz otvorenog mora Križ (lokacija 5, dubina mora 38 m, sitnije zrnata pjeskovita podloga) sadrži 55 vrsta, odnosno 876 jedinki (771 neobojanu i 105 obojanih). Najzastupljeniji su predstavnici podreda Rotaliina (R) (66,6% neobojanih i 76,2% obojanih), te podreda Miliolina (M) (32% neobojanih i 23,8% obojanih). Što se predstavnika podreda Textulariina tiče, to je jedini uzorak gdje njihov postotak prelazi 1% (T) = 1,4% neobojenih, dok obojenih nema. Zajednica pokazuje najveću raznolikost H = 1,48. Najzastupljenije vrste su: *Rosalina bradyi* (9,5% neobojenih i 17,1% obojenih) i *Cibicides refulgens* (10% neobojenih i 5,7% obojenih).

Veću zastupljenost imaju još i vrste: *Gavelinopsis lobatulus*, *Asterigerinata mamilla*, *Elphidium crispum* i *E. aculeatum*.

2.2. MORFOTIPSKJE VARIJACIJE VRSTE

Elphidium crispum (LINNE)

Elphidium crispum je plitkovodna epifaunalna vrsta (MURRAY, 1991), koja sadrži kloroplaste (LEE &

ANDERSON, 1991), a u našim uzorcima uočena je morfotipna varijacija vrste. Na temelju uočenih karakteristika prema JORRISEN-u (1988): I) najveći promjer; II) broj klijetki u najmlađem zavoju; III) struktura i ornamentacija u umbilikalnom dijelu kućice (postojanost i odsutnost jasno vidljivog umbilikalnog ispupčenja); IV) izgled klijetki; V) izgled kućice; razlučili smo dva morfotipa: 1) i 2).

Morfotip 1) ima tanku stijenku, spljoštenu kućicu maksimalnog promjera 1,44 mm, brojne (27-29) lučno povijene klijetke s 12-14 "rebara" u zadnjem zavoju, a između kojih su subeliptična udubljenja. Sutura je savijena prema straga, ima izraženo umbilikalno perforirano ispupčenje sa 7-9 velikih otvora i oštar periferni rub.

Morfotip 2) karakteriziran je debelom stijenkom, lečastom kućicom maksimalnog promjera od 0,57 mm, malim brojem (10-14) lučno povijenih klijetki s 9-12 "rebara" u zadnjem zavoju između kojih su četvrtasta udubljenja. Sutura je savijena prema straga i ima ravno umbilikalno ispupčenje.

Morfotip 1) dominira u uzorcima iz Malog mora i Velikog jezera (lokacije 2 i 3). U uzorku iz Malog mora 90% svih elfidija pripada morfotipu 1), dok u Velikom jezeru njemu pripada 67%. Naprotiv sedimenti iz kanala Soline i Križa (lokacije 4 i 5) sadrže 87%, odnosno 91% morfotipa 2).

Tanke i plosnate jedinice nalazimo u mimijem okolišu muljevitog dna, a deblje i lečaste jedinice, promjera

do 40% manjeg od prethodnih u pjeskovitom okolišu više energije vode.

3. DISKUSIJA

Omjer podredova Miliolina, Rotaliina i Textulariina (MURRAY, 1991) ukazuje na postojanje hipersaline lagune na lokacijama 1, 2 i 3, dok su lokacije 4 i 5 normalni morski okoliši. Ovi omjeri podredova slični su kod neobojanih i obojanih zajednica.

Indeks raznolikosti vrsta (H) za sve nebojane i obojane jedinke raste od vrijednosti 0,8 u uzorku iz Malog jezera (lokacija 1) do 1,4 u uzorku iz otvorenog mora (lokacija 5). Niske vrijednosti raznolikosti vrsta iz uzoraka s lokacija 1, 2 i 3 posljedica su dominacije malog broja vrsta na muljevitoj podlozi. Najveća vrijednost upućuje da su najpovoljniji uvjeti za raznolikost foraminifera u otvorenom moru na pjeskovitom dnu.

Poznato je da su bentičke foraminifere (CASTIGNETTI & MANLEY, 1998) najbrojnije u prvom centimetru muljevite podloge. Naša istraživanja pokazuju da su žive foraminifere najbrojnije na lokaciji 4 (pjeskovita podloga), a najmanje zastupljene u muljevitom dnu Malog jezera (lokacija 1). Brojnost foraminifera pokazuje stanovite razlike na muljevitim dnima: od 12 jedinica na lokaciji 1 do 91 jedinice na lokaciji 2. Većina određenih vrsta foraminifera su epifaunalni oblici, neke su foraminifere pričvršćene za podlogu, a neke su povremeno odnosno trajno pokretne. Zbog jedinstvenih endosimbotskih odnosa analizirane su jedinke roda *Peneroplis* i *Elphidium*. *Peneroplisi* su najbrojniji na lokacijama 2 i 4, što pokazuje njihovu neovisnost o tipu podloge, a ovisnost o višoj temperaturi i manjoj dubini. *Elfidiji* su najbrojniji na lokacijama 3 i 5, na većim dubinama i nižim temperaturama.

Raspored morfotipova vrste *E. crispum* u mljetskim jezerima podudara se s različitim podlogama. Muljeviti sedimenti s velikom koncentracijom hrane (lokacije 2 i 3) udomljuju velike plosnate morfotipove 1), dok je pjeskovita podloga (lokacije 4 i 5) dom manjih i zaobljenih morfotipova 2). Ovakvo ponašanje u suprotnosti je s rezultatima istraživanja JORISSENA (1988) za Sjeverni Jadran, gdje su veliki kompaktni morfotipovi dominantni u okolišima siromašnim hranom.

Novija istraživanja laminarnih perforatnih Rotaliina povezuju morfotipske varijacije s razlikama u debljini lamina. Naime, plosnati su oblici rezultat stanjenja svake pojedine lamine zbog usporavanja procesa biomineralizacije sa smanjenjem turbulencije mora (KUILE TER & EREZ, 1988; EREZ & BENTOV, 1998). Mimi okoliši pogodniji su pak morfotipovima tanjih stijenki i plosnatijih oblika (morfotip 1).

U Malom i Velikom jezeru brojne su i jedinke vrste *H. depressula*. Živeći u okolišu normalnog saliniteta ekološka tolerancija roda proširuje se u našim uzorcima (lokacije 1 i 3) a na temelju podataka (BULJAN & ŠPAN, 1976) na 38. Naime, MURRAY, (1991, str. 325), navodi da ovaj rod živi u okolišu saliniteta od 0-30‰,

dok isti autor na str. 324 ističe da vrsta *H. germanica* može preživjeti salinitet i do 35‰.

Od ostalih determiniranih vrsta ekološkom specifičnosti ističe se i vrsta *V. bradyana*, po tome što tolerira smanjenu količinu kisika u okolišu. Nebojeni - uginuli primjerci nađeni su samo na lokacijama 1 i 3. Dugogodišnja praćenja fizičko-kemijskih uvjeta u mljetskim jezerima dokazala su postojanje hipoksičnih uvjeta tijekom ljetnih mjeseci u Malom i Velikom jezeru, što u potpunosti odgovara našim lokacijama 1 i 3.

4. ZAKLJUČCI

Uzorci površinskih sedimenta uzeti s relativno malog područja pokazuju raznovrsni model ponašanja foraminiferske zajednice.

1. Brojnost živih foraminifera uspoređenih s vrstom podloge pokazuje najveće mnoštvo za zajednice sa pijeska, a najmanje s muljevite podloge.
2. Najmanja je raznolikost zajednica u Malom jezeru (lokacija 1), dok s približavanjem otvorenom moru, raznolikost raste, a najveću vrijednost postiže u Križu (lokacija 5).
3. Pojavljivanje dvaju morfotipova 1) i 2) vrste *Elphidium crispum* vezano je za razlike u dubini biotopa, odnosno uz razlike u turbulenciji morske vode.
4. Uginule vrste jedinke *Valvulineria bradyana* (tolerantnija na manju količinu kisika) nalazimo samo u Mljetskim jezerima (lokacije 1 i 3), gdje su dokazani periodi anoksije.
5. Nalazi vrste *Haynesina depressula* proširuju raspon tolerancije roda na salinitet do 38‰.
6. Omjer predstavnika (uginulih i živih) podredova Rotaliina: Miliolina: Textulariina ukazuje na lagunarni karakter zajednica iz Velikog i Malog jezera (lokacije 1, 2 i 3), dok su zajednice iz kanala Soline i Križa (lokacije 4 i 5) tipične zajednice normalnog morskog okoliša.

5. LITERATURA

- BULJAN, M. & ŠPAN, J. (1976): Hidrografska svojstva mljetskih jezera i susjednog mora.- Acta Adriatica, 6/12, 1-227, Split.
- BUZAS, M.A. (1979): The measurement of species diversity.- U: LIPPS, J.H., BERGER, W.H., BUZAS, M.A., DOUGLAS, R.G. & ROSS, C.A. (ur.): Foraminiferal Ecology and Paleoecology. SEPM Short Course, 6, 11-21, Houston.
- CASTIGNETTI, P. & MANLEY, C.J. (1998): Benthic foraminiferal depth distribution within the sediment in a modern ria.- Terra Nova, 10, 37-41, London.
- EREZ, J. & BENTOV, S. (1998): The mechanism of calcification in perforate foraminifera.- U: LONGORIA, J.F. & GAMPER, M.A. (ur.): International Symposium on Foraminifera. Forams '98. Proceedings of the Meeting and Abstracts with Programs, Sociedad Mexicana de Paleontología, A.C., Spec. Publ., 34, Monterrey.

- JORISSEN, F.J. (1988): Benthic foraminifera from the Adriatic Sea; principles of phenotypic variation.- Utrecht Micropaleont. Bull., 37, 176 str.
- JURAČIĆ, M., SONDI, I., BARIŠIĆ, D., VDOVIĆ, N. & PRAVDIĆ, V. (1995): Sedimenti i sedimentacija u mljetskim jezerima.- U: DURBEŠIĆ, P. & BENOVIĆ, A. (ur.): Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Simpozij - priopćenja. Hrvatsko ekološko društvo, Ekološke monografije, 6, 107-116, Zagreb.
- KUILE TER, B. & EREZ, J. (1988): The size and function of the internal inorganic carbon pool of the foraminifer *Amphistegina lobifera*.- Marine Biology, 99, 481-487, Berlin.
- KUMMEL, B. & RAUP, D. (1965): Handbook of paleontological techniques.- W.H. Freeman and Comp., San Francisco, XIII+852 str.
- LEE, J.J. & ANDERSON, O.R. (1991): Symbiosis in foraminifera.- U: LEE, J.J. & ANDERSON, O.R. (ur.): Biology of Foraminifera. Academic Press, London, 157-220.
- MURRAY, J.W. (1991): Ecology and paleontology of benthic foraminifera.- Longman, Harlow, London, 380 str.





Compositional Zoning in Minerals from Metamorphic Rocks of the South Tisia in Croatia

Zonalnost u sastavu minerala iz metamornih stijena južne Tisije u Hrvatskoj

Dražen BALEN

Key words: Amphibole, Garnet, Amphibolite, Thermobarometry, Metamorphic reactions, Pannonian Basin, South Tisia.

Ključne riječi: amfibol, granat, amfiboliti, termobarometrija, metamorfne reakcije, Panonski bazen, južna Tisija.

Abstract

Compositional zoning patterns preserved within amphibole and garnet obtained by serial sectioning and X-ray WDS mapping provides independent and complementary data sets that give important insight into the processes of metamorphism of South Tisia area in Croatia. Compositional zoning in amphibole is detected as Si- and Mg-concentrations decreasing from core to rim along with increasing Al-, Fe-, Na-, K-, and Ti-content which can be generally interpreted as prograding metamorphism. Data collected on garnet from Moslavačka Gora yield almost uniform composition (with high grossular content) and homogenous pattern through grain with thin rims that are due to diffusion processes.

Amphibole and garnet bearing parageneses from Moslavačka Gora, western part of Mt. Psunj and area of central Papuk record detail evidence of metamorphism history. Additionally thermobarometric calculations help in establishing two-stage (or complex polyphase?) metamorphic model and clockwise P-T path.

The aim of this report is to present the methods of processing data from "micro-world" (size of mineral grain) which enable us to deduce conditions of metamorphism during petrogenesis ("chemical tape recorders" - SPEAR, 1995). Compositional zoning patterns preserved within amphiboles and garnets were obtained with X-ray WDS mapping using CAMECA SX-50 instrument at University of Massachusetts at Amherst. Maps and traverses provide independent and complementary data sets that give important insight into the processes of metamorphism.

Zonal growth of amphibole grains is a result of multiple periods of mineral growth. The cores appear to be relics, preserved because of incomplete equilibrium. Assuming that the cores grew before the rims, amphi-

Sažetak

Zonalnost sastava amfibola i granata zabilježena je pomoću kemijskog kartiranja i profiliranja (X-ray WDS mapping). Na taj način su prikupljeni nezavisni i komplementarni podaci koji omogućuju određivanje procesa metamorfizma južnog ruba Tisije u Hrvatskoj. Zonalnost kod amfibola očituje se u smanjenju koncentracije Si i Mg, te porastu Al, Fe, Na, K i Ti idući od jezgre ka rubu zrna. Takav obrazac je tipičan za progradni metamorfizam. Podaci prikupljeni na granatima Moslavačke gore pokazuju jednolikost i homogenost u sastavu (uz visok udio grosularske komponente), a također je prisutan i tanak rub uslijed difuzije.

Mineralne parageneze s amfibolima i granatima Moslavačke gore, zapadnih dijelova Psunja i centralnih dijelova Papuka zabilježile su detalje metamorfne povijesti. Dodatkom termobarometrijskih podataka ustanovljen je dvostupanjski (ili složeni polifazni?) model metamorfizma i P-T reakcijski put (u smjeru gibanja kazaljke na satu).

boles can be used as an relative time indicator. Moreover, the distinct compositions of core and rim, indicate different metamorphic conditions. Each growth event can be characterized by a different metamorphic grade. Partial reequilibration will prevent the determination of the core composition at the peak of metamorphism. It is also very probable that the mineral assemblage was slightly different when the core crystallized. Of course, only larger grains have cores that are different from rims, because the core in the smaller grains was completely consumed. Elements necessary to make new rims come from alteration of other phases (change in modal and chemical compositions).

As minerals are buffered by the whole assemblage, the composition of individual minerals can be mutually

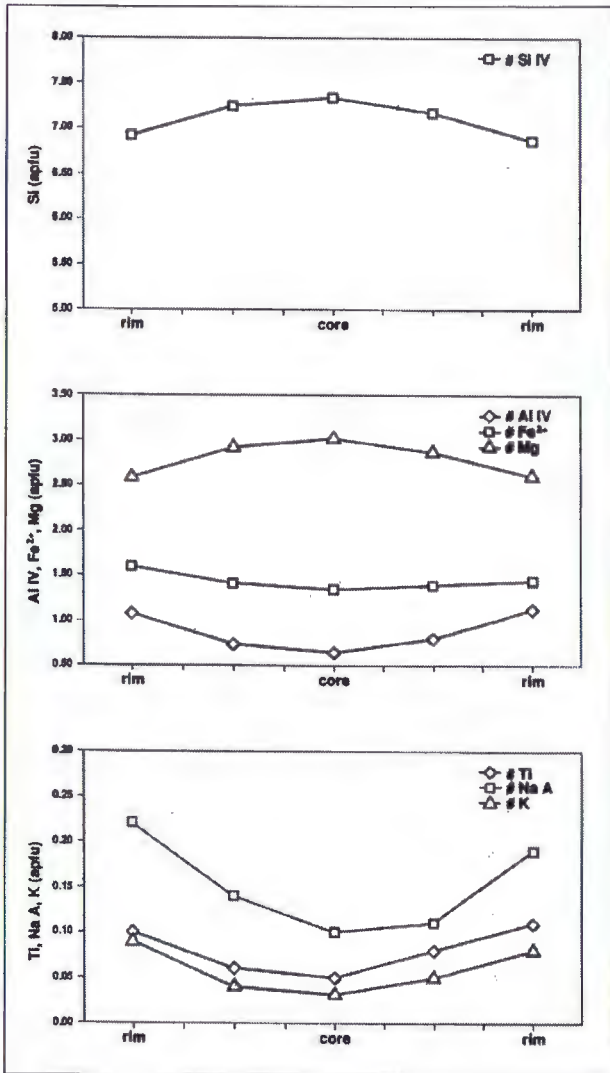


Fig. 1 Comparison of chemical composition in core and rims of Psunj amphibole.

Sl. 1 Usporedba kemijskog sastava jezgre i ruba amfibola Psunja.

compared, and variations in mineral chemistry can be related to differences in metamorphic grade or facies series rather than bulk rock composition.

Information about the metamorphic conditions during crystal growth of amphiboles from Psunj assemblage is recorded in Fig. 1.

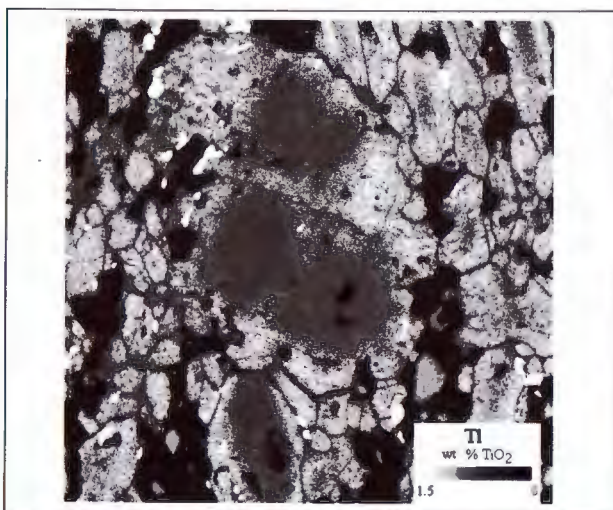
Profiles show the differences in the distribution of cations. These differences are due to changes in metamorphic conditions during the mineral growth. The cores of amphiboles have higher amounts of Si and Mg and lower amounts of Al, Ti, Na, K and Fe than the rim of same grain. Increasing of Fe, Na, Fe/Mg ratio and decreasing of Mg and Si from cores to rims of the grains also indicates rising pressure. According to SPEAR (1981) this suggests that the temperature increased during mineral growth. Therefore we can suggest conditions of relative prograding metamorphism (BALEN et al., 1997).

Same patterns are also characteristic for Moslavačka Gora amphibole grains especially in distribution of Ti and Mg (Fig. 2 maps and Fig. 3 traverse).

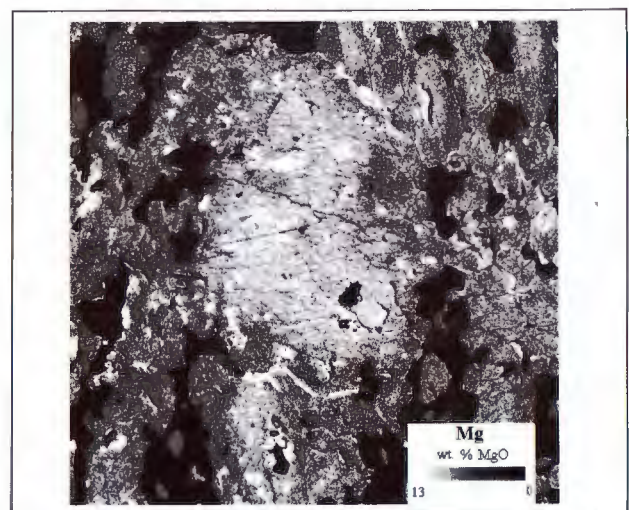
Chemical maps show complex pattern of amphibole grains that suggest more than one stage of metamorphic event (polymetamorphism in different tectonocycles). However, we must state question about time gap between these stages of metamorphism. Although there is also possibility of complex polyphase metamorphism in one orogenic cycle.

In the Moslavačka Gora amphibole grains lot of solid inclusions are present. Due that favorable circumstance we may reconstruct traverse through grain that represent P and T conditions in metamorphic history (mineral growth) - Fig. 4.

Sets of reconstructed P and T values (Fig. 5) from the parageneses Hbl+Cpx, Hbl+Pl, Cpx+Ilm, Cpx+Pl+Qtz, Ilm+Mgt, Hbl, Grt+Cpx, Grt+Cpx+Pl+Qtz



a



b

Fig. 2 Chemical maps of amphibole grain from Moslavačka Gora (map area = 1mm²): a) Ti map, b) Mg map.

Sl. 2 Kemijska karta amfibola Moslavačke gore (površina karte = 1 mm²): a) Ti karta, b) Mg karta.

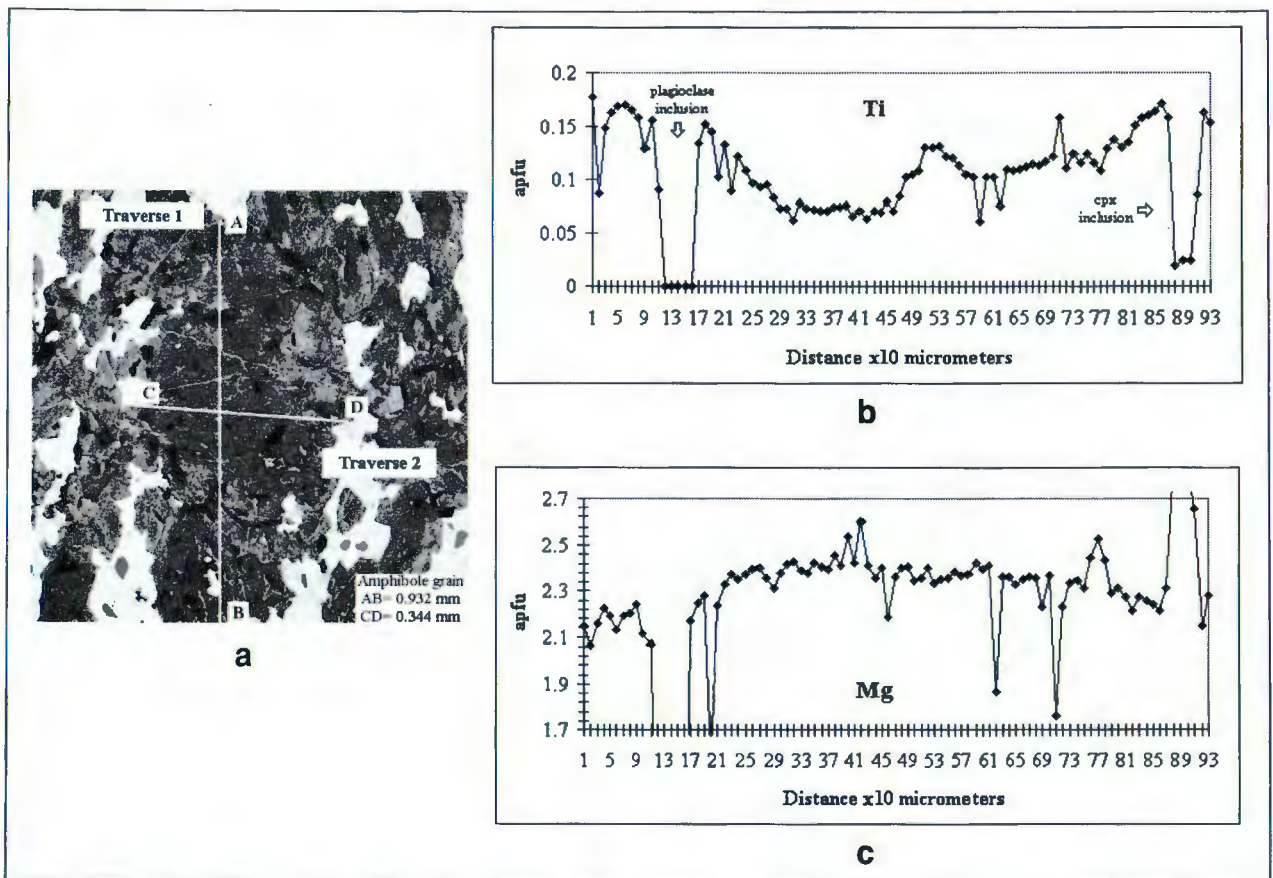


Fig. 3 a) Chemical map of amphibole showing position of traverses; b) Traverse 1 with Ti distribution; c) Same traverse (1) with Mg distribution.

Sl. 3 a) Kemijska karta amfibola s položajem profila; b) profil 1 s raspodjelom Ti; c) isti profil (1) s raspodjelom Mg.

with aid of 25 different geothermometers, geobarometers, geothermobarometers and geothermooxometers including TWQ analysis (intersection of metamorphic reaction curves) make reconstruction of clockwise P-T path possible.

Chemical investigations of the amphiboles indicate variations in the features that enable deduction of genetic conditions and processes. Temperature of formation for amphibole from Moslavačka Gora is set to 550-820 °C and pressure between 520-580 MPa (730-

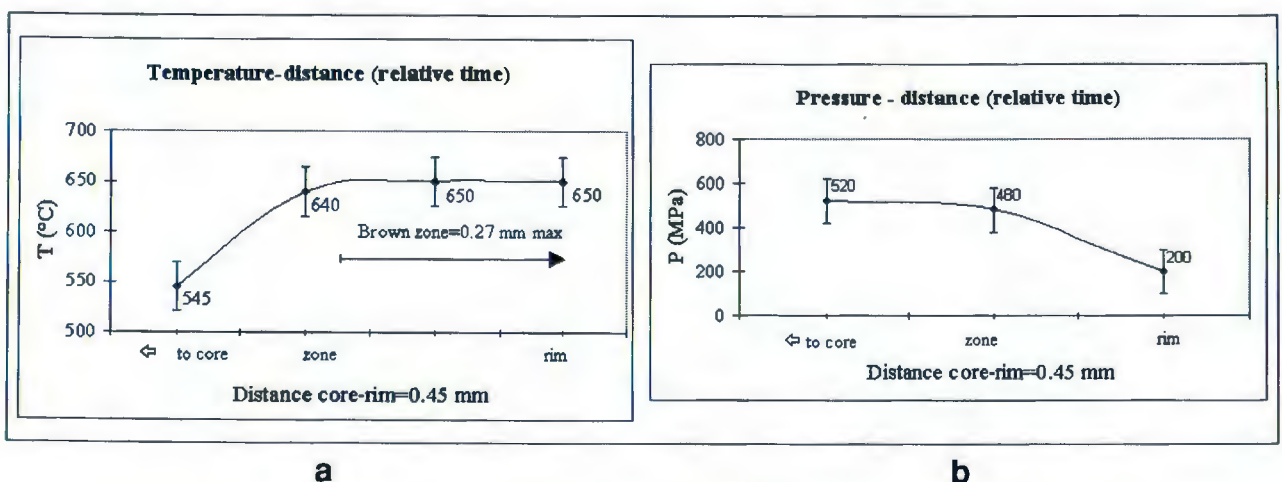


Fig. 4 Reconstructed paleotemperature and paleopressure metamorphic conditions in Moslavačka Gora amphibole grain: a) Temperature vs. distance (relative time); b) Pressure vs. distance (relative time).

Sl. 4 Rekonstruirani metamorfni uvjeti (paleotlakovi i paleotemperature) u znu amfibola Moslavačke gore: a) dijagram temperatura-udaljenost (relativno vrijeme); b) dijagram tlak-udaljenost (relativno vrijeme).

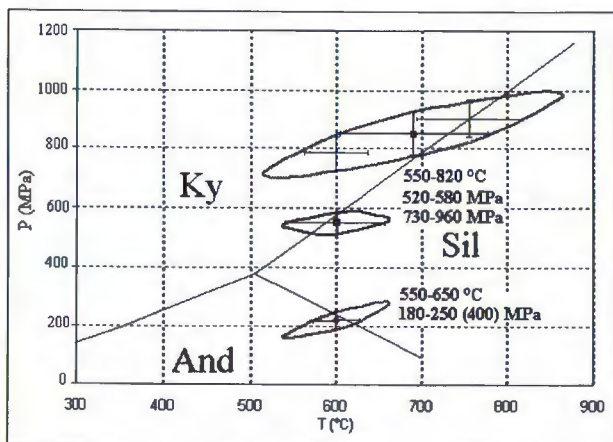


Fig. 5 Metamorphic conditions obtained from Moslavačka Gora parageneses.

Sl. 5 Uvjeti metamorfizma dobiveni iz parageneza Moslavačke gore.

960 MPa) for older stage and 550-650 °C and 180-250 (400) MPa for younger stage. Temperature between 490 and 550 °C and pressure between 200 and 500 MPa are characteristic for Psunj amphibole (BALEN et al., 1997; BALEN, 1999).

Garnets from Moslavačka Gora show homogenous pattern and almost uniform composition (Fig. 6). Only minor discrepancies are in the core (relic core) and thin rims. Thin rims are interpreted as result of diffusion processes. Chemical composition and thermobarometric calculations together with field observation show that garnet belong to youngest stage of metamorphism.

P-T path reconstructed in Moslavačka Gora samples consist of two clockwise P-T loops (Fig. 7). The first one show increase of P-T conditions along reconstructed Barrovian geothermal gradient 18-28 (35) °C/km, which coincide with growth of amphibole core, up to peak conditions. After time span (?) second event took place with geothermal gradient over 60 °C/km. This coincide with growth of amphibole rims and garnet grains (HTLP metamorphism) - Fig. 8.

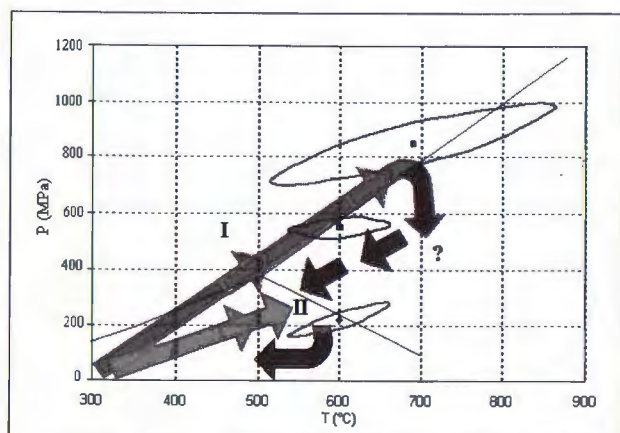


Fig. 7 Clockwise P-T path for amphibolite from Moslavačka Gora.

Sl. 7 P-T reakcijski put ("u smjeru gibanja kazaljke na satu") za amfibolite Moslavačke gore.

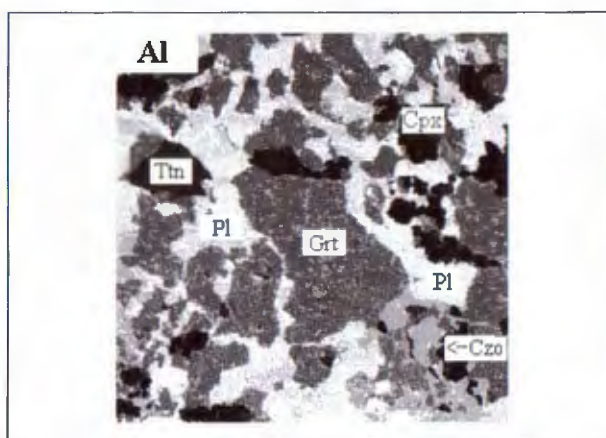


Fig 6 Chemical map of garnet paragenesis from Moslavačka Gora (map area = 1mm²).

Sl. 6 Kemijska karta parageneze s granatom iz Moslavačke gore (površina karte = 1mm²).

The chemical zoning and different rate of mineral growth must reflect differences in the thermal, deformational and/or fluid flow history. For the more accurate details about mineral growth of investigated outcrops of South Tisia continued refinements in quantitative textural analysis, geochronology, thermal modeling, P-T path calculations and strain studies are required.

Acknowledgments

The present work form part of author PhD grant (119307) and participates in grant 119304 both sponsored by the Ministry of Science and Technology of Republic of Croatia. The author is indebted to Mike JERCINOVIC, Stjepan ŠČAVNIČAR, Jakob PAMIĆ, Vera MARCI, Vladimir BERMANEC and Esad PROHIĆ.

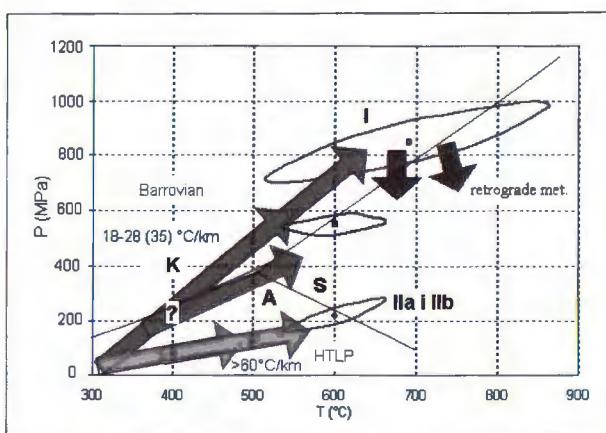


Fig. 8 Model of evolution for Moslavačka Gora amphibolite.

Sl. 8 Evolucijski model za amfibolite Moslavačke gore.

REFERENCES

- BALEN, D., BERMANEC, V. & MARCI, V. (1997): Compositional zoning in amphibole from amphibole bearing paragenesis of west Psunj (Croatia): Evidence for progressive metamorphism.- *Geol. Croatica*, 50/1, 7-15.
- BALEN, D. (1999): *Metamorfne reakcije u amfibolskim stijenama Moslavačke gore*.- PhD Thesis, University of Zagreb, 264 p.
- SPEAR, F.S. (1981): An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite.- *Am. Jour. Sci.*, 281, 697-734.
- SPEAR, F.S. (1995): *Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths*.- *Min. Soc. of America Monograph*, BookCrafters Inc., XXII+799 p.





The Chemographic Relations Between Minerals in Olivine Gabbro from Kamenjača, Moslavačka Gora (Northern Croatia)

Kemografski odnosi između minerala u olivinskom gabru Kamenjače, Moslavačka gora (sjeverna Hrvatska)

Dražen BALEN¹, Mirko BELAK² & Vladimir BERMANEC¹

Key words: Gabbro, Metagabbro, Metamorphic reactions, Schreinemaker's method, Crystalline basement, Pannonian Basin, Moslavačka Gora, South Tisia.

Ključne riječi: gabro, metagabro, metamorfne reakcije, Schreinemakerova metoda, kristalinska podloga, Pannonijski bazen, Moslavačka gora, južna Tisija.

Abstract

The Schreinemaker's analysis of chemographic relations between minerals in simplified ACF system (Al_2O_3 -CaO-FeO-MgO) show that on contact between primary magmatic minerals in olivine gabbro/metagabbro, metamorphic processes produce amphibole and subordinate chlorite. Genesis of amphibole is due to metamorphic reactions (some of them are hypothetical): $Amp=Pl+Ol$, $Amp=Chl+Di$, $Amp=Ol+Di+Pl$, $Amp=Di+Pl+Hi$, $Amp=Chl+Di+Ol$, $Chl+Di=Amp+Pl$, $Pl+Ol=Amp+Chl$ which take place in different parageneses during evolution of Moslavačka Gora crystalline complex. Depending on volume content of amphibole olivine gabbro from Kamenjača in special cases may be called metagabbro.

Sažetak

Schreinemakerova analiza kemografskih odnosa između minerala u pojednostavljenom ACF sustavu (Al_2O_3 -CaO-FeO-MgO) unutar olivinskog gabra/metagabra pokazuje da se na kontaktu primarnih magmatskih minerala olivina i klinopiroksena s plagioklasom javljaju amfibol te podređeno klorit te da je njihov nastanak vezan uz metamorfne procese. Postanak amfibola omogućile su metamorfne reakcije: $Amp=Pl+Ol$, $Amp=Chl+Di$, $Amp=Ol+Di+Pl$, $Amp=Di+Pl+Hi$, $Amp=Chl+Di+Ol$, $Chl+Di=Amp+Pl$, $Pl+Ol=Amp+Chl$ koje su se odvijale u vremenski odvojenim paragenezama tijekom složene evolucije kristalinskog kompleksa Moslavačke gore. Ovisno o zastupljenosti sekundarnih minerala olivinski gabro Kamenjače možemo nazvati i metagabrom.

1. INTRODUCTION

Primary magmatic paragenesis of gabbro from Kamenjača Creek near Crkveni Jarak consist of olivine, clinopyroxene, hypersthene and plagioclase (labrador) - Fig. 1. With primary paragenesis occur subordinate amphibole (KIŠPATIĆ, 1887, 1889), chlorite and biotite which are secondary minerals. According to IUGS classification for magmatic rocks (IUGS Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks, 1973) that is based on mineral content and abundance this rock should be named olivine gabbro as already KIŠPATIĆ (1887) proposed. Kišpatić also pointed out that olivine gabbro is closely associated and related with gneisses although primary position of gabbro and relationship between rock units in time when he wrote the papers were not known. KOCH (1899, 1906) draw geological

profile with relationship among gabbro and gneiss, confirming Kišpatić's opinion. TUČAN (1953) pointed out significance of crystalline rocks for evolution of the Moslavačka Gora. Finally, BALEN (1999) analysed amphibole producing metamorphic reactions in olivine gabbro/metagabbro using Schreinemaker's analysis (ZEN, 1966).

2. RESULTS AND DISCUSSION

If we logically presume that olivine gabbro underwent through the same tectonoevolution as other crystalline rocks of Moslavačka Gora (at least last Alpine phase) than same tectonoevolution processes have to be recorded as changes in mineral paragenesis. For purpose of "reading" these processes and analysing avail-

¹Institute for Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: drbalen@public.srce.hr.

²Croatian Geological Survey (Institute of Geology), Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

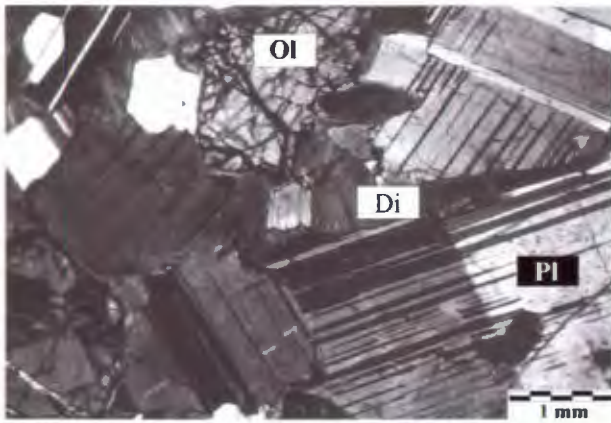


Fig. 1 Primary magmatic paragenesis of gabbro from Kamenjača, reaction rim is visible around olivine; Ol - olivine, Di - clinopyroxene, Pl - plagioclase, N+.

Sl. 1 Primarna magmatska parageneza gabra iz Kamenjače, vidljiv reakcijski rub oko olivina; Ol - olivin, Di - klinopiroksen, Pl - plagioklas, N+.

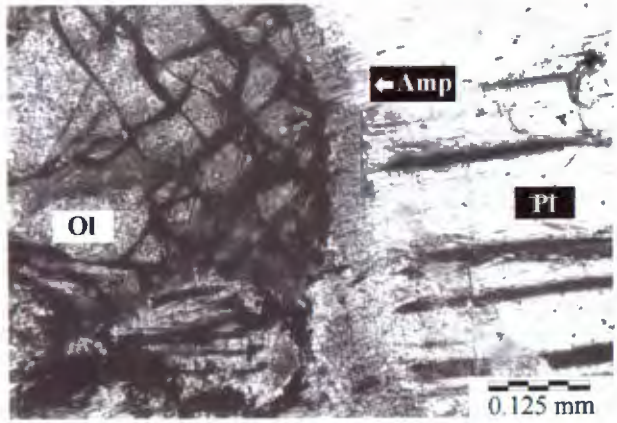


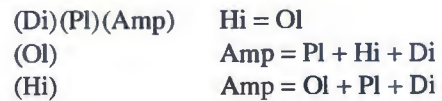
Fig. 2 Amphibole (Amp) as "reaction rim" on the contact between olivine (Ol) and plagioclase (Pl), N+.

Sl. 2 Amfibol (Amp) kao "reakcijski rub" na kontaktu olivina (Ol) i plagioklasa (Pl), N+.

able data we decide to use ACF diagram (simplified system Al_2O_3 -CaO-FeO-MgO). AFM and ACF diagrams are examples of composition phase diagrams that are often called chemographic diagrams, or simply chemographics. Schreinemaker's diagrams are by far the most common type of diagram used to represent petrologic phase equilibrium and it is only diagram in which the invariant and univariant phase relations of a multicomponent system are projected onto two-dimensional potential variable co-ordinate frame. Most of thermodynamic data files for calculations are available because they are based on simple oxide components and for most geologic purposes these components define valid, although not always optimal, composition spaces.

As shown in Fig. 2 on the contact of olivine and plagioclase there is "reaction rim" that consist of amphi-

bole. Chemographic relations that explain these processes are graphically presented in Fig. 3 and possible reactions in system Al_2O_3 -CaO-FeO-MgO (simplified as ACF triangle) are:



Fluid is necessary for evolving such reactions and due to development of amphibole and chlorite fluid is surely present. Including the chlorite in system (Fig. 4) without microprobe data of involved phases we must assume two possible solutions:

a) system where composition of amphibole lay out of tie-lines intersections that give reactions:

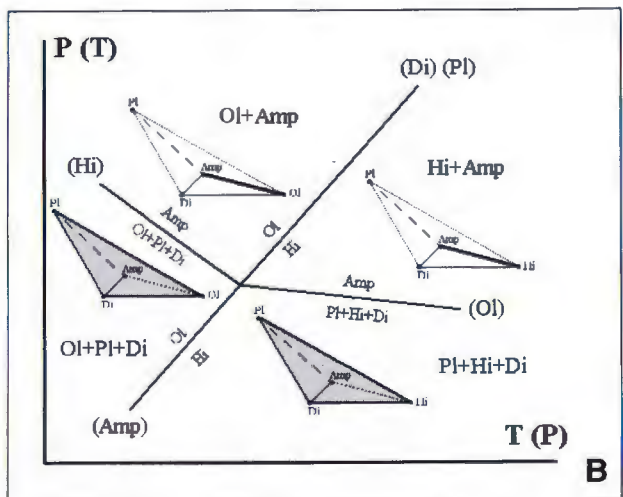
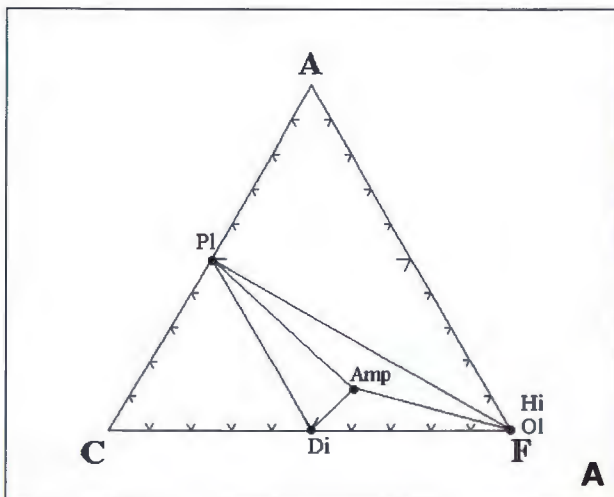


Fig 3 a) Chemographic relations in the ACF diagram and b) related nonoriented P-T diagram with stability fields for parageneses.

Sl. 3 a) Kemografski odnosi u ACF dijagramu; b) pripadajući neorijentirani P-T dijagram s poljima stabilnosti pojedinih parageneza.

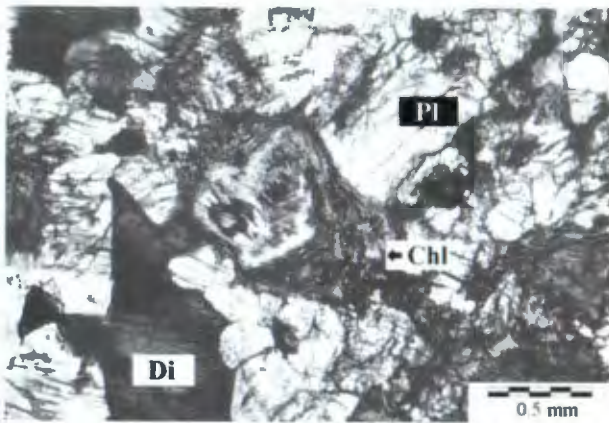
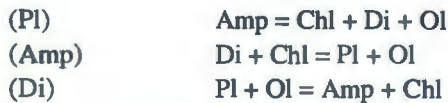
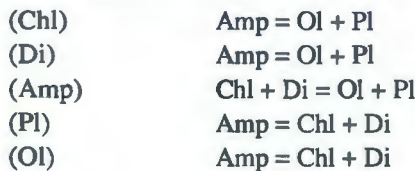


Fig. 4 Mineral association of clinopyroxene (Di), chlorite (Chl) and plagioclase (Pl), N-.

Sl. 4 Mineralna asocijacija klinopiroksen (Di), klorit (Chl) i plagioklas (Pl), N-.



b) system where composition of amphibole lay inside of tie-lines intersections what can be presented by:



Possible reactions are shown in Fig. 5 (a case) and Fig. 6 (b case).

With respect to solid solutions and fluid solutions it has to be point out that if an assemblage involves solutions in a real system, than the modes of the minerals

will vary continuously with the independent intensive variables of the system.

Conventionally petrologist treat the compositional variable of the fluid phase as an explicit variable; however, in the calculation of variable fluid composition P-T projections the composition of the fluid is an implicit variable i.e., the fluid is treated in the same way as a mineral solution.

As a minor constituent we also have found ilmenite with reaction rim of titanite (Fig. 7).

Products of retrograde reactions are only partially explained due to simplification of chemical system to only few components (Al_2O_3 -CaO-FeO-MgO), without Na_2O , K_2O , MnO, SiO_2 , TiO_2 , H_2O which are essential constituents of amphibole composition space. For more complex picture we should apply thermodynamic approach with various algebraic methods in n-dimensional space (for example Perplex software - CONNOLLY, 1990) and make microprobe analyses of phases.

It is of course simplified analyses in comparison with the real systems with large number of coexisting minerals. However, reactions between plagioclase and pyroxene (Fig. 8), as well as last stage reaction among plagioclase and olivine (Fig. 2) were confirmed microscopically.

In some samples volume content of minerals that formed before mentioned reactions increased to such proportions that these minerals became major constituents of rock. In such cases it is possible to rename olivine gabbro of Kamenjača to metagabbro.

Acknowledgements

The authors are indebted to Josip CRNKO and Darko TIBLJAŠ.

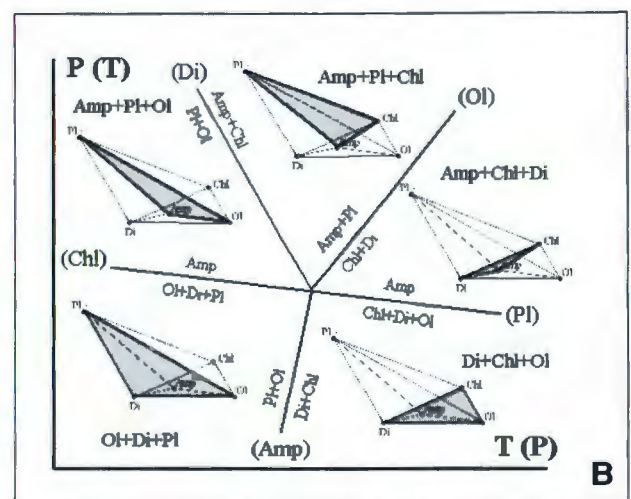
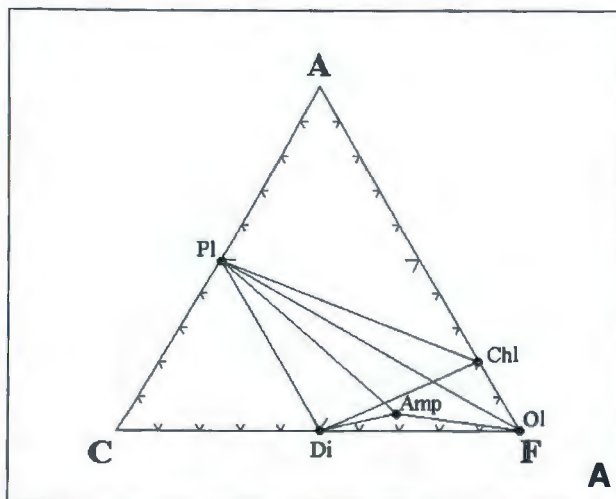


Fig. 5 a) Chemographic relations in the ACF diagram for system where composition of amphibole lay out of tie-lines intersections and b) related nonoriented P-T diagram with stability fields for parageneses.

Sl. 5 a) Kemografski odnosi u ACF dijagramu kada sastav amfibola leži izvan presječnica; b) pripadajući neorijentirani P-T dijagram s poljima stabilnosti pojedinih parageneza.

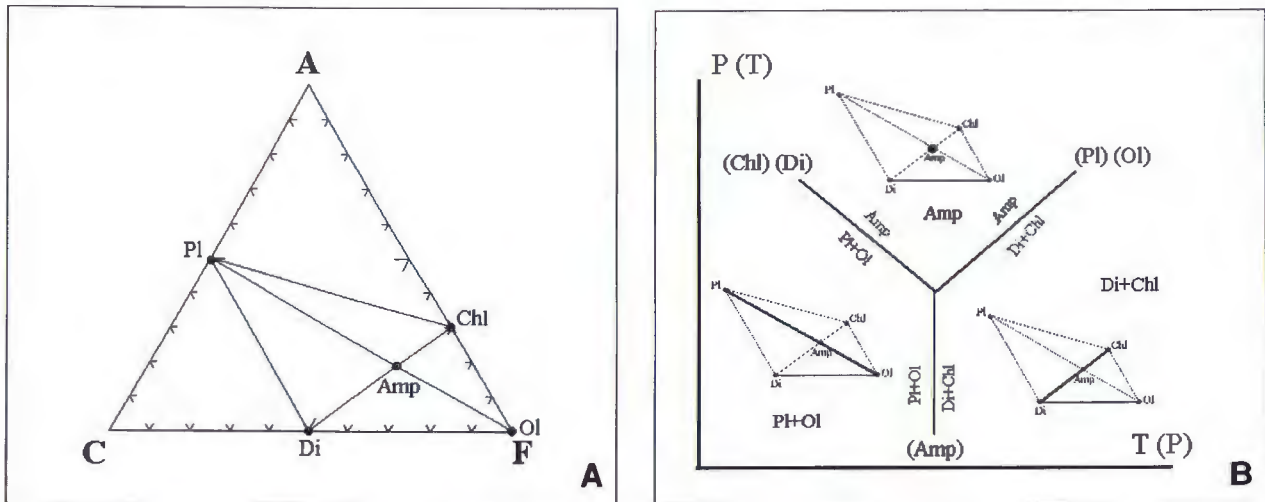


Fig. 6 a) Chemographic relations in the ACF diagram for system where composition of amphibole lay inside of tie-lines intersections and b) related nonoriented P-T diagram with stability fields for parageneses.

Sl. 6 a) Kemografski odnosi u ACF dijagramu kada sastav amfibola leži unutar presječnica; b) pripadajući neorijentirani P-T dijagram s poljima stabilnosti pojedinih parageneza.

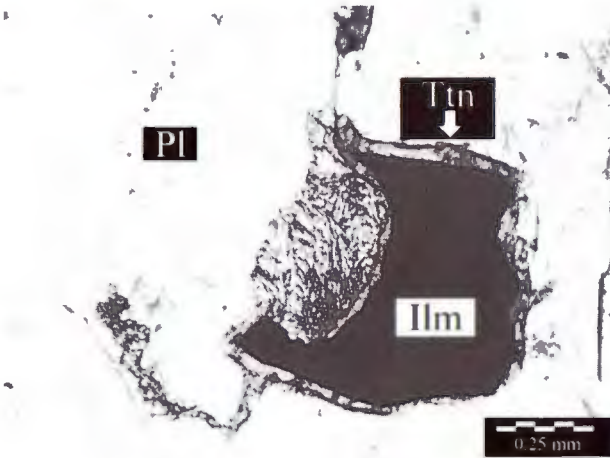


Fig. 7 Ilmenite (Ilm) with reaction rim of titanite (Ttn).
Sl. 7 Ilmenit (Ilm) s reakcijskim rubom od titanita (Ttn).

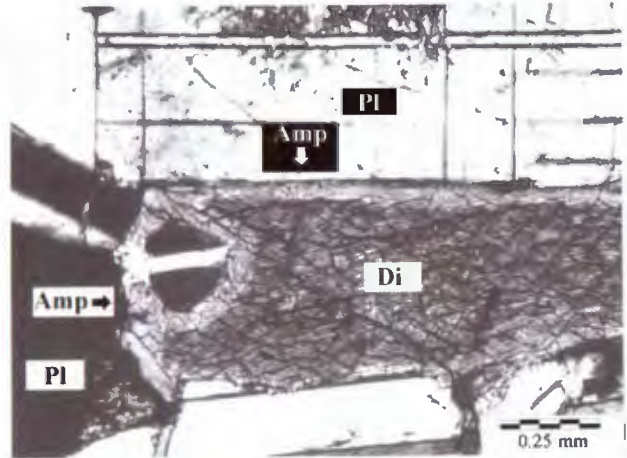


Fig. 8 Amphibole (Amp) as "reaction rim" on the contact between clinopyroxene (Di) and plagioclase (Pl), N+.
Sl. 8 Amfibol (Amp) kao "reakcijski rub" na kontaktu klinopiroksena (Di) i plagioklasa (Pl), N+.

3. REFERENCES

- BALEN, D. (1999): Metamorfne reakcije u amfibolskim stijenama Moslavačke gore.- Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 264 p.
- CONNOLLY, J.A.D. (1990): Calculation of multivariable phase diagrams: an algorithm based on generalized thermodynamics.- *Am. J. Sci.*, 290, 666-718.
- IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks (1973): Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. Recommendations.- *N. Jb. Miner. Mh.*, 149-164.
- KIŠPATIĆ, M. (1887): Olivinski gabro iz Moslavačke gore.- *Rad JAZU*, 83, 1-17, Zagreb.

- KIŠPATIĆ, M. (1889): Kristalinični trup Moslavačke gore.- *Rad JAZU*, 95, 24-51, Zagreb.
- KOCH, F. (1899): Prilog geološkom poznavanju Moslavačke gore.- *Rad JAZU*, 139, 1-28, Zagreb.
- KOCH, F. (1906): Tumač geologijske karte Ivanić Kloštar i Moslavina.- Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije 1:75000, Naklada Kralj. zemalj. vlade, Odjel za unutarnje poslove, 4, 22, Zagreb.
- TUĆAN, F. (1953): Nov prinos poznavanju kristalastih stijena Moslavačke gore.- *Spom. M. Kišpatića, JAZU*, 39-69, Zagreb.
- ZEN, E.-A. (1966): Construction of pressure-temperature diagrams for multicomponent systems after the method of Schreinemakers - a geometric approach.- *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1225, 56 p.

The Succession of Metamorphic Parageneses in Mineral Assemblage from Marble - Zorovac Creek (Moslavačka Gora, Northern Croatia)

Slijed metamorfnih parageneza u mineralnoj zajednici mramora potoka Zorovac (Moslavačka gora, sjeverna Hrvatska)

Dražen BALEN¹, Mirko BELAK², Darko TIBLJAŠ¹ & Nenad TOMAŠIĆ¹

Key words: Marble, Metamorphic reactions, Paragenesis, Assemblage, Crystalline basement, Pannonian Basin, Moslavačka Gora, South Tisia.

Ključne riječi: mramor, metamorfne reakcije, parageneza, mineralna asocijacija, kristalinska podloga, Panonski bazen, Moslavačka gora, južna Tisijska.

Abstract

Mineral assemblage in marble from Zorovac Creek (Moslavačka Gora) is represented by 24 different minerals (not final list) which could not form in one single metamorphic event. During complex evolution of crystalline terrain of Moslavačka gora, parageneses are developed depending on present metamorphic conditions and successively followed each other. Due to slow reaction rate there are relics of older parageneses which together with numerous metamorphic reactions in the system (SiO₂-TiO₂-Al₂O₃-FeO-MnO-CaO-MgO-Na₂O-K₂O-CO₂-H₂O-HF) contribute to the diversity of mineral species in assemblage.

Sažetak

Mineralna zajednica unutar mramora potoka Zorovac (Moslavačka gora) vrlo je brojna i ne do kraja obrađena. Obuhvaća 24 mineralne vrste koje nisu sve mogle nastati tijekom jednog metamorfnog događaja. Za vrijeme složene polifazne metamorfne evolucije kristalinskog kompleksa Moslavačke gore parageneze su se razvijale ovisno o promjeni metamorfnih uvjeta i sukcesivno slijedile jedna drugu. Usljed sporosti reakcija mnogi od minerala predstavljaju sačuvane relikte starijih parageneza što uz brojnost metamorfnih reakcija u sustavu (SiO₂-TiO₂-Al₂O₃-FeO-MnO-CaO-MgO-Na₂O-K₂O-CO₂-H₂O-HF) pridonosi raznolikosti i bogatstvu mineralnih vrsta unutar asocijacije.

1. INTRODUCTION

The aim of this report is to present preliminary results of mineralogical, petrological and geochemical study of rare occurrence of marble from Zorovac Creek. Detailed microscopic and XRD investigation of this famous locality within crystalline complex of Moslavačka Gora reveal unusually numerous association of minerals. This locality was subject of investigation of many workers (TUČAN, 1953; TUČAN & BARIĆ, 1955; BARIĆ, 1956, 1972; BARIĆ et al., 1970; PAMIĆ, 1990; GARAŠIĆ, 1993; CRNKO et al., 1998; BALEN, 1999); therefore, mineralogy of marbles from Zorovac creek is well known although it seems that list of minerals is not exhausted.

2. RESULTS AND DISCUSSION

In marbles (Fig. 1) that are closely associated with amphibolite and amphibole-bearing schists (see segment of geological column from Zorovac creek - Fig. 2), we have presently documented or registered in literature association of 24 minerals and there are still some species in analytical process. All these minerals did not originate in one single tectonocycle (PAMIĆ, 1998). Minerals mutually combine in forming different mineral parageneses and rich reaction history of marble is in fact recorded in these parageneses. This is clearly shown by a large number of different parageneses and textural relations between minerals. Registered parageneses are shown in Table 1.

¹Institute for Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: drbalen@public.srce.hr.

²Croatian Geological Survey (Institute of Geology), Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

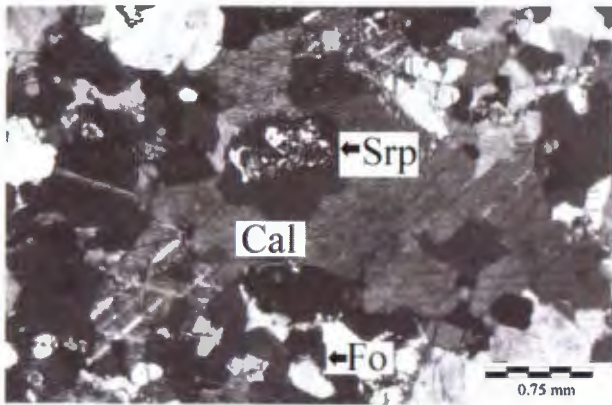


Fig. 1 Microphotograph in plane polarized light showing typical marble association, crossed polarizers (N+), Cal - calcite, Fo - forsterite, Srp - serpentine.

Sl. 1 Fotografija pokazuje tipičnu asocijaciju minerala u mramoru, polarizirano svjetlo, N+, Cal - kalcit, Fo - forsterit, Srp - serpentin.

If we apply model of tectonoevolution of amphibolite from Moslavačka Gora (BALEN, 1999), and combine that model (Fig. 3) with scarce textural evidence in marble, then we can roughly separate parageneses in following succession present in Table 2.

Modal volume of silicate mineral ("impurities") does not exceed 10 vol. percents. Chemical analysis of marble from Zorovac is given in Table 3 and according to that analysis protolith was impure limestone with silicate (clay?) minerals.

Z 10	100 cm	garnet - clinopyroxene - plagioclase - amphibole schist
Z 9	140 cm	marble Fo + Srp + Tlc + Cal + Dol + Tr + Chu + Spl + Chl + Di + Phl + Ap + Ilm + Amp + Grt + Brc + Py + Cm + Cum + Ttn + Pl + Czo + Scp + Mal
Z 8	10 cm	amphibolite

Acknowledgments

The authors are indebted to Josip CRNKO, Vesnica GARAŠIĆ and Vladimir BERMANEC.

3. REFERENCES

- BALEN, D. (1999): Metamorfne reakcije u amfibolskim stijenama Moslavačke gore.- Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 264 p.
- BARIĆ, Lj. (1956): Prethodna istraživanja kontaktolita u Moslavačkoj gori.- Ljetopis JAZU, 61, 304-308, Zagreb.
- BARIĆ, Lj. (1972): Kontaktnometamorfni mramori iz okolice Podgarica u Moslavačkoj gori, Hrvatska.- VII kong. geol. SFRJ, 85-86.
- BARIĆ, Lj., CRNKOVIĆ, B. & VRAGOVIĆ, M. (1970): Vodič mineraloško-petrografske ekurzije.- VII. kongr. geol. SFRJ, 1-27.
- CRNKO, J., BALEN, D., ŠIMUNIĆ, A. & BEDIĆ, M. (1998): Vodič geološke ekurzije na Moslavačku goru.- Edited by Ž. KRUŠLIN, Hrvatsko geološko društvo, 58+27 p.
- GARAŠIĆ, V. (1993): Uvjeti metamorfizma stijena amfibolitnog facijesa Moslavačke gore.- Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zagreb, 142 p.
- KRETZ, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals.- Am. Mineral., 68, 277-279.
- PAMIĆ, J. (1990): Alpinski granitoidi, migmatiti i metamorfiti Moslavačke gore i okolne podloge Panonskog bazena (Sjeverna Hrvatska, Jugoslavija).- Rad JAZU, 10, 7-121, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1998): Crystalline basement of the South Pannonian Basin based on surface and subsurface data.- Nafta, 49/12, 371-390, Zagreb.
- SPEAR, F.S. (1995): Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths.- In: RIBBE, P.H. (ed.), Min. Soc. of America Monograph, BookCrafters Inc., XXII+799 p.

Fig. 2 Segment of geological column from Zorovac Creek (BALEN, 1999).

Sl. 2 Dio geološkog stupa iz potoka Zorovac (BALEN, 1999).

TUĆAN, F. (1953): Nov prinos poznavanju kristalastih stijena Moslavačke gore.- Spom. M. Kišpatića, JAZU, 39-69, Zagreb.

TUĆAN, F. & BARIĆ, Lj. (1955): Petrografska istraživanja Moslavačke gore u 1953. godini.- Ljetopis JAZU, 60, 315-316, Zagreb.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M ₀	Cal	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+				
	Dol	+	+	+		+		+	+	+	+										
M ₁	Fo	+	+	+	+	+	+	+					+	+							
	Spl							+	+	+											
	Amp												+								
	Pl												+								
	Ilm																				+
	Phl													+							
M ₂	Chu			+					+												
	Di				+	+	+			+											
	Grt												+								
	Cum																+				
	Crn																	+			
	Ap																				
	Scp												+								
	Ttn												+								
M ₃	Chl							+	+	+					+						
	Tlc	+												+							
	Brc														+						
	Srp													+	+						
	Tr		+		+		+				+										
	Czo											+									
	Py																				+
	Mal																				+

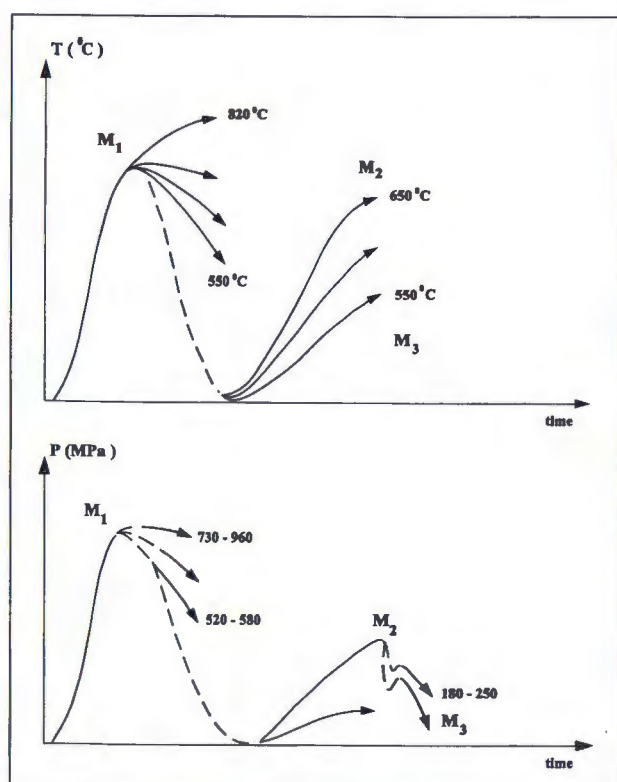
Table 1 Parageneses observed in marble assemblage in Zorovac creek (abbreviations after KRETZ, 1983 and SPEAR, 1995); M₀ - primary mineral association (indicating carbonate protolith), M_{1,2,3} - metamorphic events as in Fig. 3.

Tablica 1 Opažene parageneze u asocijaciji iz mramora potoka Zorovac (kratice iz KRETZ, 1983 i SPEAR, 1995); M₀ - primarna mineralna asocijacija (ukazuje na karbonatni protolit), M_{1,2,3} - metamorfni događaji kao na slici 3.

Succession of metamorphic events	Association	Parageneses
Protolith association	Cal + Dol + clay (?) minerals	
M ₁ Association (Barrovian type - regional metamorphic event)	Fo + Spl + Amp ± Pl ± (Phl) + (Ilm)	1-13, (14), (20)
M ₂ Association ("high temperature / low pressure" Abukuma type metamorphic event)	Chu + Di + Grt + Cal + Cum + Crn + Phl + Scp + Ttn + (Ap)	3-6, 8, 10, 11, 15, 16, 20
M ₃ Association (retrograde metamorphism)	Chl + Tlc + Brc + Srp + Tr + Czo + (Py) + (Mal)	1, 2, 4, 6-14, 17-19

Table 2 Succession of metamorphic events (abbreviations after KRETZ, 1983 and SPEAR, 1995).

Tablica 2 Slijed metamornih događaja (kratice iz KRETZ, 1983 i SPEAR, 1995).

Fig. 3 Model of evolution events for amphibolite in P-time and T-time planes (M_{1,2,3} - metamorphic events as in Table 2).Sl. 3 Model evolucijskih događaja za amfibolite u okvirima dijagrama P-vrijeme i T-vrijeme (M_{1,2,3} - metamorni događaji kao u tablici 2).

A		B	
SiO ₂	4.65	Nb	1.6
TiO ₂	0.00	Zr	6
Al ₂ O ₃	0.18	Y	2
Fe ₂ O ₃	0.02	Sr	200
FeO	0.14	U	< 4.3
MnO	0.01	Rb	< 0.9
MgO	6.97	Th	4
CaO	46.01	Pb	11
Na ₂ O	0.15	Ga	4
K ₂ O	-	Zn	19
P ₂ O ₅	0.11	Cu	13
H ₂ O-	0.17	Ni	2
LOI	41.59	Co	5
Total	100.00	Cr	< 1.3
		Ce	< 3.5
		Nd	< 1.6
		V	9
		La	< 28
		Ba	240
		Sc	7

Table 3 Chemical analysis (XRF method) of marble (sample Z9): a) major elements oxides recalculated to 100 %, b) trace elements.

Tablica 3 Kemijska analiza mramora (XRF metoda), uzorak Z9: a) oksidi preračunati na 100%, b) elementi u tragovima.



Geochemistry of Amphibolites from the Moslavačka Gora and Slavonian Mountains (Northern Croatia)

Geokemija amfibolita Moslavačke gore i slavonskih planina (sjeverna Hrvatska)

Dražen BALEN¹, Darko TIBLJAŠ¹, Mirko BELAK² & Josip CRNKO²

Key words: Amphibolites, Amphibole-bearing schists, Geochemical data, Crystalline basement, Geodynamic evolution, Pannonian Basin, Moslavačka Gora, Slavonian Mountains, South Tisia.

Ključne riječi: amfiboliti, amfibolski škriljavci, geokemijski podaci, kristalinska podloga, geodinamska evolucija, Panonski bazen, Moslavačka gora, slavonske planine, južna Tisija.

Abstract

Due to their geochemical features the amphibolite and amphibole-bearing schists could be important for the correlation with other rocks of crystalline basement of Pannonian Basin in general, and especially with those from the Tisia unit. Distribution of main constituents together with distribution of minor and trace elements, petrographic data (relict textures) as well as field features observed in rock-columns, revealed that protolith of amphibolite could not be uniquely determined. However we can clearly distinguish that in most cases protolith was basalt of tholeiite affinity. Fine scale interlayering could be the result of metamorphic differentiation but it can also be consequence of unhomogenous protolith, namely basalts and/or tuffs of basaltic composition alternating with other calcareous metasediments. The protolith might have been generated in different geotectonic environments, so more data are required to confirm model of amphibolite genesis especially the relationship between the P-T increments and the time scale.

Sažetak

Geokemijske značajke amfibolita i amfibolskih škriljavaca značajne su za korelaciju stijena kristalinske podloge Panonskog bazena odnosno izdanaka Tisije. Na temelju raspodjela makroelemenata, mikroelemenata i elemenata u tragovima, reliktnih struktura kao i odnosa na terenu protoliti ne mogu biti jednoznačno određeni. Ipak može se utvrditi da u velikom broju slučajeva protolit jest toleitni bazalt. Fino proslojavanje u nekim uzorcima iz Moslavačke gore i Pšunja osim na metamorfnu diferencijaciju ukazuje i na to da je protolit predstavljao izmjene bazalta i/ili tufova bazaltnog sastava s kalcijem bogatim metasedimentima. Protolit je mogao nastati u različitim geotektonskim sredinama te je potrebno prikupiti daleko više podataka da bi se potvrdio model geneze amfibolita, a posebice odrediti odnos između porasta P-T uvjeta i vremenske skale.

1. INTRODUCTION AND GEOLOGICAL SETTINGS

The aim of this report is to present the petrological and a new unpublished geochemical data for amphibolites and amphibole-bearing schists collected on 43 selected samples from Moslavačka Gora (24 samples), Pšunja (9 samples), Papuk (5 samples) and Krndija (5 samples) Mts. (Croatia) and to consider origin and geodynamic significance of these rocks.

Amphibolite and various amphibole-bearing schists within polymetamorphic amphibolite facies rock complex of Moslavačka Gora occur as large and small bod-

ies and lenses. Amphibolites and closely associated and intercalated different types of gneisses, mica-schists, cordierite schists, hornfels and marbles are anclaved in pre-Alpine andalusite/sillimanite bearing granitoids. The crystalline complex shows a fairly significant migmatization. Amphibole bearing schists containing zoned amphibole have layered structure ("sandwich") with three different mineral associations: garnet association in "centre" of rock (grossular - clinozoisite - clinopyroxene-plagioclase), surrounded by the clinopyroxene association (clinopyroxene - plagioclase - titanite) and embedded in the amphibole association (hornblende - plagioclase - clinopyroxene - ilmenite - quartz). The

¹Institute for Mineralogy and Petrology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: drbalen@public.srce.hr.

²Croatian Geological Survey (Institute of Geology), Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

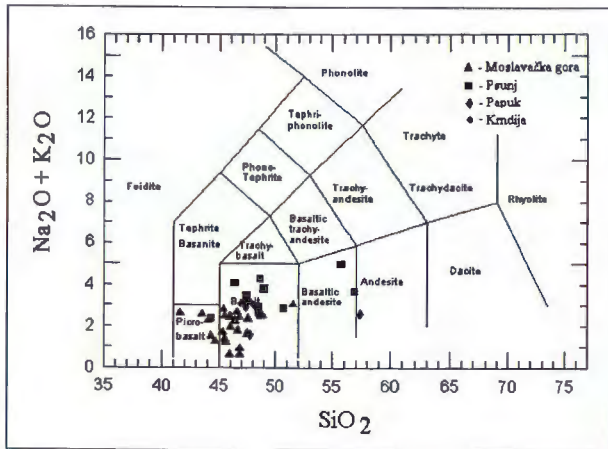


Fig. 1 TAS classification diagram after LE BAS et al. (1986).

Sl. 1 Klasifikacijski dijagram za efuzivne stijene prema LE BAS et al. (1986).

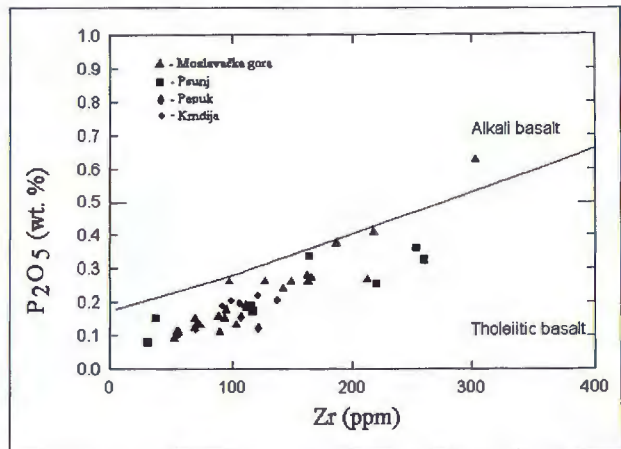


Fig. 2 Discrimination diagram for basalt P_2O_5 -Zr (FLOYD & WINCHESTER, 1975).

Sl. 2 Diskriminacijski dijagram za bazalte P_2O_5 -Zr (FLOYD & WINCHESTER, 1975).

chemical composition of amphibole which varies from paragenesis to paragenesis depends upon metamorphic conditions and chemical composition of protolith rock. Projections of amphibole chemical analyses are mainly in the field of Mg-hornblende and tschermakite, and also in field of pargasite and edenite. Changes in P-T conditions are recorded in the growth of amphibole grains (general prograde metamorphism) and changes in modal and chemical compositions of related parageneses (BALEN, 1999).

The occurrences of Slavonian Mts. amphibolites are in range from thin interlayers within paragneisses and mica schists to large bodies of few hundred meters. Amphibolites and different varieties of amphibole schists (based on mineral compositions) are nematogranoblastic to nematoblastic in texture, with parallel structure (foliation and lineation). They contain amphibole (magnesianhornblende, tschermakite, actinolite) and plagi-

clase (oligoclase to andesine) with subordinate biotite, quartz, garnet and epidote. As most common accessory minerals occurs titanite, zoisite and opaque minerals.

2. DISTRIBUTION OF MAJOR AND TRACE ELEMENTS

Major and trace elements distribution mainly indicates basaltic origin of protolith. Points on TAS classification diagram after LE BAS et al. (1986) - Fig. 1 shows that chemical composition of amphibolites correspond to basalt. For geotectonical settings of amphibolite precursors different discrimination diagrams were used (Table 1). Diagrams do not show uniform tectonic settings, but in most cases indicate that basalts originated from mantle melts characteristic for plate margins (Figs. 2-6).

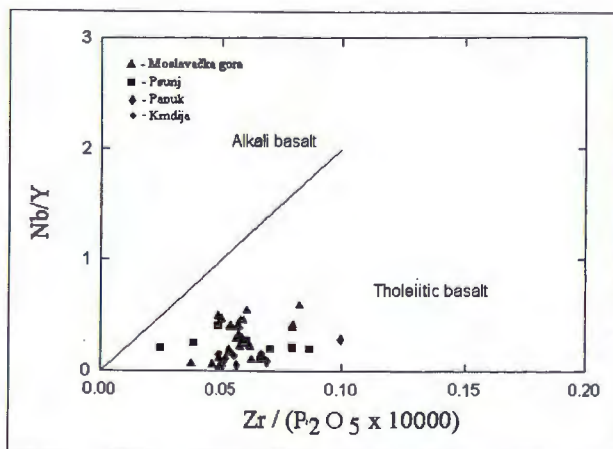


Fig. 3 Discrimination diagram for basalt Nb/Y-Zr/ P_2O_5 (FLOYD & WINCHESTER, 1975).

Sl. 3 Diskriminacijski dijagram za bazalte Nb/Y-Zr/ P_2O_5 (FLOYD & WINCHESTER, 1975).

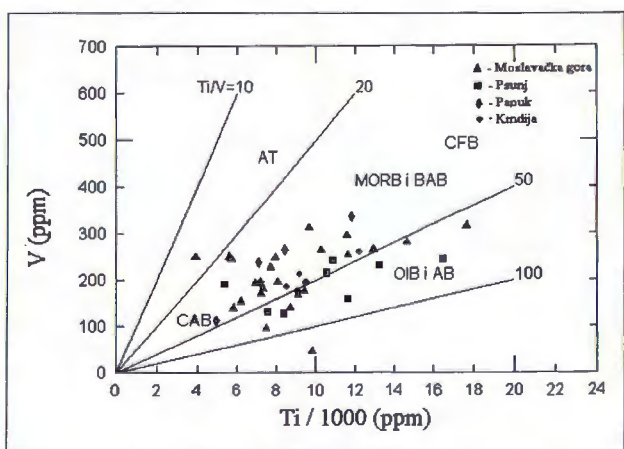


Fig. 4 Discrimination diagram for basalt Ti-V (SHERVAIS, 1982).

Sl. 4 Diskriminacijski dijagram za bazalte Ti-V (SHERVAIS, 1982).

Discrimination diagrams	Tectonic environments
Ti-Zr-Y (PEARCE & CANN, 1973)	ocean floor basalt
Ti-Zr (PEARCE & CANN, 1973)	MORB, IAT
Ti-Zr-Sr (PEARCE & CANN, 1973)	IAT, ocean floor basalt
Zr/Y-Zr (PEARCE & NORRY, 1979)	MORB, VAB
Zr/Y-Ti/Y (PEARCE & GALE, 1977)	plate margin basalt
Zr-Nb-Y (MESCHEDE, 1986)	N-MORB, E-MORB, VAB, WPT
Ti-V (SHERVAIS, 1982)	MORB, BAB
La-Y-Nb (CABANIS & LECOLLE, 1989)	E-MORB
Cr-Y (PEARCE, 1982)	MORB
Cr-Ce/Sr (PEARCE, 1982)	MORB
TiO ₂ -Y/Nb (FLOYD & WINCHESTER, 1975)	MORB
P ₂ O ₅ -Zr (FLOYD & WINCHESTER, 1975)	tholeiite basalt
TiO ₂ -Zr/P ₂ O ₅ (WINCHESTER & FLOYD, 1976)	tholeiite basalt
Nb/Y-Zr/P ₂ O ₅ (FLOYD & WINCHESTER, 1975)	tholeiite basalt
F ₁ -F ₂ -F ₃ (PEARCE, 1976)	MORB, WPB
TiO ₂ -K ₂ O-P ₂ O ₅ (PEARCE et al., 1975)	ocean floor basalt
MnO-TiO ₂ -P ₂ O ₅ (MULLEN, 1983)	MORB, IAT, OIT, OIA
"Spider" diagram normalized to MORB (PEARCE, 1983)	T-MORB

Table 1 Discrimination diagrams for basalt based on major and trace elements distribution.

Tablica 1 Diskriminacijski dijagrami za bazalte temeljeni na geokemijskim podacima.

Samples which project in CAB field are enriched in garnet (grossular) content. Distribution of fine scale interlayering in some of Moslavačka Gora and Psunj samples as well as distribution of Ni, Cr, Nd, Ba and V suggest that, in spite (or beside) of processes of metamorphic differentiation, protolith were basalts and/or tuffs of basaltic composition alternating with other calcareous metasediments.

The gross chemistry of the tholeiites approaches that for MORB, although the geological environment (gneiss, cordierite schists) suggest that the basaltic precursors were probably emplaced in basinal environment i.e. back-arc basin. The wider significance of the chemical interpretation implies that some of the variations that is ascribed to a complex or different eruptive settings (see Table 1) could be accounted for by variable contamination and/or source composition in back-arc basin environment. That explains a complex variety of relic oceanic crust, volcanic arc basement, back-arc crust or "ophiolitic remnants" (FLOYD et al., 1996).

3. GEODYNAMIC EVOLUTION

South of the western Carpathians, Variscan crystalline basement occurs beneath the Tertiary sediments of Pannonian Basin, forming the Tisia megaunit (FÜLÖP

et al., 1987; SZEDERKÉNYI et al., 1991). The Slavonian and Moslavačka Gora metamorphic complexes represents the southernmost part of Tisia, which is in tectonic contact with the surrounding northernmost Dinarides. Crystalline rocks of Tisia represents SE parts of the "Variscan Europe", so than evolution of south Tisia during the Variscan orogen must be in accordance with evolution of Variscan orogen (ZIEGLER, 1990). Due to their geochemical features the amphibole-bearing rocks could be important for the correlation with other rocks of crystalline basement of Pannonian Basin in general, and especially with those from the Tisia unit.

The amphibolites originated from a pre-Variscan (Silurian-Devonian?), not yet reliably identified magmatic-sedimentary complex, which might have been generated along the Proto-Tethyan active margin. This hypothetically magmatic-sedimentary complex might have been partly generated in an oceanic realm and partly in arc trench and than metamorphosed in a presumed subduction zone.

The main Variscan orogenic deformation was followed by strong metamorphic events which gave the Barrovian-type metamorphic sequences originating under P-T conditions from the greenschist to amphibolite facies and up to border of granulite facies. In the areas with increased geothermal gradients the processes

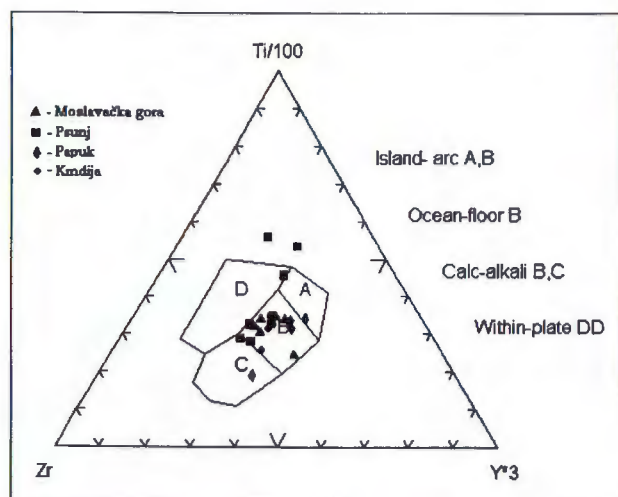


Fig. 5 Discrimination diagram for basalt Ti-Zr-Y (PEARCE & CANN, 1973).

Sl. 5 Diskriminacijski dijagram za bazalte Ti-Zr-Y (PEARCE & CANN, 1973).

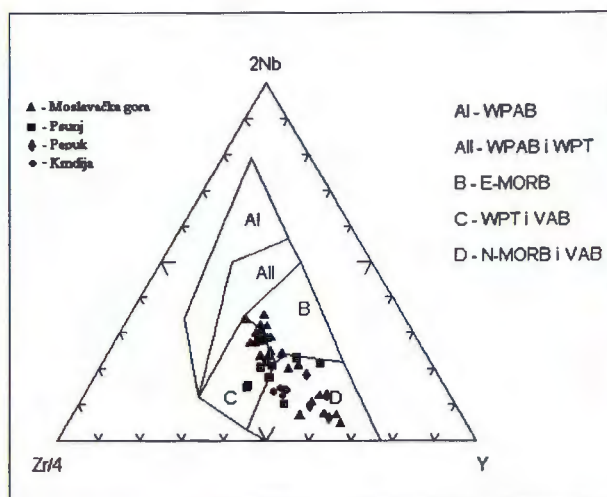


Fig. 6 Discrimination diagram for basalt Zr-Nb-Y (MESCHÉDE, 1986).

Sl. 6 Diskriminacijski dijagram za bazalte Zr-Nb-Y (MESCHÉDE, 1986).

of ultrametamorphism took place giving rise to partial melting and the generation of migmatites and later S-type granites (PAMIĆ, 1998).

The Tisia megaunit is regarded as a lithosphere fragment that was detached from the southern margin of Variscan Europe during the Jurassic (Bathonian) and that after a complex drifting and rotation, now occupies its present tectonic position (VÖRÖS, 1993; SZEDER-KÉNYI, 1996). According to CSONTOS et al. (1992), Tisia was accreted to Europe during the Alpine orogenic cycle and reached its present position during the Miocene Carpathian orogeny and subsidence of the Pannonian Basin.

The Moslavačka Gora crystalline complex unlike the Slavonian Variscan complex was subsequently affected, during final phases of the Alpine orogenic cycle (Late Cretaceous - Paleogene), by pervasive deformation under decreased pressure and increased geothermal gradients. The interpretation is consistent with apparent mutually concordant radiometric ages as well as with the thermodynamic calculations of metamorphic reactions (GARAŠIĆ, 1993; BALEN, 1999). Basic data about evolution of complex have been summarized elsewhere by PAMIĆ (1990, 1998) and details about geochemistry by MARCI & RAFFAELLI (1981), PAMIĆ & MARCI (1990) and PAMIĆ & LANPHERE (1991).

4. PROPOSED MODEL (SUCCESSION OF EVENTS)

The detail analysis of reactions in Moslavačka Gora samples and geothermobarometric evaluation of conditions during metamorphism in Moslavačka Gora and

Psunj samples, with aid of various calibrations and mineral sensors, imply two different types of metamorphism.

First stage metamorphic event (probably Variscan) is characterized by paragenesis metamorphosed with Barrovian geothermal gradient 18-28 (35) °C/km. Quantification of metamorphic conditions according to independent calibrations and intersections of reaction curves in P-T space is limited by upper part of amphibolite facies up to granulite facies. Numerical values of first event, depend on achieved stage of equilibrium and observed paragenesis, and are in temperature range from 550-820 °C and pressure range from 520-960 MPa. Retrograde effects are also connected with first phase of metamorphism but it is hard to distinguish these effects from later overprint.

For the second metamorphic event (probably Alpine) we calculated values typical for high temperature / low pressure metamorphism with geothermal gradients over 60 °C/km. Numerical values of second metamorphic event varies in temperature interval from 550-650 °C and pressure from 180-250 (400) MPa. Changes in chemical content in hornblende-plagioclase pairs point out that temperature increased and pressure decreased, but not simultaneously with second stage metamorphism. The P-T condition of second metamorphic event indicates low pressure type of metamorphism. These high geothermal gradient and low pressure significantly differ from first event. Suggested model of evolution for Moslavačka Gora that comprehend two types of metamorphism within the limits of amphibolite facies but with different pressure values (Barrovian and HTLP metamorphism) is shown in this volume article (BALEN, 2000; Fig. 8).

5. CONCLUSIONS

Amphibolites from the Moslavačka Gora and Slavonian Mts. can be correlated by their variation of trace elements and immobile major elements with basalts of tholeiitic compositions. Discrepancies in results are possibly due to ocean-floor hydrothermal metamorphism (affected mobile and "immobile" elements) which have taken place before main metamorphic events and processes.

Distribution of main constituents together with distribution of minor and trace elements, petrographic data (relict textures) as well as field features observed in rock-columns, suggest that protolith of amphibole-bearing rocks was basalt of tholeiitic affinity but we also must have in mind that some of samples may originally represent basalts and/or tuffs of basaltic composition alternating with other calcareous metasediments.

Acknowledgments

The present work form part of first author PhD grant (119307) and participates in grant 119304 both sponsored by the Ministry of Science and Technology of Republic of Croatia. The authors are indebted to Vera MARCI, Jakob PAMIĆ, Vladimir BERMANEC, and Nenad TOMAŠIĆ.

6. REFERENCES

- BALEN, D. (1999): *Metamorfne reakcije u amfibolskim stijevama Moslavačke gore.*- Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 264 p.
- BALEN, D. (2000): *Compositional zoning in minerals from metamorphic rocks of the South Tisia in Croatia.*- 2nd Croatian Geological Congress, Proceedings - this Vol.
- CABANIS, B. & LECOLLE, M. (1989): *Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou de contamination crustale.*- C.R. Acad. Sci. Ser. II, 309, 2023-2029.
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVATH, F. & KOVACS, M. (1992): *Tertiary evolution of the intra-Carpathian area: a model.*- *Tectonophysics*, 208, 221-241.
- FÜLÖP, J., BREZSNYANSKY, K. & HAAS, J. (1987): *New map of basin basement of Hungary.*- *Acta geol. Hungarica*, 30, 3-29.
- FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A. (1975): *Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements.*- *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 27, 211-218.
- FLOYD, P.A., WINCHESTER, J.A., CIESIELCZUK, J., LEWANDOWSKA, A., SZCZEPANSKI, J. & TURNIAK, K. (1996): *Geochemistry of early Palaeozoic amphibolites from the Orlica-Snieznik dome, Bohemian massif: petrogenesis and palaeotectonic aspects.*- *Geol Rundsch.*, 85, 225-238.
- GARAŠIĆ, V. (1993): *Uvjeti metamorfizma stijena amfibolitnog facijesa Moslavačke gore.*- Unpublished MSc Thesis, University of Zagreb, 143 p.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): *A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram.*- *J. Petrology*, 27, 745-750.
- MARCI, V. & RAFFAELLI, P. (1981): *Kemijske karakteristike amfibolitskih stijena sjeverozapadnog dijela Psunja. Razlikovanje orto i para varijeteta.*- *Geol. vjesnik*, 33, 133-143.
- MESCHEDÉ, M. (1986): *A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram.*- *Chem. Geol.*, 56, 207-218.
- MULLEN, E.D. (1983): *MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis.*- *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 62, 53-62.
- PAMIĆ, J. (1998): *Crystalline basement of the South Pannonian Basin based on surface and subsurface data.*- *Nafta*, 49/12, 371-390, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1990): *Alpinski granitoidi, migmatiti i metamorfiti Moslavačke gore i okolne podloge Panonskog bazena (Sjeverna Hrvatska, Jugoslavija).*- *Rad JAZU*, 10, 7-121.
- PAMIĆ, J. & LANPHERE, M. (1991): *Hercinske granitoidne i metamorfne stijene Papuka, Psunja, Krndije i okolne podloge Panonskog bazena u Slavoniji (sjeverna Hrvatska).*- *Geologija*, 34, 81-253.
- PAMIĆ, J. & MARCI, V. (1990): *Petrologija amfibolitskih stijena Slavonskih planina (sjeverna Hrvatska).*- *Geološki vjesnik*, 43, 121-133.
- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. (1973): *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses.*- *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 19, 290-300.
- PEARCE, J.A. & GALLE, G.H. (1977): *Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks.*- *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 7, 14-24.
- PEARCE, J.A. & NORRIS, M.J. (1979): *Petrogenetic implications of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks.*- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 33-47.
- PEARCE, J.A. (1976): *Statistical analysis of major element patterns in basalts.*- *J. Petrol.*, 17, 15-43.
- PEARCE, J.A. (1982): *Trace elements characteristics of lavas from destructive plate boundaries.*- In: *Andesites*. Wiley, Chichester, 525-548.
- PEARCE, J.A. (1983): *Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins.*- In: *Continental basalts and mantle xenoliths.* Shiva, Nantwich, 230-249.
- PEARCE, T.H., GORMAN, B.E. & BIRKETT, T.C. (1975): *The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts.*- *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 24, 419-426.
- SHERVAIS, J.W. (1982): *Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas.*- *Earth. Planet. Sci. Letters.*, 59, 101-118.
- SZEDERKÉNYI, T. (1996): *Metamorphic formations and their correlation in the Hungarian part of the Tisia megaunit (Tisia composite terranes).*- In: *KNEŽEVIĆ, V. & KRSTIĆ, B. (eds.): Terranes of Serbia.* Abstract, 9, Belgrade Univ., Belgrade.
- SZEDERKÉNYI, T., ÁRKAI, P. & LELKES-FELVÁRI, Gy. (1991): *Crystalline ground-floor of the Great Hungarian Plain and South Transdanubia, Hungary.*- *Serb. Acad. Sci., Acad. Conference*, 62, 261-273.
- ZIEGLER, P.A. (1990): *Geological atlas of Western and Central Europe.*- 2nd ed., Shell intern. Petrol. Maatsch. B.V., Den Haag, 239 p.
- VÖRÖS, A. (1993): *Jurassic microplate movements and brachiopod migrations in the western part of the Tethys.*- *Paleogeogr. Paleoclim. Paleocool.*, 100, 125-145.
- WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. (1976): *Geochemical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks.*- *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 28, 459-469.



Određivanje brzine sedimentacije u Plominskom zaljevu pomoću ^{137}Cs

Determination of Sedimentation Rate in the Plomin Bay Using ^{137}Cs

Delko BARIŠIĆ¹, Latinka JANJANIN² & Ranko CRMARIĆ³

Ključne riječi: brzina sedimentacije, Plominski zaljev, ^{137}Cs .

Key words: Key Words: Sedimentation rate, Plomin Bay, ^{137}Cs .

Sažetak

Plominski zaljev, oko četiri kilometra dugačak i uzak, smješten je u središnjem dijelu istočne obale Istre. Prirodni sedimentacijski procesi u zaljevu naprasno su izmijenjeni krajem 1932. godine prokopom tunela kojim su vode Boljunčice dovedene u Plominski zaljev. Brzina sedimentacije u zaljevu određena je na temelju mjerenja aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima marinskih sedimenata. Sedam različitih lokacija u zaljevu uzorkovano je tijekom 1998. i 1999. godine. Aktivnost ^{137}Cs je određena gama-spektrometrijskom metodom. Sedimenti koji su taloženi prije početka ranih šezdesetih su bez cezija, dok sedimenti taloženi u drugoj polovici 1986., isto tako kao i tijekom nekoliko slijedećih godina, pokazuju najveće koncentracije cezija. Brzina sedimentacije u zaljevu veoma je različita u pojedinim dijelovima. Tijekom posljednjih 40 godina na lokaciji 1 je istaloženo približno 4 do 5 centimetara sedimenata. Prosječna brzina sedimentacije od 25 centimetara godišnje, tijekom posljednjih 15 godina, dokumentirana je na lokaciji 3. U središnjem dijelu Plominskog zaljeva brzina je sedimentacije značajno manja.

Abstract

The Plomin Bay, about four kilometres long and narrow, is located in the central part of eastern coast of Istria. Natural sedimentation processes evolving in the bay were suddenly changed in late 1932, when a tunnel was driven to convey the waters of Boljunčica into Plomin Bay. The sedimentation rate in bay was determined on the base of ^{137}Cs activity measurement in the samples of marine sediment. Seven different locations in the bay were sampled during 1998 and 1999. Activity of ^{137}Cs was determined by gamma-spectrometry method. Sediments that are deposited before the beginning of early 60s are without caesium, while sediments deposited in second part of 1986, as well as during a few following years, show the highest caesium concentrations. The sedimentation rate in bay is very different in different parts. Approximately 4 to 5 cm of sediment was deposited during the last 40 years at location 1. Average sedimentation rate of 25 cm yearly, during the last 15 years, was documented at location 3. In the central part of the Plomin Bay sedimentation rate is significantly lower.

UVOD

Plominski zaljev (ili Uvala Plomin) je smješten u središnjem dijelu istočne obale Istre. Dugačak je (od rta Mašnjak do ušća Boljunčice) nešto preko 4 km i uzak. Samo na ulaznom dijelu širina zaljeva prelazi pola kilometra, a u završnom je dijelu i ispod 150 metara. Zaljev je izdužen smjerom sjeverozapad-jugoistok, uzdužni nagib prelazi 1° , a dno je uz sjeveroistočnu i jugozapadnu obalu u najvećem dijelu izrazito strmo položeno. Zaljev je formiran potapanjem dijela Plominske drage do kojeg je došlo usljed izdizanja razine mora u postpleistocenskom periodu.

Sedimentacijski procesi koji su se prirodno odvijali u zaljevu izmijenjeni su prokapanjem tunela i pražnje-

njem voda jezera iz Čepić polja krajem 1932. i početkom 1933. godine. Od tada se u zaljev, uz vode bujičnog potoka Bišca, ulijevaju i vode rijeke Boljunčice. Slivno područje koje se izravno drenira u Plominski zaljev obuhvaća površinu od oko 170 km^2 . Glavnina tog područja se drenira Boljunčicom (158 km^2), a preostali dio bujičnim tokom Bišca. Izvorne stijene obaju slivova uvelike su slične, a čine ih kredni vapnenci i dolomiti, paleocenski plitkomorski karbonati, srednje i gornjoeocenske fliške naslage, te, u manjoj mjeri, kvartarni klasiti. Od ljudskom aktivnošću izazvanih promjena u slivovima s mogućim utjecajem na sedimentacijske procese u zaljevu, uz prokop tunela 1932. potrebno je izdvojiti izgradnju brane Letaj (dovršena 1970.) na Boljunčici, funkcioniranje i širenje odlagališta TE Plomin, te

¹Institut "Ruđer Bošković", Zavod za istraživanje mora i okoliša, Laboratorij za radioekologiju, Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Županija Istarska, Upravni odjel za prostorno planiranje i zaštitu okoliša, Flanatička 29/2, HR-52100 Pula, Hrvatska.

³Hrvatski hidrografski institut, Zrinjsko-Frankopanska 161, HR-21000 Split, Hrvatska.

natkrivanje dijela bujičnog toka Bišca. Do novijih promjena u zaljevu dolazi tijekom 1998. i 1999. godine. U tom je periodu, zbog izgradnje pristaništa za istovar ugljena i trajektne luke, iz završnog dijela zaljeva izvađeno i translocirano oko 600.000 m³ sedimentnog materijala. Uzorkovanja u zaljevu obavljena su u nekoliko navrata također tijekom 1998. i 1999. Stoga se i dobiveni rezultati određivanja brzine sedimentacije u Plominskom zaljevu odnose na stanje do 1999., odnosno na stanje prije uklanjanja glavine recentnih sedimenata iz završnog dijela zaljeva.

UZORKOVANJE I METODE

Datiranje sedimenata (odnosno određivanje brzine sedimentacije) na temelju aktivnosti ¹³⁷Cs u sedimentima već je u više navrata rađeno u Hrvatskoj na marinskim sedimentima (JURAČIĆ et al., 1995; MIHELČIĆ et al., 1996), štoviše i u Plominskom zaljevu (BARIŠIĆ et al., 1999). Metoda se temelji na mjerenju aktivnosti ¹³⁷Cs u pojedinim segmentima sedimentnog stupca. Prisustvo umjetnog radionuklida ¹³⁷Cs u tlima i sedimentnim materijalima je rezultat kako nesreće koja se dogodila 1986. u Černobilu tako i atmosfereke depozicije kao posljedice nuklearnih proba u atmosferi počevši od ranih pedesetih godina. Za "predčernobilsku" depoziciju je karakteristična relativno homogena kontaminacija na velikim prostorima (BARIŠIĆ et al., 1991) obzirom na duljinu vremenskog perioda tijekom kojeg je ¹³⁷Cs taložen iz atmosfere. Do prve i veoma izražene globalne kontaminacije cezijem na sjevernoj hemisferi dolazi početkom šezdesetih (UNITED NATIONS, 1988). Stoga prvi tragovi prisustva ¹³⁷Cs u sedimentima upućuju na rane šezdesete godine kao najvjerojatnije vrijeme tijekom kojeg su ti sedimenti taloženi. U sedimentima taloženim krajem šezdesetih, tijekom sedamdesetih i do polovice osamdesetih (do nesreće u Černobilu), aktivnosti ¹³⁷Cs u pravilu lagano opadaju. U sedimentima koji su taloženi neposredno nakon nesreće u Černobilu i tijekom nekoliko slijedećih godina, aktivnost ¹³⁷Cs je uglavnom značajno (ponekad desetak pa i više puta) veća od aktivnosti u starijim sedimentima, odnosno do nekoliko puta veća od aktivnosti u par ili više godina mlađim sedimentima.

Uzorci recentnih marinskih sedimenata Plominskog zaljeva prikupljeni su u više navrata i sa više lokacija, a korištene su i različite metode prikupljanja uzoraka. Nesigurnost glede točnosti određivanja dubine sa koje su uzorci uzeti kreće se do par centimetara u plićim dijelovima u kojima je korištena jezgrena cijev, odnosno do desetak centimetara u dubljim dijelovima iz kojih je uzorke prikupljao ronilac. Prilikom uzorkovanja grabilicom bagera, a obzirom na različite dubine dna i činjenicu da je tijekom zahvata grabilice sediment djelimično deformiran, nesigurnost glede prave dubine uzimanja uzoraka kreće se do cca dvadesetak centimetara u plićim, odnosno do maksimalno pedesetak centimeta-

ra u najdubljim dijelovima profila. Grabilicom je prilikom svakog uzimanja uzet sediment debljine metra, a pojedini su uzorci uzimani iz djelomično otvorene grabilice (4 uzorka uzeta bočno iz grabilice; iz najdonje četvrtine, do polovice, do 3/4 i iz vršnog dijela). Uzorci su uzimani u pretežito neprekinutom sedimentnom slijedu, od površine dna do različitih dubina kako slijedi:

- **Lokacija 1:** uzorkovanje je obavljeno u lipnju 1999., a dno je na dubini od cca 80 cm. Uzorci su uzeti cca 15 m od jugozapadne obale zaljeva, na udaljenosti od cca 450 m od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 08 03; 14 10 75). Sedam uzoraka (od dna do 120 cm dubine) uzeto je pomoću jezgrene cijevi, a tri dublja uzorka uzeo je ronilac tijekom autonomnog ronjenja.
- **Lokacija 2:** uzorkovano je u lipnju 1999., a dno je na cca 100 cm dubine. Lokacija je udaljena cca 25 m od sjeveroistočne obale zaljeva i cca 750 m od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 07 96; 14 10 93). Pet uzoraka do 100 cm dubine uzeto je pomoću jezgrene cijevi, a šest dubljih uzoraka uzeo je ronilac tijekom autonomnog ronjenja.
- **Lokacija 3:** uzorkovano je u lipnju 1999., a dno je na cca 75 cm dubine. Lokacija je udaljena cca 25 m od jugozapadne obale zaljeva i cca 850 m od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 07 86; 14 10 99). Svi su uzorci uzeti pomoću grabilice bagera splitskog Pomgrada u neprekinutom slijedu.
- **Lokacija 4:** uzorkovano je u veljači 1998., a dno je na cca 8 m dubine. Lokacija je udaljena cca 35 m od jugozapadne obale zaljeva i cca 1.150 m od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 07 39; 14 11 21). Uzorci su uzeti pomoću grabilice bagera splitskog Pomgrada iz pojedinih dijelova profila.
- **Lokacija 5:** uzorkovano je u veljači 1999., a dno (s kojeg je prethodno uklonjen dio sedimenata) je na dubini od cca 17 m. Lokacija se nalazi približno na uzdužnoj osi zaljeva, cca 1.200 m udaljena od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 07 48; 14 11 23). Uzorkovano je udarnom sondom.
- **Lokacija 6:** uzorkovano je u veljači 1999., a dno je na dubini od cca 20 m. Lokacija se nalazi približno na uzdužnoj osi zaljeva, cca 1.350 m udaljena od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 07 42; 14 11 31). Uzorkovano je udarnom sondom.
- **Lokacija 7:** uzorkovano je u veljači 1999., a dno je na dubini od cca 22 m. Lokacija se nalazi približno na uzdužnoj osi zaljeva, cca 1.400 m udaljena od ušća Boljunčice (GPS pozicija: 45 07 40; 14 11 34). Uzorkovano je udarnom sondom.

Prikupljeni uzorci sušeni su na zraku, miješani i homogenizirani, do faze prosušenog praha u svrhu sprječavanja aglomeriranja mokrog mulja tijekom sušenja u sušioniku. Uslijedilo je sušenje u sušioniku na 106°C do konstantne težine. Zatim je sijanjem odvojena frakcija manja od 0,5 mm, te pohranjena u standardne mje-

Dubina Lokacija 1	^{137}Cs	Dubina Lokacija 2	^{137}Cs	Dubina Lokacija 3	^{137}Cs
0-17	3,3 ± 0,3	0-20	13,7 ± 0,6	0-25	10,0 ± 0,4
17-34	0,4 ± 0,2	20-40	11,4 ± 0,5	25-50	9,0 ± 0,5
34-51	i.g.d.	40-60	13,8 ± 0,5	50-75	10,7 ± 0,5
51-68	i.g.d.	60-80	4,6 ± 0,4	75-100	12,5 ± 0,5
68-85	i.g.d.	80-100	i.g.d.	100-125	11,1 ± 0,5
85-102	i.g.d.	100-125	i.g.d.	125-150	12,6 ± 0,5
102-120	i.g.d.	125-150	i.g.d.	150-175	11,3 ± 0,5
120-145	i.g.d.	150-175	i.g.d.	175-200	12,3 ± 0,5
145-170	i.g.d.	175-200	i.g.d.	200-225	10,4 ± 0,5
275-300	i.g.d.	200-225	0,4 ± 0,3	225-250	10,3 ± 0,5
		225-250	0,6 ± 0,2	250-275	29,9 ± 0,7
				275-300	32,8 ± 0,8

Tablica 1 Dubine segmenata vertikalnih profila (cm) i izmjerene aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u uzorcima prikupljenim na lokacijama 1-3; i.g.d.- ispod granice detekcije (< 0,2 Bq/kg).

Table 1 Vertical profiles compartments depth (cm) and measured activities of ^{137}Cs (Bq/kg) in samples collected at locations 1-3; i.g.d.- below detection limit (< 0.2 Bq/kg).

rne posude volumena 125 cm³, odvagana i hermetički zatvorena. Obzirom da su u uzorcima određivane aktivnosti i prirodnih radionuklida, uzorci su brojeni na višekanalnom gama-spektrometru tek 4 tjedna nakon pripreme (tj. nakon uspostave radiokemijske ravnoteže između ^{226}Ra i ^{222}Rn odnosno radonovih potomaka).

Uzorcima su mjereni (brojeni) po 80.000 sekundi, a aktivnosti ^{137}Cs su određivane iz foto-vrha na 661,6 keV-a. Intenzitet gama emisije i emitirana energija uzeta je prema ERDTMAN & SOYKA (1979). Kao granica detekcije uzeta je vrijednost sumarne pogreške koja proizlazi iz greške brzine brojenja, nepouzdanosti određivanja površine foto-vrha i nepouzdanosti određivanja udjela osnovnog zračenja u vremenskom intervalu brojenja. Brojenje je obavljeno na HPGe detektoru Canberra, model GC 2519-7935-7, rezolucije (FWHM) na 1,33 MeV-a (^{60}Co) od 1,76 keV-a, relativne efikasnosti na 1,33 MeV-a od 25,4% i omjera foto-vrha prema Comptonu na 1,33 MeV-a od 52,3:1. Ovaj je detektorski sustav smješten u niskošumnoj olovnoj zaštiti, kolekcija spektra obavljena je preko InSpector sustava, a spektri su obrađivani programom GENIE PC. Detektorski sus-

tav je umjeren standardima National Bureau of Standards (USA) i Amersham International (UK). Efikasnost mjerne geometrije redovito je provjeravana; preciznost i pouzdanost sustava kontrolirana je brojenjem standarda Međunarodne agencije za atomsku energiju (standardi potočnih sedimenta IAEA-313 i IAEA-314).

REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati mjerenja aktivnosti ^{137}Cs u promatranim segmentima vertikalnih profila recentnih marinskih sedimenta prikazani su u tablicama 1 i 2, zajedno sa vrijednostima grešaka mjerenja i dubinama sa kojih su uzorci uzeti. U dijelu uzoraka nije utvrđeno prisustvo ^{137}Cs , što znači da se radi o dijelovima sedimentnih profila koji su istaloženi najkasnije do početka šezdesetih godina. Tragovi ^{137}Cs na lokaciji 2, u dijelu profila na dubini između 200 i 250 cm, su posljedica pretaloživanja sedimentnog materijala do kojeg je došlo tijekom uklanjanja i premještanja mulja u ljetu 1999., a uzorci su uzeti sa zaravnjenog dijela dna s kojeg je prethodno dio sedimenta već bio uklonjen.

Dubina Lokacija 4	^{137}Cs	Dubina Lokacija 5	^{137}Cs	Dubina Lokacija 6	^{137}Cs	Dubina Lokacija 7	^{137}Cs
0-15	15,6 ± 0,6			0-30	10,3 ± 0,5	0-30	9,8 ± 0,4
60-75	15,8 ± 0,6	30-60	i.g.d.	30-60	18,5 ± 0,6	30-60	17,7 ± 0,6
120-135	31,8 ± 0,8	60-100	i.g.d.	60-100	15,5 ± 0,6	60-100	12,2 ± 0,5

Tablica 2 Dubine segmenata vertikalnih profila (cm) i izmjerene aktivnosti ^{137}Cs (Bq/kg) u uzorcima prikupljenim na lokacijama 4-7; i.g.d.- ispod granice detekcije (< 0,2 Bq/kg).

Table 2 Vertical profiles compartments depth (cm) and measured activities of ^{137}Cs (Bq/kg) in samples collected at locations 4-7; i.g.d.- below detection limit (< 0.2 Bq/kg).

Sedimenti uzorkovani na lokaciji 1 istaloženi su pretežito prije šezdesetih godina. Jedino sâm vršni dio promatranog profila sadrži manjim dijelom i sedimente mlađe od šezdesetih. Tragovi ^{137}Cs pronađeni u slijedećem dubljem segmentu profila posljedica su ili kontaminacije uzorka materijalom iz vršnog dijela tijekom uzimanja ili rezultat bioturbacije. Obzirom na dubinu od svega osamdesetak centimetara dno je u dosegu valne baze što, uz resuspenziju sedimenta morskim strujama i unatoč donosa velikih količina materijala, svodi sedimentaciju na najmanju moguću mjeru. Mala aktivnost ^{137}Cs od svega 3,3 Bq/kg upućuje na zaključak da je na ovoj lokaciji istaložen sediment debljine sigurno manje od 10 (vjerojatno samo 4 do 5) centimetara u posljednjih četrdesetak godina. S druge pak strane, za dublji je dio sedimentnog stupa na temelju radiometrijskih osobitosti utvrđeno je da je mlađi od 1933. godine (BARIŠIĆ, 2000). To znači da je u cca tridesetogodišnjem periodu prosječna brzina sedimentacije na ovoj lokaciji bila najmanje 10 cm godišnje, a u nekim djelovima unutar tog perioda i bitno viša.

Sedimentni materijal sa lokacije 2 gotovo je potpuno identičan onom sa lokacije 1, pogotovo u dijelu dubljem od 80 centimetara, tj. dijelu profila koji je sasvim sigurno istaložen do početka šezdesetih. Vršni dio (veoma vjerojatno samo do cca 65 cm) profila sadrži ^{137}Cs , što znači da je sediment istaložen u zadnjih četrdesetak godina. Na profilu se ne zamjećuje zona izrazito povišene aktivnosti ^{137}Cs , a koja bi odgovarala neposrednoj "postčernobilskoj" sedimentaciji. Naprotiv, izgleda da je vršnih cca 65 centimetara staro svega desetak ili čak koju godinu manje. Direktan kontakt "postčernobilskih" sedimenata sa sedimentima starijim od približno šezdesetih na dubini od cca 65 cm, (pri čemu "nedostaje" sediment taložen tijekom perioda od najmanje 25 do 30 godina) može se jedino objasniti pojavom klizanja i premještanja sedimenta u dublje dijelove sedimentacijskog prostora.

Za razliku od sedimenata s lokacija 1 i 2, sedimentni materijal uzet na lokaciji 3 je sasvim sigurno istaložen u posljednjih 12 do 13 godina, tj. nakon nesreće u Černobilu. To se može tvrditi na temelju aktivnosti ^{137}Cs , pri čemu se neposredna "postčernobilska" sedimentacija može uočiti na dubinama od 250 do 300 cm (eventualno i nešto malo dublje). To bi značilo da brzina sedimentacije na tom dijelu u prosjeku dostiže gotovo nevjerovatnih 25 cm godišnje. Sedimentacijski uvjeti u tom dijelu zaljeva mogli bi se usporediti s uvjetima tipičnim za pregibnu zonu progradacije podmorskog dijela delte.

Vertikalni profil na lokaciji 4 veoma je sličan profilu na lokaciji 3. Obzirom na jasno uočljivu zonu izrazito povišene aktivnosti ^{137}Cs u sedimentu taloženom u neposrednom "postčernobilskom" periodu, moguće je tvrditi da je promatrani dio profila sasvim sigurno istaložen u posljednjih 12 do 13 godina. Brzina sedimentacije na ovoj se lokaciji kreće u prosjeku oko 10 ili nešto malo više centimetara u posljednjih petnaestak godina. Na lokaciji 5 ^{137}Cs nije pronađen u analiziranim uzorcima,

što znači da su oni stariji od šezdesetih godina. Na temelju ostalih radiometrijskih osobitosti ovih uzoraka, utvrđeno je da su oni ipak mlađi od 1933. godine (BARIŠIĆ, 2000).

Aktivnosti ^{137}Cs u uzorcima sedimenata sa lokacija 6 i 7 gotovo da su identične u plićoj polovici profila. U dubljem dijelu, aktivnost ^{137}Cs nešto je veća u sedimentu sa lokacije 6 u odnosu na lokaciju 7. To upućuje na nešto veći udio "predčernobilskih" sedimenata odnosno na ipak nešto manju (ali ne i bitno) prosječnu brzinu sedimentacije na lokaciji 7. Zona neposredne "postčernobilske" sedimentacije na obje se lokacije nalazi na dubini od približno 50 do 70 cm, što znači da se prosječna brzina sedimentacije na ovim lokacijama kreće oko 5 cm godišnje u posljednjih petnaestak godina. Potrebno je ipak istaknuti da se obje lokacije nalaze na uzdužnoj osi zaljeva, a uzorci sedimenta dublje od metra nisu uzimani. Stoga se ne može isključiti mogućnost "ponavljanja sedimentnih paketa" u dubljim dijelovima profila, a što bi bila posljedica translociranja sedimenata usljed pojava podmorskih klizišta, pogotovo u bočnim i strmo položenim dijelovima rahlih, vodom zasićenih i nekonsolidiranih sedimenata. Shodno tome, prosječna brzina sedimentacije u ovoj bi zoni mogla biti i bitno veća.

ZAKLJUČAK

Sedimentacijski proces koji se zbivao u Plominskom zaljevu od 1933. do 1999. godine u znatnom je bio sličan procesu sedimentacije karakterističnom za prostore podmorskih dijelova delte. Pri tome se brzina sedimentacije, prostorno i vremenski, bitno mijenjala. U već veoma oplićalim dijelovima unutrašnjeg suženog dijela zaljeva brzina je sedimentacije bila mala, svega oko 4-5 centimetara u posljednjih četrdesetak godina na lokaciji 1. Međutim, debljina istaloženih sedimenata na toj je istoj lokaciji u periodu od 1933. do cca 1960. prelazi 3 metra. Na lokaciji 2 u posljednjih je desetak godina istaložen sediment debeo približno pola metra. U isto vrijeme u blizini mula za utovar boksita uz jugozapadnu obalu zaljeva brzina sedimentacije u prosjeku dostiže gotovo nevjerovatnih 25 cm godišnje. Na prostoru novoizgrađene luke za istovar ugljena sedimentacije je znatna, u posljednjih petnaestak godina u prosjeku je oko (ili čak premašuje) 10 cm godišnje. Uzduž središnje osi Plominskog zaljeva na udaljenosti od oko 1.400 metara od ušća Boljunčice, utvrđena brzina sedimentacije u zadnjih petnaestak godina je oko 5 cm godišnje, no nije isključeno da je i bitno veća.

Obzirom na strme bočne nagibe dna te veliku brzinu sedimentacije, u zaljevu su vjerojatne učestale pojave podmorskih klizišta u nekonsolidiranim, vodom prezasićenim glinovito-siltoznim sedimentima. Direktan kontakt postčernobilskih sedimenata (na lokaciji 2) sa sedimentima starijim od približno šezdesetih na dubini od cca 65 cm može se objasniti jedino pojavom klizišta.

Podmorskim klizištima recentni se sedimenti premještaju prema središnjoj osi zaljeva, tj. transverzalno. Obzirom da nagib dna uzduž središnje osi Plominskog zaljeva prelazi 1° i pojave klizišta, veoma je vjerojatno bilo i pojava longitudinalnog premještanja sedimenata.

LITERATURA

- BARIŠIĆ, D., LULIĆ, S. & VERTAČNIK, A. (1991): "Pred-Černobilski" ^{137}Cs na području Republike Hrvatske u tlu do dubine 262,5 mm.- Zbornik radova XVI Simp. JDZZ, 15-18, Neum.
- BARIŠIĆ, D., KNIEWALD, G., VERTAČNIK, A. & LULIĆ, S. (1999): Preliminarni rezultati radiometrijskih istraživanja recentnih sedimenata u Plominskom zaljevu.- 2. hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, 405-412, Dubrovnik.
- BARIŠIĆ, D. (2000): Radionuklidi u recentnim sedimentima Plominskog zaljeva.- Institut "Ruder Bošković", Zagreb, 31 str.
- ERDTMAN, G. & SOYKA, W. (1979): The gamma rays of the radionuclides.- Verlag Chemie, Weinheim- New York, 862 str.
- JURAČIĆ, M., SONDI, I., BARIŠIĆ, D., VDOVIĆ, N. & PRAVDIĆ, V. (1995): Sedimenti i sedimentacija u Mljetskim jezerima (Hrvatska).- U: Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta. Ekološke monografije, 6, 107-116, Pomena.
- MIHELČIĆ, G., ŠURIJA, B., JURAČIĆ, M., BARIŠIĆ, D. & BRANICA, M. (1996): History of the accumulation of trace metals in sediments of the saline Rogoznica Lake (Croatia).- Science of Total Environment, 182, 105-115.
- UNITED NATIONS (1988): Sources, effects and risk of ionizing radiation.- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, with annexes, United Nations, New York, 647 str.





Bazalt - glinovitovapnenački peperiti: litofacijsni i kronostratigrafski prinos poznavanju vulkanita Budima kod Voćina

Basalt - Clayey Limestone Peperites: Lithofacies and Chronostratigraphic Contribution to the Knowledge of the Volcanites of the Mt. Budim near Voćin

Mirko BELAK, Mirjana MIKNIĆ, Boris KRUK, Željko KASTMÜLLER & Ljiljana KRUK

Ključne riječi: bazalt - glinovitovapnenački peperit, planktonske foraminifere, donji baden, offshore, pasivni rifting, Budim, Dravska depresija, sjeverna Hrvatska, Panonski bazen.

Key words: Basalt-clayey limestone peperite, Planktic foraminifera, Early Badenian, Offshore, Passive rifting, Mt. Budim, Drava depression, North Croatia, Pannonian Basin.

Sažetak

U brdašcu Budim koje je smješteno između Bilogore i Papuka u području Dravske depresije Panonskog bazena određeni su bazalt - glinovitovapnenački peperiti. Na temelju planktonskih foraminifera datirana im je donjobadenska starost. Peperiti se paleogeografski i geotektonski mogu smjestiti duž normalnih rasjeda sin-riftne faze donjeg badena u području otvorenog šelfa (offshore), marinskog sedimentacijskog bazena nastalog procesima pasivnog riftinga, u dijelu bazena gdje je istanjanje litosfere bilo najznačajnije.

Abstract

On the Budim hill which is located between Mt. Bilogora and Mt. Papuk in the region of the Drava depression of the Pannonian basin the basalt-clayey limestone peperites are determined. On the basis of planktonic foraminifera these peperites belong to the Early Badenian. In the paleogeographical and geotectonic sense, these peperites can be placed along the normal faults of the syn-rift phase of the Early Badenian, in the open shelf (offshore) area of the marine sedimentary basin which is formed by the processes of the passive rifting in its part where the attenuation of the lithosphere was the most intensive.

1. UVOD

Vulkanske stijene na sjevernim padinama Papuka istraživane su već u drugoj polovici devetnaestog i periodično tijekom cijelog dvadesetog stoljeća. Petrografske su te stijene determinirane kao trahiti, bazalti, andeziti, rioliti i tufovi, a vulkanska aktivnost smještavana je u miocen (STUR, 1861; KIŠPATIĆ, 1887, 1916; KOCH, 1916; TAJDER, 1956, 1960; JAMIČIĆ et al., 1987). LUGOVIĆ (1983) na sjeverozapadnim padinama Papuka izdvaja olivinske bazalte, andezite, spilite i keratofire. Bazaltima i andezitima pretpostavlja neogensku starost, a spilite i keratofire stavlja u stariju vulkansku aktivnost. Vulkanite na sjevernoj strani Papuka PAMIĆ (1991) uvrštava u gornjokrednu bimodalnu vulkansku asocijaciju izgrađenu od bazalta i riolita.

No, vulkanske stijene pojavljuju se i sjevernije od Voćina u brdašcima Budim i Humić, između jugoistočnog podbrežja Bilogore i sjevernih padina Papuka.

Prve podatke o tim vulkanskim stijenama objavljuje MARKOVIĆ (1985). On konstatira da su sedimentne stijene (lapori i glinoviti vapnenci), kojima je na temelju mikrofosilne zajednice dokazana badenska starost, praćene sinsedimentacijskim probojima i submarinskim izljevima bazalta s karakterističnim "pillow" lavama. PAMIĆ (1987) detaljno petrografske opisuje dva manja kamenoloma na južnoj strani Budima. U južnijem kamenolomu izdvojio je četiri metarska paketa: paket masivnih bazalta, jastučastih bazalta, brečasto-jastučastih bazalta i slojevite bazalte sa sferoidalnim lučenjem prosljene vapnencima. U sjevernijem, manjem kamenolomu izdvojio je tri paketa masivnih, jastučastih i brečasto-jastučastih bazalta. Petrografske izdvaja mandulaste, porfimo-ofitske i hijalopilitske bazalte.

Cilj ovoga rada je interpretacija okolišnog i stratigrafskog smještaja vulkanskih stijena Budima. Istraživanja su provedena u okviru projekta izrade Karte mineralnih sirovina Republike Hrvatske.



Sl. 1 Lokacijska karta.
Fig. 1 Location map.



2. GEOLOŠKO - PETROGRAFSKI PRIKAZ

Terenski opis istraživanja

Bazaltne i sedimentne stijene badena izgrađuju brdašca Budim i Humić koji se nalaze oko 5 km sjeveroistočno od Voćina.

Tijekom 1998. godine napravljeno je terensko istraživanje bazalta u manjem kamenolomu (fronta oko 15-ak m). Kamenolom je smješten u zapadnoj strani brda Budim na desnoj strani jarka pružanja sjeveroistok-jugozapad, malo sjeveroistočno od sela Hum (sl. 1). Zbog miniranog terena detaljnije okolno geološko zapažanje nije bilo moguće.

U istraživanom kamenolomčiću terenski se zapažaju jastučaste lave sivozelene boje koje nepravilno uklapaju glinovite vapnence i lapore. Glinoviti vapnenci unutar bazalta pojavljuju se kao lećasta tijela metarske veličine, nepravilna "gnjezdasta" tijela decimetarske veličine, te kao matriks (u obliku nepravilnih žila centimetarske i subcentimetarske debljine) uglatih i nezaobljenih fragmenata bazalta (sl. 2). Kontakt sedimenta i efuziva je penetrirajući, iregularan i neuslojen. Već terenskim zapažanjem može se konstatirati da se radi o *bazalt-karbonatnim peperitima* u "pillow" lavama.

Mikrofiziografski opis sedimentata i paleontološka analiza

Lapori i glinoviti vapnenci peperita izgrađeni su od mikrosparitnog, sparitnog i mikritnog kalcita koji mogu biti raspoređeni u submilimetarskoj ritmičnoj izmjeni ili potpuno nepravilno (vjerojatno posljedica izotermalne alteracije usljed isparavanja prezagrijanog pomog fluida količina kojeg je zavisna o porozitetu, permeabilitetu

i strukturno-teksturnim karakteristikama sedimenta), a sam kontakt s efuzivom je neravan i tanko submilimetarski termalno alteriran. U kalcitnom međuprostoru je netransparentna glinovita substancia. Također, udio gline u sedimentu je neujednačen i ritmičan, što može indicirati da su dijelovi sedimenta bili paralelno laminirani. U glinovito-karbonatnoj osnovi nađeni su brojni mikrofosili, a najobilnije su planktonske foraminifere. Vrlo rijedak je terigeni detritus siltnih veličina zastupan zrnima kvarca i listićima tinjca. Sediment sadrži i nezaobljene čestice bazalta, izmijenjenog stakla, te nezaobljena zrna plagioklasa i opâkog minerala, što sedimentu mjestimično daje tufitični karakter.

U sedimentima peperita nađena je zajednica planktonskih foraminifera donjobadenske starosti. Od planktonskih vrsta određene su *Globigerinoides trilobus* (REUSS), *Globigerinoides bisphaericus* TODD, *Globigerina praebulloides* BLOW, *Globigerinella regularis* (d'ORBIGNY), *Globorotalia (Obandyella) bykovae* (AISENSTAT), *Praeorbulina?* sp., *Orbulina?* sp. U pojedinim uzorcima uz planktonske oblike pojavljuju se fragmenti plitkovodnih organizama (crvene alge, pločice i bodlje ježinaca) arenitskih dimenzija.

Lapori i glinoviti vapnenci taloženi su suspenzijom u mirnom okolišu. Obilje planktonskih foraminifera indicira da su lapori taloženi u području otvorenog mora (offshore), a biodetritus plitkog mora mogao je biti pretaložen katastrofalnim strujama (olujama) u dublje prostore. Takvu interpretaciju daju PAVELIĆ et al. (1998) za sličan badenski facijes na južnim obroncima Papuka. Vulkanske čestice u sedimentu mogu biti sinsedimentacijski piroklasti, ali je također vulkanski materijal mogao biti utisnut u sediment tijekom formiranja peperita.

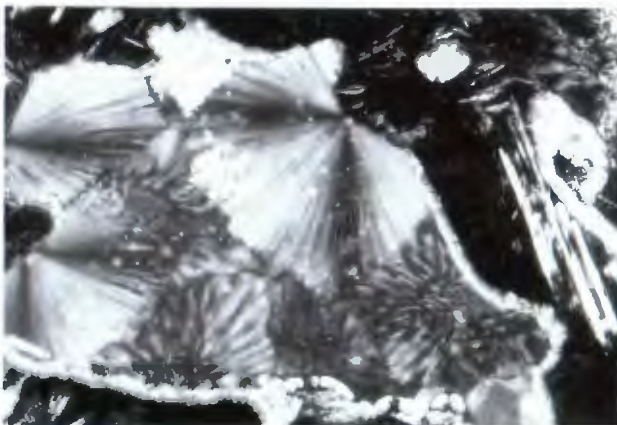


Sl. 2 Bazalt - glinovitovapnenački peperit (l=30 cm).
Fig. 2 Basalt-clayey limestone peperite (l=30cm).

Mikrofiziografski opis bazalta

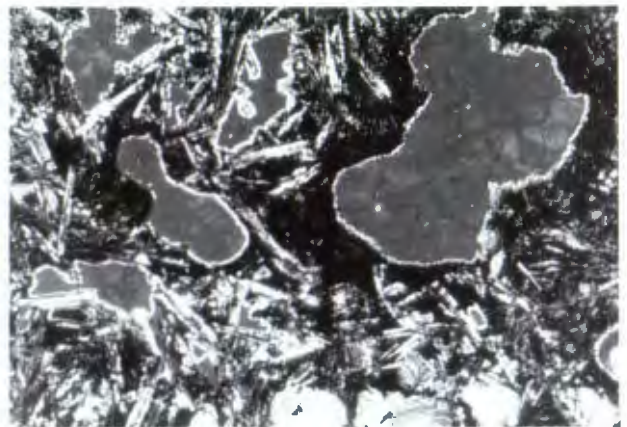
Bazaltne su stijene ujednačenog mineralnog sastava. Primarni magmatski minerali su plagioklas i klinopiroksen. Sekundarni sastojci su zeoliti, seladonit, klorit, kalcit i izmijenjeno vulkansko staklo (ferugozni palagonit). Akcesorni minerali su apatit i opâki mineral. Strukturno se izdvajaju sitnozrnati ofitni varijeteti s veličinom zrna do 0,5 mm, te srednjozrnati ofitni varijeteti s veličinom zrna oko 1 mm. Tekstura bazalta je mandulasta. U sitnozrnatim varijetetima mandule su obilnije, dok su u krupnozrnatijim manje prisutne. Sitnozrnate stijene ponekad pokazuju slabo izraženu porfimo-ofitnu strukturu (utrusak je plagioklas, a osnova je od mikrolita plagioklasa, fibroznog klinopiroksena i palagonita) i porfimo-hialopilitisku (utrusak je plagioklas, a u osnovi stijene dominira ferugozni palagonit).

Zrna plagioklasa su prizmatskog i sitno igličastog oblika. Sva zrna plagioklasa nehomogeno su izmijenjena (nije zapaženo niti jedno pogodno za optička mjerenja), albitizirani su, zeolitizirani (analcimitizirani?), te



Sl. 4 Mandula ispunjena radijalnim zeolitom i tankim rubom od finolističavog minerala. 80, N+.

Fig. 4 Vesicles filled with radial zeolites with a thin fine-grained mineral aggregate rim. 80x, N+.



Sl. 3 Sitnozrnati mandulasti bazalt izgrađen od izmijenjenog bazičnog plagioklasa i klinopiroksena u alteriranoj staklastoj osnovi. Mandule ispunjene izotropnim zeolitom i tankim rubom od finolističavog minerala. 80x, N+.

Fig. 3 Vesicular fine-grained basalt composed of altered basic plagioclase and pyroxene in an altered ground-mass of volcanic glass. Vesicles are filled with zeolite with a thin fine-grained mineral aggregate rim. 80x, N+.

po pukotinama kalavosti i rubovima seladonitizirani(?), s rijetkim reliktnim dijelovima sačuvanog bazičnog plagioklasa (odredba po indeksu loma). Zrna klinopiroksena su zamučena (gotovo netransparentna u prolaznoj svjetlosti), obično su fibroznog (češljastog) oblika, vrlo rijetko predstavljaju prizmatska zrna. Mandule (vezikule) su kružnog i nepravilnog oblika veličine su od 0,2 mm do 2,5 mm. U pravilu sve vezikule imaju vrlo tanki rub koji je izgrađen od finolističavog minerala (seladonita?), a unutrašnjost vezikula ispunjava najčešće zeolit - izotropni (analcim?) i radijalno trakasti zeolit (sl. 3 i 4), kalcit, seladonit (?) i klorit.

3. DISKUSIJA

Peperiti su stijene klastične strukture stvarane miješanjem koherentne lave ili magme s nekonsolidiranim mokrim sedimentom (FISCHER, 1960), a pojavljuju se duž kontakta magmatske intruzije i mokrog sedimenta (HANSON & SCHWIEKERT, 1982; HANSON & WILSON, 1993) i uzduž bazalnog kontakta lave toka u nekonsolidiranom mulju (SCHMINCKE, 1967; McPHIE et al., 1993). Dakle, donjobadenski bazalt-glinovito-vapnenački peperiti stvarani su submarinski u području dubokovodnijeg šelfa (*offshore*), a rezultat su interakcije izljevanih "jastučastih" bazaltnih lava i nekonsolidiranog glinovito-karbonatnog sedimenta. Porna voda u sedimentu imala je bitnu ulogu u nastajanju peperita, jer brzoisparavajući porni fluidi izazivaju ekspandirajuću eksploziju, gdje interakcijom magme i mokrog sedimenta slijedi dinamičko i turbulentno miješanje (McPHIE et al., 1993; CAS & WRIGHT, 1995). Vjerojatno prezagrijani fluidi konvekcijskim ili advekcijskim prenosom rezultirali su potpunom hidrotermalnom alteracijom budimskih bazalta.

PAMIĆ (1987) daje četiri kemijske analize za vulkanite Budima koje imaju bazalni kemijski sastav toleitnog karaktera, ali te kemijske analize nisu bile pogodno za diskriminacijske dijagrame određivanja geotektonskog položaja vulkanita.

U dva zadnja desetljeća predmet istraživanja mnogih geologa je geotektonska evolucija Panonskog bazena (Pannonian Basin System). U tim istraživanjima uglavnom dominiraju dva tektonska modela. Jedan od modela su bazeni evolucijski vezani za strik-slip rasjede duž kojih dolazi do formiranja pull-apart grabe (ROYDEN, 1985; JAMIČIĆ, 1995, i dr.), a drugi geotektonski model je formiranje bazena procesima kontinentalnog riftinga, na što ukazuju tektonska istraživanja CSONTOS (1995) i HORVÁTH (1995), te sedimentološke analize donjeg i srednjeg miocena sjeverne Hrvatske (PAVELIĆ, 1998).

U južnom rubu Panonskog bazena u području Dilj gore pojavljuju se badenski riolitni piroklastiti (BELAK et al., 1991), te isti badenski piroklastiti na Požeškoj gori (BELAK, neobjavljeno). Idući prema sjeveru vulkanska aktivnost je sve intenzivnija. Tako su na južnim obroncima Papuka i Krndije poznati brojni lokaliteti otnanških, karpatskih i badenskih neutralnih i kiselih tufova (MUTIĆ, 1981; ŠČAVNIČAR et al., 1983; JAMIČIĆ et al., 1987), a na južnim padinama Krndije također se nalaze i donjomiocenske (otnang, karpat) efuzivne stijene (trahandeziti/šošoniti) (PAMIĆ, 1991; PAMIĆ et al., 1992). Vulkaniti su na sjevernim padinama Papuka, te u Dravskoj depresiji gdje je vulkanska aktivnost za vrijeme badena bila i najintenzivnija (PAMIĆ et al., 1995).

Po mnogim autorima vulkanizam (također toleitnog karaktera) je moguć i u pull-apart i riftnim bazenima. No, iz prethodnog odjeljka je vidljivo da se idući od južnog ruba Panonskog bazena područja sjeverne Hrvatske vulkanska aktivnost povećava prema sjeveru. Ovakav zonalni i asimetrični raspored intenziteta vulkanske aktivnosti u skladu je sa sedimentološkim analizama facijesa tog područja koje je obavio PAVELIĆ (1998), koji na temelju paleotransporta (generalno tečenje prema sjeveru), neujednačenog spuštanja bazena i njegove asimetrične građe, te generalnog spuštanja bazena prema sjeveru, sugerira riftni model evolucije Panonskog bazena sjeverne Hrvatske.

Toleitni bazalti Budima smješteni su u području Dravske depresije Panonskog bazena gdje je za vrijeme badena vulkanska aktivnost bila najintenzivnija. Iznese ni zonalni i asimetrični raspored intenziteta vulkanske aktivnosti sugerira predbadenski i badenski razvoj Panonskog bazena procesima pasivnog riftinga (pasivni rifting po definiciji MORGAN & BAKER, 1983 i RAMBERGER & MORGAN, 1984, pregledno u OLSEN, 1995). Dakle, toleitni bazalti Budima geotektonski i paleogeografski se mogu smjestiti uz normalne rasjede sin-riftne faze donjeg badena u submarinskom okolišu otvorenog mora (offshore) bazena nastalog procesima pasivnog riftinga i to u dijelu bazena gdje je istanjivanje

litosfere bilo najsnažnije. Također, WHITE & MCKENZIE (1989) sugeriraju da izdizanjem gornjeg plašta, te rastezanjem i istanjivanjem litosfere tijekom sin-riftne faze u evolucijskom modelu pasivnog riftinga mogu nastati i izljevnici bazalti.

4. LITERATURA

- BELAK, M., SARKOTIĆ ŠLAT, M. & PAVELIĆ, D. (1991): An occurrence of Badenian rhyolitic volcanoclastic rocks from middle parts of Mt. Dilj (eastern Croatia).- *Geol. vjesnik*, 44, 151-156.
- CAS, R.A.A. & WRIGHT, J.V. (1995): *Volcanic Successions*.- Chapman & Hall, London, 528 str.
- CSONTOS, L. (1995): Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review.- *Acta Vulcanologica*, 7, 1-13.
- FISHER, R.V. (1960): Classification of volcanic breccias.- *Geol. Soc. Am. Bull.*, 71, 973-982.
- HANSON, R.E. & SCHWEICKERT, R.A. (1982): Chilling and brecciation of a Devonian rhyolitic sill intruded into wet sediments, northern Sierra Nevada, California.- *J. Geol.*, 90, 717-724.
- HANSON, R.E. & WILSON, T.J. (1993): Large-scale rhyolite peperites (Jurassic, Southern Chile).- *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 54, 247-264.
- HORVÁTH, F. (1995): Phases of compression during the evolution of the Pannonian Basin and its bearing on hydrocarbon exploration.- *Mar. Petrol. Geol.*, 12, 837-844.
- JAMIČIĆ, D. (1995): The role of sinistral strike-slip faults in the formation of the structural fabric of the Slavonian Mts. (Eastern Croatia).- *Geol. Croatica*, 48, 155-160.
- JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J. & VRAGOVIĆ, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Orahovica.- *Geol. zavod, Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd*, 72 str.
- KIŠPATIĆ, M. (1887): Voćinski augitni andezit (trahit).- *Rad JAZU*, 83/8, 179-185, Zagreb.
- KIŠPATIĆ, M. (1916): Augitandezit (Trachyt) von Voćin.- *Izvjestaj JAZU*, 8, 311-312, Zagreb.
- KOCH, F. (1916): Grundlinien der Geologie von West-Slavonien.- *Glas. Hrv. priir. društva*, 31/2, 217-236, Zagreb.
- LUGOVIĆ, B. (1983): Efuzivne stijene sjeverozapadnog dijela Papuka.- *Geol. vjesnik*, 36, 131-156.
- MARKOVIĆ, S. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Podravska Slatina.- *Geol. zavod Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd*, 43 str.
- MCPHIE, J., DOYLE, M. & ALLEN, R. (1993): *Volcanic textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks*.- Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, 199 str.
- MORGAN, P. & BAKER, B.H. (1983): Processes of continental rifting.- *Tectonophysics, Special Issue*, 94, 680 str.
- MUTIĆ, R. (1981): Akcesorni cirkon iz srednjomiocenskih tufnih naslaga središnje Hrvatske i zapadne Slavonije.- *Geol. vjesnik*, 34, 71-83.
- OLSEN, K.H. (1995): Continental Rifts: Evolution, Structure, Tectonics.- *Int. Lithos. Prog. Publication*, 264, Elsevier, Amsterdam, 466 str.
- PAMIĆ, J. (1987): Miocenski bazalti Budima na sjevernim obroncima Papuka, južno od Podravske Slatine u Slavoniji.- *Rad JAZU*, 431, 53-67.
- PAMIĆ, J. (1991): Gornjokredne bazaltoidne i piroklastične stijene iz voćinske vulkanske mase na Papuku (Slavonija, sjev. Hrvatska).- *Geol.vjesnik*, 44, 161-172.

- PAMIĆ, J., BELAK, M. & SLOVENEK, D. (1992): Donjomiocenski trahiandeziti (šošoniti) Krndije u Slavoniji (sjeverna Hrvatska).- Rad Hrvat. akad. znan. umjet., 26, 27-47, Zagreb.
- PAMIĆ, J., MCKEE, E.H., BULLEN, T. & LANPHERE, M.A. (1995): Tertiary volcanic formations from Southern Pannonian basin, Croatia.- *Int. Geol. Rev.*, 37, 259-283.
- PAVELIĆ, D. (1998): Taložna evolucija slatkovodnog donjeg i srednjeg miocena sjeverne Hrvatske na temelju analize facijesa.- *Disertacija, Sveučilište u Zagrebu*, 149 str.
- PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M. & SARKOTIĆ ŠLAT, M. (1998): Early to Middle Miocene facies succession in lacustrine and marine environments on the southern margin of the Pannonian basin system (Croatia).- *Geol. Carpathica*, 49/6, 433-443.
- RAMBERGER, I.B. & MORGAN, P. (1984): Physical characteristics and evolutionary trends of continental rifts.- *Proceedings of the 27th Internat. Geol. Congress*, 7, 165-216.
- ROYDEN, L.H. (1985): The Vienna basin: a thin-skinned pull-apart basin.- U: BIDDLE, K. & CHRISTIE-BLICK, K. (ur.): *Strike-slip Deformation. SEPM Spec. Publs.*, 37, 319-338.
- SCHMINCKE, H-U. (1967): Fused tuff and peperites in south central Washington.- *Geol. Soc. Am. Bull.*, 78, 319-330.
- STUR, D. (1861): Die neogen-tertiäre Ablagerungen von West-Slavonien.- *Jb. Geol. Reichsan.*, 12, 285-299, Wien.
- ŠČAVNIČAR, S., KRKALO, E., ŠČAVNIČAR, B., HALLE, R. & TIBLJAŠ, D. (1983): Naslage s analcimom u Poljanskoj.- *Rad Jugosl. Akad. Znan. umjetn.*, 404, 137-169, Zagreb.
- TAJDER, M. (1956): Albitski efuzivi okolice Voćina i njegova gena.- *Acta geologica*, 1, 35-48, Zagreb.
- TAJDER, M. (1960): Anortoklasni egirinski riolit iz potoka Rupnice kod Voćina.- *Acta geologica*, 2, 95-102, Zagreb.
- WHITE, R. & MCKENZIE, D. (1989): Magmatism at rift zones: the generation of volcanic continental margins and flood basalts.- *J. Geophys. Res.*, 94, 7685-7729.





Sedimenti u podmorju Kvarnera

The Sediments in the Submarine Zone of the Kvarner Area

Čedomir BENAC¹, Mladen JURACIĆ¹ & Ranko CRMARIĆ³

Ključne riječi: pleistocen, holocen, morska razina, morsko dno, Kvarner, Jadransko more.

Key words: Pleistocene, Holocene, Sealevel, Seabottom, Kvarner, Adriatic Sea.

Sažetak

U radu je prikazana karta sedimenata morskog dna u području Kvarnera (kanalsko područje sjevernog Jadrana). Izvorna karta napravljena je mjerilu 1:250.000. Sedimenti su klasificirani prema standardno prihvaćenoj klasifikaciji u marinskoj geološkoj kartografiji. U najvećem dijelu podmorja Kvarnera prevladavaju pjeskoviti muljevi (sM), u kojima se povremeno nalaze zone šljunkovitih muljeva (gM). Mulj (M) se nalazi u Riječkom zaljevu, sjevernom dijelu Kvarnera, Kvarneriću i Vinodolskom i Velebitskom kanalu. Pretežno pjeskoviti sedimenti odnosno muljeviti pijesci (mS) nalaze se zapadno od Cresa i Lošinja, jugozapadno od Raba, te u Paškom i Velebitskom kanalu. Sitnozrnati mulj je recentnog postanka. Izvori sitnozrnatih čestica su stalni i povremeni vodotoci, izravno spiranje naslaga a vjerojatno i vrulje uz obalu. Šira područja kamenog dna, kao i onog pokrivenog šljunkom i grubim pijeskom nalaze se na morskom dnu u doseg erozijskog djelovanja valova. Krupnozrnati sedimenti mogu biti litogenog i/ili biogenog podrijetla. Zbog vrlo nagle gornjovirmsko-holocenske transgresije, kada je morska razina podignuta više od 100 m, rezidualne pjeskovite sedimente nalazimo i ispod današnje valne baze. Zato je raspored sedimenata u području Kvarnera samo djelomično u skladu s današnjim hidrodinamičkim prilikama.

Abstract

The map of seabottom sediments in the Kvarner area (channel part of the Northern Adriatic Sea), is presented in this paper. Original map was made in scale 1:250.000. The sediments were classified according to standard classification in marine geologic cartography. On the larger part of the Kvarner area at the bottom sandy muds prevail (sM) with subordinate presence of gravelly mud (gM). Mud (M) is found at the bottom in the Rijeka Bay, northern part of the Kvarner Bay, in Kvarnerić, and in Vinodol and Velebit Channels. Prevalently sandy sediments, i.e. muddy sands (mS) are found west of the Cres-Lošinj archipelago towards the open part of the Adriatic Sea, southwest of the Rab Island, in Pag Channel and Velebit Channel. The fine grained particles have recent origin. Sources of these particles are local permanent and temporary streams and direct input from the weathering processes, along with the input by submarine springs (vrulje) near the coast. The large areas of the rocky bottom not covered with sediments, or covered with gravelly and sandy sediments are found above the wave base. Coarse grained particles are of terrigenous and/or biogenic origin. Due to the very rapid Late Würmian-Holocene transgression, during which the sealevel has been raised for more than hundred metres, residual sandy sediments are found also below the recent wave base. Therefore the sediment pattern found in the Kvarner area is only partly in accordance with modern hydrodynamic conditions.

UVOD

Marinska geološka kartografija u svijetu intenzivno se razvija od 1962. godine kada je u Velikoj Britaniji započelo sustavno kartiranje podmorja. Do sada je kartama u mjerilu 1:250.000 obuhvaćen cijeli epikontinentski pojas Velike Britanije. Za svako područje izrađene su barem tri vrste karata: karta površinskih sedi-

menata i holocena, karta kvartara i karta "tvrde geologije" odnosno geologije pretkvartara. U području Jadranskog mora sedimenti se intenzivnije istražuju od šezdesetih godina (BRAMBATI & VENZO, 1967; PIGORINI, 1968; VAN STRAATEN, 1970). Primjer karte sedimenata s kojom se može usporediti karta sedimenata Kvarnera, napravljena je za sjeverozapadni dio Jadranskog mora, također u mjerilu 1:250.000 (BRAMBATI et al., 1983, 1988).

¹ Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, V. Cara-Emina 5, HR-51000 Rijeka i Institut građevinarstva Hrvatske PC Rijeka, Vukovarska 10a, HR-51000 Rijeka, Hrvatska.

² Geološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³ Hrvatski hidrografski institut, Zrinsko-Frankopanska 161, HR-21000 Split, Hrvatska.

Kvarner (*sensu lato*) je dio Jadranskog mora smješten između Istre i vinodolsko-velebitske obale. Otočkim nizovima Cres - Lošinj i Krk - Rab - Pag podijeljen je na Riječki zaljev, Kvarner (*sensu stricto*), Kvarnerić i Vinodolski i Velebitski kanal.

Prvi detaljan opis sedimenata i kartu s prikazom sedimenata podmorja Kvarnera dao je LORENZ (1863). Od šezdesetih godina do danas sedimenti područja cijelog Kvarnera ili pojedinih akvatorija prikazani su u nekoliko radova (ALFIREVIĆ, 1964; ŠKRIVANIĆ & MAGDALENIĆ, 1979; JURAČIĆ & PRAVDIĆ, 1981; JURAČIĆ et al., 1998). Kvarner je obuhvaćen i generalnom kartom sedimenata Jadranskog mora mjerila 1:1.000.000 (HIJRM, 1985). Međutim, prvu cjelovitu obradu sedimenata kvarnerskog podmorja, na temelju dosadašnjih objavljenih i neobjavljenih podataka, napravili su JURAČIĆ et al. (1999).

U ovom radu prikazana je geološka karta morskog dna, odnosno raspored tipova površinskih sedimenata u podmorju Kvarnera (*sensu lato*). Današnji raspored sedimenata može ukazati na sedimentološke procese koji su ih prouzročili, a povezani su s geološkom i geomorfološkom evolucijom kvarnerskog područja. Izvorna karta mjerila 1:250.000 bit će prikazana na 2. hrvatskom geološkom kongresu. Ta karta je napravljena na temelju sakupljanja i evaluacije postojećih objavljenih i neobjavljenih podataka o površinskim sedimentima podmorja. Postojeći su podaci nadopunjeni izravnim opažanjima autora. Poticaj za izradu te karte bila je sistematizacija dosadašnjih podataka o rasporedu sedimenata i geološkoj građi morskog dna koja je učinjena za potrebe izrade Prostornog plana Primorsko-goranske županije. Podaci prikazani na karti mogu biti korisni za ribarstvo, za razumijevanje ponašanja zagađivala koja ulaze u akvatorij kao i za geotehnička istraživanja u tom području.

RASPORED SEDIMENATA U PODMORJU KVARNERA

U podmorju Kvarnera nalazimo četiri osnovna tipa dna: kamenito dno, šljunak i kršje, pjeskovite sedimente, te muljevite sedimente. Klasifikacija sedimenata slijedi međunarodno prihvaćenu klasifikaciju za površinske morske sedimente (FOLK, 1954) u kojoj se uspoređuju postoci šljunka i kršja (>2 mm), te odnos pijeska (2-0,063 mm) prema mulju (silt+glina <0,063 mm).

Na karti mjerila 1:250.000 moguće je razlučiti slijedeće tipove podloge u podmorju: kamen, šljunak i valutice (G), pjeskoviti šljunak (sG), šljunkoviti pijesak (gS), pijesak (S), glinovito-muljeviti pijesak (gmS), muljeviti pijesak (mS), šljunkoviti mulj (gM), pjeskoviti mulj (sM) i mulj (M). Međutim, na priloženoj karti mjerila 1:500.000 (sl. 1) grafički je bilo moguće izdvojiti manji broj tipova morskoga dna: kamen, šljunak i valutice, pjeskoviti šljunak (G, sG), šljunkoviti pijesak i

pijesak (gS, S), šjunktovito-muljeviti pijesak (gmS), muljeviti pijesak (mS), šljunkoviti mulj (gM), pjeskoviti mulj (sM) i mulj (M).

U većem dijelu kvarnerskog podmorja prevladavaju muljevito-pjeskoviti sedimenti. Čisti muljevi (M) nalaze se u Riječkom zaljevu, sjevernom dijelu Kvarnera, Kvarneriću i Vinodolsko-velebitskom kanalu. U najvećem dijelu podmorja prevladavaju pjeskoviti muljevi (sM), u kojima se mjestimice nalaze zone šljunkovitih muljeva (gM). Pretežito pjeskoviti sedimenti, odnosno muljeviti pijesci (mS) nalaze se u jugozapadnom dijelu kvarnerskog podmorja prema otvorenom dijelu Jadrana i jugozapadno od Raba. Manje zone pjeskovitih sedimenata (gmS) nalaze se uz istočnu obalu otoka Cresa, između vrha otoka Paga te hridi Laganj i Dolfin, kao i istočno od otoka Ilovika. Manje zone čistih (S) do šljunkovitih pijesaka (gS) nalaze se kod Baške i Stare Baške na južnom dijelu otoka Krka te oko otoka Raba.

Šira područja kamenog (hridinastog) dna, kao i onog pokrivenog šljunkom (sG) nalaze se u plićim dijelovima iznad valne baze, tj. u području izloženom erozijskom djelovanju valova. Osim toga, takav tip podmorja nalazimo i na većim dubinama gdje su struje vjerojatno iznimno jake. To su južni dio Unijskog kanala, tjesnac Krušija između otoka Cresa i Plavnika, kao i Tihi kanal koji spaja Riječki zaljev s Vinodolskim kanalom.

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Sadašnji raspored sedimenata u podmorju Kvarnera posljedica je više morfogenetskih etapa nastalih zbog promjena morske razine tijekom gornjeg pleistocena. Oscilacije morske razine prouzročene klimatskim globalnim promjenama bile su vrlo izražene od vrhunca ris-virmskog interglacijala do danas (CHAPPEL & SHACKLETON, 1986). Takova zbivanja presudno su utjecala na slijed sedimentacije u podmorju Kvarnera (JURAČIĆ et al., 1999). U razdobljima niže morske razine tijekom virmskog glacijala reducirane su, pa čak povremeno i prekinute veze između Riječkog zaljeva, Kvarnerića te Vinodolskog i Velebitskog kanala s otvorenim dijelom Jadranskog mora. Uzvišenja Cresko-Lošinjskog otočja bila su morfološka brana koja je odvajala sedimentacijski bazen jadranskog šelfa od relativno izoliranih akvatorija Kvarnera (BENAC & JURAČIĆ, 1999). Zato su sedimenti dna zapadno od Cresa i Lošinja pretežno pjeskoviti i pripadaju padanskoj petrografskoj provinciji, a oni istočno više prašinsti i pripadaju kvarnerskoj petrografskoj provinciji (ŠKRIVANIĆ & MAGDALENIĆ, 1979). U razdobljima niže morske razine grubozrnati terigeni sedimenti taloženi su u dijelovima podmorja Kvarnera gdje to današnje hidrodinamičke prilike ne dopuštaju. Veće zone čistih (S) do šljunkovitih pijesaka (gS) nalaze se oko lokalnih izvora terigenog materijala: južni dio otoka Krka, zapadni i sjeverozapadni dio otoka Raba, otok Susak kao i uz ušća Rječine i Dubračine (sl. 1).

morske struje ponegdje i na većim dubinama sprečavaju taloženje sitnih čestica. Sitnozmati muljeviti materijal kojeg nalazimo u dubljim dijelovima Riječkog zaljeva, Kvarnerića i Vinodolskog kanala, gdje su strujanja slabija, recentnog je postanka. Izvori sitnozmatih čestica su stalni i povremeni vodotoci, izravno spiranje naslaga a vjerojatno i vrulje uz obalu. Dio grubozmatih čestica koje nalazimo u muljevima vjerojatno je biogenog postanka. Nasuprot tomu, grubozmati pjeskoviti sedimenti koje nalazimo ispod valne baze kao i grubozmate pjeskovite frakcije u miješanim muljevito-pjeskovitim sedimentima, vjerojatno su taloženi u virnu ili tijekom holocenske transgresije, jer njihov položaj odudara od današnjih hidrodinamičkih prilika.

Ova karta sedimenata napravljena je temelju dostupnih podataka, pa daje osnovne elemente rasporeda tipova podloga u podmorju Kvarnera, koje je relativno bolje istraženo, a u znanstvenim radovima i bolje obrađeno područje u odnosu na veći dio hrvatske obale Jadrana. S obzirom da do sada nisu obavljena sistematska i usmjerena istraživanja, nedostatak prikazane karte je nejednolika pokrivenost istraživanjima. Stoga je neophodno intenzivirati marinska geološka istraživanja ne samo podmorja Kvarnera, već i Jadranskog mora u cjelini.

LITERATURA

- ALFIREVIĆ, S. (1964): Sedimentološki pokrov kanalskog područja Jadrana i faktori koji uplivaju na njegovo formiranje.- *Acta Adriatica*, 11/1, 9-17.
- BENAC, Č. & JURAČIĆ, M. (1999): Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Würm) and Holocene in the Kvarner region.- *Acta geograph. Croatica*, 33 (u tisku).
- BRAMBATI, A. & VENZO, G.A. (1967): Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste.- *St. Trent. Sc. Nat., Sez. A*, 44, 202-274.
- BRAMBATI, A., CIABATTI, M., FANZUTTI, G.P., MARABINI, F., & MAROCCO, R. (1983): A new sedimentological textural map of the Northern and central Adriatic Sea.- *Bolletino di Oceanologia Teorica ed Applicata*, 1/4, 267-271.
- BRAMBATI, A., CIABATTI, M., FANZUTTI, G.P., MARABINI, F., & MAROCCO, R. (1988): Carta sedimentologica dell'Adriatico settentrionale, 1:250 000.- *Consiglio nazionale delle Ricerche*.
- CHAPPELL, J. & SHACKLETON, N.J. (1986): Oxygen isotopes and sea level.- *Nature*, 324, 137-140.
- FAIRBANKS, G.R. (1989): A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation.- *Nature*, 324, 637-642.
- FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature.- *Journal of Geol.*, 62, 344-359.
- HIJRM (1985): Jadransko more, Generalna karta sedimenata dna 1:1.000.000.- Hidrografski institut Jugoslavenske ratne mornarice, Split.
- JURAČIĆ, M. & PRAVDIĆ, V. (1981): Geochemical and physico-chemical studies on sediments of Rijeka Bay: the properties of sediments as depositories of pollutants.- *Thalassia Jugoslav.*, 17/3-4, 339-349.
- JURAČIĆ, M., CRMARIĆ, R. & BENAC, Č. (1998): Holocenski sedimenti i sedimentacija u Riječkom zaljevu.- U: ARKO-PIJEVAC, M., KOVAČIĆ, M. & CRNKOVIĆ, D. (ur.): *Prirodoslovna istraživanja riječkog područja*. Prirodoslovna biblioteka, I, 339-344, Prirodoslovni muzej, Rijeka.
- JURAČIĆ, M., BENAC, Č. & CRMARIĆ, R. (1999): Seabed and surface sediments map of the Kvarner Bay, Adriatic Sea, Croatia.- *Geol. Croatica*, 52/2 (u tisku).
- LORENZ, J.R. (1863): *Physicalische Verhältnisse und Vertheilung der Organismen im Quarnerischen Golfe*.- Kais. Kön. Hof- und Staatsdruckerei, Wien, 379 str.
- PIGORINI, B. (1968): Sources and dispersion of recent sediments of the Adriatic Sea.- *Marine Geol.*, 6/3, 187-229.
- PIRAZZOLI, P.A. & PLUET, J. (1991): Holocene changes in sea level as climate proxy data in Europe.- U: FRENZEL, B. (ur.): *Evaluation of Climate Proxy Data in Relation to the European Holocen*. *Paleoklimaforschung*, 6, Mainz-Strasbourg-New York, 205-225.
- ŠKRIVANIĆ, A. & MAGDALENIĆ, Z. (1979): Cruises of the research vessel "Vila Velebita" in the Kvarner region of the Adriatic Sea, IX. Quaternary sea bottom sediments.- *Thalassia Jugoslav.*, 15, 149-166.
- VAN STRAATEN, L.M.J.U. (1970): Holocene and Late Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea.- *Geol. Rundschau*, 60, 106-131.



Changes in Holocene Sedimentation near the Cres Island

Holocenske promjene uvjeta sedimentacije u okolici otoka Cresa

Danijela BOGNER¹, Mladen JURAČIĆ², Ivana UJEVIĆ³,
Zorana KLJAKOVIĆ GAŠPIĆ¹ & Ante BARIĆ¹

Key words: Marine sediments, Carbonate content, Organic matter, Lead, Adriatic Sea.

Ključne riječi: morski sediment, karbonati, organska tvar, olovo; Jadransko more.

Abstract

Changes during Holocene sedimentation and recently anthropogenic pollution are recorded in marine sediment. Granulometric composition, carbonate, organic matter and lead content in the sediment sample collected near Cres Island were determined. The sediment record indicates that there were no dramatic changes in sedimentation during Holocene. However, anthropogenic influence (pollution) grew with time.

Sažetak

Promjene u sedimentaciji koje su se događale tijekom holocena zabilježene su u sedimentu kao i antropogeno zagađenje. Određivanjem promjene granulometrijskog sastava, udjela karbonata, organske tvari i olova, s dubinom u sedimentu na postaji u blizini otoka Cresa ustanovljeno je da u sedimentaciji tijekom holocena nije bilo drastičnih promjena, dok se antropogeni utjecaj s vremenom povećavao.

1. INTRODUCTION

The shelf environments has undergone significant changes during Flandrian transgression. At the peak of last ice age (Würm) 18,000 years ago, the sea level fell to a minimum; it was 120-125 m lower than today. After that, the sea level was increasing (Flandrian transgression) (FAIRBANKS, 1989), and 10,000 years ago it was 31 m lower than today (ŠEGOTA, 1982). The sea level rising suddenly became slower 6,500 to 8,000 years ago (STANLEY, 1995).

Numerous studies show that lead is ubiquitous metal contaminant emitted into the atmosphere of the Northern Hemisphere. Lead, mainly transported and deposited via the atmosphere, has become a global issue. The strong increase of the environmental lead concentration in Europe coincides with the introduction of tetraethyl lead gasoline, after World War II.

Following restrictions of its use, mostly in gasoline, an important decrease in lead concentrations has been observed in the sediments deposited in North America after the late 1970s (TREFRY et al., 1985; VALETTE-SILVER, 1993).

Transport, burial, and diagenesis play a key role in the preservation of historical records for metal contamination. This historical records may be disordered by bioturbation, erosion, trawling and other sediment mixing processes.

In order to study changes in Holocene sedimentation near the Cres Island, the lead content, its origin, and dependence on organic matter and carbonate content, as well as granulometric composition of sediment in a 48 cm long sediment core were determined.

2. MATERIALS AND METHODS

A sediment sample 48 cm long was collected at 48 m depth using a plastic gravity corer (6 cm diameter) in July 1996, at station located near Cres Island (ϕ 44° 50' 09''; λ 14° 09' 87'') (Fig. 1). Immediately after sampling, sediment sample was frozen. Before the analyses sediment was defrosted at room temperature, sliced into 1 (0-10 cm) and 2 cm (10-48 cm) thick sub-samples and dried at 60°C. Dried sub-samples were divided into two parts. The first part of the sub-sample was used to

¹Institute of Oceanography and Fisheries, I. Meštrovića 63, HR-21000 Split, Croatia.

²Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

³Faculty of Natural Sciences and Arts, University of Split, Teslina 12, HR-21000 Split, Croatia.

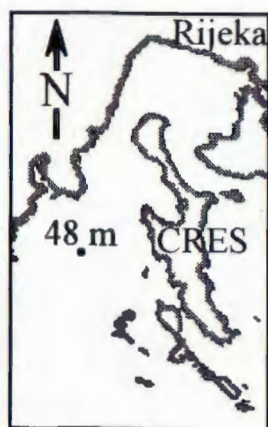


Fig. 1 Map of the study area with sampling station.
Sl. 1 Istraživano područje sa postajom.

determine granulometric composition. The second part of the sub-sample was ground into powder to determine carbonate, organic matter and mass content of lead.

The granulometric composition of sediment was determined by sieving ($>63 \mu\text{m}$) and areometry according to Casagrande ($<63 \mu\text{m}$) of 4 cm thick sub-samples. Carbonate content was determined as weight loss after treatment with 4M HCl (LORING & RANTALA, 1992). The organic matter content was determined as a weight loss after H_2O_2 treatment and ignition at 450°C for 6 h.

Samples were digested with a mixture of HF, HNO_3 and HClO_4 (BOGNER, 1996). Lead concentrations were measured by the graphite-furnace atomic-absorption spectrophotometry (GFAAS) method using a Per-

Pb	Certified values (mg/kg)	This study (mg/kg)
(SRM 1646)	28.2	29.5 \pm 4.9
(SD-M-2/TM)	22.8 \pm 2.7	23.1 \pm 5.1

Table 1 Lead concentration (mean \pm standard deviation) for U.S. Natural Bureau of Standards (NBS) estuarine sediment (SRM 1646) and for marine sediments (SD-M-2/TM).

Tablica 1 Udio olova (srednja vrijednost \pm standardna devijacija) za estuarijski (SRM 1646) i morski sediment (SD-M-2/TM).

kin-Elmer 1100 B instrument. The accuracy of the analytical procedure used was repeatedly checked by analyzing samples of reference sediment standards (marine sediments SD-M-2/TM and SRM 1646 estuarine sediments) (Table 1).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of granulometric analysis are shown in Table 2. Mean size (Mz) for all sub-samples varied in range from 29 to $149 \mu\text{m}$. According to grain size it is from medium silt to very coarse sand. Coarse fractions (gravel and sand) increase with sediment depth. Higher content of fine particles may be related to the sea level rise during the Holocene.

Carbonate contents in the sub-samples (36-50 %) are lower than the content in shelf sediments south-west from investigated station (40-60 %) (FAGANELI et al., 1994) (Fig. 2). A relative high carbonate content in the whole area is due to the predominance of carbonate in

Depth (cm)	gravel (%)	sand (%)	silt (%)	clay (%)	Md (mm)	Mz (mm)	So	Sk	Kg	$<32 \mu\text{m}$ (%)	Sediment type (SHEPARD, 1954)	Sediment type (FOLK, 1954)
0-4	3	40	40	17	54.4	31.6	2.86	0.38	0.94	42	silty sand	(g)sM
4-8	3	39	40	18	42.7	28.8	3.17	0.25	1.05	45	silty sand	(g)sM
8-12	2	39	41	18	50.7	29.5	3.02	0.36	0.95	44	silty sand	(g)sM
12-16	2	46	36	16	58.3	36.3	3.03	0.31	1.06	39	silty sand	(g)sM
16-20	6	44	35	15	60.4	39.4	3.20	0.21	1.24	38	silty sand	gM
20-24	2	44	38	16	54.4	33.9	2.99	0.32	1.01	41	silty sand	(g)sM
24-28	4	53	33	10	76.9	49.6	2.79	0.28	1.30	31	silty sand	(g)sM
28-32	7	59	26	8	98.1	69.4	2.66	0.21	1.66	25	silty sand	gmS
32-36	10	57	27	6	105.1	90.5	2.80	0.07	1.87	21	silty sand	gmS
36-40	14	50	31	5	116.6	148.6	3.07	-0.15	1.90	19	silty sand	gmS
40-44	10	58	26	6	116.6	96.9	2.76	0.08	2.01	21	silty sand	gmS
44-48	4	66	24	6	108.8	80.6	2.27	0.23	1.97	20	silty sand	(g)mS

Table 2 Granulometric characteristics of sediment samples (Md - median; Mz - mean size, So - sorting, Sk - skewness; Kg - kurtosis (FOLK & WARD, 1957)), and sediment type (SHEPARD, 1954; FOLK, 1954) (gM - gravelly mud; (g)sM - slightly gravelly sandy mud; (g)mS - slightly gravelly muddy sand; gmS - gravelly muddy sand).

Tablica 2 Granulometrijski parametri (Md - median; Mz - prosječna veličina zrna; So - sortiranje, pokazuje jednoličnost distribucije; Sk - asimetričnost raspodjele; Kg - zaoštrjenost krivulje (FOLK & WARD, 1957)), te tip sedimenta (SHEPARD, 1954; FOLK, 1954) (gM - šljunkoviti mulj; (g)sM - neznatno šljunkovito pjeskoviti mulj; (g)mS - neznatno šljunkovito muljeviti pijesak; gmS - šljunkovito muljeviti pijesak).

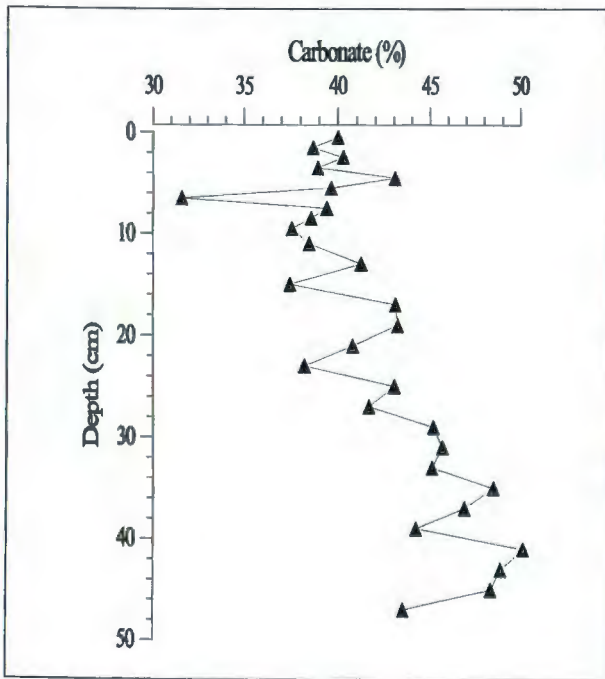


Fig. 2 Carbonate content in the sediment core.
Sl. 2 Udio karbonata na istraživanoj postaji.

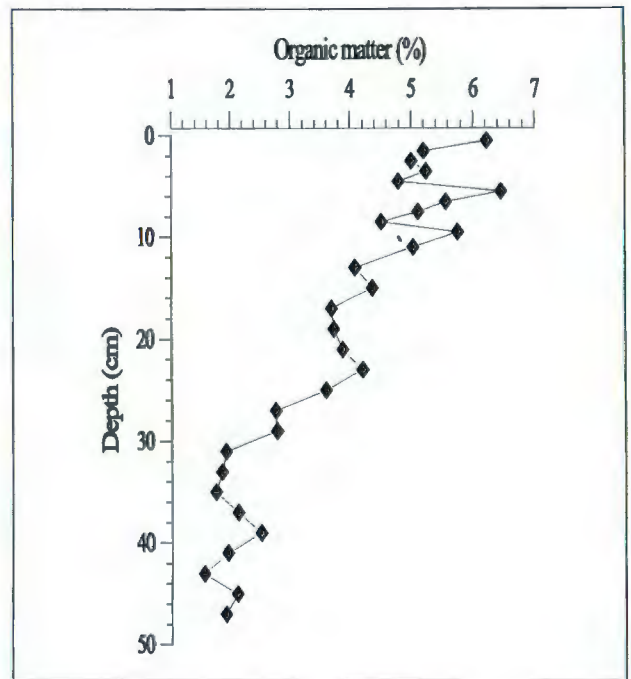


Fig. 3 Organic matter content in the sediment core.
Sl. 3 Udio organske tvari na istraživanoj postaji.

the eastern part of Adriatic coast. Higher carbonate content was determined in deeper parts of the core where gravel and sand contents are the highest. This indicates that carbonates constitute coarse grains (Table 3). In all sub-samples observed by binocular microscope biogenous component is an important part of the coarse grain fraction (>1 mm), while aluminosilicate (terrigenous) component prevails in finer grains (<1 mm).

Organic matter in marine sediment can be autochthonous i.e. sedimented from the water column or formed at the sediment surface or allochthonous i.e. derived from land. The organic matter content in sediment samples studied varied from 1.6 to 6.5 % (Fig. 3). The organic matter in shelf sediments is usually in range 1-5 %. Investigations suggest that sediment grain size, mineralogy and sorting influence the concentration and distribution of organic matter in marine sediments, and we obtained a good correlation between organic matter content and fine grain fraction (<32 μm).

The lead contents are in range 10.5-38.1 mg kg⁻¹ (Fig. 4). Mean value for first 5 cm is 28.8 mg kg⁻¹, and

it is two times greater than before known results for this area (DOLENEC et al., 1998). In surface sediments of the open Adriatic, lead content varies from 5 to 51 mg kg⁻¹ (DOLENEC et al., 1998), while in sediments in coastal regions of the Adriatic varies from 10 (Stončica, Island Vis - unpolluted area) to 300 mg kg⁻¹ (Gruž harbor, Dubrovnik - heavily polluted area) (ZVONARIĆ & ODŽAK, 1998; UJEVIĆ et al., 1998). The values

	Org. matter	Carbonate	< 32 μm
Lead	0.835	-0.680	0.820
Org. matter		-0.829	0.930
Carbonate			-0.835

Table 3 Correlation coefficients between lead concentration, organic matter, carbonate and particles less than 32 μm (n = 29, P<0.01).

Tablica 3 Koeficijenti korelacije olova, organske tvari, karbonata i udjela čestica manjih od 32 μm (n = 29, P<0,01).

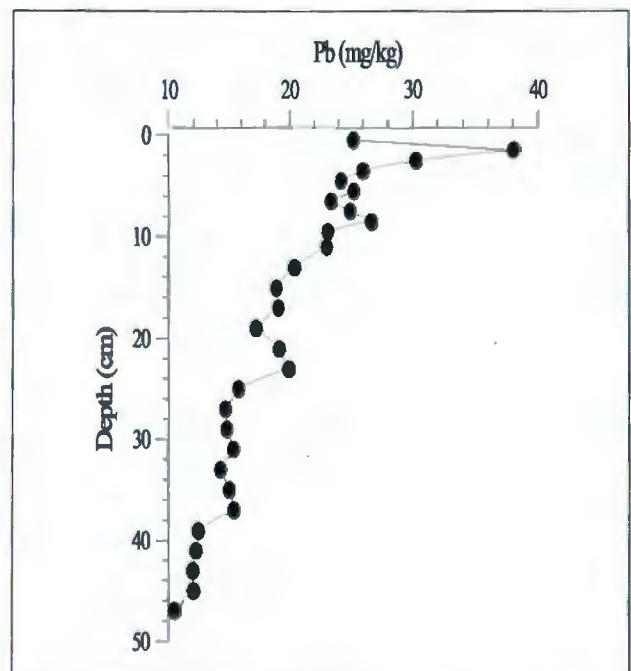


Fig. 4 Lead content in the sediment core.
Sl. 4 Udio olova na istraživanoj postaji.

obtained in this study indicate low level of lead pollution in the investigated area. Lead content depends both on organic matter content and on fine grained particles content (Table 3). Lower lead content in surface layer (0-1 cm) might be the consequence of the reduced road traffic during the 1990s and mixing of surface and subsurface sediment as results of bioturbation and trawling. Similarly, lower lead contents in surface and subsurface sediment in the North America and North Europe are result of the restriction of use the tetraethyl-lead in gasoline (TREFRY et al., 1985; VALETTE-SILVER, 1993).

If supposed that last 24 cm (greater lead concentration) were sedimented in last 50 years, sedimentation rate could be 0.5 cm/year. According to this presumption the whole sediment core could be sedimented in last 100 year. However, if there was a mixing of sediment due to the bioturbation or trawling, sedimentation rate could be lower, and sediment cored might cover longer time span.

4. CONCLUSIONS

The sediment record indicates that the changes in Holocene were not dramatic. The content of coarse grains and carbonate increases with the depth of sediment, whilst the organic matter and lead content are higher in surface layers. Decrease of the lead content in the surface layer (0-1 cm) might be the result of reduced traffic in the 1990s, and not only of the restricted use of lead in gasoline as it was case in the western countries.

5. REFERENCES

- BOGNER, D. (1996): Površinski sedimenti i utjecaj njihovih fizičko-kemijskih svojstava na raspodjelu teških kovina u Kaštelanskom zaljevu.- Unpublished MSc Thesis, University of Zagreb, 131 p.
- DOLENEC, T., FAGANELI, J. & PIRC, S. (1998): Major, minor and trace elements in surficial sediments from the open Adriatic sea: a regional geochemical study.- *Geol. Croat.*, 51/1, 59-73.
- FAGANELI, J., PEZDIČ, J., OGORELEC, B., MIŠIĆ, M. & NAJDEK, M. (1994): The origin of sedimentary organic matter in the Adriatic.- *Contin. Shelf Research*, 14/4, 365-384.
- FAIRBANKS, R.G. (1989): A 17,000-year glacio-eustatic sea-level record: Influence of glacial melting rates on the younger Dryas event and deep-ocean circulation.- *Nature*, 342, 637-642.
- FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature.- *Jour. Geology*, 62, 344-356.
- FOLK, R.L. & WARD, W.C. (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters.- *J. Sediment. Petrol.*, 27, 3-26.
- LORING, D.H. & RANTALA, R.T.T. (1992): Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter.- *Earth-Science Reviews*, 32, 235-283.
- SHEPARD, F.P. (1954): Nomenclature based on sand-silt-clay relations.- *J. Sediment. Petrol.*, 24, 151-158.
- STANLEY, D.J. (1995): A global sea-level curve for the late Quaternary: the impossible dream?- *Mar. Geology*, 125, 1-6.
- ŠEGOTA, T. (1982): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadranskog mora od ris-virmaskog interglacijala do danas.- *Geol. vjesnik*, 35, 93-109.
- TREFRY, J.H., METZ, S., TROCINK, R.P. & NELSEN, T.A. (1985): A decline in lead transport by the Mississippi River.- *Science*, 230, 439-441.
- UJEVIĆ, I., BOGNER, D., ZVONARIĆ, T. & BARIĆ, A. (1998): Trace metal distribution in coastal sediment from the Adriatic Sea.- *Fresenius Envir. Bull.*, 7, 701-708.
- VALETTE-SILVER, N.J. (1993): The use of sediment cores to reconstruct historical trends in contamination of estuarine and coastal sediments.- *Estuaries*, 16/3B, 577-588.
- ZVONARIĆ, T. & ODŽAK, N. (1998): Distribution of Hg,Cu, Zn, Cd and Pb in surface sediments from the coastal region of the central Adriatic.- *Rapp. Com. int. mer Medit.*, 35, 312-313.



Fluid Inclusions in Pillow Lavas of Hruškovec, Mt. Kalnik

Fluidne inkluzije u jastučastim lavama Hruškoveca, Kalnička gora

Sibila BOROJEVIĆ, Ladislav Antun PALINKAŠ & Vladimir BERMANEC

Key words: Pillow lava, Fluid inclusions, Cryptodome, Volcanic facies, Hydrothermal veins.

Ključne riječi: jastučaste lave, fluidne inkluzije, kriptodoma, vulkanski facijesi, hidrotermalne žile.

Abstract

A large pile of pillow lavas in Hruškovec quarry, Kalnik Mt., is a basalt cryptodome intruded and extruded into wet, unconsolidated Triassic carbonate and siliciclastic sediments. It consists of variety of volcanic facies with a huge igneous body a few km long, thick several hundred m, tectonically dismembered and inplaced into Cretaceous melange formation. During emplacement the igneous body encountered hydrothermal activity evidenced by veins, filled out with secondary minerals - calcite and quartz, hyaloclastite cement and infillings of cavities inside pillow lava pipes (calcite, quartz, pumpellyite, chlorite, epidote, etc.). The object of the study was quartz from hydrothermal veins cutting pillow lava formation and calcite inside the cavities of pillow lavas. Petrography of fluid inclusions recognized following types: 1) Monophase (L), 2) Liquid-rich (L+V), 3) Vapour-rich (V+L), 4) Multiphase with gypsum ($L+V+S_{\text{GYPSUM}}$), 5) Multiphase with carbonate ($L+V+S_{\text{CARBONATE}}$) and 6) Multiphase with gypsum and carbonate ($L+V+S_{\text{GYPSUM}}+S_{\text{CARBONATE}}$). Continuous spread of salinity between two end members, low salinity ($\text{NaCl-H}_2\text{O}$) and CaCl_2 -rich, high salinity, suggests mixing of sea water and fluids formed during spilitization of igneous body.

Sažetak

Velike mase jastučastih lava iz područja Hruškoveca, Kalnička gora, dio su bazaltne kriptodome, intrudirane i ekstrudirane unutar mokrih, nekonsolidiranih trijaskih karbonatnih i siliciklastičnih sedimenata. Veliko, tektonski poremećeno magmatsko tijelo, dugo nekoliko km a debelo par stotina m, smješteno unutar formacije krednog melanža sastoji se od različitih vulkanskih facijesa. Tijekom smještanja magmatsko tijelo potiče hidrotermalnu aktivnost, uočljivu po žilama ispunjenim sekundarnim mineralima kalcita i kvarca, hijaloklastitnom cementu i ispunjavanju šupljina unutar cijevi jastučastih lava (kalcit, kvarc, pumpeleit, klorit, epidot itd.). Predmet istraživanja je kvarc iz hidrotermalnih žila koje presijecaju formaciju jastučastih lava i kalcit iz šupljina unutar jastučastih lava. Petrografijom fluidnih inkluzija utvrđeni su slijedeći tipovi inkluzija: 1) jednofazne (L), 2) tekućinom bogate (L+V), 3) plinom bogate (V+L), 4) višefazne s gipsom ($L+V+S_{\text{GIPS}}$), 5) višefazne s karbonatom ($L+V+S_{\text{KARBONAT}}$) i 6) višefazne s gipsom i karbonatom ($L+V+S_{\text{GIPS}}+S_{\text{KARBONAT}}$). Kontinuirana razlika u salinitetu između dva krajnja člana, niskoslanih ($\text{NaCl-H}_2\text{O}$) i CaCl_2 -bogatih, visoko slanah, ukazuje na miješanje morske vode i fluida formiranih tijekom spilitizacije magmatskog tijela.

GEOLOGY

The Hruškovec quarry is situated on the Northwest slopes of Mt. Kalnik (Fig. 1). Spilites, altered diabases and metabasalts form a part of a complex sequence of extrusive and intrusive rocks incorporated into the Upper Cretaceous clastic sediments of heterogeneous lithology: sandstones, shales, fine-grained limestones, altered vitric tuffs and radiolarian cherts (HERAK, 1960; ŠIMUNIĆ & HEĆIMOVIĆ, 1979; VRKLJAN, 1994). The radiolarites interbedded within the igneous body appeared to be of Carnian-Norian age (HALAMIĆ & GORIČAN, 1995). According to PALINKAŠ et al. (1998, 2000), carbonate peperites, widespread on the flanks of cryptodome are Triassic or older in age confirmed by the presence of conodonts. It implies rifting

magmatism synchronous with the major course of rifting in the Dinarides. The igneous body comprises following facies: 1) Coherent pillow lavas, 2) Closely packed pillows, 3) "In situ" hyaloclastites, 4) Isolated pillow breccias, 5) Pillow fragment breccias, 6) Peperitic hyaloclastites (PALINKAŠ et al., 1998). Secondary hydrothermal minerals from the veins cutting particular facies formations and filling in cavities in the pillow lavas (Fig. 2) were the object of this study.

METHOD AND RESULTS

Microthermometrical measurement were performed on 0.3 and 0.5 mm thick wafers of quartz and calcite on Leitz-Wetzlar microscope with objectives P25/0.50 for

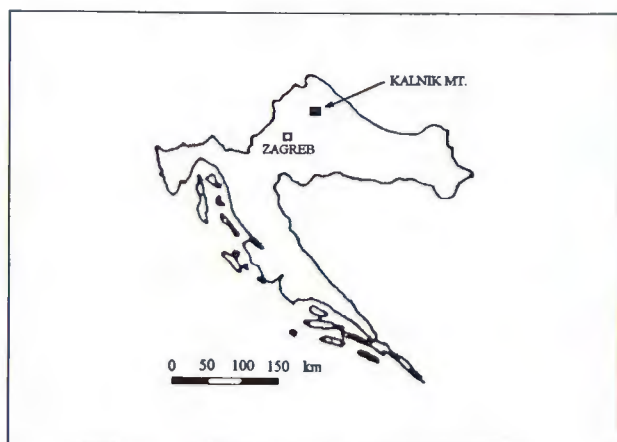


Fig. 1 Sketch of geological situation.

Sl. 1 Skica geološke situacije istraživanog terena.

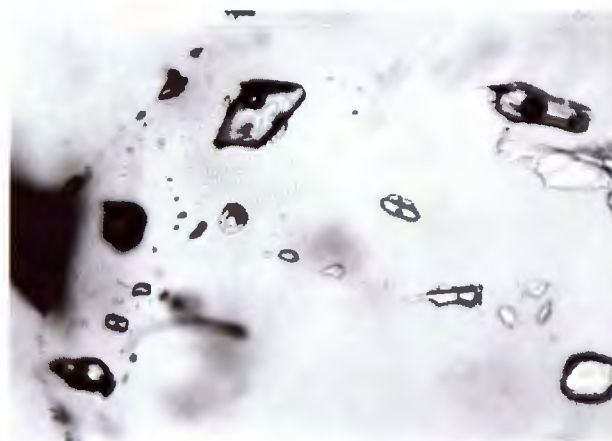


Fig. 2 Hydrothermal minerals (quartz, calcite, pumpellyite, chlorite, epidote) fill out multistorey cavities within pillow lavas.

Sl. 2 Hidrotermalni minerali (kvarc, kalcit, pumpeleit, klorit, epidot) ispunjavaju pravilno rasporedene prostore iz kojih se cijedila lava u sfernom jastuku lave.

freezing and UM 32/0.30 for heating runs with Chaixmecca cooling and heating stage, operating between -180 and +600 °C (POTY et al., 1976).

The quartz wafers contain following types of inclusions: 1) Monophase (L), 2) Liquid-rich (L+V), 3) Vapour-rich (V+L), 4) Multiphase with gypsum (L+V+S_{GYPSUM}), 5) Multiphase with carbonate (L+V+S_{CARBONATE}) and 6) Multiphase with gypsum and carbonate (L+V+S_{GYPSUM}+S_{CARBONATE}), (Fig. 3). Cryometric measurement confirm existence of (i) low salinity inclusion with $T_{M\ ICE} = -4.5$ to -6.2 °C, $T_{HYD} = -26.0$ to -30.2 °C, which corresponds to salinity $S=7.1$ to 9.4 % NaCl eqv. and (ii) high salinity inclusion, $T_{M\ ICE} = -14.3$ to -18.5 °C, $T_{HYD} = -41.0$ to -51.4 °C and salinity $S = 18.0$

to 21.3 % eqv. NaCl (Fig. 4). The temperature of homogenization, $T_H = 110-185$ °C.

Types of the fluid inclusions in calcite are: 1) Monophase (L) and 2) Liquid-rich (L+V), while multiphase fluid inclusions with solids have not been recognized. Samples of calcite from "pyjama-style" pillows (cavities like multistorey shelves) (Fig. 2), contain fluid inclusions with $T_{M\ ICE} = -4.8$ to -12.8 °C, $T_{HYD} = -52.0$ to -38.0 °C, $S = 7.52$ to 16.62 % eqv. NaCl (Fig. 5) and homogenization $T_H = 111.5-364.5$ °C. The span of temperatures and salinity is a result of mixing of two fluids with distinctive chemistry and temperatures (Figs. 4 and 5).

DISSCUSION

Intrusion and extrusion of magma into wet sediments and on the sea floor initiated intensive circulation of the sea water. Interaction water/rock resulted in spilitization and hydration of primary silicates in hot basalts. It changed chemistry of sea water by exchange reaction, introducing Ca into fluid composition, and gave rise to increasing salinity. Dissolution of a chloride-rich phase at lower temperature is another possible cause of increased chlorinity (VAN DAMM & BISCHOFF, 1987). Boiling phenomena, as a possible cause of high salinity has not been observed yet. There is a gradual change from pure sea water (NaCl-H₂O) to highly concentrated brines (NaCl-CaCl₂-H₂O) with wide span of homogenization temperature. Different P-T-X characteristics of fluid inclusions, within one single sample point out to intensive mixing of diversified kinds of water, evolved during hydrothermal circulation.



Fig. 3 Types of fluid inclusion in quartz wafers: 1) Monophase (L); 2) Liquid-rich (L+V); 3) Vapour-rich (V+L); 4) Multiphase with gypsum (L+V+S_{GYPSUM}); 5) Multiphase with carbonate (L+V+S_{CARBONATE}).

Sl. 3 Tipovi fluidnih inkluzija u uzorcima kvarca: 1) jednofazne (L); 2) tekućinom bogate (L+V); 3) plinom bogate (V+L); 4) višefazne s gipsom (L+V+S_{gips}); 5) višefazne s karbonatom (L+V+S_{KARBONAT}).

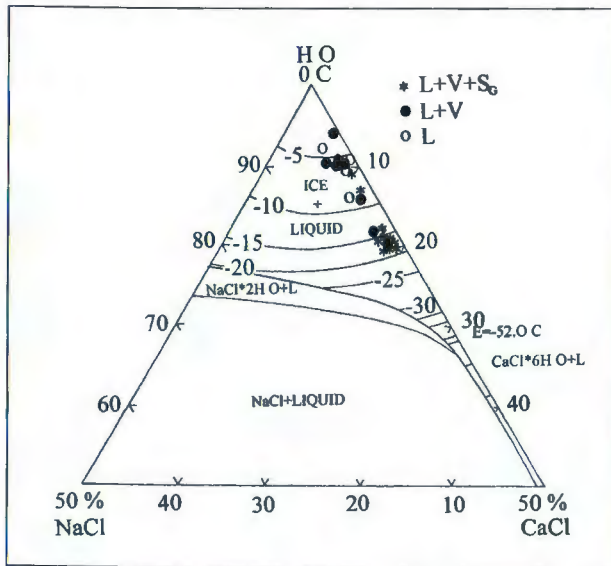


Fig. 4 Ternary diagram of fluid inclusion composition (NaCl-CaCl₂-H₂O) of quartz wafers.

Sl. 4 Ternarni dijagram kemijskog sastava fluida (NaCl-CaCl₂-H₂O) u uzorcima kvarca.

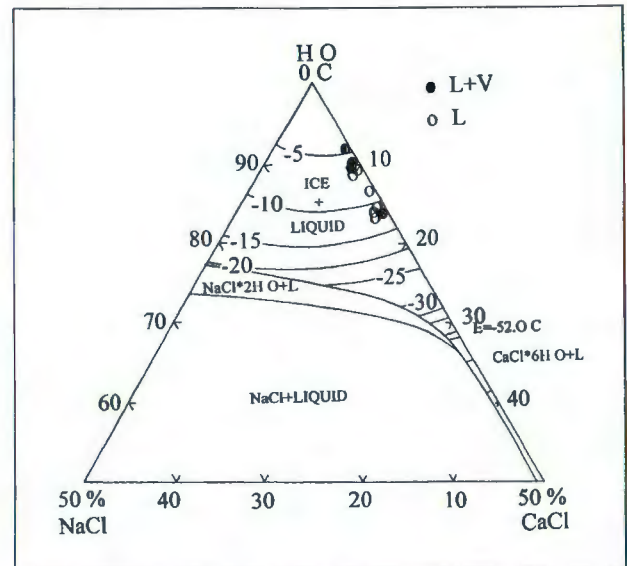


Fig. 5 Ternary diagram of fluid inclusion composition (NaCl-CaCl₂-H₂O) of calcite wafers.

Sl. 5 Ternarni dijagram kemijskog sastava fluida (NaCl-CaCl₂-H₂O) u uzorcima kalcita.

REFERENCES

- HALAMIĆ, J. & GORIČAN, Š. (1995): Triassic radiolarites from Mts. Kalnik and Medvednica (Northwestern Croatia).- *Geol. Croatica*, 48/2, 129-146, Zagreb.
- HERAK, M. (1960): Kreda s ofiolitima u Ivanšćici (sjeverozapadna Hrvatska).- *Acta geol.*, 2, 111-120, Zagreb.
- PALINKAŠ, L.A., BERMANEC, V., VRKLJAN, M. & MEDIMOR-EC, S. (1998): Pillow lavas from Hruškovec, North Croatia. Rifting-magmatism or dismembered ophiolitic sequence.- *IGCP, Pr.* 369, Magmatism and Rift basin Evolution Abstracts, 84, Prague.
- PALINKAŠ, L.A., BERMANEC, V., KOLARIĆ-JURKOVŠEK, T. & McPHIE, J. (2000): Pillow lavas from Hruškovec, products of Triassic rifting-magmatism, Northern Croatia.- (manuscript)
- POTY, B., LEROY, J. & JACHIMOVITZ, L. (1976): Un nouvel appareil pour la mesure des températures sous le microscope: l'installation de microthermometric Chaixmeca.- *Bull. Mineral.*, 99, 182-186.
- ŠIMUNIĆ, A. & HEĆIMOVIĆ, I. (1979): Tektonski odnosi sjeverozapadne Hrvatske (Ivanšćica, Kalnik i Ravna gora).- *Zbornik radova IV. god. znanstv. skupa Sekcije za primjenu geol., geof. i geokem. Znanstv. savjeta za naftu JAZU*, 187-198, Zagreb.
- VAN DAMM, K.L. & BISCHOFF, J.L. (1987): Chemistry of hydrothermal solutions from the southern Juan de Fuca ridge.- *Jour. of Geophys. Res.*, 92/B11, 11334-11346.
- VRKLJAN, M. (1994): Petrographic characteristics of extrusive rocks from Hruškovec, Mt. Kalnik, NW Croatia.- *Geol. Croat.*, 47/2, 181-191, Zagreb.



Statistika u palinologiji

Statistics in Palynology

Dražen **BRAJKOVIĆ** & Krešimir **KRIZMANIĆ**

Ključne riječi: statistika, palinologija, POLPAL.

Key words: Statistics, Palynology, POLPAL.

Sažetak

Ovaj je rad, kao pregledno konferencijsko priopćenje vezano uz poster, priređen u svrhu popularizacije statističkih metoda u palinologiji. Ukratko je definiran pojam statistike i metode kojima se služi. Navedena je važnost statističke obrade palinoloških podataka. Prikazane su glavne značajke palinoloških podataka s naglaskom na njihovoj multivarijabilnosti. Opisan je način prikupljanja uzoraka potrebnih za dobivanje podataka koji se statistički obrađuju. Razmotrene su različite analize statističkih podataka i dat je opis njihovog grafičkog prikaza. Posebno je spomenut kompjuterski program POLPAL za numeričke analize i grafičku prezentaciju podataka s naglaskom na lakoći uporabe i velikim mogućnostima statističkih metoda s obzirom na brzi razvoj informatike.

Abstract

This reviewing conference paper is related to the poster and prepared with a purpose of popularization of statistical methods in palynology. The definition of statistics and its procedures is given in brief. The importance of statistical analysis of palynological data is pointed out. The main palynological data characteristics are listed, emphasizing their multivariability. The process of collecting samples in order to obtain the data needed for statistical analysis is described. Various analyses of statistical data are given together with description of corresponding graphical presentations. The computer software POLPAL for numerical analyses and graphical display of data is mentioned in particular, with special attention to the simplicity in handling and great opportunities of statistical methods, concerning rapid informatics development.

1. UVOD

Palinološkim je analizama utvrđena zavisnost između broja sporomorfi određenog taksona u sedimentu i broja biljnih jedinki tog taksona u sastavu vegetacije oko samog lokaliteta. Taj je odnos neprijeporno izuzetno složen budući da ovisi o velikom broju isprepletenih čimbenika. Među njima su genetski, fiziološki, klimatski i ekološki faktori koji utječu na cvjetanje i produkciju peludi i spora svake pojedine biljke, brojnost pojedinog taksona u vegetaciji, strukturu zajednice u kojoj se takson pojavljuje, te na način rasprostiranja sporomorfi. Bitne su meteorološke pojave koje utječu na transport biljnih rasplodnih stanica. Također su važni fizički, kemijski i biološki uvjeti o kojima ovisi nakupljanje i očuvanje peludi i spora na mjestima sedimentacije, te veličina i morfometrija prostora sedimentacije, pa i lokalni faktori kao što je okolna vegetacija.

Detaljnim kvantitativnim i kvalitativnim palinološkim analizama uzoraka s određenog područja može se obaviti zonacija mikroflora, mogu se prikupiti podaci o paleoklimi, o evoluciji biljaka i promjenama znakovitim za biostratigrafiju, mogu se saznati ekološke značajke paleookoliša, može se izvršiti korelacija utvrđenih zajednica peludi i spora sa zajednicama susjednih područja, mogu se prikupiti saznanja o novim taksonima, novim provodnim fosilima i slično (PLANDEROVÁ, 1990). Palinološki podaci su složeni i višeznačni. Osim stratigrafskog značaja imaju i prostorni značaj kao što je geografska i ekološka lokacija. U nastojanju da se shvati odnos između utvrđene zajednice peludi i spora s odgovarajućom biljnom zajednicom iz koje su te palinomorfe proizašle, sve češće se uvode i numeričke metode istraživanja.

Statistika kao znanost o numeričkim metodama istraživanja masovnih pojava, vrijedna je pomoć u palino-

loškim studijama, kao uostalom i svim drugim granama znanosti, zahvaljujući upravo brojčanom načinu izražavanja. Broj je kratak, precizan i jasan podatak koji djeluje sugestivno. Od izvanredne je koristi ako se kvaliteta može ispravno izraziti kvantitativno i ako se može iz kvantitativnih podataka, raznim metodama, dobiti zaključke o kvalitativnim osobinama ispitivanog objekta.

Predmet statistike su tzv. masovne pojave, odnosno, statističke mase (SERDAR, 1966). Po svojem je sastavu statistička masa skup manje ili više istovrsnih, ali varijabilnih elemenata. Istovrsnost ne znači jednakost, nego poklapanje u obilježjima koja označavaju pojam višeg reda, dok se prema drugim obilježjima više ili manje međusobno razlikuju. Primjerice, statistička masa u palinološkom uzorku je istovrsni skup sastavljen od peludi ili spora, ali različitih obilježja s obzirom na vrstu kojoj pripadaju. U tom su smislu elementi statističke mase varijabilni. Varijabilnost obilježja omogućuje da se odabranom metodom analizira kvalitativna struktura statističke mase, a ne da se samo utvrdi njen opseg.

Prije početka proučavanja statističke mase neophodno ju je točno odrediti. Uobičajeno definiranje statističke mase obavlja se s vremenskog, prostornog i pojmovnog aspekta. Vremenski definirati statističku masu u palinološkim analizama znači, na primjer, utvrditi vremenski slijed (relativnu starost) uzetih uzoraka iz neke bušotine ili profila. Prostorno ju definirati, znači utvrditi područje koje će naš uzorak predstavljati. Pojmovno definirati statističku masu znači odrediti obilježja koja mora imati svaka jedinica da bi uopće bila uključena u tu statističku masu.

Statističku masu upoznat ćemo ako upoznamo njene jedinice, a njih ćemo upoznati ako upoznamo njihova obilježja. Pod statističkim obilježjem podrazumijevamo ona opća svojstva jedinica mase po kojima jedinice međusobno jedna drugoj nalikuju i po kojima se međusobno razlikuju. Svaka jedinica ima više obilježja, koja se dijele u četiri skupine: prostorna, vremenska, atributivna i numerička obilježja. Dakle, ako primjerice uzmemo zrnce peludi kao jedinicu statističke mase, njegovo prostorno obilježje je područje koje to zrnce zastupa, vremensko obilježje mu može biti stratigrafski položaj u slijedu sedimenata, atributivno obilježje bi mu mogla biti taksonomska odredba, a numeričko obilježje ukupan broj tih istovrsnih zrna unutar uzorka.

Svaki statistički rad mora početi prikupljanjem podataka, odnosno, statističkim promatranjem. To je prvi korak iznalaženju zakonitosti i pravilnosti u odnosima masovnih pojava, a kako doći do cilja ukazuje nam statistička metoda i u njoj razlikujemo uglavnom tri faze statističke djelatnosti: statističko promatranje, klasificiranje ili grupiranje i statističku analizu. Od ove tri djelatnosti najvažnije je statističko promatranje, jer o vjerodostojnosti prikupljenih podataka ovisi cjelokupni daljnji rad. Da bi se taj rad uspješno odvijao potrebno je načiniti plan promatranja iz kojeg treba saznati cilj, zadatak i svrhu statističkog istraživanja, odnosno, u planu promatranja treba potražiti pojmovnu, prostornu i

vremensku definiciju statističke mase, odnosno pojave koja se promatra.

2. O PODACIMA

Podaci općenito mogu biti jednostavni i multivarijabilni. Naravno da su ranije u statistici pretežito korišteni jednostavni podaci koji su primjereno obrađivani jednostavnim metodama tako da su u izračun ulazile samo jedna ili dvije varijable. Razvojem brzih i pouzdanih kompjutorskih sustava, uz jednostavne metode sve se više uvode i multivarijabilne analize koje istovremeno obrađuju više od dvije varijable, obrađuju multivarijabilne podatke.

Palinološki su podaci obično kvantitativni, kompleksni i multivarijabilni, sastavljeni od mnogo varijabli ili atributa dobivenih iz većeg broja uzoraka, odnosno objekata. U najširem smislu, multivarijabilni su podaci svi kompleksni skupovi podataka iz prirode (BIRKS, 1987a). Sastoje se od skupova raznih objekata (uzoraka), s opisom svakog objekta pomoću nekoliko varijabli (atributa). Multivarijabilnost palinoloških podataka vidljiva je, primjerice, već i iz jednostavne biostratigrafske analize sukcesije stijena iz bušotine pri utvrđivanju zastupljenosti različitih tipova peludnih zrna ili spora u uzorcima sedimenta na različitim ali poznatim dubinama kroz probušeni vertikalni slijed. Podaci će sadržavati brojeve, najčešće izražene u postocima, za različite tipove peludi ili spora (varijable) u različitim stratigrafskim uzorcima (objekti). Spomenuti se skup podataka sastoji od n objekata, opisanih s nekoliko m varijabli. Ove multivarijabilne, višestruke podatke možemo statistički prikazati u matrici X , s m stupcima i n redovima, sa svakim pojedinim matričnim elementom, primjerice X_{ik} , predstavljenim utvrđenom vrijednošću za varijablu k u objektu i . Te vrijednosti elemenata unutar matrice X mogu se odnositi na različite tipove varijabli. Uobičajena su četiri tipa varijabli (BIRKS, 1987a): 1) kvantitativne varijable - numeričke varijable izražene u obliku realnih brojeva; 2) kvalitativne varijable - višestatusne varijable s odijeljenim statusima, tako da svakom objektu pripada jedan i samo jedan varijabilni status; kvalitativne varijable dijele se na dva podtipa: nominalne ("nesortirane višestatusne varijable", kao što je primjerice - boja) i ordinalne ("sortirane višestatusne varijable", odnosno, stupnjevano ili rangirane varijable, npr. - malo, srednje, veliko i sl.); 3) binarne varijable - "dvo-statusne varijable" kod kojih se podrazumijeva prisutnost (+) ili odsutnost (-) određene varijable (dihotomne varijable); 4) zavisne varijable - čiji značaj u određenim proučavanjima ovisi u potpunosti o prisustvu drugih varijabli (primjerice, veličina pora na egzini jasno je da ovisi o prisustvu samih pora).

U mnogim geološkim istraživanjima česte su varijable miješanog tipa, odnosno, "mješoviti podaci". Tako se u paleoekologiji proučavani skup objekata može najprikladnije opisati kao kombinacija kvantitativnih, kvalitativnih i binarnih varijabli. Svi su ti podaci izuzetno

važni i trebalo bi ih analizirati u njihovoj cjelovitosti, ne odbacujući, primjerice, kvalitativne informacije ili ih prevoditi u oblik binarnih varijabli, jer se na taj način mogu izgubiti potencijalno važni geološki podaci.

3. PRIKUPLJANJE PODATAKA

Identifikacija i brojanje sporomorfi temelj je palinološke analiza. Zrnca se peludi i spora proučavaju pomoću mikroskopa iz palinoloških preparata. Odabir i uzimanje uzoraka, primjerice, stijena za palinološke analize važan su element valjanog prikupljanja podataka. Naime, uzorkovanje stijena, iz kojih se kasnije maceracijom izdvaja organski ostatak i koncentriraju sporomorfne, ustvari je tek određeni, gušći ili rjeđi, slijed uzorkovanja i među-uzorkovanja. Svaki nivo uzorkovanja podrazumijeva novu uzastopnu procjenu što rezultira mogućnošću sve veće pogreške. To praktično znači da ako uzmemo za analizu jednu mehaničku jezgru stijene iz neke bušotine, prije svega je potrebno utvrditi nivo, odnosno dubine s kojih ćemo uzeti uzorke za preparate, dakle potrebno je utvrditi mjesto uzorkovanja i broj uzoraka. Već to je subjektivna odluka koja može utjecati (i utječe) na krajnji rezultat analize. Svaki uzorak predstavljati će određenu jedinicu prostora u određenom vremenu. Nadalje, iako odabrana metoda i tijekom pripreme preparata mogu biti različiti u ovisnosti o uzorku, izuzetno je važno da se taj dio posla obavi korektno. I najmanja pogreška u procesu može djelomice ili čak u cijelosti uništiti sadržaj uzorka. Svi elementi palinofacijesa u preparatu su bitni i nisu za odbaciti. Dobro očuvana zrnca peludi i spora koja se nalaze u preparatu treba determinirati i pomno izbrojiti. Ali, tijekom analize treba također registrirati i oštećena zrna, pa i zrna koja se ne mogu identificirati, jer na temelju stupnja oštećenosti može se odrediti poneka karakteristika sredine sedimentacije, relativna starost, pretaloživanje zrna i drugo.

Važno je precizno prikupljanje podataka, jer o tome ovisi ishod i vjerodostojnost dobivenih rezultata.

4. ANALIZE STATISTIČKIH PODATAKA

Tri se široka područja djelovanja mogu razlučiti unutar općenitog pojma analiza statističkih podataka (BIRKS, 1987a).

Prvo je testiranje hipoteza ili analiza podataka kojima se potvrđuju dobiveni rezultati, utvrđuju parametri itd. Tu je problem sa skupovima složenih multivarijabilnih podataka iz prirode i ograničenja su često neizbježna. Mnoge pretpostavke klasične jednostavne statistike su teško održive u palinološkim i općenito u geološkim proučavanjima.

Drugo je građenje modela. Ovdje se pokušava opnašati uvjete ili procese iz prirode u kvantitativnim granicama. Modeli mogu biti ogledni, oni kojima se nastoji objasniti uzročne mehanizme i procese, ili iskustveni,

kojima se ne pokušava objasniti i razumjeti bitne pretpostavke već se jednostavno naglasak stavlja na stvaranju obrasca. Oba modela mogu biti korisna ali isto tako oba izazivaju mnoge nedoumice. Oni mogu samo ukazati na određene uzroke ili procese koji, ustvari, ostaju nedostavno opisani modelima. Dobri su i poticajni za nove ideje, za postavljanje novih provjerljivih hipoteza no, modelima se ne može nikada nešto konačno dokazati.

Treće je stvaranje hipoteze ili istraživačka analiza podataka. Ovdje se početno istraživanje provodi bez jasne ideje o strukturi ili uzorku unutar podataka. Koriste se različite tehnike zbrajanja jednostavnih i multivarijabilnih podataka za detekciju možebitnih struktura. Na taj se način mogu polučiti rezultati dostatni za postavljanje hipoteze o relevantnim procesima koji su uzrokovali određeni uzorak podataka. Tehnika istraživačke analize može se koristiti na gotovo svim skupovima multivarijabilnih podataka, ali istraživač u svakom trenutku mora biti svjestan da metoda samo prepoznaje strukture ili uzorke i da eventualne zaključke tek treba potvrditi. Korisnost i najvažniji prinosi primjene te istraživačke analize podataka su (BIRKS, 1987a):

- *pojednostavljanje i reduciranje podataka* - multivarijabilni podaci su često toliko složeni da postaju nerazumljivi, pa multivarijabilne analize pomažu pri otkrivanju odnosa i uzoraka unutar skupova složenih podataka, odnosno, omogućuju da se vidi "drvo od šume";
- *prikaz i opis složenih podataka* - ako se podaci prikazuju samo u tablicama lako je previdjeti neke zakonitosti i uzorke među podacima;
- *stvaranje hipoteza i predviđanje* - ako se sažimanjem podataka dobije odgovarajući rezultat to može potaći razna predviđanja i postavljanje hipoteze kojom će se objasniti taj uzorak, čak iako uzorak na prvi pogled nema statistički značaj, budući je ljudska misao izuzetno prilagodljiva pa će često smisliti primjereno objašnjenje;
- *istraživanje podataka* - korisno je ako se analiziranjem postojećeg skupa podataka uoči gdje bi se mogli sakupiti najkorisniji novi podaci;
- *razumljivost* - pojednostavljivanjem i sažimanjem uzoraka u složenim skupovima, multivarijabilna analiza može pomoći u priopćavanju prevodenjem rezultata iz obimne i često nerazumljive skupine podataka u formu lako razumljivu i nestručnjacima;
- *ponovljivost* - tehnike za analizu multivarijabilnih podataka su učinkovite i omogućuju brzu i preciznu obradu velikih skupina podataka na način da se mogu ponoviti uz pretpostavku da različiti istraživači koriste iste podatke i istu matematičku metodu;
- *jasnoća ciljeva i pretpostavki* - budući se radi o matematičkim disciplinama istraživač mora biti jasan i određen u svezi sa svojim ciljevima, interesima, metodama i pretpostavkama.

Statističke su metode široko primjenjive u palinologiji. Koriste se, primjerice, kod odredbe starosti. U sedimentima Paratethysa kroz cijeli su miocen u velikoj mjeri zastupljeni isti rodovi peludi i spora, što otežava odredbu starosti, no jedan od načina stratigrafske razdiobe je statistička obrada podataka kojom se iz međusobnog odnosa tropskih, suprotropskih i taksona znakovitih za umjereniju klimu mogu ti sedimenti i kronostratigrafski odrediti. Statistika u palinologiji primjenjuje se još češće pri odredbi ekoloških parametara, sredine i načina sedimentacije i sl. Zastupljenost određenih taksona govori nam o paleoklimi, paleovegetaciji, paleoreljefu, nadmorskoj visini područja na kojem je biljka rasla. Iz odnosa zastupljenosti spora i peludi u uzorku može se zaključiti o relativnoj udaljenosti ondašnjeg mjesta taloženja od linije paleoobale i drugo.

Do nedavno su se statističkim metodama samo usvajale ili odbacivale određene postavljene hipoteze i modeli. Klasičnim su se proučavanjima fosilnih populacija (u paleontologiji temeljne statističke populacije) i razlika sa živućim populacijama uspoređivale varijance, određivale linije regresije, diskriminantne funkcije i slično. No, danas se smatra da u analizi statističkih podataka postoji nešto više nego što je jednostavno testiranje hipoteza i trend je sve intenzivnijeg korištenja novih metoda. Činjenica je da su brojni multivarijabilni podaci sadržani u stratigrafiji. Primjerice, tu su biostratigrafski podaci koji uključuju odredbu brojnosti različitih tipova fosila; morfometrijski podaci, podaci o dimenzijama i mjerama nekog fosila; litostratigrafski podaci koji uključuju odredbu sastava sedimenta; geokemijski podaci, koji uključuju odredbu različitih kemijskih parametara; geofizički podaci, odnosno, podaci o fizikalnim osobinama sedimenta; izotopni podaci, podaci koji utvrđuju omjer stabilnih izotopa. Multivarijabilnim analizama multivarijabilnih podataka, uz neizostavno uvažavanje vrhovnog stratigrafskog principa redanja uzoraka po dubini a time i starosti, omogućena je razdioba ili zoniranje, usporedba i korelacija podataka, utvrđivanje stratigrafskih modela i prepoznavanje odnosa između različitih parametara iste sekvencije, te spoznaja o mnogim drugim korisnim geološkim saznanjima (BIRKS, 1987b).

5. PRIKAZ PODATAKA

Podaci o peludi i sporama iz stratificiranih sedimenta uobičajeno se prikazuju grafički u obliku peludnog dijagrama. Peludni dijagrami se pojavljuju u različitom opsegu i raznih su formi kod različitih istraživača. Zato postoje neke konvencije koje omogućavaju jednostavnu komparaciju tih dijagrama. Dakle, nekoliko je dogovorenih pravila i postavki prema kojima bi trebalo načiniti peludne dijagrame (MOOR et al., 1991):

- *uređenje* - vertikalnim osima se predstavljaju dubine, a horizontalnim količine taksona sporomorfi, u proporcionalnom ili apsolutnom obliku;
- *stratigrafija* - stratigrafski slijed sedimenta se prikazuje grafički, vertikalnim stupom na lijevoj strani (ovo je važan dio peludnog dijagrama i ne bi ga trebalo izostavljati, jer daje informacije koje mogu biti presudne za odgovarajuću interpretaciju peludnih krivulja);
- *peludne krivulje* - odnosi različitih tipova peludi i spora se označavaju na svakom nivou uzorkovanja *bar* histogramom ili točkom na neprekidnoj liniji (oba se načina često preklapaju);
- *skala zastupljenosti peludi* - horizontalne skale peludnih odnosa trebale bi biti konzistentne kroz cijeli dijagram, ili tamo gdje manje značajne komponente treba naglasiti, pojedine varijacije u horizontalnoj skali treba učiniti jasno vidljivima;
- *slaganje taksonomskih jedinica* - uobičajeno je da se peludni dijagram izradi prema skupinama taksonomskih jedinica, i to prvo stablašice, zatim grmlje, pa nisko raslinje, suhozemne trave, vodeno bilje i na kraju spore (mnogi su autori dijagrama prekinuli s tradicijom i slažu taksonomske jedinice u punom smislu kao ekološke skupine);
- *ostali podaci* - uključivanje podataka iz drugih izvora, a ne samo peludi i spora, dragocjeno je za peludne dijagrame (različiti mikrofosili, kao što su alge, ostaci gljiva, rizopodi, itd., pridonose interpretaciji detalja uočenih u peludnom zapisu, a što se onda odražava na razumijevanju lokalnih uvjeta određenog okoliša);
- *raznolikost* - u slučajevima povećanja broja taksona koristi se indeks raznolikosti, odnosno indeks koji uzima u obzir i obogaćivanje i ravnomjernost u podacima o peludi;
- *skupni dijagram* - korisno je ugraditi u peludni dijagram skupni grafikon koji grafički prikazuje način na koji se ukupni zbroj dijeli na komponente: stablašica, grmolikog bilja, niskog raslinja i zeljastog bilja na svakom nivou, što omogućuje da se već pri letimičnom pogledu uoče glavni pomaci u, na primjer, omjeru peludi stablašica i nestablašica, što može biti od važnosti u zonaciji i interpretaciji peludnog dijagrama.

Uobičajeno je, a i prikladno, dijeliti peludni dijagram u serije po zonama na temelju sadržaja peludi. Horizontalne linije se crtaju preko dijagrama tako da ga dijele u niz jedinica odnosno peludnih zona. Tako bi prema peludnom sadržaju trebalo jednostavno odrediti kriterije raspodjele, bez uzimanja u obzir vremenske skale, odnosno, sedimentne stratigrafije, bez izvođenja zaključaka u vezi s klimom u prošlosti, vegetacijom itd. Drugim riječima, peludna zona bi trebala biti *biostratigrafska jedinica*, jedinica definirana isključivo peludnim sadržajem.

Za prepoznavanje i utvrđivanje odgovarajućih granica peludne zone dostupne su mnoge različite statističke metode (BIRKS & GORDON, 1985). Ove metode palinolozima pružaju alat koji omogućuje da se izbjeg-

ne većina osobnih sklonosti i interpretativnih predrasuda, kako bi se analizama polučili isti, ponovljivi rezultati i zaključci, bez obzira na osobno istraživačko iskustvo. Naravno da je kompjuterizacija, odnosno, razvoj i primjena kompjuterskih programa umnogome olakšala posao. Takav jedan kompjuterski program je i POLPAL (WALANUS & NALEPKA, 1999) koji se koristi u Odjelu za biostratigrafiju u PJ Laboratorij INA-Naftaplina. POLPAL je program za obradu i brojanje sporomorfni, tabelarno pohranjivanje i grafičko prikazivanje podataka dobivenih numeričkim analitičkim metodama. POLPAL izračunava i grafički prikazuje podatke dobivene ConSLink (**C**onstrained **S**ingle **L**ink) analizom klastera, podatke dobivene analizom glavnih komponenti (Principal Component Analysis), komparativnom analizom utvrđenih taksona "razrijeđenih" do najniže sume (Rarefaction Analysis), analizom matrica sličnosti uzoraka (Samples Similarity Matrix) i analizom ekoloških pokazatelja (Ecological indicators).

6. ZAKLJUČAK

Jedna od osnovnih karakteristika živog svijeta, ako ne i glavna, je komunikacija među jedinkama i skupinama jedinki istih, a ponekad i različitih vrsta. Što je organizam na višem stupnju razvoja, potreba za komunikacijom i mogućnost prenošenja misli je veća, pa to i čini čovjeka najsavršenijim bićem na zemlji. Kada se radi o komunikaciji u znanosti, dakle prijenosu intelektualnih i kreativnih zamisli i rješenja od jednog ili više ljudi prema drugom ili drugima, onda to može biti prilično mukotrpan i nerazumljiv proces, pogotovo ako se odvija među ljudima različitog nivoa ili načina razmišljanja. Stoga je, da bi se lakše razumjeli, provjerili i eventualno ponovili rezultati nekog rada, potrebno koristiti neki sustav koji je jasan, razumljiv i jednak za sve. Takav sustav je matematika, odnosno, statistika. Brojevi su jednostavni, prihvatljivi, razumljivi i sugestivni. U znanostima kakve su biologija i geologija, odnosno, palinologija i paleontologija, kod kojih su podaci o proučavanim pojavama složeni i višestruki, numeričke su, statističke metode, vrijedna pomoć pri stručnom i znanstvenom radu. Statistika nam omogućuje da brojne prikupljene podatke, koji su često komplicirani i nerazumljivi, obradimo, usporedimo i svrstamo u skupine. Različitim se metodama iz tih podataka i skupina podataka uočavaju stanovite pravilnosti ili nepravilnosti i određuju zakonitosti na temelju kojih se može utvrditi unutarnja struktura neke pojave i objasniti uzrok. Nadalje, rezultat se istraživanja, opet pomoću statistike, može zainteresiranima prikazati u jednostavnom i lako razumljivom vizualnom grafičkom obliku. U današnje vrijeme eksplozivnog razvoja informatike brzo se razvijaju i specijalizirani programi za statističku obradu podataka. Jedan od takovih je kompjuterski program POLPAL, osmišljen za analizu i prezentaciju palinoloških podataka.

7. LITERATURA

- BIRKS, H.J.B. (1987a): Multivariate analysis in geology and geochemistry: an introduction.- *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2, 15-28, Amsterdam.
- BIRKS, H.J.B. (1987b): Multivariate analysis of stratigraphic data in geology: A review.- *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 2, 109-126, Amsterdam.
- BIRKS, H.J.B. & GORDON, A.D. (1985): Numerical methods in Quaternary pollen analysis.- *Academic Press*, London, 317 str.
- MOORE, P.D., WEBB J.A. & COLLINSON, M.E. (1991): Pollen analysis.- 2nd ed., *Blackwell Science*, Oxford, 216 str.
- PLANDEROVÁ, E. (1990): Miocene microflora of Slovak Central Paratethys and its biostratigraphical significance.- *Dionyz Štur Institute of Geology*, Bratislava, 144 str.
- SERDAR, V. (1966): Udžbenik statistike.- Školska knjiga, Zagreb, 381 str.
- WALANUS, A. & NALEPKA, D. (1999): POLPAL.- *W. Szafer Institute of Botany, Polish Academy of Sciences*, Cracow.





Mikrofosilne zajednice sarmatskih naslaga iz nekih bušotina Panonskog bazena

Microfossil Assemblages of the Sarmatian Sediments from Some Wells in the Pannonian Basin

Annemarie **BRODARIĆ**, Terezija **VLAHOVIĆ**, Danica **MILETIĆ** &
Morana **HERNITZ-KUČENJAK**

Ključne riječi: Panonski bazen, sarmat, biostratigrafija.

Key words: Pannonian basin, Sarmatian, Biostratigraphy.

Sažetak

Iz uzoraka stijena bušotina Bršadin-1, Bizovac-14H, Novaki Bizovački-1, Piškorevci-1, Bujavica-12, Velika Barna-1 i Sveta Jana-1, paleontološkim analizama utvrđeni mikrofosili i makrofosili sarmatske su starosti. Nalaz rijetke vrste *Semseya lamellata* značajan je biostratigrafski podatak, budući je ona isključivo vezana za niže slojeve donjeg sarmata. Kako su u njemu česti ostaci badenske mikrofaune, ona kao provodni mikrofosil ukazuje na kontinuiranu sedimentaciju badena u sarmat kao u bušotinama Sveta Jana-1, Velika Barna-1 i Bujavica-12. Naslage iz kojih su izdvojeni uzorci izgrađene su od sitnozrnatih pješčenjaka, konglomeratičnih pješčenjaka, konglomerata, pjeskovitih i lističavih lapora i biokalkarenita. U njima dobro očuvane mikrofosilne zajednice bentičkih foraminifera, od kojih su dominantni elfidiji s provodnim vrstama *Elphidium hauerinum*, *E. josephinum* i *E. reginum*, upućuju da se taloženje sedimenta odvijalo u prijelaznom marinsko-brakičnom okolišu s promjenjivom energijom vode te progresijom oslađivanja.

Abstract

By means of the micropaleontological analysis of the sediments from some wells in the Pannonian Basin (Bršadin-1, Bizovac-14H, Novaki Bizovački-1, Piškorevci-1, Bujavica-12, Velika Barna-1 and Sveta Jana-1), microfossils and macrofossils of the Sarmatian age have been evidenced. The record of very rare and important *Semseya lamellata* is significant biostratigraphical data for the lowest part of the lower Sarmatian. Since the reworked Badenian microfauna is common in the Sarmatian sediments *Semseya lamellata* shows that the continuous sedimentation took place in the wells Sveta Jana-1, Velika Barna-1 and Bujavica-12. The sediments, from which the samples were separated, are built of fine-grained sandstones, conglomeratic sandstones, conglomerate, sandy and laminated marls and biocalcarene. Very well preserved microfossil assemblages of benthic foraminifera where elphids are dominant, with index species *Elphidium hauerinum*, *E. josephinum* and *E. reginum*, indicate the marine-brackish environment with various water energy and progressive reduction in salinity.

1. UVOD

Svrha ovoga rada je prikazati veoma dobro očuvane i bogate fosilne zajednice sarmatske starosti u naslagama koje su otkrivene prilikom istražnih bušenja u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Na dobivenim uzorcima iz bušotina Bršadin-1, Bizovac-14H, Novaki Bizovački-1, Piškorevci-1, Bujavica-12, Velika Barna-1 i Sveta Jana-1, provedene su detaljne mikropaleontološke analize. Debljine sarmatskih naslaga su uglavnom male pa ih je vrlo teško registrirati u bušotinama, osim ako nisu jače fosiliferne ili veće debljine (Sveta Jana-1, cca 100 m). Zbog bogatog fosilnog sadržaja i raznolikih litoloških karakteristika sarmatske su naslage dosta opisivane u našoj geološkoj literaturi, ali uglavnom s površinskih izdanaka (ŠIKIĆ, 1967; 1975). U novijim rado-

vima (AVANIĆ et al., 1995; VRSALJKO et al., 1995; PAVELIĆ et al., 1995) detaljno su opisani sarmatski izdanci s nekoliko lokaliteta Medvednice.

2. METODE RADA

Naslage sarmata sastoje se uglavnom od relativno mekanih i slabo vezanih klastičnih sedimentata pa se najčešće koristila metoda razmuljivanja ("šlemanja") da bi se dobile cijele forme mikrofosila za analize pod mikroskopom s reflektirajućim svjetlom. Pojedini, malo čvršći uzorci stijena obrađeni su metodom tankih izbrusaka te su tako dobiveni presjeci mikrofosila analizirani pod mikroskopom s prolaznim svjetlom. Osobito lijepi primjerci bentičkih foraminifera dobiveni metodom raz-

muljivanja analizirani su i na Philipsovom elektronskom mikroskopu SEM-515 u PJ Laboratorij INA-Naftaplina u Zagrebu.

3. BIOSTRATIGRAFIJA

Sarmatske klastične naslage karakterizirane su izmjenom sitnozrnatih pješčenjaka, konglomeratičnih pješčenjaka, konglomerata, pjeskovitih lapora, lističavih lapora i pjeskovitih biokalkarenita. U njima su nađene bentičke foraminifere, karakteristični mekušci i palinomorfe.

Donja granica donjeg dijela sarmata određena je prvom pojavom rijetke, vrlo značajne provodne vrste *Semseya lamellata* FRANZENAU (ŠIKIĆ, 1975) i to u bušotinama Velika Barna-1, Bujavica-12 i Piškorevci-1. U najdonjim slojevima sarmata još uvijek se može naći pretaloženih marinskih badenskih vrsta foraminifera na pr. *Elphidium crispum* (LINNÉ), *Nonion soldanii* (D'ORBIGNY), *Bulimina elongata* D'ORBIGNY, *Asterigerina planorbis* D'ORBIGNY, *Bolivina antiqua* D'ORBIGNY, a često i zaobljeni fragmenti alge *Lithothamnium*. Zadnje pojavljivanje vrste *Protelphidium subgranosum* (D'ORBIGNY) označava viši dio donjeg sarmata (ŠIKIĆ, 1975), a nađen je samo u bušotini Sveta Jana-1.

U materijalu iz većine istraživanih bušotina mikropaleontološkim analizama utvrđena je vrlo brojna i raznolika fosilna zajednica bentičkih foraminifera. Oblicima i brojnošću vrsta i jedinki prevladavaju karakteristični sarmatski elfidiji: *Elphidium aculeatum* (D'ORBIGNY), *E. josephinum* (D'ORBIGNY), *E. reginum* (D'ORBIGNY), *E. hauerinum* (D'ORBIGNY), te elfidiji nešto šireg stratigrafskog raspona *E. fichtelianum* (D'ORBIGNY), *E. rugosum* (D'ORBIGNY), *E. crispum* (LINNÉ), *E. macellum* (FICHTEL & MOLL) i *Protelphidium subgranosum* (D'ORBIGNY).

Osim njih prisutni su i nonionidi *Nonion tumidulus* PISHVANOVNA i *N. serenus* VENGLINSKI te vrste *Anomalinoidea badenensis* (D'ORBIGNY) i *Ammonia beccarii* (LINNÉ) u bušotinama Bujavica-12, Velika Barna-1 i Sveta Jana-1.

Od imperforatnih foraminifera, u bušotinama Bizovac-14H, Novaki Bizovački-1, Bujavica-12 i Sveta Jana-1, prisutne su i miliolide: *Quinqueloculina akneriana elongata* GERKE, *Q. cf. fluviata* VENGLINSKI, *Trilocolina* sp. te *Articulina cf. sarmatica* (KARRER) i *A. cf. tamanica* BOGDANOWICZ.

U bušotini Bujavica-12 nađena je *Nodobaculariella cf. transcarpatica* VENGLINSKI, a u bušotini Piškorevci-1 *Nubecularia novorossica* (KARRER & SINZOW). Nubekularije dolaze u mladem dijelu sarmata s. str., a posebno su karakteristične za gornje ervilija slojeve (VRSALJKO et al., 1995; AVANIĆ et al., 1995).

Sarmatske naslage obiluju i mekušcima, a izdvojene su slijedeće vrste: *Hydrobia stagnalis andrusovi* HILBER, *Valvata simplex* FUCHS, *Gibbula depressa* JEK-

ELIUS, *Cerastoderma* sp., *Calliostoma* sp., *Acmaea sacceni* JEKELIUS i rijetki otisci sitnijih školjaka *Cardium* sp. i *Ervilia* sp. u bušotinama Piškorevci-1, Sveta Jana-1 i Velika Barna-1.

Iako palinološkim analizama u bušotini Velika Barna-1 nije utvrđen index fosil *Spiniferites bentori budajenoensis*, može se na temelju nalaza vrste *Mecsekia incrassata* i *M. orientalis* s velikom sigurnošću pretpostaviti pripadnost biocenoze biozoni *Mecsekia incrassata* / *Spiniferites bentori budajenoensis*, odnosno sarmatska starost sedimenta (KRIZMANIĆ, neobjavljeno).

Navedeni slijed foraminiferskih zajednica s nubekularijama i miliolidama, te slatkovodnim mekušcima u najgornjim slojevima, ukazuje kako se tijekom sarmata mikrofauna mijenjala od marinske preko brakične do slatkovodne, što je povezano s oplićavanjem i oslađivanjem zaostalnih sedimentacijskih prostora u ovom dijelu Panonskog bazena zbog slabljenja veze s Paratetisom (PAPP et al., 1974).

4. PALEOEKOLOGIJA

Navedeni mikro i makrofosili sarmata sačinjavali su zajednice koje su pripadale različitim paleoekološkim nišama. Vezane su uglavnom za pjeskovita dna manjih dubina (plitka pjeskovita dna). Indikatori su toplijih marinsko-brakičnih sredina s bujnom vegetacijom i povoljnim životnim uvjetima, pa obiluju različitim vrstama, a primjerci su većih dimenzija.

Početak sarmata dolazi do prekida veze s otvorenim morem (PAPP et al., 1974), pa u mikrofosilnoj zajednici nedostaju planktonske foraminifere, a neke marinske vrste bentičkih foraminifera još prevladavaju nad brakičnima (RÖGL, 1985). To su vrste roda *Elphidium*, epifaunalni, herbivorni elfidiji s kilom, koji su živjeli slobodno na algalnim livadama pjeskovitih dna, ili oni infaunalni, bez kila, s muljevito-pjeskovitih staništa. S takvih mekanih supstrata poznati su i infaunalni, herbivorni rodovi *Nonion* i *Ammonia* te epifaunalni rodovi miliolida *Trilocolina* i *Quinqueloculina* koji se mogu slobodno kretati ili se pričvrstiti, prilijepiti za sediment, travu ili slično (MURRAY, 1991).

Sve jačim oslađivanjem i sve većom izolacijom sarmatskog mora dolazi do pojavljivanja i brzog izumiranja nekih vrsta (*Semseya lamellata* FRANZENAU; ŠIKIĆ, 1975), ili prilagodavanja zatečenih organizama na novonastale brakične uvjete. Tako se na račun neprilagođenih vrsta sve više razvijaju detrivorni organizmi koji naseljavaju mirnije zaštićene plićake: elfidiji bez kila, miliolide-trilokuline i amonije. U istom okolišu s navedenim bentičkim foraminiferama živjeli su i mekušci tankih, nježnih ljušturica.

U rubnim, priobalnim dijelovima okoliša s promjenjivom energijom vode pojavljuje se nova vrsta bentičkih foraminifera *Nubecularia novorossica* (KARRER & SINZOW) na račun vrsta koje se nisu mogle prilagoditi novonastalim uvjetima. U istom okolišu nalaze se i

mekušci debljih, ornamentiranih ljuštura, inkrustirani korjenčići bilja, biljno trunje i polen proksimalnog faci-esa.

Istovremeno su stvorene i lagune s mirnom vodom, povećanim salinitetom vode s umjereno reduktivnim uvjetima, a nastanjene su quinquelokulinama, svugdje prisutnim eurihalnim elfidijama i amonijama te ostrakodima.

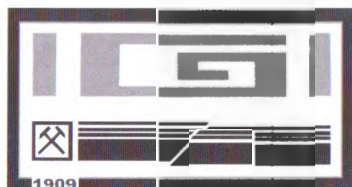
Ingresijom tijekom mladog sarmata u nekim je područjima došlo do potpunog oslađivanja, na što ukazuju nalazi slatkovodnih pužica *Hydrobia* i *Valvata* (PAPP et al., 1974), a promjene okoliša s tendencijom oslađivanja nastavljaju se i tijekom panona (RÖGL, 1985).

5. ZAKLJUČAK

Sedimenti sarmatske starosti nabušeni su u nekoliko bušotina u hrvatskom dijelu Panonskog bazena: Bršadin-1, Bizovac-14H, Novaki Bizovački-1, Piškorevci-1, Bujavica-12, Velika Barna-1 i Sveta Jana-1. Iz relativno mekih i slabo vezanih klastičnih sedimenata izdvojene su bogate fosilne zajednice. U većem dijelu istraživog područja od mikrofaune najzastupljenije su raznolike bentičke foraminifere od kojih su najbrojniji elfidiji. Posebno obilježje zajednici daju rijetki nalazi vrlo važne provodne vrste *Semseya lamellata* koji ukazuju na kontinuirani prijelaz badenskih naslaga u sarmatske (ŠIKIĆ, 1975). Osebniji razvoj navedenih bentičkih foraminifera s miliolidama i nubekularijama u vršnom dijelu naslaga, te raznolikost puževa i školjkaša ukazuje da se taloženje odvijalo u priobalnom marinsko-brakičnom okolišu s tendencijom oplićavanja i oslađivanja do kojeg je došlo uslijed slabljenja, odnosno prekida veze s Paratetisom (PAPP et al., 1974). Isto tako je vidljivo kako se i debljine sarmatskih naslaga smanjuju od zapada prema istoku. Sedimenti sarmata pripadaju rubnom području jugozapadnog dijela Panonskog sedimentacijskog bazena, a determinirana mikrofauna foraminifera odgovara onoj u Bečkom bazenu (PAPP et al., 1974).

6. LITERATURA

- AVANIĆ, R., BRKIĆ, M., MIKNIĆ, M., ŠIMUNIĆ, AI. & PAVELIĆ, D. (1995): Gornjobadske i sarmatske naslage gornje Kustošije.- U: ŠIKIĆ, K. (ur.): Geološki vodič Medvednice, 71-73, Institut za geološka istraživanja & INA, Zagreb.
- MURRAY, J.W. (1991): Ecology and palaeoecology of foraminifera.- Longman Scientific & Technical, Essex, New York.
- PAPP, A., MARINESCU, F. & SENEŠ, J. (1974): Sarmatien, Die Sarmatische Schichtengruppe und ihr Stratotypus.- U: Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der Zentralen Paratethys. Bd. IV, 701-707, Slovenskej akad., Bratislava.
- PAVELIĆ, D., AVANIĆ, R., VRSALJKO, D., BRKIĆ, M., MIKNIĆ, M. & ŠIMUNIĆ, AI. (1995): Priobalne naslage sarmata u zaseoku Šelendići.- U: ŠIKIĆ, K. (ur.): Geološki vodič Medvednice, 127-128, Institut za geološka istraživanja & INA, Zagreb.
- RÖGL, F. (1985): Late Oligocene and Miocene planktic foraminifera of the Central Paratethys.- U: BOLLI, H.M., SANDERS, J.B & PEARCH-NIELSEN, K. (ur.): Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press, 315-328, Cambridge.
- ŠIKIĆ, L. (1967): Torton i sarmat jugozapadnog dijela Medvednice na osnovu faune foraminifera.- Geol. vjesnik, 20, 213-227, Zagreb.
- ŠIKIĆ, L. (1975): *Semseya lamellata* FRANZENAU, 1893, provodna foraminifera donjeg sarmata.- Geol. vjesnik, 28, 143-151, Zagreb.
- VRSALJKO, D., ŠIMUNIĆ, AI. & MIKNIĆ, M. (1995): Naslage sarmata i panona kraj Krvarica.- U: ŠIKIĆ, K. (ur.): Geološki vodič Medvednice, 69-71, Institut za geološka istraživanja & INA, Zagreb.





Tertiary Deposits of Mórógy Hill (Hungary)

Géza CHIKÁN

Key words: Tertiary, Stratigraphy, Geological Mapping, South-Transdanubia, Hungary.

Abstract

We began geological mapping of Mórógy Hill in southern Hungary in 1996, using traditional field work methods. The basal rocks of this area are Lower Carboniferous granite (Mórógy Complex); we can find only Miocene sedimentary deposits in small depressions on the broken surface of the basement. The thickness of these deposits is about 300 m. This is a discontinuous section in which sedimentation was often interrupted as evidenced by many coarse-grained strata. In the section we can find the deposits of Lower Miocene Szászvár Formation, Middle Miocene Budafa and Pécsszabolcs Formations, and Upper Miocene Tinnye Formation and Dunántúl Group. This section correlates strongly with the well-known Neogene deposits of South-Transdanubia.

INTRODUCTION

Mórógy Hill lies in southwestern Hungary, in the southeast foreground of the Mecsek Mountains (Fig. 1). The core of this hill consists of Lower Carboniferous granite and is covered by Tertiary and Quaternary deposits of varying thickness. The survey of these young deposits has begun with conventional field work associated with the low and intermediate radioactive waste disposal of Paks NPP. My colleagues and I have worked in this area since 1996 (CHIKÁN, 1997) and the results of our survey of Tertiary deposits are presented here.

TERTIARY DEPOSITS

The Tertiary sequence of rocks in this area is restricted to the Miocene series. The oldest part of this sequence is the 20 Ma Szászvár Formation (GYALOG, 1997); the youngest part is the 5 Ma Dunántúl Group. The entire thickness of the Neogene sequence is 300 meters (Fig. 2). The sequence thins outwardly to the margins (central part of the granitic mass) and thickens

toward the inner part of the basin (south foreground of the granitic mass).

Erosion continued in the area just before the Lower Miocene. Intensive fluvial clastic transport caused by uplifting of the south foreground progressed from south to north during the Lower Miocene. The result of the fluvial activity was partly erosion, partly formation of fluvial deposits (at Lovászhetény, Figs. 3 and 4, and SE from Erdősmecke). These are partly channel, partly flood plain deposits. The composition and roundness of the gravel material indicate that the source area of the deposits is south of the region. Mesozoic limestone and Paleozoic quartz-porphyry and granite from the Villány Mountains with quartz and quartzite are the main constituents of the gravel, and the roundness of the clasts is commensurate with about 30 km of transport. These deposits are variable-grained, but are primarily coarse-grained, angular sand, unconsolidated sandstone, and conglomerate strata with cross bedding in the outcrop near Lovászhetény. Some grains are limonitic, colored reddish-brown, and some (especially in the upper part of the outcrop) have a carbonate crust. Thicknesses of the strata are variable: conglomerate layers are 20-30 cm; sandy intercalations are several centimeters thick. There are no fossils. There is a 1 m thick layer of reworked sediment at the upper part of the outcrop that has dip-directional bedding, and it seems microlaminated from rhythmic carbonate precipitation of Pleistocene age. Flood plain sediments of this fluvial sequence are observable SE of Erdősmecke. Greenish-grey, tuffaceous clayey silt with coarse-grained mica sand and pebbles overlies thin, subangular granitic debris, and it contains a 30-cm thick, weathered rhyolite tuff intercalation.

There are no Lower Miocene strata that belong to the Szászvár Formation in sections of earlier drilled boreholes in this area, therefore we can only estimate their thickness to be about 50-80 m.

Paleomorphologic conditions changed shortly after the Lower Miocene sedimentation: the area lying south of Mórógy Hill was higher, but the open-water basin was very close; therefore delta sediments gradually took the place of fluvial strata. The material of the Karpatian sediments was not transported very far: its grav-

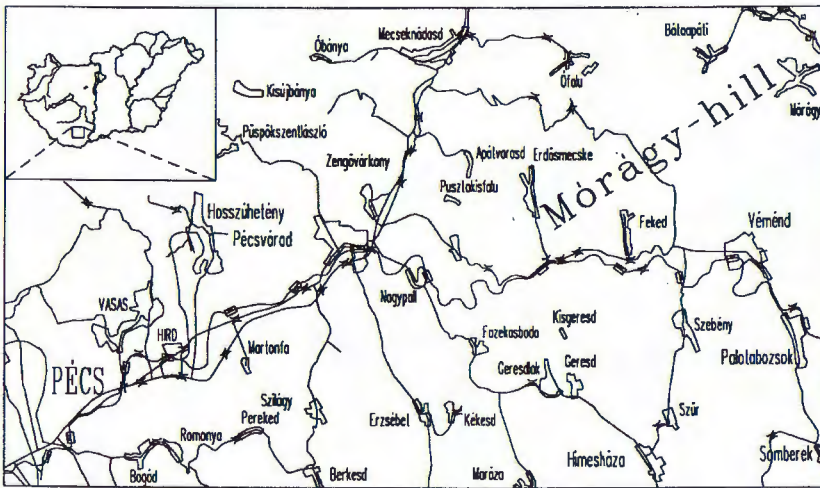


Fig. 1 Position of Mórág Hill.

els are less rounded, like pebbles of the Lower Miocene strata, and they do not contain rock types associated with the Villányi Mountains. During this period the material of the deposits was coming from the granitic basement. There is coarse-grained debris and finer, sandy-grained detritus of granite in the lower part of the Karpatian sequence (Fig. 5). One of the small basins that formed over the granitic basement is at Feked, where we can find a typical sequence (Figs. 6 and 7) from fluvial to delta facies. Medium- to coarse-grained, cross-bedded sand with large, stable sandstone blocks form the lower strata in this sand quarry. There are weathered, broken *Congeria* fragments in the sandstone. Sandstone blocks are in the lower one-third of the outcrop; above this part the sandstone with *Congeria* forms a definite overburden layer of fine-grained, cross-bedded sand with feldspar. Overlying approxi-

mately 3 meter of Karpatian sand is Upper Pannonian arkosic sand similar to the underlying bed, containing a thin basal conglomerate layer. The difference between dip angles is significant. Transition from fluvial to delta facies of sequence is observable in a railway cut SE of Erdősmecke. There we can find a similar sand-sandstone sequence, but that layer contains *Ostrea* shells and marine Mammalian bones. At the same time in the lagoon, in dead water biotope were formed silty clay, tuffaceous clay, and diatomaceous clay marl. The Karpatian deposits belong to the Budafa Formation and its thickness is about 80-120 meters.

Because of earlier subsidence, a sea formed in Lower Badenian. Marine sandstone, calcareous sandstone, sandy limestone with shells of *Pecten* and other marine bivalves overlie the Karpatian delta sediments. Those deposits are also found in areas where no Mioce-

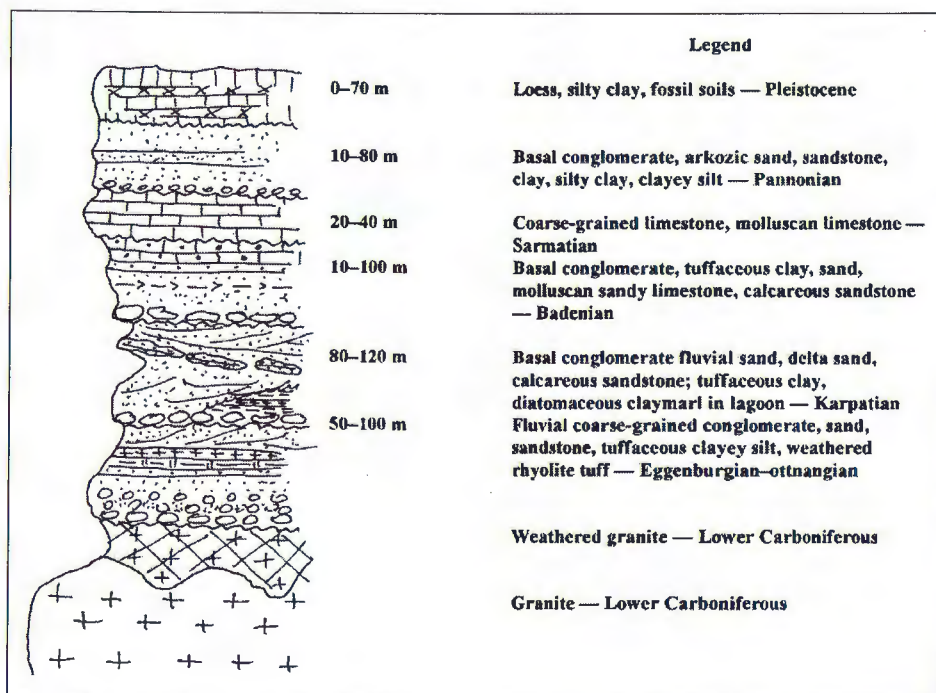


Fig. 2 Tertiary sediments of Mórág Hill.

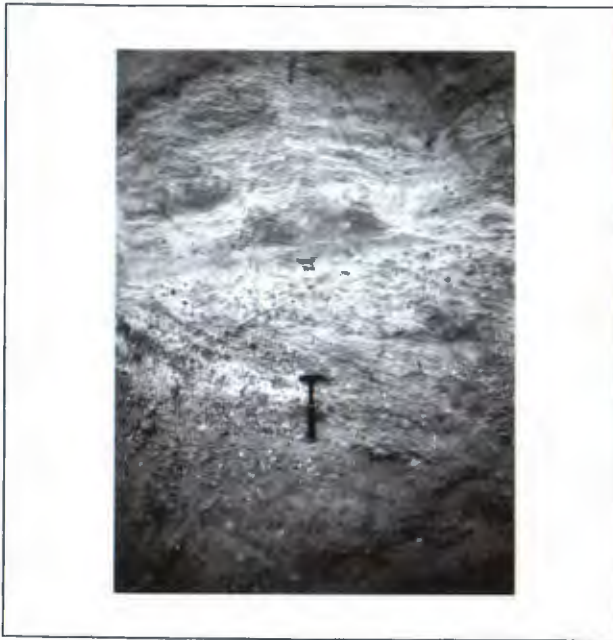


Fig. 3 Lower Miocene fluvial strata near Lovászhetény.

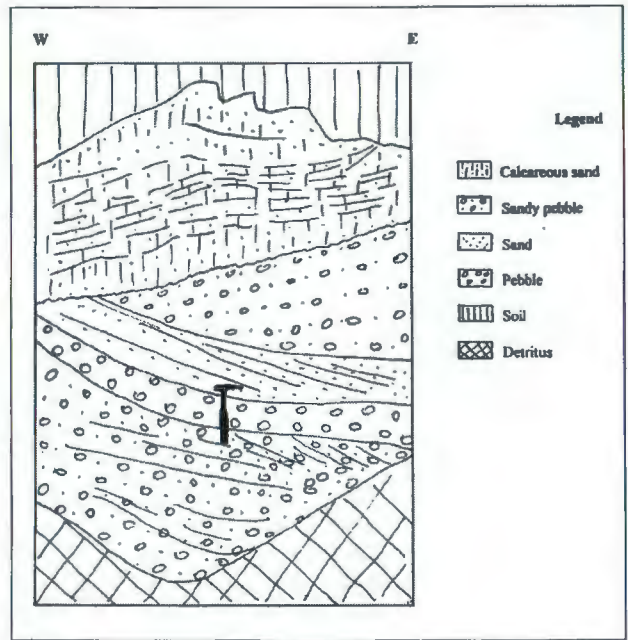


Fig. 4 Lower Miocene fluvial sediments near Lovászhetény.



Fig. 5 Coarse-grained granitic gravel near Erdősmecke.

ne sediments were deposited at the earlier time. We can see such a sequence near Fazekasboda (Figs. 8 and 9). The base of the sequence is weathered granite. The first Miocene layer is basal conglomerate; the second is coarse grained sand; the third is tuffaceous clay; and the top of the sequence is sandy limestone and calcareous sandstone with marine Badenian fauna. The Badenian strata belong to the Pécsszabolcs Formation and their thickness is 10-80 meters.

Relatively thin shallow marine reef limestone was formed in Upper Badenian and Sarmatian in the area; the thickness of this stratum is up to 40 meters, increasing to the south.

At the end of Sarmatian time the area was uplifted, and Lower Pannonian sediments were only found far from the margins of the basin. New subsidence occurred during the Upper Pannonian: sediments, formed in brackish and limnic lacustrine water, consist of detritus of Miocene sediments and Paleozoic granite. The sequence generally begins with basal conglomerate, and arkosic sand of significant thickness overlies this horizon. The overlying fine-grained sediments (silty clay, clayey silt) signify the filling of the basin. This process is evident in the section of the Himesháza sand-quarry (Figs. 10 and 11), where not only the stratigraphy, but also the results of tectonic effects can be easily observed.

CONCLUSION

The Neogene sequence of Mórág Hill correlates with well-known sections of South-Transdanubia (CHIKÁN, 1991, HÁMOR, 1970). Its distinctive characteristics are the gaps derived from paleomorphological



Fig. 6 Sand-quarry near Feked.

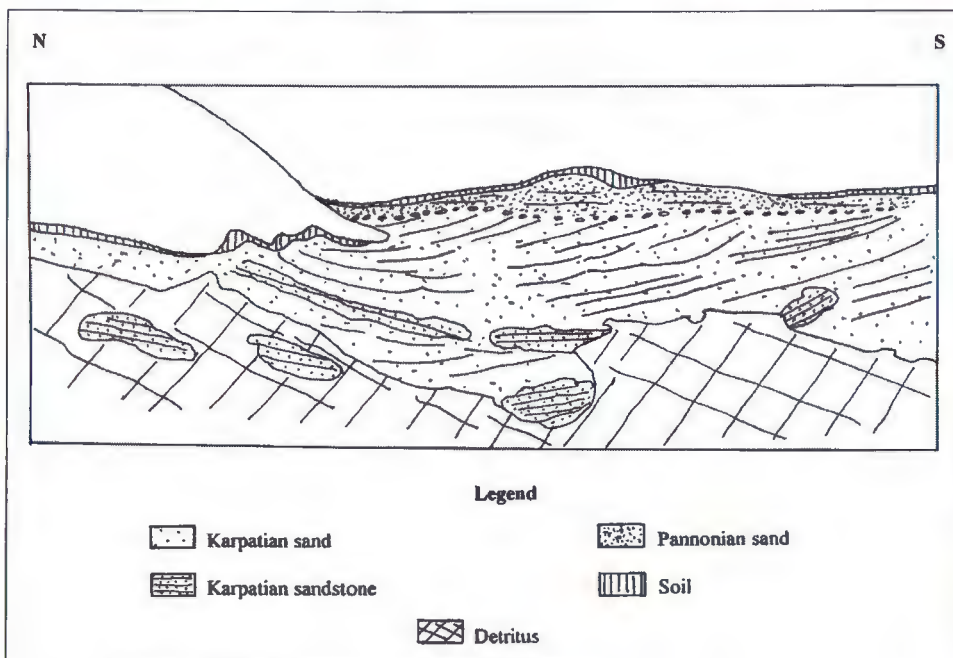


Fig. 7 Feked, section of sand-quarry.

conditions: this was a source area during most of the Neogene and sediments were deposited only in smaller basins. Extreme environmental changes occurred in these basins: many coarse-grained strata show frequent uplifting and subsidence, and these movements were related to paleogeographical changes and tectonic events.

Acknowledgement

Sponsored by OTKA T 025202.
Special thanks to Greg Lee (Denver, USA).

REFERENCES

- CHIKÁN, G. (1991): Die kánozoischen Ablagerungen des westlichen Mecsekgebirges.- *Annales Instituti Geologici Publici Hungarici*, LXXII, 89-281, Budapest.
- CHIKÁN, G. (1997): Role and significance of the geological mapping in site exploration.- *Relationes Annuae Instituti Geologici Publici Hungarici*, 1996/II, 47-51, Budapest.
- GYALOG, L. (1997): Basic lithostratigraphic units of Hungary.- Geological Institute of Hungary, Budapest, 114 p.
- HÁMOR, G. (1970): Das Miozän des östlichen Mecsek-Gebirges.- *Annales Instituti Geologici Publici Hungarici*, LIII, 373-483, Budapest.



Fig. 8 Fazekasboda, sand-quarry.

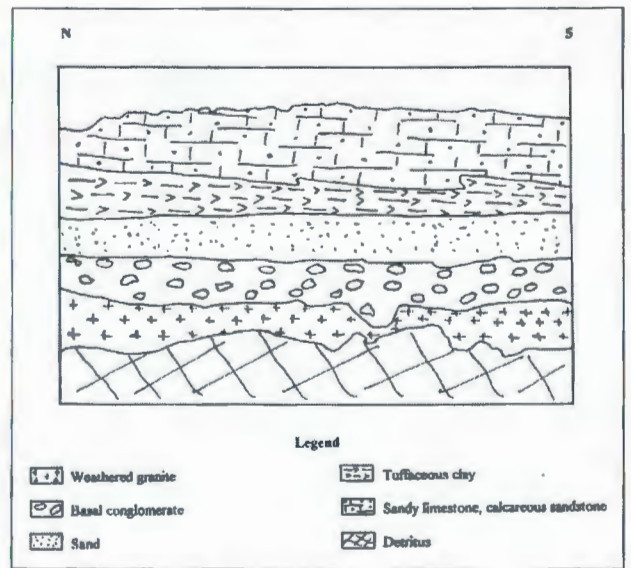


Fig. 9 Fazekasboda, section of sand-quarry.



Fig. 10 Himesháza, sand-quarry.

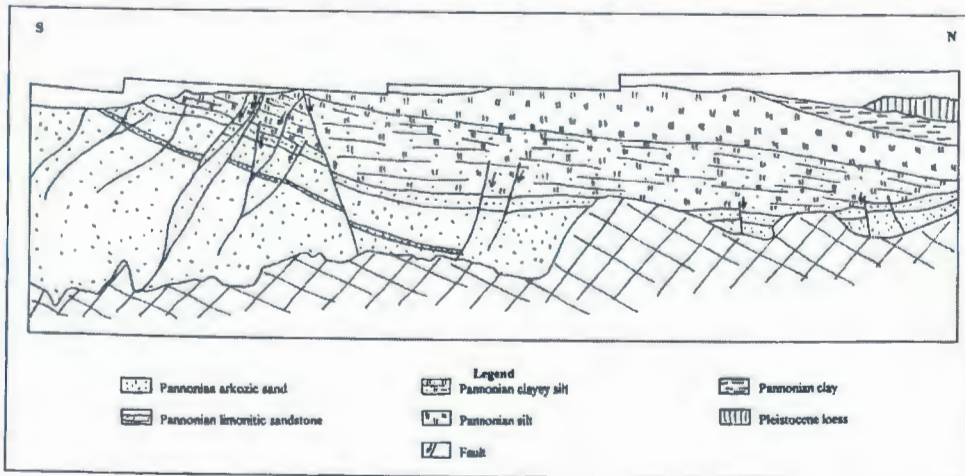


Fig. 11 Himesháza, section of sand-quarry.





First Record of Hauterivian Dinosaur Footprints in Southern Istria (Croatia)

Fabio DALLA VECCHIA¹, Alceo TARLAO¹, Maurizio TENTOR¹, Giorgio TUNIS²
& Sandro VENTURINI³

Key words: Dinosaurs, Footprints, Hauterivian, Istria, Croatia.

Abstract

Carbonate deposits of Hauterivian age outcropping along the western coast of southern Istria, between Cisterna Bay and Cape Gustinja (south of Rovinj), are briefly described herein. This section, about 70 m thick, presents three surfaces with clear dinosaur footprints and some probable "dinoturbated" layers. The two main footprint-bearing surfaces represent trampled areas where most of the footprints may belong to sauropods. Some of them are clearly sauropod pedal prints. A third level present a short track of a middle-large sized bipedal dinosaur. Some layers of the section contain floral and faunal assemblages typical of brackish/palustrine and lacustrine settings. The footprints found at Cape Gustinja are the oldest evidence of the dinosaurian presence in Istria and on the Cretaceous Periadriatic Carbonate Platforms too. They represent animals larger than those found in the Albian and like those testified on the Adriatic-Dinaric Carbonate Platform during the Hauterivian-late Barremian.

1. INTRODUCTION

During the researches carried out in the Istrian sites with dinosaur evidence, some trampled bed surfaces with footprints of large-size dinosaur were found by one of us (A.T.) along the western coast of southern Istria, nearby Cape Gustinja (Fig. 1). These footprints were stratigraphically located below the lacustrine deposits containing bones of sauropods (BOSCAROLLI et al., 1993; TUNIS et al., 1994; DINI et al., 1998; DALLA VECCHIA, 1998) of late Hauterivian-early Barremian age outcropping nearby Kolone. Following the list of the dinosaur sites described up to now (compare DALLA VECCHIA & TARLAO, 1995), the footprints of Cape Gustinja represent the oldest, undoubted evidence of dinosaurs on the Cretaceous Periadriatic Platforms.

For this reason, we have made a quick geological survey with the aim: (i) to frame the imprinted surfaces within the stratigraphic succession of southern Istria, (ii) to carry out stratigraphical-sedimentological analyses, mainly to recognize the short subaerial exposure episodes of the Adriatic-Dinaric Platform occurred during the Hauterivian and (iii) to lay the bases for future ichnological, taphonomic and paleogeographic researches.

2. THE STRATIGRAPHIC SECTION

The examined section is about 69 meters thick (Fig. 1). It begins at the southern boundary of the Cisterna Bay (N) and ends at Cape Gustinja (S). Fractured areas and faults, apparently of small throw, can be observed locally. North of the Cisterna Bay, the outcropping succession, about 50 meters thick, is characterized by whitish to light grey micritic limestones, often rich in stromatolitic horizons.

The thickness of beds ranges from 20 to 100 cm. North of Bačvice, the outcrop continuity is interrupted by faults and by severe paleokarstic and karstic phenomena. Northwards, tidalites, usually thinly bedded, are present close to the small harbour of the Veštar camping and to the nearby old quarry. These lithofacies recall the early Valanginian peritidal carbonates of the Šošići quarry section (TIŠLJAR et al., 1983; VELIĆ & TIŠLJAR, 1987; VELIĆ et al., 1995). Some thin sections show characteristic microfacies, represented by mudstones and peloidal wackestones with common *Favreina salevensis* BRÖNNIMAN.

The examined section consists of limestones arranged in decimetric-metric-thick beds (the most represented thickness is 50-60 cm) composed of fossiliferous and peloidal mudstones-wackestones with subordinate peloidal, pellettiferous and fossiliferous packstones. Episodes of subaerial exposure are documented by frequent desiccation structures. Mud cracks, rare stromatolites, wave ripples and lensoidal geometries of some beds (which may indicate small amplitude bars or mounds) have been observed at outcrop scale.

¹ Museo Paleontologico Cittadino, via Valentinis, 134, I-34134 Monfalcone, Italia.

² Dip. Sc. Geol. Amb. Marine, Università di Trieste, via Weiss, 2, I-34127 Trieste, Italia.

³ Agip DIRA, I-48100 Marina di Ravenna, Italia.

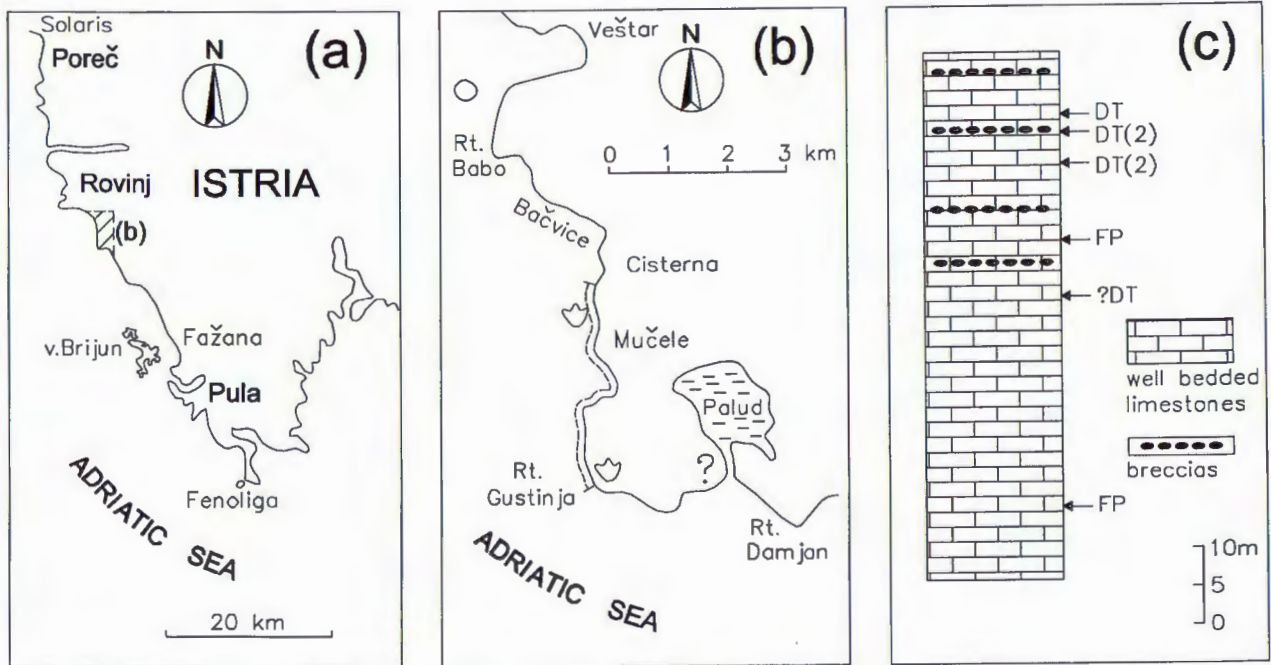


Fig. 1 A) Location map of the study area. B) Geographic map of the study area with location of the examined profile. C) Lithostratigraphic column and location of the footprints-bearing surfaces (FP) and dinoturbated beds (DT).

The micropaleontological assemblages of this section are dominated by ostracods, sometimes associated with Ophthalmitidae and Ataxophragmiidae (*Vercorsella scarsellai* De CASTRO, *Nezzazata germanica* OMARA & STRAUCH and others). Rare thin horizons with calcareous algae (among which *Actinoporella podolica* ALT and *Clypeina solkani* CONRAD & RADOIČIĆ) are present.

The sedimentary environment ranges from open lagoon to restricted lagoon to tidal flat. In this framework, a few storm-beds represented by thin bioclastic limestones with nerineids are meaningful. Some thin grey-greenish interlayers consisting of mudstone-wackestone with ostracods and charophyte gyrogonites and stems are interesting from the environmental point of view. These horizons were deposited in a brackish-freshwater environment. Common specimens of *Spirillina* sp., similar to those present in some levels with charophytes in the lower Barremian section of Barbariga (DINI et al., 1998), have been found too. These microforaminifera have been interpreted in the Barbariga stratigraphic setting as organisms colonizers of brackish environments.

On the base of the presence of *Vercorsella scarsellai* De CASTRO and *Nezzazata germanica* OMARA & STRAUCH and the lack of *Campanellula capuensis* De CASTRO, the examined section could belong to the lower part of the Hauterivian. One spot sample, formed by a peloidal packstone-grainstone with *Favreina* sp. and *Montsalevia salevensis* CHAROLLAIS, BRONNIMAN & ZANINETTI, about 15 meters below the base of the section, testifies a Valanginian age.

3. THE FOOTPRINTS AND FOOTPRINT-BEARING LAYERS

Footprints can be identified on three surfaces along the examined section.

Two main footprint-bearing layers are located about 20 m below the top of the section (Fig. 1). They are probably stratigraphically placed a few decimeters one from the other (some small faults do not allow the careful measurement of the throw).

The lower surface (A) is exposed as a band about 18 m long and 0-3 m wide and many depressions identifiable as footprints can be observed (Fig. 2). They are never organized in tracks (it is a typical trampled surface) and their state of preservation is not very good. Anyway, most of them present a clear displacement rim and some of them a quite clearly defined outline too. All the footprints are still more or less filled by the overlying layer, some being completely covered. The best preserved footprints are triangular elongated or kidney-shaped, similar to the Albian sauropod footprints found in the Solaris site of Červar (DALLA VECCHIA & TARLAO, submitted paper). The triangular elongated prints have a length usually ranging 40-50 cm (Fig. 3A), only one is smaller with a length of 27 cm (Fig. 4A). A kidney-shaped footprint is 28 cm wide and 14 cm long. A large footprint (Fig. 3B) has a shape that resembles that of some slightly deformed sauropodian manual prints of the Solaris site. However, the specimen is poorly preserved and could be actually a deformed triangular footprint.

The upper surface (B) is similar to the lower one but it is in a worst state of preservation probably because of



Fig. 2 The footprint-bearing surface A (left) with the overlying bed (right), Cape Gustinja.

sea weathering and corrosion. It is about 50 m long and 2-5 m wide. There are numerous circular, oval, triangular and semicircular depressions, often with clear expulsion rims all around (Figs. 5, 3C), apparently never organized in tracks. They are often still filled by the overlying layer. Only a large mesaxonid tridactyl footprint can be recognized in the central-southern part of the surface and is very poorly preserved. It is about 55 cm long and presents a digit III print which is unusually

elongated and narrow (Fig. 3D). A decidedly elongated central digit print is also a peculiarity of the large theropod footprint found in the upper Hauterivian of the Consiglio Plateau, NE Italy (DALLA VECCHIA & VENTURINI, 1995).

The footprints of the northern extremity of the surface are better preserved. There are some triangular prints, mostly still filled by the overlying layer and with evident expulsion rims (Fig. 5), like those of the surface A. The two best specimens (Fig. 4B) are 55 and 52 cm long.

The triangular prints can be identified as pedal and the semicircular-kidney-shaped as manual prints of sauropod dinosaurs after comparisons with those of the Solaris site (DALLA VECCHIA, 1994; DALLA VECCHIA & TARLAO, submitted paper) and those described by THULBORN (1990), FARLOW et al. (1989) and LOCKLEY et al. (1994).

Furthermore, some triangular prints present a rounded, outer projection in the antero-lateral corner (see Fig. 3A) which corresponds to the print of the characteristic hoof-like digit V of sauropod pes (DALLA VECCHIA & TARLAO, submitted paper; FARLOW et al., 1989).

Detailed stratigraphical and sedimentological analyses have been carried out on the 85 cm-thick section encompassing the upper footprint-bearing layer. The latter is 80 cm thick. The upper part of this bed is made by banded peloidal-pelletiferous-fossiliferous wackestone with ostracods, rare *Ophthalmidiidae* and common desiccation structures. The intraclasts frequency clearly decreases in the topmost part and the wackestone passes to a mudstone without microfossils and with small peloids. A very thin limestone level with irregular thickness, ranging from 0.5 to 3 cm, overlies the footprint-bearing surface. The lower part of the level consists of pelletiferous-peloidal-fossiliferous wackestone with ostracods and the upper part is made by pelletiferous-fossiliferous packstone-fine grainstone with ostracods and rare desiccation structures. Above, a level of fine breccia, about 2 cm thick, with small-size flat pebbles can be observed.

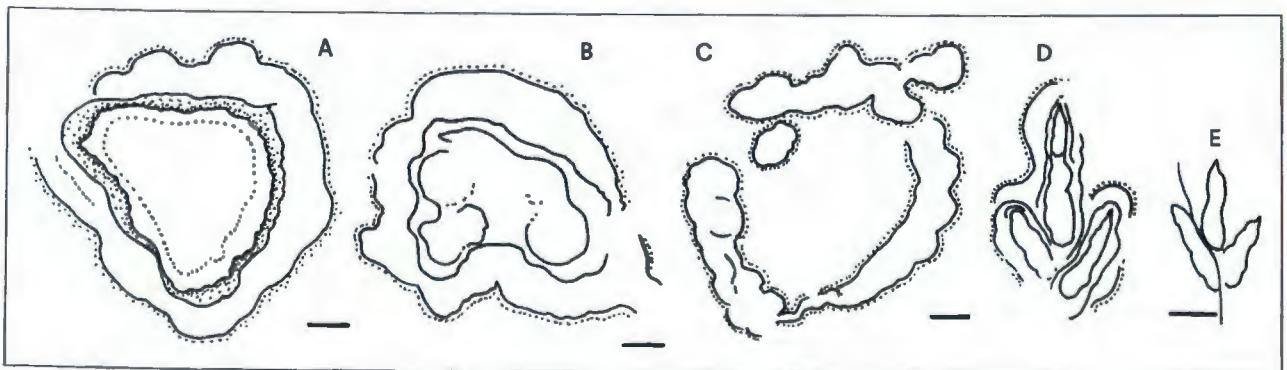


Fig. 3 Hauterivian footprints of Cape Gustinja. A) Triangular footprint, mostly still preserving the infilling and with a wide expulsion rim, footprint-bearing surface A. B) A possible large manual print, footprint-bearing surface A. C) Clear displacement rim around a misshapen footprint, footprint-bearing surface B. D) large tridactyl footprint from the footprint-bearing surface B. E) tridactyl footprint from the lower part of the section. Scale bar = 10 cm.

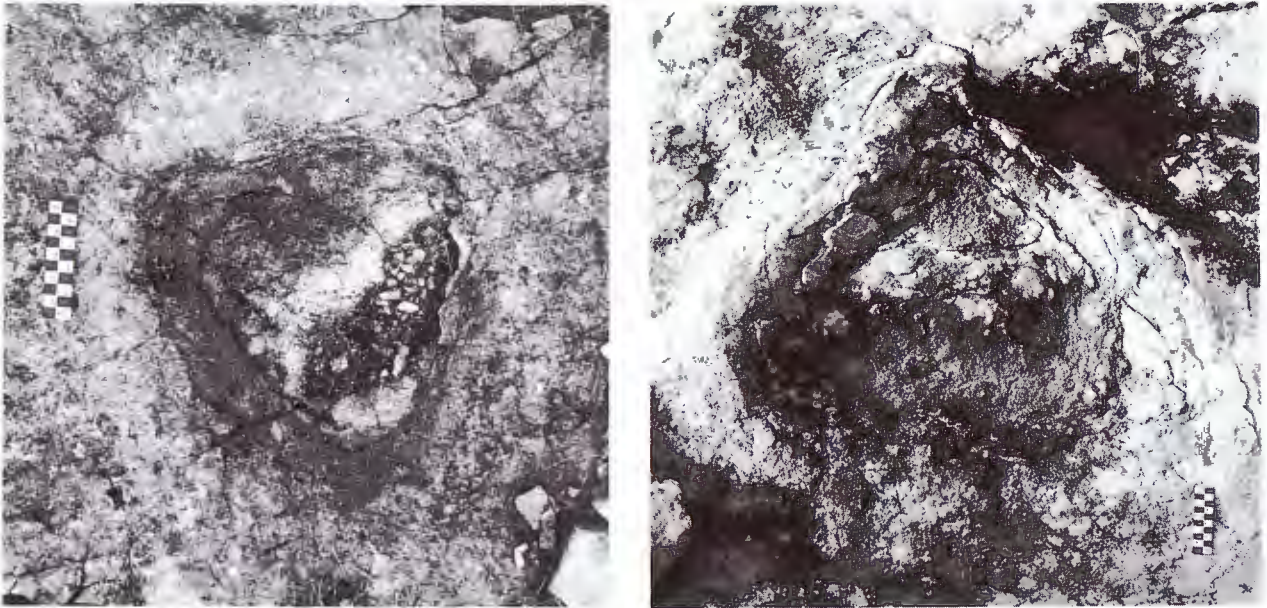


Fig. 4 A) The small and deep triangular print (the anterior part is the upper one), footprint-bearing surface A. B) A large triangular print still preserving the infilling and with a wide expulsion rim (the anterior part is on the right), footprint-bearing surface B. Scale bar = 10 cm.

The printing event did probably occur in correspondence of a short lasting phase of subaerial exposure within a tidal flat setting. Conversely, the oligotypical micropaleontological assemblage, made of sole ostracods, observed at the base of the overlying level, may suggest a schyzohaline environment.

A third footprint-bearing layer has been recorded in the lower part of the succession (Fig. 1).

Here a short track of a bipedal dinosaur can be seen on a very narrow and shortly exposed surface. There are two consecutive footprints of the same foot (probably the right one; stride $S = 174$ cm, azimuth 150°) whereas the print of the other foot is probably covered by the overlying layer. The footprints are tridactyl mesaxononic. The second and better preserved specimen (Fig. 3E) is about 28 cm long, has a narrow, pointed and slightly sigmoid digit III print. It could be a theropod foot-

print. Using the morphometric ratio $h \sim 4.9L$ (L = footprint length) of THULBORN (1989) for estimating the height at the hip (h , parameter indicative of the animal size) of large bipedal dinosaurs ($L > 25$ cm) we obtain $h = 137.2$ cm and $S/h = 1.27$ indicating a walking gait.

The bed consists of a tidal flat lithofacies with fossiliferous-peloidal wackestone-packstone at the top, and ostracods and subordinate Ophtalmidiidae, *Glomospira* sp. and *Aeolisaccus* sp.

4. DINOTURBATED LEVELS

“Dinoturbated” levels are represented by greyish-whitish limestones affected by syndepositional deformation or breccia fabric (brecciation). The deformation was caused by loading mechanisms occurred when the



Fig. 5 Northern extremity of the footprint-bearing surface B. Note the expulsion rims of the trampled surface. The footprint of Fig. 3C is in the central-upper part of the figure. Scale bar = 10 cm.



Fig. 6 Breaking structure at the base of a strongly deformed and, sometimes, brecciated bed. Nearby Gustinja Cape. Hammer for scale.



Fig. 7 Close up of Fig. 7. Breaking structure. Lens for scale.

sediments still behaved in a plastic fashion. In fact, underformed beds pass laterally into breccias with clasts presenting the same lithofacies of the matrix, the clasts locally fray into the matrix (so the distinction between clasts and matrix is sometimes difficult) and also boudinage phenomena, without fractures, are visible (see also DINI et al., 1998; TUNIS & VENTURINI, submitted paper).

The peculiar syndepositional deformation of the substrate, with localized deep depressions (Figs. 6, 7), and the local presence of narrow, ribbon-like, circular or curved bands of raised sediment surrounding the depressions, identifiable as displacement rims (Figs. 8, 9) suggest a genetic mechanism connected with severe trampling by large-size animals.

Differently from the levels described as “footprint-bearing”, no clear foot morphology is recognizable in the levels that we call “dinoturbated”. Therefore, the distinction between “footprint-bearing” and “dinoturbated” layers is mainly a matter of preservation of the footprint morphology and of the original mechanical properties of the substrate. Both kind of levels were heavily trampled and have a similar overall aspect, resembling that of the “dinoturbated” areas of Jurassic



Fig. 8 Particular of a “dinoturbated” layer. Scale bar = 10 cm.

and Cretaceous age (compare Figs. 5 and 8 with LOCKLEY, 1991, Figs. 11.8 and 12.2B).

The most spectacular outcrop is located in the upper part of the section, close to Cape Gustinja (Fig. 10), where two superimposed “dinoturbated” layers are exposed. Other possible “dinoturbated” levels have been recognized in different sites along the coast.



Fig. 9 Ill preserved footprints, sometimes exhibiting displacement rims, on a dinoturbated bedding plane surface with breccia fabric. Nearby Cape Gustinja.



Fig. 10 Wide dinoturbated bedding plane surface with breccia fabric. Cape Gustinja.

5. BRECCIA LEVELS WITH CLAYEY MARLY MATRIX

Some breccia beds with greenish, clayey-marly matrix are found in the examined section, the thickest bed being placed in the upper part of the succession at Cape Gustinja (Fig. 1). There is also a lens of carbonate breccia, up to 180 cm thick, covered by a layer of breccia with clayey matrix about 30 cm thick. Rare charophyte gyrogonites are preserved within the clayey matrix. Some clasts of the upper breccia layer consist of fossiliferous wackestones with charophytes too. The clasts, up to 10 cm in size, show evidence of pedogenetic processes (structures of recrystallization, cavities filled by vadose silt and rhizogenic structures - rhizoliths).

A thick breccia layer, which shows noticeable similarities with that of Cape Gustinja, outcrops along the coast, near Cape Damjan, about 100 meters far from the Palud channel (Fig. 1). Close to the Palud channel outlet, ten years ago one of us (A.T.) has observed a possible footprint-bearing surface, now scarcely visible. The Palud section can be set some tens of meters stratigraphically below the base of the upper Hauterivian/lower Barremian section of Kolone.

Finally, the common presence of thin breccia horizons at the top of several beds has to be stressed. Black pebbles are sometimes common amidst the clasts and show strong alteration and rhizoliths in thin section. They represent deposition of sediments rich in organic matter in restricted lagoon or palustrine setting and document repeated short phases of subaerial exposure. These sediments underwent pedogenic processes and, successively, have been reworked.

6. CONCLUSIONS

The lithofacies analysis of the Hauterivian limestones of Cisterna Bay - Cape Gustinja suggests a wide paleoenvironmental range, characterized by lagoonal and tidal flats deposits interrupted by more or less prolonged subaerial exposures and by freshwater/brackish episodes. Strong analogies can be recognized from a paleoenvironmental point of view, with the Barremian succession of Barbariga which outcrops a few kilometers southwards (DINI et al., 1998).

In the framework of Gustinja section, three horizons with dinosaur footprints and at least two levels characterized by synsedimentary deformation and brecciation, probably originated by severe trampling of large animals, have been observed. They represent the oldest evidence of dinosaurs in the Cretaceous Periadriatic Platforms (see DALLA VECCHIA & TARLAO, 1995 for a previous summary). The abundance and significant time-space distribution of footprints and bones suggest that the dinosaur presence cannot be considered occasional on the Adriatic-Dinaric Carbonate Platforms.

The tridactyl footprints belong to large-size individuals. Most of the sauropod pedal prints have a size which corresponds to the maximum size found in the late Albian Solaris site of central-western Istria (DALLA VECCHIA & TARLAO, submitted paper).

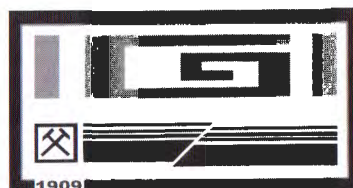
Lastly, the frequency and the predominance of sauropod footprints compared with the rare theropod footprints is to be highlighted. A similar situation has been observed in Istria at the site of Solaris, whereas footprints of bipedal dinosaurs prevail or are the only in the other sites of the western Istria coast (DALLA VECCHIA & TARLAO, submitted paper). Solaris site has been peculiar for its environmental interest, as it testifies a schyzohaline environment in the initial burial phase, whereas the other sites show facies (immediately overlying the footprints) characterized by normal salinity in tidal flat or open lagoonal settings (TUNIS & VENTURINI, submitted paper). Moreover, within Kolone Hauterivian-Barremian lacustrine deposits, the bone remains are mostly referred to large sized sauropods (DALLA VECCHIA, 1998). Likewise, Gustinja case presents some hints according to which contents of salinity were low in the sediments deposited a few millimeters above the upper footprint bearing surface. The first hypothesis would suggest a link between input of fresh water, even temporarily, and the relative frequency of quadrupedal dinosaurs compared to bipedal ones.

The presence of intervals with one or more beds showing peculiar internal and superficial deformations ("dinoturbated" levels), represents an interesting distinctive feature of the Gustinja section, for the outcrops wide extension and good quality. These structures are at present still under study and their modality of formation is still to be fully understood. Anyway, they represent a very good training for the understanding of the sediment behaviour under load and with different degrees of soaking and hardening. They could be of some help also in the identification of footprint cross-sections, which is very important from a sedimentological point of view because a footprint cross-section may be easily misinterpreted as an abiologic sedimentary structure. "Dinoturbation" could be a very common feature of the Mesozoic inner platform carbonates which until now has been misunderstood.

7. REFERENCES

- BOSCAROLLI, D., LAPROCINA, M., TENTOR, M., TUNIS, G. & VENTURINI, S. (1993): Prima segnalazione di resti di dinosauro nei calcari hauteriviani di piattaforma dell'Istria meridionale (Croatia).- *Natura Nascosta*, 7, 1-20, Monfalcone.
- DALLA VECCHIA, F.M. (1994): I dinosauri dell'Istria.- In: LIGABUE, G. (ed.): *Il tempo dei dinosauri*. Le Science Quaderni, 76, 82-86.
- DALLA VECCHIA, F.M. (1998): Remains of Sauropoda (Reptilia, Saurischia) in the Lower Cretaceous Upper Hauterivian/Lower Barremian limestones of SW Istria (Croatia).- *Geol. Croatica*, 51/2, 105-134, Zagreb.
- DALLA VECCHIA, F.M. & TARLAO, A. (1995): Dinosaur evidence in the Cretaceous of Istria (Croatia).- *Proceedings of the*

- First Croatian Geological Congress, Opatija 18-21.10.1995, 1, 151-154, Zagreb.
- DALLA VECCHIA, F.M. & VENTURINI, S. (1995): A theropod (Reptilia, Dinosauria) footprint on a block of Cretaceous limestone at the pier of Porto Corsini (Ravenna, Italy).- *Riv. Ital. Pal. Strat.*, 101/1, 193-198, Milano.
- DINI, M., TUNIS, G. & VENTURINI, S. (1998): Continental, brackish and marine carbonates from the Lower Cretaceous of Kolone-Barbariga (Istria, Croatia): stratigraphy, sedimentology and geochemistry.- *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.*, 140, 245-269, Amsterdam.
- FARLOW, J.O., PITTMAN, J.G. & HAWTHORNE, J.M. (1989): *Brontopodus birdii*, Lower Cretaceous sauropod footprints from the U.S. Gulf Coastal Plain.- In: GILLETTE, D. D. & LOCKLEY, M. G. (eds.): *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, Cambridge, 135-153.
- LOCKLEY, M.G. (1991): *Tracking dinosaurs: A new look at an ancient world*.- Cambridge Univ. Press, Cambridge, 238 p.
- LOCKLEY, M.G., FARLOW, J.O. & MEYER, C.A. (1994): *Brontopodus* and *Parabrontopodus* ichnogen. nov. and the significance of wide- and narrow-gauge sauropod trackways.- In: LOCKLEY, M.G., DOS SANTOS, V.F., MEYER, C.A. & HUNT, A. (eds.): *Aspects of sauropod paleobiology*. Gaia, 10, 135-145, Lisboa.
- THULBORN, R.A. (1989): The gaits of dinosaurs.- In: GILLETTE, D.D. & LOCKLEY, M.G. (eds.): *Dinosaur Tracks and Traces*. Cambridge University Press, Cambridge, 39-50.
- THULBORN, R.A. (1990): *Dinosaur tracks*.- Chapman & Hall, Andover, 424 p.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ J. & CRNKOVIĆ B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal carbonate sediments of Istria.- In: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (eds.): *Contribution to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides*. Excursion Guidebook, 4th I.A.S. Regional Meeting, 13-35, Split.
- TUNIS, G., ŠPARICA, M. & VENTURINI, S. (1994): Lower Cretaceous dinosaurs from Bale (Istria, Croatia): stratigraphical, sedimentological and palaeoenvironmental problems.- 14th International Sedimentological Congress, Abstracts, 14-15, Recife.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1987): Biostratigraphic and sedimentologic characteristics of the Lower Cretaceous deposits of the Veli Brijuni Island and comparison with the corresponding deposits in SW Istria (Croatia, Yugoslavia).- *Geol. Vjesnik*, 40, 149-168, Zagreb.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigraphic succession of Jurassic and Lower Cretaceous (Bathonian-Upper Albian) in western Istria (Excursion A).- In: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (eds.): *Excursion Guide Book of the First Croatian Geol. Congress, Opatija, 18-21.10.1995*, 31-66, Zagreb.





Biostratigrafija eocenskih naslaga u području dubrovačkog primorja

Biostratigraphy of the Eocene Deposits in Dubrovnik Coastal Area

Zorana DMITROVIĆ¹ & Mladen TRUTIN²

Ključne riječi: biostratigrafija eocena, foraminiferski vapnenci, fliš, Ston, Dubrovnik, Hrvatska.

Key words: Eocene Biostratigraphy, Foraminiferal limestones, Flysch, Ston, Dubrovnik, Croatia.

Sažetak

Snimanjem stratimetrijskih profila u okolici Stona determinirane su karbonatne naslage srednjeeocenske starosti (lutet). Prevladavaju vapnenci decimetarske uslojenosti, a starost je utvrđena na osnovu planktonskih foraminifera - *globigerinateka*, *akarinina*, *morozovella* i *truncorotaloidesa*. Kontakt s podinom je transgresivan, a gornjokredna starost podinskih naslaga određena je nalazom rudistnih fragmenata. U području dubrovačkog primorja na profilu Slano - Majkovi iznad gornje krede determiniran je paleocen (DROBNE & PAVLOVEC, 1989). On je u transgresivnom kontaktu sa srednjeeocenskim karbonatima. Kontinuirano slijede klastične fliške naslage - lapori dominiraju, breče dolaze sporadično, kao i kalkareniti. Gornjoeocenska starost fliša određena je usko provodnim vrstama *Turbotalia cunialensis* (TOUMARKINE & BOLLI) i *Turbotalia cocoaensis* (CUSHMAN) - Zona P15-P17 (TOUMARKINE & LUTERBACHER, 1985).

Abstract

Middle Eocene (Lutetian) carbonate deposits have been investigated in the area of small town Ston. Limestones are predominant. Planktic foraminifera genera *Globigerinateka*, *Acarinina*, *Morozovella* and *Truncorotaloidesa* determine the Middle Eocene age. On the profile Slano - Majkovi the Paleocene deposits are determined (DROBNE & PAVLOVEC, 1989) which are transgressively overlain by the Middle Eocene carbonates. The flysch formation is deposited continuously over the Middle Eocene limestones. Marls are predominant, breccias and calcarenites appears sporadically. Planktic foraminifera species *Turbotalia cocoaensis* (CUSHMAN) and *Turbotalia cunialensis* (TOUMARKINE & BOLLI) indicate Late Eocene Zones P15-P17 (TOUMARKINE & LUTERBACHER, 1985).

1. UVOD

U okviru zadatka "Naftogeološka istraživanja paleogena na području Vanjskih Dinarida" (DMITROVIĆ et al., 1988) za potrebe INA-Naftaplina, između ostalih snimljeno je i šest stratimetrijskih profila u okolici Stona i području dubrovačkog primorja.

Ranija istraživanja u tom području radena su u Institutu za geološka istraživanja Sarajevo u okviru izrade OGK 1:100.000, a rezultati su prikazani u tumačima za listove Ston (RAIĆ & PAPEŠ, 1982) i Trebinje (NAT- EVIĆ, 1970).

2. BIOSTRATIGRAFSKE JEDINICE

Izdvojene su dvije biostratigrafske jedinice: karbonati srednjeg eocena (lutet) i klastične naslage gornjeg eocena (priabon).

Karbonati srednjeg eocena (lutet)

U okolici Stona snimljena su tri stratimetrijska profila: Ston-Ostrog, Ston-Smokovljani i Ston-Hrasno. Podinske naslage su slabo fosiliferne gornjokredni kristalinični vapnenci. Starost je dokumentirana nalazima rudistnih fragmenata. Paleocenske i donje eocenske naslage nisu utvrđene. Srednji eocen (lutet) transgresivan je na kredu, a čine ga decimetarski uslojeni vapnenci. Fosilni sadržaj izuzetno je mnogobrojan. Bentičke foraminifere česte u lutetu su *Fabiania cassis* OPPENHEIM i *Eorupertia magna* LE CALVEZ, te brojni rodovi foraminifera *Discocyclina* sp. div., *Sphaerogypsina* sp., *Nummulites* sp. div., *Operculina* sp., *Assilina* sp., *Amphistegina* sp., *Rotalia* sp., *Miliolidae* i *Bryozoa*, *Corallinacea*, *Echinodermata*. Profili Ston-Smokovljani i Ston-Ostrog u vršnim dijelovima sadrže glinovite vapnence u kojima planktonske foraminifere dominiraju nad bentičkim. Od planktonskih foraminifera za lutet su provodne *Acarinina bullbrookii* (BOLLI), *Morozove-*

¹ Veslačka 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Geološki konzalting, Savska c. 88a, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

lla spinulosa (CUSHMAN), *Truncorotaloides topilensis* (CUSHMAN) i *Globigerinatheka* sp.div. Determinirane su i *Globigerina venezuelana* HEDBERG, *Globigerina yeguaensis* WEINZIERL & APPLIN, *Catapsydrax dissimilis* (CUSHMAN & BERMUDEZ) šireg stratigrafskog raspona.

Jugoistočno od Stona, prema Dubrovniku, snimljena su tri stratimetrijska profila: Slano-Majkovi, Trsteno-Dolina i Zaton-Štikovica. Podina je slična kao i u području Stona. Na profilu Slano-Majkovi, iznad gornje krede determiniran je paleocen (DROBNE & PAVLOVEC, 1989), koji je u transgresivnom kontaktu s lutetskim karbonatima. Pored gore nabrojanih provodnih planktonskih fosila luteta, u dubrovačkom primorju determinirana je i vrsta *Truncorotaloides rohri* BRÖNNMANN & BERMUDEZ.

Klastične naslage gornjeg eocena (priabon)

Prije spomenuti profili na dubrovačkom primorju u podini sadrže lutetske karbonate na koje se kontinuirano talože klastične fliške naslage gornjeg eocena. Lapori prevladavaju, a samo mjestimično dolaze breče (Zaton-Štikovica) i kalkareniti. Fosilna zajednica planktonskih foraminifera izuzetno je bogata - najbrojnije su globigerine i turborotalije. Provodne vrste uskog raspona *Turborotalia cocoaensis* (CUSHMAN) i *Turborotalia cunialensis* (TOUMARKINE & BOLLI) određuju gornjoeocenske zone P15-P17 (TOUMARKINE & LUTERBACHER, 1985). Globigerine koje se pojavljuju tek u zonama P16 i P17 i nastavljaju u oligocen su *Globigerina angiporoides* HORNIBROOK i *Globigerina ampliapertura* BOLLI, a dolaze i *Globigerina cryptomphala* GLAESSNER, *Globigerina gortanii* BORSETTI, *Globigerina corpulenta* SUBBOTINA, *Globigerina tripartita* KOCH, *Globigerina euapertura* JENKINS, *Globigerina officinalis* SUBBOTINA, *Globigerina venezuelana*, *Globigerina medizai* TOUMARKINE & BOLLI, *Globigerina hagni* GOHRBANDT, *Globigerina danvillensis* HOWE & WALLACE, *Globorotaloides carcoselleensis* TOUMARKINE & BOLLI, *Globigerinatheka* sp.div. i *Hantkenina* sp.

LITERATURA

- DMITROVIĆ, Z., VELIMIROVIĆ, Z., BABAC, D., PAVLOVEC, R. & BENIĆ, J. (1988): Naftogeološka istraživanja paleogena na području Vanjskih Dinarida (područje srednje i južne Dalmacije i Hercegovine), Knjiga 2.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb, 307 str.
- DROBNE, K. & PAVLOVEC, R. (1989): Velike foraminifere karbonatnega razvoja v paleogenu (med Imotskim in Cavtatom).- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb, 24 str.
- NATEVIĆ, Lj. (1970): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Trebinje.- Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1964-1965), Savezni geološki zavod, Beograd, 46 str.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1982): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Ston.- "Geoinžinjeri" Sarajevo i Geološki zavod Zagreb (1980), Savezni geološki zavod, Beograd, 39 str.
- TOUMARKINE, M. & LUTERBACHER, H. (1985): Paleocene and Eocene planktic foraminifera.- U: BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (ur.): Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press, 87-154, Cambridge.



Characteristics of the Magmatic Rocks of Karavanke Granitic Belt (Slovenia)

Meta DOBNIKAR¹, Tadej DOLENEC¹, Breda ČINČ-JUHANT² & Nina ZUPANČIČ¹

Key words: Petrology, Classification, Plutonic rocks, Karavanke igneous zone.

Abstract

The intrusive rocks of the Karavanke Granitic Belt vary in composition from acid to most mafic. They have been analysed by different authors but the classification of the rock types is not unique. The use of TAS classification of the rocks is suggested. According to this classification the rocks of Karavanke Granitic Belt consist of predominant syenogranite and syenite and contemporaneous mafic (gabbro, monzogabbro, monzodiorite) and intermediate (monzonite) rocks which represent about 30% of the whole massif. Veins of porphyry syenite with rapakivi texture occasionally cut larger bodies of mafic rocks.

1. INTRODUCTION

The central Karavanke magmatic zone consists of two parallel elongated massifs, the Northern Karavanke Granitic Belt, which is the object of the present paper, and the Southern Tonalitic Belt, separated by a thin belt of metamorphic rocks. The Karavanke magmatic zone lies along the Periadriatic line, and outcrops mainly in the northeastern part of Slovenia and partly in the Austrian area, where it is represented by the "Eisenkappel (Karawanken) Granite" and "Karawanken Tonalite Gneiss". It extends about 35 km from the Slovene - Austrian border on the West to the Tertiary sediments of the Pannonian Sea near Plešivica to the East.

The Granitic Belt is mainly composed of coarse to fine grained acid rocks. The mafic and intermediate rocks crop out along the massif and constitute about 30% of the whole body. They range in size from decimetric rounded enclaves, to larger, decametric bodies whose shape is difficult to obtain due to soil and vegetation. In the vicinity of the enclaves, K-feldspar megacrysts of acid rock are mantled by plagioclase. Veins of porphyritic acid rock occasionally cut larger bodies of mafic rocks.

The Granitic Belt borders to Paleozoic phyllitoid shales with diabase dikes and Triassic dolomite to the North and with metamorphic complex to the South (MIOČ & ŽNIDARČIČ, 1978; MIOČ, 1983). Metamorphic xenoliths are common near the contacts with the country rocks. Granite intrusion caused contact metamorphose on both northern and southern side of the massive (EXNER, 1971; HINTERLECHNER-RAVNIK, 1978), but the contacts have later been tectonised.

The rock types have been determined by EXNER (1971) as granite, granodiorite porphyry (with rapakivi texture), granodiorite, diorite and gabbro. The succession from mafic to acid rocks of the Granitic Belt has been interpreted as the result of the evolution of the same parent magma during crystallisation (EXNER, 1971, 1976; FANINGER, 1974). Diorite, monzonite, syenite, quartz syenite and granodiorite porphyry with rapakivi texture which appears as dikes between diorite and granite, are considered to be rocks of mixed origin produced in the reaction zones (EXNER, 1971).

FANINGER (1976) classified the rocks of the Granitic belt on the basis of modal analysis as granite, porphyry granite, monzonitic granite and gabbro.

The stratigraphic age of the Granitic Belt was long a matter of debate. ISAILOVIĆ & MILIČEVIĆ (1964) found blocks of metamorphic rocks, impregnated by granite inside the tonalite massif, which suggests that the Granitic Belt is older than the Tonalitic Belt.

According to stratigraphic position, ŠTRUCL (1970) dates the Granite Belt as Variscian and Tonalite Belt as Alpine. FANINGER (1974) suggests granite to be somewhat younger than Northern Palaeozoic shales, since granite induced contact metamorphism on them. He also demonstrated, based on modal and chemical composition of rocks, that the Granitic and Tonalitic belt are related to two distinct magmatic events (FANINGER, 1976).

Radiometric data show that Granite Belt is of Late Permian to Triassic age. According to LIPPOLT & PIDGEON (1974), the rocks of the Granitic Belt yield ages of 227 ± 7 Ma measured on biotite (K/Ar), 244 ± 8 Ma on hornblende (K/Ar) and 230 ± 5 Ma on sphene (U/Pb). SCHARBET (1975) obtained approximately

¹ University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: meta.dobnikar@ntfgeo.uni-lj.si.

² Slovene Museum of Natural History, Prešernova 20, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

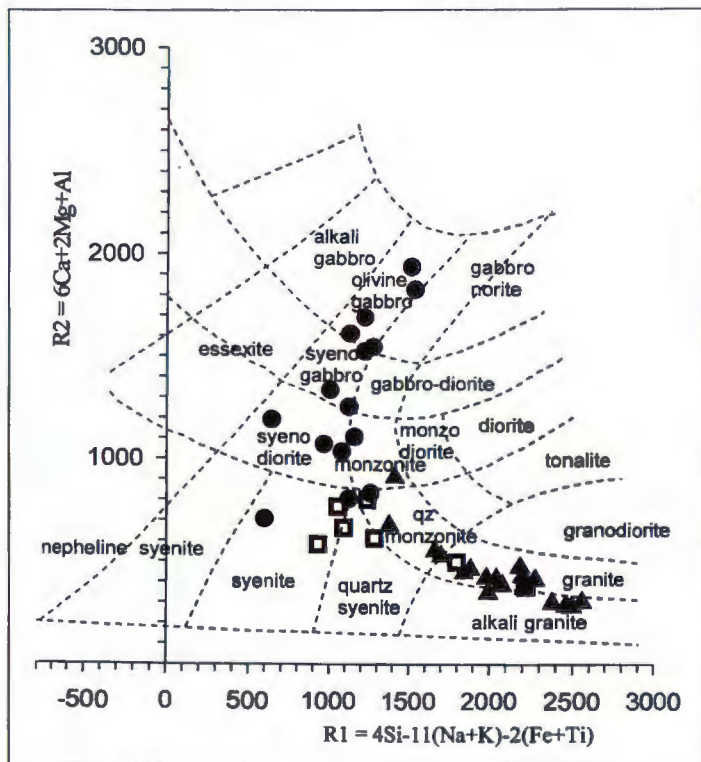


Fig. 1 Distribution of the Karavanke Granitic Belt rock types in R1-R2 diagram of DE LA ROCHE et al. (1980). ● - mafic and intermediate rocks, □ - porphyry rocks, ▲ - acid rocks.

the same ages of 224 ± 9 Ma and 216 ± 9 Ma, dating the granodiorite porphyry (according to Exner's classification) with Rb/Sr method. DOLENEC (1994) obtained initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ isotopic value of 0.71437 on porphyry granite (corrected for 220 Ma, according to SCHARBET's (1975) dating) which suggests a crustal source for this magma.

2. CLASSIFICATION AND PETROGRAPHY

The rocks of the Granitic belt show dishomogeneity in both grain size and distribution of mineral phases. Porphyry texture is also observed. We therefore suggest classifying those rocks on the basis of their chemical composition.

DE LA ROCHE et al. (1980) proposed a classification of volcanic and plutonic rocks based on parameters R1 and R2 calculated from chemical analysis. In this classification diagram (Fig. 1), mafic and intermediate rocks of the Granitic Belt range from olivine gabbro through syeno gabbro and syeno diorite to monzonite, whereas the composition of felsic rocks falls along the line which separates quartz monzonites from syenite and quartz syenite as well as granite from alkali granite.

BELLIENI et al. (1995) suggest a single classification system for all igneous rocks based on TAS chemical diagram. The classification is in good agreement with modal QAPF, proposed for classification of plutonic rocks. For this reasons we suggest to classify the rocks of the Karavanke Granitic Belt according to this TAS classification (Fig. 2). The mafic rocks of the Gra-

nitic Belt therefore range from gabbro (or diorite) to monzogabbro (or monzodiorite). Intermediate rocks are represented by monzonite, while felsic rocks range from syenite to syenogranite. The porphyry rocks are all syenitic.

According to both classifications, the analysed rocks form a continuous series from most mafic to acid, with an obvious alkaline character, which was not exposed in previous classifications.

Syenogranite and syenite are fine to coarse grained and contain plagioclase, K-feldspar, quartz, biotite and hornblende. Plagioclases are often altered to sericite. K-feldspar is represented by euhedral (up to 30 mm in coarse-grained syenogranite) crystals of perthite or microcline-perthite, containing inclusions of plagioclase, quartz and biotite. Quartz forms rounded grains and small inclusions in K feldspars. Biotite and hornblende are euhedral. In most samples, hornblende is altered to chlorite. In all felsic rocks, accessory minerals are very rare and consist of apatite, zircon and secondary epidote, ortite and clinozoisite.

Porphyry syenite has fine grained matrix of anhedral plagioclase, hornblende, biotite, K feldspar and quartz. Phenocrysts consist of biotite, plagioclase, quartz and euhedral perthitic K-feldspar, usually rimmed with wormlike overgrown plagioclase and quartz. Phenocrysts of hornblende are rare. Accessory minerals apatite, zircon, secondary epidote, ortite and clinozoisite, and opaque minerals are very abundant, especially needles of apatite.

Monzonite is fine grained, consisting of plagioclase, K-feldspar, quartz, hornblende and biotite. In some

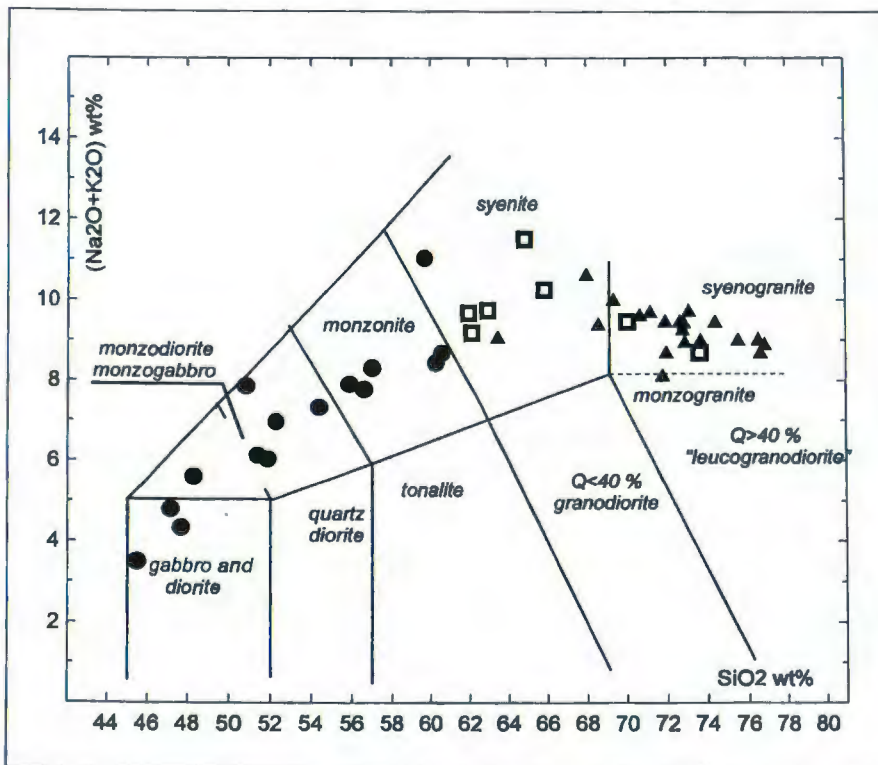


Fig. 2 Distribution of the Karavanke Granitic Belt rock types in TAS diagram (BELLIENI et al., 1995). Symbols as in Fig. 1.

samples, biotite replaces hornblende. Quartz forms rounded grains, surrounded by hornblende and biotite, sometimes together with pyroxene or plagioclase. Monzonite contains a lot of accessory apatite, zircon, secondary epidote, as well as opâque minerals. Hornblende and biotite are often altered to chlorite. Muscovite and secondary carbonate occur in these rocks as well.

Monzogabbro and monzodiorite are fine to coarse grained, containing amphibole, plagioclase, biotite and pyroxene. In monzodiorite, green hornblende sometimes contains a brown core. Hornblende is partly altered to chlorite. Plagioclases are euhedral, elongated, with core altered to sericite. Anhedral sphene prevails among accessory minerals, and apatite, opâque minerals, secondary epidote and carbonate are common as well.

Gabbro is fine to medium grained, containing plagioclase, amphibole, ortho pyroxene and olivine. Sometimes hornblende replaces pyroxene. Anhedral plagioclase grains show deformed twin lamellae. The accessory minerals are apatite in long needles, sphene, zircon, opâque minerals, and secondary epidote.

3. CONCLUSIONS

The Karavanke Granite Belt is a very heterogeneous intrusive massif consisting of rocks that range in composition from most mafic to acid. Due to heterogeneity in grain size and distribution of minerals within the massif, the chemical classification of the rocks is suggested. The TAS (BELLIENI et al., 1995) classification

suitable for plutonic and volcanic rocks was used as it is in good agreement with QAFP classification for plutonic rocks. According to this classification the rocks of Karavanke Granite belt represent a continuous alkaline series from gabbro (or diorite) through monzogabbro (or monzodiorite) and monzonite, to syenite and syenogranite.

The massif consists predominantly of coarse to fine grained syenogranite and syenite with contemporaneous mafic and intermediate rocks, which represent about 30% of the whole massif and are randomly distributed throughout the massif. They range in size from small decimetric enclaves to large bodies, which are occasionally cut by veins of porphyry syenite with rapakivi texture.

REFERENCES

- BELLIENI, G., VISENTIN, J. E. & ZANETTIN, V. (1995): Use of chemical TAS diagram (Total Alkali Silica) for classification of plutonic rocks: Problems and suggestions.- *Plinius*, 14, 49-52.
- DE LA ROCHE, H., LETERRIER, J., GRANDCLAUDE, P. & MARCHAL, M. (1980): A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2-diagram and major-element analysis - its relationships with current nomenclature.- *Chem. Geol.*, 29, 183-210.
- DOLENC, T. (1994): Novi izotopski in radiometrični podatki o pohorskih magmatskih kamninah.- *Rudarsko-metalurški zbornik*, 41, 147-152, Ljubljana.
- EXNER, Ch. (1971): Geologie der Karawankenplutone stlich Eisenkappel, Krnten.- *Mitt. Geol. Ges.*, 64, 1-108.
- EXNER, Ch. (1976): Die geologische Position der Magmatite des periadriatischen Lineamentes.- *Verh. Geol. B.-A.*, 2, 3-64.

- FANINGER, E. (1974): Geokemijske raziskave pohorskega in karavanškega tonalita.- Inštitut za geol. Univerze v Ljubljani, 20 p.
- FANINGER, E. (1976): Karavanški tonalit.- Geologija, 19, 153-210, Ljubljana.
- HINTERLECHNER-RAVNIK, A. (1978): Kontaktnometamorfne kamnine v okolici Crne pri Mežici.- Geologija, 21, 77-80, Ljubljana.
- ISAILOVIĆ, S. & MILIĆEVIĆ, M. (1964): Geološko kartiranje granita Crne na Koroškem i obodnih tvorevina.- Zavod za nuklearne sirovine, Beograd, 53 p.
- LIPPOLT, H.J. & PIDGEON, R. (1974): Isotopic mineral ages of a diorite from the Eisenkappel Intrusion, Austria.- Z. Naturforsch., 29a, 966-968.
- MIOČ, P. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.000. Tolmač za list Ravne na Koroškem (L 33-54).- Geol. Zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod, Beograd, 69 p.
- MIOČ, P. & ŽNIDARČIČ, M. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Slovenj Gradec (L 33-55).- Geol. Zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod, Beograd, 74 p.
- SCHARBET, S. (1975): Radiometrische Altersdaten von Intrusivgesteinen im Raum Eisenkappel (Karawanken, Karnten).- Verh. Geol. B.-A., 4, 301-304.
- ŠTRUCL, I. (1970): Stratigrafske in tektonske razmere v vzhodnem delu severnih Karavank.- Geologija, 13, 5-20, Ljubljana.



Some Characteristics of Todorokite from the Jabuka Pit (Central Adriatic)

Tadej DOLENEC

Key words: Todorokite, SEM study, Jabuka Pit, Central Adriatic.

Abstract

In the Jabuka Pit, which represents the deepest (up to 275 m deep) part of the Central Adriatic, todorokite was recognized as the major manganese mineral of the ferromanganese coatings found on mollusk shells and shell fragments exposed to seawater. Todorokite also forms collomorph-banded and botryoidal aggregates, as well as 1.5 mm high stalactitic structures composed of up to 5 μm long plate-like crystals. The exact mechanism of todorokite precipitation in the Jabuka Pit is still unknown. However, in our model we assumed hydrogenous precipitation at the sediment-water interface, as well as oxalic diagenesis.

1. INTRODUCTION

Todorokite is a 10A° hydrated manganese oxide mineral previously reported from the Todoroki mine, Hokaido, Japan (JOSHIMURA, 1934). It was later found in manganese ores from different localities, as well as in seafloor manganese nodules and crusts (HELWETT et al., 1963; NATH et al., 1994). Adriatic Sea todorokite was first recognised as a major and/or sole constituent of the coated structures found only on the surfaces of mollusk shells and shell fragments exposed to seawater in the Jabuka Pit (DOLENEC & FAGANELI, 1996; DOLENEC, 1999). Mollusk shells and other biogenic detritus appear to be essential for the nucleation and intimate intergrowth of hydrated Mn and Fe oxides, as already observed by BURNS & BURNS (1975). This paper presents the results of SEM and EDS examinations of todorokite from the Jabuka Pit and discusses the possible mechanism of its precipitation.

2. MATERIALS AND METHODS

Deep water mollusk shells and shell fragments with ferromanganese-containing todorokite coatings were

collected by dredging the sea floor in the central part of the Jabuka Pit. In the laboratory the coatings and crusts were dried at ambient temperature. For characterization of the microstructure and composition of todorokite a Jeol JSM 5800 scanning electron microscope (SEM) equipped with Link ISIS 300 EDS was used. Quantitative analysis was performed using SEM Quant software and a virtual standard package library (VPS). The relative random errors of EDS were less than 6% for the trace metals Ni, Co and Ba and 3% for major and selected minor oxides.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Scanning electron microscope examination showed an abundance of surface structures on the scale of a few millimetres: aggregates of botryoidal clusters, spherulites, plates, disks, as well as up to 5 μm long plate-like crystallites. Fig. 1 shows a backscattered electron micrograph of a polished section showing a vertical (A) and horizontal (B) section of the stalactitic aggregates of todorokite growing on a mollusk shell. Quantitative analyses carried out in the SEM equipment with a highly sensitive EDS system revealed the following elemental contents: 71.79% MnO, 0.1% Fe_2O_3 , 0.87% MgO, 1.75% CaO, 5.34% Al_2O_3 , 4.72% SiO_2 , 0.94% K_2O , 2.49% Na_2O , 0.80% Ba, 0.22% Cl, 0.71% Ni and 0.1% Co. Although the internal todorokite layers of stalactitic structures show variations in brightness (from dark grey to light grey), alternating layers do not exhibit marked changes in the proportions of the major constituents. However, some bright layers are somewhat richer in Mn and poorer in Fe content than darker ones. Comparison of the peak areas of oxygen in the EDS spectra shows that the darker layers exhibit a lower oxygen peak, as compared to the lighter ones.

The origin of todorokite in the marine environment has been a topic of considerable discussion ever since this mineral was identified as one of the major constituents of deep-sea ferromanganese nodules. CALVERT & PRICE (1977) explained the formation of todorokite by precipitation from interstitial waters as a result of dia-

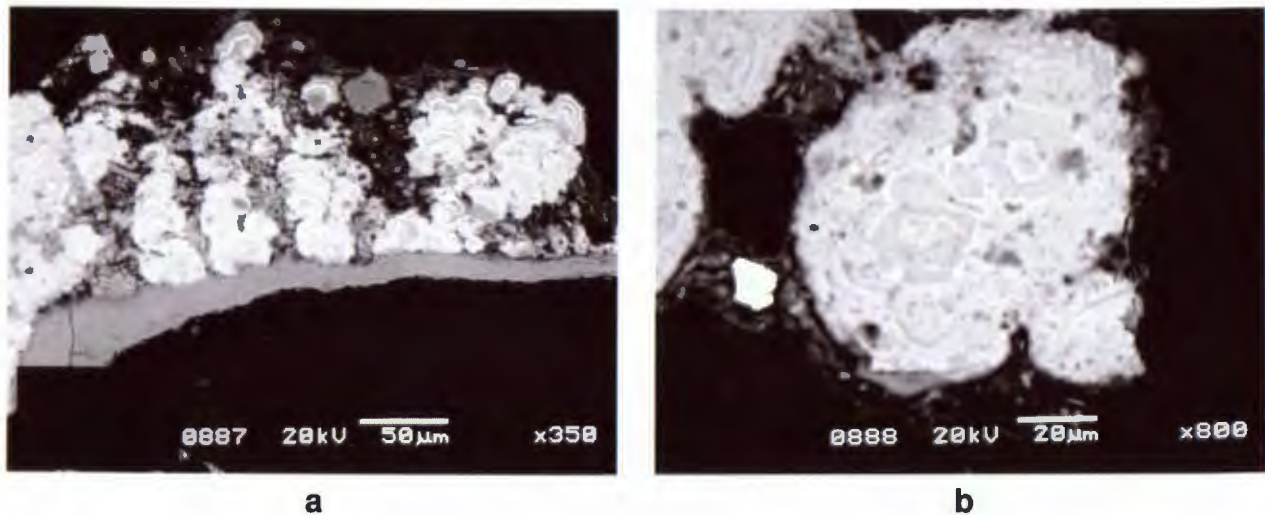


Fig. 1 Backscattered electron micrograph of a polished section showing vertical (A) and horizontal (B) stalactitic aggregates of todorokite on an *Ostrea cohlear* shell.

genetic remobilization. BEVERIDGE (1989) reported that todorokite observed in marine sediments and nodules may be indicative of microbial origin. The exact mechanism of precipitation of todorokite in the Jabuka Pit is still unknown. Taking into consideration the properties of dissolved Mn in seawater and the occurrence of todorokite on surfaces exposed to seawater, we believe that this mineral in the Jabuka Pit is essentially hydrogenic and precipitates directly from seawater at the sediment - water interface. However, oxic diagenesis is hypothesized to provide much higher fluxes of Mn and trace elements to the precipitating todorokite. The release of Mn from the surface sediment in the Jabuka Pit during oxic diagenesis is supported by the Mn enrichment within the upper 2 cm of the sediment and its decrease in the deeper parts, as noted by PAUL & MEISCHNER (1976).

4. REFERENCES

- BEVERIDGE, T.J. (1989): Role of cellular design in bacterial metal accumulation and mineralization.- *Annu. Rev. microbiol.*, 43, 147-171.
- BURNS, V.M. & BURNS, R.G. (1977): Mineralogy of manganese nodules.- In: GLASBY, G.P. (ed.): *Marine Manganese Deposits*. Elsevier, New York, 185-248.
- CALVERT, S.E. & PRICE, N.B. (1977): Geochemical variation in ferromanganese nodules and associated sediments from the Pacific Ocean.- *Mar. Chem.*, 5, 43-74.
- DOLENEC, T. (1999): Some characteristics of Mn distribution in the surficial sediment from the Adriatic Sea.- *RMS - Mater. geoenvirom.*, 3/46, 443-447.
- DOLENEC, T. & FAGANELI, J. (1996): Some peculiarities of Mn distribution in the Jabuka Pit (Central Adriatic).- 7th International symposium *The interactions between sediments and water*, 62, Baveno.
- HELWETT, D.F., FLEISCHER, M. & CONKLIN, N. (1963): Deposits of the manganese oxides: supplement.- *Econ. Geol.*, 58, 1-51.
- JOSHIMURA, T. (1934): Todorokite, a new manganese mineral from the Todoroki mine, Hokaido, Japan.- *Journal of the Faculty of Science, Hokaido University, Sapporo, Series 4/2*, 289-297.
- NATH, B.N., ROELANDTS, I., SUDHAKAR, M., PLÜGER, W.L. & BALARAM, V. (1994): Cerium anomaly variations in ferromanganese nodules and crusts from the Indian Ocean.- *Marine Geology*, 120, 385-400.
- PAUL, J. & MEISCHNER D. (1976): Heavy metal analyses from sediments of the Adriatic Sea.- *Senckenbergiana Marit.*, 8, 91-102.



The Permian-Triassic Boundary in Western Slovenia (Idrijca Valley Section): Th/U Ratio as Evidence of Changing Redox Conditions at the P/Tr Transition

Tadej DOLENEC^{1,2}, Sonja LOJEN² & Matej DOLENEC³

Key words: P/Tr boundary, U and Th distribution, Th/U ratio, Marine anoxia, Idrijca Valley, W Slovenia.

Abstract

Observations on the distribution of the redox sensitive element U in the P/Tr boundary sequence, as well as the shape of the Th/U curve suggest that oceanic anoxia was typical of the Upper Permian and that the transition to oxygenated conditions occurred at the P/Tr boundary. The oxic event at the P/Tr transition is coincidental with the terminal phase of the Upper Permian marine regression. The shape of the Th/U curve indicates that the redox environmental conditions changed in the earliest Triassic, again resulting in oxygen deficient conditions.

1. INTRODUCTION

Permian-Triassic boundary events led to the most extensive mass extinction in the history of life. The mechanism of the extinction has been much debated. A number of possible explanation for this profound break in the evolution of life have been proposed, such as volcanic activity, sea-level fluctuation, changes in seawater chemistry, an extra-terrestrial impact event, and various related factors (YOICHI, 1994). More recently WIGNALL & TWICHETT (1996) suggested that oceanic anoxia at both low and high paleolatitudes in the Late Permian may have been responsible for the mass extinction at this time. According to the KNOLL et al. (1996) hypothesis of hypercapnia, the Late Permian biological crisis was precipitated by rapid overturn of the deep anoxic ocean, which introduced toxic concentrations of CO₂ and perhaps H₂S into the surficial environment.

In this study we used the U and Th distribution and U/Th ratio to evaluate the redox conditions under which the P/Tr boundary sequence in the Idrijca Valley accumulated, and discuss the nature and causes of the dras-

tic disappearance of typically Upper Permian marine fauna in this part of the Western Tethys.

2. GEOLOGICAL SETTING AND STRATIGRAPHY

The geological setting and stratigraphy were discussed in more detail in some previous papers (RAMOVŠ, 1986; DOLENEC & RAMOVŠ, 1998; DOLENEC et al., 1999). For the present discussion it is important to note that in what is presently the Idrijca Valley sedimentation proceeded continuously across the P/Tr boundary. There is no evidence of a sedimentological or chronological break across the boundary. The total thickness of the Upper Permian and Lower Scythian beds exposed in the Idrijca Valley is about 27 metres. Although indications of shallowing are present in a broad region, sequential stratigraphic analysis of the Idrijca Valley section found no evidence of emergence or pronounced sea level change across the boundary. The P/Tr boundary is represented by a lithological marker bed - a thin (up to 0.8 cm thick) clayey marl (PTB) layer showing a characteristic magnetic susceptibility pulse and considerable enrichment in most major, minor and trace elements (DOLENEC et al., 1999). The deposition of the PTB layer most probably took place during a period of maximum eustatic fall and regression, at approximately the same time as the sedimentation of the P/Tr boundary red coloured terrigenous sequence in the Karavanke Mountains began (DOLENEC et al., 1999). Another significant feature is the gradual impoverishment of Upper Permian fauna moving towards the boundary and its abrupt disappearance at the boundary. Upper Permian taxa show an abrupt extinction in the topmost up to 20 cm thick black Upper Permian limestone bed underlying the PTB layer. It is overlain by a light grey, well bedded Lower Scythian sparitic limestone. Upward the sparitic limestone is followed by a laminated dolomitic limestone alternating with grey stylolitic dolomites. According to present knowledge,

¹ Department of Geology, Faculty for Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

² Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

³ Geoxp d.o.o., Slap 21, SI-4290 Tržič, Slovenia.

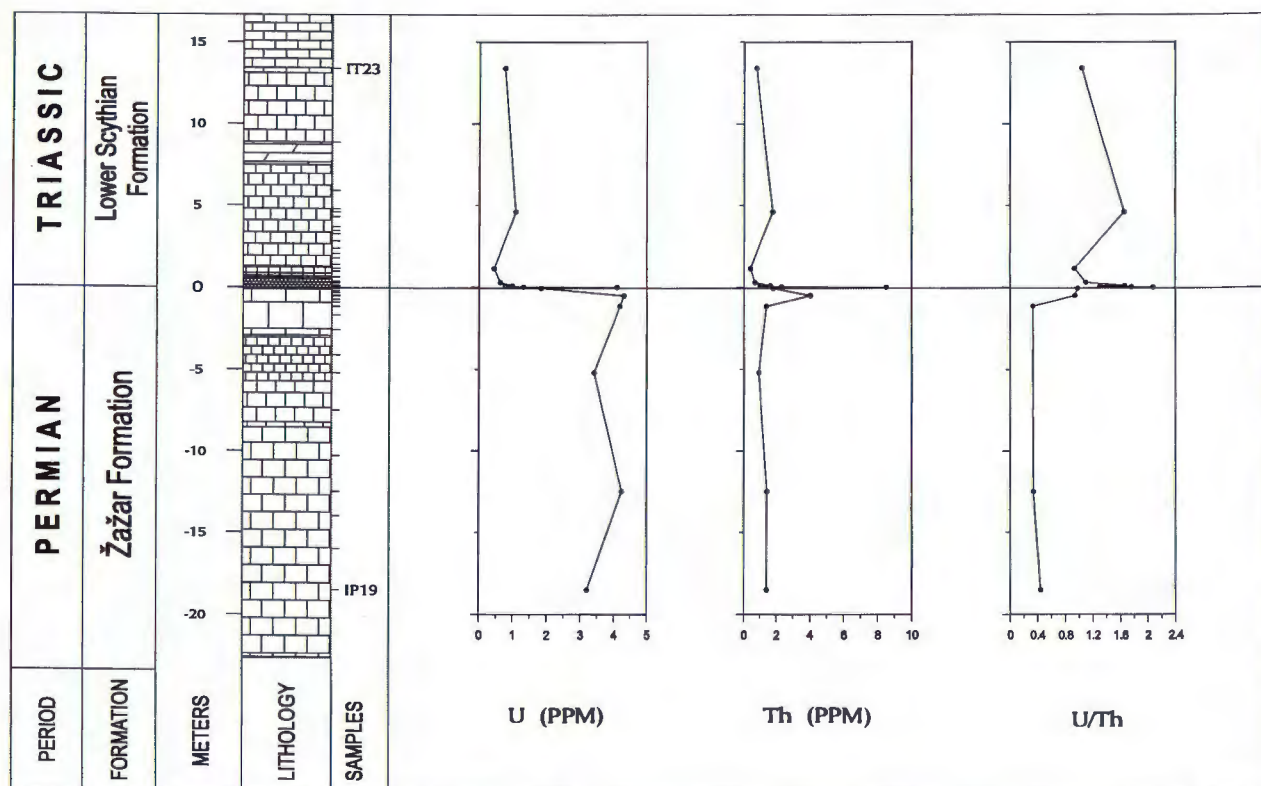


Fig. 1 Depth profile of U and Th concentrations and Th/U values across the Permian-Triassic boundary in the Idrija Valley section.

the basal Scythian unit contains some as yet unidentified conical tube-like fragments of fossils.

3. MATERIALS AND METHODS

The boundary profile in the Idrija Valley was systematically sampled at 20 cm intervals, except in the vicinity of the paleontologically defined P/Tr boundary where sampling intervals were reduced to 10, 5 and 2 cm. The mineralogy of the carbonate phases was determined by X-ray diffractometry and by examination of thin sections by standard optical methods, including staining with Alizarin-red. All samples were also evaluated by petrographic methods to assess their diagenetic history and paleontological characteristics.

Selected samples were analysed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) for Th and U, as well as for other trace elements not discussed in this study. Analytical blanks were run with the samples, and the reference limestone standard CCH-1 (Université de Liège, Belgium) as well as the sediment reference standard MAG-1 (US National Bureau of Standards) were used to check the analytical methods. Elemental analyses were carried out at Activation Laboratories, Ontario, Canada. The analytical precision and accuracy were better than $\pm 5\%$ for both elements. This was indicated by the results of duplicate measurements for 3 samples and the MAG-1 standard.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The depth profile of U and Th concentrations and Th/U ratio across the P/Tr boundary together with the relative stratigraphic positions of the samples, are presented in Fig. 1. The geochemical composition of the boundary sequence reflects the geochemical characteristics of the marine fractions, as well as of a detrital fraction most probably introduced into the sedimentary environment via eolian transport.

The total U and Th contents in the Upper Permian limestone range from 1.83 to 4.30 ppm, and from 0.94 to 4.03 ppm respectively. The highest concentrations of these elements were measured in the PTB layer, and could be attributed to the very high concentrations of clay minerals in this layer. In the Lower Scythian limestone the U and Th concentrations were generally lower and ranged from 0.44 to 1.31 ppm and from 0.41 to 2.31 ppm. The major factors controlling the distribution of U and Th in the P/Tr boundary sequence seem to be the tendency of Th and U to fractionate because of 1) the precipitation of U from solution in a reducing environment, and 2) the selective adsorption of Th in clay mineral, confirmed by a very strong correlation of Th with Al and K (DOLENEC et al., 1999).

Uranium is commonly enriched in anoxic sediments. This enrichment is mainly due to reduction of soluble U^{6+} to U^{4+} (KLINKHAMER & PALMER,

1991). Thus the shape of the U concentration curve (Fig. 1) suggests that oceanic anoxia was more or less typical of the Upper Permian during the sedimentation of the Žažar Formation, and that a transition to more oxygenated conditions occurred at the P/Tr boundary. This observation is also supported by the abrupt decrease in the boundary whole rock Mo and V content, as well as by the shape of the Ce/Ce* curve (DOLENEC et al., 1999).

Thorium is unaffected by redox conditions and remains in an insoluble state as Th⁴⁺. The result is that anoxic sediments have Th/U ratios below 2, oxic marine sediments have ratios between 2 and 7, and intensely oxidizing terrestrial environments have ratios in excess of 7 (ADAMS & WEAVER, 1985). The ratio of Th/U calculated from the data for the investigated P/Tr boundary sequence in the range between 0.28 and 0.98 and the shape of the Th/U curve also suggest that anoxic conditions prevailed during the deposition of the Žažar Formation and that the transition to oxygenated conditions occurred at the P/Tr boundary (Th/U ratio R, 1). The Lower Scythian limestone has Th/U ratios between 0.93 and 1.73, also suggesting slightly anoxic conditions.

5. CONCLUSIONS

Geochemical data based on redox sensitive U concentrations and the Th/U ratio suggest appreciably anoxic conditions during the Upper Permian, the culmination of an anoxic event at about 50 cm below the boundary, followed by oxygenated conditions persisting into the earliest Scythian. The shape of the Th/U curve indicates that redox conditions changed in the earliest Triassic, again resulting in oxygen deficient conditions. Although there is widespread disagreement about the causes of the end Permian mass extinction, our data strongly suggest that the Upper Permian marine fauna in the Idrijca Valley section would have been heavily stressed and drastically reduced by the increase in marine anoxia at 50 cm below the boundary, as well as by the culmination of the end Permian marine regression.

6. REFERENCES

- ADAMS, J.A.S. & WEAVER, C.E. (1958): Thorium-to-Uranium ratios as indicators of sedimentary processes; an example of geochemical facies.- *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geologists*, 42, 387.
- DOLENEC, T. & RAMOVŠ, A. (1998): Stable isotope variations in the Permian-Triassic boundary carbonate sequence from the Idrijca Valley (W. Slovenia).- *Permophiles*, 29, 42-44.
- DOLENEC, T., LOJEN, S. & RAMOVŠ, A. (1999): The Permian-Triassic boundary in Western Slovenia (Idrijca Valley section): magnetostratigraphy, stable isotopes and elemental variations.- in prep.
- KLINKHAMMER, G. & PALMER, M.R. (1991): Uranium in the oceans: Where it goes and why.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 55, 1799-1806.
- KNOLL, A.H., BAMBACH, R.K., CANFIELD, D.E. & GROTZINGER, J.P. (1986): Comparative Earth history and Late Permian mass extinction.- *Science*, 273, 452-457.
- RAMOVŠ, A. (1986): Marine development of the uppermost Žažar beds and the lowermost Scythian beds.- In: Permian and Permian-Triassic boundary in the South Alpine segment of the Western Tethys. IGCP Project 203, Excursion Guidebook, 39-42.
- WIGNALL, P.B. & TWITCHETT, R.J. (1996): Oceanic anoxia and the end-Permian mass extinction.- *Science*, 272, 1155-1158.
- YOICHI, E. (1994): Patterns and paleoenvironmental implications of end-Permian extinction of Rugosa in South China.- *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 107, 165-177.





Environmental Impact on *Mytilus galloprovincialis* Shells in the Coastal Zone of the Northern Adriatic, Croatia

Tadej DOLENEC^{1,2}, Davorin MEDAKOVIĆ³ & Sonja LOJEN²

Key words: *Mytilus galloprovincialis*, Biomineralization, Stable isotopes, Anoxia, Northern Adriatic.

Abstract

The results of this study suggest changes in shell growth structure and in isotopic and chemical composition of *Mytilus galloprovincialis* shells due to anoxia in the coastal zone of the Northern Adriatic. The outer aragonitic stress layer of *Mytilus galloprovincialis* shells formed during pronounced summer anoxia is massive, pink coloured and out of oxygen and carbon isotopic equilibria. It also exhibits higher C/O ratios relative to the uncoloured aragonitic layer precipitated during normal oxic conditions.

1. INTRODUCTION

Biomineralization is a complex combination of biochemical and physiological processes, depending on the endogenous activity of the organism and exogenous environmental influence. However, the influence and interaction between environmental factors such as lack of oxygen and biomineralization have been insufficiently investigated so far. This paper reports on the $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values measured in selected pink coloured shell layers taken from a specimen of *Mytilus galloprovincialis* which was found growing in the coastal zone of the Northern Adriatic during anoxic conditions in the years 1989-1991. These data were used to make interpretations regarding alterations in biomineralization processes influenced by environmental changes.

2. MATERIALS AND METHODS

Determination of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ was performed on separate shell layers using a Varian MAT 250 mass spectrometer. Organic matter was eliminated prior to the determination of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ by roasting the mol-

luscan carbonate powder under vacuum for 1 hour at 380°C. After that the carbonate powder was reacted with >100% H_3PO_4 at 25°C. Before acid treatment the mineralogical composition of the selected layers powder was checked by X-ray diffraction to determine aragonite/calcite ratio. All results reported here are for the samples of >95% aragonite or >95% calcite. Results are expressed relative to PDB for $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$. The average difference of duplicate analyses was about 0.1‰ for oxygen and 0.09 for carbon.

For characterization of the microstructure and composition of *Mytilus galloprovincialis* shells we used SEM and EDS analyses. A JEOL JSM 5800 SEM equipped with a Link ISIS 300 EDS was used for overall analysis. Quantitative analyses were performed using SEMQuant software and a virtual standard package-library (VSP).

3. RESULTS AND DISCUSSION

SEM analyses showed that *Mytilus galloprovincialis* has an outer shell layer composed of calcite fibres and an inner nacreous shell layer which is porcelaneous in appearance. Single fibres of the outer layer are approximately 1.5 μm thick and are inclined towards the shell exterior. The inner layer is built up of equidimensional, horizontally flattened aragonite prisms about 10-20 μm wide, with their long axes oriented perpendicular to the shell surface. In pink coloured shells, the inner layer is roughly divided in two sublayers. The outer sublayer consists of the same structure of flattened aragonite prisms, while the inner sublayer, up to 900 μm thick, is composed of irregular aragonite grains and shows a massive structure (Fig. 1). These aragonite grains are supposed to precipitated faster than uncoloured ones.

The *Mytilus galloprovincialis* shell carbonates show variation of $\delta^{18}\text{O}$ in the range between +0.07 and +2.21‰ and $\delta^{13}\text{C}$ between +0.18 and -1.31‰. In uncoloured shells the calcitic layer is either slightly enriched

¹Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

²Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

³Ruder Bošković Institute, Center for Marine Research, Giordano Paliaga 5, HR-52210 Rovinj, Croatia.

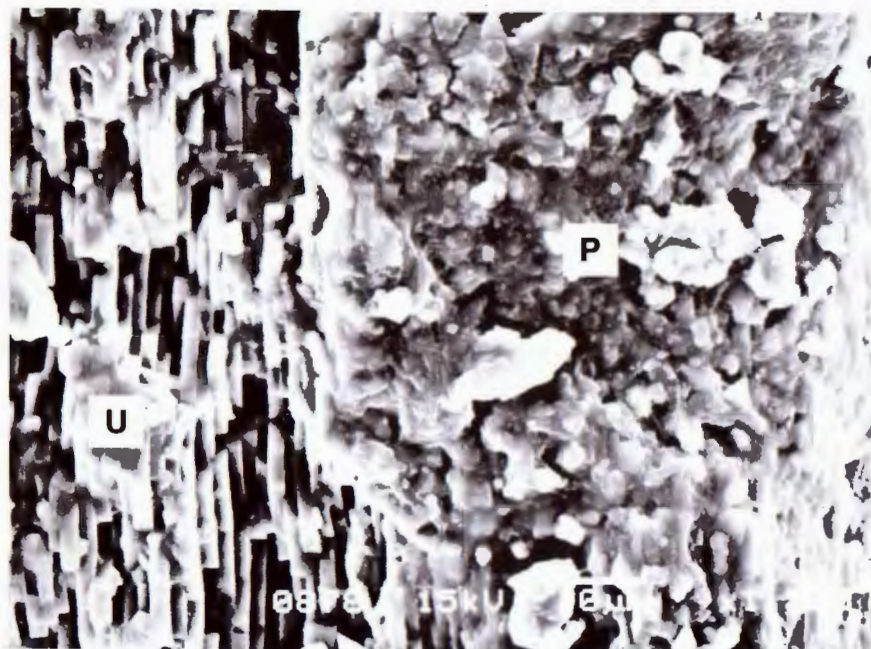


Fig. 1 SEM photo of the visible difference in morphology between the uncoloured (U) and pink (P) part of the inner aragonite layer of a *Mytilus galloprovincialis* shell structure.

in the heavy oxygen isotope relative to the inner aragonite layer, or contains more or less the same quantity of heavy oxygen isotope as the aragonite one. Biogenic aragonite has been reported as having both ^{18}O depletion (TARUTANI et al., 1969; HORIBE & OBA, 1972) and enrichment (SOMMER & RYE, 1978; GROSSMAN, 1982) compared to biogenic calcite. The magnitude of the ^{18}O enrichment of aragonite relative to mollusc calcite was not temperature dependent (GROSSMAN & KU, 1986). In the coloured shell the uncoloured aragonitic sublayer exhibits a higher $\delta^{18}\text{O}$ value as compared to the pink aragonitic sublayer and/or calcitic layer. The 1.22‰ enrichment in $\delta^{18}\text{O}$ of the uncoloured aragonite sublayer relative to the pink one would translate into a change of 4.5°C of seawater temperature using the GROSSMAN & KU (1986) equation. Such large changes in ambient seawater temperature most probably indicate a temperature-induced seasonal $\delta^{18}\text{O}$ signal. The pink aragonite layer was formed between July and August during seawater anoxia when the ambient water was warmer.

The $\delta^{13}\text{C}$ of mussel carbonates varies between 0.18 and -1.26‰. In all the investigated samples the calcite layer contained more light carbon ^{12}C isotope than the aragonite one. The isotopic difference between the calcite and aragonite layers most probably corresponds to different equilibrium fractionation in the calcite-water and aragonite-water system. Aragonite was found to be enriched by 1‰ in ^{13}C relative to coexisting calcite at the relevant temperatures (GROSSMAN, 1984; GROSSMAN & KU, 1986). In the coloured shell the pink aragonite sublayer was enriched (up to 0.91‰) in light carbon ^{12}C relative to the uncoloured aragonite sublayer.

Most marine carbonates reflect the $\delta^{13}\text{C}$ of total dissolved inorganic carbon (TDC) of the water in which they form (ANDERSON & ARTHUR, 1983) and this is

probably also the case with the *Mytilus galloprovincialis* from the investigated area. Whereas many organisms display a vital carbon isotope fractionation effect, molluscs are considered to precipitate carbonate in or near isotopic equilibrium with ambient water (WEFER & BERGER, 1991). Normally, when calcium carbonate precipitates slowly from solution, equilibrium isotope partitioning is observed. However, faster precipitation may result in isotopic signatures which are significantly out of equilibrium (MITCHEL et al., 1994). In the case of the pink coloured *Mytilus galloprovincialis* shells we feel reasonably confident that the pink aragonite sublayer represent a stress layer formed during summer anoxia. The lower $\delta^{13}\text{C}$ of this layer thus could indicate the incorporation of isotopically light bicarbonate due to the decomposition of organic matter and/or kinetic effects due to the fast growth of the pink biogenic aragonite. This hypothesis is supported by field observations as well as by structural changes in the minor aragonitic layer which are coincidental with the higher ^{12}C content. The pink aragonite sublayer is believed to form during pronounced summer anoxia. It contains a signature of stress conditions which reflect the changes from a slow precipitate of uncoloured flattened aragonite prisms to irregular aragonite grains precipitated at high rates. Faster precipitation may result in isotopic signatures which are significantly out of equilibrium.

4. REFERENCES

- ANDERSON, T.F. & ARTHUR, M.A. (1983): Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems.- In: ARTHUR, M.A., ANDERSON, T.F., KAPLAN, I.R., VEIZER, J. & LAND, L.S. (eds.): Stable Isotopes in Sedimentary Geology. Soc. Econ. Paleont. Mineral. Short Course, 10, 1-1 - 1-151.

- GROSSMAN, E.L. (1982): Stable isotopes in live benthic foraminifera from the south California borderland.- Unpubl. Ph.D. thesis, Univ. Southern California, 164 p.
- GROSSMAN, E.L. (1984): Carbon isotopic fractionation in live benthic foraminifera - comparison with inorganic precipitate studies.- *Geochim. cosmochim. Acta*, 48, 1505-1512.
- GROSSMAN, E.L. & KU, T.L. (1986): Oxygen and carbon isotope fractions in biogenic aragonite: temperature effects. - *Chem. Geol. (Isotope Geosci. Sci.)*, 59, 59-74.
- HORIBE, Y & OBA, T. (1972): Temperature scale of aragonite-water and calcite-water system.- *Fossils*, 23/24, 69-79.
- MITCHELL, L., FALLICK, A.E. & CURRY, G.B. (1994): Stable carbon and oxygen isotope composition of mollusc shells from Britain and New Zealand.- *Palaeog.*, *Palaeoclim.*, *Palaeoecol.*, 111, 207-216.
- SOMMER, M.A. & RYE, D.M. (1978): Oxygen and carbon isotope internal thermometry using benthic calcite and aragonite foraminifera pairs.- In: ZARTMAN, R.E. (ed.): 4th International Conference, *Geochronology, Cosmochemistry, Isotope Geology*. Short Papers, U. S. Geological Survey, Open-File Report 78-701, 408 p.
- TARUTANI, T., CAYTON, R.N. & MAYEDA, T.K. (1969): The effect of polymorphism and magnesium substitution on oxygen isotope fractionation between calcium carbonate and water.- *Geochim. cosmochim Acta*, 33, 987-996.
- WEFER, G. & BERGER, W.H. (1991): Isotope paleontology: growth and composition of extant calcareous species. - *Mar. Geol.*, 100, 207-248.





Correlation of Paleocene Biota of the North Adriatic Karst Area and Hercegovina

Katica DROBNE¹, Nevio PUGLIESE² & Mladen TRUTIN³

Key words: Paleocene, Algae, Foraminifera, Corals, Life strategy, N Italy, SW Slovenia, Hercegovina, Adriatic carbonate platform.

Abstract

The NW part of the North Adriatic Karst and Hercegovina show some similarities of the Paleocene biota, which have been established in relation with the finding of dasycladales, charophytes, foraminifers and Liburnian facies development in a time-span ranging from K/T boundary to the Thanetian. Both areas show two evident limits corresponding to the NE position of deep basin and platform margin and to the regions where the Cretaceous limestones or the bauxites were overlain for the first time by deposits related to the Cuisian transgression.

INTRODUCTION

The study of the palaeoenvironmental evolution of the karstic region has been the main topic of the projects Alpe-Adria (since 1995), partly of INA-Naftaplin project and, more recently, of the MURST Cofin 1997 (*Eventi paleobiologici cretacici e terziari nella regione carsica*). Within these projects, several palaeobiological events have been highlighted. They concern colonizations, appearances and disappearances of taxa pertaining to the biota which occurs in the carbonate platform deposits today outcropping in the karstic area among NE Italy, SW Slovenia and Hercegovina. This work focuses on some biostratigraphic and palaeoenvironmental data concerning some Paleocene taxa from the K/T boundary to the end of the Thanetian, in the northern and northeastern Adriatic areas. Moreover, it deals with the possible analogies occurred in the environmental evolutions in such areas (sections Duino, Padriciano, Sopada, Dolenja Vas, Golež - PUGLIESE et al., 1995; BRAZZATTI et al., 1996; JURKOVŠEK et al., 1996) and in Hercegovina (DROBNE et al., in print).

NORTH ITALY AND SW SLOVENIA

This region is characterized by belts of Paleocene deposits which are NW-SE directed and subparallel to the Trieste coastline up to Padriciano area, where they rotate southeastward up to Slovenia. Such deposits are thicker at Padriciano than at the northwestern and eastern localities.

The K/T boundary, where present in the studied northern areas, is well documented in peritidal settings which are characterized by generally unstable environmental conditions with frequent subtidal-to-supratidal changes. As demonstrated in Slovenian (Dolenja Vas, Golež) and Italian (Padriciano) localities, shallowing upwards sequences contain sporadic opportunistic small-sized miliolids and thin-shelled smooth ostracods, which are able to tolerate continuous environmental changes provoking stressed conditions.

In the Danian, within a frame of shallow water environmental evolution, the karstic region shows a first evident difference from West (Italy) to East (Slovenia). Westwards, at Padriciano and partly at Čebulovica, in Slovenia (OTONIČAR & KOŠIR, 1998; OGORELEC et al., in preparation) is always characterized by thick peritidal deposits; eastwards, peritidal deposits are thin and soon overlaid by those of restricted marine settings (Dolenja Vas). The peritidal deposits are characterized by breccias, dark bituminous limestones, laminated limestones, birds eyes structures, *Microcodium*, paleo-soils, mud cracks, etc. They contain a low diversified biota consisting of ostracods and thin-shelled gastropods, together with discorbids and *Bangianna hanseni*, new form of foraminifers of SBZ 1 (Shallow Benthic Zone; sensu SERRA-KIEL et al., 1998). These taxa demonstrate their r-strategy in dwelling areas rich in nutrients in relation with the land proximity (PUGLIESE et al., 1995; TRAVE et al., 1996). Moreover, these opportunistic taxa are able to tolerate fresh-water influence, as often documented in the Padriciano area by the contemporary Charophyta occurrence, including *Lagynophora* (BIGNOT, 1972; PUGLIESE et al., 1995).

¹ Paleontološki inštitut ZRC SAZU, Gosposka 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

² Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine (DISGAM), via Weiss 2, I-34127 Trieste, Italia.

³ INA-Consulting, Savska c. 88a, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

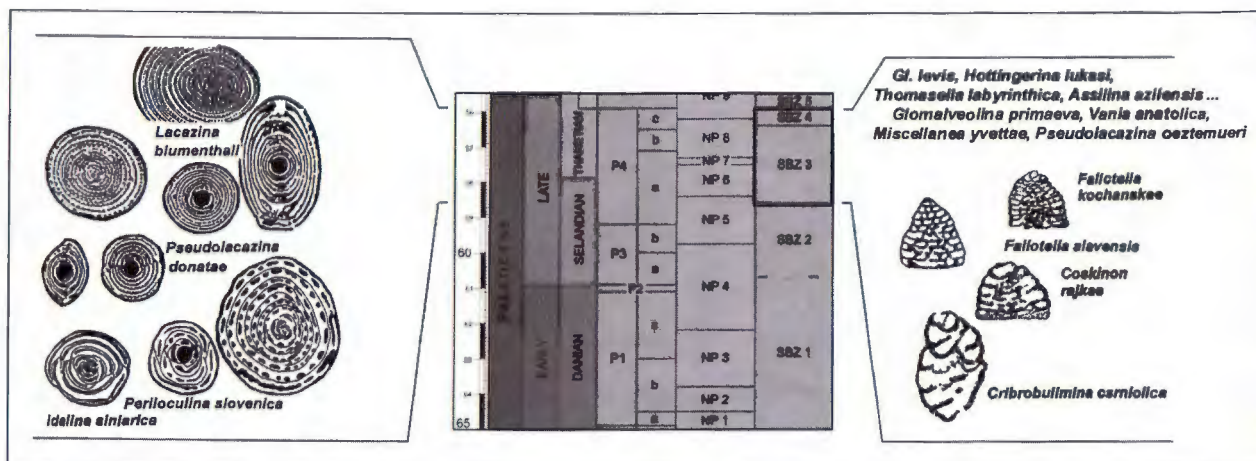


Fig. 1 Appearance of larger foraminifera in SBZ 3 and SBZ 4 of Upper Paleocene in Karst area (N Italy, SW Slovenia) and Hercegovina.

Eastwards, the overlying restricted deposits (dark limestones) yield miliolids, *Kayseriella decastroi* SIR-EL, algae such as *Aeolisaccus barattoloi* De CASTRO, *Decastroporella triestina* BARATTOLO, *Drobnella slovenica* BARATTOLO, *Microsporangella buseri* (RADOIČIĆ) (BARATTOLO, 1998), corals mainly represented by *Dendrophyllia* sp., and *Haimesastraea peruviana* VAUGHAN (TURNŠEK & DROBNE, 1998) which indicate marine settings, near the platform margin. They also indicate a trend towards stabler conditions with respect to the previous ones, even if this assemblage denotes a low biodiversity. Thus, such taxa may suggest new environmental conditions, which begin a trend towards the K-strategy of life.

From the uppermost Danian to the Seladian, the environmental conditions mainly present uniformity in the above mentioned localities, since open shelf deposits show richer assemblages than before. PUGLIESE et al. (1995) report several foraminifers (i.e. *Pseudonummoloculina* sp. 1, cf. *Helenalveolina* sp. 1, *Periloculina* sp. 1) and Daycladaceae of SBZ 2. Such assemblage might indicate shallow perennial vegetated bottoms, normal marine salinity and generally mesotrophic conditions, so demonstrating its evident trend towards the success of the K-strategy (TRAVE et al., 1996; HOTTINGER, 1998).

The beginning of the Thanetian (SBZ 3) records shallow water marine settings in Slovenian localities and Padriciano. The limestones contain the first agglutinated conical foraminifers (*Coskinon rajkae* HOTTINGER & DROBNE, *Cribobulimina carniolica* HOTTINGER & DROBNE, *Fallotella alavensis* MANGIN, *F. kochanskae* HOTTINGER & DROBNE) and the porcellanaceous *Pseudonummoloculina* sp. and *Helenalveolina* sp. from SBZ 2. The assemblages become more diversified than SBZ 2 for the appearance of foraminifera with inner structure as *Glomalveolina primaeva* (REICHEL), *Periloculina slovenica* DROBNE, *Discocyclina seunesi* DOUVILLE, *Vania anatolica* SIREL (ex *Broeckinella arabica* HENSON) and rotaliids.

The above mentioned biota is overlain by other porcellanaceous species of SBZ 4 (*G. dachelensis* SCHWAGER, *G. levis* HOTTINGER, *Lacazina blumenthali* RECHEL & SIGAL, *Pseudolacazina donatae* (DROBNE), *Hottingerina lukasi* DROBNE) and the first nummulitids as *Assilina azilensis* (TAMBAREAU), *Ass. yvettae* SCHAUB, and also *Thomasella labyrinthica* (GRIMSDALE) (ex *Saudia labyrinthica*).

The Thanetian limestones also include Algae of SBZ 3 and SBZ 4. The former mainly consist of Cymopolia assemblages, whilst the latter present Corallinaceans. Only in Sopada section (SW Slovenia) the dasycladacean *Thyrsoporella longa* RADOIČIĆ occurs (BARATTOLO, 1998; BARATTOLO in DROBNE et al., 1989; BRAZZATTI et al., 1996). Moreover, massive and encrusting corals (TURNŠEK & DROBNE, 1998) and echinoids are present. The Thanetian might record increasingly stabler environmental conditions, which are characterized by perennial vegetated bottoms and normal marine salinity. So, the corresponding biota indicates an environmental control addressed to a K-selection.

HERCEGOVINA

Hercegovina is characterized by belts of Paleocene deposits in western and eastern sides of Neretva river. Westwards, they are present between Mt. Čvrtnica and Lištica locality, eastwards, they occur between Mt. Velež at the North, and Hutovo Village at the South.

The area is characterized by parallel faults, which are NW-SE directed, and other ones orthogonal to them. The outcrops are truncated by erosional processes occurred in correspondence of bauxitic sedimentation (SAKAČ et al., 1987).

This study deals with some selected section: Duvno Vrelo, Goranci, Podveležje from West to East, Lukavac-Val, Stolac-Hrgud and Metković from southwards. They may represent reference-sections for the definition of the biota deposited in the carbonate facies dur-

ing Paleocene. The Paleocene beds testify a sea-ingression on Upper Cretaceous beds of different ages. They overlay the oldest members of the Upper Cretaceous in the north-western part and youngest ones eastwards, respectively. Moreover, some reduced Maastrichtian deposits outcrop in the eastern part at Metković-Sjekoše (DROBNE et al., in press). The thickness of Paleocene deposits (from Danian to Thanetian) increases from West to East; however, it does not exceed 120 m (Stolac - Hrgud).

The north-western region is characterized by Paleocene sections which contain Dasycladales and rare foraminifers of SBZ 2 which belongs to Selandian. The former consist of *Drobnella slovenica* BARATTOLO and species of *Cymopolia*. The latter are rare and represented mainly by *Kayseriella decastroi* SIREL, *Periloculina* sp. and *Idalina* sp. As reported in the previous areas, such assemblage may indicate the beginning of a trend towards the K-strategy.

The Podveležje section yields numerous foraminifers with inner structure, such as *Glomalveolina primavera* (REICHEL), *Periloculina slovenica* DROBNE, *Vania anatolica* SIREL, *Idalina sinjarica* GRIMSDALE, together with conical forams represented by *Fallotella alavensis* MANGIN and *Coskinon rajkae* HOTTINGER & DROBNE. Moreover, the assemblage shows the first appearance of K-strategist larger foraminifera (sensu HOTTINGER, 1998). The above mentioned fauna belongs to SBZ 3 (Lower Thanetian). The youngest beds belong to SBZ 4 (Upper Thanetian) in relation with the occurrence of *Distichoplax biserialis* DIETRICH, *Kathina subsphaerica* SIREL and *Discocyclina seunesi* DOUVILLE. The thickness of Paleocene beds is unknown (SLIŠKOVIĆ et al., 1978).

In the Mt. Hrgud area, close to Stolac, the studied section yields a rich floral and faunal content which is Thanetian in age. After a short hiatus, this section continues in the Ilerdian up to Middle Cuisian, which represents the end of the sedimentation on the platform. It is possible that Paleocene beds of SBZ 2 containing *Microcodium*, valvulinids and discorbids are present some metres above the Cretaceous/Tertiary boundary. When the sedimentation takes place in increasing depth settings, conical and porcellanaceous foraminifers appear. They are already found in Podveležje section in correspondence of SBZ 3, together with *Pseudolacazina oeztemueri* (SIREL). Moreover, frequent changes from marine to brackish assemblages are recorded. Following STACHE (1889), the latter are typical in the Liburnia Formation belonging to Paleocene. They are characterized by well preserved charophytes and, particularly, by *Lagynophora* (DROBNE et al., in press).

The oldest beds occur in the southernmost Metković-Sjekoše section. Dark micritic limestones contain *Bangiana hanseni* n.gen. n.sp., which is a foraminifer considered in SW Slovenia as index species of SBZ 1 in Danian, together with discorbids, ostracods, characeans and *Microcodium* fragments (DROBNE, in print).

CONCLUSION

North Italy and SW Slovenia show Paleocene beds which testify a trend from more or less restricted lagoon to open marine settings. Moreover, the more restricted ones are mostly present in the Padriciano area. Hercegovina shows a reduced thickness of Paleocene beds in the NW part, where frequent lithological changes (mainly limestones, breccias, conglomerates, and other clastic deposits) reflect depositional environments near the platform margin testifying an increased energy index. The area along the left side of Neretva River, the eastern and southeastern parts of Hercegovina, are characterized by lagoon deposits together with restricted shallow marine ramp ones. The largest thicknesses correspond to the palustrine deposits and the most reduced one to the open sea/platform margin sedimentations, respectively.

The Paleocene biota records evident similarities in both regions belonging to NW (N Italy, SW Slovenia) and central part (Hercegovina) of the Adriatic carbonate platforms. The easternmost faunal provincial elements occur more frequently in Hercegovina than in the NW Karst. Moreover, the typical Liburnian facies shows similar development in both regions. An evident limit in the both countries can be expressed, namely the surfaces covered by the first Paleocene sea-ingression are clearly separated from those with the first sea-ingression during the Cuisian time - in the NW area along the Čičarija Mts., in Herzegovina along the Lištica belt and subparallel to the Neretva River.

REFERENCES

- BARATTOLO, F. (1998): Dasycladacean green algae and microproblematica of the uppermost Cretaceous-Paleocene in the Karst area (NE Italy and Slovenia). - In: HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (eds.): Dela-Opera SAZU 4. razr. 34/2, 65-127, Ljubljana.
- BIGNOT, G. (1972): Recherches stratigraphiques sur les calcaires du Crétacé supérieur et de l'Eocene d'Istrie et des régions voisines. Essai de révision du Liburnien.- Trav. 2, Laborat. Micropal., Uni. Paris, 344 p., Paris.
- BRAZZATTI, T., CAFFAU, M., COZZI, A., CUCCHI, F., DROBNE, K. & PUGLIESE, N. (1996): Padriciano Section (Karst of Trieste, Italy). - In: DROBNE, K., GORIČAN, Š. & KOTNIK, B. (eds.): The Role of Impact Processes in the Geological and Biological Evolution of Planet Earth. Int. Workshop Postojna '96, 189-198, Ljubljana.
- DROBNE, K. (in print): *Bangiana hanseni* n.gen. n.sp. (foraminifera) from the Early Paleocene of the Adriatic Platform.- Dela - Opera SAZU, 4. Razr., 34/3, Ljubljana.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., BARATTOLO, F., ZUCCHI-STOLFA, M.L. & TURNŠEK, D. (1989): The Dolenja vas section, a transition from Cretaceous to Paleocene in the NW Dinarides, Yugoslavia.- Mem. Soc. Geol. Ital., 40, 73-84, Roma.
- DROBNE, K., TRUTIN, M. & PAVLOVEC, R. (in print): The Paleogene carbonates on the Adriatic Platform.- Dela - Opera SAZU, 4. razr., 34/3, Ljubljana.
- HOTTINGER, L. (1998): Shallow benthic foraminifera at the Paleocene - Eocene boundary.- Strata, Serie 1, 9, 61-64, Paris.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. (1996): Formacij-

- ska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine, 1:50 000.- Založba GZL, Ljubljana, 97 p.
- OGORELEC, B., DROBNE, K., JURKOVŠEK, B., DOLENEC, T. & TOMAN, M. (in prep.): Liburnijske plasti pri Čebulovici.- *Geologija*, 43, Ljubljana.
- OTONIČAR, B. & KOŠIR, A. (1998): Palustrine carbonates of the Upper Cretaceous/Paleogene Liburnia Formation, Southwestern Slovenia.- In: CANAVERAS, J.C., ANGELES GARCIA DEL CURA, M. & SORIA, J. (eds.): 15th Intern. Sediment. Congr., Abstracts, 593-594, Alicante.
- PUGLIESE, N., DROBNE, K., BARATTOLO, F., CAFFAU, M., GALVANI, R., KEDVES, M., MONTENEGRO, M.E., PIRINI RADRIZZANI C., PLENIČAR, M. & TURNŠEK, D. (1995): Micro and macrofossils from the K/T boundary through Paleocene in the Northern Adriatic platform.- In: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (eds.): 1st Croatian Geological Congress, Proceedings, 2, 415-422, Zagreb.
- SAKAČ, K., ŠINKOVEC, B., BABIĆ, L., SESAR, T., DROBNE, K. & ZUPANIČ, J. (1987): O tektonici, sedimentima paleogena i ležištima boksita područja Lištice u Hercegovini.- *Geol. vjesnik*, 40, 351-378, Zagreb.
- SERRA-KIEL, J., HOTTINGER, L., CAUS, E., DROBNE, K., FERRANDEZ, C., JAUHRI, J.K., LESS, G., PAVLOVEC, R., PIGNATTI, J.S., SAMSO, J.M., SCHAUB, H., SIREL, E., STROUGO, A., TAMBAREAU, Y., TOSQUELLA, J. & ZAKREVSKAJA, E. (1998): Biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene.- *Bull. Soc. geol. France*, 169, 281-299, Paris.
- SLIŠKOVIĆ, T., PAVLOVEC, R. & DROBNE, K. (1978): Stariji paleogen u južnoj Hercegovini (Older Paleogene in Herzegovina).- 9. kongr. geol. Jugoslavije, Zbornik radova, 125-128, Sarajevo.
- STACHE, G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenz-horizonte, eine Studie über die Schichtenfolge der cretacisch-eocänen oder protocänen Landbildungs-Periode im Bereiche der Küstländer von Österreich-Ungarn.- *Abh. k.-k. geol. Reichsanst.*, 13, 1-170, Wien.
- TRAVE, A., SERRA-KIEL, J. & ZAMARRENO, I. (1996): Paleogeological interpretation of transitional environments in Eocene Carbonates (NE Spain).- *Palaios*, 11, 141-160.
- TURNŠEK, D. & DROBNE, K. (1998): Paleocene corals from the northern Adriatic platform.- In: HOTTINGER, L., DROBNE, K. (eds.): *Dela - Opera SAZU*, 4. razr. 34/2, 129-154, Ljubljana.



Biostratigrafija naslaga sarmata na osnovi kremičnog fitoplanktona u području Markuševca (Medvednica, Hrvatska)

Biostratigraphy of Sarmatian Beds on the Markuševac Area Based on Siliceous Phytoplankton
(Medvednica, Croatia)

Ines GALOVIĆ

Ključne riječi: Markuševac, sarmat s. str., silikoflagelate i dijatomeje.

Key words: Markuševac, Sarmatian s. str., Silicoflagellates and Diatoms.

Sažetak

Područje zahvaćeno istraživanjem nalazi se na JZ dijelu Medvednice, u naselju Markuševac. Pažnja ovog rada usmjerena je na paleontološke analize i odredbe kremičnog fitoplanktona (silikoflagelati, dijatomeje). Iz ukupno 8 uzoraka sedimenta sarmatske starosti (lapora i glina) na geološkom stupu Mrzljak dobiveni su novi paleoekološki i biostratigrafski rezultati.

Abstract

The Markuševac section on the south-west part of the Medvednica Mt. was studied. The attention of this work is paid to paleontological analyses and determination of siliceous phytoplankton (silicoflagellates, diatoms). Out of the 8 samples of marls and clays of Sarmatic age in the geological column Mrzljak, particular paleoecologic and biostratigraphic results have been achieved.

OPIS NASLAGA

U području Markuševca (sl. 1), na geološkom stupu Mrzljak (sl. 2) ukupne debljine 10-tak m izdvojene su slijedeće naslage sarmatske starosti: krupnoklastični sedimenti, normalno-graduirani krupnozrnati pijesci, ravno-laminirane gline i kalcitni lapori. Donja granica sarmata s badenom je uočljiva i transgresivnog karaktera (erozijsko-diskordantna).

PALEONTOLOŠKI REZULTATI

Paleontološkom analizom izdvojene su i determinirane slijedeće zajednice kremičnih mikrofosila. Od silikoflagelata prvenstveno prevladavaju vrste roda *Distephanus crux* (EHRENBERG) BUKRY i *Distephanus schauinslandii* LEMMERMANN s pratećim oblicima. Nešto se rjeđe nalaze *Distephanus* sp. cf. *Ds. quinquantellus* BUKRY & FORESTER, *Distephanus* sp. cf. *Ds. longispinus* (SCHULZ) BUKRY i *Dictyocha fibula* EHRENBERG. Uz navedene silikoflagelate utvrđeni su i čitavi skeleti roda *Ammodoichium prismaticum* HOVASSE, tipičnog miocenskog oblika. Ima i nešto ebrijida (silikoflagelate u širem smislu riječi - HAQ, 1978). To

su prvenstveno *Hermesinum adriaticum* ZUCHARIAS, *Ebria triparita* (SCHUM.) LEMMERMANN i *Cardiifolia gracilis* HOVASSE. Osim silikoflagelata, pokoje spikule spužvi (spherasters), u velikom broju javljaju se i dijatomeje. Najkarakterističnije su slijedeće vrste: *Melosira sulcata* (EHR.) RALFS, *Coscinodiscus oculus iridis* EHRENBERG, *Actinoptychus heliopelta* GRUNOW, *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenella* (BREBISON) HUSTEDT, *Bacteriastrum varians* LAUDER, *Thalassionema nitzschioides* (GRUN.) HUST., *Achnantes saeptata* var. *sussedana* JURILJ, *Cocconeis scutellum* EHR., *Diploneis gemmatula* (GRUN.) CLEVE, *D. subovalis* CL., *Navicula lyra* EHR. te *N. marina* RALFS kao i prateći primjerci rodova i vrsta. Osim navedenih vrsta nađena je i dinoficeja *Actiniscus pentasterias* EHRENBERG te nesigurno određeni prolokulus foraminifere. Najreprezentativniji mikrofosili dobiveni su i determinirani iz nivoa uzorka 3 (tabla 1).

BIOSTRATIGRAFIJA SARMATSKIH NASLAGA

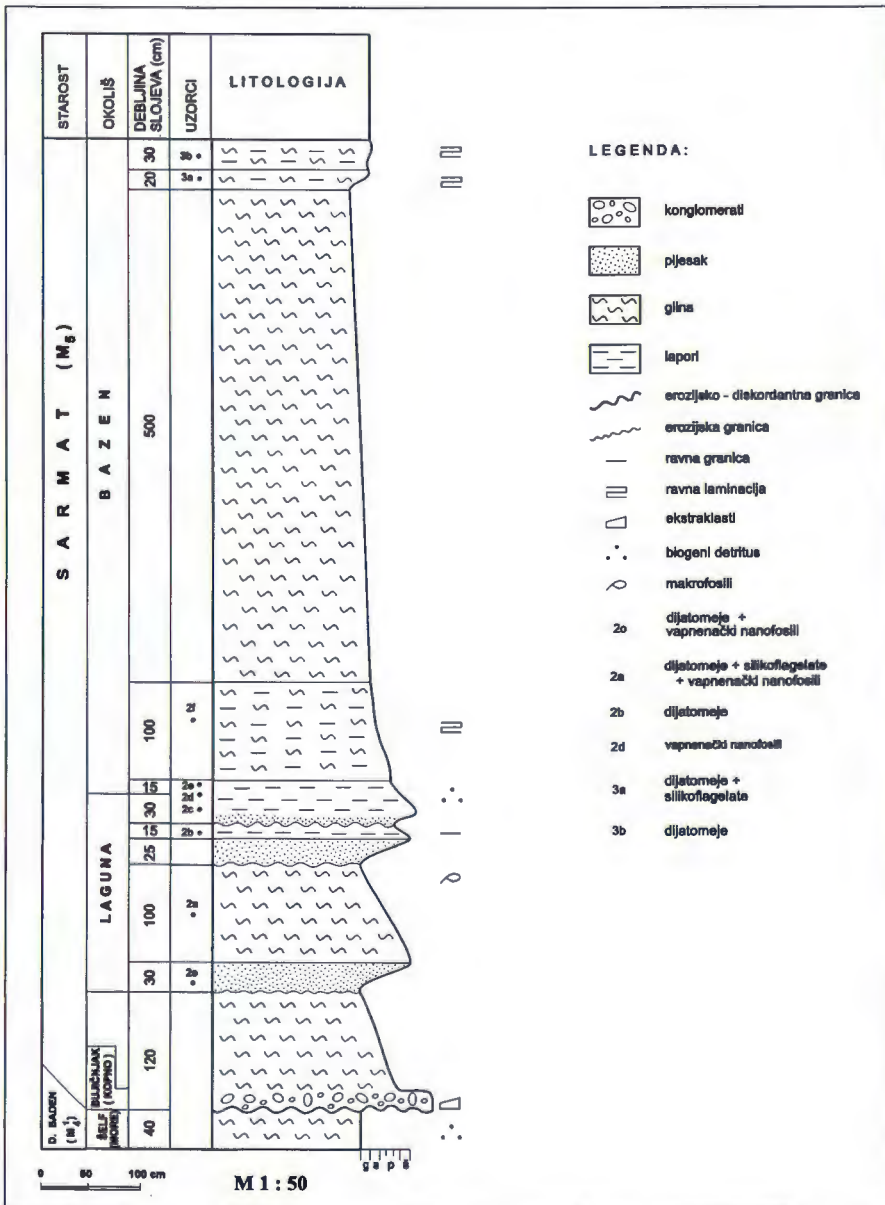
Na temelju navedene fosilne zajednice nastojalo se izvršiti biostratigrafsko zoniranje mladih naslaga srednjeg miocena. Silikoflagelatni oblik *Dictyocha rhombi-*



Sl. 1 Položajna skica s lokalitetom Markuševac na topografskoj karti Medvednice M 1:300.000.

Fig. 1 Location map with Markuševac locality on the topographic map of the Medvednica Mt. (1:300,000 scale).

ca u sedimentima donjega sarmata potpuno izostaje na profilu, pa se ne može dokazati postojanje donjosarmatske cenozone *Ds. soljanii*. Za razliku od starijeg dijela sarmata, mladi sarmat je dokazan silikoflagelatima i pripada *Distephanus longispinus* zoni (~NN7-NN9 - MARTINI & MÜLLER, 1976), a u Panonskom prostoru gdje je zastupljen sarmat s. str. odgovara rasponu od gornjeg dijela volhyna do d. besaraba. Bazu zone čini odsutnost srednjomiocenske populacije *Corbisema triacantha* (NN4-NN7) i pojave *Ds. longispinus*. Vrh zone određen je zadnjim pojavama *Ds. longispinus* tj. *Ds. sp. cf. Ds. longispinus*. Od fosila koji obilježavaju zonu dotičnog područja su: *Distephanus sp. cf. Ds. quinquangellus*, *Ds. sp. cf. Ds. hannai*, *Ds. crux hannai*, *Ds. sp. cf. Ds. longispinus*, *Ds. schauinslandii* i *Ds. crux*. Za bolje razumijevanje paleoklimatskih odnosa, a o čemu će kasnije biti govora, dan je raspon dotične zone prema BUKRY-u (1973) (sl. 3), a za čije bi određivanje



Sl. 2 Geološki stup Mrzljak.

Fig. 2 Geological column Mrzljak.

STAROST	MIL. GOD.	ZONE (Bukry , 1973) SILICOFLAGELLATES		DIATOMS	
		TROPICAL	NONTROPICAL		
SREDNJI MIOCEN	11	DISTEPHANUS LONGISPINUS	Ds. crux	DISTEPHANUS SCHAUSLANDI	Coccinodiscus plicatus (g. MLU14 - sr. MLU 19)
	12				
	13				
	14				
		ZONA OSIROMAŠENJA ("kalcitni elem.")			

Sl. 3 Biostratigrafija sarmatskih naslaga (BUKRY, 1973, prepravljeno po GALOVIĆ, 2000).

Fig. 3 Biostratigraphy of Sarmatian deposits (BUKRY, 1973, modified by GALOVIĆ, 2000).

baze trebalo izvršiti detaljnije uzorkovanje na samom stupu.

PALEOEKOLOGIJA

S obzirom na rijetke primjerke roda *Dictyocha*, iz njenog odnosa s rodom *Distephanus* (MANDRA, 1969) može se pretpostaviti da je u sarmatu more bilo relativno hladno. Međutim, na zastupljenost roda *Dictyocha* u današnjim morima utječu temperatura i salinitet, čiji optimum iznosi 10°C i 24‰ (VAN VALKENBURG & NORRIS, 1970). Pri nižem optimumu vrsta *D. fibula* razvija neuobičajene oblike skeleta, a mogu se još javiti i zbog priobalnih uvjeta ili selektivnog otapanja skeleta (LING, 1980). Daljnje teoretsko objašnjenje je i u mogućim sezonskim promjenama (JERKOVIĆ & KOVAČIĆ, 1970). Dominacija vrste *Ds. crux* u sedimentima obilježava priobalne uvjete umjerenih klimatskih područja (FRIEBE, 1994) srednjih geografskih širina. Na nešto hladnije utjecaje klime ukazuje i činjenica o razvoju velikih kvadratnih populacija (*Ds. crux*, *Ds. stradneri*). Na temelju navedenog može se reći da je u ovim prostorima vladala sezonska izmjena klime, što sam prostor svrstava u područje s umjerenom klimom. Dokaze za to nalazimo i kod dijatomeja. Sarmatsko more je pored započetog procesa desalinizacije Paratethysa (*Navicula marina*) bilo karakterizirano i morskim režimom (GALOVIĆ, 1997). To potvrđuju i brojni nalazi dinoficeja *Actiniscus* koji je isključivo morski organizam (HAJOS & REHAKOVA, 1974) te vrste roda *Coccinodiscus oculus iridis*, a obilježava hladnije morske sredine, kao i sporadične pojave *Thalassionema nitzschioides* subpolarnih priobalnih područja (VENRICK, 1971). Iz istog nivoa (3a) vrsta roda *N. lira* karakterizira tropsko more. U uzorku 3b zastupljeni su bentički organizmi subtropskog područja (vrste roda *Diploneis*). Pojave litoralnih tj. priobalnih oblika (*Grammatophora* i *Navicula*) mogu poslužiti kao dobri indikatori premještanja plitkovodnih sedimentata, što je vjerojatno generirano pridonjenim turbulentnim tokovima. Da se radi o obodnom prostoru nekadašnjeg sarmatskog mora (kako toplih tako i hladnih područja) potvrđuju i nalazi vrste *Melosira sulcata*, *Archnantes*

saeptata var. *sussedana* i *Cocconeis scutellum*. Postupna dominacija dijatomejskih oblika nad silikoflagelatama u završnim horizontima sarmata mogli bi upućivati na oslađivanje životnih sredina (?moguć jači utjecaj priobalja ili geokemijski karakter okoliša).

ZAKLJUČAK

Poluzatvoreni bazenski prostor pripada estuarijskom tipu cirkulacije, a osim navedenog dokazuje tome nalazimo i u laminiranom sustavu sedimentata (izmjena tamnih i svijetlih lamina). Sedimenti ovog facijesa taloženi su u relativno dubljoj, slabo prozračnoj, reduktivnoj lagunarnoj sredini u doba sarmata. Mehanizam taloženja je generiran stalnim sezonskim klimatskim promjenama, gdje se tijekom toplih perioda stvaraju tamnije, a za vrijeme nižih temperatura svijetlije lamine lapora. Zbog sezonskih promjena u gustoći populacija kod planktonskih organizama došlo je do povećanja ili smanjenja koncentracije određenih skupina u pojedinim slojevima.

LITERATURA

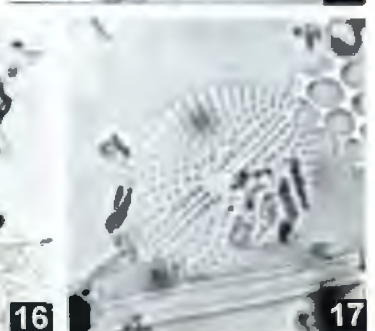
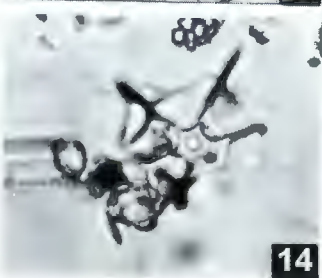
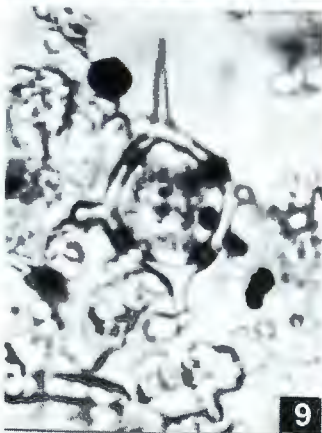
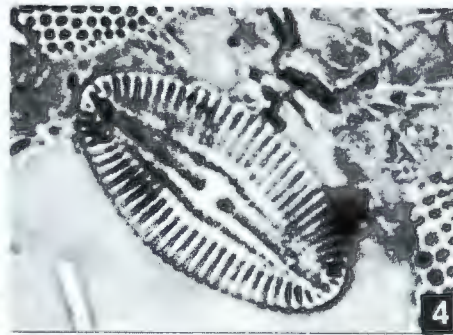
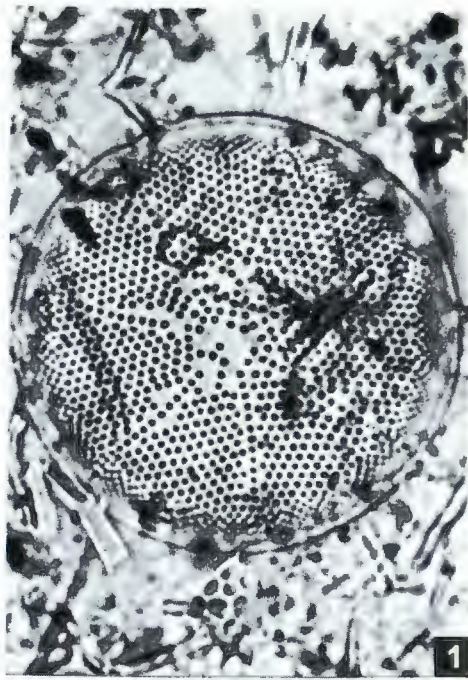
- BUKRY, D. (1973): Coccolith and silicoflagellate stratigraphy. Tasmanian sea and southwestern Pacific ocean, DSDP Leg 21.- U: BURUS, R.E. & ANDREWS, J.E. (ur.): Initial Reports of the DSDP. U.S.Gov. Print. Office, 21, 885-993, Washington.
- FRIEBE, J.G. (1994): Serpulid-bryozoan-foraminiferal biostromes controlled by temperate climate and reduced salinity: Middle Miocene of the Styrian Basin, Austria.- *Facies*, 30, 51-62.
- GALOVIĆ, In. (1997): Razvoj naslaga sarmata u području Markuševca.- Diplomski rad, Rud.-geol.-naft. fakultet, Sveuč. u Zagrebu, 54 str.
- HAJOS, M. & REHAKOVA, Z. (1974): Fossile Diatomeen des Sarmats s.str. aus der Tschechoslowakei und Ungarn.- U: PAPP, A. (ur.): Chronostratigraphie und Neostatotypen. Miozän der Zentralen Paratethys 4, Miozän M5 (Sarmatien). Verl. Slow. Akad. Wissensch., 546-598, Bratislava.
- HAQ, B.U. (1978): Silicoflagellates and ebridians.- U: HAQ, B.U. & BOEISMA, A. (ur.): Introduction to Marine Micropaleontology. Elsevier, 267-275, New York.
- JERKOVIĆ, L. & KOVAČIĆ, D. (1970): Les Silicoflagellides de la Mer Adriatique (Expedition "Hvar" 1948-49. god.- Biol. Inst. Univ. u Sarajevu, 23, 19-26, Sarajevo.

- LING, H.Y. (1970): Silicoflagellates from central N. Pacific core sediments.- Bull. Am. Paleont., 58, 85.
- MANDRA, Y.T. (1969): Silicoflagellates from the Cretaceous, Eocene and Miocene of California, USA.- Proc. Calif. Acad. Sci., 4, 36/9, 231-277.
- MARTINI, E. & MÜLLER, C. (1976): Eocene to Pleistocene silicoflagellates from the Norwegian-Greenland Sea (DSDP Leg 38).- Init. Repts. DSDP, 38, 857-95.
- VAN VALKENBURG, S.D. & NORRIS, R.E. (1970): The growth and morphology of the silicoflagellate *Dictyocha fibula* Ehr. in culture.- J. Phycology, 6, 48.
- VENRICK, E.L. (1971): Recurrent groups of diatom species in the North Pacific.- Ecology, 52, 614.

TABLA I - PLATE I

Sadržaj kremičnih mikrofosila u laporima i glinama stupa Mrzljak.
Abundance of siliceous microfossils in marls and clays of the Mrzljak column.

- 1 *Actinocyclus ehrenbergii* var. *tenella* (BREBISSON) HUSTEDT, 1000x.
- 2 *Diploneis gemmatula* (GRUNOW) CLEVE, 1000x.
- 3 *Thalassionema nitzschioides* (GRUNOW) HUSTEDT, 1000x.
- 4 *Diploneis subovalis* CLEVE, 1000x.
- 5 *Distephanus schauinslandii* LEMMERMANN, 700x.
- 6 *Distephanus crux* (EHRENBERG) BUKRY, 1000x.
- 7 *Distephanus crux hannai* BUKRY, 1000x.
- 8 *Navicula marina* RALFS, 1000x.
- 9 *Distephanus* sp. cf. *Ds. longispinus* (SCHULZ) BUKRY, 1000x.
- 10, 11 "Kalcitni elementi", 2000x (sl. 11 - fig. 11: N+).
- 12 *Distephanus* sp. cf. *Ds. quinquangellus* BUKRY & FORESTER, 1000x.
- 13 *Distephanus stradneri* (JERKOVIĆ) BUKRY, 1000x.
- 14 *Actiniscus pentasterias* EHRENBERG (dinofl.), 1000x.
- 15 *Ammodoichium prismaticum* HOVASSE, 1000x.
- 16 *Distephanus* sp. cf. *Ds. hannai* BUKRY, 1000x.
- 17 *N. lyra* EHRENBERG, 1000x.







Geokemijski atlas Medvednice: Prirodna raspodjela elemenata u stream sedimentima

Geochemical Atlas of Medvednica Mt.: Natural Distribution of Elements in Stream Sediments

Lidija GALOVIĆ¹, Josip HALAMIĆ¹ & Dragan BUKOVEC²

Ključne riječi: geokemija, geokemijsko kartiranje, stream sedimenti, Medvednica.

Key words: Geochemistry, Geochemical mapping, Stream sediments, Medvednica Mt.

Sažetak

Analiza stream sedimenata jedna je od metoda geokemijskog kartiranja kojom se relativno brzo dobije slika distribucije pojedinih elemenata na područjima s dobro razvijenom hidrografskom mrežom. Ta metoda primjenjena je i na području Medvednice i to na onim dijelovima koja se nalaze izvan urbanih sredina. Nenaseljena područja izabrana su zbog određivanja prirodnog pozadinskog šuma ("baseline") čijom se eliminacijom može odrediti antropogeni utjecaj na pojedine prirodne cjeline. Na jednoj oleati (kobalt) prikazana je metodologija izrade geokemijskog atlasa na temelju analize stream sedimenata te je ukazano na tehnogeni utjecaj kod povećanih koncentracija toga elementa u području potoka Bistra.

Abstract

The stream sediments analysis is a one of the geochemical mapping methods with which we get very quickly an image of element distribution within a well developed hydrographic network. Such a method was applied to the uninhabited areas of Medvednica Mt. These areas were chosen with purpose of defining the geochemical background. By the elimination of geochemical baselines we define a human influence for the individual natural unit. The elaborating methodology of geochemical atlas, based on stream sediment analysis, was shown on the cobalt oleat. On this map the technogenic influence of increased concentrations of cobalt within Bistra creek area was pointed out.

1. UVOD

U vrijeme rastuće opasnosti od zagađenja i uništavanja okoliša, njegova zaštita zaslužuje posebnu brigu zbog životne važnosti za ljude i život na Zemlji uopće. Pri tom posebnu pozornost treba posvetiti promatranju i izučavanju vanurbanih regija (posebice gorskih i planinskih područja) iz više razloga. Kao prvo ta područja su glavni opskrbljivači urbanih regija kisikom i pitkom vodom, dvama najvažnijim preduvjetima za održavanje života. Kao drugo, proučavanje tih regija te određivanje prirodnih sadržaja pojedinih elemenata ("baseline" vrijednosti, odnosno prirodni pozadinski šum) i njihova eliminacija omogućuju utvrđivanje čovjekovog doprinosa zagađenju okoliša, kako u vanurbanim tako i u urbanim područjima i to posebice elementima štetnim po zdravlje. Jedan od načina takvih znanstvenih proučavanja je i analiza recentnih stream sedimenata (glinovito-siltna frakcija), koji predstavljaju kompozitni sadržaj

kemijskih elemenata pojedinog drenažnog bazena. Gora Medvednica, koja se nalazi u zaleđu Zagreba, najveće urbane regije u Republici Hrvatskoj, predstavlja vrlo pogodno područje za takvo izučavanje (dobro razvijena hidrografska mreža, park prirode, slabo naseljeno gorsko područje i blizina urbane regije).

2. METODOLOGIJA

Rezultate istraživanja najbolje je prikazati u obliku geokemijskog atlasa koji se sastoji od skupa monoelementnih geokemijskih karata (oleata) od kojih svaka utvrđuje varijabilnost prirodnog geokemijskog pozadinskog šuma ("geochemical background") pojedinog kemijskog elementa. U ovom poglavlju ukratko ćemo opisati uzorkovanje, pripremu i analizu uzoraka te statističku obradu dobivenih podataka. Na primjeru jedne oleate (kobalt) biti će predstavljen kartografski prikaz i kratka interpretacija distribucije dotičnog elementa.

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

	Aritmetička Sredina Aritmetic mean	Geometrijska sredina Geometric mean	Min	Max	Raspon Range	Standardna devijacija Standard deviation
As*	19	10	2	510	508	44
Ba	332	312	70	615	545	96
Ca [%]	3,73	2,68	0,34	19,18	18,84	3,20
Co	16	15	4	39	35	6
Cr	76	71	22	262	240	31
Cu	37	33	7	121	114	17
Fe [%]	3,65	3,46	1,34	8,18	6,84	1,22
K [%]	1,39	1,29	0,16	3,43	3,27	0,46
La	21	20	4	34	30	6
Mg [%]	1,22	1,07	0,28	6,78	6,50	0,84
Mn	1086	991	305	2702	2397	458
Na [%]	1,00	0,91	0,22	2,76	2,54	0,43
Nb	7	7	1	21	20	3
Ni	58	52	13	366	353	32
P [%]	0,058	0,055	0,017	0,193	0,176	0,023
Pb	25	22	2	186	184	16
Sc	15	14	5	45	40	7
Sr	146	135	60	598	538	68
Th	7	6	1	12	11	2
Ti [%]	0,32	0,29	0,11	0,86	0,75	0,15
V	94	87	30	258	228	40
Y	12	11	5	28	23	4
Zn	79	76	30	300	270	28

Tablica 1 Osnovni statistički parametri u stream sedimentima za područje Medvednice (N=250). * Vrijednosti elemenata u mg/kg.

Table 1 Statistical parameters of stream sediments for Medvednica Mt. area (N=250). * Measured values in mg/kg.

2.1. UZORKOVANJE, PRIPREMA I ANALIZA UZORAKA

Medvednica je izgrađena od metamorfnih, klastičnih sedimentnih, magmatskih i karbonatnih stijena. Rezultat takve geološke građe je dobro razvijena hidrografska mreža, koja omogućava primjenu metode uzorkovanja stream sedimenta. Uzorci su uzimani po planiranoj mreži, a zbog heterogene geološke građe programirana gustoća uzorkovanja je oko 1 uzorak/km². Na mjestu uzorkovanja materijal je sakupljan po dužini od maksimalno 30 m (3-5 lokacija) u plastične vrećice i napravljen je kompozitni uzorak mase od 1 do 1,5 kg. Takvim načinom uzorkovanja pokrivena je površina od oko 250 km². Uzorci su sušeni na temperaturi ispod 40°C, a analizirana je frakcija ispod 0,125 mm. Analitička metoda bila je simultana multielementna analiza atomskom emisijskom spektrometrijom pomoću induktivno spregnute plazme (ICP-AES). Uzorci su otapani u 4-kiselinskoj otopini (HNO₃-HClO₄-HCl-HF) i analizirani na set od 35 kemijskih elemenata (Mo, Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mn, Fe, As, Ag, Au, U, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, W, Al, Na, K, Zr, Sn, Be, Y, Nb i Sc). Točnost i preciznost analitičkih tehnika provjerena je višekratnom analizom uzoraka i referent-

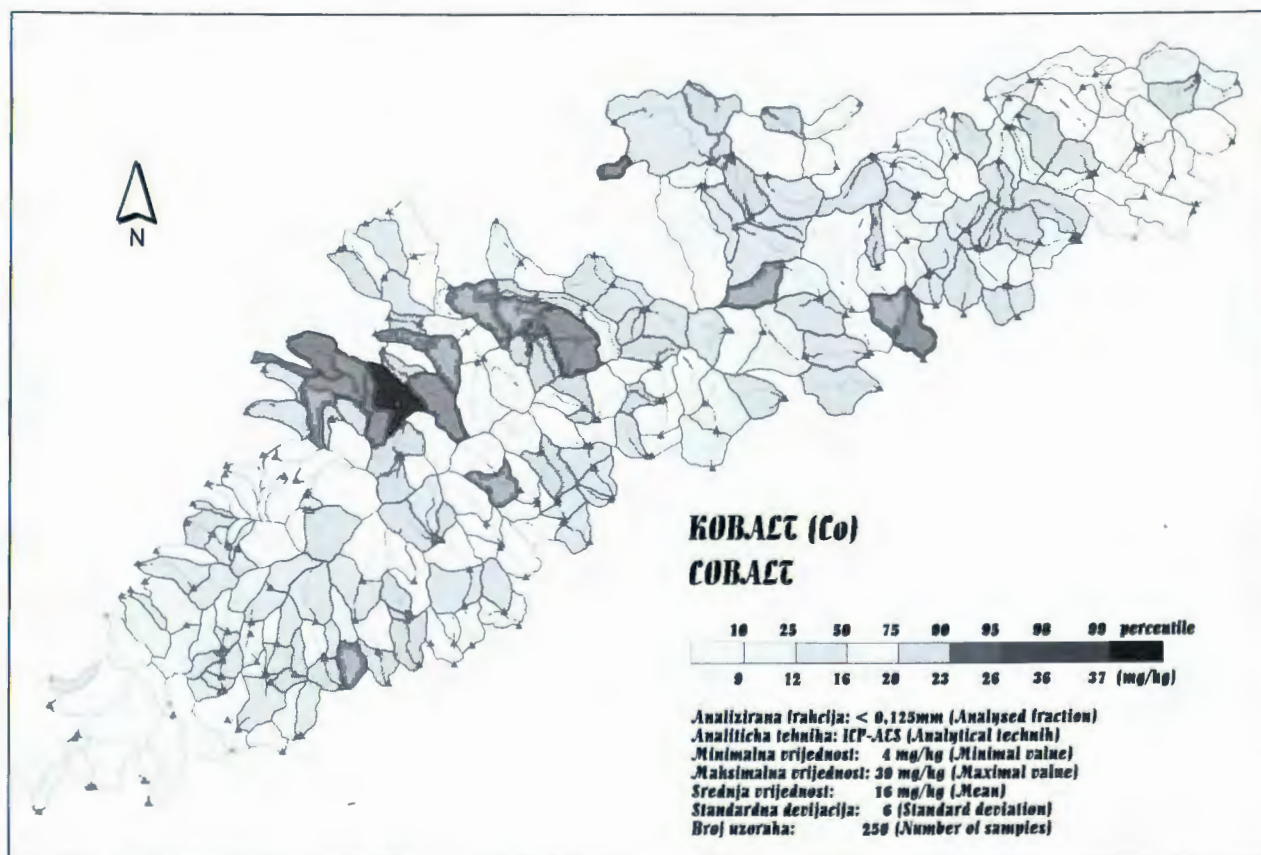
nim standardnim uzorcima. Srednja vrijednost koeficijenta varijacije kreće se za većinu elemenata uglavnom ispod 10%. Slabija preciznost uočljiva je za arsen, antimon i volfram, naročito kada su koncentracije tih elemenata blizu donje granice detekcije, mada se isto pravilo, ali u manjoj mjeri, uočava i kod ostalih analiziranih elemenata. Zbog dosta niske točnosti ove metode (samo parcijalno otapanje oksida pri pripremi uzoraka za kemijsku analizu), vrijednosti za aluminij i cirkon treba promatrati kao relativne.

2.2. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Osnovni statistički parametri procijenjeni su kako bi se proučila raspodjela analiziranih geokemijskih varijabli. U tu svrhu upotrijebljen je standardni kompjuterski statistički programski paket STATISTICA™ (StatSoft®) kojim su dobiveni slijedeći parametri: raspon, aritmetička i geometrijska sredina, minimum, maksimum, standardna devijacija (tablica 1) te percentili.

2.3. GRAFIČKI PRIKAZ REZULTATA

Za potrebe izrade geokemijskog atlasa Medvednice prikupljeni su i obradjeni slijedeći GIS slojevi: 1) Poli-



Sl. 1 Raspodjela kobalta u stream sedimentima Medvednice.

Fig. 1 Distribution of cobalt in stream sediments at Medvednica Mt.

gonski (geologija, pedologija i slivna područja); 2) Linijski (prometnice, hidrologija i topografija); 3) Točkasti (točke uzorkovanja i objekti urbane izgradnje) i 4) Izvedeni slojevi (digitalni model terena DTM, "flow accumulation", "flow direction" i osjenčanost terena).

Statistički obrađeni analitički podaci pripojeni su prostornim točkama uzorkovanja te povezani uz pripadajuće poligone slivnih područja. Tako dobiveni slojevi omogućili su, upotrebom softvera ARCVIEW 3.0a te njegovih ekstenzija "Spatial and Network Analyst", relativno brzu i jednostavnu kartografsku pripremu pojedinih analiziranih elemenata 3D-geologiju, 3D-pedologiju, te 3D-prostorni prikaz. Pripremljeni podaci poslužiti će za daljnju multidisciplinarnu prostornu i višeslojnu analitiku.

2.4. PRIMJER INTERPRETACIJE KARATA PO ELEMENTIMA (KOBALT)

Nakon statističke obrade rezultata i provjere točnosti i preciznosti odabrane analitičke tehnike od 35 analiziranih elemenata za grafički prikaz u Geokemijskom atlasu odabrano je njih 23 (As, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, Sc, Sr, Th, Ti, V, Y i Zn). Ovdje će na temelju jedne oleate (kobalt) biti

prikazan grafički prikaz izrade pojedinih karata te kako može biti utvrđen antropogeni utjecaj na kemijski sadržaj stream sedimentata na jednom području.

Kobalt je litofilni i halkofilni element u tragovima. On je esencijalni element, jer kod biljaka aktivira enzime za fiksiranje dušika te je centralni atom vitamina B₁₂. Zbog njegovog nedostatka u organizmu i okolišu mogu se javiti određene bolesti, ali u većim koncentracijama vrlo je otrovan za biljke, a intravenozno umjerno i za sisavce.

Koncentracija kobalta u stream sedimentima na području Medvednice varira od 4 do 39 mg/kg sa srednjom vrijednošću od 15 mg/kg. Prirodno povišene koncentracije kobalta u odnosu na srednje sadržaje zabilježene su najvećim dijelom u centralnom dijelu Zagrebačke gore (sl. 1). Takve vrijednosti posljedica su trošenja litološke podloge, jer su ta područja pretežito izgrađena od zelenih ortoškrljavaca te bazičnih magmatskih stijena koje prirodno imaju povišene sadržaje ovog elementa u odnosu na ostale stijene. Najveće koncentracije utvrđene su u potoku Bistra JI od naselja Kraljev Vrh. Osim što je područje oko potoka Bistra izgrađeno od bazičnih magmatita, znatan dio povećane koncentracije kobalta u stream sedimentu posljedica je tehnogenog utjecaja. Naime, u aktivnom kamenolomu koji se nalazi

u izvorišnom dijelu potoka Bistra bazaltne stijene drobljene su drobilicama s čeličnim čeljustima pri čemu se čelik, koji je oplemenjen kobaltom, troši i dispergira u okoliš u vidu vrlo sitnih čestica.

Zahvala

Za GIS podršku pri izradi topografskih karata zahvaljujemo OIKON d.o.o. Zagreb.



Trijasko dubokovodne naslage odabranih lokaliteta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj

Triassic Deep-Water Sediments of Selected Localities in Northwestern Croatia

Tonći GRGASOVIĆ¹, Josip HALAMIĆ¹, Špela GORIČAN²,
Damir SLOVENEK¹ & Tea KOLAR-JURKOVŠEK³

Ključne riječi: dubokovodne naslage, trijas, Hrvatska.

Key words: Deep water sediments, Triassic, Croatia.

Sažetak

Na odabranim lokalitetima u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (Zagorsko-srednjotransdanubijska zona) istraživane su trijasko naslage ruba platforme (vapnenci i dolomiti u grebenskom i prigrebenskom razvoju: pelson - gornji ilir), padine i proksimalnih dijelova bazena (breče, pelagički vapnenci, silicijske i siliciklastične stijene i piroklastiti: ilir - donji longobard), te distalnih dijelova bazena (radiolariti i efuzivi: ?vršni longobard - karnik - srednji norik). Dok su područja Žumberka, Samoborskog gorja i Ivanščice paleogeografski bila smještena uz rubni dio bazena (čiji je nastanak vezan uz sinsedimentacijsku ekstenzijsku tektoniku), područja Medvednice i Kalnika evolutivno su vezana uz "oceanski" prostor.

Abstract

The selected localities of Triassic deep-water sediments from NW Croatia (Zagorje - Midtransdanubian zone) are investigated. The studied sections include successions with characteristics of platform edge (limestones and dolostones in reefal development: Pelsonian - Upper Illyrian), slope and proximal basin (breccias, pelagic limestones, siliceous, siliciclastic and pyroclastic rocks: Illyrian - Lower Longobardian), and distal basin (radiolarites and effusives: ?Uppermost Longobardian - Carnian - Middle Norian). While the areas of Žumberak, Samoborsko gorje and Ivanščica were paleogeographically situated at the margin of the basin (developed through extensional synsedimentary tectonics), the evolution of Medvednica and Kalnik areas was connected with "oceanic" realm.

1. UVOD

U radu su opisani odabrani lokaliteti s dobro otkrivenim dubokovodnim naslagama srednjeg i gornjeg trijasa na Žumberku, Samoborskom gorju, Ivanščici, Kalniku i Medvednici. Geotektonski ovo područje pripada Zagorsko-srednjotransdanubijskoj zoni, sa sjeverozapada ograničenoj Periadrijskim i Balatonskim lineamentom, a s jugoistoka lineamentom Zagreb - Zemljen (PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ, 1998).

Srednjotrijasko naslage ovih područja opisivane su u brojnim radovima (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, 1894; HERAK, 1956; HERAK & MALEZ, 1956; ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ, 1979, 1980, 1981, 1992, 1997; ŠIMUNIĆ et al., 1980, i dr.), pri čemu treba istaknuti istraživanja cefalopodne faune koja je provodio SALOPEK (1912, 1918, 1919, 1936), uz prinos SAKAČA (1994). Najopsežnija istraživanja vršena su u svrhu izrade geoloških karata (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, 1904a, b, 1908; PLENIČAR & PREMUR, 1977;

ŠIKIĆ et al., 1979; ŠIMUNIĆ et al., 1981; ANIČIĆ & JURIŠA, 1985). Rezultati ovog rada vezani su za izradu geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000, nastavljajući se na već objavljene podatke (BUKOVAC et al., 1995; HALAMIĆ & GORIČAN, 1995; SLOVENEK & HALAMIĆ, 1996; HALAMIĆ, 1998; HALAMIĆ et al., 1998).

Cilj rada je litostratigrafska analiza odabranih lokaliteta koji predstavljaju naslage ruba platforme (vapnenci i dolomiti u grebenskom i prigrebenskom razvoju), padine i proksimalnih dijelova bazena (breče, pelagički vapnenci, silicijske i siliciklastične stijene i piroklastiti), te distalnih dijelova bazena (radiolariti i efuzivi). Detaljno uzorkovanje i analiza različitih fosilnih skupina (radiolarije, konodonti, foraminifere, alge, spužve, mikroproblematika) daju nove podatke o starosti i omogućuju precizniju stratigrafiju istraživanih naslaga, te mogućnost razmatranja rasporeda dubokovodnih okoliša u pojedinim stratigrafskim intervalima i njihovu evoluciju kroz geološko vrijeme.

¹ Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Paleontološki inštitut ZRC SAZU, Gosposka 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

³ Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

2. OPIS STUPOVA

2.1. ŽUMBERAK I SAMOBORSKO GORJE

U području Žumberka snimljeni su litostratigrafski stupovi "Kolići" i "Bezjak", a u Samoborskom gorju stup "Gregurić Brijeg" (sl. 1). Lokalitet Kolići nalazi se oko 7 km sjeverozapadno od Krašića, iznad ceste Krašić-Sošice na desnoj obali rijeke Kupčine. Selo Bezjak udaljeno je oko 1 km zračne linije od Kolića prema sjeverozapadu i nalazi se na lijevoj obali Kupčine. Stup Gregurić Brijeg snimljen je oko 75 m sjeverno od istoimenog naselja (3 km jugozapadno od Samobora), a radi se o približno istom lokalitetu s kojeg je SALOPEK (1912, 1936) prikupio cefalopodnu faunu.

Stup "Bezjak"

Donji dio stupa Bezjak izgrađuju sitno- do srednjozrnat kristalinični dolomiti, svijetlosive do žućkaste boje. U vršnom dijelu ovog paketa klastična komponenta prisutna je u vidu detritičnih zrna kvarca i rijetkih svijetlih tinjaca. Na opisanim stijenama slijedi nekoliko metara debela izmjena vrlo tanko slojevitih sivih rožnjaka, zelenkastosivih glinovitih dolomita i zelenkastih karbonatnih tufita. Slijedi paket svijetlosivog sitnokristaliničnog dolomita s nodulama svijetlosivog rožnjaka na koji se nastavlja svijetlosivi do crvenkasti nodulasti vapnenac. Poslije pokrivenog intervala slijedi cm- do dm-izmjena srednjo- do sitnozrnatog kristalovitofirmog te vitrokristalofirmog tufa, smaragdnozelenkaste boje i crvenog i zelenkastosivog silicificiranog tufitičnog vapnenca s mnoštvom filamenata i radiolarijskih skeleta. U pokrivenom intervalu nalaze se pojedinačni izdanci silicificiranih sivih do crvenkastih pelecipodnih vapnenaca i zelenkastih srednjo- do krupnozrnatih tufova. Vršni dio stupa izgrađen je od svijetlosivog kristaliničnog dolomita. Stupovi "Bezjak" i "Kolići" pripadaju po pružanju istom nivou naslaga.

Starost donjeg dijela stupa "Bezjak" je ilirska (gornjoanizička). Napredne *Paroertlisponus* (*P. multispinosus* KOZUR & MOSTLER) s medijalno proširenim glavnom bodljom prvi put se javljaju u gornjoanizičkoj *Tetraspinocyrtis laevis* zoni (KOZUR, 1996), dok je *Tiborella florida* (NAKASEKO & NISHIMURA) ograničena na *T. laevis* i dio *Spongosilicarmiger transitus* zone (ekvivalenti amonitnih zona *Paraceratites trinosus* i *Kellnerites felsoeersensis*) (KOZUR et al., 1996). *Archaeospongoprunum bispinosum* KOZUR & MOSTLER i *A. mesotriassicum* KOZUR & MOSTLER su također tipične ilirske vrste (KOZUR & MOSTLER, 1994), dok je *Spongosilicarmiger scabiturritus* SUGIYAMA pronađen samo u aniziku (SUGIYAMA, 1992; RAMOVŠ & GORIČAN, 1995). U gornjem dijelu fosili nisu nađeni.

Stup "Kolići"

Podina klastičnih sedimenata izgrađena je od sivih, kristaliničnih dolomita koji u donjem dijelu stupa prelaze iz sivih, siltoznih dolomita i zelenkastih dolomitičnih

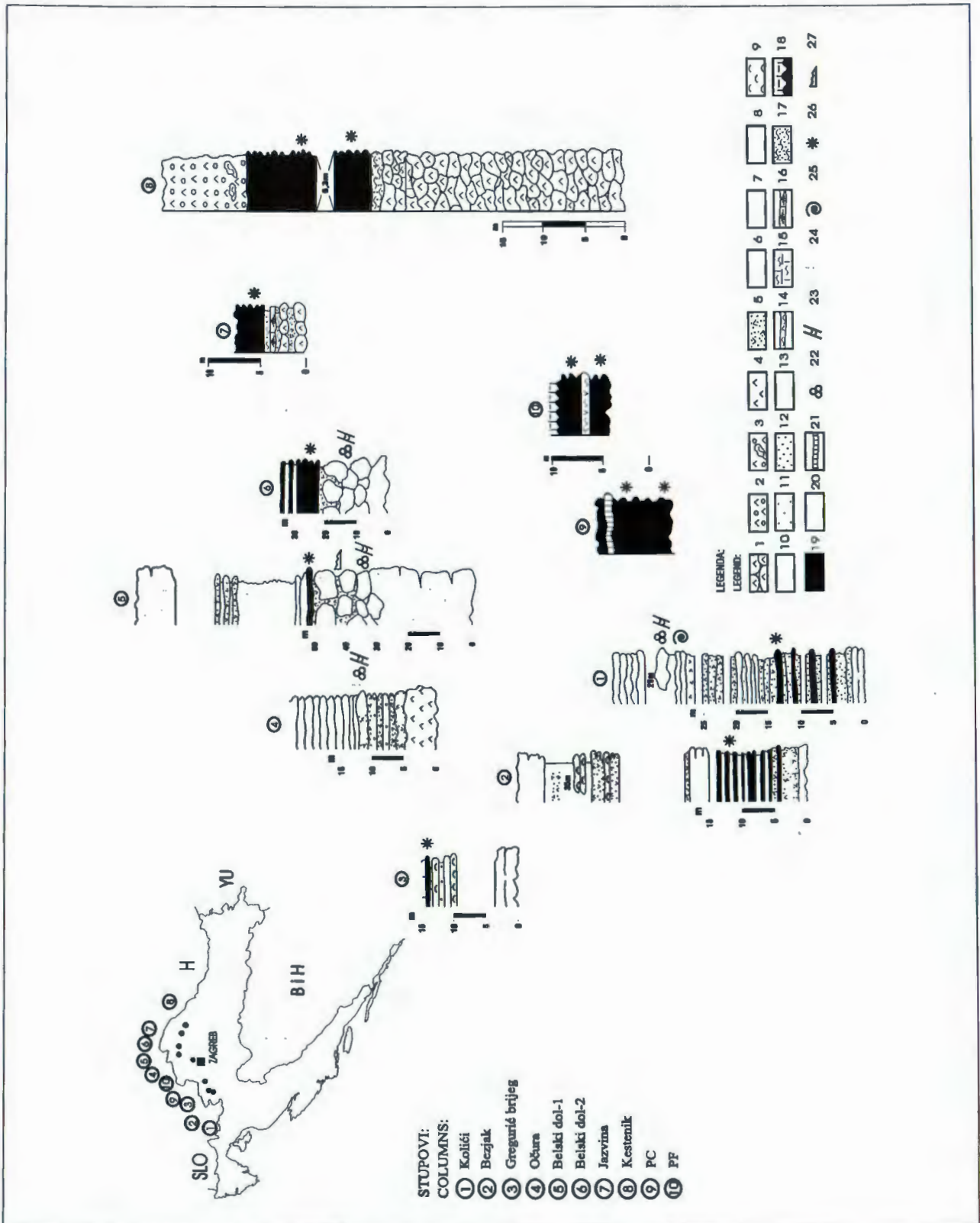
siltita u izmjenu zelenih siltita s cm- do dm-debelim proslajcima sivih metasomatskih rožnjaka. U dnu središnjeg dijela stupa registrirani su zeleni i tamnocrveni piroklastiti (kristalovitofirmi i litokristalovitofirmi tuf) s proslajcima tamnosivog, narandastog i crvenog staklastog rožnjaka s radiolarijama. Središnji dio stupa završava izmjenom tamnocrvenih kalcitičnih siltita i nodulastih, sivocrvenih, silicificiranih vapnenaca s pelecipodima. Nakon pokrivenog intervala slijedi izmjena zelenih trošnih piroklastita i zelenoljubičastih siltita u čijem vrhu se javljaju sivocrvenkasti slabo silicificirani vapnenci s amonitima. U pokrivenom intervalu gornjeg dijela stupa registrirani su sivi nodulasti silicificirani vapnenci s tankim proslajcima tufitičnih lapora. Gornji dio stupa izgrađen je od silicificiranih pločastih do slojevitih vapnenaca brečaste teksture, koji su proslojeni s cm-debelim slabo tufitičnim siltitima.

U donjem dijelu stupa nađena je radiolarijska fauna koja definira gornjoanizičku (ilirsku) starost ovih naslaga. *Eptingium ramovsi* KOZUR, KRAINER & MOSTLER i *Tiborella anisica* KOZUR & MOSTLER su poznate samo iz ilira (KOZUR et al., 1996; KOZUR & MOSTLER, 1994), dok se *Hindeosphaera spinulosa* (NAKASEKO & NISHIMURA) i *Spongostylus tetra- pterus* (RAMOVŠ & GORIČAN) nalaze i u donjem ladiniku (vidi lokalitet Belski dol 1). Napredne Oertlispongiidae (*Pseudoertlisponus* ili *Oertlisponus*) nisu prisutne.

U naslagama ovog stupa nađena su dva slabo očuvana amonita. Za jednog od njih SAKAČ (1994) navodi da vjerojatno pripada rodu *Flexoptychites*, a za dugog (citirajući) "...da bi mogao odgovarati vrsti *Arcestes (Proarcestes) subtridentinus*, inače uobičajenom taksonu ladinika.". Isti autor na obližnjem lokalitetu Vlašić brdo unutar sličnih naslaga određuje veći broj cefalopoda, kojima pripisuje sigurnu ladinčku pripadnost i podudarnost s faunom Gregurić Brijega, iako navodi (i ilustrira) kao iznimku *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS), tipičnu anizičku vrstu. Na Vlašić brdu su unutar sivih mikritnih vapnenaca s filamentima određene srednjotrijaske foraminifere *Arenovidalina chialingchiangensis* HO i *Ophthalmidium* spp., kao i alga *Anisocellula fecunda* SENOWBARI-DARYAN et al., prvi puta opisana iz gornjeg pelsona Dolomita (SENOWBARI-DARYAN et al., 1993).

Unutar izdanka vapnenca dvojbene primarnosti u pokrivenom intervalu (sl. 1 - stup 1) određene su foraminifere *Meandrospira dinarica* KOCHANESKY-DEVIDÉ & PANTIĆ i *Endotriadella wirzi* (KOEHN-ZANINETTI), te alge *Macroporella alpina* PIA i *Thaumtoporella parvovesiculifera* (RAINERI). Starost je određena kao pelson-donji ilir, pa se vjerojatno radi o pretaženom klastu.

Iz navedenog može se zaključiti da su proučavane dubokovodne naslage na ovom dijelu Žumberka sigurne ilirske starosti, a da se vrlo vjerojatno protežu i u ladinik. Unutar krovinskih dolomita nisu pronađeni nikakvi fosili, pa je gornji raspon istraživanih naslaga



Sl. 1 Geološki stupovi istraživanih područja. Legenda: 1) jastučasta lava; 2) mandulasti metabazalt; 3) uklopoci šejla u metabazaltu; 4) masivni metabazalt; 5) piroklastit; 6) masivni dolomit; 7) uslojeni vapnenac; 8) masivni vapnenac; 9) pelecipodni vapnenac; 10) "pseudoonkoidni" vapnenac; 11) kalkarenit; 12) silt; 13) šejl; 14) tuftični šejl; 15) kalcitizirani šejl; 16) silicificirani radiolarijski vapnenac; 17) siltozni šejl; 18) lapor; 19) radiolarit; 20) radiolarijski rožnjak s proslojcima piroklastita; 21) sloj obogaćen manganom; 22) foraminifere; 23) vapnenačke alge; 24) vapnenačke spužve; 25) cefalopodi; 26) radiolarije; 27) konodonti.

Fig. 1 Geological columns of investigated areas. Legend: 1) pillow lava; 2) metabasalt with amygdaloidal structure; 3) shale xenolits in metabasalt; 4) metabasalt, massive; 5) pyroclastic rock; 6) dolomite, massive; 7) limestone, bedded; 8) limestone, massive; 9) limestone with Pelecypoda; 10) "pseudoonkoidal" limestone; 11) calcarenite; 12) siltstone; 13) shale; 14) tuffitic shale; 15) calcitized shale; 16) silicified radiolarian limestone; 17) silty shale; 18) marl; 19) radiolarite; 20) radiolarian chert interlayered with pyroclastic rock; 21) Mn-enriched beds; 22) foraminifera; 23) calcareous algae; 24) calcareous sponges; 25) cephalopoda; 26) radiolaria; 27) conodonts.

još uvijek problematičan. Prvi provodni fosili nađeni su u stupu tek oko 200 m iznad i ukazuju na karničku starost (GRGASOVIĆ, 1997), što sugerira da je dio dolomita ladinički..

Stup "Gregurić Brijeg"

Podinu dubokovodnih sedimenata na ovom lokalitetu izgrađuje svijetlosivi, masivni, ali brečirani "smrdljivi" dolomit. Nakon pokrivenog intervala slijedi proslojavanje glinovitog sivozelenog vapnenca i crvenkastog silicificiranog vapnenca s pelecipodima i radiolarijama, a na kojem leži sivi masivni vapnenac metarske debljine. Nakon 20 centimetarskog intervala, kojeg izgrađuje samo crvena glinovita supstancija, do vrha stupa slijede crveni silicificirani gomoljasti vapnenci s brojnim filamentima. Lapore, "vapnene škriljeve" i rožnjake iz krovine vapnenaca ovog lokaliteta SALOPEK (1912, str. 19) uspoređuje s Wengenskim naslagama.

Starost sedimenata stupa "Gregurić Brijeg" određena je kao gornjoilirski. *Pseudoertlispongus* se prvi put javlja u najvišem aniziku (*Yeharaiia annulata* subzona *Spongosilicarmiger transitus* zone) i ide do donjeg ladinika (KOZUR, 1996). Otkinute bodlje oertlispongida su vrlo brojne. Rodovi koji se prvi put javljaju u bazi ladinika (*Oertlispongus*, *Falcispongus*, *Baumgartneria*) nisu prisutni. Stoga se odredba vršnog anizika čini najvjerojatnijom.

Unutar dolomitnog paketa koji se nalazi neposredno ispod snimljenog stupa pronađena je foraminifera *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ s rasponom do donjeg ilira.

Lokalitet Gregurić Brijeg poznat je po cefalopodnoj fauni koju je opisao SALOPEK (1912, 1936). On čitavu faunu određuje kao ladiničku, jer nalazi i donjoladiničke ("Buchensteinske") i gornjoladiničke ("Wengenske") vrste. Za neke vrste međutim kaže da "...pokazuju anizički habitus..." i da je "...anizička oznaka ove faune tako jaka, da smo je smjeli držati za anizičko-ladinički prijelaz, kad ne bi bilo roda *Trachyceras*, koji je u ostalom dosta rijedak" (SALOPEK, 1912, str. 11). U krovini cefalopodnih vapnenaca nalazi školjkaše *Daonella*, karakteristične za Wengenske slojeve. SALOPEK (1936), uz nove nalaze cefalopoda, zaključuje da cefalopodni vapnenci pripadaju uglavnom buhenštajnskom nivou, a pločasti vapnenci i škriljavci s daonelama vengenskom nivou, pošto se kod istraživane faune (citirajući) "jače ističe buhenštajnski element, pored većeg broja vengenskih i neznatnog broja anizičkih tipova" (SALOPEK, 1936, str. 209). Na temelju toga, bilo bi dobro ovu vrijednu fosilnu faunu ponovo istražiti prema suvremenim saznanjima. MIETTO & MANFRIN (1995) u svom radu o novoj zonaciji trijasa na bazi amonita citiraju SALOPEKA (1912) samo u poglavlju o Curionii-subzoni, koja prema njima spada u gornji fasan (gornji dio donjeg ladinika), ali bez ikakvih komentara.

Slično kao i kod stupova sa Žumberka, možemo zaključiti da istraživane naslage imaju raspon od ilira do u

ladinik. Gornju granicu, na žalost, nije moguće uvrstiti, a prema SALOPEKU (1912, 1936) može se pretpostaviti negdje unutar langobarda.

2.2. IVANŠČICA

Na ovoj gori snimljeni su geološki stupovi u kameolomima Očura i Belski dol (sl. 1).

Stup "Očura"

Odnos snimljenih naslaga s karbonatnom podinom je nejasan. Stup počinje s trošnim, zelenim mandulastim metabazaltom, koji u vršnom dijelu ima brečastu teksturu (SLOVENEK & HALAMIĆ, 1996). Na efuzivu slijedi izmjena tanko slojevitih crvenkastih vapnenaca i crvenkasto zelenih uskriljenih piroklastita. Unutar piroklastita nalazimo fragmente metabazalta cm-dimenzija. Dalje u stupu slijedi oko 5 m debela zdrobljena zona u kojoj je matriks izgrađen od piroklastita, a fragmente i oblutke izgrađuju sivi vapnenci i zelenkasti tufovi. Na ovu brečastu zonu slijedi izmjena kalkarenita, tufitičnih kalkarenita i tufova. U vrhu te izmjene nalazimo u škriljavom tufitičnom matriksu pojedine oblutke dm-dimenzija crvenkastog, slabo silicificiranog fosiliferanog vapnenca. Vršni dio stupa izgrađen je od slojevitih i masivnih sivo žućkastih vapnenaca.

U zaobljenim klastima crvenkastih vapnenaca, pretaloženih s ruba šelfa u dublji okoliš padine, nađena je vrlo bogata grebenska fosilna zajednica. Skelet grebena izgrađivale su vapnenačke spužve, među kojima je najbrojnija *Celyphia zoldana* OTT, PISA & FARABEGOLI. Ona nije samo djelovala kao kostur (*framework*), već je hvatala i mikritni sediment (*baffler*), a vrlo često je imala i inkrustrirajuću ulogu (*encruster*). Od ostalih spužvi za sada su određene *Thaumastocoelia dolomitica* SENOWBARI-DARYAN et al. i *Deningeria* spp. Inkrustrirajući organizmi su najbrojniji i, uz spomenutu spužvu, uključuju problematične organizme *Plexoramea cerebriformis* MELLO, *Tubiphytes obscurus* MASLOV i *Olangocoelia otti* BECHSTÄDT & BRANDNER, te neodredive inkrustrirajuće foraminifere. Od ostalih organizama koji su živjeli unutar grebena određeni su foraminifere *Palaeolituonella meridionalis* (LUPERTO) i *Endotriadella wirzi* (KOEHN-ZANINETTI), alga *Diplopora nodosa* SCHAFFHÄUTL, problematični organizmi *Baccanella floriformis* PANTIĆ, *Radiomura cautica* SENOWBARI-DARYAN & SCHÄFFER, *Lamellitubus cauticus* OTT i *Aeolisaccus dunningtoni* ELLIOTT, te crv *Spirorbis* sp., neodredive cijanobakterije i fragmenti krinoida.

C. zoldana i *O. otti* tipične su anizičke vrste (SENOWBARI-DARYAN et al., 1993). *P. cerebriformis* javlja se od persona (srednjeg anizika), ali je najčešća u ladiniku i karniku. *P. meridionalis* javlja se od donjeg ilira, isto kao i *D. nodosa*, koja je daleko rasprostranjenija u gornjem iliru i fasanu (GRGASOVIĆ & SOKAČ, 2000). Radi se dakle o sigurnom iliru, ali navedena asocijacija, kao i odsustvo foraminifere *Meandrospira dinarica*, sugerira vrlo vjerojatnu gornjoilirsku starost.

Stup "Belski dol-1"

Stup "Belski dol-1" snimljen je na sjevernoj strani kamenoloma, a proteže se preko triju etaža. Donji dio izgrađen je od svijetlosivih dolomita i vapnovitih dolomita s karakterističnom "pseudoonkoidnom" strukturom. Ona makroskopski podsjeća na vrlo krupne onkoidne, dok se ustvari radi o intenzivnoj cementaciji "korama" dugoprizmatkog kalcitnog cementa između kojih su "gnijezda" sedimenta. Vrlo slične strukture iz ladinčkog Esino-vapnenca Lombardije (Italija) opisane su kao "Evinosponge" (FRISIA et al., 1989; JADOUL & FRISIA, 1988). Stijene su mjestimično jako tektonski dezintegrirane i raspucane. Vršni dio ovog karbonatnog paketa predstavljen je brečom. Fragmenti, obluci i blokovi izgrađeni su od "pseudoonkoidnih" vapnenaca, mikritnih vapnenaca i pelecipodnih vapnenaca svijetlosivih i crvenkastih boja. Osim karbonatnih fragmenata nalazimo i klaste tufova i tufitičnih vapnenaca zelenkaste boje. Vezivo u donjem dijelu opisanih breča je crvenkasti pelecipodni vapnenac dok je u gornjem dijelu izgrađeno od piroklastita zelene boje. U gornjem dijelu unutar tufnog veziva nalazimo i fragmente resedimentirane breče iz donjeg dijela. Tekstura stijene je klastopotporna. Prijelaz od podinskih raspucanih vapnovitih dolomita i dolomita u breče je postupan s opadanjem dolomitne komponente. Na opisane breče slijedi izmjena tankoslojevitih silicificiranih pelecipodnih vapnenaca, piroklastita i radiolarijskih rožnjaka. U gornjem dijelu stupa povećava se udio klastične komponente, i većinu sedimentata čine tamni, glinoviti siltiti, iverastog loma i sitnozmatni pješčenjaci u kojima se javljaju rijetki dm-proslojci silicificiranog sivog vapnenca, a češće i dm-proslojci piroklastita. Izmjena siltita i sitnozmatnih pješčenjaka te izražena gradacija u nekim dijelovima tih naslaga ukazuje na sedimentaciju turbiditnog tipa.

Nakon pokrivenog intervala vršni dio stupa izgrađuje svijetlosivi i bjeličasti šećerasti dolomit.

U klastima unutar breča, u nižem dijelu stupa, nađene su brojne dazikladalne alge: *Oligoporella pilosa* var. *varicans* PIA, *Oligoporella pilosa* var. *pilosa* PIA, *Physoporella pauciforata* var. *pauciforata* PIA, *Physoporella pauciforata* var. *sulcata* BYSTRICKÝ, *Physoporella varicans* PIA i *Teutloporella peniculiformis* OTT, te foraminifera *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ. Ova zajednica ukazuje na raspon pelson-donji ilir (GRGASOVIĆ & SOKAČ, 2000).

Iz crvenog vapnenca koji je vezivo breče nađeni su slabo očuvani fragmenti konodonata iz roda *Paragonolella* (*P. ex gr. excelsa* MOSHER) koji upućuju na srednjotrijasku starost (KOZUR et al., 1994).

U radiolarijskom rožnjaku iz središnjeg dijela stupa određene su radiolarije koje ukazuju na najniži ladinik (donji fasan). Starost je determinirana rodovima *Oertlispongus* i *Falcispongus* koji se prvi put javljaju u bazi ladinika (tj. u bazi *Reitziites reitzi* s. str. amonitne zone) (KOZUR, 1996) i rodovima *Tetraspinoctis* koji ide do donjeg fasana (KOZUR & MOSTLER, 1994). Da se radi o donjem, a ne o gornjem fasanu sugerira prisustvo

Hindeosphaera spinulosa (NAKASEKO & NISHIMURA) i *Spongostylus tetrapterus* (RAMOVŠ & GORIČAN), koji su do sada poznati samo iz gornjeg anizika (KOZUR et al., 1996). Zbog nedostatka fosilnog materijala u šećerastom dolomitu starost krovinskog dijela nije mogla biti određena.

Stup "Belski dol-2"

Stup "Belski dol-2" snimljen je u južnom dijelu kamenoloma, a od stupa "Belski dol-1" odvojen je rasjednom zonom. Podinu silicijskih sedimentata izgrađuje klastopotporna, karbonatna breča. Promjer pojedinih klasta doseže veličinu i do nekoliko metara. Fragmente izgrađuju "pseudoonkoidni" i pelecipodni dolomitični vapnenci. Vezivo čini zelenkasti tufit. Na brečama slijede tamnocrveni radiolariti s. str. U tom paketu izmjenjuju se cm- do dm-debeli radiolarijski rožnjaci i mm- do cm-debeli šejlovi tamnocrvene boje. Prema vrhu stupa povećava se tufitična komponenta tako da su u gornjem dijelu rožnjaci i šejlovi zelenkaste boje. Stup je prekinut spomenutom rasjednom zonom.

U donjem, karbonatnom dijelu stupa nađeni su *Macroporella alpina* PIA i *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ čija je gornja granica donji ilir, te *Diplopora* cf. *proba* PIA koja ide samo do pelsona. *M. alpinu* u identičnom mikrofacijsu nalazimo i u uzorku iz stupa "Kolići". U jednom uzorku iz veziva breča nađen je fragment konodonta *Gladigondolella* sp., koji sugerira raspon od gornjeg skita do karnika (SWEET, 1988). Unutar radiolarita iz gornjeg dijela stupa nađena je fasanska fauna. *Falcispongus falciformis* DUMITRIČA i *Oertlispongus inaequispinosus* DUMITRIČA, KOZUR & MOSTLER se prvi puta javljaju u donjem fasanu (KOZUR & MOSTLER, 1994). Uzorci sadržavaju i rod *Paroertlispongus* koji ide do gornjeg fasana (KOZUR, 1996).

Potrebno je napomenuti da čitav slijed dubokovodnih naslaga istočnog dijela Ivanščice ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ (1980, 1997) i ŠIMUNIĆ et al. (1980) smještaju unutar anizika. Oni navode nalaze anizičkih mikrofosila na lokalitetu Belski dol u podini i krovini ovih naslaga. S obzirom na gore navedene rezultate istraživanja, te činjenice da vapnenca nalazimo samo u podini ovih naslaga (sl. 1), moguće je da se kod vapnenaca (ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ, 1997) radi o istom nivou koji se ponavlja uslijed reversnog rasjedanja. Naime, u vrijeme njihovih istraživanja naslage u kamenolomu nisu bile u potpunosti otkrivene.

2.3. KALNIK I MEDVEDNICA

Na području Kalničkog gorja snimljena su dva geološka stupa s dubokovodnim silicijskim sedimentima (sl. 1). Stup "Jazvina" snimljen je u napuštenom kamenolomu u Jazvinskom potoku oko 3 km zračne linije JI od mjesta Ljubeščica. Stup "Kestenik" snimljen je na Jasenovom brijegu oko 3,5 km sjeverno od mjesta Kamešnica. Na području Medvednice prikazana su dva

stupa u silicijskim sedimentima. Izdanci se nalaze na SZ padinama Medvednice u dolini potoka Poljanica, oko 1,2 km istočno od istoimenog naselja. Stijene u navedenim stupovima izgrađene su pretežito od radiolarita *s.str.*, pretežito crvenkastih boja. Na Kalniku se silicijske stijene nalaze kao prosljoci u jastučastim bazičnim lavama, dok im podina na Medvednici uslijed tektonske dezintegracije nije poznata, a krovinu čine diskonformne kredno-paleogenske naslage. Detaljan litostratigrafski opis ovih naslaga dat je u radovima HALAMIĆ & GORIČAN (1995) i HALAMIĆ (1998).

Donji paket radiolarita u stupu "Kestenik" na Kalniku datiran je kao srednji do gornji karnik, a gornji paket kao gornji karnik. Starost radiolarijskih rožnjaka u stupu "Jazvina" određena je kao vršni karnik do srednji norik (HALAMIĆ & GORIČAN, 1995).

Starost stupa "PC" na Medvednici određena je kao vršni langobard ili baza kordevola. U donjem paketu radiolarita stupa "PF" nađena je ista zajednica radiolarija kao i kod stupa "PC", a u gornjem paketu zajednica koja ukazuje na gornjokarničku starost (HALAMIĆ & GORIČAN, 1995).

3. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Na temelju litološke i paleontološke analize prethodno opisanih stupova može se zaključiti da su istraživana područja paleogeografski bila jasno odvojena. Dok su područja Žumberka, Samoborskog gorja i Ivanšćice cijelo vrijeme bila vezana uz razvoj rubnog dijela bazena, područja Medvednice i Kalnika svoju evoluciju vežu uz "oceanski" prostor.

U vrijeme donjeg anizika i pelsona na širem prostoru egzistirala je karbonatna platformska sedimentacija (BUKOVAC et al., 1995; ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ, 1997). Dezintegracija platforme počinje vjerojatno već u pelsonu što je uvjetovalo naglu promjenu facijesa, a intenzivirana je u iliru s pojavom vulkanizma (bazalti, tufovi, tufiti). Na temelju istraživanja srednjeg trijasa Transdanubijske zone u Mađarskoj BUDAI & VÖRÖS (1992, 1993) zaključuju da je nagla promjena facijesa uzrokovana sinsedimentnom ekstenzijskom tektonikom koja je uzrokovala potapanje platforme ("drowning"). Na nekim lokalitetima spomenute zone dokazana je i emerzija tijekom gornjeg pelsona i donjeg ilira. Nagla promjena facijesa dokumentirana je i u Dolomitima (BRACK & RIEBER, 1993). Uz rubove platforme razvijaju se grebenski facijesi, a sinsedimentacijska tektonika uz magmatsku aktivnost uvjetuje pretaložavanje grebenskih vapnenaca niz padinu i nastanak breča i megabreča. Vrlo slične anizičke naslage s alohtonim blokovima (megabreče) iz Južnih Alpa opisali su SENOWBARI-DARYAN et al. (1993).

Produbljavanje taložnog prostora u iliru i fasanu (moguće i donjem longobardu) dokumentiraju sitnozrnati klastiti, piroklastiti, tanko uslojeni vapnenci (najčešće s pelagičkim školjkašima, tzv. "filamentima"),

silificirani vapnenci i rožnjaci. Ti sedimenti mogu se litološki i facijesno djelomično usporediti s "Buchensteinskim" naslagama Južnih Alpi, koje u svom tipičnom području imaju približan raspon od baze ladinika do sredine langobarda (DE ZANCHE et al., 1993; BRACK & RIEBER, 1993). Slične naslage Transdanubijske zone u Mađarskoj protežu se kroz čitav ladinik (BUDAI & HAAS, 1998). Usporedba je moguća i s vapnencima Han Buloga (Bosna i Hercegovina), ilirske starosti (SUDAR, 1986). Usporedba navedenih starosti Buchensteinskih naslaga *sensu lato* pokazuje da je produbljavanje bazena napredovalo od istoka prema zapadu.

Na sličan taložni okoliš i u ladiniku ukazuju glinoviti siliti i sitnozrnati pješčenjaci turbiditnog(?) tipa s tankim prosljocima silificiranih vapnenaca i piroklastita Belskog dola. Ti sedimenti se u određenoj mjeri mogu usporediti s "Wengenskim" naslagama Južnih Alpa koje tamo imaju približan raspon starosti od sredine do gornjeg dijela longobarda (DE ZANCHE et al., 1993; BRACK & RIEBER, 1993).

Vjerojatno već tijekom gornjeg ladinika dolazi do ponovne promjene taložnog okoliša iz dubljevodnog, pretežito klastičnog, u plitkovodni, karbonatni.

Nasuprot tomu, područja Medvenice i Kalnika danas su inkorporirana u ofiolitni melange, te se stoga geološka evolucija može dokumentirano pratiti samo u rasponu od gornjeg ladinika do norika. Radiolariti i bazični efuzivi tih područja ukazuju na "oceanski" karakter bazena u vrijeme srednjeg do gornjeg trijasa (HALAMIĆ & GORIČAN, 1995; HALAMIĆ, 1998; HALAMIĆ et al., 1998).

Zahvala

Na pomoći pri terenskom radu zahvaljujemo se Josipu Bukovcu, Ivanu Galoviću, Željki Glovacki-Jernej, Georgu Kochu, Vjekoslavu Novaku i Antunu Šimuniću. Nenadu Kurtanjeku zahvaljujemo na grafičkoj obradi stupova.

4. LITERATURA

- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Rogatec L33-68.- Geološki zavod Ljubljana & Geološki zavod Zagreb (1983), Savezni geološki zavod, Beograd, 76 str.
- BRACK, P. & RIEBER, H. (1993): Towards a better definition of the Anisian/Ladinian boundary: New biostratigraphic data and correlations of boundary sections from the Southern Alps.- *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 86/2, 415-527, Basel.
- BUDAI, T. & HAAS, J. (1998): Triassic sequence stratigraphy of the Balaton Highland (Hungary).- *Acta geologica Hungarica*, 40/3, 307-335, Budapest.
- BUDAI, T. & VÖRÖS, A. (1992): Middle Triassic history of the Balaton Highland: extensional tectonics and basin evolution.- *Acta geologica Hungarica*, 35/3, 237-250, Budapest.
- BUDAI, T. & VÖRÖS, A. (1993): The Middle Triassic events of the Transdanubian Central Range in the frame of the Alpine evolution.- *Acta geologica Hungarica*, 36/1, 3-13, Budapest.

- BUKOVAC, J., GRGASOVIĆ, T., GLOVACKI JERNEJ, Ž., JERINIĆ, G., GALOVIĆ, I. & PRTOĽJAN, B. (1995): Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka u okviru radova na Geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000.- U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres (First Croatian Geological Congress), Zbornik radova (Proceedings), 1, 137-142, Zagreb.
- DE ZANCHE, V., GIANOLLA, P., MIETTO, P., SIORPAES, Ch. & VAIL, P.R. (1993): Triassic sequence stratigraphy in the Dolomites (Italy).- *Memoire di Scienze Geologiche*, 45, 1-27, Padova.
- FRISIA-BRUNI, S., JADOUL, F. & WEISSERT, H. (1989): Evinosponges in the Triassic Esino Limestone (Southern Alps): documentation of early lithification and late diagenetic overprint.- *Sedimentology*, 36, 685-699.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1894): Geologija gore Samoborske i Žumberka (Geologie des Samoborer und Žumberak gebirge).- *Rad JAZU*, 120, 1-82, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1904a): Geologijska prijelegla karta Hrvatske i Slavonije, 1:75000. Tumač geologijske karte Rogatec-Kozje (Zona 21, Col. XIII).- *Naklada Kraljevske zemaljske vlade, Odjel za unutarnje poslove*, Zagreb, 24 str.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1904b): Geologijska prijelegla karta Hrvatske i Slavonije, 1:75000. Tumač geologijske karte Zlatar-Krapina (Zona 21, Col. XVI).- *Naklada Kraljevske zemaljske vlade, Odjel za unutarnje poslove*, Zagreb, 42 str.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908): Geologijska prijelegla karta i tumač geologijskoj karti Zagreb (Zona 22, Col. XIV).- *Naklada kraljevske zemaljske vlade*, Zagreb, 75 str.
- GRGASOVIĆ, T. (1997): Upper Triassic biostratigraphy and algae from Žumberak (Croatia).- *Geol. Croatica*, 50/2, 201-214, Zagreb.
- GRGASOVIĆ, T. & SOKAČ, B. (2000): Fosilne asocijacije dzikladalnih algi u trijasu Hrvatske.- U: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres (Second Croatian Geological Congress), Zbornik radova (Proceedings), Zagreb - ovaj volumen (this Vol.).
- HALAMIĆ, J. (1998): Litostratigrafska kategorizacija jurskih i krednih sedimenata s ofiolitima Medvednice, Kalnika i Ivanščice.- *Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu*, Zagreb, 180 str.
- HALAMIĆ, J. & GORIČAN, Š. (1995): Triassic radiolarites from Mts. Kalnik and Medvednica (Northwestern Croatia).- *Geol. Croatica*, 48/2, 129-146, Zagreb.
- HALAMIĆ, J., SLOVENEK, Da. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (1998): Triassic pelagic limestones in pillow lavas in the Orešje quarry near Gornja Bistra, Medvednica Mt. (Northwest Croatia).- *Geol. Croatica*, 51/1, 33-47, Zagreb.
- HERAK, M. (1956): Geologija Samoborskog gorja (Geologie des Samoborer Gebirge).- *Acta geologica*, 1, 49-73, Zagreb.
- HERAK, M. & MALEZ, M. (1956): Teutloporella herculea (Stopani) in the district of Golubovec, N-W Croatia.- *Bulletin scientifique, Conseil des Académies des Sciences et des Arts de la R.S.F. de Yougoslavie, Section A: Sciences naturelles, techniques et médicales*, 2/4, 106-107, Zagreb.
- JADOUL, F. & FRISIA, S. (1988): Le Evinosponge: ipotesi genetica di cementi calcitici nella piattaforma ladinica delle Prealpi lombarde (Alpi Meridionali).- *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 94/1, 81-104, Milano.
- KOZUR, H.W. (1996): The systematic position of Pseudoertlispongia Lahm (Radiolaria) and description of some new Middle Triassic and Liassic radiolarian taxa.- *Geol.-Paläont. Mitt. Innsbruck, Sonderband 4*, 287-299, Innsbruck.
- KOZUR, H., KRÄINER, K. & MOSTLER, H. (1994): Middle Triassic conodonts from the southern Karawanken Mountains (Southern Alps) and their stratigraphic importance.- *Geol.-Paläont. Mitt. Innsbruck*, 19, 165-200, Innsbruck.
- KOZUR, H., KRÄINER, K. & MOSTLER, H. (1996): Radiolarians and facies of the Middle Triassic Loibl Formation, Southalpine Karawanken Mountains (Carinthia, Austria).- *Geol.-Paläont. Mitt. Innsbruck, Sonderband 4*, 195-269, Innsbruck.
- KOZUR, H. & MOSTLER, H. (1994): Anisian to Middle Carnian radiolarian zonation and description of some stratigraphically important radiolarians.- *Geol.-Paläont. Mitt. Innsbruck, Sonderband 3*, 39-255, Innsbruck.
- MIETTO, P. & MANFRIN, S. (1995): A high resolution Middle Triassic ammonoid standard scale in the Tethys Realm. A preliminary report.- *Bull. Soc. Géol. France*, 166, 539-563, Paris.
- PAMIĆ, J. & TOMLJENOVIĆ, B. (1998): Basic geological data on the Croatian part of the Mid-Transdanubian Zone as exemplified by Mt. Medvednica located along the Zagreb-Zemlen Fault Zone.- *Acta geologica Hungarica*, 41/4, 389-400, Budapest.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Novo Mesto L33-79.- *Geološki zavod Ljubljana* (1970), Savezni geološki zavod, Beograd, 61 str.
- RAMOŠ, A. & GORIČAN, Š. (1995): Late Anisian-Early Ladinian radiolarians and conodonts from Šmarna Gora near Ljubljana, Slovenija.- *Razprave IV. razreda SAZU*, 36, 179-221, Ljubljana.
- SAKAČ, K. (1994): Srednjotrijaski cefalopodi Žumberka.- *Vijesti Hrvatskoga geološkog društva*, 31/2, 41-42, Zagreb.
- SALOPEK, M. (1912): O srednjem trijasu Gregurić-brijega u Samoborskoj gori i njegovoj fauni.- *Djela Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 20, 1-343, Zagreb.
- SALOPEK, M. (1918): Monografija trijadičke cefalopodne faune Kuna-gore.- *Prirodoslovna istraživanja*, 13, 21-27, Zagreb.
- SALOPEK, M. (1919): Monografija trijadičke cefalopodne faune Kuna-gore, II.- *Prirodoslovna istraživanja*, 14, 165-184, Zagreb.
- SALOPEK, M. (1936): O cefalopodnim vapnencima Gregurić-brijega u Samoborskoj gori.- *Prirodoslovna istraživanja*, 20, 201-228, Zagreb.
- SENOWBARI-DARYAN, B., ZÜHLKE, R., BECHSTÄDT, T. & FLÜGEL, E. (1993): Anisian (Middle Triassic) Buildups of the Northern Dolomites (Italy): The Recovery of Reef Communities After the Permian/Triassic Crisis.- *Facies*, 28, 181-256, Erlangen.
- SLOVENEK, D. & HALAMIĆ, J. (1996): Postaja br. 6: Sedimentne, piroklastične i efuzivne stijene kamenoloma Očura (srednji trijas).- U: ŠIMUNIĆ, A. (ur.): Vodič geološke ekscurzije kroz Hrvatsko Zagorje.- *Hrvatsko geološko društvo*, 27-31, Zagreb.
- SUDAR, M. (1986): Mikrofosili i biostratigrafija trijasa unutrašnjih Dinarida Jugoslavije između Gučeva i Ljubišnje (Triassic microfossils and biostratigraphy of the Inner Dinarides between Gučevo and Ljubišnja mts., Yugoslavia).- *Geološki anali Balkanskog poluostrva*, L, 151-394, Beograd.
- SUGIYAMA, K. (1992): Lower and Middle Triassic Radiolarians from Mt. Kinkazan, Gifu Prefecture, central Japan.- *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S.*, 167, 1180-1223.
- SWEET, W.C. (1988): The Conodonta. Morphology, Taxonomy, Palaeoecology, and Evolutionary History of a Long-extinct Animal Phylum.- *Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, 10, 212 str., Oxford University Press, Oxford, New York, Toronto.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zagreb L33-80.- *Institut za geološka istraživanja, Zagreb* (1972), Savezni geološki zavod, Beograd, 81 str.
- ŠIMUNIĆ, An., PIKIJA, M. & HEĆIMOVIĆ, I. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Varaždin L33-69.- *Institut za geološka istraživanja Zagreb* (1981), Savezni geološki zavod, Beograd, 75 str.
- ŠIMUNIĆ, Al. & ŠIMUNIĆ, An. (1979): Litofacijelno raščlanjivanje mezozojskih naslaga Kalničkog gorja.- *Zbornik radova 4. godišnjeg Znanstvenog skupa Sekcije za primjenjenu geologiju, geofiziku i geokemiju Znanstvenog savjeta za naftu JAZU, Stubičke Toplice* (1978), 125-137, Zagreb.

- ŠIMUNIĆ, AI. & ŠIMUNIĆ, An. (1980): Petrografski sastav i geneza trijaskih naslaga Ivanščice, Kalnika i Ravne Gore (Hrvatsko zagorje) (Petrographic composition and genesis of triassic deposits of Ivanščica, Kalnik and Ravna Gora Mountain).- Geološki vjesnik, 32, 243-253, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, AI. & ŠIMUNIĆ, An. (1981): Dubokovodni sedimenti srednjeg trijasa Koštruna (zapadni dio Hrvatskog Zagorja) (Deep water sediments of the middle Triassic of Koštrun Mountain (Western parts of Hrvatsko Zagorje)).- Zavod za geološka i geofizička istraživanja, Vesnik, (A), 38-39, 205-221, Beograd.
- ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, AI. (1992): Mesozoic of Hrvatsko Zagorje area in the southwestern part of the Pannonian Basin (northwestern Croatia).- Acta geologica Hungarica, 35/2, 83-96, Budapest.
- ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, AI. (1997): Triassic deposits of Hrvatsko Zagorje.- Geologia Croatica, 50/2, 243-250, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, An., ŠIMUNIĆ, AI. & MILANOVIĆ, M. (1980): Geološka grada Ivanščice i Ravne gore (Geology of Mt. Ivanščica and Mt. Ravna Gora (northwestern Croatia)).- Geološki vjesnik, 31, 157-174, Zagreb.



Fosilne asocijacije dazikladalnih algi u trijasu Hrvatske

Fossil Associations of Dasycladalean Algae in the Triassic of Croatia

Tonći GRGASOVIĆ & Branko SOKAČ

Ključne riječi: Dasycladales, trijas, Hrvatska.

Key words: Dasycladales, Triassic, Croatia.

Sažetak

Analiza fosilnih asocijacija dazikladalnih algi u srednjem i gornjem trijasu Hrvatske, s težištem na stratigrafskom rasponu pojedinih vrsta i asocijacija, pokazala je dobru upotrebljivost ovih algi u stratigrafskoj razdiobi istraživanog stratigrafskog intervala.

Abstract

Analysis of the fossil associations of dasycladalean algae in the Middle and Upper Triassic of Croatia is given with the emphasis on the stratigraphical ranges of particular species and associations. The analysis shows the good usability of these algae in the stratigraphic division of the investigated interval.

Dazikladalne alge nađene su u karbonatnim naslagama Hrvatske od gornjeg karbona do paleocena. Cilj ovog rada je pregled fosilnih asocijacija dazikladalnih algi u srednjem i gornjem trijasu Hrvatske s težištem na stratigrafskom rasponu pojedinih vrsta i asocijacija (sl. 1), nadovezujući se na radove PIAE (1930), HERAKA et al. (1967), OTTA (1972a, b) i BYSTRICKOG (1986).

Pregled algalnih asocijacija dan je na temelju ponovnog pregleda obimnog fosilnog materijala prikupljenog tijekom rada na geološkoj karti 1:100.000 šezdesetih i sedamdesetih godina i tijekom rada na novoj geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000 devedesetih godina, te podataka iz ranije publiciranih radova. Prva istraživanja trijaskih dazikladalnih algi u Hrvatskoj provodio je M. Herak (HERAK, 1950, 1957, 1958, 1960, 1963, 1965a, b, c; HERAK & MALEZ, 1956; HERAK et al., 1967, 1977). Na njegova istraživanja nastavljaju se i istraživanja autora ovog rada (BUKOVAC et al., 1974, 1995; BUKOVAC & SOKAČ, 1989; GRGASOVIĆ, 1995, 1997; GRGASOVIĆ & SOKAČ, 1999; GRGASOVIĆ et al., 1999; SOKAČ, 1968, 1974; SOKAČ & GRGASOVIĆ, 1995, 1998; SOKAČ et al., 1964; VELIĆ & SOKAČ, 1982).

Trijaskie dazikladalne alge se prema svom stratigrafskom rasponu i zajedničkom pojavljivanju mogu svrstati u nekoliko fosilnih asocijacija. Donji trijas je, za sada, u cijelom svijetu bez nalaza algi.

U najdonjem aniziku (?Aegean) prva se pojavljuje asocijacija *Diplopora cellulata* HURKA, *Diplopora proba* PIA, *Poncetella hexaster* (PIA) i *Poncetella helvetica* (PIA) (Aegean - Pelsonian), te *Diplopora subtilis* PIA (Aegean - donji Illyrian).

Nešto kasnije (? Bithynian) pridružuje im se *Oligoporella-Physoporella* asocijacija s vrstama: *Oligoporella cornuta* (= *Ol. pilosa* var. *varicans* PIA), *Ol. dissita* (= *Ph. dissita* (GÜMBEL) PIA), *Ol. minutula* (= *Ph. minutula* (GÜMBEL) PIA), *Ol. pilosa* PIA s varijacijama *Ol. pilosa* var. *intusannulata* PIA i *Ol. pilosa* var. *pilosa* PIA, *Ol. praealpina* (= *Ph. praealpina* PIA), *Ol. varicans* (= *Ph. varicans* PIA), te *Physoporella pauciforata* (GÜMBEL) STEINMANN s varijacijama *Ph. pauciforata* var. *pauciforata* PIA, *Ph. pauciforata* var. *sulcata* BYSTRICKÝ i *Ph. pauciforata* var. *undulata* PIA (GRGASOVIĆ, 1995).

Oligoporella-Physoporella asocijacija i *Macroporella alpina* PIA imaju maksimum razvoja u Pelsonianu i donjem Illyrianu. Uz njih često nalazimo foraminiferu *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ. U Pelsonianu se javljaju *Physoporella croatica* HERAK (HERAK, 1958) (Pelsonian) i *Teutloporella tabulata* PIA (Pelsonian - donji Illyrian), kao i *Euteutloporella peniculiformis* (OTT) i *E. scopuliformis* n. sp., koje nalazimo u rasponu Pelsonian - Fassanian (GRGASOVIĆ & SOKAČ, 1999; GRGASOVIĆ et al., 1999).

phoporella curvata (GÜMBEL) i *Gyroporella vesiculifera*. GÜMBEL. Posljednje dvije vrste nalazimo i u retu, zajedno s foraminiferom *Triasina hantkeni* MAJZON.

Na kraju možemo zaključiti da se dazikladalne alge, usprkos vezanosti za plitkovodne okoliše, mogu koristiti u stratigrafskoj razdiobi trijaskih karbonatnih sukcesija zbog svoje dobre provodnosti, naročito ako se promatraju u asocijacijama. Zbog relativno velikih dimenzija i učestalog javljanja lako se, uz pomoć lupe, prepoznaju u terenskim istraživanjima.

LITERATURA

- BUKOVAC, J., GRGASOVIĆ, T., GLOVACKI JERNEJ, Ž., JERINIĆ, G., GALOVIĆ, I. & PRTOJAN, B. (1995): Litostratigrafska raščlamba dolomitnih naslaga trijasa jugozapadnog Žumberka u okviru radova na Geološkoj karti Republike Hrvatske 1:50.000.- U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres (First Croatian Geological Congress), Zbornik radova (Proceedings), 1, 137-142, Zagreb.
- BUKOVAC, J. & SOKAČ, B. (1989): O gomjotrijaskim i donjolijaskim vapnencima sjeverne padine Gorjanaca, južno od Kostanjevice (JZ Slovenija) i njihovom značenju za tumačenje geotektonskih odnosa u širem prostoru (Upper Triassic - Lower Liassic limestones on the northern slopes of Mt. Gorjanci and south of Kostanjevica (Southeast Slovenia) and their significance for the geotectonics of the larger area).- *Geološki vjesnik*, 42, 7-13, Zagreb.
- BUKOVAC, J., VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1974): Stratigrafski, tektonski i paleogeografski odnosi u području Dugarese, Barilovića i Skradске gore (Stratigraphy, tectonics and paleogeography of the region between Dugaresa, Barilović and Skradska gora (Croatia)).- *Geološki vjesnik*, 27, 59-77, Zagreb.
- BYSTRICKÝ, J. (1986): Stratigraphic ranging and zonation of dasycladal algae in the West Carpathians Mts., Triassic.- *Mineralia Slovaca*, 18/4, 289-321, Bratislava.
- GRGASOVIĆ, T. (1995): Revision of Genera *Physoporella*, *STEINMANN* and *Oligoporella*, PIA (Dasycladales, Green Algae).- 6th International Symposium on Fossil Algae and Carbonate Platforms, Abstracts, 15, Ankara.
- GRGASOVIĆ, T. (1997): Upper Triassic biostratigraphy and algae from Žumberak (Croatia).- *Geologia Croatica*, 50/2, 201-214, Zagreb.
- GRGASOVIĆ, T. & SOKAČ, B. (1999): *Teutloporella* PIA and *Euteutloporella* DE CASTRO (Dasycladales, Green Algae) from the Triassic of Croatia.- U: MU, X., YUAN, X. & KERSHAW, S. (ur.): Seventh International Symposium on Fossil Algae (Oct. 13-17, 1999, Nanjing). Abstracts, 23-24, Nanjing.
- GRGASOVIĆ, T., SOKAČ, B. & HALAMIĆ, J. (1999): *Salpingoporella scopuliformis* n. sp. (Dasycladales, Green Algae) from the Middle Triassic of Croatia.- U: MU, X., YUAN, X. & KERSHAW, S. (ur.): Seventh International Symposium on Fossil Algae (Oct. 13-17, 1999, Nanjing). Abstracts, 25-26, Nanjing.
- HERAK, M. (1950): Ladinische Dasycladaceae Jugoslavije i njihovo stratigrafsko značenje.- *Rad JAZU*, 280, 115-141, Zagreb.
- HERAK, M. (1957): Some problems in the Dasyclad genus *Diploporella*.- *Micropaleontology*, 3/1, 49-52, New York.
- HERAK, M. (1958): The Dasyclad genus *Physoporella* in the Anisian of Yugoslavia.- *Journal of the Palaeontological Society of India*, Birbal Sahni Memorial Number, 3, 59-63, Lucknow.
- HERAK, M. (1960): Calcareous algae of the young Palaeozoic, and Mesozoic of Yugoslavia and their application in the stratigraphy.- U: HESSLAND, I. & ERDTMAN, G. (ur.): Part VI: Proceedings of Section 6, Pre-Quaternary Micropaleontology. Report of the Twenty-First Session, Norden, International Geological Congress. Det Berlingske Bogtrykkeri, 90-97, Copenhagen.
- HERAK, M. (1963): Paleobotanika.- Školska knjiga, Zagreb, XII+180 str.
- HERAK, M. (1965a): Comparative study of some Triassic Dasycladaceae in Yugoslavia (Komparativni studij nekih trijaskih dasikladaceja u Jugoslaviji).- *Geološki vjesnik*, 18/1, 3-34, Zagreb.
- HERAK, M. (1965b): Naslage trijasa u okolici Sv. Roka u Lici.- *Acta Geologica*, 5, 5-95, Zagreb.
- HERAK, M. (1965c): Die Kalkalgen in der Stratigraphie der Dinariiden (Jungpaläozoikum und Mesozoikum).- *Mitteilungen der geologischen Gesellschaft in Wien*, 58, 209-217, Wien.
- HERAK, M., KOCHANSKY, V. & GUŠIĆ, I. (1977): The Development of the Dasyclad Algae through the Ages.- U: FLÜGEL, E. (ur.): Fossil Algae: Recent Results and Developments. Springer-Verlag, 143-153, Berlin.
- HERAK, M. & MALEZ, M. (1956): *Teutloporella herculea* (Stopani) in the district of Golubovec, N-W Croatia.- *Bulletin scientifique, Conseil des Académies des Sciences et des Arts de la R.S.F. de Yougoslavie, Section A: Sciences naturelles, techniques et médicales*, 2/4, 106-107, Zagreb.
- HERAK, M., SOKAČ, B. & ŠČAVNIČAR, B. (1967): Correlation of the Triassic in SW Lika, Paklenica and Gorski Kotar (Croatia).- *Geologický Sborník - Geologica carpathica*, 18/2, 189-202, Bratislava.
- OTT, E. (1972a): Die Kalkalgen-Chronologie der alpinen Mitteltrias in Angleichung an die Ammoniten-Chronologie.- *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 141/1, 81-115, Stuttgart.
- OTT, E. (1972b): Zur Kalkalgen-Stratigraphie der Alpinen Trias.- *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie- und Bergbaustudenten in Österreich*, 21/1, Symposium Innsbruck, 20.-23. März 1972: Mikrofazies und Mikrofauna der Alpinen Trias und deren Nachbargebiete, 455-463, Innsbruck.
- PIA, J. (1930): Grundbegriffe der Stratigraphie mit ausführlicher Anwendung auf die europäische Mitteltrias.- Verlag von Franz Deuticke, Leipzig und Wien, 252 str.
- SOKAČ, B. (1968): A new genus of calcareous algae from the Middle Triassic of Velebit (Novi rod vapnenačke alge iz srednjeg trijasa Velebita).- *Geološki vjesnik*, 21, 207-212, Zagreb.
- SOKAČ, B. (1974): *Diploporella clavaeformis* PIA (Chlorophyta, Dasycladaceae) from the Lower Ladinian of Mt. Velebit (O vrsti *Diploporella clavaeformis* PIA (Chlorophyta, Dasycladaceae) iz donjeg ladinika Velebita).- *Geološki vjesnik*, 27, 133-141, Zagreb.
- SOKAČ, B. & GRGASOVIĆ, T. (1995): *Dissocladella bystrickyi* n. sp., a New Calcareous alga (Dasycladaceae) from Upper Triassic dolomites of Mt. Medvednica (Northern Croatia).- *Geologia Croatica*, 48/1, 1-5, Zagreb.
- SOKAČ, B. & GRGASOVIĆ, T. (1998): *Asterocalculus heraki* n. gen., n. sp., a new calcareous alga (Gymnocodiaceae) from the Upper Triassic Hauptdolomite of Žumberak, north Croatia.- *Facies*, 38, 197-206, Erlangen.
- SOKAČ, B., NIKLER, L. & IVANOVIĆ, A. (1964): Fund von obertriadischen Dasycladaceen im Gebiet des Velebit.- *Bulletin scientifique, Conseil des Académies des Sciences et des Arts de la R.S.F. de Yougoslavie, Section A: Sciences naturelles, techniques et médicales*, 9/6, 156-157, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1982): Novi nalazi naslaga donjeg i srednjeg trijasa u zapadnom Kordunu (središnja Hrvatska) (New discoveries of the Lower and Middle Triassic in western Kordun (central Croatia)).- *Geološki vjesnik*, 35, 47-57, Zagreb.





Prvi rezultati istraživanja špilje Vinice - novog paleontološkog i paleolitičkog nalazišta

Preliminary Results of Investigation of Vinica Cave - A New Paleontologic and Palaeolithic Site

Goran GUŽVICA¹, Biserka RADANOVIĆ-GUŽVICA² & Đuro HUBER¹

Ključne riječi: špilja Vinica, holocen, pleistocen, paleolitik, špiljske taložine.

Key words: Vinica cave, Holocene, Pleistocene, Palaeolithic, Cave sediments.

Sažetak

Sustavnim istraživanjem špilje Vinice kraj Varaždina provedenim od 1997. do 1999. godine, pronađena je bogata pleistocenska i holocenska fauna predstavljena s 12 vrsta sisavaca, te predstavnicima ptica, vodozemaca i puževa. U sedimentima su pronađeni i paleolitički nalazi: kameno oruđe i odbojci musterijske kulture, ognjišta, te tragovi rezanja (*cut marks*) na kostima životinja. Špiljske taložine do sada istraženog dijela špilje Vinice podijeljene su u četiri makroskopski različita sloja. Kronostratigrafska analiza naslaga upućuje na taloženje u rasponu od Würm 1/2 interstadijala do holocena s izostankom naslaga iz Würm 2/3 interstadijala i većeg dijela Würm 3 stadijala.

Abstract

During the systematic excavation from 1997 to 1999 in Vinica cave (near Varaždin), rich Holocene and Pleistocene faunas were discovered. Fauna is presented with 12 species of Mammalia, and some species of Aves, Amphibia and Gastropoda. Palaeolithic records, stone tools and flakes of Mousterien culture, fireplaces, and cut marks on animal bones, were also discovered in cave sediments. Till now investigated cave sediments are divided in four layers with different macroscopic features. Chronostratigraphic position of those sediments belongs to range from Würm 1/2 interstadial to Holocene, with gap of deposits from Würm 2/3 interstadial and main part of Würm 3 stadial.

UVOD

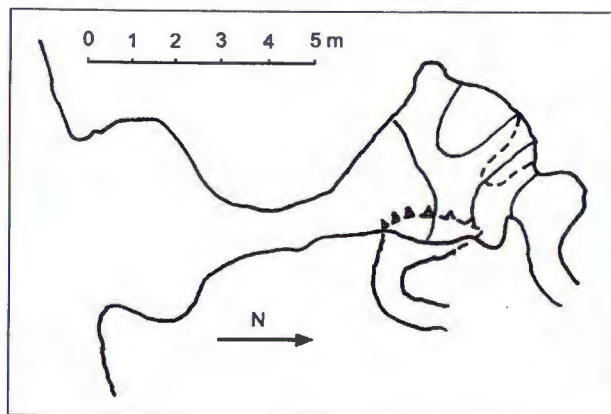
Špilja Vinica nalazi se u sjeverozapadnoj Hrvatskoj, u istočnom dijelu Ravne gore blizu sela Vinica Breg kraj Varaždina. Ulaz špilje smješten je na 250 m nadmorske visine, GPS koordinata: 46°18'09'' N, 016°04'44'' E. Špilja Vinica prvi put se u literaturi spominje u popisu arheoloških nalazišta sjeverozapadne Hrvatske (ŠIMEK, 1994). Špilja je morfološki jednostavna (sl. 1), a prije sustavnih iskapanja činio ju je 6 m dugi kanal visine 60 cm i širine oko 100 cm koji je završavao manjom okruglom dvoranom promjera 4,5 m. Nalazi se u litotamnijском vapnencu. Preliminarna paleontološka istraživanja započeta su 1994. godine iskopavanjem sonde na kraju opisanog kanala. Brojnost i očuvanost nalaza upućivali su na opravdanost daljnjih istraživanja, te su 1997. godine započela terenska istraživanja špilje Vinice koja su obuhvaćala sustavna iskapanja, te istraživanja geoloških odnosa okolice špilje.

MATERIJAL I METODE

Sustavna iskapanja špilje Vinice započeta su odredbom kvadranta veličine 1 x 1 m koji su označeni slovima od zapada prema istoku i brojkama od juga prema sjeveru. Tijekom iskapanja za svaki nalaz bilježe se sljedeći podaci: datum nalaza, ime i prezime nalaznika, oznaka kvadranta, oznaka sloja, opis i boja sloja, trodimenzionalne koordinate nalaza, te opis nalaza i opažanja. Tijekom sustavnih iskapanja špilje Vinice provedenih od 1997. do 1999. godine (sl. 2), koja su obuhvatila 9 kvadranta predšpiljskog dijela i 27 kvadranta unutrašnjeg dijela špilje, prikupljeno je više od 2.000 nalaza bogate holocenske i pleistocenske faune, te 266 nalaza koji upućuju na prisutnost paleolitičke kulture. Izvršena je preliminarna taksonomska odredba koštanog materijala, te tipološka i petrografska odredba paleolitičkih nalaza. Navedeni nalazi pohranjeni su u Zavodu za biologiju Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.

¹Zavod za biologiju, Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Heinzelova 55, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Tlocrt špilje Vinice.
Fig. 1 Plan of Vinica cave.

Uzorci za sedimentološku analizu uzeti su na profilu koji se nalazi s desne strane 3 m od ulaza. Preliminarna granulometrijska analiza izvršena je prema postupku prilagođenom špiljskim sedimentima (OSOLE, 1959), te su izdvojene slijedeće frakcije: manje od 1 mm, 1-2 mm, 2-3 mm, 3-4 mm, 4-5 mm, 5-10 mm i veće od 10 mm. U frakcijama većim od 2 mm izdvojeno je uglato kršje od zaobljenog, tako da su za veće frakcije dobivene po 2 vrijednosti. Postotne vrijednosti prikazane su u dijagramima, gdje isprekidana linija označava bruto krivulju tj. ukupnu količinu pojedine frakcije, dok puna linija označava neto krivulju tj. količinu kršja. Utvrđen je i postotni udio litičkih i koštanih sastojaka u pojedinim slojevima. Uzorci sedimenta pohranjeni su u Mineraloško-petrografskom odjelu Hrvatskog prirodoslovnog muzeja u Zagrebu.

Taksonomska pripadnost	Sloj				
	a	b1	b2	c	d
<i>Vulpes vulpes</i>	+	-	+	+	-
<i>Meles meles</i>	+	-	+	-	-
<i>Felis silvestris</i>	-	-	+	-	-
<i>Panthera pardus</i>	-	-	-	-	+
<i>Ursus spelaeus</i>	-	-	+	+	+
<i>Canis lupus</i>	-	-	+	+	+
<i>Sus scrofa</i>	-	-	-	-	+
<i>Cervus elaphus</i>	-	-	-	+	+
<i>Bos sp.</i>	-	-	-	+	+
<i>Sciurus vulgaris</i>	-	-	+	+	-
<i>Lepus europaeus</i>	+	-	+	-	-
<i>Talpa europaea</i>	+	+	-	-	-
Aves	+	+	+	+	-
Amphibia	-	-	-	-	+
Gastropoda	+	+	-	-	+

Tablica 1 Nazočnost taksonomskih skupina u slojevima špilje Vinice.
Table 1 Presence of taxonomic groups in layers of Vinica cave.



Sl. 2 Sustavna iskopanja špilje Vinice 1999. Godine.
Fig. 2 Systematic excavations of Vinica cave in 1999.

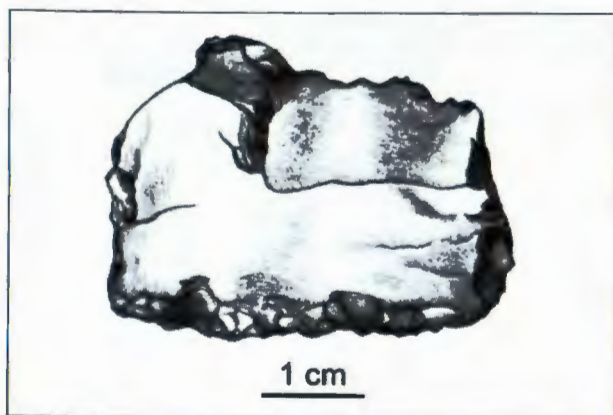
REZULTATI

REZULTATI PALEONTOLOŠKE ANALIZE

Taksonomskom odredbom prikupljene koštane građe utvrđena je nazočnost 12 vrsta iz razreda sisavaca (Mammalia) (tablica 1). To su većim dijelom pripadnici reda zvijeri (Carnivora) i to vrste: *Vulpes vulpes* (lisica), *Meles meles* (jazavac), *Felis silvestris* (divlja mačka), *Panthera pardus* (leopard), *Ursus spelaeus* (špiljski medvjed) i *Canis lupus* (vuk). Ostale vrste, zastupljene u manjem broju, pripadaju parnoprstasima (Artiodactyla), predstavljene vrstama *Sus scrofa* (divlja svinja), *Cervus elaphus* (jelen) i *Bos sp.* (govedo); glodavcima (Rodentia) vrstom *Sciurus vulgaris* (vjeverica); dvojezupcima (Lagomorpha) vrstom *Lepus europaeus* (zec), te kukcojedima (Insectivora), vrstom *Talpa europaea* (krtica). Osim navedenih skupina u špilji Vinici nazočni su i ostaci faune ptica (Aves), vodozemaca (Amphibia) i puževa (Gastropoda) (tablica 1).

REZULTATI PALEOLITIČKE ANALIZE

U istraživanim sedimentima špilje Vinice pronađena su ukupno 252 paleolitička nalaza od kojih većinu čini obradbeni materijal odnosno odbojci s mjestimično uočljivom okorinom. Veličina odbojaka kreće se od 2 do 25 mm. Znatno manji udio čine finalni proizvodi odnosno oruđa od kojih su tipološki najčešće zastupljena strugala (sl. 3) (KARAVANIĆ, usmeno saopćenje). Osim navedenog nađeno je i nekoliko većih komada valutica alohtonih stijena koje su vjerojatno donešene kao sirovinski materijal za daljnju obradu. Artefakti su izrađeni od 6 različitih skupina stijena: kремена bjelutka, rožnjaka najčešće crne i tamno sive a rjeđe smeđe i smeđe-crvene boje, vitroklastičnog tufa svijetlo sive boje, opala sivo-smeđe boje, pješčenjaka, te efuzivne stijene s crnim fenokristalima u gustoj osnovi bijele boje. Sirovinski materijal korišten za izradu artefakata lokalnog je podrijetla, tj. može se pronaći u bližjoj okolini špilje. Sirovinski sastav artefakata iz špilje Vinice gotovo je



Sl. 3 Musterijensko strugalo iz sloja "d" špilje Vinice.

Fig. 3 Mousterien side scraper from "d" layer of Vinica cave.

identičan sirovinskom sastavu artefakata iz špilje Vindije (KURTANJEK & MARCI, 1990). Izbor materijala, te način obrade svih paleolitičkih nalaza upućuje na pripadnost musterijskoj kulturi (KARAVANIĆ, usmeno saopćenje).

Osim navedenih nalaza, u sedimentima špilje Vinice nađeno je ukupno 14 ognjišta (2 u sloju b1, te po 4 u slojevima b2, c i d). Ognjišta su promjera 30 do 70 cm, debljine 3 do 15 cm, ponekad s opekastocrvenim isprženim glinovitim sedimentom u bazi.

U sloju c nađeno je i nekoliko dijafiza životinjskih kostiju s jasno uočljivim tragovima rezanja (*cut marks*). Tragovi rezanja su ili ravni pod kutem u odnosu na os kosti, ili kružni, odnosno polukružni.

REZULTATI SEDIMENTOLOŠKIH ANALIZA

Sedimentna serija do sada istraženog dijela špilje Vinice sastoji se od 4 makroskopski različita sloja:

Sloj a - rastresiti humus s organskim ostacima i malo sitnog vapnenačkog kršja, tamno smeđe boje, debljine 3 do 20 cm.

Sloj b - gusti glinoviti sediment žuto-smeđe boje, debljine 23 do 156 cm. Mjestimično se nalaze proslojci sa sitnijim valuticama, a rjeđe se nalaze i veći kameni blokovi litotamnijskog vapnenca. U donjem dijelu ovog sloja češći su proslojci sa sitnim valuticama, tako da je sloj podijeljen na 2 horizonta (b1 i b2). Granica između horizontata b1 i b2 nije jasno izražena već je prijelaz postepen. Udio koštanog materijala znatno je veći u horizontu b2 nego u horizontu b1.

Sloj c - pjeskovito-glinoviti sediment sa puno kamenog kršja, smeđe boje, debljine 30 do 72 cm. Unutar sloja uočene su lateralne promjene u gustoći i prosječnoj veličini kršja, te u boji pjeskovito-glinovite komponente od crvenkasto-smeđe do sivo-smeđe. U ovom sloju znatan je udio koštanog materijala.

Sloj d - pjeskovito-glinoviti sediment sa vrlo malo kamenog kršja, smeđe-crvene boje, debljine 42 do 57 cm.

Preliminarnom granulometrijskom analizom sedimentata slojeva b1, b2, c i d određene su bruto i neto krivulje izdvojenih frakcija (sl. 4). Ukupna količina frakcije manje od 1 mm najveća je u sloju b1 (99,2%), nešto je manja u slojevima d (96,7%) i b2 (94,7%), dok je izrazito najmanja u sloju c (68,5%). Ukupna količina frakcije 1-2 mm najveća je u sloju c (3,4%), nešto je manja u slojevima b2 (2,2%) i d (1,4%), dok je najmanja u sloju b1 (0,5%). Ukupna količina ostalih frakcija većih od 2 mm, kao i količina kamenog kršja u njima najveća je u sloju c (1,7 do 13,1%), znatno je manja u slojevima b2 (0 do 1%) i d (0 do 0,7%), a najmanja je u sloju b1 (0 do 0,1%). U sloju c frakcije veće od 2 mm najvećim se dijelom sastoje od kamenog kršja (preko 90%), dok se u svim ostalim slojevima frakcije veće od 2 mm najvećim dijelom sastoje od valutica (79 do 100%) (tablica 2).

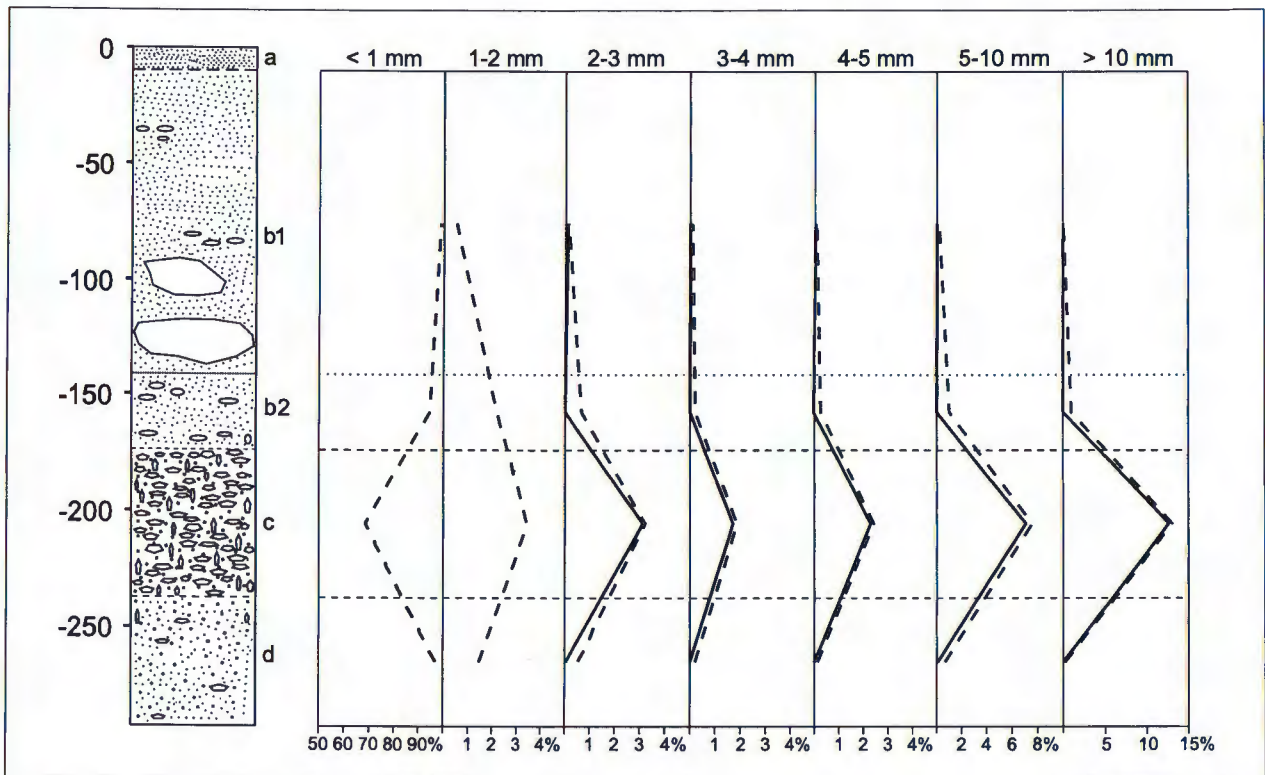
RASPRAVA I ZAKLJUČCI

Zastupljenost životinjskih vrsta u špilji Vinici podudarna je sa zastupljenošću na drugim lokalitetima u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Treba istaknuti izostanak špiljskog lava (*Panthera spelaea*) koji je moguće objasniti još relativno malim uzorkom dobivenim dosadašnjim istraživanjima.

Izbor sirovine za izradu kamenog oruđa, te tipološka odredba upućuju da ostaci materijalne kulture u slojevima c i d pripadaju srednjem paleolitu, odnosno musterijskoj kulturi (KARAVANIĆ, usmeno saopćenje). Na osnovu znatno učestalije pojavnosti obradbenog materijala u odnosu na finalne proizvode, te nalaza alohtonih neobrađenih ili polu-obrađenih stijena moguće je pretpostaviti da su u špilji Vinici bile zastupljene sve faze izrade kamenog oruđa.

Prema makroskopskim značajkama, rezultatima preliminarnog granulometrijske analize i sastavu sedimentata utvrđeno je da u slojevima b1, b2 i d izostaju produkti mehaničkog trošenja, dok za sloj c značajni otkloni neto krivulja u desno kod frakcija većih od 1 mm (sl. 4) ukazuju na izrazito mehaničko trošenje. Tijekom taloženja sloja c dolazilo je do intenzivnog drobljenja špiljskog stropa i bočnih stijena radi smrzavanja, što upućuje na hladnu i vlažnu klimu. Sedimentološke značajke slojeva b1 i b2 upućuju na umjereno hladnu i suhu klimu, dok je tijekom taloženja sloja d prevladavala vrlo topla i vlažna klima.

Na osnovu sedimentoloških i faunističkih značajki naslaga i musterijske materijalne kulture, te dosadašnjih saznanja o drugim pleistocenskim nalazištima u sjeverozapadnoj Hrvatskoj (MALEZ, 1963, 1965, 1967, 1970, 1975; MALEZ & RUKAVINA, 1979; MALEZ et al., 1984; RUKAVINA, 1978, 1983), pretpostavljen je kronostratigrafski položaj naslaga do sada istraženog dijela špilje Vinice. Sloj a pripada holocenu. Sloj b taložen je u završnoj fazi Würm 3 stadijala. Sedimentološke značajke sloja c ukazuju na glacialne uvjete pri-



Sl. 4 Postotni udjeli frakcija slojeva špilje Vinice (--- = bruto krivulja - ukupna količina pojedine frakcije; — = neto krivulja - količina kršja).

Fig. 4 Percentage share of fractions of Vinica cave layers (--- = gross curve - total quantity of particular fraction; — = net curve - quantity of rubble).

FRAKCIJA	SLOJ							
	b1		b2		c		d	
2-3 mm	V	98%	V	93%	KLV	96%	V	79%
	KO	1%	KO	7%	V	3%	KO	12%
	KLV	1%			KO	1%	KLV	8%
3-4 mm			V	84%	KLV	94%	V	90%
	V	100%	KO	9%	V	4%	KO	7%
			KLV	7%	KO	2%	KLV	3%
4-5 mm	V	95%	V	75%	KLV	95%	V	88%
	KLV	5%	KO	17%	V	4%	KO	8%
			KLV	8%	KO	1%	KLV	4%
5-10 mm			V	90%	KLV	93%	V	79%
	V	100%	KO	10%	V	7%	KO	9%
							KLV	8%
>10 mm							TPK	4%
			V	55%	KLV	96%	V	85%
			KO	45%	V	4%	TPK	15%

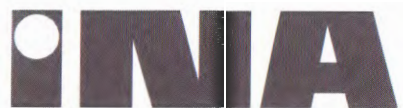
Tablica 2 Postotni udio litičkih i koštanih sastojaka u frakcijama slojeva špilje Vinice (V - valutice; KO - koštani ostaci; KLV - kršje litotamnjskog vapnenca; O - odbojci).

Table 2 Percentage share of lithic and bone components in fractions of Vinica cave layers (V - pebble; KO - bone fragments; KLV - rubble of Lithothamnium limestone; O - flakes).

kom taloženja, a ostaci musterijenske materijalne kulture nadene u njemu upućuju na pripadnost Würm 2 stadijalu. Sloj d ukazuje na topliju klimatsku fazu i pripada Würm 1/2 interstadijalu. Iz takvog kronostratigrafskog redosljeda, te izostanka gornjopaleolitičkih materijalnih kultura proizlazi da u istraživanom dijelu sedimentne serije špilje Vinice nedostaju naslage iz Würm 2/3 interstadijala i većeg dijela Würm 3 stadijala.

LITERATURA

- KURTANJEK, D. & MARCI, V. (1990): Petrološka istraživanja paleolitskih artefakata špilje Vindije.- Rad JAZU, 442, Razr. prir. znan., 24, 227-238, Zagreb.
- MALEZ, M. (1963): Kvarturna fauna pećine Veternice u Medvednici.- Palaeont. Jugosl., 5, 1-200, Zagreb.
- MALEZ, M. (1965): Pećina Veternica u Medvednici, I, Opći speleološki pregled, II, Stratigrafija kvartarnih taložina.- Acta geol., 5, 175-237, Zagreb.
- MALEZ, M. (1967): Paleolit Velike pećine na Ravnoj gori u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.- Arheol. radovi i rasprave JAZU, 4-5, 7-68, Zagreb.
- MALEZ, M. (1970): Rezultati revizije pleistocenske faune iz Krapine.- Krapina 1899.-1969., 45-56, Zagreb.
- MALEZ, M. (1975): Die Höhle Vindija - eine neue Fundstelle fossiler Hominiden in Kroatien.- Bull. Sci. Cons. Acad. Yougosl., (A), 20/5-6, 139-141, Zagreb.
- MALEZ, M. & RUKAVINA, D. (1979): Položaj naslaga špilje Vindije u sustavu članjenja kvartara šireg područja Alpa.- Rad JAZU, 383, Razr. prir. znan., 18, 187-218, Zagreb.
- MALEZ, M., ŠIMUNIĆ, A. & ŠIMUNIĆ, A. (1984): Geološki, sedimentološki i paleoklimatski odnosi špilje Vindije i bliže okolice.- Rad JAZU, 411, Razr. prir. znan., 20, 231-264, Zagreb.
- OSOLE, F. (1959): Analiza pleistocenskih jamskih sedimentov.- Geologija - Razprave in poročila, 5, 123-128, Ljubljana.
- RUKAVINA, D. (1978): Paleoklimatološki i paleoekološki odnosi u gornjem pleistocenu Hrvatskog zagorja.- Krapinski pračovjek i evolucija hominida, JAZU, 319-330, Zagreb.
- RUKAVINA D. (1983): O stratigrafiji gornjeg pleistocena s osvrtom na topla razdoblja i njihov odraz u naslagama na području Jugoslavije.- Rad JAZU, 404, Razr. prir. znan., 199-221, Zagreb.
- ŠIMEK, M. (1994): Špilje sjeverozapadne Hrvatske - arheološka nalazišta (II).- Hrvatski kajkavski kalendar 1994, 114-119, Čakovec.





Morfostrukturni sklop Medvednice

Morphostructural Fabric of Medvednica Mt.

Ivan HEĆIMOVIĆ

Ključne riječi: strukturno-geomorfološka istraživanja, reljef, morfostrukture, rasjedi, Medvednica.

Key words: Structural-geomorphological investigations, Relief, Morphostructures, Faults, Medvednica Mt.

Sažetak

Strukturno-geomorfološkom razradom reljefa utvrđen je recentni morfostrukturni sklop Medvednice čiji su dominantni oblici izdignute morfostrukture te rasjedi. Morfostrukture su nastale izdizanjem po uzdužnim rasjedima pružanja sjeveroistok-jugozapad koji se iskazuju kao normalni i reverzni. Deformacije morfostrukture posljedica su aktivnosti poprečnih rasjeda pružanja sjeverozapad-jugoistok koji su po tipu normalni s izraženom vertikalnom i horizontalnom komponentom kretanja.

Abstract

On the basis of structural-geomorphological analysis of Medvednica Mt. relief recent morphostructural fabric was determined. Its principal characteristics are represented by uplifted morphostructures and faults. Morphostructures were uplifted along longitudinal normal and reverse faults of NE-SW orientation. Deformation of morphostructures resulted from tectonic activity along transversal faults of NW-SE orientation. These faults are normal with important vertical and horizontal component of tectonic movements.

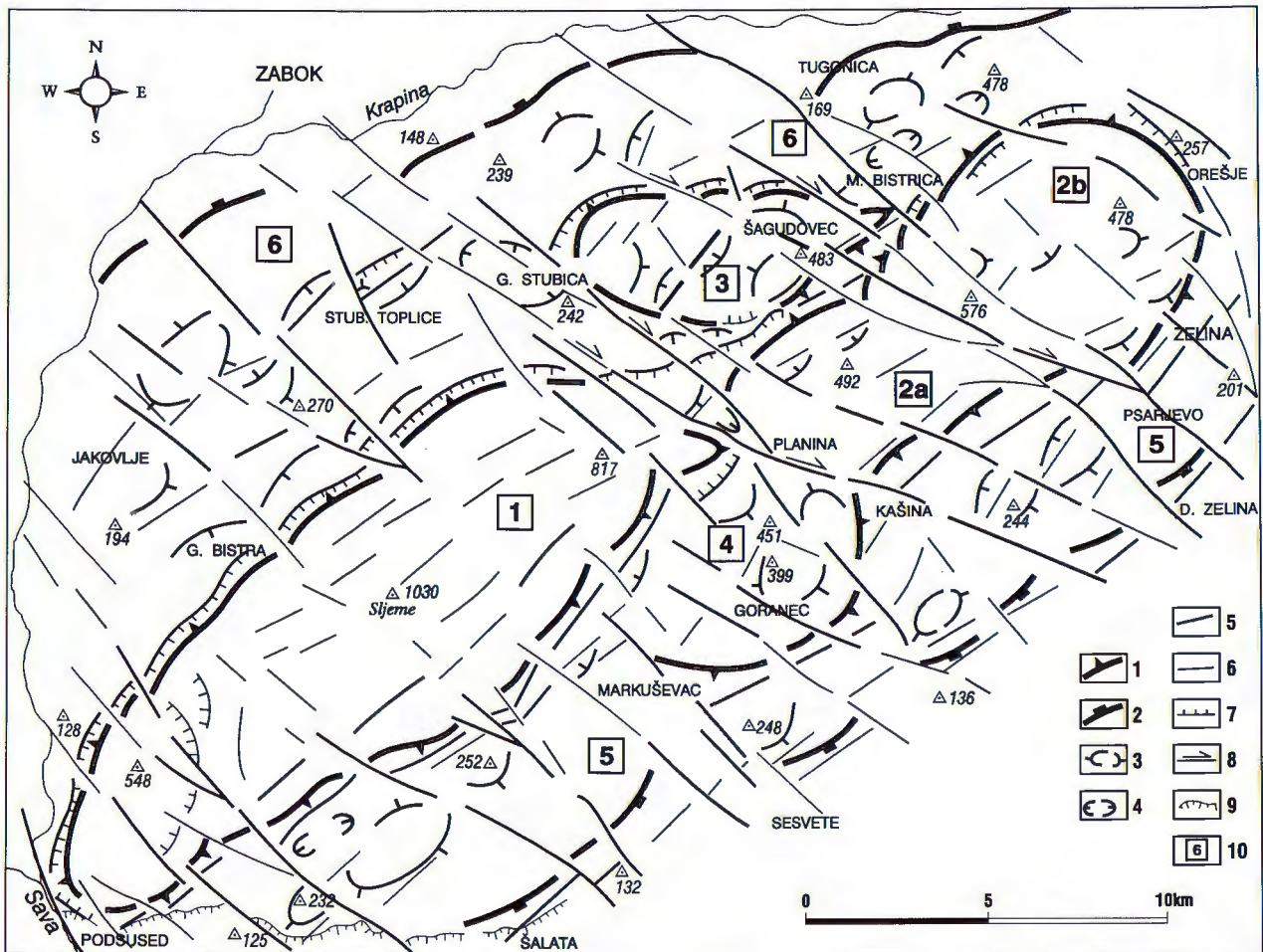
1. UVOD

U ovom radu bit će prikazan morfostrukturni sklop Medvednice utvrđen provedbom strukturno-geomorfoloških istraživanja koja su izvedena u sklopu izrade "Strukturno-geomorfološke karte RH 1:100.000". Ta istraživanja temelje se na proučavanju reljefa i imaju za cilj pridobivanje novih geoloških podataka koji će pridonijeti boljem poznavanju strukturnih odnosa te biti izravna dopuna geološkoj karti.

Metodološki pristup strukturno-geomorfološke razrade temelji se na proučavanju vanjskih oblika reljefa, njegovoj genezi i razvitku. Pošto je reljef nastao kao izravna posljedica geološke građe i geomorfoloških procesa njegovim se proučavanjem može doći do spoznaja o strukturnim odnosima, najmlađim tektonskim pokretima te o geomorfološkim procesima kojima je reljef oblikovan. To se postiglo provedbom sveobuhvatne geomorfološke razrade koja je uključivala kvalitativnu i kvantitativnu obradu, a iskazana je kroz različite vrste geomorfoloških i morfometrijskih karata i priloga. Kvalitativna razrada obuhvaćala je analizu topografskih karata, avionskih i satelitskih snimaka različitih mjerila te odgovarajuće terensko kartiranje. Razradom je bilo moguće označiti područja koja se

uslijed najmlađih tektonskih pokreta nalaze u izdizanju ili su pak u fazi spuštanja ili rasjedanja. Kvantitativnom obradom utvrđen je položaj neotektonskih struktura, znak pokreta i intenzitet neotektonskih kretanja, a usporedbom s geološkim podacima utvrđena je starost reljefa i njegov razvitak. Geološki pokazatelji su bazirani na podacima OGK listova Zagreb (ŠIKIĆ et al., 1979), Ivanić-Grad (BASCH, 1983), Varaždin (ŠIMUNIĆ et al., 1982), Rogatec (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985) te na podacima najnovijih geoloških kartiranja.

Medvednica u širem smislu obuhvaća prostor koji je omeđen rijekom Krapinom na sjeveru i zapadu, rijekom Lonjom na istoku te linijom Podsused - Sesvete - D. Zelina na jugu. Njezin reljef prema orografskim i hidrografskim značajkama moguće je odijeliti na tri glavne cjeline. To su planinsko područje i pobrđe Zagrebačke gore čija se orografska os proteže od Podsuseda do Planine, zatim brdovito područje Zelinske gore pod kojim se podrazumijeva područje između Planine i Orešja te brdovito područje između Gornje Stubice i Marije Bistrice nazvano Hum - Šagudovec. Sve tri gorske cjeline označavaju pretercijarne stijene u njihovoj jezgri te neogenski sedimenti koji ih odjeljuju. S morfogenetskog aspekta reljef medvedničkog područja obilježava padinski tip sa svim svojim podtipovima uz rjeđe poja-



Sl. 1 Strukturno-geomorfološka karta. Legenda: 1) morfostrukture izdizane u pliocenu i kvartaru; 2) morfostrukture izdizane u kvartaru; 3) lokalne izdignute morfostrukture; 4) lokalne spuštene morfostrukture; 5) rasjed osobito izražen u reljefu; 6) rasjed dobro izražen u reljefu; 7) reverzan rasjed; 8) rasjed s desnim horizontalnim pomakom; 9) terasni odsjek; 10) oznaka morfostrukture.

Fig. 1 Structural-geomorphological map. Legend: 1) morphostructures uplifted in Pliocene and Quaternary; 2) morphostructures uplifted in Quaternary; 3) local uplifted morphostructures; 4) local subsided morphostructures; 5) fault distinctly marked in the relief; 6) fault well marked in the relief; 7) reverse fault; 8) dextral strike-slip fault; 9) terrace cliff; 10) mark of morphostructure.

vljivanje fluvijalnog i krškog tipa reljefa. Pri tome su geomorfološki procesi kojima je reljef oblikovan izrazito erozijskog karaktera dok se akumulacijski rjeđe pojavljuju i to uglavnom u predjelima fluvijalnog tipa reljefa.

2. MORFOSTRUKTURNI ODNOSI

Svi glavni geomorfološki i morfometrijski podaci proizašli iz strukturno-geomorfološke razrade iskazani su u strukturno-geomorfološkoj karti (sl. 1). U njoj su prikazana veća, ali i manja područja izdizanja i spuštavanja koja su jasno izražena u reljefu. Najveće i morfološki najistaknutije strukture nazvane su morfostrukturama, a manje lokalnim morfostrukturama. Uz to, izdvojeni su i rasjedi koji se ističu u reljefu te predstavljaju najaktivnije rasjede. Usporedbom geomorfoloških i geoloških podataka označeno je vrijeme postanka relje-

fa te posredno i struktura. Ovakvim sadržajem strukturno-geomorfološke karte (sl. 1) iskazana su glavna obilježja recentnog morfostrukturnog sklopa Medvednice.

Najistaknutiju izdignutu morfostrukturu u medvedničkom području predstavlja *Zagrebačka gora* (1 u sl. 1). Proteže se od Podsuseda do Planine, a izgrađena je od paleozojskih metamorfita, trijaskih klastita i karbonata, krednih klastičnih i eruptivnih stijena te paleocenskih i badenskih klastita i karbonata. Utvrđeno je da je izdizana u pliocenu i kvartaru duž rasjeda pružanja NE-SW, a koji se nalaze s njezine jugoistočne i sjeverozapadne strane. Rasjedi se jasno ističu u reljefu i to posebice oni na sjeverozapadnoj strani duž kojih se iskazuju i reverzni odnosi. *Zagrebačka gora* u morfostrukturnom smislu predstavlja jednu cjelinu koja je tek na krajnjem sjeveroistočnom i jugozapadnom dijelu deformirana.

Istočnije, između Planine i Orešja, izdvojena je izdignuta morfostruktura *Zelinske gore* (2). Kao i *Zagrebačka gora*, formirana je izdizanjem duž rasjeda pružanja

NE-SW, a pojedine rasjedne dionice na sjeverozapadnoj strani također se iskazuju kao reverzne. U središnjem dijelu morfostrukture jasno je iskazana poprečna rasjedna zona Šagudovec - Psarjevo kojom je Zelinska gora odijeljena na dva dijela, a koji se razlikuju u morfostrukturnom smislu. To su zapadni, koji je imenovan kao Grohot (2a) i istočni Kladeščica (2b). Osim morfostrukturno ove cjeline se razlikuju i po geološkom sastavu. Grohot (2a) na površini izgrađuju paleozojski metamorfiti i otnaški klastiti dok Kladeščica (2b) u svom sastavu ima trijaskie klastite i karbonate te kredne i gornjobadenske naslage. Izdizanje Zelinske gore je trajalo kroz cijeli pliocen i kvartar.

Između Gornje Stubice i Marije Bistrice izdvojena je izdignuta morfostruktura koja je imenovana kao *Šagudovečka morfostruktura* (3). Njezinu jezgru izgrađuje mezozojski kompleks stijena koji je tek manjim dijelom pokriven srednjomiocenskim sedimentima. Morfostruktura je deformirana tako da se mogu razlikovati tri izdignute i jedna spuštene lokalne morfostrukture s pružanjem NE-SW. U istočnom dijelu zamjetna je promjena pružanja osi morfostrukture u pravac E-W. Uz to, obilježena je i reverznim odnosima koji su iskazani poglavito na njezinoj sjevernoj strani. Izdizanje morfostrukture je bilo u pliocenu i kvartaru.

U području između Markuševca i Kašine izdvojena je izdignuta morfostruktura *Goranec* (4) koju izgrađuju stijene donjo- i srednjomiocenske starosti. Nju čini nekoliko lokalnih morfostrukture pružanja E-W što ukazuje na tektonsku deformiranost ove izdignute morfostrukture.

Južno od morfostrukture Zagrebačke i Zelinske gore (1 i 2) te morfostrukture Goranec (4) izdvojena je izdignuta morfostruktura *Medvedničkog prigorja* (5). Na površini u njezinoj građi sudjeluju gornjomiocenske i kvartarne naslage. Morfostrukturnu čini nekoliko izdignutih i spuštenih lokalnih morfostrukture tipa horstova i graba. Njezino izdizanje je bilo u kvartaru duž rasjedne zone koja se pruža od Šalate na jugozapadu do Donje Zeline na sjeveroistoku.

Na sjevernom dijelu Medvednice iskazuje se izdignuta morfostruktura koja je imenovana kao morfostruktura *Medvedničkog zagorja* (6). Izgrađena je pretežito od najmlađih miocenskih te kvartarnih naslaga. Unutar nje moguće je izdvojiti nekoliko izdignutih i spuštenih lokalnih morfostrukture koje imaju obilježja horstova i graba. Od njih se posebice ističe izdignuta lokalna morfostruktura Jakovlje - Stubičke Toplice. Nju obilježavaju reverzni odnosi te srednjomiocenski sedimenti kod Stubičkih Toplica. Izdizanje ove morfostrukture je također bilo u kvartaru.

Temeljem strukturno-geomorfološke razrade u medvedničkom području su iskazana dva dominantna sustava rasjeda. Prvi sustav čine rasjedi pružanja NE-SW, a drugi je pružanja NW-SE. Rasjedi prvog sustava se iskazuju kao uzdužni i po njima je uslijed vrlo izraženog vertikalnog kretanja došlo do formiranja morfostrukture. Prema tipu oni su normalni i reverzni rasjedi.

Označava ih dobra odraženost u reljefu te pojavljivanje u kraćim dionicama. Od njih se naročito ističu rasjedi duž kojih je izdizana Zagrebačka gora. S njezine južne strane oni se iskazuju kao normalni, a na sjevernoj su pretežito reverzni.

Drugi sustav rasjeda, pružanja NW-SE, se prema geomorfološkim podacima iskazuje kao mladi. To su poprečni rasjedi duž kojih je jasno izražena vertikalna komponenta kretanja, a po nekima su prisutna i horizontalna s desnim pomakom. Njihovom aktivnošću morfostrukture su deformirane što se najjasnije iskazuje na mjestima tonjenja, razdvajanja ili presijecanja morfostrukture. Tako je najizraženiji vertikalni tektonski transport na mjestima tonjenja morfostrukture Zagrebačke i Zelinske gore kod Podsuseda odnosno Orešja, gdje su na pojedinim rasjednim dionicama prisutni i reverzni odnosi. Primjer razdvajanja morfostrukture najuočljiviji je duž rasjeda Gornja Stubica - Kašina i to u području Planine gdje su uslijed vertikalnih te desnih horizontalnih kretanja razdvojene morfostrukture Zagrebačke i Zelinske gore. Deformacije u obliku presijecanja morfostrukture uočavaju se duž rasjedne zone koja brazdi od Šagudovca odnosno Marije Bistrice prema Psarjevu. Tektonska aktivnost duž te zone je iskazana u desnom kretanju blokova morfostrukture Šagudovec te presijecanju morfostrukture Zelinske gore, čime je ona odijeljena u dvije morfostrukturne cjeline.

3. ZAKLJUČAK

Strukture u dijelu Panonskog bazena kojemu pripada i Medvednica formirane su kroz neogen i kvartar, odnosno kroz neotektonsku etapu. Početak nastanka struktura pada u vrijeme srednjeg miocena, a njihovo konačno oblikovanje je bilo u najmlađim neotektonskim odjeljcima, pliocenu i kvartaru (PRELOGOVIĆ & VELIĆ, 1988; HEĆIMOVIĆ, 1995; PRELOGOVIĆ et al., 1995, i dr.).

Recentni tektonski sklop Medvednice posljedica je kompresijskih procesa kroz pliocen i kvartar koji su rezultirali izdizanjem i boranjem struktura pružanja NE-SW. Jačanjem kompresije prema kraju etape uz sve naglašenija izdizanja dolazi i do razgradnje tih struktura. Dominantni oblici tog sklopa su izdignute morfostrukture, koje zapravo predstavljaju geološke strukture istaknute u reljefu, te rasjedi. Strukturno-geomorfološkom razradom izdvojeno je šest takvih morfostrukture za koje je utvrđeno da su izdizane po uzdužnim rasjedima pružanja NE-SW. Na južnim stranama morfostrukture rasjedi se iskazuju kao normalni, a na sjevernim stranama morfostrukture Zagrebačke gore, Zelinske gore, Šagudovca te dijelom i Medvedničkog zagorja oni su pretežito reverzni pa te morfostrukture imaju obilježja reverznih izdignutih morfostrukture. Istaknutost morfostrukture u reljefu označava njihovu recentnu aktivnost što se posebice odnosi na morfostrukturnu Zagrebačke gore.

Rasjedi morfostrukturnog sklopa Medvednice prema pružanju pripadaju dvama sustavima. To su rasjedi iz sustava pružanja NE-SW koji se iskazuju kao uzdužni te rasjedi iz sustava pružanja NW-SE koji su poprečni. Prema tipu uzdužni rasjedi se ocrtavaju kao normalni i reverzni dok su poprečni rasjedi uglavnom normalni. Po uzdužnim rasjedima odvija se vertikalni transport dok su duž poprečnih osim vertikalnih po nekima od njih prisutna i desna horizontalna pomicanja. U morfostrukturnom sklopu najvažniji rasjedi iz sustava rasjeda pružanja NE-SW su oni duž kojih je došlo do izdizanja morfostrukture. Od njih se posebice ističe Medvednički rasjed, koji se pruža od Podsuseda do Planine te od Kašine prema Zelini, duž kojeg se iskazuje najizraženija vertikalna komponenta pomaka. Njegova aktivnost je bila vrlo izražena u kvartaru kada je Zagrebačka gora, prema geomorfološkim podacima, izdignuta za više od 350 metara. Inače se procjenjuje da je Medvednica kroz pliocen i kvartar izdignuta za 1500-2000 metara (ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ, 1987) odnosno da je kroz cijelu neotektonsku etapu vertikalni pomak duž Medvedničkog rasjeda iznosio 2500 metara (PRELOGOVIĆ & VELIĆ, 1988). Aktivnošću rasjeda iz sustava rasjeda pružanja NW-SE morfostrukture su deformirane u obliku tonjenja morfostrukture, zatim u njihovim vertikalnim i horizontalnim pomacima ili pomacima pojedinih njihovih dijelova te rotacijama. Od njih se posebice ističu rasjedi iz rasjedne zone Gornja Stubica - Planina - Kašina duž kojih su uslijed desnih horizontalnih kretanja razmaknute Zagrebačka i Zelinska gora te pomaknut Medvednički rasjed za više od 4 km. Tu rasjednu zonu obilježavaju brojni geomorfološki pokazatelji rasjedanja čime je istaknuta njezina recentna tektonska aktivnost na što upućuju i učestali potresi u tom području.

4. LITERATURA

- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Rogatec L33-68.- Geol. zavod Ljubljana, Geol. zavod Zagreb, Savez. geol. zavod, Beograd.
- BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Ivanić-Grad L33-81.- Geol. zavod Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- HEĆIMOVIĆ, I. (1995): Tektonski odnosi šireg područja Kalnika.- Disertacija, Rud.-geol. naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, 152 str.
- PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.- U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): 1. hrv. geol. kongres, Zbornik radova, 2, 481-486, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & VELIĆ, J. (1988): Kvarturna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline.- Geol. vjesnik, 41, 237-253.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Zagreb L33-80.- Inst. geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŠIMUNIĆ, A., PIKLIJA, M. & HEĆIMOVIĆ, I. (1982): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Varaždin L33-69.- Geol. zavod Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, AI. (1987): Rekonstrukcija neotektonskih zbivanja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj na temelju analize pontskih sedimenata.- Rad Jug. akad. znan. i umjet., 432, Razr. prir. znan., 22, 155-177, Zagreb.

	2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES Second Croatian Geological Congress	CAVTAT - DUBROVNIK 17 - 20. 5. 2000.	Zbornik radova Proceedings	203 - 207	ZAGREB 2000
---	---	---	---	------------------	--------------------

Paleozoik Srednjobosanskog škriljavog gorja

Paleozoic of Mid-Bosnian Schist Mountains

Hazim HRVATOVIĆ

Ključne riječi: Srednjobosansko škriljavo gorje, metamorfni kompleks, strukture, folijacija, nabori, transpozicija s-površni, metamorfizam, kvarne žile.

Key words: Mid-Bosnian Schist Mountains, Metamorphic complex, Structure, Foliation, Folds, Transposition of s-surface, Metamorphism, Quartz veins.

Sažetak

Paleozojski kompleks Srednjobosanskog škriljavog gorja spada u manje izučene terene Bosne i Hercegovine. U periodu 1987-1997. godine kroz izradu nove geološke karte izvršeno je prostorno izdvajanje metamorfnih stijena, stepena starosti i tipa metamorfizma, točno mjerenje elemenata sklopa, njihova geometrijska klasifikacija, stepen izraženosti i redosljed pojavljivanja u sklopu, njihov značaj kao rudokontrolnog faktora, a postavljen je i mogući genetski model oblikovanja struktura Srednjobosanskog škriljavog gorja u kome bi bio i doprinos objašnjenju "bosanskog poprečnog pružanja" kojeg je postavio KATZER (1925).

Paleozojski kompleks predstavljen je greenschist facijom, metariolitima, mramorima, vapnencima, dolomitima, karbonatnim škriljcima, brečama, pješčenjacima i kvarcitima. Izotopskim analizama K-Ar svježeg biotita utvrđena je starost od 35 milijuna godina, što predstavlja jednu od mladih faza metamorfizma.

Abstract

Paleozoic complex of the Mid-Bosnian Schist Mountains has been studied up to date to a minor extent. By the elaboration of the new geological map, carried out during the period 1987-1997, data as follows were obtained: mapping of metamorphic rocks, determination of their age and metamorphic degree, geometry and classification of their fabric and succession of occurrences in the fabric - all of them as very significant ore-controlling factors. Based on all these data, in this paper a model of the genetic evolution for the Mid-Bosnian Schist Mountains is proposed as a contribution to the explanation of the "Bosnian transversal strike" proposed by KATZER (1925). Paleozoic complex is represented by greenschist facies, metamorphosed rhyolites, marbles, limestones, dolomites, carbonate schists, breccia, sandstones and quartzites. K-Ar measurement on fresh biotite gave on overprint age of 35 Ma (HRVATOVIĆ, 1987).

UVOD

Srednjobosansko škriljavo gorje (SŠG), koje je Katzer 1924. nazvao "Mittelbosnisches Schiefergebirge" a HRVATOVIĆ (1995) prirodni petrografsko-mineraloški muzej, izgrađeno je uglavnom od paleozojskih stijena koje se veoma razlikuju od drugih paleozojskih terena u Bosni i Hercegovini. Ove paleozojske terene istraživali su Jurković, Ramović, Trubelja, Rafaelli, Živanović (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975), Vujnović, Golo, Hrvatović (HRVATOVIĆ, 1987, 1997, 1998, 1999; HRVATOVIĆ & DIMITRIJEVIĆ, 1991), Dimitrijević, Majer (MAJER et al., 1991), Palinkaš (PALINKAŠ et al., 1999) te mnogi drugi kroz ispitivanja različitih mineralnih resursa.

Srednjobosanskim škriljavim gorjem nazivamo planine srednje Bosne koje se pružaju od Tarčina (jugozapadno od Sarajeva) na sjeverozapad do Jajca. Dužina pružanja je oko 80 a širina 30-40 km (od Busovače do Gornjeg Vakufa). Najviša planina je Vranica sa vrhom Nadkrstac (2112 m), kojoj u orografskom pogledu pripada i grupa planina Zec, Pogorelica, Bitovnja, Šćit i Kruščica. Pravac pružanja gorja je jugoistok-sjeverozapad. Sjeveroistočnu granicu čini Busovačka, a jugozapadnu Vrbaska rasjedna zona.

Paleozojski kompleks Srednjobosanskog škriljavog gorja bio je predmet izučavanja u periodu od 1987-1997 kroz izradu nove geološke karte 1:10000. Kartiranjem su obuhvaćene, po Katzeru a i mnogim drugim geolozima, najstarije naslage u Dinaridima BiH - tereni

Ma	Sistem/Serijsa	Deblj. (m)	Grafički prikaz	Formacija
248	Permo-trijas	450		Fm: Travnička - škriljavi alevroliti - liskunoviti pješčenjaci - metapješčenjaci
280	Gornji perm	500		Fm: Belorofonski i šupljikavi vapnenci Fm: Evaporiti Fm: Kvarcno – liskunovito - karbonatni škriljci, pješčenjaci. Fm: Krušćica - kvarcni pješčenjaci i konglomerati - breče polimiktne (preovlađuju karbonati) - brečoidni pješčenjaci - breče polimiktne (preovlađuju metamorfiti)
290	Donji perm			
362.5	Karbon			Vulkanske breče Rioliti
408.5	Gornji Srednji Donji	400		Fm: Vranica - vapnenci - mramori - dolomiti Rioliti Rioliti
	Silur ? Ordovicium?	>1000		- mramori, dolomiti, mramorni vapnenci - parametamorfiti (greenshist facija)

Sl. 1 Geološki stup paleozoika Srednjobosanskog škriljavog gorja (HRVATOVIĆ, 1999).

Fig. 1 Geological column of the Paleozoic Mid-Bosnian Schist Mountains (HRVATOVIĆ, 1999).

oko Busovače, Fojnice i Novog Travnika. Dobiveni rezultati ukratko su prikazani u ovom radu.

GEOLOŠKA GRAĐA

Najrasprostranjenije stijene ovog područja su metamorfne čija starost još nije paleontološki dokumentovana. Za ovaj kompleks stijena stavljen je oznaka starosti preddevon, pošto se nalaze ispod pouzdano utvrđenog devona (sl. 1). Donji dio ovog metamorfnog kompleksa predstavljen je dominantno parametamorfiziranim (kvarcno-sericitskim, muskovitskim, filitičnim, hloritskim, otreilitkim, amfibolskim i grafitičnim škriljcima, kvarciziranim i metapješčenjacima) i podređeno ortometamorfiziranim (metamorfiziranim rioliti i rjeđe bazične stijene). Utvrđeni minerali sericit, muskovit, hlorit, otreilit, amfibol (tremolit-aktinolit), epidot i biotit indi-

ciraju grinštit i prelaznu epidot amfibolitsku faciju. Osobine ovog kompleksa ukazuju na karakteristični regionalni metamorfizam. K-Ar podaci svježih biotita dali su starost 35 ± 1 Ma (HRVATOVIĆ, 1987), a podaci za hloritne škriljce su $37,7 \pm 1,5$ i $38,6 \pm 1,5$ Ma (PALINKAŠ et al., 1999) što ukazuje na pirinejsku orogenu fazu. Protoliti parametamorfita su grauvake, kvarcni pješčari, alevroliti, peliti, peliti i pješčari sa organskom materijom koji su se taložili u dubljoj mirnoj depozicionoj sredini.

Nakon nastajanja ovih klastita dolazi do oplićavanja depozicione sredine, koje je izazvano izdizanjem morskog dna prouzrokovanim, vjerovatno, efuzijama riolita koje su, u prvo vrijeme sinhrono postepenom izdizanju, imale oblike submarinskih izliva da bi u završnoj fazi kopnenog dijela zadobile (manje) tipične vulkanske oblike koji su bili veoma brzo erodovani (planina Krušćica - smjena riolita, parametamorfita i tufitičnih stijena).

na). U ovoj plitkoj depozicionoj sredini dolazi do stvaranja (gornji dio metamorfnog kompleksa) karbonata koji su metamorfozirani tako da danas imamo mramore, mramorne vapnence i dolosparite. Debljina ovih naslaga je preko 300 m. Ove naslage predstavljaju kolektor poznate termomineralne vode u Fojnici (Reumal). U njima su utvrđeni intertajdalni vapnenci sa fenestralnim mikritima ili stromatolitima što bi moglo ukazivati čak na ordovicijum (?). Na planini Kruščici kod Viteza ove metamorfozirane karbonatne naslage prožete su po pukotinama riolitskom masom a na kontaktu sa njima su čak i anklavirane u magmatsku masu. Ovo ukazuje na jednu od faza stvaranja riolita (moguće krajem silura i početkom donjeg devona). Tada dolazi do stvaranja prvih kvarcnih žica duž pukotina.

Na više faza stvaranja riolita ukazuju i dva paleovulkanska centra: planina Berberuša (između Kiseljaka i Kreševa) i Bakovička Citonja kod Fojnice. Na još jednu fazu ukazuju i potpuno svježi rioliti sa vrha Vranice (Rosin i Nadkrstac) kao i oni sa jugozapadnog oboda u Crmodolu. Riolite SGŠ obavezno prate crni grafitični škriljci. Na Berberuši pored riolita utvrđene su preko 500 m debele vulkanske breče (bušotina B-1) čije je vezivo riolitska masa a fragmenti od riolita prethodne faze i parametamorfita preddevona. U okolini Kreševa i Fojnice mogu se naći, iako rjeđe, i piroklastični materijali. U riolitima Berberuše utvrđena je najveća zona alteracije (argilizacija) u Bosni i Hercegovini, debljine preko 100 m. Na Berberuši su zastupljeni slijedeći mineralni resursi: kvarcne žile, kvarcne žile sa arsenskim sulfidima, piritne žile sa zlatom, baritne žile, žile magnetita i mineralizacije urana. Na Bakovičkoj Citonji gdje se nalazi stari rudnik zlata Bakovići, utvrđena je najveća anomalija radioaktivnog kalijuma u Bosni i Hercegovini.

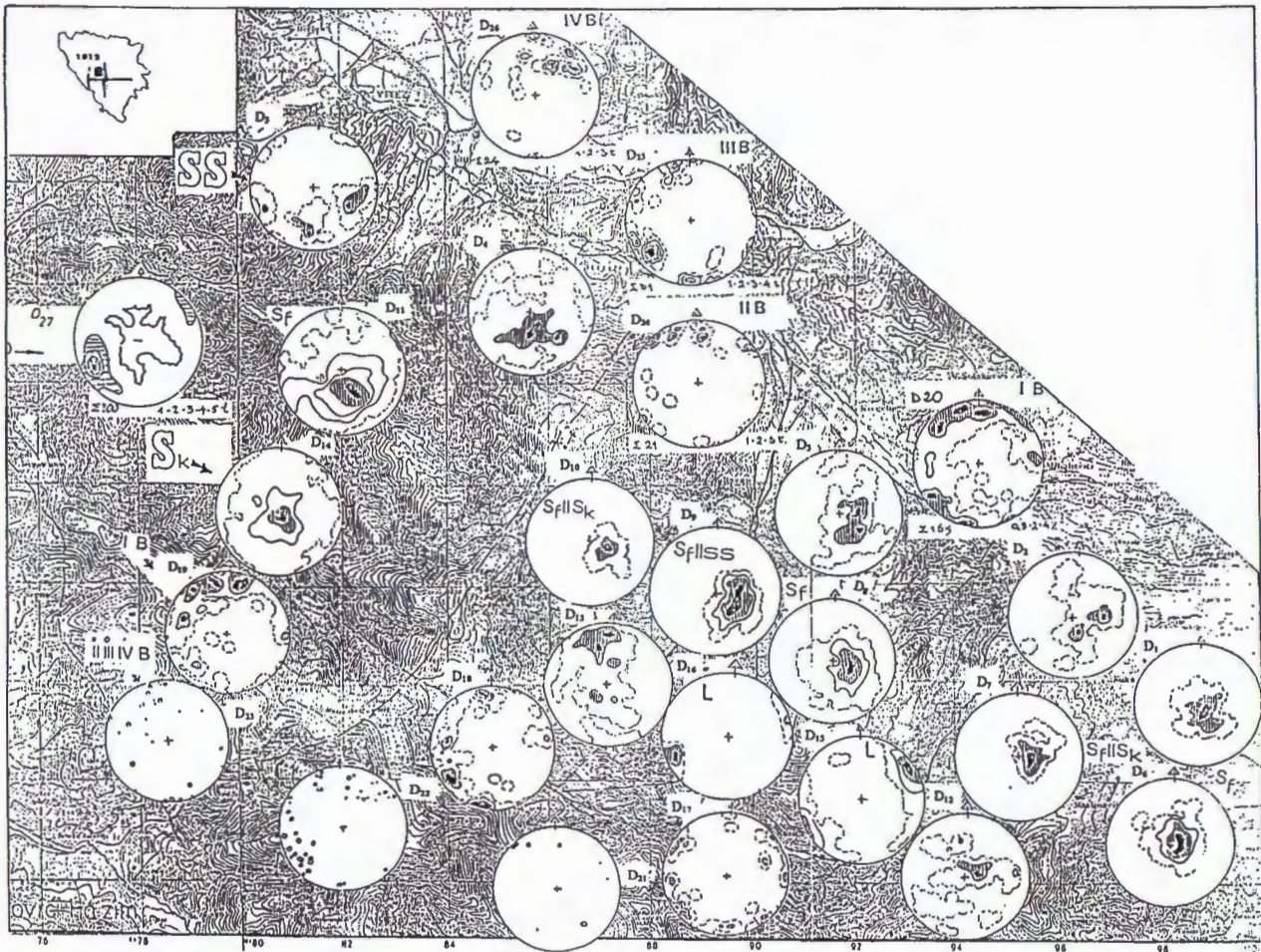
Transgresivno preko metamorfnog kompleksa leži formacija Vranica devonske starosti. Devonska starost utvrđena je nalaskom stromatopora, tetrakoralja, tabulatnih koralja i konodonata (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975). Predstavljena je vapnencima, dolomitima, mramornim vapnencima i mramorima. Vapnenci sa prelazom u dolomite imaju znatno prostranstvo na planini Vranici gdje grade karbonatni pokrov od rijeke Bistrice, koja je odvaja od Radovan planine, preko Suhodola, Goletice, Uložnice, Dobruške Vranice pa do Zec planine na jugoistoku SŠG. Vapnenci i dolomiti su u cjelini metamorfozirani, većinom regionalnim a manjim dijelom i kontaktnim metamorfizmom. Vapnenci su dobro uslojeni, zrnasti i jedri, ponekad obojeni crnom materijom kao bitumen.

Karbonske naslage nisu do sada utvrđene. Vjerovatno postojanje emerzije se može vezati zbog slijedeće faze subvulkanskog izlivanja riolita krajem devona i početkom karbona. Tada dolazi do stvaranja novih kvarcnih žica i do prvog metamorfizma. Na postojanje karbona mogu ukazivati naslage sa crnim rožnacima izvorišnog dijela rijeke Vrbas (jugozapadni obod SGŠ). Navedena emerzija je mogla trajati do gornjeg perma

kada se počinju taložiti klastiti formacije Kruščica, predstavljeni bazalnim brečama, pješčenjacima, konglomeratima i kvarcno-karbonatno-sericitskim škriljcima. Gornji perm se završava naslagama evaporita, šupljikavim vapnencima, belerofonskim vapnencima i klastitima. Sedimentacija se kontinuirano nastavlja pri čemu nastaju facije Travničke formacije (P,T) predstavljene pješčenjacima i alevrolitima koji su djelimično metamorfozirani u liskunovite škriljce.

STRUKTURNA ANALIZA

Podaci za strukturnu analizu prikupljeni su terenskim i kabinetskim istraživanjima i obuhvatili su ispitivanje penetrativnih planarnih i linearnih elemenata sklopa, nabora, pukotina, rasjeda, značaja struktura u pogledu mineralnih resursa i postavljanje mogućeg genetskog modela oblikovanja struktura. Do sada ispitivani tereni paleozoika, kojeg je Katzer nazvao "azoik" čije je pružanje upravno na pružanje cjelokupnog SGŠ, prema strukturnim osobinama mogu se podijeliti na tri dijela. To su sa istoka na zapad, područje Kozice (sjeverno od Fojnice), Ivančice (kod Busovače) i Kruščice (kod Viteza), tako nazvani po vodotocima. U ovom profilu prema zapadu zapaža se smanjenje stupnja metamorfizma, uz promjenu strukture i karakteristika elemenata sklopa: na istoku (Kozica) je stupanj metamorfizma viši, osnovni element sklopa je folijacija sa dobro izraženom lineacijom, a orijentacija ovih elemenata je ustanovljena na većim površinama; na zapadu je metamorfizam niži, jasno se razlikuju slojevitost i mlade planare, lineacija je slabije razvijena, a planare jako mijenjaju pravac na malim rastojanjima. Na dijagramima (D_1 i D_2 - sl. 2) uslovno su izdvojeni inverzni slojevi. Ovakve njihove osobine su određene po odnosu prema klivažu, što često može biti diskutabilno. Orijentacija slojeva je veoma mirna u području Kozice (dijagrami D_1 i D_2) sa blagim padom ka sjeverozapadu, dok se prema zapadu (dijagrami D_3 , D_4 i D_5) polovi rasipaju u sasvim rasplinut pojas čije ose blago tonu ka sjeverozapadu. Orijentacija slojeva u području Kozice je izazvana izoklinim nabiranjem i transpozicijom, što je na zapadu manje izraženo. Podaci sa izdanaka pokazuju da se folijacija razvija i po slojevitosti i po klivažu aksijalnih površi izoklinih nabora. Statistički dijagrami (D_6 i D_7) u području Kozice pokazuju paralelnost folijacije razvijene po ovim dvejama planarama, što je posljedica transpozicije. Područje Ivančice (dijagrami D_8 , D_9 i D_{10}) je sličnih osobina, dok se Kruščica odlikuje slabijim razvojem folijacije (i to uglavnom po slojevitosti) i rasipanjem duž pojasa sličnog kao kod slojevitosti (dijagram D_{11}). Posebno su urađeni dijagrami folijacije paralelne slojevitosti (D_9), paralelne sa klivažom (D_6 , D_8). Maksimumi svih ovih dijagrama se praktično poklapaju među sobom kao i sa maksimumima dijagrama slojevitosti, što je posljedica izoklinosti nabora i transpozicije. Karakteristično je da se folijacija razvija i u parametamorfitima i u riolitima.



Sl. 2 Dijagrami: SS slojevitost; Sf folijacija; Sk klivaž; b) os bore; L) lineacija; Sp) pukotine (HRVATOVIĆ, 1999).

Fig. 2 Diagrams: SS) bedding; Sf) foliation; Sk) cleavage; b) fold axis; L) lineation; Sp) fissures (HRVATOVIĆ, 1999).

Posebnu grupu elemenata sklopa predstavljaju planare zapunjene kvarcom. Mogu se razlikovati dvije grupe: a) paralelne sa slojevitostu ili folijacijom i b) pod uglom na ove planare. Paralelno sa osnovnim površinama sklopa kvarc gradi proslojke i izdužena sočiva, najčešće centimetarske debljine. Ovi proslojci većinom predstavljaju koncentracije nastale tokom metamorfizma. Kvarcne žile pod uglom na folijaciju ubrane su u ptigme sa naborima cm-dm amplituda i raspona.

Najmladi sistem mehaničkih s-površi predstavlja klivaž koji se razvio poslije svih događaja vezanih za metamorfizam. Intenzitet njegovog razvoja raste prema zapadu, a orijentacija mu je vrlo nehomogena i nezavisna od starijeg sklopa: na istoku (dijagram D₁₂) mu se polovi rasipaju, sa maksimumom koji ukazuje na vrlo blag pad ka jugozapadu, dok na zapadu (dijagram D₁₃) obrazuju vrlo širok pi-pojas sa manje više horizontalnim osama istok-zapad, dakle pod uglom na beta ose slojevitosti i folijacije. Dok su deformacije slojeva i folijacije genetski i vremenski vezane, postkristalizacioni klivaž predstavlja produkt jednog mladeg akta sa potpuno drugačijom orijentacijom tektonskih osa.

Razlika u orijentaciji ovog klivaža na raznim područjima je zbog toga što je on nabran u dm-m nabore niskog i srednjeg indeksa, što ukazuje na još jedan naknadni kinematski akt.

Lineacija je veoma dobro razvijena na dijelovima gdje je metamorfizam intenzivniji (D₁₅ i D₁₆). Vrlo dobro je orijentisana u smjeru sjeveroistok-jugozapad, uz određeno rasipanje. Markirana je orijentacijom sericita i submilimetarskim i milimetarskim akordeon naborima koji daju fini plise na površinama folijacije.

Na terenu su identifikovane četiri grupe nabora koji se razlikuju po vremenu obrazovanja. Najstarije ubiranje (IB) započeto je prije metamorfizma. Ono je dalo izokline nabore, sa nastavkom kretanja do intenzivnog formiranja klivaža aksijalne površi i transpozicije s-površi. Na terenu se rijetko zapažaju očuvani šarniri ovih nabora. Orijentacija osa je prikazana na dijagramima D₁₇, D₁₈ i D₂₀. Rasipanje osa ovih nabora je vjerovatno posljedica prenabiranja i rotacije tokom transpozicije i metamorfizma. Ose druge generacije (dijagram D₂₄) vezane su za kvarcne ptigme. Njihovo rasipanje je veće nego kod osa prve generacije. Ose treće generacije

odgovaraju (dijagram D_{25}) blagom nabiranjju koje deformiše sve postojeće s-površni. To su dm-m nabori malog indeksa, sa osama koje pretežno tonu ka jugozapadu.

Analizom pukotina došlo se do zaključka da je najzastupljeniji sistem pravca sjeverozapad-jugoistok koje odgovaraju pukotinama smicanja (dijagram D_{27}).

Strukturnom analizom utvrđeno je postojanje najmanje tri generacije kvarcnih žila. Prva generacija bi odgovarala kvarcnim ptigmama dm-veličine, druga su kvarcne žile nastale u ravni folijacije debljine do 1 a dužine do 50 m i treća koja siječe drugu po određenim uglom kojima pripada i poznata žila sa hijalofanom kod Busovače.

MOGUĆI STRUKTURNI MODEL

Najstariju fazu oblikovanja predstavlja nabiranje koje je postepenim jačanjem intenziteta prešlo u izoklino, uz stvaranje klivaža aksijalne površi i rasklizavanja po njemu do pune transpozicije s-površni. U pogledu ovog oblikovanja razlikuju se dvije strukturne etaže: **donja**, sa potpuno izoklinim nabiranjem, punom transpozicijom s-površni, folijacijom koja se razvija i po klivažu aksijalne površi i po slojevima i izvrsnom lineacijom, i **gornja**, sa slabije izraženim ubiranjem, bez pune transpozicije s-površni, sa slabije razvijenom folijacijom i lineacijom. Vertikalni odnosi etaža različitog sklopa (puna transpozicija - izoklino nabiranje - nabiranje nižeg indeksa) i stupnja metamorfizma (grinšist facija sa folijacijom po klivažu i slojevima - prelaz slabi metamorfizam sa slabom folijacijom) upućuju na mogućnost geneze sklopa ovog paleozoika sa njegovim jugozapadnim obodom po zoni donje etaže, izazvanim podvlačenjem Gondvane ka sjeveroistoku. Donja etaža se tada nalazila u uslovima koji su doveli do izoklinog nabiranja, transpozicije i metamorfizma (F_1 i F_2). Ova faza počinje tokom mezozoika pošto Travnička formacija P,T starosti pokazuje slabije izražen ali kvalitativno isti sklop kao paleozoik ispod nje. Nastavljanje podvlačenja rezultira nizom navlaka jugozapadno od SŠG, dok se sjeverni i sjeveroistočni dio izdiže prije gornje jure uz obrazovanje krupnih nabornih formi sa blagim sekundarnim zatalasanjima (F_3). KATZER (1925) je smatrao izdizanje SŠG neogenskim, kao kompenzacija tonjenja Sarajevsko-zeničkog basena. Nema sumnje da su diferencijalna kretanja ova dva prostora bila vrlo izrazita u neogenu i poslije njega, ali navlake sjeveroistočno od paleozoika, koje sadrže jurske sedimente, postavljaju ova vertikalna kretanja niže u mezozoik. Navlačenja jugoistočno od SŠG ukazuju na komponentu pritiska u smjeru sjeverozapada. Tu bi se i nalazilo objašnjenje Katzerovog "poprečnog bosanskog pružanja". Podvlačenja sa jugozapada i komponenta pritiska sa jugoistoka (kraj paleogena?) morala su se po intenzitetu smjenjivati pa time dati smjenu uzajamno upravnih preovlađujućih napona kompresije.

LITERATURA

- HRVATOVIĆ, H. (1987): Tumač za geološku kartu list Zenica, 1:10000.- Zavod za geologiju BiH, Sarajevo, 102 str.
- HRVATOVIĆ, H. (1997): Strukturno-facijalna analiza dijela Srednjobosanskog škriljavog gorja.- Disertacija, Rudarsko-geološki fakultet Tuzla, 112 str.
- HRVATOVIĆ, H. (1998): Structural data on the metamorphic complex of the Mid-Bosnian Schist Mountains.- Congres Carpathian-Balkan Association, 220, Wien.
- HRVATOVIĆ, H. (1999): Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu.- Zavod za geologiju BiH, Sarajevo, 203 str.
- HRVATOVIĆ, H. & DIMITRIJEVIĆ, M. (1991): Strukturni genetski model SŠG.- Geološki glasnik, 1-5, Podgorica.
- KATZER, F. (1925): Geologija Bosne i Hercegovine.- Direkcija državnih rudarskih preduzeća, Sarajevo, 517 str.
- MAJER, V., LUGOVIĆ, B. & TRUBELJA, F. (1991): Metamorphism of the Mid-Bosnian Schist Mountains - preliminary investigation.- Radovi ANUBiH, 87 (13), 141-158, Sarajevo.
- PALINKAŠ, L., PAVLOVIĆ, G., JURKOVIĆ, I. & HRVATOVIĆ, H. (1999): Fluids in quartz from Central Bosnia, indicators of Alpine retrogressive metamorphism.- Carpathian Balkan Geological Association, II. Field Meeting, 23-25, Herlany.
- ŽIVANOVIĆ, M. & MILOJEVIĆ, R. (1975): Osnovna geološka karta 1:1000.000. Tumač za list Zenica.- Zavod za geologiju Sarajevo, Savezni geol. zavod Beograd, 50 str.





Biozone s orbitolinidama (Foraminiferida) na otocima Cresu i Lošinju, Hrvatska

Orbitolinid (Foraminiferida) Biozones from the Islands of Cres and Lošinj, Croatia

Antun HUSINEC & Ladislav FUČEK

Ključne riječi: biostratigrafija orbitolinida, apt, alb, cenoman, Cres, Lošinj, Hrvatska.

Key words: Orbitolinid biostratigraphy, Aptian, Alban, Cenomanian, Cres, Lošinj, Croatia.

Sažetak

U aptskim, albskim i cenomanskim vapnenačkim naslagama Cresu i Lošinju, u bogatoj zajednici foraminifera, poglavito orbitolinida, na temelju determiniranih vrsta izdvojena su tri tipa biostratigrafskih jedinica: rasponska zona, zajedniška zona i množinska zona. Četiri izdvojene biozone značajno variraju u debljini i geografskom pružanju. Stratigrafski one obuhvaćaju raspon od donjega apta do srednjega cenomana.

Abstract

A rich foraminiferal, especially orbitolinid association has been found within Aptian, Alban and Cenomanian limestone deposits from the islands of Cres and Lošinj. Three kinds of biozones have been defined on the basis of the determined species: Taxon-range Zone, Assemblage Zone and Abundance Zone. The identified four biozones range from the early Aptian to middle Cenomanian.

1. UVOD

Kredne naslage na otocima Cresu i Lošinju obuhvaćaju stratigrafski raspon od berijasa do starijega santona. Uglavnom su to plitkomorske karbonatne naslage s povremenim pelagičkim epizodama, a nerijetke su i pojave tempestita i vapnenaca sa značajnim udjelom klasta od razorenih biostroma.

Istraživanje naslaga s orbitolinidama odvijalo se u prvoj fazi terenskim istraživanjima, a potom se pristupilo laboratorijskoj obradi prikupljenog materijala i analizi izbrusaka. Terenska istraživanja ukazala su da je zbog vertikalnih i lateralnih varijacija facijesa i debljina bilo nužno detaljno stratimetrijski snimiti naslage na više lokaliteta. Iz uzoraka prikupljenih na osam geoloških stupova priredeno je ukupno 152 mikroskopska izbruska iz orbitolinidnih horizonata, a naknadno je iz interesantnih intervala, kao i s drugih stupova, priredeno još 164 izbruska. Njihovom obradom ostvareni su rezultati koji su poslužili za pouzdanu biostratigrafsku raščlambu.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Geološka istraživanja na otocima Cresu i Lošinju započela su još u prvoj polovici prošloga stoljeća i od

onda se pa sve do danas odvijaju uz veće ili manje prekidne. Tijekom toga razdoblja objavljeni su brojni članci, karte i rasprave, a najviše se podataka nalazi u kartama i tumačima listova Osnovne geološke karte (1:100.000). Navedeni podaci nalaze se u četiri tumača Osnovne geološke karte: listova Labin (ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973) i Cres (MAGAŠ, 1973), te manjim dijelom Lošinj (MAMUŽIĆ, 1973) i Silba i Molat (MAMUŽIĆ & SOKAČ, 1973). Najviše stratigrafskih podataka nalazi se u tumaču lista Cres (MAGAŠ, 1973). Novija istraživanja vezana uz izradu Geološke karte Republike Hrvatske M 1:50.000 rezultirala su i novim spoznajama o stratigrafiji (FUČEK et al., 1995), biostratigrafiji (HUSINEC & VELIĆ, 1998; HUSINEC et al., 1999, 2000) i dinamici taložnih okoliša (KORBAR & JELASKA, 1999).

3. BIOZONE S ORBITOLINIDAMA

Na temelju analize i interpretacije stratigrafske distribucije orbitolinida, na otocima Cresu i Lošinju izdvojena su tri tipa biostratigrafskih zona: rasponska, zajedniška i množinska zona. Četiri izdvojene biozone značajno variraju u debljini i geografskom pružanju. Kreću se u rasponu od jednog 30-ak cm debelog sloja do jedinice debele preko 40-ak metara. Stratigrafski obuhvaćaju raspon od donjega apta do srednjega cenomana.

3.1. Rasponska zona *Palorbitolina lenticularis*

Glavno obilježje biozoni daje masovna pojava vrste *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH), čiji se stratigrafski položaj podudara s vertikalnim rasponom jedinice. Vrlo bogata mikrofossilna zajednica obilježena je i slijedećim mikrofossilima (prema redosljedu pojavljivanja): *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ, *Praeorbitolina cormyi* SCHROEDER, *Paleodictyoconus* sp., *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Vercorsella scarselai* (DE CASTRO), *V. laurentii* (SARTONI & CRESCENTI), *Neotrocholina friburgensis* GUILLAUME & REICHEL, *N. aptiensis* (IOVCHEVA), *Praeorbitolina wienandsi* SCHROEDER, *Orbitolina (Mesorbitolina) lotzei* SCHROEDER, *Pfenderina globosa* FOURY, *Voloshinoides murgensis* LUPERTO-SINNI & MASSE, *Debarina hahounerensis* FOURCADE, RAOULT & VILLA, *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO SINNI, *Sabaudia briacensis* ARNAUD-VANNEAU, *Nezzazatinella* sp. and *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ. Stratigrafski se položaj vrste *Palorbitolina lenticularis* na Jadranskoj karbonatnoj platformi kreće od sredine gornjega barema do baze gornjega apta (VELIĆ, 1988). Uz palorbitoline, iznimno je vrijedan nalaz dviju orbitolinidnih vrsta usko provodnih za donji apt (SCHROEDER, 1964): *Praeorbitolina cormyi* i *P. wienandsi*.

Provodni oblici za donji apt Dinarida jesu i *Orbitolina (Mesorbitolina) lotzei* (VELIĆ & SOKAČ, 1983) i *Sabaudia briacensis* (ARNAUD-VANNEAU et al., 1991), a vjerojatno i *Voloshinoides murgensis* (VELIĆ & SOKAČ, 1978). Drugi oblici imaju znatno veći raspon pa nisu provodno vrijedni. Nalazak rudista *Toucasia* sp. također nema užu provodnu vrijednost. Na temelju navedenoga proizlazi da je rasponska zona *P. lenticularis* donjoaptske starosti.

3.2. Zajednišna zona *Orbitolina (Mesorbitolina) texana*

Biozona je karakterizirana bogatstvom foraminifera, poglavito mezorbitolina. Upravo je ta brojna zajednica mezorbitolina poslužila za uspostavljanje biozone čija su donja i gornja granica definirane prvom, odnosno posljednjom masovnom pojavom pripadnika toga podroda. Pri tome je najbrojnija vrsta *O. (M.) texana*, nešto rjeđa *O. (M.) subconcava*, dok su *O. (M.) parva* i *O. (M.) pervia* vrlo rijetke. Pored mezorbitolina, određene su i slijedeće foraminifere: *Pseudonummoloculina heimi* (BONET), *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY, *Vercorsella scarselai* (DE CASTRO), *V. arenata* ARNAUD-VANNEAU, *V. laurentii* (SARTONI & CRESCENTI), *Sabaudia* sp., *Debarina hahounerensis* FOURCADE, RAOULT & VILLA, *Sabaudia minuta* (HOFKER), *S. auruncensis* (CHIOCCHINI & DI NAPOLI), *Paracoskinolina* sp., *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Nezzazatinella* sp., *Mayncina bulgarica* LAUG, PEYBERNÈS & REY, *Sabaudia capitata* ARNAUD-VANNEAU, *Archaealveolina reicheli* (DE CASTRO), *Cuneolina parva* HENSON, *?Charen-*

tia cuvillieri NEUMANN, *?Daxia* sp., *Hemicyclammina sigali* MAYNC i *Pseudocyclammina* sp.

Za razliku od kontinentalnoga dijela Dinarida, gdje na "donjim orbitolinskim vapnencima" slijede gornjoaptski slojevi s mezorbitolinama (VELIĆ, 1988), na otoku Cresu mezorbitoline se pojavljuju tek početkom alba. Ovdje u gornjemu aptu, slično kao i na cijeloj Jadranskoj karbonatnoj platformi pa i na širem području Tethysa (SOKAČ, 1996), dominira alga *Salpingoporella dinarica*, a mezorbitoline izostaju. Pored nje, za razdoblje gornjega apta značajne su i mnogobrojne lito-olide, poglavito *Trochamminoides coronus* LOEBLICH & TAPPAN. U slijedu naslaga alb počinje s prvim pojavama vrste *Pseudonummoloculina heimi*, koja se regionalno pojavljuje upravo u tom razdoblju (HOTTINGER et al., 1989), i to u zajednici s drugim foraminiferama koje ne prelaze u cenoman. S tom vrstom nastupaju "gornji orbitolinski vapnenci" s više vrsta mezorbitolina među kojima je najbrojnija *O. (M.) texana*, provodna za razdoblje gornji apt - donji alb (ARNAUD-VANNEAU et al., 1991). Sâm je završetak zone karakteriziran nalazima brojnih *Archaealveolina reicheli*, pripadnika vrste koja je vrlo česta uz algu *S. dinarica*, ali koja kronostratigrafski dostiže bazalni alb (DE CASTRO, 1980). Nasuprot otoku Cresu, u Dinari-dima je ova vrsta poznata iz mlađega dijela donjih orbitolinskih vapnenaca (VELIĆ, 1988).

Iz svega navedenoga moguće je zajednišnu zonu *O. (M.) texana* smjestiti u donji alb.

3.3. Rasponska zona "Valdanchella" *dercourtii*

Naziv biozone potječe od istoimene primitivne orbitolinide čiji stratigrafski raspon na istraživanome području obuhvaća. Ostali utvrđeni mikrofosili su: *Salpingoporella turgida* RADOIČIĆ, *Vercorsella scarselai* (DE CASTRO), *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY, *Pseudonummoloculina heimi* (BONET), *Mayncina bulgarica* LAUG, PEYBERNÈS & REY i *?Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI.

Gastropodna vrsta *Nerinea fleuryi* D'ORBIGNY utvrđena u podinskim slojevima provodna je za alb (POLŠAK, 1967). "Primitivna" orbitolinida "Valdanchella" *dercourtii* provodna je za razdoblje g. alb - d. cenoman (DECROUEZ & MOULLADE, 1974; DECROUEZ, 1976). U krškome dijelu Dinarida njezin je raspon od početka gornjega alba do prvih slojeva vrakona i nije nađena u zajednici s "pravim" orbitolinama (VELIĆ & SOKAČ, 1979, 1983). Za gornji alb (i donji cenoman) provodna je i alga *Salpingoporella turgida* (ARNAUD-VANNEAU et al., 1991). Pojava "V." *dercourtii* u zajednici s navedenom algom, kao i činjenica da ih u podinskim naslagama nema, ukazuje na sam početak gornjega alba.

3.4. Množinska zona *Orbitolina (Conicorbitolina) conica*

U cenomanu otoka Cresa dolazi do izrazite facijesne diferencijacije (HUSINEC et al., 2000), slično kao i u

susjednom području Istre (VLAHOVIĆ et al., 1994; TIŠLJAR et al., 1995, 1998). Tako je u središnjem dijelu otoka Cresa, unutar dijela naslaga koji je izdvojen kao množinska zona *Orbitolina* (*Conicorbitolina*) *conica*, utvrđen slijedeći mikrofosilni sadržaj (prema redosljedu pojavljivanja): *Pithonella sphaerica* (KAUFMANN), *Pithonella ovalis* (KAUFMANN), *Pithonella innominata* (BONET), *Bonetocardiella conoidea* (BONET), *Heterohelix* sp., *Rotalipora* sp., *Nodosaria* sp., *Hedbergella planispira* (TAPPAN), *Favusella washitensis* CARSEY, *O. (Conicorbitolina) gr. corbarica-conica*, *O. (Orbitolina) gr. sefini-concava* i različite sitne neodredive bentosne forme, te bodlje ježinaca i kršje školjkaša. Ova zajednica bentosnih i planktonskih foraminifera te kalcisfera općenito ukazuje na stratigrafski raspon vrakon-srednji cenoman. Međutim, prema regionalnoj stratigrafiji Dinarida (npr. VELIĆ, 1988; VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994), vjerojatniji je donji do srednji cenoman. Nasuprot tomu, na južnom su dijelu Cresa pored *Orbitolina (Conicorbitolina) conica* (D'ARCHIAC) i *Orbitolina (Orbitolina) sp.* utvrđeni i slijedeći mikrofosili (prema redosljedu pojavljivanja): *Broeckina (Pastrickella) balcanica* CHERCHI et al., *Nezzazata gyra* (SMOUT), *N. simplex* OMARA, *N. conica* (SMOUT), *Cuneolina pavonia/parva*, *Peneroplis turonicus* SAID & KENAWY, *Biplanata peneropliformis* HAMAOUÏ & SAINT-MARC, *Trochospira avnimelechi* HAMAOUÏ & SAINT-MARC, *Nummuloculina regularis* PHILIPPSON, *Pseudonummoloculina heimi* (BONET), *Pseudorhapydionina dubia* (DE CASTRO), *Pseudolituonella reicheli* MARIE, *Merlingina cretacea* HAMAOUÏ & SAINT-MARC, *Spiroloculina* sp., *Scandonea phoenissa* SAINT-MARC, *Scandonea* sp., *Nezzazatinella picardi* HENSON i *Chrysalidina gradata* D'ORBIGNY. Registrirani su i različiti cenomanski rudisti: *Ichthyosarcolithes poljaki* POLŠAK, *I. bicarinatus* (GEMMELLARO), *I. tricarinatus* PARONA, *Schiosia carinatoformis* POLŠAK, *Orthophychus striatus* FUTTERER, *Durania* sp., *Sauvagesia* sp. i mnoštvo radiolitidnih oblika, te rjede fragmenti školjkaša sličnih rodu *Chondrodonta*. Utvrđena mikrofosilna zajednica bentosnih foraminifera ovdje ukazuje na srednjocenomansku starost. Ona odgovara biozonama CEN-3 i CEN-4 koje su VELIĆ & VLAHOVIĆ (1994) definirali na buzetsko-savudrijskom području. Biozona CEN-3 (*Chrysalidina gradata* "partial range zone") označena je prisutnošću tri značajne cenomanske vrste: *Chrysalidina gradata*, *Nummuloculina regularis* i *Pseudolituonella reicheli*. Biozonu CEN-4 (*Chrysalidina gradata* i *Broeckina (Pastrickella) balcanica* "assemblage zone") karakterizira prva pojava *Broeckina (Pastrickella) balcanica*, te između ostalih nalaz *Pseudorhapydionina dubia*, *Spiroloculina robusta* i *Merlingina cretacea*. No, za razliku od Istre, u creskim su naslagama vrlo brojne konikorbitoline, od kojih je utvrđena vrsta *O. (Conicorbitolina) conica* provodna za razdoblje donji- srednji cenoman (SCHROEDER & NEUMANN, 1995).

U krovini množinske zone *O. (C.) conica* utvrđena je slična zajednica bez orbitolinida, ali zato s vrstom *Vidalina radoicicae* CHERCHI & SCHROEDER koja je provodna za gornji cenoman (CHERCHI & SCHROEDER, 1985).

4. LITERATURA

- ARNAUD-VANNEAU, A., CONRAD, M.A., DELOFFRE, R., LUPERTO-SINNI, E., MASSE, J.P., PEYBERNÈS, B., RADOIČIĆ, R., SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1991): Distribution of Lower Cretaceous foraminifera and dasyclad algal of the Adriatic plate.- U: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (ur.): The Second International Symposium on the Adriatic Carbonate Platform. Relations with Adjacent Regions, Zadar 1991, Abstracts, 22-26, Zagreb.
- CHERCHI, A. & SCHROEDER, R. (1985): *Vidalina radoicicae* n.sp. and *Pseudorhapydionina* (?) *anglonensis* n.sp. (Foram.) from the Upper Cenomanian of Anglona region (NW Sardinia).- Boll. Soc. Pal. Ital., 24/2-3, 185-188.
- DE CASTRO, P. (1980): Le Alveoline aptiano-cenomaniane del Mediterraneo centrale e orientale: sintesi e problemi.- U: Avvenimenti del Cretacico medio, Napoli, 28-29 Febbraio 1980, Univ. Napoli, Ist. Paleont., 86 p.
- DECROUEZ, D. (1976): Étude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé d'Argolide (Péloponnèse septentrional, Grèce).- Thèse No.1708, Univ. Genève, 157 p., Genève.
- DECROUEZ, D. & MOULLADE, M. (1974): Orbitolinidés nouveaux de l'Albo-Cénomanien de Grèce.- Arch. Sc. Genève, 27/1, 75-92.
- FUČEK, L., VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I., OŠTRIĆ, N., KOROLIJA, B. & MATIČEĆ, D. (1995): Novi podaci o stratigrafiji donje krede otoka Cresa.- U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): I. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 1, 167-172, Zagreb.
- HOTTINGER, L., DROBNE, K. & CAUS, E. (1989): Late Cretaceous, Large Complex Miliolids (Foraminifera) Endemic in the Pyrenean Faunal Province.- Facies, 21, 99-134.
- HUSINEC, A., FUČEK, L. & VELIĆ, I. (1999): Stratigraphic distribution of the main benthic foraminifera from the Aptian to Middle Cenomanian of the islands of Cres and Lošinj (Northern Adriatic, Croatia).- European Paleontological Association Workshop, Abstracts volume, July 22-25 1999, Lisboa, 52-56.
- HUSINEC, A. & VELIĆ, I. (1998): Orbitolinid biostratigraphy of the Aptian and Albian carbonate deposits on the island of Cres (Adriatic Sea, Croatia).- U: LONGORIA, J.F. & GAMPER, M.A. (ur.): International Symposium on Foraminifera FORAMS '98, Proceedings of the Meeting and Abstracts with Programs, Sociedad Mexicana de Paleontología, Monterrey, 52.
- HUSINEC, A., VELIĆ, I., FUČEK, L., VLAHOVIĆ, I., MATIČEĆ, D., OŠTRIĆ, N. & KORBAR, T. (2000): Middle Cretaceous orbitolinid (Foraminifera) record from the islands of Cres and Lošinj (Croatia) and its regional stratigraphic correlation.- Cretaceous Research, 21/1, 155-171.
- KORBAR, T. & JELASKA, V. (1999): Rudist communities and sedimentary environments along shallow-platform to intraplatform basin transition in the Cenomanian of the island of Cres (Adriatic Sea, Croatia).- U: HOEFLING, R. & STEUBER, T. (ur.): 5th International congress on rudists. Abstracts and field trip guides, Erlangen, 30-31.
- MAGAŠ, N. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Cres, L 33-113.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1965), Sav. geol. zav., Beograd, 42 p.
- MAMUŽIĆ, P. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Lošinj, L 33-125.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1965), Sav. geol. zav., Beograd, 34 p.

- MAMUŽIĆ, P. & SOKAČ, B. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za listove Silba i Molat, L 33-126, L 33-138.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1967), Sav. geol. zav., Beograd, 45 p.
- POLŠAK, A. (1967): Kredna makrofauna južne Istre.- *Palaeontologica Jugoslavica*, 8, 219 p., Zagreb.
- SCHROEDER, R. (1964): Communication préalable sur l'origine des Orbitolines.- *C. R. S. Somm. Soc. geol. France*, 10, 411-413, Paris.
- SCHROEDER, R. & NEUMANN, M. (1985): Les grands Foraminifères du Crétacé moyen de la région méditerranéenne.- *Geobios, Mém. spéc.*, 7, 160 p., Lyon.
- SOKAČ, B. (1996): Taxonomic review of some Barremian and Aptian calcareous algae (Dasycladales) from the Dinaric and Adriatic karst regions of Croatia.- *Geol. Croat.*, 49/1, 1-79.
- ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Labin, L 33-101.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1973), Sav. geol. zav., Beograd, 55 p.
- TIŠLJAR, B., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & VELIĆ, I. (1995): Platformni facijesi od gornjega titona do gornjeg alba u zapadnoj Istri i prijelaz u tempestitne, kliniformne i rudistne biolititne facijese donjega cenomana u južnoj Istri (ekskurzija B) (Platform facies from the Upper Tithonian to Upper Albian in western Istria and transition into tempestitite, cliniform and rudist biolithite facies of the Lower Cenomanian in southern Istria (Excursion B)).- U: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): Excursion Guide-Book of the First Croatian Geological Congress, Opatija, 18-21.10.1995, Inst. Geol. & Croat. Geol. Soc., Zagreb, 67-110.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I., MATIČEC, D. & ROBSON, J. (1998): Carbonate facies evolution from the Late Albian to Middle Cenomanian in southern Istria (Croatia): Influence of synsedimentary tectonics and extensive organic carbonate production.- *Facies*, 38, 137-152.
- VELIĆ, I. (1988): Lower Cretaceous benthic foraminiferal biostratigraphy of the shallow water carbonates of the Dinarides.- *Revue de Paléobiologie, Vol. Spéc. 2 (Benthos '86)*, 467-475, Genève.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978): Biostratigrafska analiza jure i donje krede šire okolice Ogulina (središnja Hrvatska).- *Geol. vjesnik*, 30/1, 309-337, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1979): Biostratigrafska istraživanja donje krede Vanjskih Dinarida (II). Gornji alb otoka Korčule.- *Geol. vjesnik*, 31, 185-190, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1983): Stratigraphy of the Lower Cretaceous index fossils in the Karst Dinarides (Yugoslavia).- *Zitteliana*, 10, 485-491, München.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Foraminiferal assemblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija area (northwestern Istria, Croatia).- *Geol. Croat.*, 47/1, 25-43, Zagreb.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1994): Influence of synsedimentary tectonics and eustatic changes on deposition of the Cenomanian platform carbonates in Istria (Western Croatia).- *Géologie Méditerranéenne*, 21/3-4, 189-193, Marseille.



Biostratigraphical Correlation of the Deposits of Southeastern Part of the Krk Island

Haris IBRAHIMPAŠIĆ¹ & Ivan GUŠIĆ²

Key words: Upper Cretaceous, Paleogene (Eocene), Paleogene-Neogene, Lithostratigraphy, Biostratigraphy, Stratigraphic correlation, Island of Krk, Croatia.

Abstract

Four lithostratigraphic units have been separated within the deposits which built up the southeastern part of the Krk island. The first one is the unit of the Limestones with dolomites and breccias, chronostratigraphically corresponding to the Middle and Upper Cenomanian. The second unit of the Light-grey and white rudistid limestones comprises the Lower part of the Turonian. The third unit comprises the Foraminiferal limestones of the Lower and Middle Eocene. The last unit is composed of the Paleogene-Neogene breccias. On the basis of geological profiles, stratimetrically measured geological columns and the distribution of the most important microfossil taxa, biostratigraphical correlation with some other localities of the Adriatic Carbonate Platform has been carried out.

1. INTRODUCTION

The investigated area includes the southeastern part of the Krk island (Fig. 1A, B, C), limited along the line Stara Baška - Mala Luka. During investigation, four lithostratigraphic units have been established, chronostratigraphically ranging from the Middle Cenomanian to the Paleogene-Neogene. Between the Cretaceous and Tertiary units, and also between the Tertiary units themselves, there are stratigraphic gaps. Based on the lithostratigraphic interpretation and the distribution of the most important microfossil taxa, three geological columns have been compiled that were correlated mutually on the basis of biostratigraphic properties.

The first investigations of the Krk island started in the second part of the nineteenth century in the framework of Vienna "Geologische Reichsanstalt". The first description was issued by HAUER (1868); he distinguished the Cretaceous and the Paleogene deposits. WAAGEN (1905) published geological map "Veolia

und Novi". MATOUŠEK (1927) and ŠUŠNJAR et al. (1973) published the results of geological investigations of the Krk island. Investigated area can be found at the Basic Geological Map, Rab sheet, in scale 1:100,000 (MAMUŽIĆ et al., 1973).

2. DESCRIPTION OF THE LITHOSTRATIGRAPHIC UNITS

The studied area is characterized by disrupted series of the sediments. Stratimetric measurements revealed 755 meters of sediments, where the Cenomanian and Turonian deposits are in superposition. They are overlain by the unit of the Lower and Middle Eocene age. Finally, there is the youngest unit of the Paleogene-Neogene age. The whole series of sediments is characterized by two stratigraphic gaps, the first between the Turonian and Eocene sediments and the second between the Eocene and Paleogene-Neogene sediments. The entire series of the sediments comprises four lithostratigraphic units, which were chronostratigraphically correlated.

The oldest lithostratigraphic unit is Limestones with dolomites and breccias. This unit begins with dolomitic breccias which are followed by massive, sometimes crystalline limestones, partly composed of the fractured radiolitid valves. At the end, the unit somewhere finishes as "cryptagal" laminites. According to their primary depositional texture, carbonates forming this lithostratigraphic unit are mainly wackestones-packstones. The measured thickness varies from 125 to 250 meters. The microfossil assemblage contains remains of dasyclad algae and benthic foraminifera. The more important ones are: *Broeckina (Pastrikella) balcanica* CHERCHI, RADOIČIĆ & SCHROEDER, *Nummuloculina cf. irregularis* DECROUEZ & RADOIČIĆ, *Pseudolituonella reicheli* MARIE, *Chrysalidina cf. gradata* D'ORBIGNY, *Pseudorhapydionina dubia* (DE CASTRO), *Nezzazata simplex* OMARA, *Peneroplis parvus* (DE CASTRO), *Biconcava bentori* HAMAOUÏ & SAINT-MARC, *Spirolina* sp., *Cuneolina* sp., and *Valvulammina (Nezzazatinella)* sp. Besides the radiolitids, the mac-

¹Institute of Geology, Sachsova 2, P.O.Box 268, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Department of Geology and Paleontology, Faculty of Sciences, University of Zagreb, Ulica kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

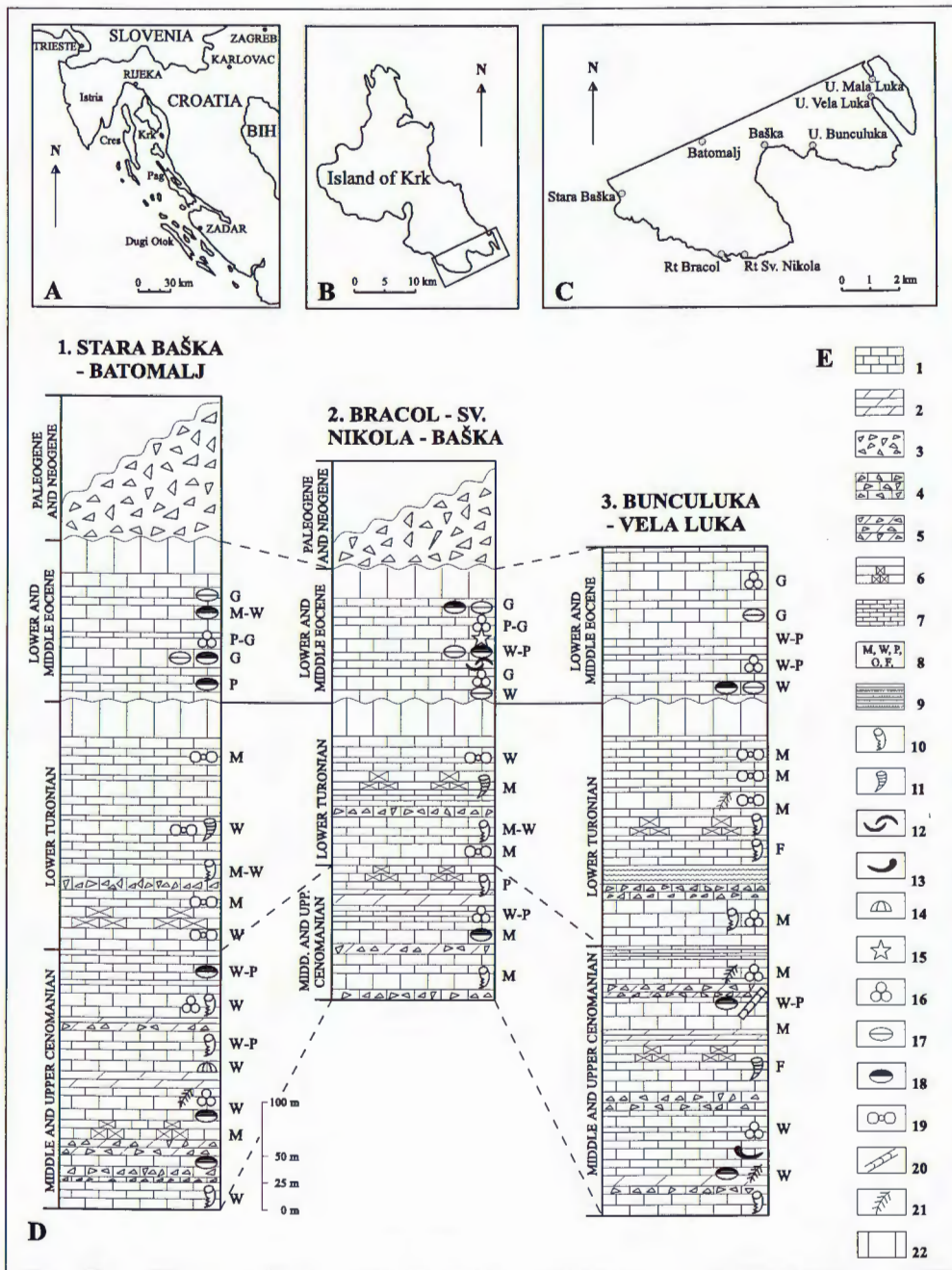


Fig. 1 A - C) Location map. D) Schematic geological columns of the deposits in south-eastern part of the Krk island, chronostratigraphically limited and correlated, with microfauna and lithological properties. E) Legend: 1) limestone; 2) dolomite; 3) breccia; 4) limestone breccia; 5) dolomitic breccia; 6) crystalline carbonate rock; 7) laminated carbonates; 8) primary depositional textures; 9) "cryptalgal laminite"; 10) broken rudists; 11) radiolites; 12) ostreid bivalves; 13) chondrodonta remains; 14) echinoids; 15) crinoids; 16) benthic foraminifera in general; 17) larger hyaline foraminifera; 18) larger imperforate foraminifera; 19) planktic foraminifera in general; 20) dasyclad algae; 21) *Thaumatoporella parvovesiculifera*; 22) stratigraphic gap.

rofofossil fauna includes fractured *Chondrodonta* valves. These sediments were deposited in a protected depositional environment, in shallow subtidal and intertidal conditions where laminated carbonates were formed. According to the microfossils and fractured *Chondrodonta* valves, chronostratigraphic range of this unit can be defined as the Middle to Upper Cenomanian.

The following lithostratigraphic unit is the one of Light-grey and white rudistid limestones. It is characterized by biofacies changes which cannot be distinguished macroscopically. These limestones can also sometimes be crystalline, lighter in color, which can often be changed to rose-red, due to terrestrial influence in emersion. The Light-grey and white rudistid limestones are, typically, mudstones-wackestones with abundant

pelagic components. Thickness of this unit varies from 150 to 235 meters. The change of biofacies characteristics includes disappearance of all benthic foraminiferal taxa and the appearance of planktic globigerinid foraminifera. This unit was deposited on an open carbonate platform. Chronostratigraphically, according to superposition, it corresponds to the lower part of the Turonian.

The contact of the Light-grey and white rudistid limestones of the Lower Turonian age with the next lithostratigraphic unit, Foraminiferal limestones of the Lower and Middle Eocene age is characterised by erosional, paleokarstified surface. The biofacies and lithofacies changes are presented by macroscopically visible microfossil remains, and the color change which can be

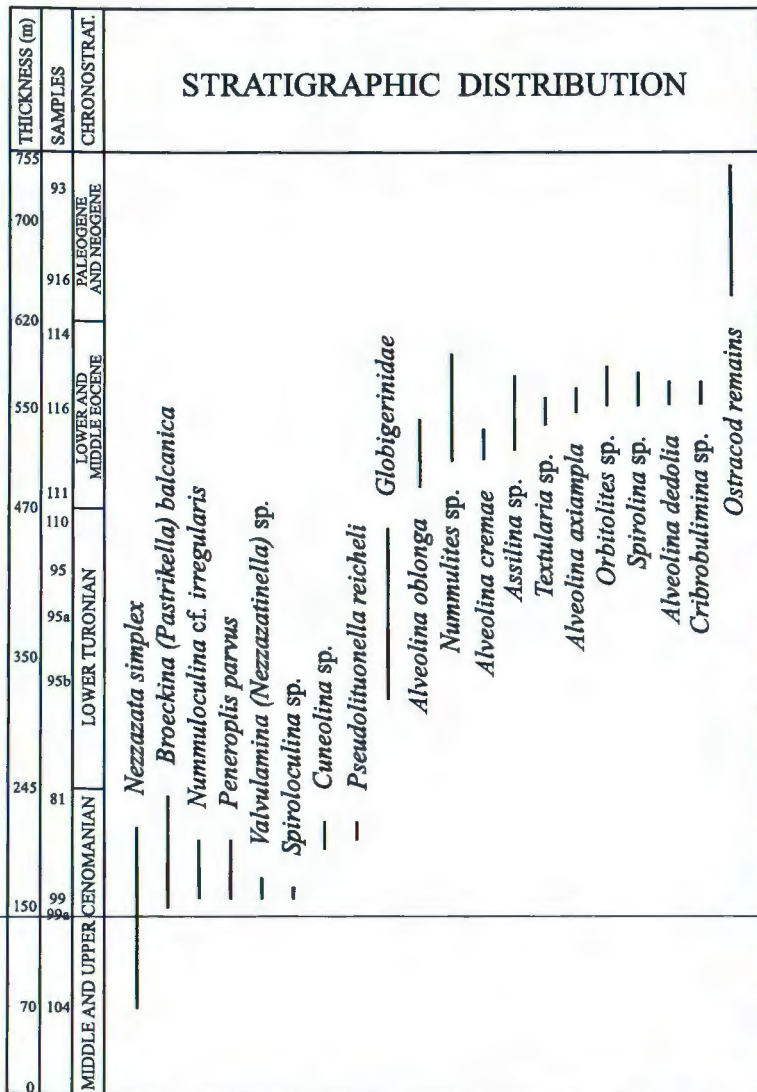


Fig. 2 Stratigraphic distribution of foraminiferal taxa and other microfossils in the Stara Baška - Batomalj column.

grey-brown to yellowish. Primary depositional texture corresponds to wackestones-packstones. Measured thickness of the unit is between 125 and 150 meters. In microfossil assemblage the following foraminiferal taxa were determined: *Alveolina oblonga* D'ORBIGNY, *Alveolina pinguis* HOTTINGER, *Alveolina cremae* CHECCHIA-RISPOLI, *Alveolina axiample* DROBNE, *Alveolina dedolia* DROBNE, *Alveolina distefanoi* CHECCHIA-RISPOLI, *Alveolina guidonis* DROBNE, *Falotella cf. alavensis* MANGIN, *Coskinolina sp.*, *Nummulites sp.*, *Assilina sp.*, *Orbitolites sp.*, *Spirolina sp.*, *Cribrbulimina sp.*, *Sphaerogypsina sp.*, *Acervulina sp.*, *Operculina sp.* and *Rotalia sp.* Sometimes, the remains of red and green algae, crinoids and gastropods can be found. The environment during the Lower and Middle Eocene represented a slightly deeper sea, but not so deep as in the former Turonian unit. So it was a protected subtidal environment which was progressively deepened. According to microfossils, the chronostratigraphic range of this unit corresponds to the Lower and Middle Eocene.

The youngest lithostratigraphic unit of the Paleogene-Neogene breccias consists of cataclastic breccias and microbreccias of different lithology. The color of individual clasts varies from grey to rosy. The estimate thickness of the unit is between 40 and 70 meters. The matrix does not contain microfossils, but in some clasts there are visible ostracod and radiolite remains, as well as rare planktic components. This fact is related to the origin of the clasts, derived from the first two lithostratigraphic units. The origin of these breccias can probably be explained as a submarine scree, composed of tectonically formed clasts. These breccias were formed during the younger Paleogene and the older Neogene.

3. BIOSTRATIGRAPHIC CORRELATION

In the deposits of the southeastern part of the Krk island in broader area of Baška town (Fig. 1C) four lithostratigraphic units were distinguished according to their facies characteristics. It was done after the inter-

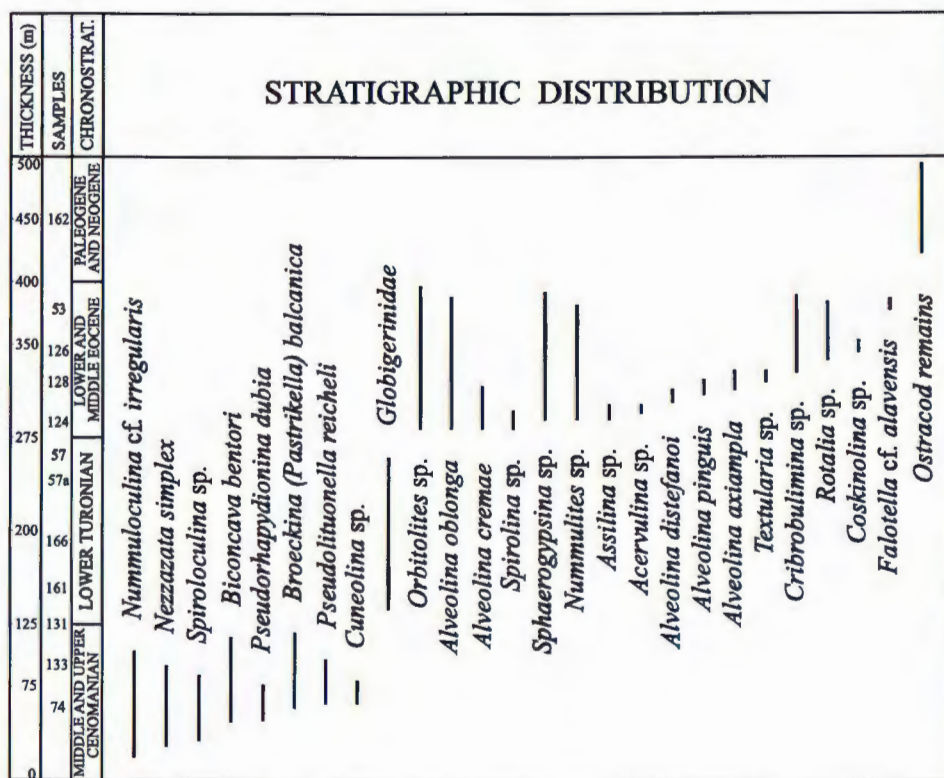


Fig. 3 Stratigraphic distribution of foraminiferal taxa and other microfossils in the Bracol - Sv. Nikola - Baška column.

pretation of the profiles, as the base for three schematic geological columns: 1) column Stara Baška - Batomalj, 2) column Bracol - Sv. Nikola - Baška and 3) column Bunculuka - Vela Luka (Fig. 1D). The first two geological columns include all four lithostratigraphic units, with the same stratigraphic relations and microfossils as described in previous chapter. Both are located in southwestern part of the terrain (Fig. 1C). The third geological column, from the northeastern part of the terrain, has the same characteristics as the previous two, but with the absence of the youngest lithostratigraphic unit.

Concerning the microfossil contents, it is almost conformable to the relation of appearance of a single taxa in all three columns, with smaller differences in stratigraphic distribution and in order of their appearance (Figs. 2, 3 and 4). Therefore, it is clearly possible to establish the biostratigraphic correlation among all three columns. The thickness of the single units in the columns Stara Baška - Batomalj and Bunculuka - Vela Luka are congruent (difference app. 10 m), with absence of the youngest unit in the column Bunculuka - Vela Luka. Geological column Bracol - Sv. Nikola - Baška has smaller thicknesses of lithostratigraphic units in relation to the columns Stara Baška - Batomalj and Bunculuka - Vela Luka.

Such correlation can also be established regionally, for example: the oldest lithostratigraphic unit from examined area, the Limestones with dolomites and breccias, can be, at the base of microfossils, biostratigraphically correlated with the deposits of the same age in northwestern Istria (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994). The

same foraminiferal assemblages were established, as in the examined area. It is also valid for correlation of the Upper Cretaceous deposits from examined area (first two units, chronostratigraphically the Middle and Upper Cenomanian, and the Lower Turonian), with the Upper Cretaceous deposits from the Brač island, where that age corresponds to the Milna and Sv. Duh formations (GUŠIĆ & JELASKA, 1990).

4. DISSCUSSION AND CONCLUSION

Series of the deposits of the southeastern part of the Krk island served as a base for distinguishing and definition of genetically homogenous lithostratigraphic entities. Four lithostratigraphic units, with chronostratigraphic range from the Middle Cenomanian to the Paleogene-Neogene were differentiated. The oldest unit is presented with the Limestones with dolomites and breccias, chronostratigraphically corresponding to the Middle and Upper Cenomanian. The second unit, the Light-grey and white rudistid limestones, chronostratigraphically corresponds to the older part of the Turonian. The third lithostratigraphic unit can be compared to the Foraminiferal limestones of the Lower and Middle Eocene. Finally, the youngest lithostratigraphic unit consists of Paleogene-Neogene breccias. As mentioned above, the units of Cenomanian and Turonian age are mutually concordant and superposed. Turonian deposits are followed by the first stratigraphic gap. This interruption can be explained by the fact that the high-stand water regime (HST) lasted longer at the south-

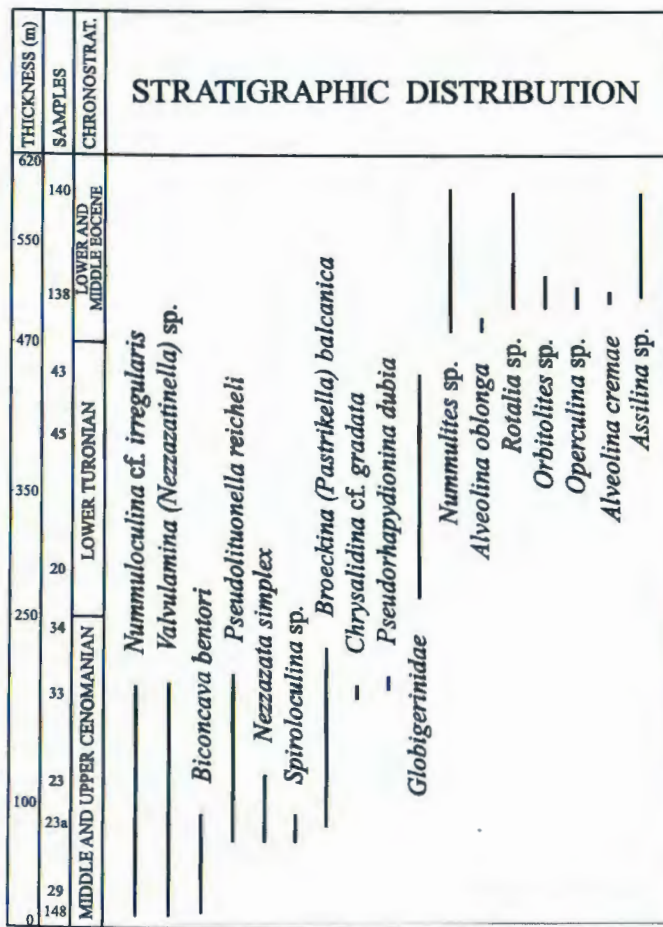


Fig. 4 Stratigraphic distribution of foraminiferal taxa in the Bunculuka - Vela Luka column.

eastern part of the Adriatic Carbonate Platform (ŠRIBAR et al., 1995), which is the result of contemporary tectonics. In other words, pelagic conditions lasted shorter at the northwestern part of the Adriatic carbonate platform, which means that at some localities, as at the Krk island, sedimentation was interrupted somewhere during the part of younger Turonian till the Lower Eocene. This fact can be proved by the review of geological columns along the Adriatic coast (KOIĆ et al., 1995).

After the Lower and Middle Eocene Foraminiferal limestones, there is a stratigraphic gap again, and after this interruption the Paleogene-Neogene breccias were deposited.

Using the data from investigated area, three geological columns were made. They have been biostratigraphically correlated (Fig. 1D), at the base of lithostratigraphic units and identical microfossil assemblages, showing very similar distribution of both microfossil taxa and lithostratigraphic units.

5. REFERENCES

- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača u okviru geodinamske evolucije Jadranske karbonatne platforme. (Upper Cretaceous stratigraphy of the island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic Carbonate Platform).- Djela JAZU, 69, JAZU and Inst. geol. istr., Zagreb, 160 p.
- HAUER, F. (1868): Geologische Übersichtskarte der Österreichischen Monarchie, Blatt X, Dalmatien.- Jahrb. Geol. Reichsanst., 18/3, 431-454, Wien.
- KOIĆ, M., ČOSOVIĆ, V., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., MARJANAC, T. & MORO, A. (1995): Some paleontological evidence of the Paleogene transgression on the Adriatic Carbonate Platform.- In: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (eds.): 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 2, 601-604, Zagreb.
- MAMUŽIĆ, P., MILAN, A., KOROLJICA, B., BOROVIĆ, I. & MAJČEN, Ž. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, List Rab L 33-114.- Inst. geol. istr., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- MATOUŠEK, O. (1927): Problems of thrust-folding on the northern islands in the Adriatic sea.- C. R. Congr. geol. intern., 14/2, 669-671, Madrid.
- ŠRIBAR, L., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1995): Upper Cretaceous evolution of the carbonate platform in SW Slovenia.- In: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (eds.): 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 2, 601-604, Zagreb.
- ŠUŠNJAR, M., GRIMANI, I., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAČ, I., ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Crikvenica L 33-102.- Inst. geol. istr., Zagreb (1961-1969), Sav. geol. zavod, Beograd, 47 p.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Foraminiferal assemblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija (northwestern Istria, Croatia).- Geologia Croatica, 47/1, 25-43.
- WAAGEN, L. (1905): Geologische Spezialkarte der im Reichsrat vertretenen Königreiche und Länder der Österreichisch-Ungarischen Monarchie, Veglia und Novi 1:75000, Zone 25, Col. XI.- Geol. Reichsanst., Wien.





Seismostratigrafska interpretacija gornjomiocenskih i pliocenskih sedimenata Savske depresije

Seismostratigraphic Interpretation of Upper Miocene and Pliocene Sediments of the Sava Depression

Željko IVKOVIĆ, Srebrenka MATEJ & Marijana ŠKOKO

Ključne riječi: seizmička sekvencija, seizmički facijes, taložni sistem, retrogradacija, progradacija.

Key words: Seismic sequence, Seismic facies, Depositional system, Retrogradation, Progradation.

Sažetak

U cilju rekonstrukcije razvitka taložnog prostora Savske depresije tijekom gornjeg miocena i pliocena na odabranim seizmičkim profilima izdvojeno je šest seismostratigrafskih cjelina (sekvencija). Njihovo izdvajanje je zasnovano na utvrđivanju sekvencijskih granica i facijesa pri čemu su osobito analizirani kontinuitet, amplituda, frekvencije, vanjske forme, unutrašnji izgled, raspored i međusobni odnosi seizmičkih refleksa. Prve tri sekvencije su interpretirane kao dio retrogradacijske, a zadnje tri kao dio progradacijske faze u razvoju bazena. Početkom retrogradacijske faze (donji panon) dolazi do intenzivnog produbljanja depresije nakon čega nastupa njeno brzo zapunjavanje koje je povezano s progradiranjem i približavanjem deltnih sistema rubovima depresije iz smjera sjeverozapada, sjevera i istoka. U početku se u dubljim dijelovima depresije u nekoliko ciklusa talože velike količine turbiditnih pijesaka (gornji panon i pont). Nakon toga deltni sistemi ulaze u samu depresiju i brzo je ispunjavaju i oplićuju kroz tri ciklusa progradacijske faze. Prvi ciklus je vezan za progradaciju dubokovodnih delti (pliocen), dok u slijedeća dva ciklusa (pliocen-kvartar) prevladavaju progradacije plitkovodnih delti i aluvijalnih ravnica koje su rezultirale potpunim zapunjavanjem i zaravnavanjem nekadašnje depresije.

Abstract

Six seismostratigraphic units (sequences) have been separated on the chosen seismic profiles in order to reconstruct the development of the Sava Depression depositional area during Upper Miocene and Pliocene. Their separation was based on the recognition of seismic sequences and facies with the special analysis of continuity, amplitudes, frequencies, outer shapes, inner appearance, distribution and mutual relations of seismic reflexes. First three sequences were interpreted as retrogradational, while the last three as a part of progradational phase in the basin development. At the beginning of the retrogradational phase (Lower Pannonian), intensive deepening of the depression occurred, followed by its rapid filling connected with progradation and nearing of the delta systems toward the depression margins from north-west, north and east. At the beginning large amounts of turbidite sands (Upper Pannonian and Pontian) are being deposited in two cycles in the deeper parts of the depression. After that delta systems enter the depression and rapidly fill it and shallow it through three cycles of progradational phase. First cycle is connected to the progradation of deep-water deltas (Pliocene), while in the next two cycles (Pliocene-Quaternary) progradations of shallow water deltas and alluvial plains prevailed; they resulted in total filling and flattening of the former depression.

UVOD

Savska depresija je smještena u krajnjem jugozapadnom dijelu Panonskog bazena, a u njoj su pronađena brojna naftna i plinska polja i to ponajviše unutar gornjomiocenskih sedimenata. Stoga su na ovom području vršena brojna površinska, a osobito i potpovršinska istraživanja vezana uz istraživačka nastojanja pronalaska nafte i plina, no usprkos tome ostalo je još uvijek dosta nejasnoća vezanih uz definiranje taložnih i tektonskih mehanizama koji su uvjetovali stvaranje neo-

genskog sedimentnog slijeda. S vremenom je stupanj istraženosti našeg dijela Panonskog bazena postajao sve veći tako da se veličina i broj neotkrivenih struktura stalno smanjivala. Zato se u novije vrijeme sve više ukazuje potreba za otkrivanjem zamki stratigrafskog tipa koje se još nazivaju i skrivene zamke. Prepoznavanje takovih zamki zahtijeva kompleksno integriranje seizmičkih i bušotinskih podataka što se postiže primjenom seismostratigrafske interpretacije (BALLY, 1988; VAIL et al., 1977; SELLEY, 1986; BADLEY, 1985). Pri određivanju vjerojatnosti otkrića takovih zamki neo-

phodno je proučiti razvitak taložnog prostora u vidu prepoznavanja pripadajućih taložnih sistema radi što boljeg utvrđivanja postojanja rezervoar stijena, izolator stijena, matičnih stijena, te vremena i puteva migracije.

Vrlo važan doprinos u odgonetavanju tih problema dale su novije vrlo opsežne i detaljne regionalne studije Panonskog bazena provedene u susjednoj Mađarskoj (MATTICK et al., 1988; POGÁCSÁS et al., 1988; SZENTGYÖRGYI & JUHÁSZ, 1988; JUHÁSZ, 1991). Istovremeno, a sa sličnom nakanom na osnovi istražnih radova (EXPLORATION CONSULTANTS LIMITED, 1989; VRBANAC 1989, 1996; SAFTIĆ, 1993; AVANIĆ et al., 1995; DRAGAŠ et al., 1995; LUČIĆ et al., 1995; IVKOVIĆ et al., 1996; IVKOVIĆ, 1998; JAMIČIĆ, 1996) dobivene su i osnovne smjernice razvoja našeg dijela Panonskog bazena. S obzirom na uočene sličnosti i podudarnosti, namjera ovog rada je da se primjenom seizmostratigrafske metode provede usporedna analiza Panonskog bazena sa područjem Savske depresije, a u svrhu procjene mogućnosti akumulacije nafte i plina u zamkama stratigrafskog tipa vezanim za gornjomiocenske naslage.

RETROGRADACIJSKA FAZA (R)

Retrogradacijska faza je na temelju seizmičkih i elektrokarotaznih karakteristika podijeljena u tri sekvencije: početnu (R_1), srednju (R_2) i završnu (R_3) fazu.

Početnu sekvenciju (R_1) čine paralelni, kontinuirani refleksi, jakih do vrlo slabih amplituda koji na starije naslage naliježu u diskordantnom odnosu. Podinska granica je obilježena pojavama erozije i "onlap" kontakta. Naime refleksi početne faze poput plahte prekrivaju starije erodirane naslage, pa su interpretirani kao posljedica jake subsidencije (transgresije) pri čemu su drenažni sistemi uvelike potisnuti podalje od rubova depresije. Pri tome je u taložnom smislu depresija bila gotovo gladna tako da se u to vrijeme (donji panon) jedino iz suspenzije odlazu male količine glinovitog materijala koji je u početku bio obogaćen s CaCO_3 nastalim precipitacijom iz vodenog stupca.

Srednju sekvenciju (R_2) u donjem dijelu obilježavaju paralelni, kontinuirani refleksi, slabih amplituda koji prema gore postupno prelaze u sve jače amplitude. Postupno pojačavanje kontrasta između amplituda je uzrokovano sve većim udjelom pješčenjaka u depresiji pri čemu su sve češće izmjene pješčenjaka i lapora. Prema bokovima depresije jasno se uočava vrlo jasno izražen "onlap" kontakt koji se objašnjava kao posljedica zapunjavanja dubljih dijelova depresije. Uz to u zoni "onlap-a" su amplitude refleksa slabije, što se objašnjava kao zona isklinjenja pješčenih tijela u kojoj se ponajviše talože finozrnati sedimenti (siltiti i gline). Ova faza je interpretirana kao progradacija turbiditnog taložnog sistema u morfološki najdublje dijelove depresije, a posljedica je približavanja deltnog sistema rubovima depresije pri čemu povremeno dolazi do nastanka

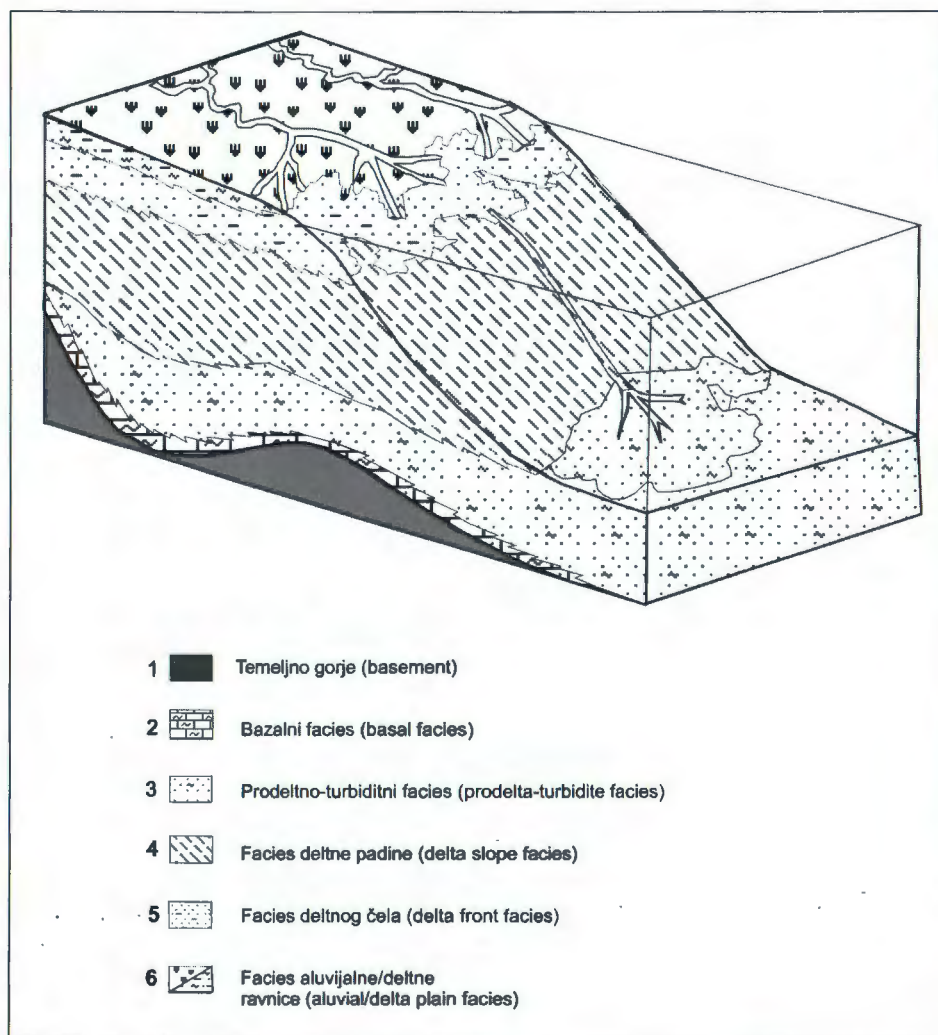
jakih podvodnih gravitacijskih tokova kojima su se prenosile veće količine krupnozmatijeg detritusa između uzvišenih dijelova depresije. Pri tome se u najdubljim dijelovima stvaraju podvodne lepeze kilometarskih dimenzija koje se međusobno nadograđuju imajući cijelo vrijeme približno isti depocentar. Stoga čitava sekvencija ima izgled jedinstvene velike leće s najdebljim dijelom u području depocentra te najtanjim dijelovima prema rubovima depresije. Ovakova morfologija upućuje na taloženje u uvjetima još uvijek naglašene subsidencije, što je omogućilo održavanje istog depocentra kroz duže vrijeme.

Završnu sekvenciju (R_3) obilježavaju refleksi slabijeg kontinuiteta, varijabilnih amplituda te brojna izdužena, bočno i vertikalno nadovezana lećasta tijela. Ova sekvencija je u cijelosti većeg prostornog rasprostranjenja od prethodne i dalje pokazuje "onlap" kontakte prema padinama depresije. Za razliku od prethodne sekvencije brojna lećasta tijela ukazuju na stvaranje i agradaciju podvodnih lepeza u uvjetima usporenog tonjenja, zaravnjenja i proširenja dna depresije, što je omogućilo stvaranje i pomicanje manjih depocentara po horizontali. U stvari, novonastale lepeze su uspjevale održati ispupčene morfološke forme, što je u zajedništvu s diferencijalnom kompakcijom utjecalo na njihovu izraženu lateralnu distribuciju. Osim toga zamjećeno je da gornji dijelovi sekvencije zadebljavaju prema sjeverozapadu u obliku klinoforme što ih čini vrlo sličnima prodeltnim turbiditnim sedimentima. Stoga zaključujemo da sekvencija R_3 predstavlja završni dio retrogradacijske faze za vrijeme koje su deltni sistemi sa sjeverozapada dopri do samog ruba depresije s čime započinje prijelomni trenutak u razvoju bazena kada brzina donosa materijala prevladava nad brzinom tonjenja depresije.

PROGRADACIJSKA FAZA (P)

Unutar progradacijske faze su također prepoznate tri sekvencije.

Donju sekvenciju (P_1) obilježavaju klinofornna tijela sa izraženom "toplap" i "downlap" konfiguracijom refleksa, koji po jakosti amplituda variraju od vrlo slabih do srednje jakih. U područjima sa slabije izraženim amplitudama prevladavaju glinoviti do siltozni sedimenti, dok su jače izraženi refleksi karakteristični za sedimente sa izmjenom pješčenjaka i lapora. Klinofornna tijela se nadovezuju jedna na druga iz smjera sjeverozapada prema jugoistoku i interpretirana su kao set progradirajućih dubljevodnih delti koje su većinom prenosile glinovito-siltni detritus. Jedino se u centralnom dijelu depresije zapažaju klinoforme s jače izraženim amplitudama, odnosno s povećanim udjelom pješčenjaka, a tokova anomalija je možda posljedica progradiranja delti iz smjera sjevera između Moslavačke gore i Psunja. No zbog slabije kvalitete seizmike u tom dijelu Savske depresije teško je odgonetnuti stvarni položaj



Sl. 1 Blok dijagram gornjomiocenskog i pliocenskog taložnog sistema.

Fig. 1 Block diagram of the Upper Miocene and Pliocene depositional system.

klinoformi. Ipak, na krajnjem jugoistoku depresije jasno se vidi progradacija deltnog sistema iz suprotnog smjera, približno istoka. Stoga je moguće očekivati da su u depresiju progradirale delte iz različitih smjerova (sjeverozapada, sjevera i istoka).

Srednja sekvencija (P_2) karakteristična je po pojavi paralelnih do subparalelnih refleksa varijabilnog kontinuiteta i jakosti amplituda. Na granici sa prethodnom sekvencijom često se javljaju "onlap" kontakti, a ponekad i manji erozijski kanali. Ponegdje se uočavaju i paralelni, kontinuirani refleksi s vrlo jakim amplitudama koji su interpretirani kao ugljenonosne naslage nastale u nekadašnjim močvarištima i tresetištima. Čitava sekvencija pokazuje obilježja agradacijskog do lagano progradacijskog taloženja u znatno oplićalom okolišu plitkih jezera, deltnih ravnica, močvarišta i ponekad fluvijalnih okoliša.

Gornja sekvencija (P_3) naliježe u vrlo blagom "onlap" ili većinom kontinuiranom odnosu na sekvenciju P_2 . Unutar sekvencije se razabiru slabi do jaki refleksi, uglavnom diskontinuirani, ponekad i valoviti što ukazuje na kontinuitet agradacije i lagane progradacije fluvijalno-deltnih taložnih sistema u depresiju, pri čemu sve

više dominiraju fluvijalni taložni sistemi koji su konačno i zapunili sve manji jezerski prostor u području nekadašnje depresije.

ZAKLJUČAK

Taložni razvitak Savske depresije tijekom gornjeg miocena i pliocena može se podijeliti u dvije glavne faze: retrogradacijsku i progradacijsku. Zapunjavanje depresije je objašnjeno progradiranjem većih deltnih sistema sa sjeverozapada, sjevera i istoka u depresiju, pri čemu se u početku taloženje odvija u dubokovodnom okolišu (izraženija subsidencija), a kasnije u plitkovodnom (naglašeniji donos materijala).

Retrogradacijska faza predstavlja razdoblje tijekom kojega je brzina donosa materijala u depresiju sporija od brzine njezinog tonjenja. U početku (donji panon) je tonjenje bilo intenzivnije pri čemu se iz suspenzije talože male količine gline obogaćene s CaCO_3 nastalim precipitacijom iz vodenog stupca. Nakon toga slijede dva značajna ciklusa znatnijeg unosa krupnozrnatijeg (pjeskovitog) materijala u depresiju. Tijekom prvog ciklusa (gornji panon) materijal se podvodnim gravi-

tacijskim tokovima vjerojatno periodično unosio u depresiju između njenih uzvišenih dijelova, pri čemu se depocentar održavao čitavo vrijeme na istom mjestu. Tijekom drugog ciklusa (pont) dolazi do usporavanja tonjenja tako da istaložene podvodne lepeze uspijevaju sačuvati morfološki pozitivne forme što omogućuje i njihovu vrlo izraženu lateralnu nadgradnju. Osim toga čini se da u u depresiju dopire sve više detritusa istaloženog direktnim pretaložavanjem s deltnog čela u prodeltni okoliš što ukazuje na približavanje delte samom rubu depresije pri čemu se odnos donos/tonjenje mijenja u korist vrlo naglašenog donosa. S time je obilježen početak progradacijske faze. U početku (pliocen) u depresiju prodiru dubokovodne delte pri čemu prevladavaju okoliši deltnog čela, deltne padine i prodelte, a kasnije (pliocen) uslijed oplicavanja nastaju plitkovodni okoliši s dominacijom okoliša deltne ravnice, močvarišta, rijeka i plitkog jezera. U završnoj fazi (pliocen-kvartar) najraširenijim postaje okoliš aluvijalne ravnice koji u potpunosti zapunjava i zaravnjuje nekadašnju depresiju.

LITERATURA

- AVANIĆ, R., PAVELIĆ, D. & KOVAČIĆ, M. (1995): Grada površinskih ekvivalenata formacija Ivanić-Grad, Kloštar Ivanić i Široko Polje.- Fond struč. dok. INA-NAFTAPLIN, Zagreb.
- BADLEY, M.E. (1985): Practical seismic interpretation.- International Human Resources Development Corporation, I-266.
- BALLY, A.W. (1988): Atlas of seismic stratigraphy.- AAPG Studies in Geology, 27, Vol. I & II.
- DRAGAŠ, M., PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., IVKOVIĆ, Ž., VELIĆ, J. & SAFTIĆ, B. (1995): Hydrocarbon distribution as the result of tectonic events in the Croatian part of the Pannonian Basin.- EAPG, 7th Conference and Technical Exhibition, Glasgow, Scotland.
- EXPLORATION CONSULTANTS LIMITED (1989): Pannonian Basin Phase 1, World Bank Project.- Fond struč. dok. INA-NAFTAPLIN, Zagreb.
- IVKOVIĆ, Ž. (1998): Razvitak Savske depresije u široj okolini Gojla tijekom mladog miocena.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 68 str.
- IVKOVIĆ, Ž., MATEJ, S. & ŠURIĆ, I. (1996): Contribution to the structural style identification in the area of Gojlo, Janja Lipa, Bujavica and Jamarica oil and gas fields, R. Croatia.- Nafta, 47, 55-63, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1996): The role of strike-slip faults in the formation of the structural fabric of the Slavonian Mts. (eastern Croatia).- Geologia Croatica, 48/2, 155-160.
- JUHÁSZ, Gy.K. (1991): Lithostratigraphical and sedimentological framework of the Pannonian (s.l.) sedimentary sequence in the Hungarian Plain (Alföld), Eastern Hungary.- Acta geologica Hungarica, 34, 53-72.
- LUČIĆ, D., KRIZMANIĆ, K. & DALIĆ, N. (1995): Lithofacies and sequence stratigraphy of Upper Miocene siliciclastic deposits in Okoli (Sava Depression, Croatia).- First Croatian Geological Congress Opatija, Proceedings, I, 57, Zagreb.
- MATTICK, R.E., PHILLIPS, R.L. & RUMPLER, J. (1988): Seismic stratigraphy and depositional framework of sedimentary rocks in the Pannonian Basin in southeastern Hungary.- U: The Pannonian Basin. AAPG Mem., 45, 117-146.
- POGÁCSÁS, GY., LAKATOS, L., ÚJSZÁSZI, K., VAKARCS, G., VÁRKONYI, L. & VÁRNAI P. (1988): Seismic facies, electrofacies and Neogene sequence chronology of the Pannonian basin.- Acta geologica Hungarica, 31, 175-207.
- SAFTIĆ, B. (1993) : Taložni sustav pješćanih rezervoara genetske sekvencije slojeva pješćenjaka Poljana u neogenskim naslagama polja Žutica.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 55 str.
- SELLEY, R.C. (1986): Subsurface facies analysis.- International Human Resources Development Corporation, 1-234.
- SZENTGYÖRGYI, K. & JUHÁSZ, Gy.K. (1988): Sedimentological characteristics of the Neogene sequences in SW Transdanubia, Hungary.- Acta geologica Hungarica, 31, 209-225.
- VAIL, P.R., MITCHUM, R.M., TODD, Jr.R., WIDMIER, J.M., THOMPSON, I., SANGER, J.B., BUBB, J.B. & HARTELD, W.G. (1977): Seismic stratigraphy and global changes of sea level.- U: PEYTON, C.E (ur.): Seismic Stratigraphy - Application to Hydrocarbon Exploration. AAPG Mem., 26, 49-205.
- VRBANAC, B. (1989) : Okoli pješćenjaci južnog dijela naftoplinonosne strukture Žutica.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 105 str.
- VRBANAC, B. (1996): Paleostrukturalne i sedimentološke analize gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić Grad u Savskoj depresiji.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 125 str.



Laramijski pokreti u području južnog dijela Panonskog bazena

The Laramian Movements in the Area of Southern Part of the Pannonian Basin

Domagoj JAMIČIĆ

Ključne riječi: tektonika, bore, rasjedi, laramijska faza, Panonski bazen.

Key words: Tectonics, Folds, Faults, Laramian phase, Pannonian basin.

Sažetak

Sadržaj rada je prikaz deformacijskih procesa koji su doveli do oblikovanja boranih struktura tijekom laramijske faze alpinske orogeneze, u paleozojskim i mezozojskim stijenama u prostoru južnog dijela Panonskog bazena. Naime, tijekom strukturno-tektonskih istraživanja u ovim stijenama ustanovljene su strukture pružanja sjever-jug nastale pod utjecajem kompresije na pravcu istok-zapad i s istočnom vergencijom boranih oblika. Prikazani su novi terenski podaci i nova interpretacija gornjokredne i postkredne evolucije hrvatskog dijela panonskog prostora. Ovi podaci daju važnu informaciju o strukturnom oblikovanju planina između Save i Drave.

Abstract

The summary of this work is the review of deformational processes, which brought to the formation of folded structures during Laramian phase of the Alpine Orogeny in Palaeozoic and Mesozoic rocks in southern part of Pannonian basin. Namely, during structural and tectonic researches in these rocks there were determined structures with axes striking approximately N-S, formed under the influence of the compression of E-W direction and with eastern vergence of the folded structural elements. Here are presented the new field data and new interpretation of Upper-Cretaceous and Post-Cretaceous evolution of the Croatian part of Pannonian basin. This data give important information on the structural formation between Sava and Drava rivers.

SADRŽAJ ISTRAŽIVANJA

Prostor između Save i Drave izgrađuju stijene u kojima su geološkim istraživanjima registrirani glavni tektonski događaji od prekambrija do kvartara (JAMIČIĆ, 1988, 1995). U predtercijarnim tvorevinama u ovom prostoru, u predpaleozojskim, paleozojskim i mezozojskim stijenama, zapažaju se borani oblici s pripadajućim planarnim strukturnim elementima, čije su osi bora približnog pružanja sjever-jug. Ove strukturne forme nastale su pri kraju mezozojskog sedimentacijskog ciklusa koji je završio postkrednim izdizanjem u vrijeme laramijske faze alpinske orogeneze. Predtercijarne stijene su u to vrijeme došle pod utjecaj lateralne kompresije na pravcu istok-zapad uz značajno tektonsko suženje prostora.

U području slavonskih planina laramijskim pokretima je stvoreno nekoliko plikativnih struktura. Tako, u zapadnom dijelu Papuka nalazimo složenu strukturu Kik-Petrov vrh (JAMIČIĆ, 1988, 1993) u okviru koje se javlja više bora metarskih i dekametarskih dimenzija pružanja sjever-jug, a čije protezanje se po pružanju može pratiti na udaljenosti od oko 15 km. Istočno krilo ove strukture je normalno položeno i borano u nekoliko

kosih antiklinalnih i sinklinalnih oblika (10-100 m širine) s istočnom vergencijom, dok je kod zapadnog krila utvrđeno da je prebačeno. Struktura je izgrađena iz paleozojskih metamorfita i stijena mezozoika. Permotrijski klastični sedimenti, koji diskordantno nalježu na metamorfite stijene, kontinuirano prelaze u klastični donji trijas. Kontinuitet sedimentacije se nastavlja u srednji i gornji trijas i juru. Na prijelazu u donju kedu karbonatna sedimentacija u području zapadnog Papuka prestaje. Snažne deformacije, uzrokovane gornjokredno-paleogenskom kompresijom na pravcu istok-zapad, izazvale su kroz taj dugi period u strukturi Kik-Petrov vrh borane oblike s istočnom vergencijom. Paralelno ovim procesima razvijaju se desni transkurentni rasjedi duž kojih dolazi do progradne rotacije stvorenih boranih struktura u širem području slavonskih planina. Tako, na primjer, kod ove strukture u njenom sjevernom dijelu (područje vrha Kik) zapažamo jako tektonsko suženje uz značajnu redukciju debljine trijaskih i jurskih naslaga. Južni su dijelovi (područje Sirača i dolina potoka Pakre) ostali sačuvani, iako borani, u svojoj pravoj debljini. Da su ovi tektonski oblici pružanja struktura sjever-jug nastali prije taloženja tercijara vidljivo je po tome što oni u neogenskim naslagama

nedostaju. Najmlađim tektonskim događanjima su, pod utjecajem djelovanja stresa na pravcu sjever-jug kada su deformirani miocenski i pliocenski sedimenti, zahvaćene i predneogenske stijene.

U Krndiji i Pšunju strukture nastale oblikovanjem tijekom laramijskih pokreta, iako su značajno prisutne, tijekom kasnijih su najmlađih deformacijskih događaja deformirane i zamaskirane. Tu se u paleozojskim i mezozojskim stijenama javljaju manje strukturne forme karakterizirane uglavnom koljeničastim borama pružanja sjever-jug. Značajnije prisustvo ovih oblika (koljeničastih bora) uvjetovano je odnosom pružanja planarnih elemenata (folijacije) prema orijentaciji stresa, tj. stres je djelovao paralelno s plohama diskontinuiteta (JAMIČIĆ, 1988). Međutim, javljaju se, iako rjeđe, i plikativni oblici većih dimenzija. Prateći rasjedi su uglavnom s desnim karakteristikama tektonskog transporta.

Na Požeškoj gori su kredne naslage također zahvaćene ovim pokretima (JAMIČIĆ et al., 1985). Ovdje nalazimo krupnoklastične sedimente koji kontinuirano prelaze preko pločastih vapnenaca u grebenske vapnenice santon-mastrihtske starosti kojima ovdje završava mezozojski ciklus. Zapažane strukture su također pružanja sjever-jug i s istočnom vergencijom, a slične strukturne oblike iste vergencije nalazimo u granitima i riolitima Požeške gore (JAMIČIĆ, 1995).

U granitskim i metamorfnim stijenama Moslavačke gore zapažaju se brojni rasjedni i pukotinski sustavi, s linearnim zapisima tektonskog transporta, koji su nastali pod utjecajem djelovanja stresa na pravcu istok-zapad. Prateći borani oblici u ovoj planini nisu ustanovljeni.

Za šire područje Medvednice vezano je nekoliko većih struktura nastalih tijekom laramijske faze alpinske orogeneze. Međutim, ovdje će biti vrlo kratko opisana samo struktura koja se javlja na krajnjem istoku ove planine, u kamenolomu Donje Orešje. Struktura je izgrađena iz gornjotrijaskih i senonskih sedimentata (POLŠAK, 1979) i može se pratiti okomito na os strukture, po fronti kamenoloma, u dužini od cca 400 metara na pravcu istok-zapad. Izgrađena je iz najmanje četiri prebaćene antiforme koje su međusobno povezane s isto tako prebaćenim sinformama. U krajnjem zapadnom dijelu strukture Orešje javlja se prebaćena antiklinala pružanja sjever-jug i istočne vergencije prisutnih strukturnih elemenata. Krovinsko krilo, visine cca 40 metara, nagnuto je pod kutem od 60-70° i približnog pružanja krednih slojeva sjever-jug. Osna ravnina je skoro horizontalna. Zapažaju se i manje sekundarne bore s oštrim tjemena. Dalje, u pravcu istoka, slijede dvije polegla antiklinala koje su dostupne promatranju na južnoj fronti kamenoloma. Izgrađene su iz slojeva senonskih vapnenih lapora debljine od 10 do 50 cm. Kretanja po klivažu osne ravnine su dovela do stvaranja r-tektonita koji svojim osima prate os makro strukture. Zapažaju se i sigmoidalna svijanja slojeva, uz blago položeni klivaž osne ravnine, koja su česta u podinskim

krilima tih prebaćenih antiklinala. Krajnji istok strukture Orešje izgrađuju gornjotrijaski vapnenci na kojima diskordantno leže gomjokredni grebenski biolititi. Ovaj paket sedimentata je također oblikovan u formi prebaćene antiklinala. Međutim, strukturni oblici koji su karakterizirali prethodne antiforme ovdje su rijetki zbog karaktera stijena (deblje uslojeni vapnenci) u kojima se javljaju. Uglavnom se zapažaju pukotinski sustavi paralelni osnoj ravnini i transkurentni rasjedi iz zone pod kutem na os strukture. Da su deformacije koje su oblikovale strukturu Orešje nastupile prije taloženja terciarnih sedimentata vidljivo je po prisutnim miocenskim sedimentima. Badenske naslage sadržavaju strukturne forme pružanja istok-zapad i transgresivno naliježu na već oblikovanu strukturu Orešje.

Na Kalniku i Ivanščici također dolaze tektonski elementi koji ukazuju na prisutnost deformacijskih procesa koji su se odvijali tijekom laramijske faze alpinske orogeneze. Iako ove planine nisu detaljno obrađivane sa strukturno-tektonskog gledišta, ipak se na temelju pregleda nekoliko lokacija može ustanoviti da su i ta područja bila podvrgnuta djelovanju stresa tijekom gornje krede, a prije taloženja neogenskih sedimentata.

ZAKLJUČAK

Ovaj kratak pregled podataka o nekim strukturama koje sudjeluju u izgradnji tektonskog sklopa pojedinih planina između Save i Drave, a oblikovanih predneogenskim tektonskim događanjima, ukazuje na značaj prisutnih deformacijskih procesa tijekom laramijskih pokreta u okviru alpinske orogeneze. Formirane strukture su pružanja sjever-jug sa svim karakteristikama njihovog oblikovanja po transpresijskom modelu. Desni rasjedi, pružanja sjeveroistok-jugozapad, doveli su do premještanja odvojenih blokova u smjeru sjeveroistoka i desne rotacije boranih strukturnih oblika. Desnu rotaciju i migraciju blokova je moguće povezati s početnim fazama oblikovanja i premještanja Karpatskog luka u smjeru istoka, sjeveroistoka te s tim u svezi i početkom otvaranja Panonskog bazena.

LITERATURA

- JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturni sklop slavonskih planina (sjeverni Pšunj, Papuk, Krndija).- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 152 str.
- JAMIČIĆ, D. (1993): Die Anwendung der β -Diagrame bei Überfalteten Strukturen.- Geol. Croatica, 46/2, 281-290.
- JAMIČIĆ, D. (1995): Tektonski događaji u južnom dijelu Panonskog područja (sjeverna Hrvatska): pregled i interpretacija.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 1, 215-218, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D., CRNKO, J., PRTOLJAN, B. & MATIČEC, D. (1985): Strukturni elementi laramijskih pokreta u području Sulkovca (Požeška gora).- Geol. vjesnik, 37, 149-154.
- POLŠAK, A. (1979): Stratigrafija i paleogeografija biolititnog kompleksa senona kod Donjeg Orešja (Medvednica, sjev. Hrvatska).- Acta geologica, 9/6, 195-231, Zagreb.



Osobitosti paleoflore lokaliteta Planina

Some Characteristics of Palaeoflora of the Planina Locality

Enio JUNGWIRTH¹ & Tamara ĐEREK²

Ključne riječi: paleobotanika, makroflora, Planina (SI Medvednica), otnang, paleoekologija.

Key words: Palaeobotany, Macroflora, Planina (NE Mt. Medvednica), Otnangian, Palaeoecology.

Sažetak

Proanalizirana fosilna flora Planine sastavljena je od ostataka lišća različitog stupnja obilnosti suptropskih porodica kao što su: Myricaceae, Lauraceae, Leguminosae, Pinaceae, primjeraka kserofilnih i kserotermnih vrsta, odnosno onih koje su naseljavale staništa uz vodeni bazen, suha staništa podalje od njega, a što je vrlo važno, i predstavnika umjerene klime, zatim fruktifikacijskih organa, ali i teško odredivih ostataka jednosupnica i dvosupnica. Svojim sastavom pokazuje odlike paleoflore donjeg miocena s obilježjima endemičnosti i reliktima paleogenske flore.

Abstract

Fossil flora from the locality of Planina (NE part of the Mt. Medvednica) in the vicinity of Zagreb was analysed. The palaeofloristic association is presented by the remains of leaves (different degree of abundance, a large variety of sch-rubs) of palaeotropical (subtropical) taxa, e.g. Myricaceae, Lauraceae, Leguminosae, Pinaceae, xerophyte and xerothermic elements, Dicotyledonae div. gen. et sp. indet., Monocotyledonae div. gen. et sp. indet., fructifications and what is the most important - some Arcto-Tertiary samples, deposited in the fresh-water sediments. The composition of fossil flora shows an typical Lower Miocene assemblage with some Paleogene relicts. A share of thermophilous (e. g. Lauraceae) elements attests to a subtropical climate with variable precipitation. The absence of a woody swamp forest and aquatic plants is evident.

UVOD

Naslage jugoistočnih padina Zagrebačke gore oko lokaliteta Planine prikazao je GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1908a, b) uvrstivši ih u gornji oligocen. Te su naslage izdvojene na listu Ivanić Grad (BASCH, 1983), zatim se i podrobnije opisuju (PAVELIĆ, et al., 1999). Na temelju fosilnih mekušaca (PAUL, 1872) i fosilne flore (POLIĆ, 1935) uvrstavaju se u gornji oligocen i uspoređuju s tzv. "Socka-naslagama". ANIĆ (1959) pak smatra da je, premda paleoflora pripada gornjem oligocenu, njezina uporaba zbog malog broja vrsta nedostatna. Slatkovodne naslage Medvednice uvrstavaju se na osnovi ostrakoda u oligocen (MULDINI-MAMUŽIĆ, 1965). Na temelju haraceja (ŠIKIĆ, 1968), kongerija (KOCHANSKY-DEVIDÉ & SLIŠKOVIĆ, 1978) i novih nalaza fosilne makroflora (Đerek, 1985; Grganić, 1995 - nije tiskano) naslage Planine uvrštene su u otnang. Potrebno je također naglasiti

problem granice slatkovodnih naslaga ovog područja i upitnost njihova stratigrafskog položaja (KRANJEC et al., 1973).

OSOBINE PALEOFLORE

Proanalizirana fosilna flora Planine (tablica 1) temelji se na kolekcijama koje su prikupljene tijekom ranijih tematskih istraživanja (POLIĆ, 1935; Đerek, 1985; Grganić, 1995). Brojčano je najzastupljenije lišće vrsta koje pripadaju porodicama Myricaceae (36 primjeraka), Lauraceae (35 primjeraka) i Leguminosae (28 primjeraka); slijede kserofilne i kserotermne vrste (26 primjeraka), Pinaceae (18 primjeraka) i arktotercijarni oblici (11 primjeraka). Međutim, valja istaknuti različitu abundanciju pojedinih vrsta i vrlo mali broj različitih vrsta nekog roda. Velikim brojem primjeraka iste vrste ističu se *Myrica lignitum* UNGER, *Daphnogene bilinica* (UNGER) KNOBLOCH et KVAČEK, *Pinus taedaeformis*

¹Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Uprava za obrambenu politiku, Ilica 242, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

DETERMINIRANE VRSTE	Socketa 1	Promina 2	Zagorje 3	Planina 4	Radoboj 5	Sused 6
GYMNOSPERMAE (golosjemenjače) Monocotyledoneae (jednosupnice)						
Red Pinales por. Pinaceae						
1. <i>P. hepios</i> (UNGER) HEER			▲	▲		▲
2. <i>P. hampeana</i> UNGER				▲		
3. <i>Pinus</i> sp. div. (= <i>P. cf. laricio</i> POIRET)				▲	▲	
4. <i>P. taedaeformis</i> (UNGER) HEER			▲	▲		▲
ANGIOSPERMAE (kritisjemenjače) Dicotyledoneae (dvosupnice)						
Red Magnoliales por. Lauraceae						
5. <i>Daphnogene bilinica</i> (UNGER) KNOBLOCH et KVAČEK	▲	▲	▲	▲	▲	▲
6. <i>Daphnogene cinnamomifolia</i> (BRONG.) UNGER (= <i>D. lanceolata</i> (UNGER) HEER) (= <i>Cinnamomum rössmaessleri</i> HEER)	▲	▲	▲	▲		
7. <i>D. polymorpha</i> (AL. BRAUN) ETTINGSHAUSEN (= <i>Cinnamomum lanceolatum</i> UNGER sp.) (= <i>Cinnamomum polymorphus</i> AL. BRAUN) (= <i>Cinnamomum scheuchzeri</i> HEER)	▲	▲	▲	▲		
8. <i>Laurophyllum cf. pseudoprioniceps</i> WEYLAND et KILPPER (= <i>Laurus primigenia</i> UNGER)	▲		▲	▲		▲
9. <i>Laurophyllum princeps</i> (HEER) KRÄUSEL et WEYLAND (= <i>Laurus princeps</i> HEER) (= <i>Persea princeps</i> HEER)			▲	▲	▲	▲
Red Fagales por. Fagaceae						
10. <i>Castanea atavia</i> UNGER	▲		▲	▲		▲
11. <i>Eotrigonobalanus furcinervis</i> (ROSSM.) KVAČEK et WALTHER (= " <i>Dryophyllum</i> " <i>furcinerve</i> (ROSSM.) SCHMALHAUSEN) (= <i>Castanopsis furcinervis</i> (ROSSM.) KRÄUSEL et WEYLAND) (= <i>Quercus lonchitis</i> UNGER) (= <i>Q. cf. mediterranea</i> UNGER)	▲		▲	▲	▲	▲
12. <i>Fagus pristina</i> SAPORTA			?	▲	?	▲
Red Fagales por. Betulaceae (Corylaceae)						
13. <i>Alnus julianaeformis</i> (STERNBERG) KVAČEK et HOLY				▲		
14. <i>A. kefersteini</i> (GÖPPERT) UNGER			▲	▲	▲	
15. <i>Betula prisca</i> ETTINGSHAUSEN			▲	▲	▲	▲
Red Urticales por. Ulmaceae						
16. <i>Craigia bronii</i> (UNGER) KVAČEK, BŪŽEK et MANCHESTER (= <i>Ulmus longifolia</i> UNGER) (= <i>Ulmus bronii</i> UNGER)			▲	▲	▲	▲
Red Myricales por. Myricaceae						
17. <i>Comptonia acutiloba</i> BRONGNIART				▲		
18. <i>M. hakaefolia</i> UNGER	▲	▲		▲		
19. <i>M. lignitum</i> UNGER (= <i>Myrica banksiaefolia</i> UNGER) (= <i>M. haeringiana</i> UNGER)	▲	▲	▲	▲		▲
20. <i>M. salicina</i> UNGER			▲	▲	▲	▲
Red Juglandales por. Juglandaceae						
21. <i>Cyclocaria cyclocarpa</i> (SCHLECHTENDAL) KNOBLOCH				▲		
22. " <i>Juglans acuminata</i> " (AL. BRAUN) HEINKE	▲		▲	▲		▲
23. <i>Engelhardtia macroptera</i> (BRONGNIART) UNGER	▲	▲	▲	▲	▲	▲
(= <i>Carpinus macroptera</i> BRONGNIART) (= <i>Engelhardtia brongniarti</i> SAPORTA)						

24. <i>Engelhardtia orsbergensis</i> (WESSEL et WEBER) JÄNISCHEM, MAI et WALTHER (= <i>Bumelia minor</i> UNGER)	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Red Fabales (Leguminosae) por. Mimosaceae						
25. " <i>Acacia</i> " <i>hoernesii</i> PILAR			?	?		▲
26. " <i>Acacia</i> " <i>proserpinae</i> ETTINGSHAUSEN				▲		
27. " <i>Mimosites</i> " <i>haeringianus</i> ETTINGS.			▲	▲		
Red Fabales (Leguminosae) por. Caesalpiniaceae						
28. " <i>Caesalpinia</i> " <i>norica</i> UNGER	▲			▲		
29. <i>Podocarpium podocarpum</i> (AL. BRAUN) HERENDEEN (= <i>Cassia lignitum</i> UNGER) (= <i>C. ambigua</i> UNGER) (= <i>Podogonium knorri</i> HEER)	▲	▲	▲	▲		▲
30. " <i>C.</i> " <i>phaseolites</i> UNGER	▲	▲	▲	▲	?	▲
31. <i>Leguminosites proserpinae</i> ETTINGS.				▲		
32. <i>Podogonium lyellianum</i> HEER			▲	▲		
Red Fabales (Leguminosae) por. Fabaceae (Papilionaceae)						
33. <i>Palaeolobium haeringianum</i> UNGER				▲		
34. <i>Phaseolites microphyllus</i> UNGER			▲	▲		
35. " <i>Sophora</i> " <i>europaea</i> UNGER	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Red Myrtales por. Myrtaceae						
36. <i>Eucalyptus oceanica</i> UNGER	▲	▲	▲	▲	▲	
37. <i>Eugenia apollinis</i> UNGER	▲	▲	▲	▲		
Red Rutales por. Simaroubaceae						
38. <i>Ailantus confucii</i> UNGER	?	▲		▲	▲	▲
Red Sapindales por. Aceraceae						
39. <i>Acer tricuspidatum</i> BRONN (= <i>A. trilobatum</i> STERNBERG)				▲	▲	?
40. <i>A. rüminianum</i> HEER				▲	▲	
Red Malpighiales por. Malpighiaceae						
41. <i>Malpighiastrum byrsoniaefolium</i> UNGER	▲		▲	▲	▲	
Red Celastrales por. Celastraceae						
42. <i>Celastrus aeoli</i> ETTINGSHAUSEN			▲	▲		▲
43. <i>C. cassinefolius</i> UNGER				▲		▲
44. " <i>C.</i> " <i>ettingshauseni</i> HEER				▲		
45. <i>C. europaeus</i> UNGER			▲	▲	▲	
46. <i>C. oreophyllus</i> UNGER	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Red Rhamnales por. Rhamnaceae						
47. <i>Zizyphus paradisiaca</i> (UNGER) HEER (= <i>Daphnogene paradisiaca</i> UNGER)	▲		▲	▲	▲	▲
Red Proteales por. Proteaceae						
48. " <i>Banksia</i> " <i>longifolia</i> (UNGER) ETTINGS. (= <i>Myrica longifolia</i> UNGER)	▲	▲	▲	▲		
Red Ericales (Bicornes) por. Ericaceae						
49. " <i>Andromeda</i> " <i>protogaea</i> UNGER	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Red Ebenales por. Ebenaceae						
51. <i>Diospyros myosotis</i> UNGER	▲			▲		
Red Ebenales por. Sapotaceae						
52. <i>Chrysophyllum sagorianum</i> ETTINGS.			▲	▲		
Red Gentiales por. Asclepiadaceae						
53. <i>Asclepiophyllum podalyrii</i> (UNGER) BERGER				▲	▲	
Red Caryophyllales por. Nyctaginaceae						
54. <i>Pisonia eocenica</i> ETTINGSHAUSEN	▲	▲	▲	▲		

Tablica 1 Popis paleoflore Planine u usporedbi vrsta s nekim susjednim tercijarnim lokalitetima. Rabljeni su podaci iz PILAR (1883), POLIĆ (1935), kao i nepublikiranih radova Đerek, 1985, Grganić, 1995, i Jungwirth, 1999. Pod oznakom Planina podrazumijevaju se nalazi sa lokaliteta Donja i Gornja Planina. Lokaliteti Socka (1 - sr. eocen-g. eocen), Promina (2 - g. eocen-d. oligocen), Zagorje o/S (3 - d. oligocen), Radoboj (5 - sarmat) i Sused (6 - sarmat) uzeti su radi usporedbe sastava paleoflore s lokalitetom Planina (4 - otnang).

Table 1 Listing of the Planina fossil flora in comparison with some neighboring localities. Data from PILAR (1884), POLIĆ (1935), as well as not published data by Đerek, 1985, Grganić, 1995, and Jungwirth, 1999. Designation Planina comprise findings from Donja and Gornja Planina localities. Localities Socka (1 - Middle Eocene - Upper Eocene), Promina (2 - Upper Eocene - Lower Oligocene), Zagorje o/S (3 - Lower Oligocene), Radoboj (5 - Sarmatian) and Sused (6 - Sarmatian) are presented for a possibility of comparison of their palaeofloral content with the palaeoflora of the Planina locality (4 - Otnangian).

(UNGER) HEER, "*Banksia*" *longifolia* (UNGER) ETTINGSHAUSEN, *Zizyphus paradisiacus* UNGER (problematična odredba jer se izgledom približuje rodu *Daphnogene*, posebice kada nije uočljiv nazubljeni rub plojke), neodredivo lišće leguminoznoga tipa.

Osim biljnog detritusa i različitih ostataka lišća (vegetativni organi) utvrđeni su i fruktifikacijski organi (češer, rese, sjemenje, plodovi) koji pripadaju vrstama *Pinus hepios* (UNGER) HEER, *P. hampeana* UNGER, *Pinus* sp. div. (= *P. cf. laricio* POIRET), *Acer tricuspidatum* BRONN, *Engelhardtia macroptera*, *Ailanthus confucii* UNGER, *Dyospiros myosotis* UNGER, *Fructus* indet., te neodredivi ostatci jednosupnica i dvosupnica.

Listovi "*Caesalpinia*", "*Cassia*", "*Mimosites*", *Celastrus*, *Engelhardtia* i *Zizyphus* pripadaju leptofilno-nanofilnim tipovima (površina plojke <0,25 cm² do 2,25 cm²), dočim prevladavaju "*Andromedae*", "*Banksia*", *Chrysophyllum*, *Comptonia*, *Daphnogene*, "*Laurus*", *Eotrigonobalanus*, *Eucalyptus*, *Eugenia*, "*Mimosites*", *Myrica*, "*Sophora*" s pretežito mikrofilnim (površina 2,25 do 20,25 cm²) tipovima listova.

U sastavu paleoflore jasno je uočen izostanak mnogih predstavnika toplih i vlažnih staništa evidentnih u susjednim područjima s donjomiocenskom florom, npr. *Taxodium dubium* (STERNBERG) HEER, *Glyptostrobus europaeus* (BRONGNIART) UNGER, *Tetraclinis salicornioides* (UNGER) KVAČEK (MIHAJLOVIĆ 1978, 1980, 1996-97; PANTIĆ et al., 1977). S druge pak strane nedostaju i palme kao i taksoni koji su osebujni za kraj paleogena (*Doliostribus taxiformis* (STERNBERG) KVAČEK, rodovi "*Ephedrites*", "*Ficus*", *Podocarpus*, *Terminalia*, *Sterculia labrusca* UNGER) ili se u donjem miocenu već pojavljuju rjeđe (*Athrotaxis couttsiae* (HEER) GARTNER, ? *Sequoia abietina* (BRONGNIART) KNOBLOCH). Oblici kao što su *Daphnogene cinnamomifolia* (BRONGNIART) UNGER (= *C. lanceolata* (UNGER) HEER), *Eotrigonobalanus furcinervis* (ROSSMÄSSLER) KVAČEK et WALTHER predstavljaju paleogenske relikte. I predstavnici leguminoza koji se pojavljuju u sastavu paleoflore Planine, tj. veći dio pripadnika porodice Caesalpiniaceae, optimalno se razvijaju tijekom eocena i završavaju u oligocenu. Zatim nedostaju pripadnici akvatičnih biljaka i nižih biljaka vlažnih staništa, predstavnika kišnih šuma, prosušenih močvara, odnosno svih taksoni osebujni za paleogensku floru. Kako je već istaknuto, utvrđeni su i predstavnici umjerene arktotercijarne (turgajske) klime *Alnus*, *Betula*, *Castanea*, *Ulmus*, koji se skromno, u svazi s općim "zahlađenjem", pojavljuju tek od oligocena.

RASPRAVA

Do sada determinirana fosilna flora lokaliteta Planine poradi maloga broja utvrđenih vrsta, nedostatna je za potpunije određivanje osobitosti flore, znakovitije biostratigrafske zaključke i preciznije određivanje starosti. Unatoč tome moguće je istaknuti neke osobine koje ukazuju na posebnost njihova sadržaja.

Sukladno najnovijoj podjeli europskih bioprovincijskih (MAI, 1995), fosilna flora Planine pripada *transeuropskoj Paratetis-bioprovinciji*, dočim je fosilna biljna zajednica najbliža laurofilnoj suptropskoj flori *florističkog kompleksa Ipolytarnóc-Luzern* (otnang u sjevernoj Mađarskoj i "helvet" Luzerna). Također valja naglasiti da bismo je sukladno pripadnicima laurofilne flore i paleogenskih relikata još uvijek mogli približiti *florističkom kompleksu Eger-Hausham* (hat). Koncem oligocena u području švicarske molase evidentno iščezavaju palme i pripadnici porodice Taxodiaceae (vlažno stanište), a sukladno pojavi dužih suhih razdoblja pojavljuju se leguminoze i raste učešće lovorika (BERGER, 1990 - iz MAI, 1995). Sličnost u sastavu fosilne flore Planine s florističkim kompleksom Ipolytarnóc ogleda se u ovim zajedničkim vrstama: sunčani tip lista *Daphnogene bilinica*, sciofitni tip lista (list sjene) *Daphnogene polymorpha* (AL. BRAUN) ETTINGSHAUSEN, *D. cinnamomifolia* (BRONGNIART) UNGER, *Laurophyllum princeps* (HEER) KRÄUSEL et WEYLAND, *L. cf. pseudoprinceps* WEYLAND et KILLPER, *Eotrigonobalanus furcinervis*, *Cyclocaria cyclocarpa* (SCHLECHTENDAL) KNOBLOCH.

Na temelju ukupnog, a različito zastupljenog paleobotaničkog inventara izdvajaju se dvije flore različitih odlika. Prva je paleotropska (poltavska) paleoflora G. Planine, a druga paleotropska paleoflora s elementima umjerene klime D. Planine. Očito je riječ o naslagama različitih horizonata, odnosno starosti. Sukladno osobinama paleogenskih i miocenskih flora, a koje su odraz klimatskih promjena na granici oligocen - miocen, fosilna flora D. Planine bila bi starija i izgledom u logičkom slijedu s gornjooligocenskom. Paleoflora G. Planine je nastavak migracija suhe vegetacije savansko-stepskog tipa (PANTIĆ, 1986) koja ima optimum u srednjem miocenu. Ukupno gledajući paleoflorističku zajednicu Planine, možemo izdvojiti tri jasno istaknute skupine biljaka. Prvu čine grmoliki predstavnici *Laurus-Myrica-Eotrigonobalanus* šuma, podređeno s predstavnicima umjerene klime, koji su čini se u obliku uskih zona nastanjivali obode plitkog nestalnog vodenog bazena, predstavnici suhih staništa s leguminoznim tipom lišća (duža sezonska kolebanja u količini vlage - duži sušni intervali) sa smanjenom količinom vlažnosti u podlozi i u zraku koji su nastanjivali šire zone, te topografski izdignutija mjesta sa zajednicom *Pinus-Castanea*. Reliktne predstavnici sugeriraju na zaključak o postojanju izoliranog tipa vegetacije uvjetovane udaljenošću morske obalne crte, što znači unutrašnjost tadašnjega kopnenog prostora.

LITERATURA

- ANIĆ, D. (1959): Karakter flora i klime tercijara na području FNRJ.- Geol. vjesnik, 12, 191-204, Zagreb.
- AVANIĆ, A., PAVELIĆ, D., VRSALJKO, D., ŠIMUNIĆ, A., MIKUNIĆ, M., HAJEK-TADESSE, V. & JERINIĆ, G. (1995): Otnanski klastiti Planine.- U: ŠIKIĆ, K. (ur.): Geološki vodič Medvednice. Inst. Za geol. istraž. & INA, 164-168, Zagreb.

- BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Ivanić Grad L-33-81.- Inst. Za geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd, 66 str.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908a): Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske - Slavonije. Zagreb (Zone 22, col. XIV).- Izd. Geol. povj. u Zagrebu, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908b): Geologijska prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske - Slavonije. Tumač geologijskoj karti Zagreb (Zona 22, col XIV).- Nakl. Kralj. zemalj. vlade, Odjel za unutar. poslove, II+75, Zagreb.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & SLIŠKOVIĆ, T. (1978): Miocenske kongerije Hrvatske, Bosne i Hercegovine.- *Palaeont. Jugosl.*, 19, 1-98, Zagreb.
- KRANJEC, V., HERNITZ, Z. & PRELOGOVIĆ, E. (1973): Prilog poznavanju tercijskih naslaga Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska).- *Geol. vjesnik*, 25, 65-100, Zagreb.
- MAI, D.H. (1995): Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas.- Gustav Fischer Verlag, Jena-Stuttgart-New York, 640 str.
- MIHAJLOVIĆ, Đ. (1978): Fosilna flora iz sela Vukovića (okolina Golupca).- *Geol. anali Balk. poluostrv.*, 42, 447-454, Beograd.
- MIHAJLOVIĆ, Đ. (1980): Miocenska flora iz belih laporaca Jančića (Dobrinjsko-ježevički basen).- *Zapisnik Srp. geol. društva za 1979. god.*, 159-164, Beograd.
- MIHAJLOVIĆ, Đ. (1996-97): Two fossil floras from Fruška gora Mt. and their significance for stratigraphy of terrigenous-lacustrine deposits.- *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 37, 75-81, Athenes.
- MULDINI-MAMUŽIĆ, S. (1965): Rezultati mikrofaunističkog istraživanja oligocenskih i miocenskih naslaga Panonske kotline.- *Acta geologica*, 35, 289-312, Zagreb.
- PANTIĆ, N. (1986): Globalne promene klime u tercijsaru. Paleofitogeografija i usavršavanje fitostratigrafskih korelacija.- 11. Kongres geol. Jugosl., 2, 25-33, Tara.
- PANTIĆ, N., JANKOVIĆ, P & ŠEĆEROV, P. (1977): Terigeno-jezerske naslage starijeg miocena Bačke i Srema.- *Zbornik radova III godišnjeg skupa Znanstvenog savjeta za naftu JAZU, Sekcija za primijenjenu geologiju, geofiziku i geokemiju*, II, 455-475, Zagreb.
- PAUL, C.M. (1872): Die Kohlenablagerungen bei Agram und Brod.- *Geol. Reichsanst.*, 6, 119-121, Wien.
- PAVELIĆ, D., AVANIĆ, R. & ZUPANIĆ, J. (1999): Tectonic controls on lacustrine sedimentation on Mt. Medvednica (Otnangian, Pannonian Basin System, North Croatia).- U: CLEMMENSEN, L. (ur.): 19th Regional European meeting of sedimentology, Abstracts, 190, Copenhagen.
- POLIĆ, A. (1935): O oligocenu i njegovoj flori kod Planine u Zagrebačkoj gori.- *Rad Jugosl. akad. znan. umjetn.*, 251, 61-90, Zagreb.
- ŠIKIĆ, L. (1968): Stratigrafija miocena sjeveroistočnog dijela Medvednice na osnovu fauna foraminifera.- *Geol. vjesnik*, 21, 213-226, Zagreb.





Pojava visokospecijaliziranih oblika nekih gastropoda u miocenskim slatkovodnim naslagama Crvenoga Klanca, Sinjsko polje, Hrvatska

The Appearance of Highly-Specialized Gastropods in the Miocene Freshwater Deposits at the Locality of Crveni Klanac, the Polje of Sinj, Croatia

Zlata JURISIĆ-POLŠAK, Jeronim BULIĆ & Hrvoje POSILOVIĆ

Ključne riječi: slatkovodni gastropodi, heterochronija, miocen, Sinjsko polje, Hrvatska.

Key words: Freshwater gastropods, Heterochrony, Miocene, the Polje of Sinj, Croatia.

Sažetak

U slatkovodnim miocenskim naslagama na lokalitetu Crveni Klanac može se pratiti razvoj i zatvaranje jedne visokospecijalizirane ekološke niše. Stresna promjena okoliša, uzrokovana smanjivanjem i opličavanjem jezera i pretvaranjem jezera u močvarnu sredinu, izazvala je porast varijabilnosti i postanak visokospecijaliziranih oblika melanopsida i teodoksusa, čija je zajednička karakteristika izduživanje kućica. Na melanopsidima se mogu pratiti alometrijske promjene, koje ukazuju na pojavu heterokronije.

Abstract

In the freshwater Miocene deposits at the locality of Crveni Klanac it is possible to follow the development and closure of a highly specialized ecological niche. The high-stressed environmental change, caused by diminishing and shallowing of the lake and its transforming into swamp environment provoked the increase of form varieties and rapid appearance of the highly-specialized specimens of some melanopsids and neritids of the genus *Theodoxus*, both characterized by elongated shells. The allometric changes indicating heterochrony could be traced on the melanopsid specimens.

1. UVOD

Na južnom rubu Sinjskog polja, blizu Trilja, nalazi se udolina Strmen Dolac, u čijem su zapadnom dijelu, ispod zaseoka Čovići, izdanci neogenskog lapora. Najbliže tim izdancima nalazi se lokalitet Crveni Klanac (sl. 1), nazvan tako zbog pojave boksita. Prve fosile iz Crvenoga Klanca prikupio je pok. Ante Šušnjara. Ekipe Geološko-paleontološkog odjela Hrvatskoga prirodoslovnog muzeja (Krešimir Sakač, Jakov Radovčić, Katarina Krizmanić, Tamara Đerek, Radovan Filjak i autori ovoga rada), kasnije je radila u tom području i prikupljala fosile u nekoliko navrata.

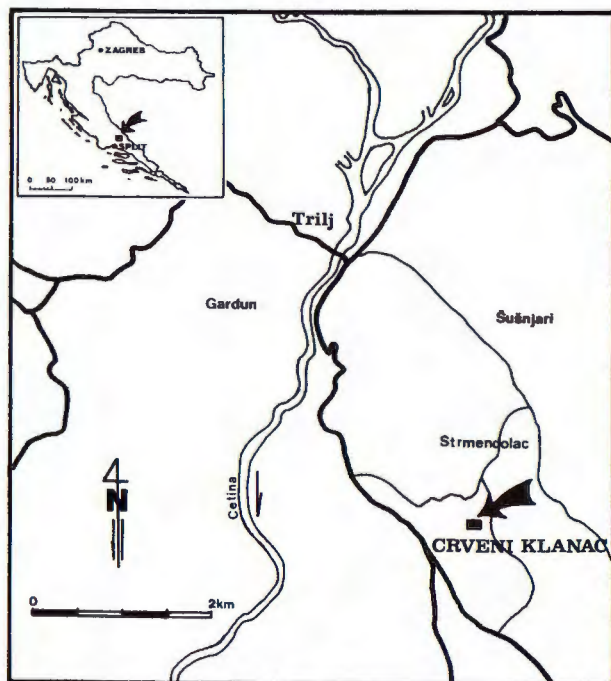
2. GEOLOŠKA PODLOGA I BIOSTRATIGRAFIJA

Miocenska sekvencija okolice Sinja (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1988) podijeljena je u tri litološke jedinice: bazalne naslage (¹M), vapnovite lapore i glinovite vapence (²M) i ugljenosne naslage (³M).

Istočni, južni i zapadni rub udoline Strmen Dolac izgrađuju vapnenci gornje krede. Središnji dio udoline leži na miocenskim laporima, koji na više mjesta izdaju kroz tanki aluvijalni nanos i humusni pokrivač. U sjeveroistočnom dijelu te zavale nađeni su izdanci "laporovitih naslaga", kao i gline s faunom, koji prema navedenim autorima pripadaju tzv. starijim ugljenosnim naslagama (¹M). Tu pripadaju i naslage iz bušotine NS-4 (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1988), koje izgrađuju vapnoviti lapori s tankim lećama ugljena i proslojcima pješčenjaka. Njihova debljina iznosi preko 110 m (sl. 2, stup A).

Nalazište gastropoda u Crvenom Klanacu (sl. 2, stup B) prema toj podjeli pripada lokalnom facijesu tih istih starijih ugljenosnih naslaga (¹M), koji je predstavljen laporima s kongerijama, a također sadrži proslojke ugljena. U tim naslagama dolazi *Congerina drvarensis* (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1988). Ovom su prilikom nađene i određene samo sitnije vrste kongerija: *Congerina jadrovi* i *C. nitida*.

Na sjevernom rubu Strmendolačke zavale starije ugljenosne naslage prelaze u vapnovite lapore i gli-



Sl. 1 Položaj nalazišta miocenskih gastropoda u Crvenome Klanacu.

Fig. 1 Location map of the Miocene gastropods sites in Crveni Klanac.

novite vapnence s harama i ostrakodima (2M). Na tim naslagama izravno leže (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1988) pleistocenski fluvio-glacijalni konglomerati. Međutim, prilikom naših istraživanja pronađen je na Gardunu i u Čaporicama kod Trilja, kao i istočno od zaseoka Čovići u neposrednoj blizini Crvenoga Klanca kontinuirani prijelaz iz neogenskih naslaga lapora u pješčenjake i gline, pa krupnije zmate pješčenjake i na kraju konglomerate s proslojcima lapora, u kojima su nađene pretložene eocenske foraminifere. Starost konglomerata time nije određena, ali kontinuirani prijelaz iz neogenskih naslaga u naslage konglomerata, iako naravno nije svuda vidljiv, ukazuje na mogućnost da su konglomerati kao završni član sedimentacije u ovom bazenu bitno stariji nego što se dosada smatralo. Slična situacija je ustanovljena i na Biloj Glavici blizu Trilja, ali tu su naslage konglomerata na vrhu samo u tragovima, jer su erodirane.

Novi oblici gastropoda nađeni su na lokalitetu blizu Crvenoga Klanca. Tu se na maloj površini nalazi slijed laporovitih naslaga, koji je djelomično pokriven, a u kojem su ustanovljena tri fosiliferna nivoa:

- 1) Sivi fosiliferni, bituminozni lapor, mjestimice pjeskovit ili glinovit. Pojedini dijelovi izdanka sadrže ugljevit umetke. Ugljen, a posebno pirit kojeg ima u ugljenu, ukazuje na reduktivnu sredinu taloženja. Bioturbacije, zatim sploštene, jako oštećene i deformirane kućice puževa *Theodoxus (Neritaea) sinjanus*, te *Melanopsis visinianus* svjedoče o sredini s mnoštvom predatora kojima su ti puževi bili hrana.
- 2) Glavni fosiliferni sloj sivih vapnovitih do pjeskovitih lapora s lećama ugljena i zelenosivih bentonit-

skih gline. U bentonitu su česti primjerci velikih limneja i origocerasi. Na njima slijede veoma fosiliferni lapori u kojima dominiraju izduženi primjerci vrste *Melanopsis cf. visinianus*, a znatno je manje koničnih primjeraka vrste *Theodoxus (Neritaea) cf. sinjanus*.

- 3) Sivi pjeskoviti lapor, mjestimično bituminozan do ugljevit, tamnije boje i škrljavo izgleda, limonitiziran. Najčešći fosili su izdužene kućice melanopsida sa zubićem na kolumelarnoj površini, tzv. boiste-lija, te konične kućice vrste *Theodoxus (Neritaea) cf. sinjanus*. Nalaz primjerka vrste *Pseudancylus illyricus* govori o blizini riječnoga toka.

Zbog pokrivenosti nije ustanovljena krovina tih naslaga.

3. VISOKOSPECIJALIZIRANI OBLICI GASTROPODA

Theodoxus (Neritaea) cf. sinjanus (BRUSINA) - konični oblik (tab. 1, sl. 1-8)

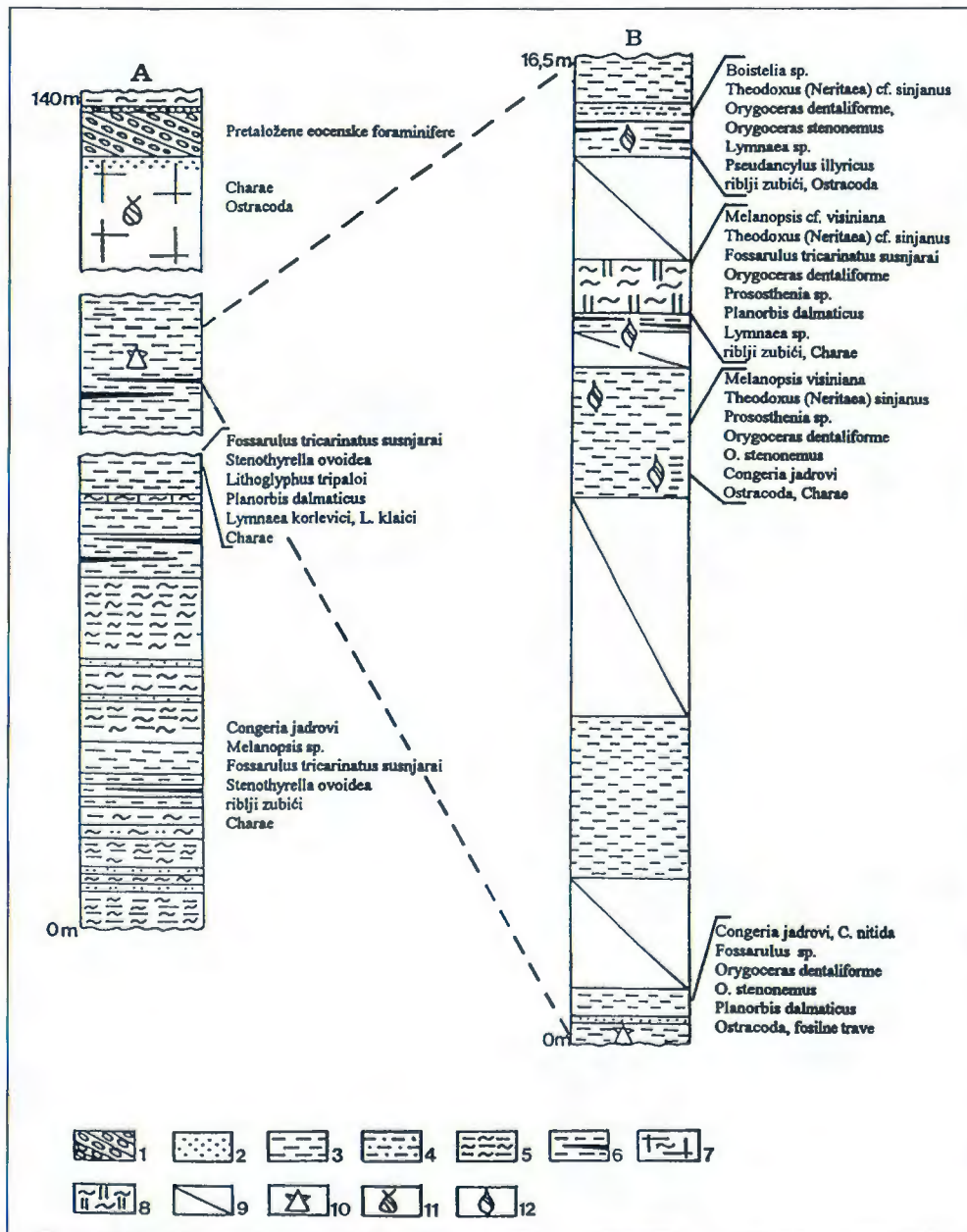
Nađeno je 5 potpuno i 90 fragmentarno sačuvanih primjeraka. Kućica se sastoji od 3 zavoja. Oblik kućice običnog teodoksusa vrste *Theodoxus (Neritaea) sinjanus*, koji je nađen u podinskom sloju, potpuno se je izmijenio u oblik nepravilnog stošca ili konusa. Kućica se izdužila, a pogotovo zadnji zavoj, pa je od jajolikog oblika sa zaobljenim stranama nastao tornjasti oblik s udubljenim stranama. Ušće, učvršćeno debelim naslagama kalusa, proširilo se i čak zavinulo prema van kao obod šeširica. Os uvijanja je odebllanjem naslaga kalusa i izduživanjem kućice pomaknuta za gotovo 90°, od subparalelne s ravninom na kojoj stoji, do gotovo okomite na nju.

Promjena ishodišnog oblika vrste *Theodoxus (Neritaea) sinjanus* iz podine u konični oblik zbila se brzo i nisu nađeni prijelazni oblici. Ali nađeno je samo 5 potpuno sačuvanih cijelih kućica, a na brojnim drugim fragmentarno sačuvanim primjercima vidi se dobro samo veoma kalozno i kao šeširic izvijeno ušće i veoma malo od zadnjeg zavoja. Ako se nađe više sačuvanih cijelih primjeraka možda će se moći govoriti o većoj varijabilnosti, postupnom razvoju ili pak o više prijelaznih oblika.

Melanopsis cf. visiniana (BRUSINA) - izduženi oblik (tab. 1, sl. 9-16)

Nađeno je 120 fragmentarno sačuvanih primjeraka. Kućica se sastoji od 12 do 14 zavoja, koji se postupno djelomično odvijaju, pa se u najdužih i najtanjih oblika jedva dodiruju i izgledaju istegnuto, a produžuje se i ušće, odnosno sifo. Nijedna kućica nema nabora na kolumelarnoj površini. Ishodišni oblik je vrsta *Melanopsis visinianus* koja je nađena u podinskom sloju.

Veći dio primjeraka ima gotovo pravilan stožast oblik, kod kojeg zavoji jednolično rastu, a strane zavoja su



Sl. 2 Geološki stup mioce-
nskih naslaga u predje-
lu Strmendolca (A) i
detalj istih naslaga u
Crvenome Klancu (B).
Tumač: 1) konglome-
rati; 2) pješčenjaci; 3)
lapori; 4) pjeskoviti la-
pori; 5) glinoviti lapa-
ri; 6) ugljeviti lapori;
7) neuslojeni vapnen-
ci; 8) montmorilonit-
ske gline; 9) pokriveno;
10) kongerije; 11)
Charae; 12) gastropo-
di.

Fig. 2 Geological column
of the Miocene deposits
in the area of Strme-
ndolac (A) and the de-
tail of the same depos-
its in Crveni Klanac
(B). Legend: 1) congl-
omerates; 2) sand-
stones; 3) marls; 4)
sandy marls; 5) clayey
marls; 6) coal marls;
7) unbedded limestones;
8) montmorilonitic
clays; 9) covered area;
10) congerias; 11)
Charae; 12) gastropods.

blago zaobljene, dok su suturalne linije lagano ukošene. Zatim, na dijelu primjeraka nakon normalnog rasta protoconcha sa zaobljenim stranama zavoja dolazi do rasta juvenilnih zavoja koji se izdužuju, čime nagib sutura postaje jače zakošen, a strane zavojnica sasvim ravne, pa čak u gornjem dijelu i udubljene, ako je jače izduženje. Ta promjena nastupa na dva, tri ili četiri zavoja, nakon toga zavojnica raste ponovno na isti način kao protoconch, a zavoji ponovno zadobivaju zaobljene strane. Zavojnica tijekom rasta ponekad mijenja smjer rasta za nekoliko stupnjeva, pa često nastaje zakrivljena nepravilna zavojnica. Zadnji stadij toga razvoja vodi do primjeraka veoma uske zavojnice, pa je tu omjer visine i širine 4:1 do 5:1. Tu svi zavoji rastu na isti način, kao juvenilni zavoji (osim protoconcha). Suturalne linije su iskošene, a strane sasvim ravne. Krajnji oblik razvoja

ima izrazito tanje primjerke, u pravilu manjih dimenzija od prijelaznih varijabilnih oblika (kod jednog prijelaznog oblika visina zadnjeg zavoja sa sifom iznosi oko 2 cm, što ukazuje da bi cijela kućica mogla biti i dulja od 3 ili 3,5 cm). Samo je protoconch sa zaobljenim zavojima zajednički s ishodišnim oblikom.

Isti takav izduženi oblik melanopsida, samo sitniji, nađen je na lokalitetu Crnike na otoku Pagu. Da li to znači da je i tamo nastao *in situ*? Ili je taj "morfem" useljen? Teško je pretpostaviti direktnu vezu između slatkovodnog bazena na Pagu i onog u južnom dijelu Sinjskog polja. Treća mogućnost je da su možda ptice prenosile juvenilne primjerke mekušaca na svojim nogama. Preostaje nam čekati detaljnija istraživanja na Pagu.

"*Boistelia*" sp. - varijabilni oblici melanopsida sa zubićem na kolumelarnoj površini (tab. 1, sl. 17-23)

Nadeno je 120 fragmentarno sačuvanih primjeraka Kućica je vitka i dugačka, gotovo pravilnog visoko stožastog oblika. Sastoji se od 9 do 10 zavoja, a prekrivena je smeđastim longitudinalnim prugama. Vrh kućice je izrazito šiljast. Na kolumelarnoj površini svih primjeraka nalazi se veoma jaki zubić. Strane zavoja su lagano zaobljene.

Ima nekoliko intermedijatnih oblika. Razvoj počinje od kratkostožastog oblika kućice, sa širokim zadnjim i predzadnjim zavojem i izrazito tankom i šiljastom zavojnicom, te s veoma jakim naborom na kolumelarnoj površini (tab. 1, sl. 17-19). Javljaju se oblici kod kojih se zavojnica izduljuje i postaje šiljasta, a zadnji zavoj, ili pak nekoliko zadnjih zavoja se istanjuje i produžuje (tab. 1, sl. 22-23). Taj oblik je vrlo sličan podvrstama *Melanoptychia lyrata glabra* (OLUJIĆ, 1999; tab. I, sl. 1) i *Melanoptychia lyrata semicostata* (OLUJIĆ, 1999; tab. I, sl. 2) iz doline Sutina potoka u Lučanima, što ukazuje na mogućnost da su ti oblici boistelija potokom useljeni iz Lučana u Crveni Klanac. To bi značilo da su naslage s boistelijama na ta dva lokaliteta iste starosti, iako su prema dosadašnjim istraživanjima (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1988) naslage u Lučanima mlađe od naslaga u Crvenom Klanacu. Faunistički elementi iz slojeva s boistelijama (*Pseudancylus illiricus*) ukazuju na blizinu riječnoga toka. U podini slojeva s boistelijama nema primjeraka s naborom na kolumelarnoj površini, što također ukazuje da su boistelije vjerojatno useljene.

Ipak, nalaz jednog izduženog primjerka melanopsida iz podine, na kojemu je vidljiva pojava zadebljanja kolumelarne površine dopušta i mogućnost da su se boistelije razvijale *in situ*. Za to zasada nema dovoljno dokaza.

Treba dodati da se vjerojatno dio razvoja "boistelija" odvijao *in situ*, jer je zajedničko svojstvo produživanja kućice vjerojatno stekao zajedno s ostale dvije vrste u istoj sredini.

4. UZROCI RAZVOJA VISOKO-SPECIJALIZIRANIH OBLIKA

Na ovom području moguće je pratiti nastanak i razvoj, a možda i zatvaranje jedne visokospecijalizirane ekološke niše. Ovakav razvoj biofacijesa karakterističan je za neogenska slatkovodna jezera. Poseban značaj lokalitetu Crveni Klanac daje brza izmjena facijesa, koji na vertikalnoj udaljenosti od nekoliko desetaka metara prelaze iz tipičnih jezerskih u močvarni okoliš. Izuzetno je zanimljiv završni dio sedimentacijskog slijeda, kad je proces oplićavanja ubrzan donosom materijala koji bi mogao biti tufnog porijekla. Rendgenska analiza pokazala je povećanje količine smektita na nalazištu nove faune. Ovakav strani materijal mogao je narušiti kemizam sredine taloženja, pa tako uz oplićavanje inicirati relativno brzu promjenu u morfologiji mekušaca, koja je dovela do razvoja brojnih intermedijatnih obli-

ka, i do nastanka oblika bitno različitih od ishodišnih. Slojevi koji sadrže nove oblike gastropoda, kao i oni mlađi od njih ukazuju na značajno povećanje ukupne biomase, koja je uslijed procesa oksidacije pogodovala razvoju anoksične sredine.

Sličan razvoj novih oblika spominju autori NÜTZEL & BANDEL (1993), koji su proučavali razvoj novih vrsta u slatkovodnom bazenu Steinheim u Njemačkoj na profilu visine 23 m. Zaključili su da stresne promjene okoliša nakon duljeg stadija mirovanja izazivaju porast varijabilnosti oblika i ubranu specijaciju, pri čemu promjene morfologije kućice u osnovi nisu funkcionalne. Stresna promjena okoliša može biti smanjenje površine vodenog tijela uslijed visokog stupnja evaporacije i oplićavanja. Pritom dolazi do obogaćenja na O¹⁸, te smanjenja omjera Ca/Mg. Voda postaje toplija, povećan je salinitet. U Steinheimu su se od planispiralnih planorbida razvili trohiformni, odmotani i rebrasti oblici. Međutim neke vrste gastropoda ostale su nepromijenjene. Dakle, važni su i intrinzični faktori (GEARY, 1990), ili "unutrašnji uzroci - autonomna moć reakcije na specifične mineralne soli" (OLUJIĆ, 1999).

Može se reći da je u Crvenom Klanacu došlo do stresne promjene staništa, koja je dovela ne samo do brzog porasta varijabilnosti oblika, nego i do promjena u strukturi životne zajednice. Naime, zastupljenost nekih organizama (*Congeria*) se smanjuje, dok drugi brojčano napreduju (*Lymnaea*).

Zajedničko svojstvo novih "morfema" je postupno izduživanje kućica.

Na brojnim izmjerenim gastropodima moguće je pratiti alometrijske varijacije, koje pokazuju stanoviti tip evolucijskih promjena, odnosno heterochroniju. Naime, u pojedinim fazama ontogenetskog razvoja dolazi do jačeg nagiba suture, zavoji od zaobljenih postaju ravni, os uvijanja zavojnice se naočigled mijenja. Te promjene postupno postaju sve brojnije i jače, protežu se na sve više zavoja, što dovodi do pojave potpuno promijenjenog oblika, koji se bitno razlikuje od ishodišnog. Takav primjer opisala je GEARY (1988) na melanopsidima Panonskog bazena. Ovdje se ta pojava može pratiti na nasljednicima vrste *Melanopsis visiniana*. To su primjerci novih oblika izduženog melanopsida, koji zadržavaju juvenilni način rasta i kod odraslih primjeraka (prema GEARY, 1988, to su "pedomorfnii oblici"), a razni prijelazni oblici dolaze zajedno s novom vrstom. Zapaženo je da su takvi prijelazni oblici i znatno većih dimenzija nego završni oblik. Intermediati predstavljaju prilično ekstremne intraspecifičke varijacije (GEARY, 1988), što je ovdje dobro izraženo.

Pojava alometrijskih varijacija je u znatno manjoj mjeri zastupljena na primjercima izduženih oblika "boistelije" (melanopsida sa zubićem na kolumelarnoj površini). Postoje brojni varijeteti oblika, gdje je također zapaženo: protoconch ima na svim primjercima isti oblik zaobljenih zavoja, zatim slijedi izduživanje juvenilnih zavoja, koje se proteže na različitom broju zavoja kod pojedinih primjeraka (ravne strane zavoja, jači

nagib sutura), slijede u ontogenetskom razvoju ponovno svojstva protoconcha (zaobljene strane zavoja i blaži nagib sutura) na nekoliko zadnjih zavoja. Konačni oblik nije tako ekstreman kao u prethodne vrste i nijedan oblik nije u potpunosti poprimio značajke juvenilnih zavoja.

U podini naslaga s boistelijama nema njihovog ishodišnog oblika. Samo je na jednom izduženom primjerku melanopsida koji dolazi u podini nađeno zadebljanje kolumelarne površine, koje je možda početna faza razvoja jakog nabora na kolumelarnoj površini, koji je snažno izražen kod svih intermedijatnih primjeraka, koje uvjetno nazivamo "boistelijom".

Ipak, veća je vjerojatnost da su boistelije useljene nekim potokom, o čijem postojanju svjedoči pojava vrste *Pseudancyclus illyricus*. Na to ukazuje i sličnost nekih morfema boistelija s podvrstama *Melanoptychia lyrata glabra* (OLUJIĆ, 1999; tab. I, sl. 1) i *Melanoptychia lyrata semicostata* (OLUJIĆ, 1999; tab. I, sl. 2) iz doline Sutina potoka u Lučanima. Iako su prema dosadašnjim istraživanjima (ŠUŠNJARA & SAKAČ, 1988) naslage u Lučanima mlade od naslaga u Crvenom Klanacu, postoji mogućnost da su boistelije potokom useljene u Crveni Klanac, što bi ukazivalo na istodobnost naslaga na ta dva lokaliteta.

Konični oblik teodoksusa vjerojatno se razvio od vrste *Theodoxus (Neritaea) sinjanus*, koja ispunjava sloj u podlozi. Zapažena su dva načina uvijanja kućice, dakle nema toliko prijelaznih oblika kao u prethodnih. To i ne čudi, s obzirom da je sačuvano samo 5 potpuno sačuvanih primjeraka. Uz to nađeno je oko 90 oštećenih primjeraka, koji se sastoje samo od debelog kaloznog ušća i dijela zadnjega zavoja. Dakle o obliku kućice tih 90 primjeraka ne može se ništa reći. Kod tornjastog oblika kućice teodoksusa zapaža se ista pojava izduljivanja zavojnice, pri čemu zadnji zavoj zadobiva ravne ili udubljene strane. Ali oblik kućice, koja se sastoji od samo tri zavoja, naglo se mijenja iz niskotornjasto uvijenog oblika kućice u konični oblik. Da bi obrazložio postanak radikalno različitih oblika kućica, RICE (1998) predstavlja teoretski oblik nastanka jednostavnog koničnog oblika kućice od uvijenog. Smatra da samo radikalne promjene u razvoju, kod kojeg se potpuno mijenja način rasta kućice, odnosno ponašanje različitih stanica u omotaču kućice, mogu dovesti do nagle promjene oblika kućice. Pritom dolazi do smanjenja brzine rasta kućica. Uz prethodno spomenute stresne promjene okoliša, koje ubrzavaju nastanak brojnih intermedijata (NÜTZEL & BANDEL, 1993), objašnjenje za postanak novog oblika teodoksusa u Crvenom Klanacu može potražiti u Riceovu modelu postanka koničnog oblika kućice.

5. ZAKLJUČAK

Opisani su visokospecijalizirani oblici gastropoda iz slatkovodnih naslaga Crvenoga Klanca i razmatrani mogući modeli i uzroci njihovog postanka. Zajedničko svojstvo izduživanja kućice, svojstveno za sva tri nova oblika, ukazuje na barem djelomični zajednički razvoj. Osnovni razlog alometrijskih promjena gastropoda, koje ukazuju na heterochroniju, bile bi stresne promjene okoliša, koje su dovele do pretvaranja jezerske sredine u močvarnu. Do tada normalni faunistički oblici iz podine doživjeli su bitne morfološke promjene, došlo je do porasta varijabilnosti i razvoja visoko specijaliziranih oblika, s kojima se vjerojatno i zatvara ta ekološka niša.

Ovdje u Crvenome Klanacu dolazi do izrazite promjene oblika kućice unutar stupa naslaga od oko 8 m. Otkrivena su tri paketa naslaga s gastropodima, čiji kontakti su prekriveni, dakle nije otkriven kontinuirani slijed naslaga. Iako stresne promjene okoliša ako dovoljno dugo traju (NÜTZEL & BANDEL, 1993), kao i pojava heterochronije (GEARY, 1988) ponekad dovode do specijacije ovdje nema dovoljno podataka za takvu pojavu.

Zbog nalaza opisanih visokospecijaliziranih oblika, kao i zbog mogućnosti proučavanja njihovog nastajanja predviđa se detaljnije istraživanje miocenskih naslaga Crvenoga Klanca. U tu svrhu potrebno je napraviti mjestimične usjeke zbog izrade vrlo detaljnog profila kontinuiranog razvoja slojeva, kao i niz dodatnih analiza (sedimentoloških, kemijskih itd.), koje će pomoći u interpretaciji prilika u bazenu iz sloja u sloj, kao i usporedbi s prilikama u drugim dijelovima bazena.

Zahvala

Zahvaljujemo svim kolegicama i kolegama koji su sudjelovali u terenskom radu u Crvenomu Klanacu. Mr. Jakovu Radovčiću dugujemo posebnu zahvalnost na veoma korisnim uputama u svezi s biološkom interpretacijom novonastalih oblika.

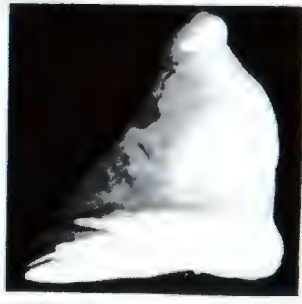
Zahvaljujemo kolegici Darinki Babac, dipl. inž., na određenju eocenskih foraminifera. Zahvalni smo također muzejskoj tehničarki Nini Borčić na snimanju i izradi fotografija, te crtanju priloga. Dragan Pelić je snimio i izradio dio fotografija, pa zahvaljujemo i njemu.

6. LITERATURA

- GEARY, D. (1988): Heterochrony in gastropods. A paleontological view.- U: MCKINNEY, M.L. (ur.): Heterochrony in Evolution. Plenum Publishing Corporation, 183-196.
- GEARY, D. (1990): Exploring the roles of intrinsic and extrinsic factors in the evolutionary variation of *Melanopsis*.- U: ROSS, R.M. & ALLMON, W.D. (ur.): Causes of Evolution. A Paleontological Perspective. University of Chicago Press, 305-321, Chicago & London.
- NÜTZEL, A. & BANDEL, K. (1993): Studies on the side-branch planorbids (Mollusca, Gastropoda) of the Miocene crater lake of Steinheim am Albuch (southern Germany).- *Scripta Geologica*, special issue 2. Proc. of the Symposium: Molluscan Palaeontology. 11th Intern. Malac. Congress, Siena 1992., 313-357, Leiden.
- OLUJIĆ, J. (1999): O razvojnim nizovima nekoliko melanopsida i prozostenida iz sarmatskih naslaga okolice Sinja (Dalmacija, Hrvatska).- Hrvatski prirodoslovni muzej i Provincijalat Franjevačke provincije, 7-31, Zagreb-Sinj.
- RICE, S.H. (1998): The bio-geometry of mollusc shells.- *Paleobiology*, 24, 133-149.
- ŠUŠNJARA, A. & SAKAČ, K. (1988): Miocenski slatkovodni sedimenti područja Sinja u srednjoj Dalmaciji.- *Geol. vjesnik*, 41, 51-74, Zagreb.

Tabla - Plate 1

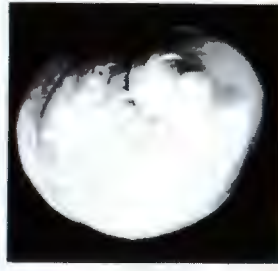
- 1-8 *Theodoxus (Neritaea) cf. sinjanus* BRUSINA - konični oblici (conical forms); 1-4: 4X; 5-8: 3X.
- 9-16 *Melanopsis cf. visiniana* BRUSINA - izduženi oblici (elongated forms); 9-11, 13-14: 4X; 12, 15-16: 3X
- 17-23 *Boistelia* sp.; 17-18, 22-23: 3,5X; 19: 9X; 20-21: 3X.



1



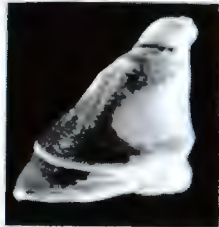
2



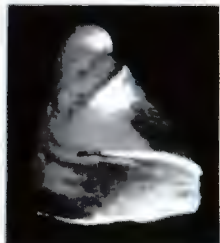
3



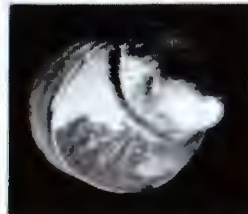
4



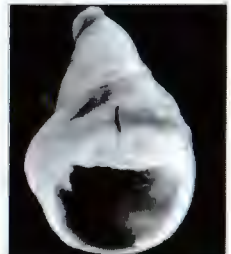
5



6



7



8



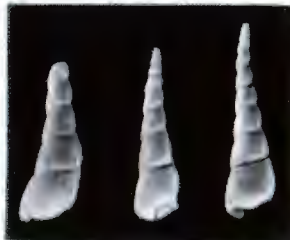
9



10



11



12



13



14



15



16



17



18



19



20



21



22



23





Stratigrafska istraživanja pliocensko-pleistocenskih naslaga u bušotinama podmorja Jadrana

Stratigraphic Research of the Pliocene-Pleistocene Deposits
in the Adriatic Off Shore Wells

Katica KALAC, Zoran MARKOVIĆ & Zdenka BARBIĆ

Ključne riječi: pliocen-pleistocen, stratigrafija, foraminifere, paleoekologija, peleoeklimatologija, podmorje Jadrana, Hrvatska.

Key words: Pliocene-Pleistocene, stratigraphy, foraminifera, paleoecology, paleoclimatology, Adriatic off shore, Croatia.

Sažetak

Istraživani prostor se nalazi jugozapadno od istarskog kopna i jugozapadno od Dubrovnika uz liniju razgraničenja s Italijom. Pliocensko-pleistocenske klastične naslage u različitim intervalima transgresivno prekrivaju starije neogenske, paleogenske ili mezozojske sedimente. Kronostratigrafski pliocen i pleistocen su raščlanjeni na gornji i donji uglavnom na temelju istraživanja foraminifera. Donji i gornji pliocen dokazan je na prostoru jugozapadnog dijela istarske platforme, i jugozapadno od Dubrovnika, gdje je prisutan kontinuirani slijed pliocensko-pleistocenskih naslaga. Taj kontinuitet dokumentiran je samo u bušotini Ivana-2 razvojnim nizom od *Globorotalia tosaensis* do *Globorotalia truncatulinoides*, dok je u drugim bušotinama markiran pojedinačnim nalazom navedenih foraminifera ili je klimatski uvjetovan. Bliže kopnu, na istarskoj platformi prisutan je diskontinuitet u sedimentaciji, između pliocensko-pleistocenskih, i unutar pleistocenskih sedimenta kao rezultat paleoreljeva, neotektonskih zbivanja i klimatskih promjena. Na temelju planktonskih i bentičkih foraminifera donijeti su neki paleoklimatski zaključci. Po prvi put su na ovim prostorima izdvojene zone *Sphaeroidinellopsis* div.sp. u najdonjem pliocenu i podzona *Gt. truncatulinoides excelsa* u gornjem dijelu donjeg pleistocena.

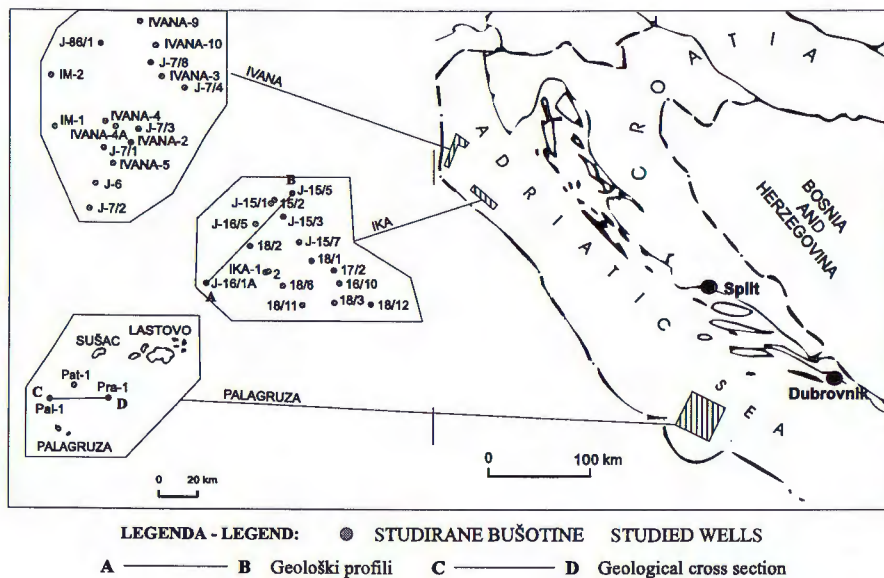
Abstract

Investigated area is located SW of the Istrian platform and SW of Dubrovnik along the borderline with Italy. Pliocene-Pleistocene clastic sediments of different age unconformably overlie older Neogene, Paleogene or Mesozoic deposits. Chronostratigraphically Pliocene and Pleistocene are subdivided on the Early and Late. The division is based mostly on the foraminifera research. The Lower and the Upper Pliocene is found in the area SW of the Istrian platform and SW of Dubrovnik, where continuous sequence of Pliocene-Pleistocene sediments is present. This continuity is documented only in Ivana-2 well with the development sequence ranging from *Globorotalia tosaensis* to *Globorotalia truncatulinoides*, while in other wells is marked with partial finding of these foraminifera, or is climatically determined. Towards the mainland, on the Istrian platform a sedimentary discontinuity is present, both between Pliocene-Pleistocene and within Pleistocene sediments. The discontinuity is a result of the paleorelief, neotectonic events, as well as the climatic changes. Some paleoecological conclusions were made based on planktonic and benthic foraminifera. The first time *Sphaeroidinellopsis* div.sp. zone in the lowest part of the Pliocene and *Gt. truncatulinoides* subzone in the upper part of the Early Pleistocene have been single out.

1. UVOD

Radom su obuhvaćena stratigrafska istraživanja pliocenskih i pleistocenskih naslaga u podmorju sjevernog i južnog Jadrana (sl. 1 i 2). Radi korelacije su uzete u obradu naslage bušotina polja Ivana i Ika iz sjevernog te bušotine Perina-1, Palagruža-1 i Patricija-1 iz južnog Jadrana. Rad je uglavnom rezultat biostratigrafskih istraživanja planktonskih i bentičkih foraminifera (K. Kalac), te litostratigrafskih istraživanja (Z. Marković,

Z. Barbić i I.A. Mesić). Navedene naslage imaju veliko rasprostranjenje u podmorju Jadrana. Nakon otkrića ugljikovodika u pleistocenskim sedimentima sjevernog Jadrana, te u neogenu u Albaniji i Italiji, ove naslage postaju predmetom intenzivnijeg istraživanja u INA-Naftaplina. Cilj rada je bio da se na temelju foraminifera i litoloških karakteristika stijena načini detaljna kronostratigrafska i litološka razdioba naslaga, odredi njihov međusobni odnos te odnos s podlogom, a korelacijom rasprostiranje naslaga u prostoru. Također, pokušalo se dobiti saznanja o klimi i paleoekolišu te na osnovi



Sl. 1 Položajna karta područje istraživanja.

Fig. 1 Research area location map.

tipičnih foraminifera ili zajednica načiniti biostratigrafsko zoniranje naslage.

2. STRATIGRAFIJA

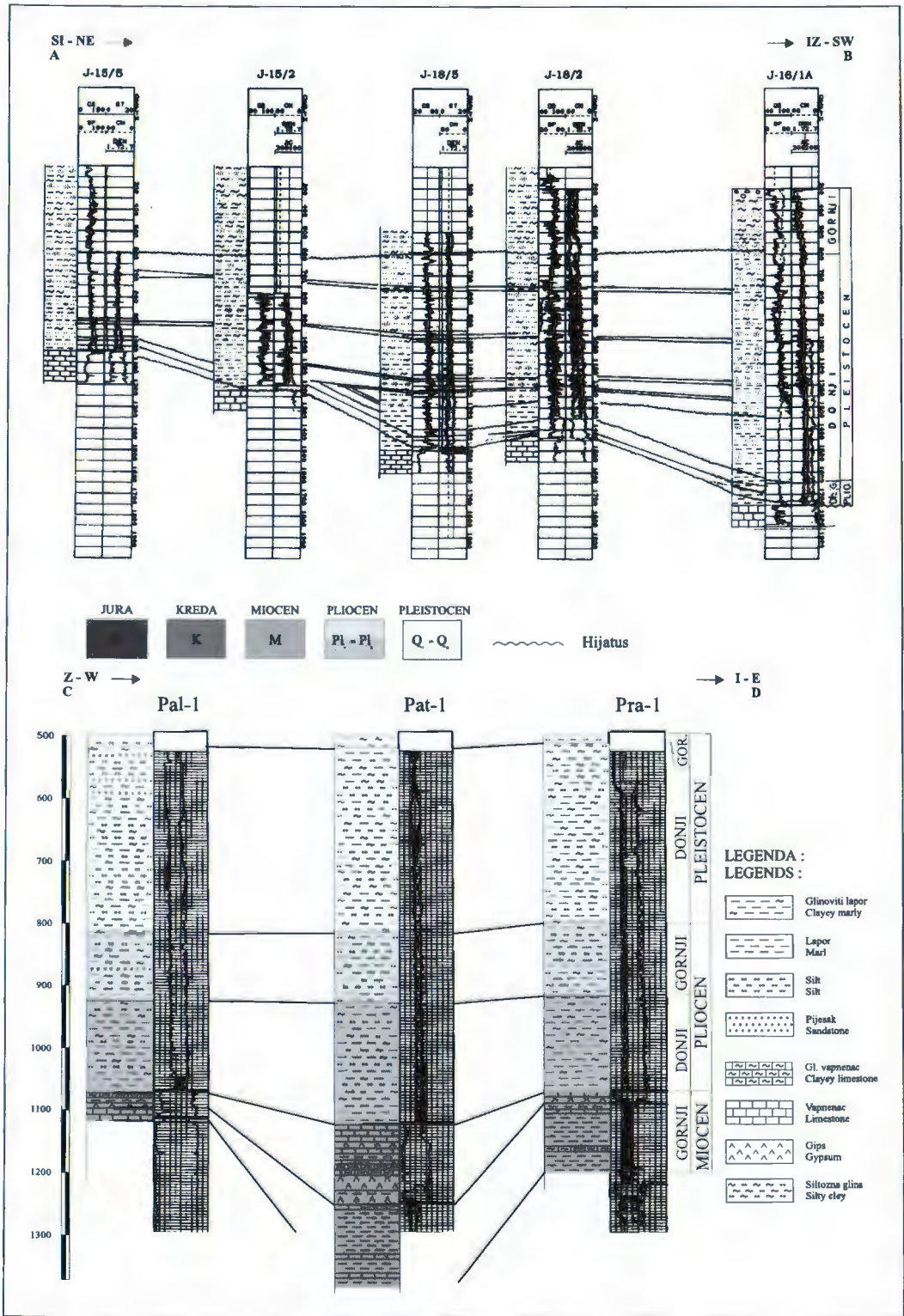
Pliocenske i pleistocenske naslage su istraživane biostratigrafski i litostratigrafski. Biostratigrafska interpretacija temelji se na rezultatima dobivenim istraživanjem foraminifera iz izbrusaka ili razmuljenih uzoraka. Litostratigrafska interpretacija bazira se na petrografsko-sedimentološkim analizama tankih izbrusaka granulometrijskim analizama i analizi EK-dijagrama. Kronostratigrafski pliocen i pleistocen su podijeljeni na gornji i donji prema klasifikaciji za Mediteran (IACCARINO; 1985; BIZON & BIZON, 1972). Budući da naslage istraživanog prostora u sjevernom Jadranu pripadaju rubnim dijelovima većih sedimentacijskih neogenskih i kvartarnih bazena, a vezano uz navedene klimatske promjene i tektonsku aktivnost, česti su hijatusi poglavito u gornjem pliocenu i tijekom pleistocena (sl. 2 i 4). U naslagama južnog Jadrana navedeno nije zapaženo, već se čini da sedimentacija koja počinje donjopliocenskim laporima bogatim zajednicom planktonskih i bentičkih foraminifera kontinuirano slijedi do u gornji pleistocen (KRIŽ et al., 1982.).

Donji pliocen litološki je izgrađen od zelenkasto-sivih i žućkasto-smeđih lapora s rijetkim glinovitim i siltoznim interkalacijama (sl. 2). Odlikuje se bogatom marinskom zajednicom planktonskih i bentičkih foraminifera. Naslage leže na lagunarnim i hipersalinim sedimentima mesiniana u južnom Jadranu te starijim neogenskim ili mezozojskim sedimentima u sjevernom Jadranu, čime im je jasno određena donja granica. Za stratigrafsku razdiobu i zonaciju bitne su: *Gt. margaritae* BOLLI & BERM (tabla 1 - 1 i 1b), *Sphaeroidinopsis subdehiscens* BLOW (tabla 1 - 1 i 1a), *Gt. puncticulata* DESHAYES, *Sphaeroidinopsis* div.sp., a prisutne su *Gt. crassaformis* i *Orbulina* div.sp. i *Globige-*

rinoidea div. sp (tabla 1). Na osnovi navedenih oblika izdvojene su istoimene planktonske zone (IACCARINO, 1985; SAINTFORTH et al., 1975; KALAC & BAJRAKTAREVIĆ, 1989) (sl. 3). Osim planktona značajno je prisustvo i bentičkih foraminifera od kojih su najznačajnije *Uvigerina rutila* CUSH & TODD (tabla 1 - 1 i 1c), *Anomalinoidea helicinus* COSTA, *Martinotia communis* te *Marginulina* div.sp. i *Lenticulina* div.sp. (tabla 1 - 1), na osnovi kojih su izdvojene istoimene bentičke zone (AGIP, 1982). U paleoekološkom smislu zajednica planktonskih i bentičkih foraminifera ukazuje na toplu klimu, a uz litološke karakteristike sedimentata i na taloženje u dubljem i otvorenom moru (vanjski šelf) (CITA & RYAN, 1972; THUNELL, 1979).

Gornji pliocen razvijen je pretežno u laporima, rjeđe pješčenjacima, a očituje se osiromašenjem faune u odnosu na donji pliocen. Prestankom pojave brojnih globigerinoidesa i orbulina te tipičnih donjopliocenskih vrsta, a pojavom vrste *Gt. inflata* D'ORB (tabla 1 - 2 i 2a), i *Gt. tosaensis* TAKAYANAKI & SAITO, te *Gt. crassaformis* označena je donja granica gornjeg pliocena, a prestankom vrste *Globigerinoides obliquus* BOLLII te pojavom prijelaznih oblika *Gt. tosaensis tenuithea* BLOW (tabla 1 - 2b) u *Gt. truncatulinoidea* gornja granica (SAINTFORTH & al., 1975; IACCARINO, 1985). Od bentičkih vrsta važne su *Epistomina elegans*, *Oridorsalis umbonatus* (REUS) var. *stellatus* SILVA, *Anomalinoidea ornatus* (COSTA) i *Lenticulina rotulata* (LA MARCK). Navedenim vrstama određene su istoimene planktonske i bentičke zone (sl. 3). Većom zastupljenošću hladnijih foraminiferskih vrsta zaključuje se da su se paleoekološki uvjeti izmijenili na hladnije u odnosu na donjopliocenske naslage. Litološki sastav i mikrofauna ukazuju na sedimentaciju otvorenog srednjeg šelfa i umjereno reduktivnu sredinu.

Donji pleistocen dokumentirane su prvom pojavom vrste *Gt. truncatulinoidea* D'ORB (tabla 1 - 3 i 3b) ili brojnom prisutnošću vrste *Gt. pachyderma* (EHREN-



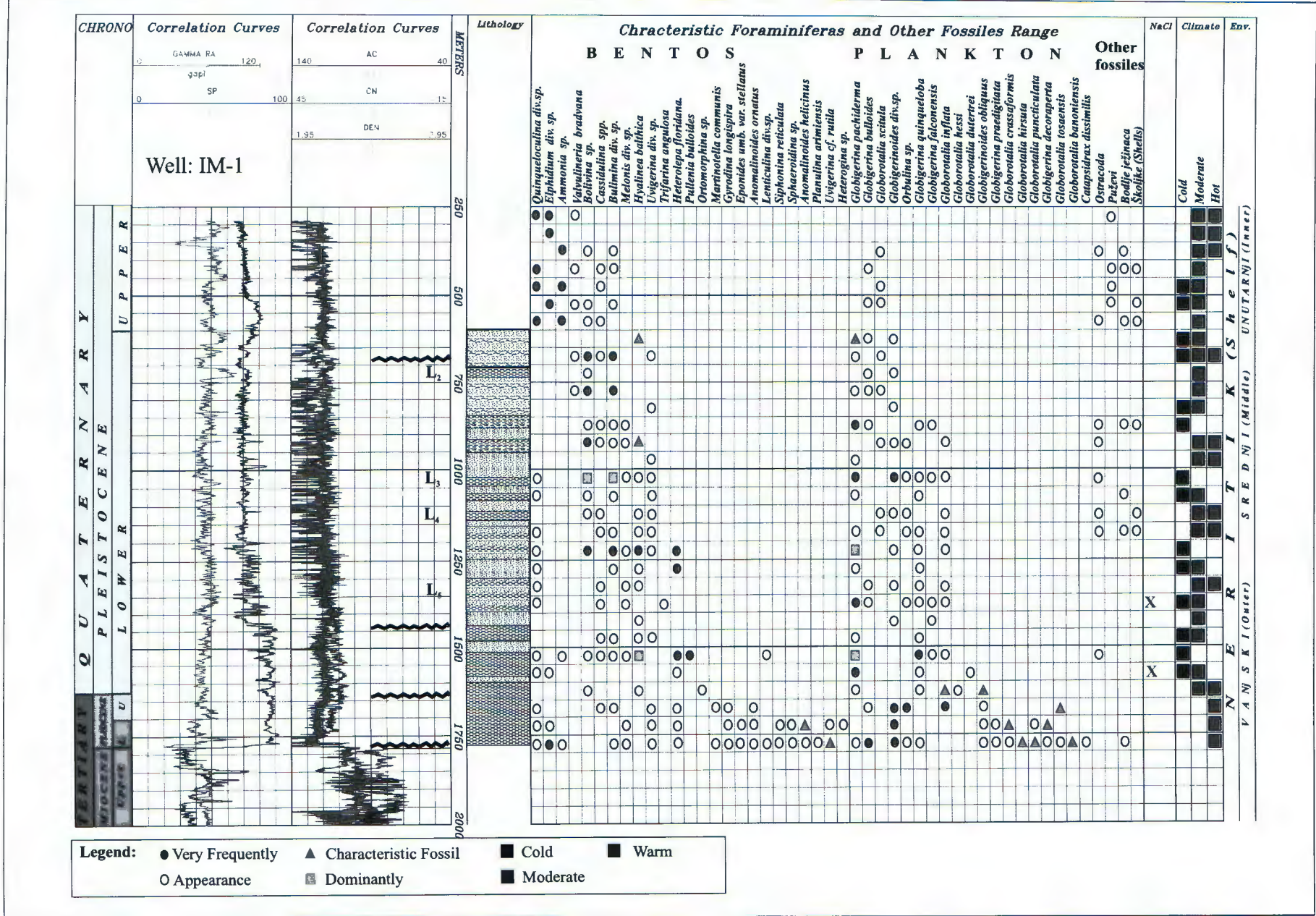
Sl. 2 Shematski geološki profili plio-pleistocenskih naslaga istraživanog prostora Jadrana.

Fig. 2 Schematic geological profiles of the Adriatic research area plio-pleistocene sediments.

BERG) (tabla 1 - 3 i 3c) te bentičkom formom *Hyalinea balthica* (SCHROETER) (tabla 1, sl. 3) i školjčicom *Artica (Cyprina) islandica* u donjem dijelu donjeg pleistocena. U gornjem dijelu donjeg pleistocena prisutne su brojne vrste *Bulimina* div.sp. i *Bolivina* div.sp. (tabla 1 - 3) te planktonske vrste *Gt. truncatulinoides* D'ORB (tabla 1 - 3b) i *Globigerinoides truncatulinoides excelsa* SPROV. & RUGG (tabla 1 - 3a). Na teme-

lju navedenih vrsta izdvojene su istoimene zone i podzone (SPROVIERI & al., 1980) (sl. 3). Naslage donjeg pleistocena razvijene su u facijesu laporovitih glina s interkalacijama silita i pijeska do slabo vezanih pješčenjaka te mjestimice sapropela i ugljena. Na temelju planktonskih foraminifera indikatora toplih i hladnih marinskih uvjeta uspjelo se u bušotinama prepoznati tople i hladne cikluse (sl. 4) prema THUNELL (1979).

Sl. 4 Raspon učestalosti karakterističnih foraminifera i klimatske promjene.
 Fig. 4 Range and abundance of the characteristic foraminifers and climatic changes.



Gornji pleistocen zastupljen je repnim vrstama *Ammonia beccarii* LINNÉ (tabla 1 - 4 i 4a), *Elphidium crispum* LINNÉ (tabla 1 - 4 i 4b), *Cassidulina* div.sp. i *Quinqueloculina* div.sp. Litološki je sastavljen od pjeskovito-glinovitih sedimenata u donjem dijelu, a u gornjem dijelu uz pijeske i gline dolaze i šljunci. Granica između donjeg i gornjeg pleistocena, iako ne sadrži tipičnu faunu za gornji pleistocen, dobro je uočljiva i nalazi se na mjestu prestanka pojavljivanja tipičnih donjopleistocenskih foraminifera *Gt. truncatulinoides* i *Gt. pachyderma* ili dominirajućih donjopleistocenskih foraminifera. S obzirom na drastično osiromašenje u fauni i promjenu fosilne zajednice čini se da je granica klimatski i paleoekološki uvjetovana (KRIŽ & al., 1982).

3. ZAKLJUČAK

Stratigrafskim istraživanjem plio-pleistocenskih naslaga podmorja sjevernog i južnog Jadrana dobiven je kompletan uvid u razvoj, zastupljenost i međusobni odnos tih naslaga te njihov odnos sa starijim tercijarnim ili mezozojskim sedimentima. Sedimenti sjevernog Jadrana na istarskoj platformi u različitim su vremenskim intervalima transgredirali na starije jursko-kredne karbonate, a u Venecijanskom i Padskom bazenu te južnom Jadranu na starije neogenske sedimente. Zapaženo je da je pliocenska transgresija s maksimumom u donjem pliocenu zahvatila cijeli istraživani prostor. U sjevernom Jadranu u gornjem pliocenu dolazi do regresivnih tendencija i isklinjavanja naslaga prema sjeveru i sjeveroistoku na istarskoj platformi. Na tim prostorima osobito je uočljivo isklinjavanje pleistocenskih sedimenata uvjetovano paleoreljefom, neotektonskim pokretima te klimatskim promjenama. Navedeno dovodi do hijatusa između plio-pleistocenskih naslaga i tijekom pleistocena. Za razliku od toga u južnom Jadranu nisu zapaženi nikakvi hijatusi i čini se da kontinuitet u sedimentaciji slijedi od najdonjeg pliocena do u gornji pleistocen. Dokazano je da su donjopliocenski sedimenti taloženi u uvjetima dublje i tople marinske sredine i otvorenog neritika, a gornjopliocenski u umjereno hladnoj i plićoj marinskoj sredini srednjeg neritika. Pleistocenski sedimenti taloženi su u promjenjivim klimatskim uvjetima tople, hladne i umjerene sredine. Načinjeno je biostratigrafsko zoniranje pri čemu su uvedene dvije nove podzone: *Gt. truncatulinoides excelsa* za gornji dio donjeg pleistocena i *Sphaeroidinopsis* div.sp. za najdonji dio donjeg pleistocena. Debljine pliocenskih i pleistocenskih sedimenata su vrlo različite, te se debljina pliocenskih kreće od 10-200 m, a pleistocenskih od 500-1800 m i jako variraju, osobito na istarskoj platformi i s tendencijom smanjivanja idući od juga prema sjeveru i sjeveroistoku.

4. LITERATURA

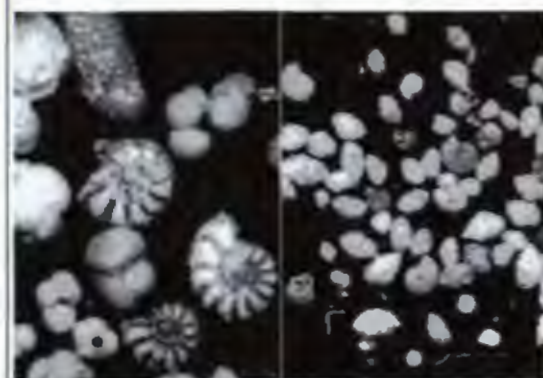
- AGIP (1982): Foraminiferi padani (Terziario e Quaternario).- Atlante Iconografico distribuzione stratigrafica, AGIP S. P. A., Milano, 52 str.
- BIZON, G. & BIZON, J.J. (1972): Atlas des principaux foraminifères planctoniques du bassin méditerranéen oligocène à quaternaire.- Edit. Techniq, Paris, 315 str.
- CITA, M.B. & RYAN, W.B.F. (1972): The Pliocene record in deep sea Mediterranean sediments. V. Time-scale and general synthesis.- Initial Reports DSDP, 13/2, 1405-1415, Washington.
- IACCARINO, S. (1985): Mediterranean Miocene and Pliocene planktic foraminifera.- U: BOLLI, J.H., SAUNDERS, J.B. & PERCHNIELSEN, K. (ur.): Plankton Stratigraphy. Cambridge Univ. Press, 283-314, Cambridge.
- KALAC, K. & BAJRAKTAREVIĆ, Z. (1989): Biostratigrafska istraživanja naslaga pliocena i pleistocena podmorja Sjevernog Jadrana.- Geol. vjesnik, 42, 33-48, Zagreb.
- KRIŽ, J., KALAC, K., TONČIĆ-GREGL, R., BAUER, V., VELIMIROVIĆ, Z. & MAGDALENIĆ, Z. (1982): Stratigrafsko-tektonski odnosi i sedimentološke karakteristike pliocenskih i kvartarnih naslaga dijela podmorja sjevernog Jadrana.- 10. jub. kongr. geol. Jugosl., 1, 25-42, Budva.
- SPROVIERI, R., RUGGIERI, G. & UNTI, M. (1980): *Globorotalia truncatulinoides excelsa* n.sub.sp., foraminifera planctonica guida per il Pleistocene inferiore.- Boll. Soc. Geol. Ital., 99, 3-11, Roma.
- STAINFORTH, R.M., LAMB, J.L., LUTERBACHER, H.P., BEARD, J.H. & JEFFORDS, R.M. (1975): Cenozoic planctonic foraminiferal zonation and characteristics of index forms Appendix.- The Univ. Kansas Lawrence, 62, 13-162E.
- THUNELL, R. (1979): Pliocene-Pleistocene paleotemperature and paleosalinity history of the Mediterranean sea: results from DS DD SITES 125 and 132.- Marine Micropaleont., 4, 173-179.



1 E. Pliocene (D. pliocen), F. Assemblage, J-16/1A, 1720m, 12x



2 L. Pliocene (G. pliocen), F. Assemblage, Patricija-1, 855m, 12x



3 E. Pleistocene (D. pleistocen), F. Assemblage, J-15/5, 1000m, 19x



4 L. Pleistocene (G. pleistocen), F. Assemblage, Patricija-1, 300m, 17x



Sphaeroidinellopsis subdehiscens, BLOW IM-1 1750 m



Globorotalia margaritae BOLI. & BERM 69x, J-18/5-1 1460 m



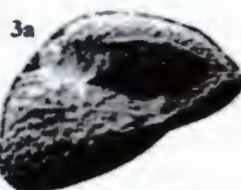
Uvigerina rutila CUSH. & TODD IM-1 1750 m



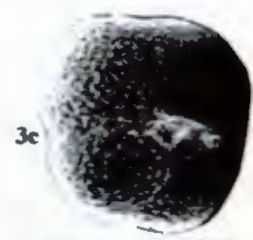
Globorotalia inflata, D'ORB Patricija-1, 855 m.



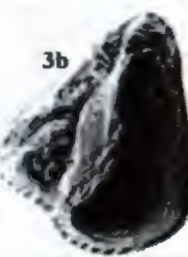
Gt. tosaensis tenuitheca BLOW, 112x Ivana-2, 1500 - 1506m (III, 0.65)



Gt. tosaensis, TAKAY. & SAITO J-18/2, 1080 m. Ivana-2, 1500-1506 m.



Gt. pachyderma (EHRENBERG) J-18/2, 1080 m



Gt. trunc... ides excelsa, SPROV. & RUGG Patricija-1, 855 m.

Gt. trunc... ides, D'ORB, Patricija-1, 855 m.



Elphidium crispum (LINNE) J-18/10, 230 m.



Ammonia beccarii, (I J-18/12, 250 m.



Elphidium crispum (LINNE) J-18/10, 230 m.



Elphidium crispum (LINNE) J-18/10, 230 m.



Nove spoznaje o morfotektonskoj građi europskoga kontinenta

New Conceptions of the Morphotectonic Build of the European Continent

Vilko KLEIN¹, Marko ŠPARICA² & Željko KRUŠLIN³

Ključne riječi: Europa, Apulijska mikroploča, satelitska scena, kompresija, kolizija, subdukcija, lineament, morfotektonika, lučno-klinasta građa.

Key words: Europe, Apulian micro-plate, Satellite scene, Compression, Collision, Subduction, Lineament, Morpho-tectonics, Arch-wedge build.

Sažetak

Provedena je analiza morfotektonske građe europskoga kontinenta s pomoću orbitalne slike Europe u boji snimljene s NOAA-11 satelita i fizičko-zemljopisnih karata sitnog mjerila. Posebna pozornost obraćena je izdvajanju dijagonalno raspoređenih lineamentnih struktura SI i SZ prostiranja, kao posljedica kolizije Apulijske mikroploče i Arabijske ploče s Euroazijskom pločom u morfotektonskom smislu. Ovi uzajamni utjecaji pridonijeli su oblikovanju lučno-klinastog kolizijsko-kompresijskog morfotektonskog sklopa JZ Europe koji je konveksno usmjeren prema sjeveru - Baltičkom štitu. Datsko-karpataska lineamentna zona (pregib) razgraničava Rusku platformu, koja subducira pod Alpe (Karpatide) od jugozapadne Europe. Učinci kolizije Apulijske mikroploče s Euroazijskom pločom razmatrani su usporedno u odnosu na slične učinke kolizije Arabijske ploče s maloazijsko-mezopotamskim morfotektonskim sklopom. Zapadni dio Europske trupine karakterizira trodjelna morfotektonska podjela na lineamentne pojaseve SI prostiranja. Metodološki, osnovno sredstvo provedenog daljinskog istraživanja predstavlja reljef, odnosno način njegovog pojavljivanja.

Abstract

The morphotectonic analysis of the European continent has been performed using the NOAA 11 satellite color scene and physical-geographic maps of a very small scale. Special attention was paid to the delineation of the diagonally situated lineament structures of NE and NW spreading, and to the comparative analysis of the consequences which derived from the collision of the Apulian micro-plate and the Arabian plate with the Euroasian plate in the morphotectonic sense. These mutual influences contributed to the shaping of the arch-wedge collisional compressional morphotectonic complex of SW Europe. The complex is convexly directed toward the north to the Baltic shield. Dacian-Carpathian lineament structural zone divides the Russian platform, which subducted beneath the Alpides (Carpathian) of SW Europe. The effects of the Apulian microplate colliding with the European plate were considered in comparison to the similar collision effects of the Arabian plate with Asia Minor-Mesopotamian morphotectonic complex. The western part of the European continent is characterized by a three part morphotectonic division on the lineament zones of NE spreading. Methodologically, the main subject of the remote sensing in this work is the relief, respectively the way of its appearance.

UVOD

Europski kontinent neprekidno je u središtu raznovrsnih istraživanja morfotektonske građe. Rezultati tih istraživanja prikazani su u velikom broju znanstvenih radova, studija, monografija i atlasa. Iz tih radova doznajemo da obdukcijaska zona Datsko-karpataskog progiba, kao najznačajnija granična morfotektonska lineamentna zona kontinenta, dijeli isti na JZ položen hercinsko-alpinski, prema sjeveru lučno povijen sklop i SI dio što ga izgrađuju Baltički štit i Ruska platforma. Područje štita pretežno je izgrađeno od prekambrijskih

stijena, napose onih arhajske starosti, dok Rusku platformu izgrađuju različito debeli stijenski kompleksi paleozoika, mezozoika i kenozoika. Oni su strukturno snažno poremećeni i izgrađuju niz tektonskih jedinica. Ruska platforma čini ploču koja se može opisati kao prostrana depresija u odnosu na strukturno, a i reljefno više položena rubna ozemlja, uključivši i JZ dijelove Europe. Na to nas upućuju visoke vrijednosti Mohorovičićeva diskontinuiteta koje se kreću u rasponima od 30-40 i 55 km (Int. Tectonic Map of Europe, 1981). Ruska platforma s Baltičkim štitom uklapa se u veći mnogokutni ocrtni morfotektonskog obilježja (sl. 3), s tim da su mu

¹Hrvatsko geološko društvo, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³INA - Naftapljin, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

rubovi djelomično obducirani Uralidima, Kaledonidima i Karpatidima.

Rubno položen Pirenejski poluotok također je dobri dijelom izgrađen od hercinskih stijena. Središnje, južne i jugoistočne dijelove Europe karakteriziraju mezozojsko-kenozojski navlačno-pokrovni tektonski pojasevi Alpida koji se nastavljaju na maloazijske Pontide i Tauride. Oni tvore nekonsolidirani trusno-kompresijski pojas Tethysa taložen tijekom mezozoika. Paleogeografska proučavanja pokazuju da su kolizijsko-subdukcijski procesi Apulijske mikroplоче, kao promotorija Afričke ploče (uključujući Arabijsku ploču), vezani uz njihovo opće pomicanje prema sjeveru, Europskoj ploči (DERCOURT et al., 1993; YILMAZ et al., 1996), što je bitno utjecalo na morfotektonsku građu JZ dijela europskoga kontinenta.

Naš rad nadovezuje se na već provedena proučavanja Zemljinih pukotina, tj. lineamentnih struktura planarnih razmjera, dijagonalnog i ortogonalnog smjera pružanja i popratne mreže rasjeda (LETOUZEY et al., 1977; BUSH, 1983). One su također uvelike utjecale na osobitost morfotektonske građe Europe. Radi potpunijeg određivanja tih osobitosti za područje alpinsko-hercinske Europe, poduzeli smo dopunsko izdvajanje kontinentske mreže lineamenta s pomoću orbitalne slike Europe (SSC SATELLITBILD, 1993; sl. 1). Time su dosad poznata morfotektonska i geomorfološka obilježja (EMBELTON, 1984; BOGNAR, 1997) poprimila čvršće genetičko-prostorne okvire. Ona su pridonijela oblikovanju lučno-klinastog alpskog morfostrukturnog sklopa JZ Europe, konveksno okrenutog prema sjeveru, nazvanog Apulia (sl. 2 i 3). Baltički štit, uvjetno treću osnovnu morfotektonsku jedinicu Europe (sl. 2), karakteriziraju euglaciostatički procesi. Očitivali su se najprije kroz vertikalnu kompresiju podloge uzrokovanu težinom leda, debelog i nekoliko tisuća metara, a potom naknadnim izdizanjem zbog njegovog otapanja. To je uvjetovalo snažnu eroziju podloge Baltičkog štita i naknadno lateralno raznošenje fluvio-glacijalnih i morenskih nanosa koji prelaze uže prostorne okvire štita. Svi ti činitelji objašnjavaju toliku rasprostranjenost prekambrijskih (arhajskih) stijena po površini na području Skandinavije.

METODOLOGIJA

Polaznu osnovu primijenjenog daljinskog istraživanja morfotektonskih odnosa Europe činila je kolor orbitalna slika približnog mjerila 1:8,000,000 (SSC SATELLITBILD, 1993), s pomoću koje je izrađena karta lineamentnih struktura i rasjeda istraživanog područja (sl. 1). Zbog odlika orbitalne slike, veća pozornost obraćena je njezinom JZ dijelu. Radi prikupljanja odgovarajućih podataka za istočne dijelove kontinenta koji nisu obuhvaćeni slikom, provedene su dopunske analize na fizičko-zemljopisnim kartama sitnog mjerila (FIZIKO-GEOGRAFIČESKIJ ATLAS MIRA, 1964; MEYERS

GROSSER WELTATLAS, 1974), uz upotrebu relevantnih podataka iz objavljenih radova i studija, uključivši i podatke o dubini Mohorovičićeva diskontinuiteta (INTERN. TECTONIC MAP OF EUROPE, 1981).

Na orbitalnoj slici reljef Europe je uglavnom izražen tamnijim tonovima koji odaju rebrastu strukturu gorja i brojne paleofluvijalne strukture unutar nizinskih, ali i gorskih ozemlja. Sušna i stepska pricrnomorska područja karakterizira tamnosmeđa boja, dok su viši dijelovi Skandinavije, u manjem opsegu Pireneji i Alpe, dijelom bijele boje, vjerojatno pokriveni snijegom. Područje Male Azije i Iberskog poluotoka pretežno je narančastih i tamnonarančastih tonova. Sigurnije odrednice u tom smislu ne mogu se podastrijeti, jer orbitalna slika ne sadržava podatke o vremensko-klimatskim i tehničkim uvjetima satelitskog snimanja.

Postupci analize slike temeljeni su na vizualnom promatranju morfografskih značajki reljefa. Morfotektonska razgraničenja izvedena su podcrtavanjem lučnih i pravocrtnih diskontinuiteta između raznovrsnih tipova reljefa. Oni čine osnovu izdvajanja lineamentnih struktura (linija) kojima je u radu obraćena osobita pozornost. Radi što potpunije rekonstrukcije morfografsko-morfotektonskih odnosa reljefa, provedena su višestruka smanjivanja i povećavanja u crno-bijeloj tehnici.

Podatci prikupljeni daljinskim istraživanjem, usporidivani su s podacima objavljenih radova (EMBELTON, 1984; BOGNAR, 1997) i s onima koji su prikupljeni postupcima poopćavanja fizičko-zemljopisnih karata (FIZIKO-GEOGRAFIČESKIJ ATLAS MIRA, 1964; MEYERS GROSSER WELTATLAS, 1974). Te su karte međusobno plošno uspoređivane, pa se tako došlo do novih spoznaja o morfotektonskoj građi razmatranog područja (sl. 1-4).

PRIKAZ REZULTATA

Na orbitalnoj slici unutar JZ dijela europskoga kontinenta i susjednih područja, mogu se uočiti mnogi kontinentski lineamenti SI prostiranja, kao i oni više isprekidani SZ prostiranja (sl. 1). Uočljivi su, ali većinom kao zamaskirani lineamenti meridionalnog i ekvatorijalnog, skraćeno ortogonalnog prostiranja, koji se međusobno presijecaju. Utjecali su na način uklopljenosti znatnog broja morfotektonskih jedinica u strukturno tkivo Europe i način njihova ponašanja (primjerice na položaj lučno svinutih Alpa).

Idući od priatlanskih dijelova Europe prema istoku, najprije je izdvojen *Rhonsko-rheinski* (1) lineament SI prostiranja (sl. 1). U tom nizu slijede *Jadransko-baltički* (2), pa rubni, uvjetno izdvojen *Pricrnomorski* (3) lineament. Ti se lineamenti presijecaju s onima SZ prostiranja kao što su *Biskajski* (4), koji je zahvaćen fragmentarno i transkontinentalni *Crvenomorsko-bodenski* (5) lokalno nazvan *Dinarsko-bavarski*, koji prati obalu Jadranskog i Jonskog mora. Potom slijedi *Dravski* (6) koji se jednim dijelom poistovjećuje s *Periadriatskim*. Zaje-



Sl. 1 Prikaz najuočljivijih lineamentnih struktura i rasjeda JZ Europe i pribaltičkih zemalja prema orbitalnoj slici Europe M 1:8,000,000 (SSC SATELLITBILD, 1993): 1-3) SI prostiranja; 4-8) SZ prostiranja; 9-10) SJ prostiranja; 11-14) prostiranja IZ i njima pridruženog prostiranja; **lineamentni pojasevi**: A, B, C) prostiranja SI-JZ i D) središnji, SI prostiranja; T) trokutasti morfostrukturni sklop Apulia; MO) središnja morfosinusoida (vjerojatno sigmoidea). Napomena: izvorna imena najvažnijih uočenih lineamenata preuzeta su iz BUSH (1983).

Fig. 1 Review of the most visible lineament structures and faults of SW Europe and the pre-Baltic countries according to the satellite scene, scale 1:8,000,000 (SSC SATELLITBILD, 1993): 1-3) NE spreading; 4-8) NW spreading 9-10) NS spreading; 11-14) EW spreading and accompanying spreadings; **lineament belts**: A, B, C) spreading NE-SW and D) central N-E spreading; T) triangular morphostructural complex Apulia; MO) central morpho-sinusoid (probably sigmoid). Note: titles of the most spotted lineaments were taken from BUSH (1983).

dno s *Rhonsko-rheinskim* lineamentom osjetno određuje položaj navlačnog sustava Alpa. *Panonski* (7) lineament presijeca područje Panonskog bazena. Idući *Britansko-podolski* planetarni lineament (8), lokalno nazvan *Datsko-karpatiski*, ide u red najizrazitijih pojava ove vrsti jer razdvaja alpinsko-hercinski, tektonikom jako

kompresiran JZ dio europskoga kontinenta od Ruske platforme koja na površini pokazuje razmjerno mirniju tektonsku građu. Ona subduktira podno Karpatskog sustava navlaka, pa bi time bila u skladu i opća usmjerenost morfolotektonskog sklopa Ruske platforme prema JZ (sl. 2).



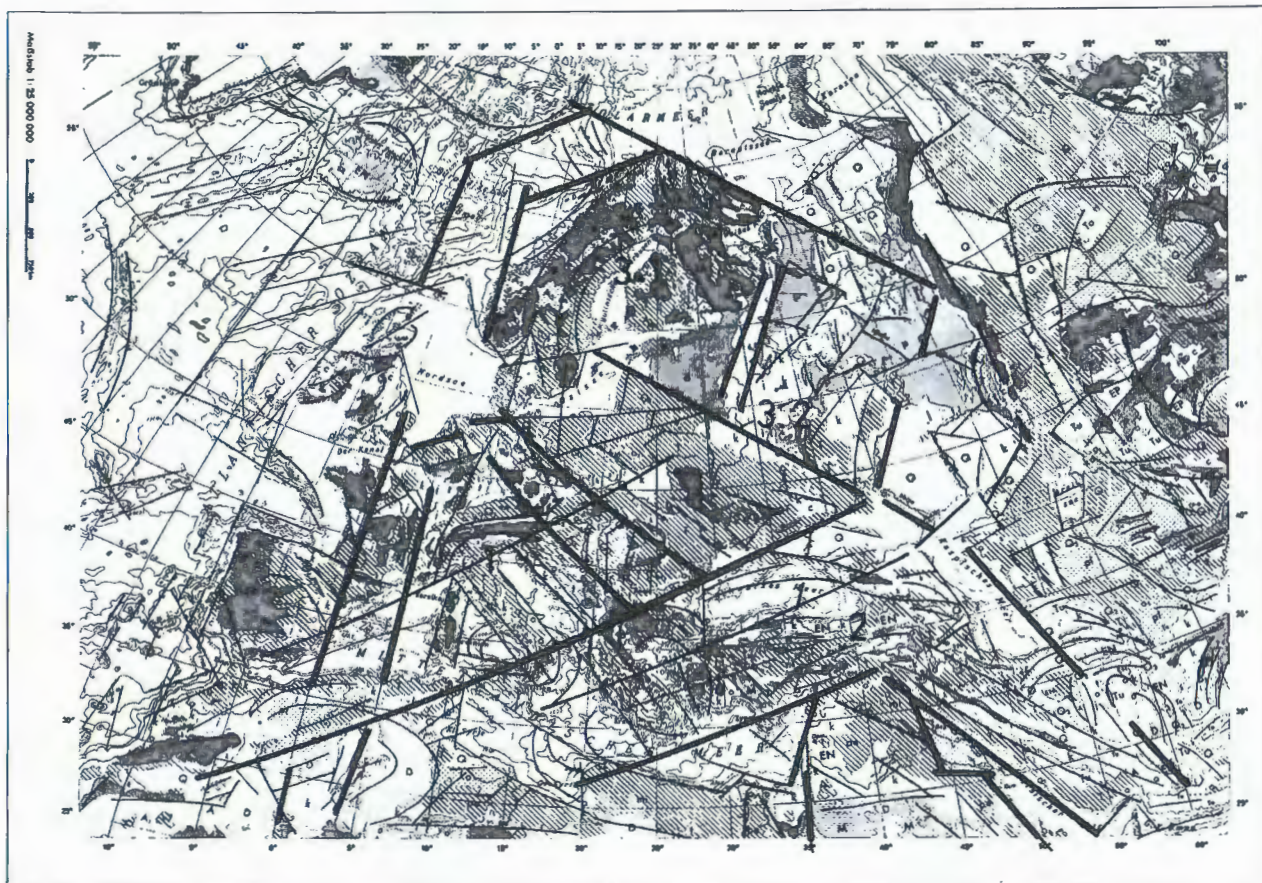
Sl. 2 Sažeti prikaz morfotektonske građe i podjele europskoga kontinenta prema tektonskoj karti M 1:17,500,000 (FIZIKO-GEOGRAFIČESKIJ ATLAS MIRA, 1964): 1) Alpinski-hercinski (Apulijski 1.1 - Maloazijsko-mezopotamski 1.2) lučno-klinasti pojas; 2) Ruska platforma (2.1) i Baltički štít (2.2) s rubno položenim Kaledonidima (2.3); 3) Datsko-karpataska granična lineamentna struktura, zona obdukcije panonskog fragmenta Alpida na Rusku ploču; 4) isprekidani nizovi meridionalnih lineamentnih struktura (iz BUSH, 1983), 4.1 - imena Stille; 5) shematski određen dio granice lučnog morfotektonskog sklopa Apulia; 6.1) Pariški bazen; 6.2) Centralni masiv; 7) Mediteranska lineamentna struktura. Napomena: lineamenti nisu grafički kategorizirani u tektonskom smislu, osim Datsko-karpataskog lineamenta.

Fig. 2 Generalized review of the morphotectonic build and division of the European continent according to the tectonic map, scale 1:17,500,000 (FIZIKO-GEOGRAFIČESKIJ ATLAS MIRA, 1964): 1) Alpine-Hercynian (Apulian 1.1 - Asia Minor - Mesopotamian 1.2) arch-wedge belt; 2) Russian platform (2.1) and Baltic shield (2.2) with marginally situated Caledonides (2.3); 3) Dacian-Carpathian central lineament structure where the Alpides Pannonian fragment obducted on Russian platform; 4) Discontinuous ranges of meridional lineament structures (from BUSH, 1983), 4.1 - named as Stille; 5) schematically drawn boundary part of the arched morphotectonic complex of Apulia; 6.1) Paris Basin, 6.2) Central Massif; 7) Mediterranean lineament structure. Note: the division lineament lines are not graphically categorized in the tectonic sense, except that of Dacian-Carpathian.

Najuočljiviji desno orijentirani lineamenti dijele razmatrani dio europskoga kontinenta na karakteristične morfotektonske pojaseve. Zapadni pojas (A) izgrađuju morfotektonski subsklopovi Centralnog masiva i Paris-kog basena (sl. 1). Svojom lučnom gradom općenito su usmjereni prema jugu i istoku kao posljedica kompresija u naznačenim smjerovima. Važnost središnjeg pojasa (B) leži u tome da je on u svom južnom alpskom dijelu lučno povijen prema sjeveru, zbog kolizije Apulijske mikroploče s Europskom pločom. Središnji pojas pruža se prema Baltiku, no zbog slabe jasnoće orbitalne slike, ovdje nije bilo moguće provesti morfotektonsko razgraničenje. Istočni pojas (C) vrlo je kompleksne reljefne građe zbog koje mu istočna rubna lineamentna granica nije točno određena. Transkontinentalni meridionalni lineament Špicberg-Vardar (9) (BUSH, 1983) dijeli taj uvjetno izdvojeni pojas na zapadni (C_1) i istočni morfotektonski podpojas (C_2).

Usporedno svrstani dijagonalni lineamenti SI i SZ prostiranja čine pojaseve koji se međusobno presijecaju. Oni tvore trokutaste, odnosno kutne oblike neotektonskog obilježja. Dobar primjer predstavlja u tom smislu kutni ocr reljefa koji se izdvaja unutar srednjoeuropskog prostora vršno usmjeren prema Baltiku (sl. 1). Uklapa u sebe manji Bavarski trokutasti podsklop reljefa. Vršni dijelovi reljefa takvih kutnih ocrta često su naknadno zatupljeni ili zaobljeni akumulativno-denukacijskim procesima, prethodno presječenim drugim lineamentima i rasjedima. Idući, djelomično izdvojeni desni kutni ocr protusmjerno je okrenut prema jugu. Takav odnos prati se prema istoku uvjetno tvoreći svojvrstan "cik-cak" pojas (šav). Može se nadograđivati do širih kontinentskih razmjera (sl. 1 i 3).

Važnu ulogu u morfotektonskom oblikovanju Europe treba pripisati i meridionalnim lineamentima koji na upotrijebljenoj orbitalnoj snimci nisu tako morfološki



Sl. 3 Shematski prikaz osnovnih lineamentnih morfotektonskih jedinica europskog kontinenta i graničnih područja klinasto-uglatih ocrta rekonstruiranih prema sl. 1 i geološkoj karti M 1:25,000,000 (MEYERS GROSSER WELTATLAS, 1974): 1) Apulia; 2) Arabia; 3) mnogokutni ocrat SI Europe koji spaja Baltički štit (3.1) i Rusku platformu (3.2), a obrubljuje je obdukcijski pojasevi Kaledonida, Uralida i Alpida.

Fig. 3 Schematic review of the basic lineament morphotectonic units of the European continent and marginal areas of the wedge-angular delimitations reconstructed according to Fig. 1 and geological map, scale 1:25,000,000 (MEYERS GROSSER WELTATLAS, 1974): 1) Apulia; 2) Arabia; 3) multiangular delineation of NE Europe which connects the Baltic shield (3.1) and the Russian platform (3.2), partially being bounded by Caledonides, Uralian and Alpides obduction belts.

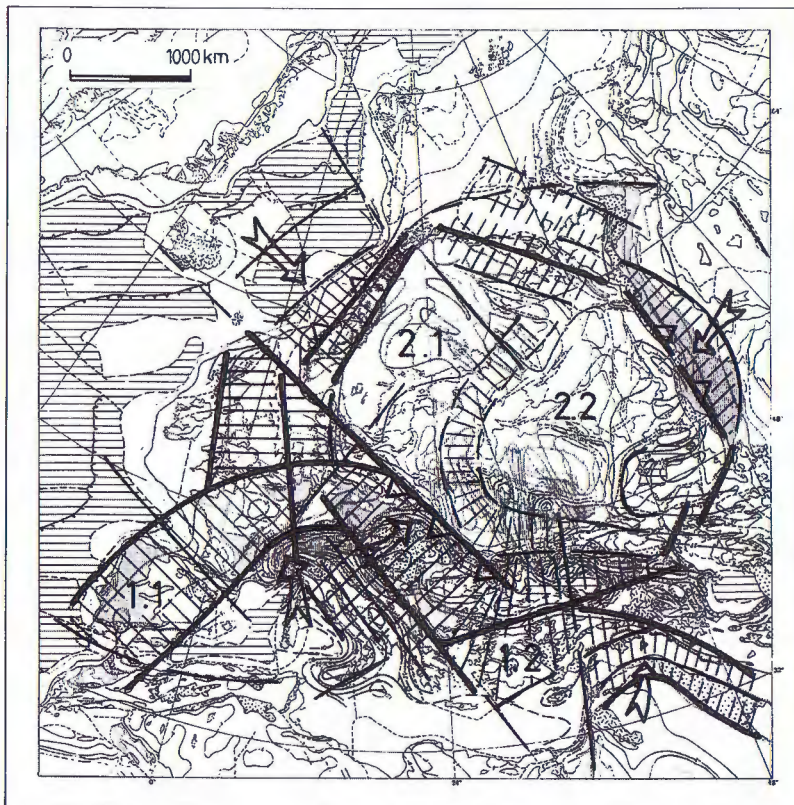
izraženi kao oni prije opisani. U tom smislu posebno se ističe lineamentna zona Stille (BUSH, 1983; sl. 2).

Prostorni odnos između lineamentnih struktura i položaja ploča i mikroploča pokazuje da između njih postoji određena povezanost (interakcijski odnos). Za primjer služi nam Apulijska mikroploča i Arabijska ploča. Kako se mreža lineamentata u prostornom i vremenskom smislu razvijala pod utjecajem planetarnih činitelja, tako je utjecala i na način pomicanja razgrađene Apulijske mikroploče u odnosu na Europu. To se odrazilo i na način kretanja navlačnih sustava Alpa. Inicijalni odnosi u spomenutom smislu naziru se i načinom razlamanja oceanske kore Tethysa, u području kolizijskog fragmenta Apulijske mikroploče (DERCOURT et al., 1993). Utjecaj te mikroploče na morfotektonsku građu Europe može se prognostički nazrijeti u komparativno-analitičkim postupcima; primjerice u analizi razlika kutnih ugiba lučno-klinastih ocrta koji se vežu uz Apulijsku mikroploču, a u odnosu na Arabijsku ploču. Oni su shematski izdvojeni s pomoću geološke karte Europe M 1:25,000,000 (MEYERS GROSSER WELTATLAS, 1974; sl. 3). Vidi se da je lučno-klinasti ocrat

Apulijske mikroploče oštrije u odnosu na onaj Arabijske ploče. Tuplji kutni ugib što ga čini Arabijska ploča, nastao iz njezine kolizije s maloazijsko-mezopotamskim morfotektonskim pojaskom, pokazuje da su kompresijsko-kolizijski procesi u tim područjima tekli očito drukčije.

Provedene usporedbe otvaraju neka nova pitanja. Način povijanja središnje europske morfosinusoide (vjerojatno sigmoide), upućuje (sl. 1) na protusmjerna kompresijska pomicanja blokova unutar Europske ploče, i pokazuje da ta pomicanja nisu bila jednostavna i jednoznačna. Klinasto-lučna građa morfotektonskog sklopa Apulia JZ Europe posljedica je obostranih ili uzajamnih utjecaja kako razvitka dijagonalnog sustava lineamentnih struktura tako i kolizijskih procesa.

Apulijska mikroploča znatno je utjecala na način razvitka morfotektonske građe JZ dijela europskoga kontinenta, s tim što se ona rubno preklapa s elementima sličnog razvitka Arabijske ploče (sl. 3). S druge strane osobitost horizontalne raščlanjenosti europskoga kontinenta podjednako treba pripisati upravo načinu rasprostiranja mreže lineamentnih struktura i načinu



Sl. 4 Opći prikaz morfotektonske građe i podjele europskoga kontinenta prema podjeli tektonskoj karti M 1:25,000,000 (INT. TECTONIC MAP OF EUROPE, 1981). 1) lučno-klinasti Apulijsko (1.1) - Arabijski (1.2) kompresijski pojas JZ i J Europe i susjednih područja; 2) mnogokutna građa SI Europe spaja Baltički štit (2.1) i Rusku platformu (2.2), pa one tvore jezgru na koju se nadograđuju daljnji rubni pojasevi; preklapaju se s Apulijsko-Arabijskim morfostrukturnim pojasom; 3) strelice - smjerovi kompresija. Izdvojen mnogokut može se prikazati i u inačici planetarne kružne morfostrukture.

Fig. 4 Generalized review of the morphotectonic build and division of the European continent according to the tectonic map, scale 1:25,000,000 (INT. TECTONIC MAP OF EUROPE, 1981). 1) Arch-wedge Apulian (1.1) - Arabian (1.2) compression belt of SW and S Europe and the adjacent areas; 2) multiangular build of NE Europe connects the Baltic shield (2.1) and Russian platform (2.2), forming the core whose marginal belts overlap with the Apulian-Arabian morphotectonic belt; 3) arrows - compression directions. The delineated multiangular unit can be presented in a variant of ring planetary morphostructure.

njihova presijecanja. Zanimljivost tog svekolikog razvitka morfotektonske građe europskoga kontinenta bila bi u tome da se kompresijski lučno-klinasti sklop JI Europe integrira s Ruskom platformom i Baltičkim štitom u mnogo veću mnogokutnu do kružnu jako zamaskiranu morfostrukturnu jedinicu (sl. 4).

ZAKLJUČAK

Morfotektonska građa i podjela europskoga kontinenta na karakteristične morfotektonske cijeline što ih otkriva orbitalna slika, odražava interakcijske odnose različitih činitelja. Među najvažnije pripadaju utjecaji kolizije Apulijske mikroploče kao promontorija Afričke ploče, a u manjoj mjeri Arabijske ploče s Euroazijskom pločom. Podjednako važnu ulogu treba pripisati progradijentnoj aktivnosti ponajprije sustava dijagonalno raspoređenih lineamentnih struktura kontinentsko-planetarynog značenja, a koji presijecaju europski kontinent. Oni su donekle usmjeravali kolizijsko-subdukcijske procese, a vjerojatno i naknadna kretanja navlačnih pokrova. No, i sam smjer pomicanja Apulijske mikroploče mora da je sa svoje strane povratno utjecao na osobitosti lokalnog razvitka odgovarajućih lineamentnih struktura unutar europskoga kontinenta. Kolizijski procesi aktivno su sudjelovali u prestrukturiranju i dezintegraciji primarne geološke građe JZ dijelova europskog kontinenta, napose Hercinida a kasnije i samih Alpida.

Postojeći kolizijski procesi pridonijeli su mehaničkom srastanju korjenitih dijelova Apulijske mikroploče s Europskom pločom, to jest Alpida s Hercinidima. To

je omogućilo oblikovanje velikog alpsko-hercinskog lučno-klinastog morfotektonskog sklopa, kao i onog Arabijske ploče, općenito usmjerenih prema sjeveru. Taj se odnos može s obzirom na lineamentne zone i dalje nadograđivati. Oštriji kutni ugib Apulijskog sklopa pokazuje da su ovdje kolizijski procesi, u odnosu na Arabijski koji pokazuje blaži ugib, tekli drukčije. Predložene teze nedovoljno su obrađene i kao takve traže daljnju obradu.

Mediteranski transkontinentski lineament (7) SI prostiranja u svom produžetku dijeli Rusku platformu na, uopćeno SZ i JI dio (sl. 2). Važan činitelj razvitka koji je tim procesima utjecao na osobitost morfotektonske građe Europe jest razvitak strukturno složene depresije Ruske platforme i s njom dijelomično predisponiranih pojava, kao što su rubne subdukcije, uz koje se veže orogeneza Kaledonida, Uralida, Kavkaza i Karpata kao dijela Alpida.

Acknowledgement

The Swedish Satellite Corporation from Kiruna presented to the public its satellite colour scene of Europe in 1993, scale 1:8,000,000. The authors used this scene for performing the morphotectonic analysis of Europe. For this unselfish and precious help we would like to thank the corporation from Kiruna, and to its representative "GEOSAT" in Zagreb. On useful suggestions and exchanges of opinions in connection with this paper, the authors are also very grateful to Prof. Ivan Bach, DSc., from Zagreb.

LITERATURA

- BOGNAR, A. (1997): Prirodna osnovica - reljef Europe s geomorfološkom kartom.- U: Atlas Europe. Leksikografski zavod "Miroslav Krleža", 66-70, Zagreb.
- BUSH, V.A. (1983): Systems of transcontinental lineaments of Eurasia.- U: PEIVE, A.B. et al. (ur.): Space Information for Geology. Acad. Sci. USSR, 287-299, Moscow.
- DERCOURT, J., RICOU, L.E. & VRIELYNCK, B. (ur.) (1993): Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps. Explanatory Notes.- Edit. Gauthier-Villars, Paris, 307 str.
- EMBELTON, C. (1984): Geomorphology of Europe.- Macmillan Publishers, London, 465 str.
- FIZIKO-GEOGRAFIČESKIJ ATLAS MIRA (1964): Fiziko-geografičeskij atlas Mira.- Akad. nauka SSSR, Gl. uprav. geodez. kartogr. GGK SSSR, Moscow.
- LETOUZEY, J., TREMOLIERES, P. & BIJU-DUVAL, B. (1977): An approach to the structure of the Mediterranean area: a satellite photogeological study.- U: BIJU-DUVAL, B. & MONTADERT, L. (ur.): Int. Symp. on the Structural History of the Mediterranean Basins, Split, Technip, 215-219, Paris.
- INT. TECTONIC MAP OF EUROPE (1981): International tectonic map of Europe and adjacent areas M 1:2.500,000.- Acad. Scienc. USSR and UNESCO (ur. ZHIV, D.I.), 14 maps, Moscow.
- MEYERS GROSSER WELTATLAS (1974): Meyers Grosser Weltatlas.- Geograf.-Kartogr. Inst., Bibliograph Inst., Mannheim, Wien, Zürich.
- SSC SATELLITBILD (1993): Europe from Space, based on images from NOAA-11 Satellit.- Swedish Space Corporation, Kiruna.
- YILMAZ, P.O., NORTON, J.O. LEARY, D. & CHUCHLA, R.J. (1996): Tectonic evolution and paleogeography of Europe.- U: ZIEGLER, A. & HORVÁTH, F. (ur.): Peri-Tethys Memoir 2, Structure and Prospects of Alpine Basins and Forelands. Mém. Mus. nat. d'Hist. natur., 170, 47-60, Paris.





Eocenska makrofauna otoka Krka

The Eocene Macrofauna of the Island of Krk

Koraljka KLEPAČ

Ključne riječi: fauna eocena, otok Krk, Hrvatska.

Key words: Eocene fauna, Island of Krk, Croatia.

Sažetak

Geološka zbirka dokumenata prirodne baštine, eocenska fauna pohranjena u Prirodoslovnom muzeju na Rijeci, nastala je kao rezultat višegodišnjih sustavnih istraživanja u vapnenačkim i klastičnim naslagama otoka Krka. Prikupljeni su brojni primjerci antozoa, brahiopoda, gastropoda, lamelibranhiata, ehinida i numulita. Detaljna paleontološka obrada koju provodi Prirodoslovni muzej - Rijeka sa suradnicima proširila je listu ranije poznatih eocenskih fosila novoutvrđenim taksonima. Utvrđen je niz do sada nepoznatih nalazišta eocenske makrofaune na otoku Krku.

Abstract

The geological collection of the natural heritage, the collection of the Eocene fauna stored in the Natural History Museum in Rijeka, is the result of systematic research in limestone and clastic deposits of the island of Krk. Collected are numerous specimens of anthozoa, brachiopods, gastropods, lamellibranchiata, echinoderms and nummulites. Detail paleontological analysis, carried out by the staff of the Natural History Museum in Rijeka, cooperating with other experts has expanded the list of the previously known Eocene fossils with the newly determined taxons. Furthermore, a series of, thus far unknown, localities of Eocene macrofauna on the island of Krk was determined.

1. UVOD

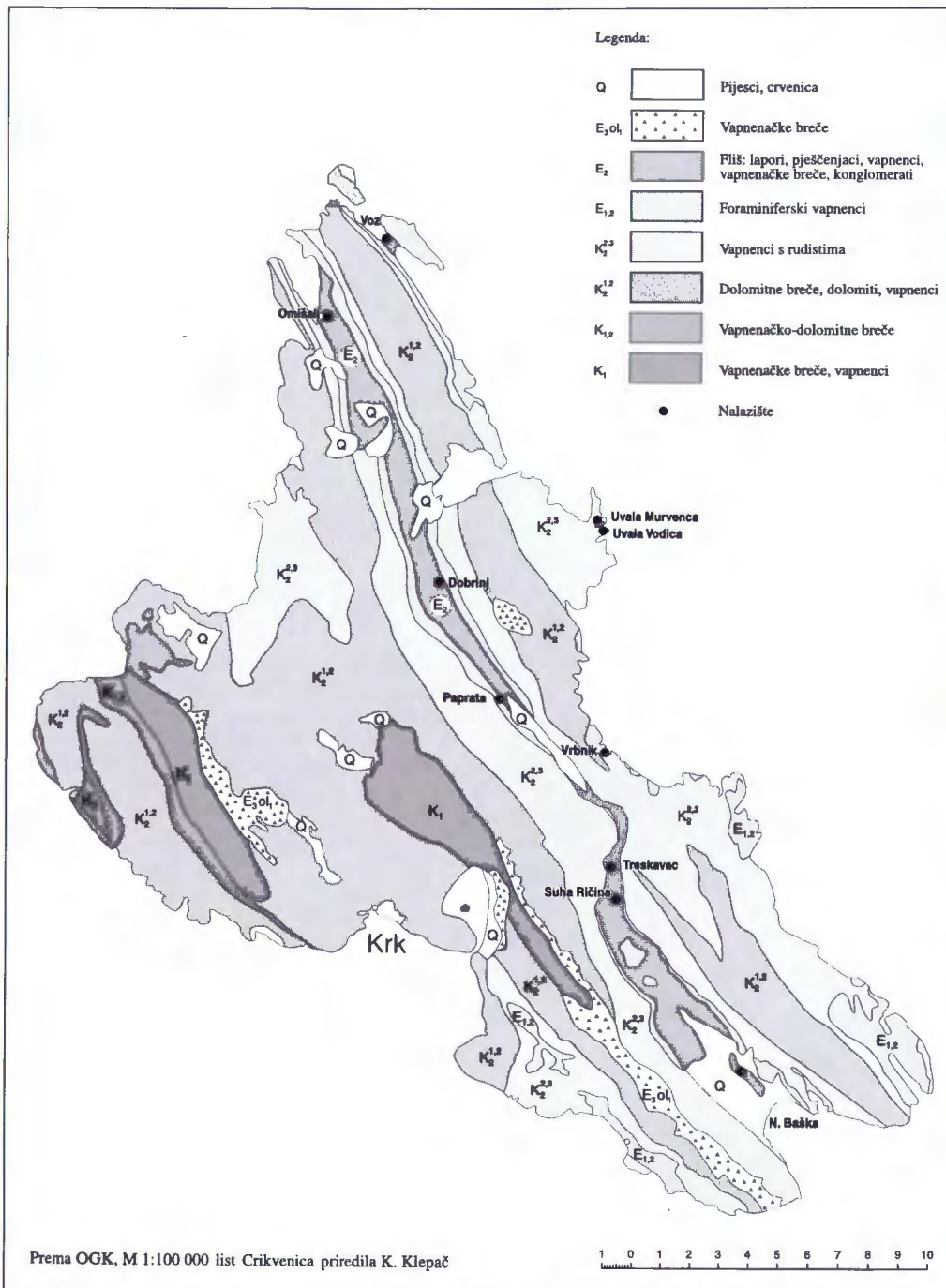
Novija sustavna istraživanja i prikupljanje paleontološkog materijala obavljeno u paleogenskim naslagama otoka Krka rezultirala su nastajanjem opsežne zbirke eocenskih fosila koja je pohranjena u Prirodoslovnom muzeju - Rijeka. Njihovom obradom i revizijom taksona starije paleontološke zbirke muzeja znatno je prošireno poznavanje eocenske faune otoka Krka, što omogućuje bolju stratigrafsku rasčlambu paleogenskih sedimentata, kao i bolji uvid u okoliš sedimentacije. Detaljna paleontološka obrada eocenskih fosila obavlja se u suradnji s Hrvatskim prirodoslovnim muzejem u Zagrebu (antozoa, lamelibranhiati, gastropodi), Geološkim fakultetom u Ljubljani (foraminifere), te Geološko-paleontološkim odjelom PMF u Zagrebu (brahiopodi). Posebna je vrijednost terenskih istraživanja utvrđivanje niza dosada nepoznatih nalazišta eocenske makrofaune na otoku Krku. Prirodoslovni muzej na Rijeci posjeduje eocenske fosile s dvadesetak nalazišta od kojih je obradivana fauna s lokaliteta Voz, Omišalj, Dobrinj, uvale Murvenica i Vodica, Paprata, Vrbnik, Treskavac, Suha Ričina i Nova Baška.

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Objavljenih radova o paleogenskoj fauni otoka Krka nema mnogo. U nekoliko ranijih radova navode se podaci o eocenskoj makrofauni, poglavito za nalazišta u Baški (SCHUBERT, 1912; REMEŠ, 1912; OPPENHEIM, 1914; MATOUŠEK, 1923a, b; ŠIKIĆ, 1963). Alveolinsku faunu starijeg paleogena (kuiz - lutet) nalazišta Voz obrađivala je DROBNE (1977), a numulite luteta iz Dobrinja i uvale Vodica opisuju PAVLOVEC (1961) i SCHAUB (1981). U novijim radovima obradeno je taksonomija i biometrija koralja iz eocenskih klastičnih naslaga (PRLJ et al., 1995), dok se u odredbi taksona ehinidske faune brojnih nalazišta navode i oni s otoka Krka (MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1985). Neki su podaci o eocenskim zajednicama fosila na otoku Krku uklopljeni u radove koji se odnose na regionalnu geologiju Kvarnera i šire riječke regije.

3. LITOLOŠKI PRIKAZ

Paleogenske naslage otoka Krka obiluju fosilima koji brojnošću i raznovrsnošću daju bitno obilježje



Sl. 1 Geološka karta otoka Krka.

Fig. 1 Geological map of the island of Krk.

pojednim njihovim dijelovima. Tako foraminifere, poglavito alveoline i numuliti starijeg dijela naslaga, određuju donjoeocensku i dijelom srednjoeocensku starost tih gotovo isključivo vapnenačkih sedimenata. Klastične naslage mlađeg paleogena, dijelom srednjeg eocena te gornjeg eocena, sastoje se od zaglinjenih i pjeskovitih vapnenaca, vapnenačkih i pjeskovitih lapora, te breča i konglomerata. U tim sedimentima raznovrsna je makrofauna s brojnim taksonima antozoa, brachiopoda, gastropoda, lamelibranchiata, ehinida i numulita. Te naslage leže na široko rasprostranjenim krednim karbonatnim sedimentima kao uske sinformne tektonske strukture. Gornjem eocenu i oligocenu pripadaju vapnenačke breče s ulošcima lapora. Neogenu odgo-

raju male pojave sivih lapora s ostrakodnom faunom. Kvartar je zastupljen pijescima vjerojatno morskog porijekla uvale Soline (Klimno), crvenicom u vrtačama i poljima pretežito na zapadnom dijelu otoka, jezerskim taložinama uvale Ponikve, te drugim sedimentima različitog sastava i postanka. Pregledna geološka karta, s oznakama nalazišta, izrađena je prema podacima citiranih geoloških karata i na temelju vlastitih zapažanja (sl. 1).

4. EOCENSKA MAKROFAUNA OTOKA KRKA

Veoma dobro razvijene vapnenačke i klastične naslage eocena, bogate izrazito morskim oblicima orga-

Vrste faune	Nalazišta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Alveolina palermitana</i> HOTTINGER				+							
<i>Alveolina gigantea</i> CHECCHIA-RISPOLI				+							
<i>Alveolina frumentiformis</i> SCHWAGER				+							
<i>Alveolina stercusmuris</i> MAYER-EYMAR				+							
<i>Alveolina stipes</i> HOTTINGER				+							
<i>Alveolina aff. lehneri</i> HOTTINGER	+										
<i>Alveolina rakoveci</i> DROBNE	+										
<i>Alveolina cuspidata</i> DROBNE	+										
<i>Nummulites perforatus</i> MONFORT	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Nummulites millecaput</i> (BOUBÉE)	+	+			+		+			+	
<i>Nummulites laevigatus</i> (BRUGUIERE)	+	+			+						
<i>Nummulites friulanus</i> SCHAUB				+		+					
<i>Nummulites praelorioli</i> SCHAUB				+		+					
<i>Nummulites cf. tauricus</i> SCHAUB				+							
<i>Nummulites cf. inkermanesis</i> SCHAUB				+							
<i>Nummulites cf. alponensis</i> SCHAUB						+					
<i>Nummulites praediscorbinus</i> SCHAUB				+							
<i>Assilina major</i> HEIM				+							
<i>Assilina cf. cuvillieri</i> SCHAUB				+							
<i>Assilina spira abrardi</i> SCHAUB						+					
<i>Assilina suteri</i> SCHAUB						+					
<i>Assilina exponens</i> (SOWERBY)	+	+	+	+	+				+	+	

Tablica 1 Pregled vrsta po nalazištima - mikrofauna. Legenda: 1) Voz; 2) Omišalj; 3) Dobrinj; 4) Murvenica; 5) Vodica; 6) Paprata; 7) Vrbnik; 8) Treskavac; 9) S. Ričina; 10) N. Baška.

Table 1 Distribution of species according to localities - microfauna. Legend: 1) Voz; 2) Omišalj; 3) Dobrinj; 4) Murvenica; 5) Vodica; 6) Paprata; 7) Vrbnik; 8) Treskavac; 9) S. Ričina; 10) N. Baška.

nizama, pokazuju veliku raznovrsnost faune. Najčešći fosili koji su tu prikupljeni su foraminiferi s vrstama *Nummulites perforatus* (DE MONFORT), *N. millecaput* BOUBÉE, *N. laevigatus* (BRUGUIÈRE), *Assilina exponens* (SOWERBY). Mjestimično su veoma brojni solitarni koralji *Nicaeotrochus cyclolitooides* (BELLARDI), *Chevalieriphyllia costata* (D'ACHIARDI) i *Pattalophyllia pasinii* (D'ACHIARDI). Nadalje se ističu marinski oblici školjkaša, posebno lucina, a brojnošću primjeraka vrste *Miltha (Eomiltha) prominensis* (OPPENHEIM), *M. (E.) illyrica* (OPPENHEIM), česti su kardiidi *Cardium (Trachycardium) dalmatinum* DAINELLI, zatim *Ostrea gigantea* (SOLANDER & BRANDEN), *O. conica* D'ORBIGNY, *O. plicata* (SOLANDER), *Crassatella secco* OPPENHEIM, *Spondylus bifrons* (MUNSTER), *Spondylus cisalpinus* BRONGNIART, *Pycnodonta brongniarti* (BRONN), *Pholadomya pushi* (GOLDFUSS), *Chlamys cf. infumatus* (LAMARCK), *Chama dissimilis* BRONGNIART, kao i brojni primjerci raznovrsnih puževa naticina *Natica cepacaea* LAMARCK, *N. vulcani* BRONGNIART, *N. vulcaniformis* OPPENHEIM, *N. incompleta* ZITTEL, *N. patula* (DESHAYES), česta je *Diastoma costellatum alpinum* (TÖURNOUER), te *Cerithium vivarii alpinum* (TÖURNOUER), *Voluta musicalis* (CHEMNITZ), *Turritella imbricataria carinifera* DESHAYES, *Turritella imbricataria* LAMARCK i *Campanille cf. lashedis* (BAYAN). Tu su nadalje otkriveni kolutičavi crv *Serpula spirulaea* LA-

MARCK, brojni primjerci ježinaca vrsta *Conoclypeus conoideus* (ZITTEL), *Euspatangus bicarinatus* (GOLDFUSS), *Echinolampas politus* (DESMONDI) i *Echinolampas subaffinis* (DESMONDI). Iznimnu paleontološku vrijednost imaju primjerci vrlo dobro očuvanih brahiopoda iz porodice Terebratulidae. Pregled vrsta po nalazištima prikazan je u tablicama 1 i 2, a snimke tipičnih vrsta na tablama 1 i 2.

5. ZAKLJUČAK

Novija istraživanja paleogenskih naslaga otoka Krka, koje provodi Prirodoslovni muzej na Rijeci sa suradnicima, proširila su poznavanje faune eocenskih naslaga. Pojedini taksoni liste eocenskih makrofosila poznati su u ranijim paleontološkim i geološkim radovima. Ipak veći dio vrsta pripada novoutvrđenim taksonima. Ustanovljeni su novi lokaliteti s raznovrsnom faunom, a njezinom obradom znatno je proširena lista dosad poznatih taksona.

6. LITERATURA

- DROBNE, K. (1977): Alveolines paleogenes de la Slovenie et de l'Isrie.- Schw. Paleont. Abh., 99, 1-132, Basel.
- GRIMANI, I., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list

Vrste faune	Nalazišta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Nicaeetrochus cyclolitoides</i> (BELLARDI)				+	+	+	+	+		+	
<i>Chevalierphyllia costata</i> (D'ACHIARDI)				+	+	+	+	+		+	
<i>Pattalophyllia pasinii</i> (D'ACHIARDI)				+				+			
<i>Terebratulla</i> sp.		+		+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Saxolucina saxorum</i> (LAMARCK)		+			+	+				+	+
<i>Miltha (Eomiltha) prominens</i> (OPPENHEIM)					+						+
<i>Miltha (Eomiltha) illyrica</i> (OPPENHEIM)		+			+	+					+
<i>Ostrea gigantea</i> SOLANDER & BRANDER			+						+	+	
<i>Ostrea cyathula</i> LAMARCK					+					+	
<i>Bellostrea bellovacina</i> (LAMARCK)				+	+					+	
<i>Ostrea conica</i> D'ORBIGNY					+				+	+	
<i>Ostrea plicata</i> (SOLANDER)			+	+	+					+	+
<i>Cardium (Trachycardium) dalmatinum</i> DAINELLI					+						+
<i>Cardium (Neocardium) breve</i> FRAUSCHER					+						
<i>Cardium (Divaricardium) polyptyctum</i> BAYAN					+						
<i>Cardita astieri</i> D'ORBIGNY							+				
<i>Cardita laurae</i> BROGNIART				+	+			+		+	
<i>Cardita hortensis</i> VINASSA DE REGNY				+							
<i>Thracia prominens</i> OPPENHEIM		+									
<i>Telina granconensis</i> OPPENHEIM					+						+
<i>Crassatella seccoi</i> OPPENHEIM					+	+				+	
<i>Chama dissimilis</i> BRONGNIART		+		+	+	+			+	+	
<i>Chama granulosa</i> D'ARCHIAC											
<i>Corbula cicer</i> VINASSA DE REGNY				+							
<i>Cyrena convexa vapincana</i> D'ORBIGNY					+						
<i>Cytherea hilarionis</i> OPPENHEIM					+						
<i>Meretrix hilarionis</i> (OPPENHEIM)					+						
<i>Spondylus bifrons</i> (MUNSTER)				+	+	+			+	+	+
<i>Spondylus cisalpinus</i> BRONGNIART					+						
<i>Pycnodonta brongniarti</i> (BRONN)					+						
<i>Pholadomya pushi</i> (GOLDFUSS)					+	+					+
<i>Chlamys cf. infumatus</i> (LAMARCK)		+			+				+	+	
<i>Lima rossi</i> OPPENHEIM					+					+	
<i>Pleurotoma odontela</i> (EDWARDS)					+						
<i>Natica cepacaea</i> LAMARCK		+			+	+			+	+	
<i>Natica (Ampullina) parisiensis</i> D'ORBIGNY					+						
<i>Natica vulcani</i> BRONGNIART					+	+				+	
<i>Natica vulcaniformis</i> OPPENHEIM										+	
<i>Natica incompleta</i> ZITTEL					+	+					
<i>Natica patula</i> (DESHAYES)					+						
<i>Diastoma costellatum alpinum</i> (TÖURNOUER)					+	+				+	
<i>Cerithium vivari alpinum</i> (TÖURNOUER)					+					+	
<i>Voluta musicalis</i> (CHEMNITZ)					+						
<i>Turritella imbricata carinifera</i> DESHAYES					+						
<i>Turritella imbricata</i> LAMARCK		+		+	+	+	+			+	
<i>Mitra</i> sp.					+						
<i>Campanille cf. lashedis</i> (BAYAN)		+			+	+			+	+	
<i>Serpula spirulaea</i> LAMARCK		+		+	+	+	+		+	+	
<i>Conoclypeus conoideus</i> (ZITTEL)									+	+	
<i>Euspatangus bicarinatus</i> (GOLDFUSS)									+	+	
<i>Echinolampas politus</i> (DESMONDI)									+		
<i>Echinolampas subaffinis</i> (DESMOULINS)						+			+	+	
<i>Cidaris</i> sp.							+			+	
<i>Cidaris subularis</i> D'ARCHIAC									+	+	

Tablica 2 Pregled vrsta po nalazištima - makrofauna. Legenda: 1) Voz; 2) Omišalj; 3) Dobrinj; 4) Murvenica; 5) Vodica; 6) Paprata; 7) Vrbnik; 8) Treskavac; 9) S. Ričina; 10) N. Baška.

Table 2 Distribution of species according to localities - macrofauna. Legend: 1) Voz; 2) Omišalj; 3) Dobrinj; 4) Murvenica; 5) Vodica; 6) Paprata; 7) Vrbnik; 8) Treskavac; 9) S. Ričina; 10) N. Baška.



TABLE 1 - Faune eocena na otoku Krku
 PLATE 1 - Eocene Fauna of the Island of Krk

- 1 *Conoclypeus conoideus* (ZITTEL), Suha Ričina, Krk, Hrvatska (1/1).
 2 *Echinolampas subaffinis* (DESMOULINS), Suha Ričina, Krk, Hrvatska (1/1.3).

Crikvenica L 33-102.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1963), Savezni geol. Zavod, Beograd, 47 str.

MATOUŠEK, O. (1923a): Nový nález paleogenu a geologické poměry v najjižnější části ostrova Krku.- Rozpr. Čes. Akad., 32, 2/31, 1-10, Praha.

MATOUŠEK, O. (1923b): The geology of the bay of Bescanuova on the Island of Veglia.- Bull. intern. Acad. Boheme, str. 1-13, Prague.

MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. (1985): Značaj ehinidske faune za stratigrafiju gornjeg eocena i oligocena Jugoslavije (Importance de la faune Echinides pour la stratigraphie de l'Eocène supérieur et de l'Oligocène en Yougoslavie).- Geol. glasnik, 28, 127-137, Sarajevo

OPPENHEIM, P. (1914): Die Eocänfauna von Besca Nuova auf der Insel Veglia.- Verh. Geol. Reichsanst., 7/8, 189-202, Wien.

PAVLOVEC, R. (1961): A contribution to the study of Eocene and Oligocene Nummulites in Yugoslavia.- Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl., 6/2, 38, Zagreb.

PR LJ-ŠIMIĆ, N., SREMAC, J. & ČOSOVIĆ, V. (1995): Taxonomy and biometry (applied to the corals from the island of Krk - Croatia).- 1. hrvatski geol. kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 495-498, Zagreb.

REMEŠ, M. (1912): Ein Beitrag zur Kenntnis des Eocäns bei Besca Nuova auf der Insel Veglia.- Verh. Geol. Reichsanst., H. 7, 212-215, Wien.

SCHAUB, H. (1981): Nummulites et Assilines de la Tethys paléogène. Taxinomie, phylogénese et biostratigraphie.- Mémoires Suisses de Paléontologie, 104.

SCHUBERT, R. (1912): Geologischer Führer durch die nördliche Adria.- Bornträger, Sammlung geol. Führer, 17, Berlin, 213 p.

ŠIKIĆ, D. (1963): Usporedba razvoja mlađeg paleogena u Istri, Hrvatskom primorju i Dalmaciji.- Geol. vjesnik, 15/2, (1961), 329-336, Zagreb.

ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., MILAN, A., ŠIKIĆ, D., GRIMANI, I., VULIĆ, Ž. & BLAŠKOVIĆ, I. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Crikvenica L 33-102.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1961-1969) Sav. geol. zavod, Beograd.



TABLA 2 - Fauna eocena na otoku Krku
 PLATE 2 - Eocene Fauna of the Island of Krk

- 1 *Bellostrea bellovacina* (LAMARCK), Murvenica, Krk, Hrvatska (1/1).
- 2 *Chevalieriophyllia costata* (D'ACHIARDI), Paprata, Krk, Hrvatska (2/1).
- 3 *Cytherea hilarionis* OPPENHEIM, Paprata, Krk, Hrvatska (1.3/1).
- 4 *Terebratula* sp., Treskavac, Krk, Hrvatska (1/1).



Lithology, Stratigraphy and Selective Corrosion (Example from Shilin Stone Forest, Yunnan Province, China)

Martin KNEZ

Key words: Karstology, Geology, Lithology, Selective corrosion, Stone forest, China.

Abstract

Rocks in parts of the Lunan area are extremely monotonous in composition, while in some geologic profiles alternation of various types of limestone and dolomite is found. This is reflected in selective corrosion and erosion of carbonates, and along with this the form and morphological appearance of individual rock columns, larger rock blocks and relief landscapes. There are interesting opinions concerning the effects of lithology on karst morphology, individual rock columns and on rock blocks. Some Chinese experts claim that no effect on carbonate composition and rock structure on the development and morphology of karst is present in the existing tropical and subtropical climatic conditions. Stone forests are presumed to have formed in dolomite as well as in limestone, and to have formed in carbonate rock of various structural and genetic types. Some experts hold the opinion that lithologic particularities of rock are an essential factor in the development, formation and present morphological appearance of karstic forms throughout their development from rock teeth to rock columns.

1. INTRODUCTION

Stone forests represent a particular form of karstic pinnacles. The pinnacles are composed of rock columns or teeth. The columns are between 5 and 50 metres high and are in various forms. Their shape is determined, aside from past and present formation factors, mainly by composition, bedding and degeneration of rock. Columns in homogenous rock are mostly wider at the bottom, when subterranean carbonate rock dissolution has not tapered them, and gradually narrow towards the summit. Mushroom-shaped columns form when the underlying beds are thin, when they are densely fractured, when the rock is very porous and when they are made of dolomite; in short, when they are weathered

rapidly. Stone forest develops in thick-bedded, relatively pure limestone, in beds with an incline of up to 15 degrees and covered with a network of upright fractures. A stone forest will not develop in distinctly fractured rock (SONG & LIU, 1992).

SONG (1986) differentiates three types of stone forests by their position. Vast forests with dolines and sink-holes develop in dry valleys and in valleys. Sub-surface water flows beneath them, or they are occasionally flooded. The forest is lower on the tops of hills (10 to 30 metres), the columns grow from a common foundation, and the alluvial cover on it is thin. The forest on the hillsides is an intermediate mixture of both described forms.

Stone forests are most frequently described as a form of covered karst (SWEETING, 1995). Carbonate rock upon which corrosion sinks formed in polytropic and subtropical climates was covered with a thick alluvial cover that played a critical role in the formation and shape of the stone forest.

The Shilin stone forest was primarily covered with alluvium and soil, but was subsequently denuded and transformed by water from precipitation. The development, similar to corrosion sinks and/or to the morphogenetic process in rocky relief, can be observed at both the macro and micro levels.

2. LITHOLOGIC AND STRATIGRAPHIC CHARACTERISTICS OF CARBONATE IN THE LUNAN STONE FORESTS

Stone forests in general, and those in the Lunan area in particular, develop primarily in very thick-bedded and chemically pure limestone. Some data indicate that the Lunan stone forest developed in carbonate strata up to 30 metres thick (SONG, 1986). The thickness of strata in other stone forests in south China is much smaller, only up to 2 metres.

The Lunan stone forest formed in Lower Permian limestone. This was tectonically very much broken up, but in spite of this the strata dip did not exceed 10 degrees on average. In several neighbouring stone fore-



Fig. 1 Shilin Stone Forest. A stone forest is a unique form of pinnacle karst (Photo M. Knez).

sts, strata dip in some exceptional cases exceeded 20 degrees. It is ascertainable that strata dip in excess of 15 degrees impedes the formation of large stone columns (SONG, 1986).



Fig. 2 Shilin Stone Forest. Central part is distinguished by sharp peaks (Photo M. Knez).

Work was not based merely on taking rock samples of singular rock columns; most of my attention was paid to the contact between various rocks in the geologic column. In some cases, a contact was revealed by intense corrosion in a specific section of the profile which was also reflected morphologically in rock. However, consistent sampling more often exposed contacts between lithologically different rock (KNEZ, 1998).

Fieldwork in the Lunan stone forest revealed a specific significance in the degree of carbonate porosity as concerns selective corrosion. The fact that some sections of the geologic profile and/or rock columns are significantly more susceptible to the effects of corrosion and erosion is in some parts macroscopically visible. This was also confirmed by unfinished research on the macroscopic level.

With the exception of some short sections of carbonate rock (the Maokou level) in the Shilin stone forest (Figs. 1 and 2) - in an area of 11 square kilometres - it is structurally and texturally constant throughout the geologic profile. All samples examined under a microscope indicate that the 350-million-year-old rock is very diagenetically altered. Fossil remains are mostly indiscernible, even though they have not been tectonically damaged. The strata dip is mostly around 5 degrees and seldom exceeds 10 degrees, thus indicating small regional movement. At the same time, results of microscopic research show that the present strata dip most likely reflects only a short phase of non-vertical terrain movement and that blocks between the not very dense cracks were only slightly damaged. Regardless of this, the rock has numerous calcite-filled cracks without evident signs of movement. Due to the purity and crystallisation of the bedrock carbonate, calcite veins are difficult to notice macroscopically. The gently anticlinal uplifting of rock was regionally widespread and



Fig. 3 Naigu Stone Forest. Between larger rock masses are individual pillars (Photo M. Knez).

took place over many different phases and periods. Other researches drew attention to the fact that there had been more than one Permian rock deformation (cf. YUAN, 1991).

The Naigu stone forest (Fig. 3) covers an area of 8 square miles. It is composed of rock of the Qixia formation, which alters a few times throughout the geologic profile. Alterations in colour, bed thickness, porosity and inclusion, etc., are frequently found. The base of the lower, covered area of Naigu stone forest is composed of light-brown to orange massive and homogeneous carbonate. In the profile it is succeeded by rock less resistant to corrosion and erosion. They comprise a sort of narrow part of the column underlying the otherwise wider and thus more resistant upper part.

The Laoheigin stone forest (Fig. 4) is located about 20 kilometres north of Shilin. Singular rock columns and large blocks of rock transformed by corrosion and erosion are spread over an area of only 2 square kilometres. Morphologically, the rock columns are very similar to those in the Naigu forest.

There are some interesting differences of opinion concerning the effect of lithology on karst morphology, singular rock columns and rock blocks. Some researchers (e.g., ZHANG, 1997) claim that carbonate composition and rock structure do not affect the development and form of karst and karstic forms. The above-noted author also maintains that stone forests can develop in dolomite as well as in limestone, with or without bedded cherts, and that they can develop in carbonate rock



Fig. 4 Laoheigin Stone Forest. Rock in the lower section of the stone columns is more porous than the upper section (Photo M. Knez).

of different structural and genetic types. Others maintain that lithologic singularities of rock are essential factors in the development, formation and present morphological appearance of karstic forms from rock teeth to rock columns.

3. CONCLUSION

In my observation of a section of the geologic profile taken in the vicinity of Shilin, I found that microscopic analysis does not reveal large biostratigraphic alteration in rock. Indeed, all three stone forests researched contained very important lithologic anomalies. Regarding macroscopic and microscopic research of rock from the three stone forests near Lunan, it was found that the type of rock is clearly reflected in selective carbonate corrosion and erosion, and thus in the shape and morphological appearance of singular rock columns and large rock blocks.

4. REFERENCES

- KNEZ, M. (1998): Lithologic properties of the three Lunan Stone Forests (Shilin, Naigu and Lao Hei Gin).- In: South China Karst I. Založba ZRC, Ljubljana, 247 p.
- SONG, L.H. (1986): Origination of stone forests in China.- *International Journal of Speleology*, 15, 3-13, Trieste.
- SONG, L.H. & LIU, H. (1992): Control of geological structures over development of cockpit karst in south Yunnan, China.- *Tübinger Geographischer Studien*, 109, 57-70, Tübingen.
- SWEETING, M.M. (1995): Karst in China. Its geomorphology and environment.- Springer-Verlag, Berlin, XI+265 p.
- ZHANG, S. (1997): Stone forest in China and pinnacle karst in Madagascar.- In: SONG, L., WALTHAM, T., CAO, N. & WANG, F. (eds.): Stone Forest, a treasure of natural Heritage.- Beijing, 136 p.
- YUAN, D. (1991): Karst of China.- Geological Publishing House, Beijing, V+224 p.



Palinofacijes, organska geokemija i sedimentologija subrecentnih taloga Morinjskog zaljeva (srednja Dalmacija, Hrvatska) - prinos poznavanju procesa nastanka prekursora kerogena matičnih stijena

Palynofacies, Organic Geochemistry and Sedimentology of Recent Sediments from Morinje Bay (Middle Dalmatia, Croatia) - A Contribution to the Knowledge of Formation Processes of Kerogen Precursor of Source Rocks

Georg KOCH¹, Anda ALAJBEG², Marko ŠPARICA¹ & Stanislav BERGANT¹

Ključne riječi: palinofacijes, organska geokemija, sedimentologija, taložni okoliš, prekursor kerogena matičnih stijena, Morinjski zaljev.

Key words: Palynofacies, Organic geochemistry, Sedimentology, Depositional environment, Precursor of kerogen, Morinje Bay.

Sažetak

Subrecentni sedimenti Morinjskog zaljeva istraženi su kako bi se odredile njihove palinofacijesne, organsko-geokemijske i sedimentološke značajke. Zajedno sa značajkama sredine taloženja, rezultati su interpretirani u svjetlu procesa koji dovode do stvaranja prekursora kerogena matičnih stijena.

Morinjski zaljev predstavlja taložni okoliš zaštićene, anoksične, plitke marinske depresije sa slatkovodnim utjecajem u kojem su stvoreni povoljni uvjeti za nastanak matičnih stijena.

Glinoviti siliti Morinjskog zaljeva sadrže visok udio pretežito lipidima bogate amorfnе organske tvari planktonskog podrijetla u čijoj su izgradnji sudjelovale i anaerobne bakterije. Amorfnа organska tvar formirana u anoksičnim uvjetima nalazi se u huminskoj fazi dijageneze, dobro je očuvana i zaštićena od sekundarne oksidacije. Po svojim značajkama i visokom sadržaju sumpora, takav tip organske tvari klasificiran je kao prekursor kerogena tipa II-S.

Abstract

Recent sediments of the Morinje Bay were investigated to define their palynofacies, organic-geochemical and sedimentological characteristics. These characterizations, along with the features of the depositional environment, are interpreted in terms of the processes which lead to the formation of kerogen precursor of source rocks.

Morinje Bay represents a depositional environment of a restricted, oxygen-depleted, marine shallow-water depression under fresh-water influence within which favourable conditions for the formation of source rocks are created.

The clayey siltites of the Morinje Bay contain high portion of lipid-rich, mainly amorphous organic matter of planktonic origin which was built-up through the activity of anaerobic bacteria. The amorphous organic matter formed within anoxic conditions is found to be in the humin phase of diagenesis, well preserved and protected against secondary oxidation. According to these features and high sulphur content, this type of organic matter is classified as the precursor of type II-S kerogen.

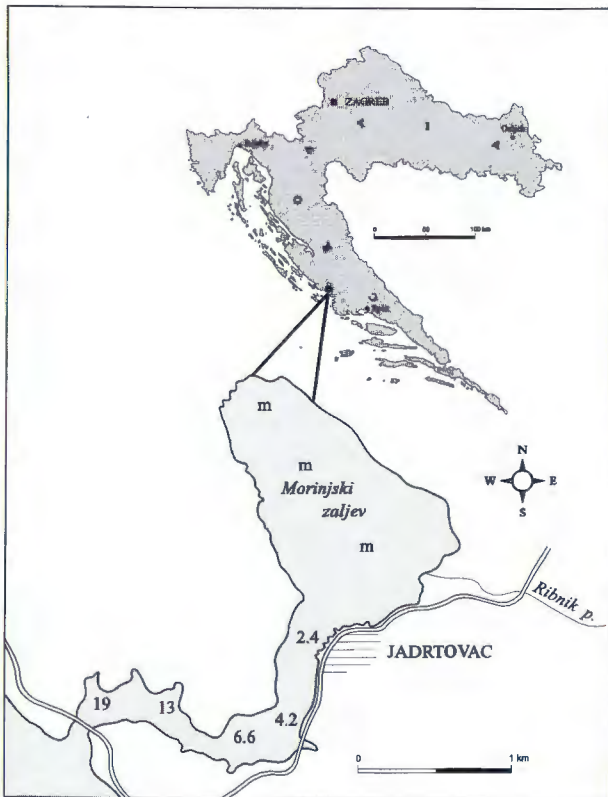
1. UVOD

Procesi nastanka matične stijene vezani su uz kompleksnu interakciju mehanizama kontrole odnosa sastava organske tvari i koncentracije u sedimentima kao i mehanizama kontrole odnosa produkcije, sedimentacije i dijageneze organske tvari. Temeljni preduvjeti za nastanak matičnih stijena su povišena biološka produkcija, akumulacija i očuvanje organske tvari. Visoke zalihe organske tvari nalaze se uzduž kopnenih masa zbog visoke produkcije obalnih voda i/ili visokog donosa ter-

estričke organske tvari; mirne sredine kontinentalnih šelfova, marginalna mora (Crno more, Baltik, Mediteran), vodena tijela lagunarnog tipa, delte i estuariji. Od ukupne biološke produkcije, izraženo u organskom ugljiku, u sedimentima se prosječno očuva tek 0,1%, a samo iznimno u naglašeno anoksičnim uvjetima (Crno more) doseže vrijednost od 4% (TISSOT & WELTE; 1984). Iz spomenutog proizlazi da su od biološke produkcije još važniji procesi akumulacije i očuvanja organske tvari, jer matične stijene nastaju samo u taložnim prostorima optimalno izbalansiranog energetskog nivoa vo-

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²INA-SSRI, Savska 41/10, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Položajna karta.

Fig. 1 Index map.

dene mase, stupnja sedimentacije i taloženja sitnozrnatih sedimenta.

Zbog svojih izrazito razvedenih geomorfoloških značajki, uzduž hrvatske obale formirani su brojni zaljevi, uvale i zaštićeni marinski prostori, unutar kojih su stvorene pretpostavke za nastanak matičnih stijena. Osobito interesantni su mirni, zaštićeni bazeni koji komuniciraju s morem uskim tjesnacima, a istovremeno su pod fluvijalnim utjecajem i/ili utjecajem oborinskih voda koje se dreniraju kroz razveden hidrogeomorfološki sustav krškog područja. S obzirom na biološku produkciju, takvi bazeni se gotovo u pravilu mogu uvrstiti u prirodne eutrofikacijske ekološke sustave s povišenom biološkom produkcijom. Kao primjeri prirodnih eutrofikacijskih ekoloških sustava, u kojima je čak i danas antropogeni utjecaj sveden na minimum, mogu poslužiti estuarij rijeke Zrmanje, Novigradsko i Karinsko more (VILIČIĆ, 1989; BURIĆ et al., 1999) i zaljev Mali Ston (VILIČIĆ et al., 1998). Istovremeno s biološkom produkcijom, u takvim zaštićenim bazenima stvoreni su i vrlo dobri uvjeti za akumulaciju i očuvanje organske tvari.

Ovaj rad predstavlja prvi pokušaj u Hrvatskoj da se na primjeru Morinjskog zaljeva primjenom palinofacijske, organsko-geokemijske i sedimentološke analize subrecentnih sedimenta, definira primarna biološka produkcija, sastav organske tvari, koncentracija, sedimentacija, očuvanje organske tvari i faza dijagenese organske tvari, te da se zajedno sa značajkama taložnog

prostora rezultati interpretiraju u svjetlu procesa koji dovode do stvaranja prekursora kerogen matičnih stijena.

2. PROSTORNI POLOŽAJ, GEOLOGIJA I NASTANAK MORINJSKOG AKVATORIJA

Zaljev Morinje, površine cca 3 km², morem je potopljen dio prostora Donjeg polja jugozapadno od Šibenika (sl. 1). S otvorenim morem spojen je uskim kanalom (prosječne širine 200-300 m), za kojeg se koristi naziv kanal Jadrtovac (ŠIMEK-ŠKODA, 1976). Na obali, u jugoistočnom dijelu zaljeva, nalazi se aktivno vrelo iz kojeg se donedavno lokalno stanovništvo opskrbljivalo vodom i utok potoka Vrbnik koji je danas slabog protoka. Dotok slatke vode varira; potok je tijekom kišnih mjeseci vrlo aktivan, a za ljetnih mjeseci potok katkad presušuje. Dubina mora u zaljevu iznosi od 0,3 do 0,6 m i rijetko prelazi vrijednost od 1 m. Dubina se postupno povećava prema Morinjskom kanalu i dalje prema moru.

Šire područje Morinjskog zaljeva izgrađuju tektonizirane karbonatne stijene senonske i paleocensko-eocenske starosti, klastiti srednjoeocenske starosti i kvarterne taložine (ŠPARICA et al., 2000).

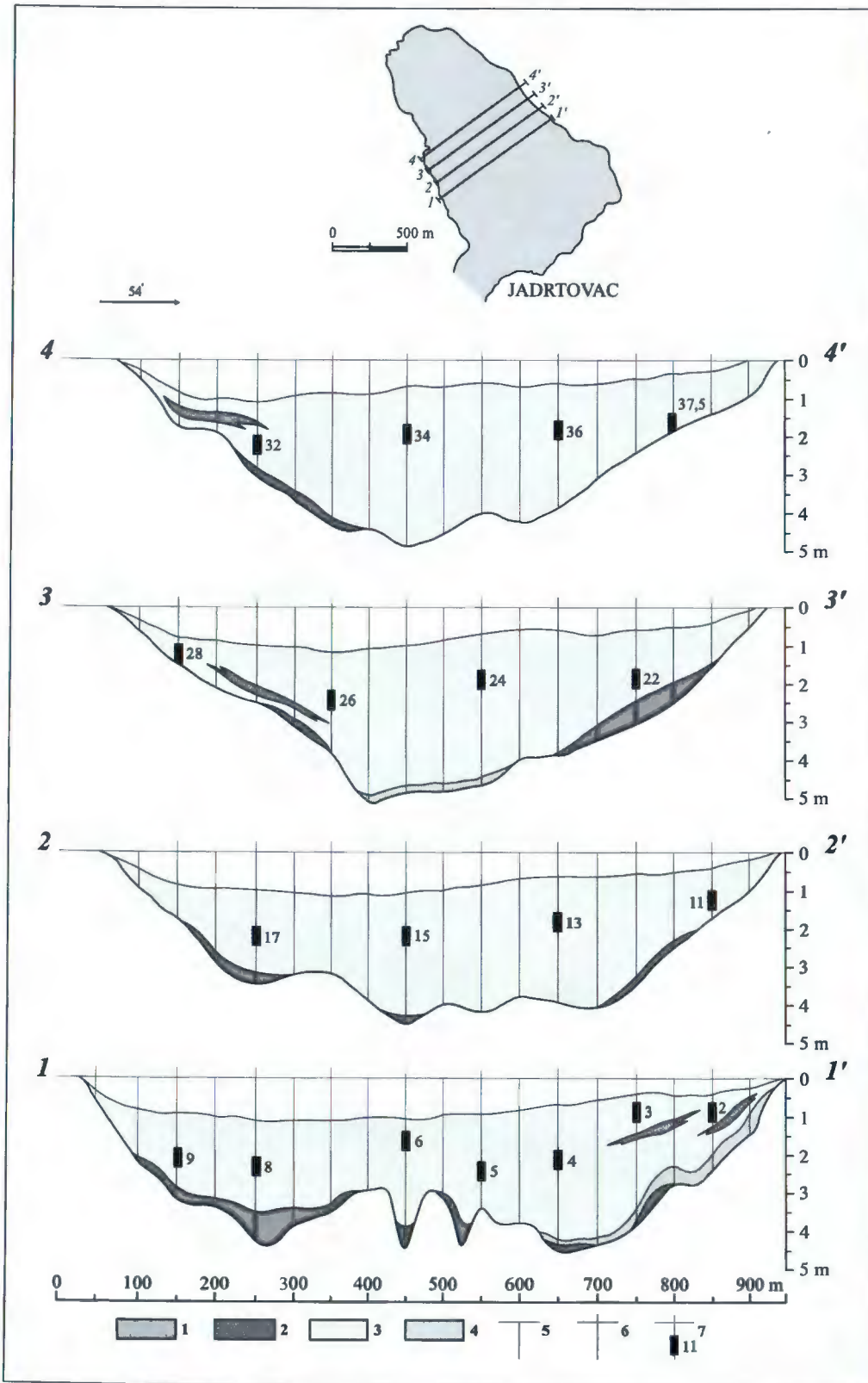
Kao posljedica općeg izdizanja morske razine tijekom holocena, transgresija mora u kanal Morinje započela je cca 8.000 godina prije sadašnjosti (FILIPČIĆ, 1992). Koristeći krivulju izdizanja svjetskih mora tijekom holocena (ŠEGOTA, 1968), može se pretpostaviti da je prodiranje mora u područje Morinjskog zaljeva započelo cca 4.000 godina B.P. (prije sadašnjosti) i u tom je periodu, ovisno o konfiguraciji podloge, istaloženo do 4 m sedimenta.

3. METODOLOGIJA UZORKOVANJA I PRIPREMA UZORAKA ZA ISTRAŽIVANJE

Uzorcima podzemskih sedimenta zaljeva uzimani su metodom konstrukcije mreže bušotina, pri čemu se na terenu optičkim instrumentom određuju zadani pravci profila, dok se udaljenost bušotina na određenim profilima kontrolira teletopom i mjernom trakom. Na tako određenim bušotinama, pored opisa općih uvjeta (dubina i temperatura mora, pokrovna flora i fauna), spiralnim svrdlom buši se sediment, te osim mjerenja njegove debljine, daje se opis njegovih značajki. Prikazani rezultati obuhvaćaju četiri profila u dužini cca 4000 m (sl. 2).

Uzorcima za palinološku analizu obrađeni su u hladnoj HCl (10% - otapanje karbonata) i HF (40% - otapanje silikata). Potom je flotacijom u teškoj tekućini ZnCl₂ (s.t. 2,1 kg/l) odvojena organska tvar od koje su izrađeni palinološki preparati u glicerol-želatini.

Organski klasti su analizirani u prolaznom i fluorescentnom svjetlu. Prosudivanje zrelosti analizirane organske tvari temelji se na metodi fluorescentne alteracije



Sl. 2 Geološki profili. Tumač: 1) lumakele; 2) šljunak; 3) glinoviti silt; 4) glina; 5) sonda: mjerenje debljine sedimenata; 6) sonda: mjerenje debljine i opis sedimenata; 7) broj uzorka.

Fig. 2 Geological profiles. Legend: 1) lumachelle; 2) gravel; 3) clayey silt; 4) clay; 5) probe: sediment thickness measuring; 6) probe: sediment thickness measuring and sediment description; 7) sample number.

organske tvari, tako da su odabrani organski klasti bili izloženi zračenju UV svjetla u trajanju od 1 sata pri čemu su nastale promjene u reemitiranom svjetlu promatrane kroz filter koji uklanja dio spektra ispod 530 nm.

Za potrebe organsko-geokemijskih analiza učinjena je elementarna i plinsko-kromatografska analiza. Identifikacija spojeva sa sumporom sprovedena je na temelju

vremena zadržavanja na plinsko-kromatografskoj koloni uz poznate uvjete i na temelju metode "otiska prstiju".

Uzorci za sedimentno-mineralošku analizu obrađeni su granulometrijski, kalcimetrijom, kemijskom analizom i modalnom analizom (teška i laka mineralna frakcija).

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Palinološke analize uzoraka sedimenata Morinjskog zaljeva (Mo-11, Mo-15, Mo-32 i Mo-37.5) pokazuju visoku koncentraciju organskih klasta u sedimentima s obzirom na relativan omjer volumen uzorka/izolirana organska tvar.

Od autohtonih (akvatički) strukturiranih organskih klasta najzastupljeniji su hitinski ostatci mikrozooplanktona (kopepode, ciripede, tintinide) i hitinski ovoji planktonskih mikroforaminifera, dok su dijatomeje i osobito ciste dinoflagelata manje zastupljene. Manja zastupljenost dinosporinskih cista u sedimentima nije znakovita za malu primarnu produkciju dinoflagelata, jer prema zakonima hranidbenog lanca zooplankton pokazuje više vrijednosti zastupljenosti u zonama visoke produkcije fitoplanktona; fitoplankton (dijatomeje, dinoflagelate, nanoplankton) predstavlja osnovni izvor organske tvari, a slijedeći član u hranidbenom lancu je zooplankton (krustaceje, kopepoda) koji se hrani fitoplanktonom. S obzirom na to da dinosporinske ciste predstavljaju stabilne organske klaste, njihova se niska koncentracija u sedimentima Morinja objašnjava hidrografski stabilnim i ekološki povoljnim uvjetima u kojima je produkcija cista u vrijeme nastanka sedimenta bila svedena na minimum (TYLER et al., 1982; TYSON, 1987). Manja zastupljenost dijatomeja može se objasniti primarno nižim molarnim odnosima između reaktivnog silicija i reaktivnog fosfora, te reaktivnog silicija i ukupnog anorganskog dušika koji su bili nedostadni za intenzivniji razvoj dijatomejskih populacija. Takvi odnosi se mogu pratiti u estuariju Omble gdje je zastupljenost dijatomeja manja u odnosu na estuarij Zrmanje (CARIĆ et al., 1999). Od ostalih autohtonih strukturalnih organskih klasta, u palinološkom materijalu nalaze se male koncentracije slatkovodne alge *Pediastrum* i cistama nalik oblici vjerojatno algalnog podrijetla. Svi organski klasti fitoplanktonskog i algalnog podrijetla pokazuju visok intenzitet fluorescencije i pozitivnu alteraciju.

Alohtoni (terestrički) strukturirani organski klasti pojavljuju se u manjim koncentracijama i predstavljeni su fragmentima kutikula, slabo strukturiranim klastima lignina i sporama. U približno istim koncentracijama nalaze se nestrukturalni alohtoni organski klasti amor-

foziranog i oksidiranog lignina. Spore i fragmenti kutikula pokazuju pozitivnu alteraciju i visok intenzitet, a klasti lignina nizak intenzitet fluorescencije.

Amorfna, nestrukturalna organska tvar, kvantitativno je najzastupljenija komponenta ukupnog organskog ostatka svih palinološki analiziranih uzoraka i u prosjeku je zastupljena u koncentracijama od 95%. Amorfni klasti uglavnom pokazuju spongioznu građu, a djelomično se uočavaju difuzne značajke, što je posljedica nakupljanja sitnih amorfnih čestica u veće klaste uslijed maceracije. Amorfni klasti pokazuju povišeni intenzitet fluorescencije i pozitivnu alteraciju, te stoga jasno ukazuju na prekuzore bogate lipidima. Takav tip amorfnosti predstavlja produkt anaerobne biodegradacije alga, fito- i zooplanktona u kojem sudjeluju i bakterijski lipidi (STACH et al., 1982, TISSOT & WELTE, 1984; ROBERT, 1988; RAYNAUD et al., 1989). Na temelju dijagnostičirane zajednice palinomorfa može se zaključiti da su prekuzori amorfnosti sedimenata Morinjskog zaljeva pretežito fito- i zooplanktonskog podrijetla. Komparativno je zanimljivo spomenuti da su analize stabilnih izotopa ugljika subrecentnih sedimenata obližnjeg Makirinskog zaljeva pokazale da je organska tvar dominantno morskog podrijetla (VREČA et al., 1998).

Odnos akvatički/terigeni klasti iznosi 20:1 i jasno svjedoči o dominantno akvatičkom podrijetlu organske tvari. Neovisno o "hitinskom paradoksu" (VAN WAWEREN & VISSCHER, 1994), hitinski klasti, kao manje stabilni polisaharidi, kvantitativno su višestruko zastupljeniji od otpornijih sporopoleninskih i dinosporinskih klasta. Odnos amorfnosti klasti/labilni organski klasti iznosi približno 50:1 i ukazuje na snažne anaerobne procese, o čemu svjedoče klasti lignina koji su gotovo u potpunosti amorfozirani. S obzirom na to da u amorfnim klastima nisu uočene inkluzije sulfida, oslobođeni sumpor, nastao prilikom anaerobne biodegradacije organske tvari, direktno je inkorporiran u organske molekule zbog nedostatka teških iona.

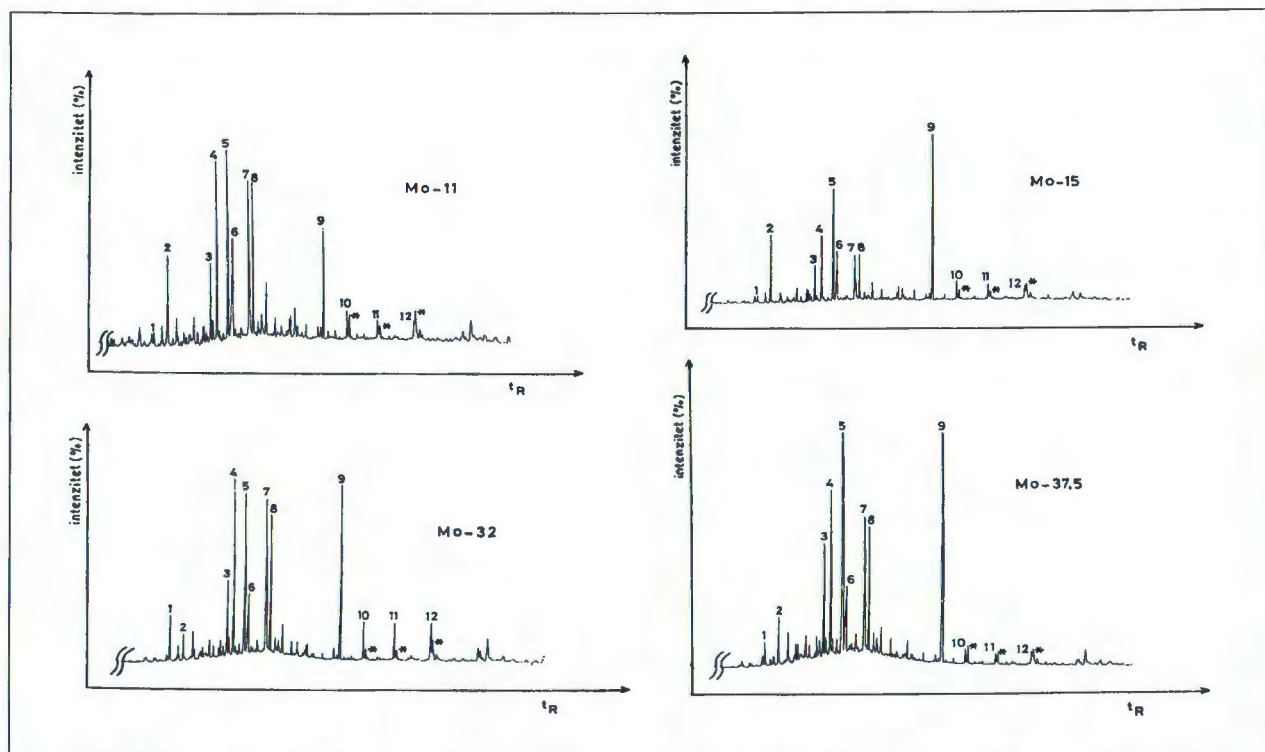
Ukupne značajke palinofacijesa sedimenata Morinjskog zaljeva mogu se označiti kao morskog sapropelnog facijesa.

Palinofacijesno se izolirana organska tvar može uvrstiti u prekuzor kerogena tipa II-S. Organska tvar se nalazi u dijagenetski ranoj fazi, dobro je očuvana i ne pokazuje elemente sekundarne oksidacije.

Uzorak Sample	ukupna organska tvar TOM	%mas. C	% mas. S	% mas. N	ukupna niskomolekularna tvar LW OM
Mo-11	24% mas.	87,1	3,8	0,9	0,08% mas.
Mo-15	21% mas.	86,8	5,9	0,7	0,02% mas.
Mo-32	26% mas.	87,3	4,3	1,1	0,08% mas.
Mo-37.5	12% mas.	86,5	4,6	0,8	0,11% mas.

Tablica 1 Rezultati organsko-geokemijske analize.

Table 1 Results of organic-geochemical analysis.



Sl. 3 Plinski kromatogrami niskomolekularne tvari. Brojkama 1 do 12 označeni su pikovi ugljikovodičnih spojeva (n, i + cy alkani). Istom spoju pripisana je ista brojka u svim kromatogramima iz čega je razvidna kvalitativna podudarnost i kvantitativna različitost. Zvjezdice označavaju organske sumporne spojeve.

Fig. 3 Gas chromatograms of Low Weight OM. The hydrocarbon compounds (n, i + cy alkanes) are marked with numbers 1 to 12. The same number is assigned to the same compound in all of the chromatograms which indicates qualitative correspondence and quantitative difference. The asterisks are assigned to sulphur organic compounds.

Organsko-geokemijska analiza s obzirom na sadržaj i osnovni tip organske tvari, pokazala je da uzorci sadrže značajniju količinu organske tvari (tablica 1).

Organska tvar se nalazi u ranoj fazi dijageneze (huminska faza) koja se ogleda u visokom udjelu umrežene organske tvari i relativno niskom udjelu ekstraktibilne niskomolekularne tvari (LW). Visoki udio dušika i sumpora svjedoči da je umrežena tvar još uvijek bogata funkcionalnim kemijskim skupinama. Relativno bogatstvo funkcionalnih skupina sa sumporom odražava se i u sastavu ekstrakta iz svakog uzorka. Naime, na plinskim kromatogramima ekstrakta uočavaju se i pikovi (krivulje eluiranja) koji pripadaju sumpornim spojevima.

Uspoređujući kromatograme (sl. 3) uočava se da je kvalitativni sastav ekstrakta jednak, ali je relativna zastupljenost pojedinih sastojaka različita. U tijeku daljnjih istraživanja potrebno je protumačiti jesu li spomenute razlike posljedica varijacija udjela biomaterijala ili su pak odraz različitog stupnja transformacije tijekom sazrijevanja, odnosno dijageneze organske tvari.

Visoki udio sumpora u organskoj tvari svjedoči reducirajući okoliš taloženja u kojem se mnoštvo sulfidnih iona, u nedostatku teških metala (osobito željeza), inkorporiralo u organske molekule uz posredovanje anaerobne bakterijske aktivnosti.

Granulometrijske analize pokazuju da uzorci pripadaju grupi glinovitih siltita.

Kalcimetrijom je određen postotak kalcijevog karbonata koji za većinu analiziranih uzoraka iznosi u prosjeku 45%.

Modalnom analizom određeno je da u sastavu teške mineralne frakcije u svim analiziranim uzorcima prevladavaju prozimi teški minerali (71-90%), slijede opâki minerali (6-24%) i u nekim uzorcima rijetko klorit (1-2%). Među prozirim teškim mineralima dominiraju pirokseni (34-52%) i granati (22-23%), dok su turmalin, amfibol i epidot slabo zastupljeni (prosječno 2-10%), a vrlo su rijetki cirkon, coisit, disten i titanit (0-3%). U lakoj mineralnoj frakciji dominiraju zrna kvarca (51-70%), nešto manje feldspati (17-38%), rjeđe čestice rožnjaka (5-16%), a vrlo rijetko zrna kvarcita (3-4%).

5. SREDINA TALOŽENJA I ODNOS AKUMULACIJE I OČUVANJA ORGANSKE TVARI

Visok udio ukupne organske tvari u sedimentima Morinjskog zaljeva odražava visoku primarnu biološku produkciju i vrlo povoljne uvjete akumulacije i očuvanja organske tvari.

Na temelju palinofacijesnih analiza može se zaključiti da je primarna biološka masa, koja je sudjelovala u izgradnji organske tvari Morinjskih sedimenata, pretežito planktonskog podrijetla. Povišenu biološku pro-

dukciju planktona omogućilo je stvaranje stratificiranog vodenog stupca uslijed stalnog dotoka slatke vode u zaštićeni bazen ograničene komunikacije s morem. U takvim uvjetima, ovisno o količini donosa hladnije slatke vode, na određenoj se dubini formira haloklina i termoklina. Istraživanja pokazuju da su termohalini odnosi i izmjena vodenih masa od izuzetne važnosti za razvoj populacija planktonskih organizama, trofičke odnose i transport materije u ekosustavu (VILIČIĆ et al., 1998; BURIC et al., 1999). Osim stratificiranog vodenog stupca, povećanju biološke produkcije planktona u Morinjskom zaljevu doprinijela je i kontinuirana transgresija mora u zaljev. Naime, taloženje naslaga koje sadrže lipidima bogatu amorfnu organsku tvar, kao što su to talozi Morinjskog zaljeva, često koincidira s globalnom marinskom transgresijom (TYSON, 1987, 1989; TYSON & FUNNELL, 1987; TRIBOVILLARD & GORIN, 1991; STEFFEN & GORIN, 1993).

U uvjetima stratificiranog vodenog stupca i ograničene cirkulacije unutar zaštićenog bazena Morinjskog zaljeva donji dio vodenog stupca je osiromašen kisikom, pa su odlaganjem uginulog planktona na dno potaknuti procesi anaerobne biodegradacije organske mase. Visok udio ukupne organske tvari i lipidima bogat tip organske tvari u sedimentima kao i visok udio sumpora u organskoj tvari ukazuje na anoksični okoliš taloženja unutar kojeg je organska masa istovremeno anaerobno degradirana i većim dijelom pretvorena u amorfnu organsku tvar, te očuvana od procesa oksidacije. U nedostatku teških iona (osobito željeza), mnoštvo sulfidnih iona inkorporirano je u organske molekule uz posredovanje anaerobne bakterijske aktivnosti.

S obzirom na to da postoji dobra korelacija između stupnja očuvanosti organske tvari i stupnja sedimentacije (BETTS & HOLLAND, 1991), uz anoksične uvjete, organska tvar sedimenata Morinja dobro je očuvana i zahvaljujući visokom stupnju sedimentacije koji iznosi približno 1 m na 1.000 godina.

6. ZAKLJUČAK

Palinofacijsne, organsko-geokemijske i sedimentološke analize organske tvari glinovitih siltita Morinjskog zaljeva interpretirane su u svjetlu nastanka prekursora kerogena matičnih stijena s obzirom na sredinu taloženja. Dobiveni su slijedeći rezultati:

- 1) uzorci sadrže visok udio lipidima bogate amorfne tvari koja je nastala od organske mase pretežito planktonskog podrijetla uz sudjelovanje anaerobne bakterijske aktivnosti,
- 2) organska tvar se nalazi u ranoj dijagenetskoj fazi (humin),
- 3) visok udio sumpora u organskoj tvari ukazuje na reducirajući okoliš u kojem je organska tvar dobro zaštićena od procesa sekundarne oksidacije,
- 4) organska tvar je određena kao prekursor kerogena tipa II-S,

- 5) organska tvar sedimenata Morinjskog zaljeva nastala je u plitkomorskom okolišu u kojem je kombinacijom kontinuirane transgresije mora i stalnog unosa slatke vode stvorena pretpostavka visoke primarne biološke produkcije, dok je istovremeno zaštićeni taložni prostor s deficitom kisika omogućio pokretanje procesa anaerobne degradacije producirane biomase koja je uglavnom u formi amorfne organske tvari bogate lipidima akumulirana i očuvana u uvjetima visokog stupnja sedimentacije.

7. LITERATURA

- BETTS, J.N. & HOLLAND, H.D. (1991): The oxygen of ocean bottom waters, the burial efficiency of organic carbon, and the regulation of atmospheric oxygen.- *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 97, 5-18.
- BURIC, Z., VILIČIĆ, D., ORLIĆ, M., SMIRČIĆ, A., KRSINIĆ, F., GRZETIĆ, Z. & CAPUT, K. (1999): Termohalini odnosi i raspodjela planktona u estuariju rijeke Zrmanje (listopad 1998).- 2. hrvatska konferencija o vodama. Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, 277-282, Dubrovnik.
- CARIĆ, M., VILIČIĆ, D. & JASPRICA, N. (1999): Molarni omjeri hranjivih soli u estuarijima Zrmanje i Omble.- 2. hrvatska konferencija o vodama. Hrvatske vode od Jadrana do Dunava, 305-309, Dubrovnik.
- FILIPČIĆ, A. (1992): Neolitsko naselje Danilo kod Šibenika i razina Jadranskog mora.- *Geograf. glasnik*, 54, 33-44, Zagreb.
- RAYNAUD, J.-F., LUGARDON, B. & LACRAMPE-COULOUME, G. (1989): Structure lamellaires et bacteries, composants essentiels de la matiere organique amorphe des roches meres.- *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, 13/1, 1-21, Bousens.
- ROBERT, P. (1988): Organic metamorphism and geothermal history.- *Elf-Aquitaine & D. Reidl Publ. Company, Dordrecht*, 311 str.
- STACH, E., MACKOWSKY, M.-Th., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G.H., CHANDRA, D. & TEICHMULLER, R. (1982): Coal petrology.- *Gebr. Bornträger, Berlin-Stuttgart*, 535 str.
- STEFFEN, D. & GORIN, G.E. (1993): Sedimentology of the organic matter in Upper Tithonian-Berriasian deep-sea carbonates of south France.- U: KATZ, B.J. & PRATT, L.M. (ur.): *Source Rocks in a Sequence Stratigraphic Framework. AAPG Studies in Geology*, 37, 49-67, Tulsa.
- ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mladem dijelu Würma.- *Geograf. glasnik*, 30, 15-39, Zagreb.
- ŠIMEK-ŠKODA, K. (1976): *Jadrtovac*.- U: *Pomorska enciklopedija*, 3, 214, Zagreb.
- ŠPARICA, M., BERGANT, S., HAJEK-TADESSE, V. & FUČEK, L. (2000): Geologija područja Morinjskog zaljeva (srednja Dalmacija).- 2. hrv. geol. kongres, Zbornik radova (ovaj Vol.).
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1984): *Petroleum formation and occurrence*.- Springer Verlag, Berlin, 699 str.
- TRIBOVILLARD, N.-P. & GORIN, G.E. (1991): Organic facies facies of the Early Albian Niveau Paquier, a key black shales horizon of the Marnes Bleues Formation in the Vocontian Trough (Subalpine Ranges, Stover & Evitt France).- *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 85, 227-237.
- TYLER, M.A., COATS, D.W. & ANDERSON, D.M. (1982): Enticement in a dynamic environment: deposition of dinoflagellate cysts by a frontal convergence.- *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 7, 126-178, London.
- TYSON, R.V. (1987): The genesis and palynofacies characteristics of marine petroleum source rocks.- U: BROOKS, A. & FLEET,

- A.J. (ur.): *Marine Petroleum Source Rocks*. Geol. Soc. Spec. Publ., 26, 46-67, Oxford.
- TYSON, R.V. (1989): Late Jurassic palynofacies trends, Piper and Kimmeridge Clay Formation, UK onshore and northern North Sea.- U. BATTEN, D.J. & KEEN, M.C. (ur.): *Northwest European micropalaeontology and palynology*. Brit. Micropal. Soc. Ser., 9, 135-172, Chichester.
- TYSON, R.V. & FUNNELL, B.M. (1987): European Cretaceous shoreline, stage by stage.- *Palaeogeogr., Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 59, 69-91.
- VAN WAVEREN, I. & VISSCHER, H. (1994): Analysis of the composition and selective preservation of organic matter in surficial deep-sea sediments from a high-productivity area (Banda Sea, Indonesia).- *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 112, 85-111.
- VILIČIĆ, D. (1989): Phytoplankton population density and volume as indicators of eutrophication in the eastern part of the Adriatic Sea.- *Hydrobiologia*, 174, 117-132.
- VILIČIĆ, D., JASPRICA, N., CARIĆ, M & BURIĆ, Z. (1998): Taxonomic composition and seasonal distribution of microphytoplankton in Mali Ston Bay (Eastern Adriatic).- *Acta Bot. Croat.*, 57, 29-48.
- VREČA, P., DOLENEC, T., ŠPARICA, M., PANDŽA, M., LOJEN, S. & OGRINC, N. (1998): Origin of sedimentary organic matter in the surficial sediment of the Bay of Makirina (Croatia).- *IV Isotope Workshop, Portorož, RMZ-Materials and Geoenvironment, Spec. Issue*, 45/1-2, 202-206, Ljubljana.





The Late Cretaceous Vertebrate Fauna of Kozina, SW Slovenia

Adrijan KOŠIR¹, Bojan OTONIŠAR², Irena DEBELJAK¹ & Eric BUFFETAUT³

Key words: Dinosaurs, Crocodiles, Late Cretaceous, Adriatic-Dinaric Carbonate Platform, Slovenia, Paleobiogeography.

Abstract

A preliminary study of the newly discovered assemblage of terrestrial vertebrates within the Upper Cretaceous carbonate platform succession at Kozina (SW Slovenia) has revealed fragmented bones and numerous teeth. On the basis of isolated teeth we have determined three dinosaurian and two crocodylian taxa. The composition of the Kozina vertebrate assemblage, and especially the paleogeographical position of the locality, have important implications for the understanding of the peri-Adriatic paleogeography and biogeography of the Late Cretaceous vertebrates.

1. INTRODUCTION

A diverse assemblage of terrestrial vertebrates has recently been discovered in a paleokarstic cavity-infilling breccia within the Upper Cretaceous carbonate platform succession at Kozina village, SW Slovenia. Although based on very limited amount of fossil material, the preliminary study of the Kozina locality has revealed a distinctive vertebrate assemblage comprising dinosaurs and crocodiles (DEBELJAK et al., 1999). A full discussion of the significance of the newly discovered fauna will have to wait until its components have been thoroughly investigated, but there is no doubt about the importance of the Kozina site for the understanding of the peri-Adriatic paleogeography and its significance for a better knowledge of vertebrate biogeographical patterns in the Late Cretaceous.

2. GEOLOGICAL SETTING

The Kozina vertebrate locality is situated on the southwestern margin of Kras (Trieste-Komen Plateau)

in SW Slovenia. Tectonically, Kras corresponds to the Komen Thrust Unit which comprises a part of NW External Dinarides. Paleogeographically, the Kras area corresponds to the northwestern part of the Cretaceous Adriatic-Dinaric Carbonate Platform.

The vertebrate-bearing deposits at Kozina are associated with a major regional unconformity which is related to uplift and subaerial exposure of the Adriatic-Dinaric Carbonate Platform in Late Cretaceous and Early Palaeogene. In the outcrop on the motorway construction site at Kozina, this unconformity is expressed by a paleokarstic surface, formed by a series of meter scale hummocky depressions, which separates the underlying sequence of shallow marine carbonates (Lipica Formation) and the overlying paralic carbonate complex of the Liburnian Formation. Vertebrate remains have been found in a limestone breccia which infills a larger-scale paleokarstic cavity of irregular shape which extends more than 10 m downwards from the paleokarstic surface. The breccia is composed of angular to subrounded clasts of limestone with rudists (i.e. typical lithologies of the Lipica Formation) and clasts of dark grey and pedogenically modified limestones, characteristic of the Liburnian Formation. Abundant bone fragments and teeth are embedded in the matrix which consists of sand- and silt-grade carbonate sediment with subordinate clayey material, ferruginous oolites and pyrite. The breccia generally exhibits chaotic fabric and poor sorting. Grading and preferred (bedding-parallel) orientation of elongate bone fragments and clasts can be seen in places. The fabric and the composition of the cavity-infilling deposits, and the composition of the vertebrate fauna (see below) show that the vertebrate assemblage represents an allochthonous (transported) thanatocenosis.

The age of the vertebrate-bearing deposits has not been assessed directly. According to the regional geological data (JURKOVŠEK et al., 1996, 1997), the total gap expressed by the paleokarstic surface and paleokarst-related deposits at Kozina may range from early Campanian to late Maastrichtian.

¹Institute of Paleontology ZRC SAZU, Gosposka 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: adrijank@alpha.zrc-sazu.si.

²Karst Research Institute ZRC SAZU, Titov trg 2, SI-6230 Postojna, Slovenia.

³CNRS, 16 cour du Liegat, F-75013 Paris, France.

3. THE VERTEBRATE ASSEMBLAGE

Bones are the predominant skeletal material in the breccia but are mostly too fragmented to permit reliable identification. Therefore, we have focused on relatively well-preserved isolated teeth which have been observed on the surface of the breccia samples. Based on more than 40 whole and fragmented specimens of teeth, we have distinguished three dinosaurian and two crocodylian taxa (DEBELJAK et al., 1999).

The first dinosaurian tooth morphotype, represented by narrow, rhomboidal teeth with a median ridge and thickened, papillated lateral margins, exhibit typical hadrosaurian morphology. The second form is characterized by a leaf-shaped, iguanodontid-like teeth. A single small tooth of the third morphotype has finely serrated lateral edges, typical of theropod dinosaurs. However, the theropod specimen is too damaged to be reliably determined on a family level.

Of the two crocodylian forms, the first is characterized by a cone-shaped, high and slightly laterally compressed teeth. Distinctive teeth of the second morphotype, characterized by bulbous shape and heavily ornamented crown surface, belong to a durophagous crocodile.

4. DISCUSSION

The fossil record of terrestrial vertebrates from the Adriatic-Dinaric Carbonate Platform (BRAZZATTI & CALLIGARIS, 1995; DALLA VECCHIA, 1994; DEBELJAK et al., 1999) is especially important from a paleobiogeographical viewpoint, because of the geographical position of the platform in the Late Cretaceous, and its possible role as a "stepping stone" in the trans-Tethyan link between Europe and Africa.

As presently known, the composition of the Kozina vertebrate assemblage seems unusual and different from what is known from other European sites of comparable age. The bulbous and ornamented crocodylian teeth are unlike what has been described from the Upper Cretaceous of Europe. As to the dinosaurs, the available teeth seem to suggest the coexistence of a relatively advanced hadrosaurs and of a more primitive, iguanodontid-like form, which however is clearly different from *Rhabdodon*, a common ornithomimid in the Campanian and Maastrichtian of other European sites, as well as from the somewhat earlier *Craspedodon* from Belgium.

The Kozina vertebrate assemblage may be representative of an endemic fauna which inhabited the Adriatic-Dinaric Carbonate Platform at the end of the Cretaceous. Alternately, interchange with other parts of the European archipelago may have been possible, in which case the Kozina finds may be important for an understanding of immigration events in other parts of Europe, such as the Late Maastrichtian arrival of hadrosaurs in southwestern Europe.

Acknowledgements

The research of the Kozina vertebrate locality has been undertaken in the framework of the project of geological monitoring of construction works on the motorway section Kozina-Klanec. The project has been founded by the Motorway Company in the Republic of Slovenia (DARS) and coordinated by the Ministry of Environment and Physical Planning, Institute for the Preservation of the Natural and Cultural Heritage Gorica (ZVNKD Gorica), in Nova Gorica.

5. REFERENCES

- BRAZZATTI, T. & CALLIGARIS, R. (1995): Studio preliminare di reperti ossei di dinosauri del Carso Triestino.- Atti Mus. Civ. Stor. Nat. Trieste, 46, 221-226, Trieste.
- DALLA VECCHIA, F.M. (1994): Jurassic and Cretaceous sauropod evidence in the Mesozoic carbonate platforms of the Southern Alps and Dinarides.- Gaia, 10, 65-73, Lisboa.
- DEBELJAK, I., KOŠIR, A. & OTONIČAR, B. (1999): A preliminary note on dinosaurs and non-dinosaurian reptiles from the Upper Cretaceous carbonate platform succession at Kozina (SW Slovenia).- Razprave 4. razr. SAZU, 40, 3-25, Ljubljana.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DR-OBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. (1996): Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote 1:50.000. Kredne in paleogene karbonatne kamnine.- Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana, 143 p.
- JURKOVŠEK, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & OGORELEC, B. (1997): Geologija avtocestnega odseka Divača-Kozina.- Annales. Anali za istrske in mediteranske študije, 11/97, Ser. Hist. Nat., 4, 161-186, Koper.

Northern Origin of the Antalya and Alanya Nappes (Western Taurus, Turkey) and Causes for the End of the Tethyan Faunal Provincialism During the Middle Carnian

Heinz W. KOZUR

Key words: Antalya and Alanya nappes, Western Taurus, Turkey, Northern root zone, Cambrian, Triassic palaeogeography, Neotethyan Westmediterranean-Arabian faunal province, *Pseudofurnishius*, *Theelia tubercula*, Tauride-Apulian High.

Abstract

The Antalya and Alanya nappes originated immediately north of the Perigondwana Tauride Autochthon (NNE of the Beydağları Unit). The strong upper Ladinian-Cordevolian Tethyan faunal provincialism between the Neotethyan fauna (Westmediterranean-Arabian faunal province, junior synonym Sephardic province) and the Tethyan faunas north of the Neotethys was caused by a separating subaerial uplift (Tauride-Apulian High) in the largest part of the central and western Tethys. A connection between the Neotethys and the Antalya-Pindos Basin (with unrestricted marine connection to the northern Tethys) opened between the Beydağları and Geyikdağ units of the Tauride Autochthon during the middle Carnian. By this, the strong faunal differences between the Neotethyan and northern Tethyan faunas disappeared. This opening was caused by a rapid northward shift of the Geyikdağ Unit relative to the Beydağları Unit along a N-S transform fault that is related to the beginning subduction in the Küre and Karakaya branch of the Cimmerian Ocean.

The Antalya nappes west of the Antalya Bay (Fig. 1) were named by LEFÈVRE (1967). MARCOUX (1970, 1977, 1979) and BRUNN et al. (1971) subdivided the Antalya nappes into the Lower, Middle and Upper Nappe, and each of them was further subdivided into tectonic units. ŞENEL et al. (1992, 1996) named the Antalya nappes as the Çataltepe, Alakırçay, Tahtalıdağ and Tekirova nappes.

ÖZGÜL & ARPAT (1973) and ÖZGÜL (1976, 1984) recognised that the Antalya Unit in nappe position occurs also in the Alanya Tectonic Window below the Alanya nappes (Fig. 2). The Antalya nappes contain an assemblage of Mesozoic platform margin and Upper Cretaceous ophiolitic rocks; Carnian-Norian alkali bas-

alts (not related to the Upper Cretaceous ophiolites) are also present. In the Upper Nappe (Tahtalıdağ Nappe) different Palaeozoic units are present which starts partly with neritic Upper Permian carbonates, partly with Cambrian rocks. In the latter case, Ordovician, Silurian, Devonian and Permian rocks are also present (MARCOUX, 1977; ŞENEL et al., 1981, 1992, 2000), overlain by Mesozoic platform and margin sediments (ŞENEL et al., 2000 - this volume, Fig. 2). Carboniferous rocks may be present in the lower Pamucakyayla Formation. Very similar Palaeozoic rocks occur in the Antalya Unit (Tahtalıdağ Nappe) of the Alanya Tectonic Window (GEDİK, 1977; ÖZGÜL, 1976, 1984; GÖNÇÜOĞLU & KOZUR, 1999).

The Alanya Unit consists in ascending order of the Mahmutlar, Süğözü and Yumrucağ thrust units (nappes). The Mahmutlar Nappe consists of low-grade metamorphic rocks, mainly of uppermost Precambrian (?to lower Ordovician) light quartzites with thin intercalations of greenish shales, dolomitized limestones that are in the lower part massive, in the upper part bedded or nodular, partly cherty. This sequence is overlain by thick greenish grey and grey shales and some sandstones. The Süğözü Nappe consists of garnet-micaschists, eclogites, blueschist metabasites and very rare metadolomites (OKAY & ÖZGÜL, 1984; MARCOUX et al., 1989). The Yumrucağ Nappe consists of low-grade metamorphic Palaeozoic schists, metasandstones, calc-schists and metacarbonates, overlain by thick Middle-Upper Permian marbles with shallow-water fossils (OKAY & ÖZGÜL, 1984) and Lower to Middle Triassic schists, marls, recrystallized limestones and dolomitic limestones.

Several authors assumed an external (originally southern) origin of the Antalya and Alanya nappes with respect to the Tauride Autochthon (Beydağları and Geyikdağ Unit), e.g., BRUNN et al. (1971), DUMONT et al. (1972), BRUNN (1974), MONOD et al. (1974), MONOD (1976), ÖZGÜL (1976), HAYWARD & ROBERTSON (1982), ROBERTSON & WOODCOCK (1982), HAYWARD (1984), OKAY & ÖZGÜL (1984), ŞENGÖR & YILMAS (1981), YILMAZ et al.

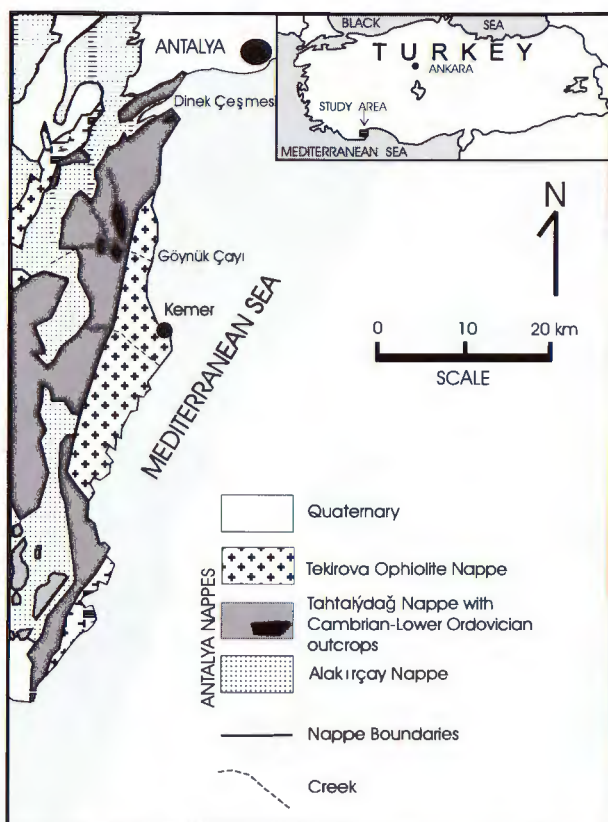


Fig. 1 Simplified geological map of the Antalya nappes in the Kemer area, west of Antalya Bay, western Taurides (from ŞENEL et al., 2000 - this volume).

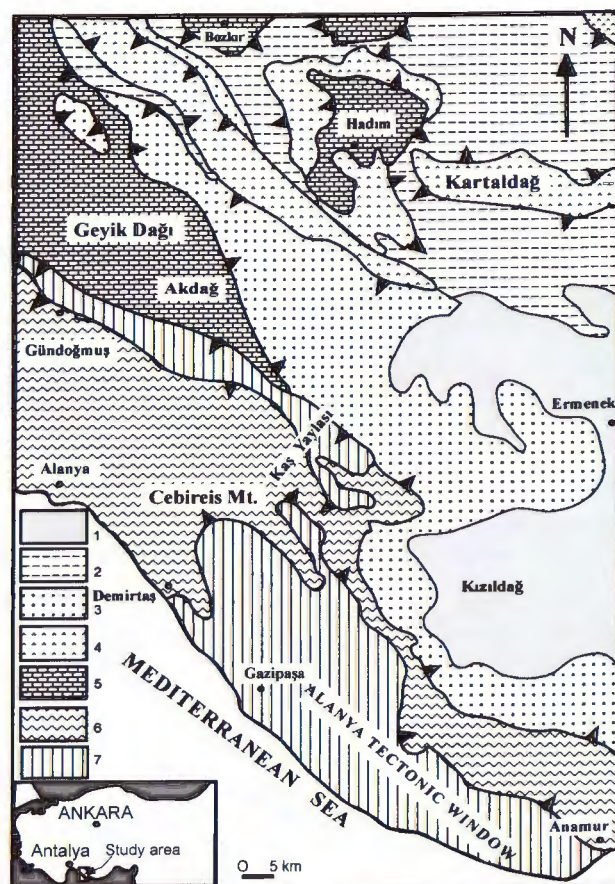


Fig. 2 Simplified geological map of the Alanya nappes in the Alanya Tectonic Window and of the overlying Alanya nappes, east of Antalya Bay, western Taurides.

(1981), YILMAZ (1984), POISSON (1984), POISSON et al. (1984). Other authors assumed an internal origin north of the Tauride Autochthon, e.g., RICOU et al. (1974, 1975, 1979, 1985), BRUNN et al. (1977), DELAUNE-MAYÈRE et al. (1977), RICOU (1980), GEDIK (1981), GÜVENÇ (1981), MARCOUX et al. (1989). According to ŞENEL (1984) the Antalya nappes were rooted north of the Beydağları Unit but thrust from south to north over the Geyikdağ Unit. He demonstrated that the emplacement of the Antalya nappes on the Beydağları Autochthon was in the north during the Maastrichtian, in the south during the Danian and further to the south a continuous neritic Maastrichtian-Lutetian sequence is present excluding nappe emplacement at least until the end of the Lutetian for this area. The conclusion by ŞENEL (1984) "that the Antalya ophiolites came from the north and the northeast of the Beydağları autochthonous unit" (ŞENEL, 1984, p. 50) is in agreement with the shear data presented by MARCOUX et al. (1989) which show southward transport of the Antalya nappes. However, these data show also southward transport for the Antalya nappes east of Antalya Bay (Alanya Tectonic Window) and for the Alanya nappes both situated south of the Geyikdağ Autochthon. South of the Geyikdağ Autochthon, the empla-

ment of the Antalya ophiolites was in the Maastrichtian (DUMONT, 1976; ŞENEL, 1984). In the northern sector of the Geyikdağ Autochthon continuous Jurassic to Lutetian carbonates are present and this excludes that the Antalya and Alanya nappes were thrust from the north over the Geyikdağ Autochthon as part of the Tauride Autochthon. To solve this obvious contradiction, the Palaeozoic development of the Antalya and Alanya nappes and palaeobiogeographic data must be evaluated.

The Palaeozoic development is well known from the Upper Nappe (Tahtalıdağ Nappe) both of the Kemer area and in the Alanya Tectonic Window. The (uppermost Precambrian to) Palaeozoic sequence of the Alanya nappes is according to lithostratigraphic correlations similar, but only the Upper Permian marbles are fossil-dated. The Palaeozoic sequences of the Antalya and Alanya nappes are typical Perigondwana shallow-water sequences. Only from the late Middle Cambrian to Early Ordovician, deep-water deposits of the Seydişehir Formation are present and fossil-dated in the Antalya nappes which occur, however, also on the Tauride Autochthon, at least in its northern part. This excludes a derivation as far north as the Lycian nappes because in the Lycian nappes Variscan Lower Carboniferous oce-

anic deep-water sediments deposited below the CCD are present (KOZUR et al., 1998) and recently also upper Moscovian to Kasimovian (Pennsylvanian) Palaeotethyan oceanic deposits and oceanic basalts were discovered (KOZUR & ŞENEL, 1999). As the Perigondwana Palaeozoic to Anisian deposits (see ŞENEL et al., this volume, Fig. 2) are from the Upper Nappe (Tahtalıdağ Nappe) and from the Alanya nappes, the Antalya-Alanya Mesozoic oceanic basin must have opened within a Palaeozoic to Anisian Perigondwana Platform south of the Palaeotethys. This is either a Neotethyan position or the Antalya Basin was a small basin within the northern part of the Cimmerian block north of the Neotethys. The latter is more probably because the Neotethys opened from Oman to western Sicily already during the early Guadalupian, whereas the Antalya Basin opened only during the Ladinian.

For more detailed palaeogeographic considerations the development of the late Middle Cambrian and Upper Cambrian interval and the Triassic faunal provinces are most important. DEAN et al. (1993) have shown that on the Tauride Autochthon Late Cambrian and Tremadoc are strongly reduced or missing in the south and the only well developed Upper Cambrian strata are present in the Sultandağ area in the northern Tauride Autochthon. GÖNCÜOĞLU & KOZUR (1999) have shown by conodonts that the lowermost part of the Seydişehir Formation in the Alanya Tectonic Window has the same age and facies as the corresponding strata in northern Geyikdağ (Sultandağ) area and Upper Cambrian strata are well developed in the Tahtalıdağ Nappe of the Alanya Tectonic Window. Moreover, in the Kemer area, the Seydişehir Formation begins already in the late Middle Cambrian (ŞENEL et al., this volume) what is only the case in the northern Tauride Autochthon. This strongly supports a derivation of the Antalya and Alanya nappes from an area which originally belonged to the northern Tauride Autochthon.

Such a northern derivation is very much supported by the upper Ladinian faunal provincialism. GEDIK (1981) and NICORA (1981) found rich *Pseudofurnishius* faunas in the Pisidian Triassic W and SW of Seydişehir (southern part of Geyikdağ Autochthon). Own investigation of this Triassic yielded additionally the *Theelia tubercula* holothurian fauna. This is the typical Neotethyan fauna of the Westmediterranean-Arabian faunal province (e.g., KOZUR & MOSTLER, 1971, 1972; KOZUR, 1979, 1980; KOZUR & MIRĂUŢĂ, 1980). The junior synonym of this faunal province is the Sephardic Province by HIRSCH (1973). As already shown by the names of this faunal province, it was originally mainly known in the western Mediterranean area, e.g. Spain, northern Africa as well as Israel and Jordan of the Arabian Platform. But across Sicily, southern Geyikdağ Unit (GEDIK, 1981; NICORA, 1981) to Malaysia (NOGAMI, 1968) it can be found along the entire Neotethys and its shelves. Additionally occurrences of these faunas are known from the Southern Alps (KRISTAN-

TOLLMANN, 1963; RAMOVŠ, 1978; NICORA, 1981) and from the Vălani Nappe of the northern Apuseni Mountains, Romania (KOZUR, 1979, 1980; KOZUR & MIRĂUŢĂ, 1980).

Most characteristic for the Westmediterranean-Arabian faunal province is the occurrence of the conodont genus *Pseudofurnishius* and of a very specific benthic microfauna (*Theelia tubercula* association at the holothurian sclerites, *Leviella bentori* association at the ostracods; according to a personal comm. of Prof. MOSTLER, Innsbruck, also the siliceous sponge spicules are very different from other Tethyan faunas). This faunal province is recognisable in a wide facies range. *Pseudofurnishius* occurs in oxygen-rich deep water sediments, in restricted basin facies and in shallow-water platform carbonates. The *Theelia tubercula* holothurian fauna occurs on carbonate platforms even in gypsum-bearing dolomites.

Especially important is the occurrence of *Pseudofurnishius* in open sea Neotethyan deep-water sediments of western Sicily, where it occurs in red and greenish limestones, marls, claystones and red cherts. *Pseudofurnishius* is very common in this facies and comprises up to 50% of the rich conodont fauna. These open sea deposits contain the only complete sequence of all known *Pseudofurnishius* species both with juvenile and adult forms. Thus, obviously, the Neotethys was the area in which *Pseudofurnishius* evolved, where it lived and reproduced. From there, migrations of *Pseudofurnishius*, mainly *P. murcianus* VAN DEN BOOGAARD, took place on the Neotethyan shelves in the south, west and north of the Neotethys. In none of the former considerations about Triassic Tethyan faunal provinces the aspect was shown that the Westmediterranean-Arabian faunal province is the Neotethyan faunal province. In this respect is very important what was the faunal barrier and what caused during the middle Carnian the sudden end of this Neotethyan faunal province. These two questions are directly connected to the question about the derivation of the Antalya and Alanya nappes.

North of the occurrence of *Pseudofurnishius* and *Theelia tubercula* on the Tauride Platform SW and W of Seydişehir, the northern Geyikdağ Autochthon was emerged during the Triassic (Fig. 3). Thus, in Sultandağ, Liassic lies transgressively on marine Upper Permian. This Tauride (-Apulian) High was flooded during the Jurassic, partly already during the Norian or Rhaetian. It was a perfect barrier against the faunal exchange between the Triassic Neotethys and the Tethys north of the emerged Tauride (-Apulian) High. Also further to the east, in Iran, Triassic emerged areas were present on the Cimmerian continent between the Neotethys and the Tethyan sea north of the Cimmerian continent. Toward the west, the Tauride High continued until Apulia s.s. (westernmost occurrence in the continental Triassic verrucano in the Apennines). In the western Mediterra-

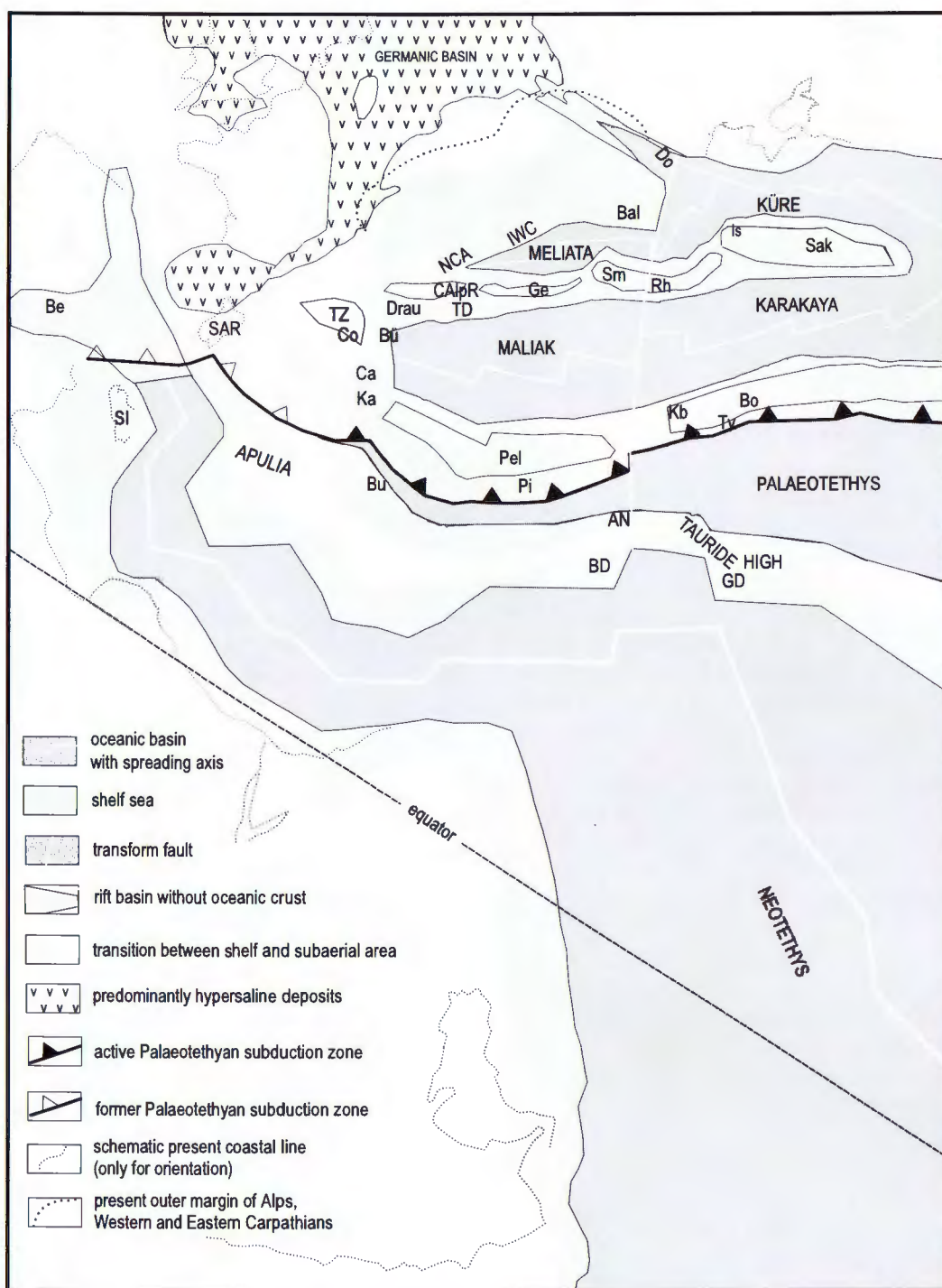


Fig. 3 Palaeogeography of the western Tethys and its surroundings during the late Ladinian. Neotethys and position of the equator after STAMPFLI et al. (in press). Legend: AN) Antalya nappes; Be) Betic Zone; BD) Beydağları Unit (part of Tauride Autochthon); Bo) Bolkardağ Unit; Bu) Budva Zone; Bü) Bükk Mts; Ca) Carnian Alps; CALpR) Central Alpine Ridge; Co) Codru Nappe System; Do) Dobruzha; GD) Geyikdağ Unit (part of Tauride Autochthon); Kb) Karaburun Unit; Pi) Pindos; Pel) Pelagonicum; Ka) Karawanke Mts.; NCA) Northern Calcareous Alps; IWC) Inner Western Carpathians; SM) Serbo-Macedonian Massif; Rh) Rhodopes; Is) Istanbul Terrane s.s.; Sak) Sakarya Terrane; SAR) Sardinia; SI) Sicily; TD) Transdanubian Central Range; Tv) Tavus Composite Nappe of the Lycian nappes; TZ) Tizia.

nean area, the occurrences of the Westmediterranean-Arabian fauna in North Africa, Spain (e.g., Betic and Subbetic zones, Pyrenées), Balears, and Sicily are separated by an emerged area and partly strongly hypersaline seas from the westernmost continuation of the Germanic Basin and from a Tethyan seaway from the Briançonnais to Provence and NW Sardinia. Also there an effe-

ctive barrier against the northward migration of Neotethyan faunas was present. The only place, where the uppermost Longobardian and Cordevolian Neotethyan fauna occurs outside the Neotethys and the Neotethyan shelves is in the Southern Alps and originally adjacent areas as the Codru Nappe System in the northern Apennine Mts., Romania (Fig. 3). The migration route was

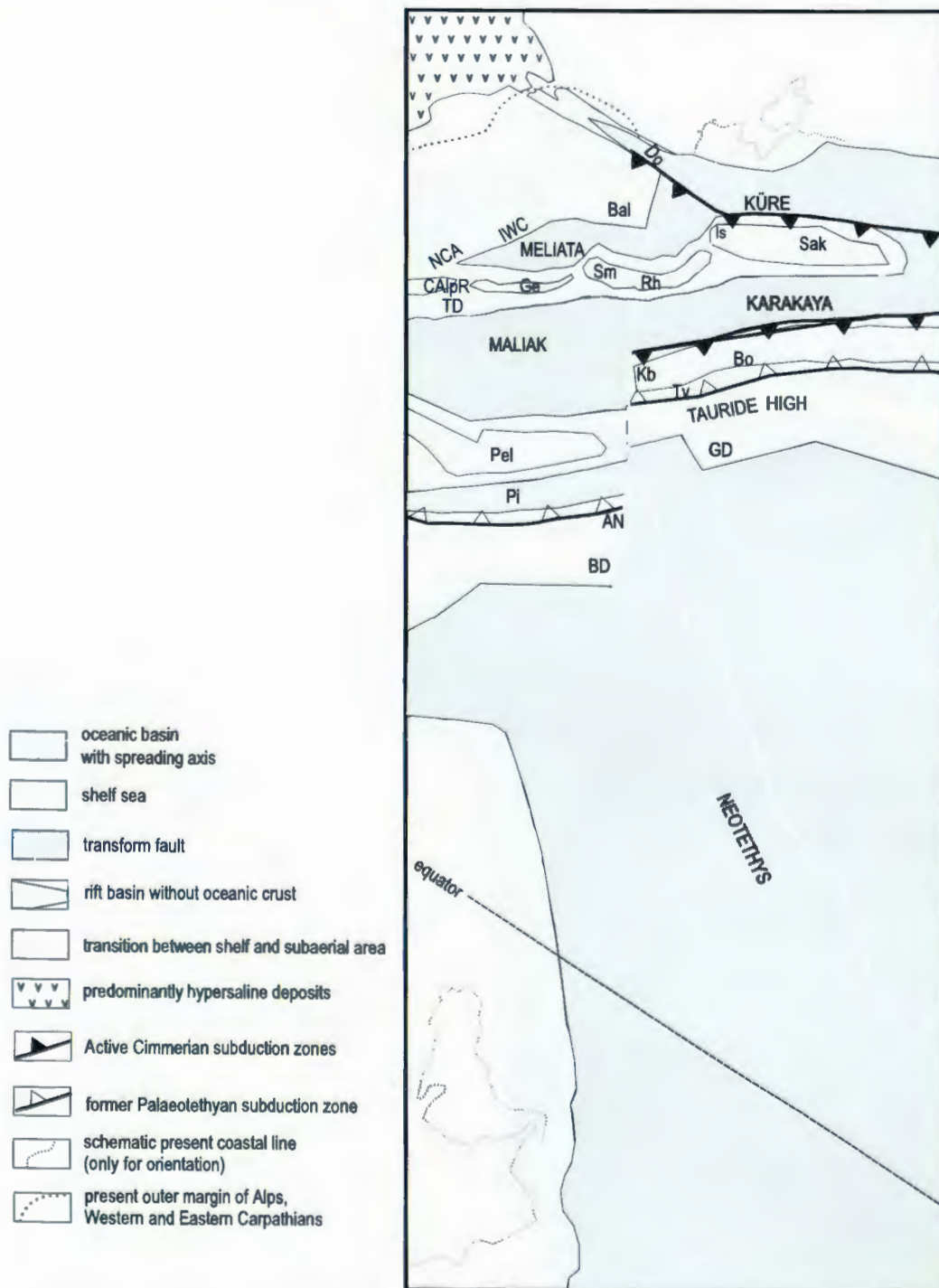


Fig. 4 Palaeogeography of the western Tethys (toward the west only until the meridian of the Eastern Alps) during the late Carnian. The Tauride (-Apulian) High is broken along a N-S trending transform fault and by this the Neotethys got an unrestricted faunistic connection toward the north and the distinct Neotethyan Westmediterranean-Arabian faunal province disappeared. Abbreviations as for Fig. 3.

obviously from Sicily along the former Palaeotethyan seaway north of Apulia s.s. to the Southern Alps.

During the Middle Carnian, the Palaeotethys was closed and by this the Karaburun-Bolkardağ Zone was attached to the northern margin of the Perigondwana Tauride Platform as part of the Cimmerian blocks. North of this widened Tauride block, both in the Karakaya and in the Küre branch of the Cimmerian Ocean, the southward-directed subduction began, whereas in

the south, the sea-floor spreading of the Neotethys continued. By this, the widened Tauride block south of the Karakaya Ocean moved toward the north. In the same time, further in the west, the sea-floor spreading in the Meliata Ocean ended, but subduction did not yet start. In the Maliak Ocean the sea-floor spreading continued and at least strong extension prevailed in the Pindos Basin. By this the western continuation of the Tauride block, beginning with the Beydağları Autochthon rema-

ined in the south or was even pushed toward the south, and east of the Beydağları Autochthon, the former continuous Tauride-Apulian block disintegrated along a N-S transform fault. By this, the Neotethys Ocean got a direct connection with the Pindos Basin (Fig. 4), and the strong upper Ladinian to Cordevolian faunal differences between the Neotethys and the other Tethyan basins disappeared. This is the reason why since the middle Carnian no pronounced faunal provincialism can be observed in the Tethyan Upper Triassic. The reason, why the provincialism was strongest in the upper Ladinian and Cordevolian, just before its middle Carnian end, is the fact that at least parts of the Tauride High were covered by a shallow-water Upper Permian sea. Only after this time, the Tauride High emerged and the faunal connection of the Neotethys toward the north was disrupted. Since the Anisian, a slight provincialism can be observed between Neotethyan and other Tethyan faunas (e.g., in the holothurian faunas). The longer the faunal exchange was interrupted, the stronger became the faunistic differences between the Neotethys (including its shelves) and the other Tethyan oceanic basins and shelves, and therefore the faunal differences were strongest just before their middle Carnian end.

A north-south-trending strike-slip zone were already recognised by ROBERTSON & WOODCOCK (1982). STAMPFLI et al. (in press) indicated a N-S transform fault exactly east of the Beydağları Autochthon to break up the Cimmerian Continent in the above mentioned manner. However, they have shown this breaking up between the late Permian and Anisian. In that time, there was no geological reason for a distinct displacement along this strike-slip fault. Moreover, if the breaking up of the Cimmerian continent east of the Beydağları Autochthon had happened before the Ladinian, the distribution area of the Neotethyan Upper Ladinian to Cordevolian fauna would be interrupted and the strong differences between the Neotethyan and other Tethyan faunas could not be explained.

In the new model, the Antalya and Alanya nappes were derived from the northeastern corner of the Beydağları Autochthon. For this reason, the published relations of the Antalya nappes to the Beydağları Autochthon are rather consistent: Shear data show southward-directed transport of the Antalya nappes (MARCOUX et al., 1989), the overthrust began in the northern part of the Beydağları Autochthon earlier than in the southern part and continuous sedimentation in the southernmost Beydağları Autochthon across the thrusting time exclude a derivation of the Antalya nappes south of the Beydağları Autochthon (ŞENEL, 1984). The contradiction in the relation between the Geyikdağ Autochthon and the Antalya and Alanya nappes can be easily explained. The absence of *Pseudofurnishius* and of the *Theelia tubercula* fauna in the Antalya nappes which are very common in the southern part of the Geyikdağ Autochthon indicates that the Antalya and Alanya nappes were derived from north of the Tauride-Apulia High, what is

also indicated by the Cambrian development (see above) and by the shear data which show southward directed transport (MARCOUX et al., 1989). Moreover, a southern derivation of the Alanya nappes with the subduction-related metamorphics of the Süğözü Nappe would indicate southwards-directed subduction because the Alanya nappes are the highest nappe unit. However, in the entire southern Tethys, nowhere a southward-directed subduction is present. Nevertheless, the Jurassic to Lutetian continuous neritic deposits indicate that the Antalya and Alanya nappes were not thrust from north to south over the Geyikdağ Autochthon (ŞENEL, 1984). The middle Carnian and younger northward-movement of the Geyikdağ Autochthon brought this unit since the middle Carnian in a position northeast of the Antalya and Alanya nappes separated by an oceanic basin. During the collision between Beydağları and Geyikdağ units which began in Maastrichtian, the Antalya nappes were thrust from north on the Beydağları Unit, but from south on the Geyikdağ Unit.

Acknowledgements

Prof. Dr. C.M. GÖNCÜOĞLU, Ankara, and Dr. M. ŞENEL, Ankara explained me in several excursions the geologic setting of the Tauride Composite Terrane, and helped me in sampling and getting Turkish geological literature. Dr. K. TEKIN, Dr. S. GÜRSU and Dr. N. TURAN, all Ankara, guided sampling excursions to Sultandağ and Dr. Y. BEDI, Dr. K. KURU, Dr. E.M. ÖZTÜRK, and Dr. K. TEKIN, all Ankara, guided sampling excursions to the Alanya Tectonic Window, and Dr. K. TEKIN also to the Cambrian to Triassic of the Geyikdağ Autochthon, the Antalya nappes of the Isparta Angle and the type Antalya nappes in the Kemer area. Dr. Y. GÖNCÜOĞLU, Ankara, provided me with conodont data and Prof. C.M. GÖNCÜOĞLU has given a lot of scientific and technical help for preparing papers about the Cambrian, Ordovician, Silurian and Devonian conodonts and stratigraphy of the Antalya nappes. Prof. G.M. STAMPFLI, Lausanne, supported very much the paper by financial and scientific help and provided me with a lot of unpublished palaeogeographic data. I thank all the mentioned colleagues for their very important help. I thank also Tübitak, Ankara, for a NATO CP grant.

REFERENCES

- BRUNN, J.H. (1974): Le problème de l'origine des nappes et de leurs translations dans le Taurides occidentales.- Bull. Géol. Soc. France, 16/2, 101-106, Paris.
- BRUNN, J.H., ARGYRIADIS, I., MARCOUX, J. & RICOU, L.E. (1977): Commentaires sur le note : 'Is the Troodos massif allochthonous?' présentée par B. BIJU-DUVAL, H. LAPIERRE et J. LETOUZEY. Discussion d' une origine nord ou sud-taurique.- C.R. somm. Séanc. Soc. Géol. Fr., 6, 344-345, Paris.
- BRUNN, J.H., DUMONT, J., DE GRACIANSKY, P.C., GUTNIC, M., JUTEAU, T., MARCOUX, J., MONOD, O. & POISSON, A.

- (1971): Outline of the geology of the western Taurides.- In: CAMPBELL, A.S. (ed.): Geology and History of Turkey. Petr. Expl. Soc. Libya, 225-255, Tripoli.
- DEAN, W.T., MARTIN, F., MONOD, O., GÜL, M.A., BOZDOĞAN, N. & ÖZGÜL, N. (1993): Early Palaeozoic evolution of the Gondwana land margin in the Western and Central Taurides, Turkey.- In: TURGUT, S. (ed.): Tectonics and Hydrocarbon Potential of Anatolia and Surrounding Regions. Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, November 1991, Ankara. Ozan Sungurlu Found. Sci., Educat. & Aid, 262-272, Ankara.
- DELAUNE-MAYÈRE, M., MARCOUX, J., PARROT, J.-F. & POISSON, A. (1977): Modèle d'évolution Mésozoïque de la paléomarge Téthysienne au niveau des nappes radiolaritiques et ophiolitiques du Taurus Lycien, d'Antalya et du Baër-Bassit.- In: BIJU-DUVAL, B. & MONTADERT, L. (eds.): Structural History of the Mediterranean Basins. Editions Technip, 79-94, Paris.
- DUMONT, J.F. (1976): Études géologiques dans les Taurides Occidentales: les formations paléozoïques et mésozoïques de la coupole de Karacahisar (Province d'Isparta, Turquie).- Thèse Univ. Paris-Sud, Orsay.
- DUMONT, J.F., GUTNIC, M., MARCOUX, J., MONOD, O. & POISSON, A. (1972): Le Trias des Taurides occidentales (Turquie). Définition du bassin pamphylien: Un nouveau domaine à ophiolites à la marge externe de la chaîne taurique.- Z. Deutsch. Geol. Ges., 123, 385-409, Stuttgart.
- GEDİK, I. (1977): Orta Toroslar'da Konodont biyostratigrafisi (Conodont biostratigraphy in the Middle Taurus).- Bull. Geol. Soc. Turkey, 20, 35-48, Ankara.
- GEDİK, I. (1981): Türkiye Trias'ında konodont bölgeleri ve tektonik-paleoğrafik önemi.- Black Sea Techn. Univ. Earth Sci. Bull., 1/1, 1-14, Trabzon.
- GÖNCÜOĞLU, Y. & KOZUR, H. (1999): Upper Cambrian and Lower Ordovician conodonts from the Antalya Nappe in the Alanya Tectonic Window, southern Turkey.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1999/10, 593-604, Stuttgart.
- GÜVENÇ, T. (1981): Tetisin Permiyen ve Triyas stratigrafisi ve paleoğrafyası.- Yerbilimleri, Hacettepe Üniv. Yerb. Ens. Bül., 7, 27-42, Ankara.
- HAYWARD, A.B. (1984): Miocene clastic sedimentation related to the emplacement of the Lycian Nappes and the Antalya complex, S.W. Turkey.- In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.): The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Spec. Publ. Geol. Soc. London, 17, 287-300, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.
- HAYWARD, A.B. & ROBERTSON, A.H.F. (1982): Direction of ophiolite emplacement inferred from Tertiary and Cretaceous sediments of an adjacent autochthon; die Bey Dağları, S.W. Turkey.- Bull. Geol. Soc. Amer., 93, 68-75, Boulder.
- HIRSCH, F. (1973): Middle Triassic conodonts from Israel, southern France and Spain.- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 21/2, 811-828, Innsbruck.
- KOZUR, H. (1979): Einige Probleme der geologischen Entwicklung im südlichen Teil der Inneren Westkarpaten.- Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 9/4, 155-170, Innsbruck.
- KOZUR, H. (1980): Revision der Conodontenzonierung der Mittel- und Obertrias des tethyalen Faunenreichs.- Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 10/3-4, 79-172, Innsbruck.
- KOZUR, H. & MIRĂUȚĂ, E. (1980): Eine interessante Conodontenfauna aus dem höheren Fassin (Unterladin) der Arieșeni-Decke (nördliches Apuseni-Gebirge, Rumänien).- Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 10/6, 223-234, Innsbruck.
- KOZUR, H. & MOSTLER, H. (1971): Probleme der Conodontenforschung in der Trias.- Geol. Paläont. Mitt. Ibk, 1/4, 1-19, Innsbruck.
- KOZUR, H. & MOSTLER, H. (1972): Die Bedeutung der Mikrofossilien für stratigraphische, paläoökologische und paläogeographische Untersuchungen in der Trias.- Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 21/1, 341-360, Innsbruck.
- KOZUR, H.W. & ŞENEL, M. (1999): Carboniferous oceanic sequences in the Lycian nappes of southern Turkey.- XIV ICCP, International Congress on the Carboniferous-Permian, Programme with Abstracts, 79, Calgary.
- KOZUR, H.W., ŞENEL, M. & TEKIN, K. (1998): First evidence of Hercynian Lower Carboniferous flyschoid deep-water sediments in the Lycian nappes, southwestern Turkey.- Geol. Croat., 51/1, 15-22, Zagreb.
- KRISTAN-TOLLMANN, E. (1963): Holothurian-Sklerite aus der Trias der Ostalpen.- Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl., Abt. I, 172, 351-380, Wien.
- LEFÈVRE, R. (1967): Un nouvel élément dans la géologie du Taurus lycien: les nappes d'Antalya (Turquie).- C. R. Acad. Sc., 265, 1365-1368, Paris.
- MARCOUX, J. (1970): Age Carnien de termes effusifs du cortège ophiolitique des Nappes d'Antalya (Taurus Lycien oriental, Turquie).- C. R. Acad. Sc., 271, 285-287, Paris.
- MARCOUX, J. (1977): Geological sections of the Antalya region.- In: GÜVENÇ, T. et al. (eds.): Western Taurus excursion. VI. Coll. on the Geology of Aegean Regions, 19 Sept.-4 Oct. 1977, Geological Guide Book, 21-29, Izmir.
- MARCOUX, J. (1979): General features of Antalya Nappes and their significance in the paleogeography of southern margin of Tethys.- Bull. Geol. Soc. Turkey, 22/1, 1-6, Ankara.
- MARCOUX, J., RICOU, L.E., BURG, J.P. & BRUN, J.P. (1989): Shear-sense criteria in the Antalya and Alanya thrust systems (southwestern Turkey): evidence for a southward emplacement.- Tectonophysics, 161, 81-91, Amsterdam.
- MONOD, O. (1976): La 'courbure d'Isparta': une mosaïque de blocs autochtones surmontés de nappes composites à la jonction de l'arc hellénique et de l'arc taurique.- Bull. Soc. Géol. Fr., 18, 521-532, Paris.
- MONOD, O., MARCOUX, J., POISSON, A. & DUMONT, J. (1974): Le domaine de l'Antalya, témoin de la fracturation de la plateforme africaine au cours du Trias.- Bull. Soc. Géol. Fr., 16, 116-127, Paris.
- NICORA, A. (1981): *Pseudofurnishius murcianus* Van den BOOGARD in the Upper Triassic of Southern Alps and Turkey.- Riv. Ital. Paleont., 86/4, 769-778, Milano.
- NOGAMI, Y. (1968): Trias-Conodonten von Timor, Malaysien und Japan (Palaeontological Study of Portuguese Timor, 5).- Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. & Min., 34/2, 115-136, Kyoto.
- OKAY, A.I. & ÖZGÜL, N. (1984): HP/LT metamorphism and the structure of the Alanya Massif, southern Turkey: an allochthonous composite tectonic sheet.- In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.): The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Spec. Publ. Geol. Soc. London, 17, 429-439, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.
- ÖZGÜL, N. (1976): Torosların bazı temel jeolojik özellikleri.- Türkiye jeol. Kur. Bül., 19, 65-78, Ankara.
- ÖZGÜL, N. (1984): Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides.- In: TEKELİ, O. & GÖNCÜOĞLU, M.C. (eds.): Proceedings of the International Symposium on the geology of the Taurus Belt, 1983, Ankara-Turkey, 77-90, MTA, Ankara.
- ÖZGÜL, N. & ARPAT, E. (1973): Structural units of the Taurus orogenic belt and their continuation in neighbouring regions.- In: 23° Congr. CIESM, Athens, 1972. Bull. Geol. Soc. Greece, 10, 156-164, Athens.
- POISSON, A. (1984): The extension of the Ionian trough into southwestern Turkey.- In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.): The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Spec. Publ. Geol. Soc. London, 17, 429-439, Blackwell Scientific

- Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.
- POISSON, A., AKAY, E., DUMONT, J.F. & UJSAL, Ş. (1984): The Isparta angle: a Mesozoic paleorift in the Western Taurides.- In: TEKELI, O. & GÖNCÜOĞLU, M.C. (eds.): Proceedings of the International Symposium on the geology of the Taurus Belt, 1983, Ankara-Turkey, 11-26, MTA, Ankara.
- RAMOVŠ, A. (1978): Mitteltriassische Conodonten-clusters in Slowenien, NW Jugoslawien.- *Paläont. Z.*, 52/1-2, 129-137, Stuttgart.
- RICOU, L.E. (1980): Torosların Helenidler ve Zagridler arasındaki yapısal rolü.- *Türkiye jeol. Kur. Bül.*, 23/2, 101-118, Ankara.
- RICOU, L.E., ARGYRIADIS, I. & LEFÈVRE, R. (1974): Proposition d'une origine interne pour les nappes d'Antalya et le massif d'Alanya (Taurides occidentales, Turquie).- *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 16, 107-111, Paris.
- RICOU, L.E., ARGYRIADIS, I. & MARCOUX, J. (1975): L'axe calcaire du Taurus, un alignement de fenêtres arabo-africaines sous de nappes radiolaritiques, ophiolitiques et métamorphiques.- *Bull. Soc. Géol. Fr.*, 17, 1024-1044, Paris.
- RICOU, L.E., MARCOUX, J. & POISSON, A. (1979): L'allochtonie des Bey Dağları orientaux. Reconstruction palinspastique des Taurides occidentales.- *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 21, 125-133, Paris.
- RICOU, L.E., MARCOUX, J. & WHITECHURCH, H. (1985): The Mesozoic organisation of the Taurides: one or several oceanic basins.- In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.): *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Spec. Publ. Geol. Soc. London, 17, 349-359, Blackwell Scientific Publications, Oxford, London, Edinburgh, Boston, Palo Alto, Melbourne.
- ROBERTSON, A.H.F. & WOODCOCK, N.H. (1982): Sedimentary history of the south-western segment of the Mesozoic-Tertiary Antalya continental margin, south-western Turkey.- *Eclogae geol. Helv.*, 75, 517-562, Basel.
- ŞENEL, M. (1984): Discussion on the Antalya nappes. - In: TEKELI, O. & GÖNCÜOĞLU, M.C. (eds.): Proceedings of the International Symposium on the geology of the Taurus Belt, 1983, Ankara-Turkey, 41-51, MTA, Ankara.
- ŞENEL, M., DALKILIÇ, H., GEDİK, I., SERDAROĞLU, M., BÖLÜKBAŞI, A.S., METİN, S., ESENTÜRK, K., BILGIN, A.Z., UĞUZ, M.F., KORUCU, M. & ÖZGÜL, N. (1992): Eğirdir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanın jeolojisi.- *MTA Rap.*, 9390, *TPAO Rap.*, 3132 (unpubl.), 559 p., Ankara.
- ŞENEL, M., GEDİK, I., DALKILIÇ, H., SERDAROĞLU, M., BILGIN, A.Z., UĞUZ, M.F., BÖLÜKBAŞI, A.S., KORUCU, M. & ÖZGÜL, N. (1996): Isparta bölümlü doğusunda, otokton ve allokton birimlerin stratigrafisi (Bati Toroslar).- *MTA Derg.* 118, 111-160, Ankara.
- ŞENEL, M., SERDAROĞLU, M., KENGİL, R., ÜNVERDİ, M. & GÖZLER, M.Z. (1981): Teke Torosları güneydoğusunun jeolojisi.- *MTA Derg.*, 95/96, 13-43, Ankara.
- ŞENEL, M., GÖNCOĞLU, Y. & KOZUR, H.W. (2000): Conodont-dated Cambrian rocks from the Tahtalıdağ Nappe (Antalya nappes) of the Kemer area, western Taurides (Turkey).- In: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (eds.): Proceedings of the 2nd Croatian Geological Congress, this volume.
- ŞENGÖR, A.M.C. & YILMAZ, Y. (1981): Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach.- *Tectonophysics*, 75, 181-242, Amsterdam.
- STAMPFLI, G.M., MOSAR, J., FAVRE, P., PILLEVUIT, A. & VANNAY, J.-C. (in press): Permo-Triassic evolution of the western Tethyan realm: The Neotethys/East-Mediterranean basin connection.- In: CAVAZZA, W., ROBERTSON, A.H.F. & ZIEGLER, P.A. (eds.): *Peritethyan rift/wrench basins and passive margins*, IGCP 369. *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat.*, Paris.
- YILMAZ, P.O. (1984): The Alakır çay unit, Antalya complex: a tectonic enigma.- In: TEKELI, O. & GÖNCÜOĞLU, M.C. (eds.): Proceedings of the International Symposium on the geology of the Taurus Belt, 1983, Ankara-Turkey, 27-40, MTA, Ankara.
- YILMAZ, P.O., MAXWELL, J.C. & MEUHLBERGER, W.R. (1981): Antalya Kompleksinin yapısal evrimi ve Doğu Akdeniz'deki yeri.- *Yerbilimleri Dergisi*, 7, 119-127, Hacettepe Üniv., Ankara.

Zinc-rich Phlogopite from Nežilovo - Macedonia

Cinkom-bogati flogopit iz Nežilova - Makedonija

Davor KUDRNOVSKI & Vladimir BERMANEC

Key words: Zinc-rich phlogopite, Nežilovo, Pelagonian Massif, Macedonia.

Ključne riječi: cinkom-bogati flogopit, Nežilovo, Pelagonski masiv, Makedonija.

Abstract

The samples of trioctahedral micas from "Mixed Series" (STOJANOV, 1968) of Pelagonian Massif were analyzed. According to high zinc content in octahedral coordination the mica is classified as *zinc-rich phlogopite*, which agrees with the recent classification of micas (RIEDER et al., 1998). Analyzed samples of zinc-rich phlogopite has the average composition: $K_{0.93}Ba_{0.01}Na_{0.05}(Mg_{2.31}Mn_{0.11}Fe_{0.11}Zn_{0.29}Al_{0.09}[Al_{0.97}Si_{3.03}](OH)_2$ and belongs to 1M polytype, which was confirmed by diffraction pattern by a precession camera. Calculated parameter along *c* axis is 10.14 Å. Cell parameters were calculated from powder diffraction pattern: $a=5.306(1)$ Å, $b=9.205(1)$ Å, $c=10.236(1)$ Å and $\beta=99.90(1)^\circ$; $d_{(060)}=1.534$ Å.

Colors of zinc-rich phlogopite along optical vibrational directions are: Z - greenish brown, Y - reddish brown. $2V_x=41^\circ 8' - 44^\circ 30'$ and measured refractive indices: $N_z=1.574$ and $N_y=1.576$.

Density was calculated from data of chemical composition and cell parameters and it is 2.834-2.849. Zinc-rich phlogopites were separated from coarse-grained pink dolomite marbles and besides dolomite zinc-rich phlogopite is associated with plagioclase, chlorite, cymrite, talc, piemontite, barite, hedyphane, braunite, gahnite, franklinite and hematite (BERMANEC et al., 1993, 1996).

1. INTRODUCTION

The rock samples of marbles from which the Zn-rich phlogopite was separated, were collected from the upper part of river bed of the Babuna and Bela Reka rivers (below the Solunska Glava peak of the Jakupica mountain, Central part of Pelagonian massif), nearby Nežilovo village, Macedonia. The lowest part of metamorphic complex consists of gneisses, above follow mica schist series and they both make "lower metamorphic complex" of Precambrian age. Mixed series and above it marble series make "upper metamorphic com-

Sažetak

Analizirani su uzorci trioktaedrijskih tinjaca "miješane serije" (STOJANOV, 1968) Pelagonskog masiva. Zbog značajnog sadržaja cinka u oktaedrijskoj koordinaciji, prema usvojenoj nomenklaturi (RIEDER et al., 1998) analizirani tinjac je klasificiran kao *cinkom-bogati flogopit*. Analizirani uzorak cinkom-bogatog flogopita ima srednji sastav: $K_{0.93}Ba_{0.01}Na_{0.05}(Mg_{2.31}Mn_{0.11}Fe_{0.11}Zn_{0.29}Al_{0.09}[Al_{0.97}Si_{3.03}](OH)_2$ i pripada 1M politipu, što je potvrđeno snimkom pomoću precesijske kamere. Iz podataka s filma izračunata je periodičnost duž kristalografske osi *c* 10.14 Å. Iz podataka difraktograma praha, izračunata je ćelija: $a=5.306(1)$ Å, $b=9.205(1)$ Å, $c=10.236(1)$ Å i $\beta=99.90(1)^\circ$; $d_{(060)}=1.534$ Å.

Boje cinkom-bogatog flogopita su za vibracijske smjereve: Z - zeleno-smeđa, Y - crveno-smeđa. $2V_x=41^\circ 8' - 44^\circ 30'$ izmjereni indeksi loma: $N_z=1.574$ i $N_y=1.576$.

Gustoća izračunata iz kemijskog sastava i parametara ćelije je 2.834-2.849. Cinkom-bogati flogopiti separirani su iz krupnozrnastih ružičastih dolomitskih mramora i osim dolomita tinjac je asociiran s plagioklasom, kloritom, cymritom, talkom, piemontitom, baritom, hedyfanom, braunitom, gahnitom, franklinitom i hematitom (BERMANEC et al., 1993, 1996).

plex" of Caledonian age (STOJANOV, 1960). Zn-rich phlogopites were separated from marbles of the mixed series. Accommodation of zinc in the structure of mica is very rare phenomenon in nature. Trioctahedral zinc end-member of mica, named *hendricksite*, was described firstly on the samples from Franklin, New Jersey (FRONDEL & ITO, 1966). Hendricksite field is a solid solution between end members phlogopite, $KMg_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$, hendricksite, $KZn_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ and Mn-phlogopite, $KMn_3(AlSi_3)O_{10}(OH)_2$ (Fig. 1).

Hendricksite and Mn-phlogopite end members were prepared by hydrothermal crystallization from stoichio-

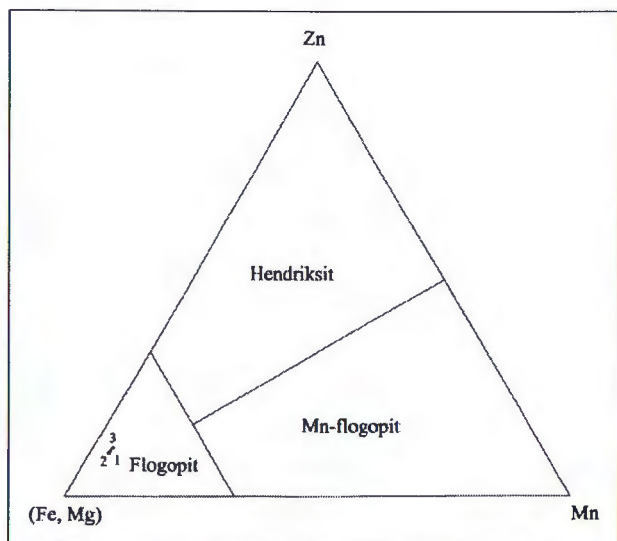


Fig. 1 Chemical composition of zinc-rich phlogopite from Nežilovo. Analysed samples of mica are marked with numbers 1, 2 and 3 in the diagram.

Sl. 1 Kemijski sastav cinkom bogatog flogopita iz Nežilova. Analizirani uzorci tinjca su u dijagramu označeni brojevima 1, 2 i 3.

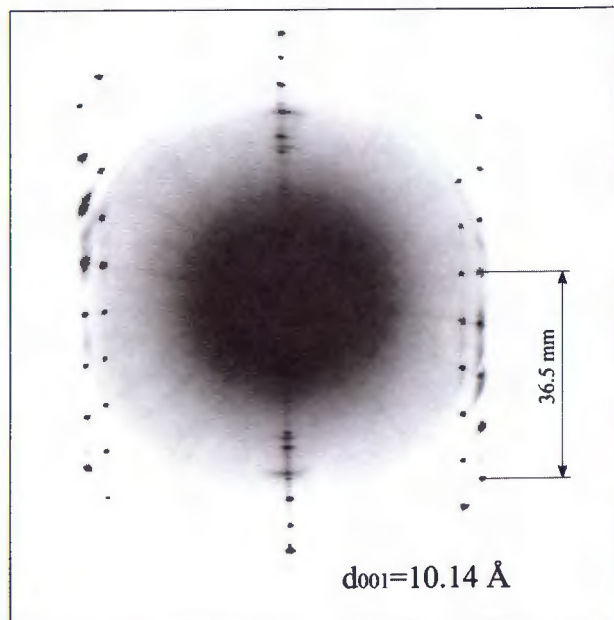


Fig. 2 Diffraction pattern of zinc-rich phlogopite from Buerger precession camera - zero layer-line.

Sl. 2 Difrakcijska slika cinkom bogatog flogopita sa Buergerove precesijske kamere - nulta slojna linija.

metric gels, but they have never been found in the nature.

Separated flakes (plates) of micas from marble are euhedral to anhedral, brown, and dark brown to greenish brown in color. Some mica plates show well-developed prismatic faces. Inside majority of mica plates exist inclusions of opâque minerals which vary from very fine particles up to 1 millimeter in diameter, also as anhedral to euhedral hexagonal inclusions. These materials are black opâque, earlier described as hematite, gahnite, nežilovite (BERMANEC et al., 1993, 1996).

2. MEASUREMENTS

X-ray diffraction powder pattern of Zn-rich phlogopite was recorded on X-ray powder diffractometer (with $\text{CuK}\alpha$ radiation) and then determined comparing with known powder X-ray diffraction pattern of 1M polytype phlogopite (YODER & EUGSTER, 1954). The internal standard was KCl. Unit cell parameters of Zn-rich phlogopite were calculated from powder pattern with "Unitcell" computer program (HOLLAND & REDFERN, 1997). The polytype of analyzed mica was determined by combination of both X-ray powder diffraction and on the precession camera. The photographs of monocrystal (mica plate) were taken by unfiltered X-ray radiation. Zero and first layers were taken along the c axis and calculated period of c is 10.14 \AA (Fig. 2).

Chemical composition of mica was analysed on "JEOL 733 Superprobe" and the standards were phlogopite for Si, Al, K; chlorite for Fe, Mg; tephroite for

Mn; rutile for Ti; albite for Na; gehlenite for Ca; zincite for Zn; cuprite for Cu and sanbornite for Ba.

Chemical formulas of Zn-rich phlogopite were calculated on the basis of 22 positive charges with the computer program "Minfile" (AFIFI & ESSENE, 1988) (Table 1). $2V_x$ angle and refractive indices of vibrational directions Z and Y were measured on the polarizing equipped microscope with spindle stage. Refractive indices were measured by immersion methods with liquids "Cargile" and also measuring of optical axial angle $2V_x$ were performed in the immersion liquid. Vibrational direction X, which is almost perpendicular to the basal plane of mica was not possible to measure.

Theoretical density was calculated on the base of chemical composition and the unit cell dimensions, with the computer program "Chemical computations".

3. RESULTS

Unit cell dimensions of analyzed Zn-rich phlogopite and stoichiometric pure phlogopite (from YODER & EUGSTER, 1954) are almost the same, but hendricksite has a higher value of cell parameters. This is according to the chemical composition of analysed mica and the rate of ionic radius for zinc and magnesium, which are dominant in octahedral position (Table 1).

4. DISCUSSION

Zn-rich phlogopite contains up to 5.37 wt. % ZnO and this corresponds to 0.30 atoms per formula unit.

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
SiO ₂	40.138	40.025	40.533
TiO ₂	0.070	0.109	0.122
Cr ₂ O ₃	0.010	0	0.007
Al ₂ O ₃	11.906	11.947	12.026
FeO	1.637	1.692	1.737
MnO	1.639	1.755	1.817
MgO	20.458	20.710	20.629
CaO	0.049	0.008	0.036
ZnO	5.071	5.131	5.372
Na ₂ O	0.356	0.311	0.293
K ₂ O	9.405	9.935	9.777
BaO	0.274	0.389	0.705
Total	91.012	92.013	93.054
atoms per formula unit / atomi po formulskej jedinici:			
Si	3.05	3.02	3.03
Ti ⁴⁺	0	0.01	0.01
Cr ³⁺	0	0	0
Al	1.06	1.06	1.06
Fe	0.10	0.11	0.11
Mn	0.11	0.11	0.12
Mg	2.31	2.33	2.3
Ca	0	0	0
Zn	0.28	0.29	0.30
Na	0.05	0.05	0.04
K	0.91	0.96	0.93
Ba	0.01	0.01	0.02
Suma kationa:	7.90	7.94	7.92
Naboj kationa:	22	22	22
Sample 1:			
$K_{0.91}Na_{0.05}Ba_{0.01}(Mg_{2.31}Zn_{0.28}Mn_{0.11}Fe_{0.10}Al_{0.11})[Al_{0.95}Si_{3.05}O_{10}](OH)_2$			
Sample 2:			
$K_{0.96}Na_{0.05}Ba_{0.01}(Mg_{2.33}Zn_{0.29}Mn_{0.11}Fe_{0.11}Al_{0.08}Ti_{0.01})[Al_{0.96}Si_{3.02}O_{10}](OH)_2$			
Sample 3:			
$K_{0.93}Na_{0.04}Ba_{0.02}(Mg_{2.30}Zn_{0.30}Mn_{0.12}Fe_{0.11}Al_{0.09}Ti_{0.01})[Al_{0.97}Si_{3.03}O_{10}](OH)_2$			

Table 1 Chemical analyses of zinc-rich phlogopite and its structural formula.

Tablica 1 Kemijske analize cinkom-bogatih flogopita i njihova strukturna formula.

Similar values of zinc content in micas from this locality were determined by JANČEV (1994). *Zinc-rich phlogopite* was named according to the zinc content in octahedral position (9.6-10.3 %) (Fig. 1).

Hendricksite in Franklin deposit appears exclusively in scarns where majority of silicate minerals contain Zn and Mn in solid solution, and calcite, andradite, franklinite and barian feldspars (hyalophan, celzian) are always associated with hendricksite (FRONDEL & ITO, 1966). In ore minerals zinc is almost entirely present in tetrahedral coordination forming mostly covalent bond, but in scarn silicates Zn is present exclusively in octahedral coordination. The zinc distribution

inside the scarn silicate minerals in which the bonds are relatively strong ionic, is primarily function of its ionic radii which is close to Mg, Fe²⁺ and Fe³⁺ (FRONDEL & ITO, 1966).

The process of incorporation of zinc into the structure of phlogopite in marbles of Pb-Zn metamorphic deposit at Nežilovo village and in scarns in Franklin, must be caused by crystallochemical environment. To prove that the environmental properties are the key reason for incorporation of Zn into the silicates, is supported by the fact that the deposits of hendricksite are very rare in the world and along with Pb-Zn mineralization appear only in similar crystallochemical environment.

Relatively high barium content in analysed mica is caused by positive geochemical anomaly in Nežilovo region where barium is present mostly as barite and cymrite in quartz-cymrite schists (BERMANEC, 1992).

5. REFERENCES:

- AFIFI, A. & ESSENE, E. (1988): MINFILE: A microcomputer program for storage and manipulating of chemical data on minerals.- *American Mineralogist*, 73, 446-448.
- BERMANEC, V. (1992): Kristalokemijske karakteristike minerala iz asocijacija koje sadrže barijske silikate.- Unpublished PhD Thesis, Faculty of Sciences, University of Zagreb.
- BERMANEC, V., BALEN, D., ŠČAVNIČAR, S. & TIBLJAŠ, D. (1993): Zn-rich magnetoplumbite from Nežilovo, Macedonia.- *Eur. J. Mineral.*, 5, 957-960.
- BERMANEC, V., HOLTSTAM, D., STURMAN, D., CRIDDLE, A.J., BACK, M.E. & ŠČAVNIČAR, S. (1996): Nežilovite, a new member of the magnetoplumbite group, and the crystal chemistry of magnetoplumbite and hibonite.- *The Canadian Mineralogist*, 34, 1287-1297.
- FRONDEL, C. & ITO, J. (1966): Hendricksite, a new species of mica.- *American Mineralogist*, 51, 1107-1123.
- HOLLAND, T.J.B. & REDFERN, S.A.T. (1997): Unit cell refinement from powder diffraction data: the use of regression diagnostics.- *Mineralogical Magazine*, 61, 66-77.
- JANČEV, S. (1994): Ba-rich and Zn-rich silicate minerals, Sb-rich gahnite and braunite from the ore occurrences in the mixed series of the Pelagonian massif at the village of Nežilovo in Macedonia.- *Geol. Macedonica*, 8/1, 39-44.
- RIEDER, M., CAVAZZINI, G., D'YAKONOV, J., FRANK-KAMENETSKII, V.A., GOTTARDI, G., GUGGENHEIM, S., KOVAL, P.V., MUELLER, G., NEIVA, A.M.R., RADOSLOVICH, E.W., ROBERT, J.-L., SASSI, F.P., TAKEDA, H., WEISS, Z. & WONES, D.R. (1998): Nomenclature of the Micas. *The Canadian Mineralogist*, 36, 905-912.
- STOJANOV, R. (1960): Predhodni rezultati od geološkite i petrografskite istraživanja na visokometamorfne steni u Centralniot del na Pelagonskiot masiv.- *Trudovi na geološkiot zavod na Narodna Republika Makedonija*, 7, 147-180, Skopje.
- STOJANOV, R. (1968): Phengites of the Pelagonian massif.- *Trudovi na geološkiot zavod na Narodna Republika Makedonija*, 13, 59-73, Skopje.
- YODER, H.S. & EUGSTER, H.P. (1954): Phlogopite synthesis and stability range.- *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 6, 157-185.



Palaeokarst and Caliche at C/T Boundary on the Island of Brač (Dinarides, Croatia)

Fosilni krš i kalkret na granici K/T na otoku Braču (Dinaridi, Hrvatska)

Dražen KURTANJEK¹, Ljubomir BABIĆ² & Jožica ZUPANIČ¹

Key words: Palaeokarst, Caliche, Paleosol, C/T boundary, Dinarides.

Ključne riječi: fosilni krš, kalkret, paleotlo, granica K/T, Dinaridi.

Abstract

Maastrichtian limestones exposed on the Island of Brač contain features indicating prolonged subaerial exposure. Overlying are Palaeogene shallow-water limestones. The features in Maastrichtian limestones reflect karstification processes and soil-forming processes typical for carbonate substrates. These processes occurred in the upper vadose zone of a vegetated area, under a semiarid climate.

Sažetak

Mastrihtski vapnenci otoka Brača sadrže pojave koje indiciraju dužu subaersku izloženost. Krovinu im čine paleogen-ski plitkovodni vapnenci. Pojave u mastrihtskim vapnencima odražavaju karstifikacijske procese kao i procese postanka tla, tipične za karbonatnu podlogu. Ti su se procesi zbivali u gornjoj vadoznoj zoni, u vegetacijom obraslom terenu i u uvjetima poluaridne klime.

INTRODUCTION

Thick carbonate platform successions of the karst Dinarides have been generated during a long time span lasting from the Late Triassic to Early Palaeogene. Resultant carbonate deposits are characterised by a variety of sedimentary facies, which reflect depositional settings ranging from deeper platform to supratidal environments. Besides breaks in deposition recorded by subaerial alteration features capping meter-scale shallowing-upward cycles, there are several, more important breaks corresponding to longer time intervals. The most famous of these breaks occurs between Late Cretaceous and Palaeogene carbonate sediments and it has been recognised throughout the coastal Dinaridic belt. This break has been already described by old masters such as STACHE (1889) and SCHUBERT (1905). This break is easily recognised and is marked by bauxite deposits, and locally by coal. Overlying Palaeogene deposits may begin either with fresh-water, brackish-water, or marine limestones. The purpose of this work is to describe features characterising this stratigraphic

boundary based on the study of the outcrops occurring on the Island of Brač, a middle Dalmatian island (Fig. 1). Features described include several aspects of karstification and pedogenesis.

GEOLOGICAL SETTING

The features studied occur in the Sumartin Formation, which is Maastrichtian in age (GUŠIĆ & JELASKA, 1990). The Sumartin Formation is represented by limestones of the shallow platform facies. Otherwise, these limestones represent the youngest sediment package of the thick Cretaceous platform carbonates of the Dinaric chain. The limestones are organised into shallowing-upward cycles, which include wackestones, packstones, rudistid floatstones/rudstones, and mudstones, as well as fenestral limestones and stromatolitic boundstones (GUŠIĆ & JELASKA, 1990). The limestones of the Sumartin Formation have been altered during subaerial period, and the resultant features are described below. Alteration features and products are

¹ Institute of Mineralogy and Petrography, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia.

² Institute of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

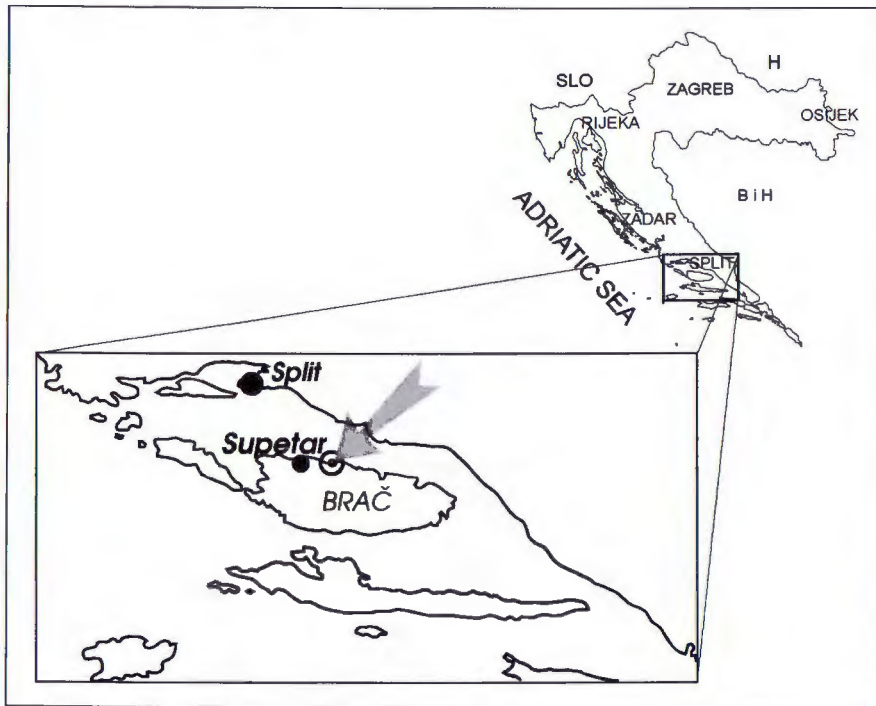


Fig. 1 Situation map. The arrow point to the outcrop location.

Sl. 1 Smještajna karta. Strelica upućuje na položaj izdanka.

overlain by Palaeogene shallow-water limestones, which are represented by foraminifera wackestones, and locally mudstones and packstones.

PALAEOKARST AND CALICHE FEATURES

Most prominent features are circular depressions in limestones of the Sumartin formation. They are up to 3 m in diameter, and up to 8 m deep. These depressions are regarded as fossil sinkholes. The infill of these depressions includes carbonate bauxitic material and paleosol material as indicated by typical pedogenic features such as *Microcodium*, rhizoliths, glaebules and alveolar-septal structures. This also indicates former vegetated area. Rhizoliths are up to 20 cm long and 2 cm in diameter and are mostly in the form of rhizocreations and root moulds. They are similar to typical pedogenic features described by many authors (e.g. KLAPPA, 1980; ESTEBAN & KLAPPA, 1983).

Locally, limestones of Sumartin Formation show cavities up to 0.2 m large, which are filled with the same sediment as the sinkholes but may also contain laminated calcite crusts lining cavity walls. The cavities must have been produced by solution and represented karstic caverns, while laminated crust are fossil speleothems.

The association of rhizoliths, glaebules, alveolar-septal structures and *Microcodium* indicate that the pedogenic processes occurred in the vadose zone and probably in the upper part of the vadose zone (ESTEBAN & KLAPPA, 1983). In addition, this type of the vadose zone alteration indicates processes which operated under a semiarid climate.

CONCLUSION

Prolonged subaerial exposure at the boundary between Cretaceous and Palaeogene limestones on the Island of Brač resulted in palaeokarst and caliche features. The character of these features reflects processes in the upper vadose zone of a vegetated area, under a semiarid climate.

REFERENCES

- ESTEBAN, M & KLAPPA, C.F. (1983): Subaerial Exposure Environment.- In: SCHOLLE P.A., BEBOUT, D.G. & MOORE, C.H. (eds.): Carbonate Depositional Environments. Mem. Am. Assoc. Petrol. Geol., 33, 1-54.
- KLAPPA, C.F. (1980): Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance.- *Sedimentology*, 27, 613-630.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Upper Cretaceous stratigraphy of the Island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform.- *Jugosl. akad. znan. umjetn. and Inst. geol. istraž.*, Zagreb, 160 p.
- SCHUBERT, R. (1905): Zur Stratigraphie des istrisch-norddalmatinischen Mitteleocaens.- *Jahrb. Geol. Reichsanst.*, 55, 154-188. Wien.
- STACHE, G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenz-Horizonte. Erste Abtheilung: Geologische Übersicht und Beschreibung der Faunen- und Floren-Reste.- *Abhandlungen geol. Reichsanstalt*, 13, 1-170, Wien.

Osvrt na epigenetske karakteristike polimetalčno-baritnih mineralizacija rudne zone Vareš

Notes on Epigenetic Characteristics of Polymetallic-Barite Mineralization in the Vareš Metallogenic Zone

Ramo KURTANOVIĆ

Ključne riječi: Vareš, srednja Bosna, polimetalčno-baritna mineralizacija, epigeneza-singeneza, trijaska i post-trijaska mineralizacija.

Key words: Vareš, Central Bosnia, Polymetallic-barite mineralization, Epigenesis vs. syngeneses, Triassic and Post-Triassic mineralization.

Sažetak

Fe-Mn mineralizacije rudne zone Vareš su trijasko starosti i imaju singenetske karakteristike. Pb-Zn-Ba mineralizacije imaju singenetske ali i veoma karakteristične epigenetske karakteristike. Ocjenjuje se da je orudnjenje Pb-Zn-Ba posttrijasko starosti, čak hipotetično vezano i sa tercijarnim magmatizmom, kao bočni dovodni pravac rudnih mineralizacija.

Abstract

Fe-Mn mineralization of the Vareš metallogenic zone of Triassic age has clear syngenetic characteristics. Pb-Zn-Ba mineralization, however, has syngenetic as well as epigenetic characteristics. The paper suggests Post-Triassic time of formation and even hypothetical genetical connection with Tertiary magmatism, introducing ore forming matter sideways into the site of ore deposit formation.

1. UVOD

Rudna zona Vareša nalazi se u srednjoj Bosni. Zona se prostire od sela Gornja Borovica na sjeverozapadu, do sela Pržići i Brgule jugoistočno od grada Vareša. Poznata je po veoma raznovrsnim mineralnim asocijacijama crnih metala (željeza i mangana), kao i polimetalnim mineralizacijama (olovo, cink, živa, antimon) i nemetalnim sirovinama (barit i kvarc).

Relativno mali geografski prostor koji zauzima rudna zona Vareša sadrži više ciklusa rudne mineralizacije. U genetskom smislu najmanje je sporna mineralizacija željeza, dok se kompleksna polimetalčno-baritna mineralizacija tek istražuje. Geološki položaj željezne mineralizacije je konkordantan sa okolnim stijenskim masama, dok polimetalčno-baritna mineralizacija samo dijelom ima konkordantno zalijeganje u prostoru sa okolnim stijenama. Znatno dio utvrđene polimetalno-baritne mineralizacije ima epigenetski položaj u okolnim stijenskim masama, koje nisu bile predmet posebnog izučavanja. Takva istraživanja su samo fragmentarno naznačena u radovima RAMOVIĆA (1979) i VELJKOVIĆA (1973).

2. DISKUSIJA

Prisustvo raznovrsnih rudnih mineralizacija u rudnoj zoni Vareša privlačilo je pažnju brojnih istraživača. Istraživanja su vršena na željeznim mineralizacijama, ali i na polimetalčno-baritnim mineralizacijama.

Višegodišnje rudarenje željeznih ruda rezultiralo je upoznavanjem oblika i genetskih karakteristika ležišta. Utvrđeno je da se radi o singenetskim ležištima koja su u genetskoj i prostornoj vezi sa trijaskim magmatizmom.

Polimetalčno-baritna ležišta nisu u direktnoj genetskoj vezi sa željeznim mineralizacijama. Utvrđeno je da polimetalčno-baritne mineralizacije imaju najčešće epigenetske karakteristike rudnih tijela. Pored toga, sastav željeznih mineralizacija, po sastavu glavnih i pratećih rudnih i nerudnih minerala, kao i pratećih elemenata koji učestvuju u sastavu rudnih mineralizacija se dijametralno razlikuje od polimetalčno-baritnih mineralizacija. To ukazuje da matični magmatski kompleksi iz kojih su nastali rudni rastvori vjerojatno nisu bili isti za željezne mineralizacije i polimetalčno-baritne mineralizacije. Matični magmatski kompleks iz kojeg su nas-

Mineral	Učešće (%)	Veličina zrna (mm)
Galenit	3,0	0,001-1,0; različiti zrnasti agregati
Sfalerit	1,7	0,001-0,5; različiti zrnasti agregati
Pirit /markasit/	8,0	0,001-0,5; različiti zrnasti agregati
Hidroksidi željeza	5,8	deseti dijelovi mm; izduženi agregati
Halkopirit	0,09	0,02-0,02; izduženi tanki agregati
Arsenopirit	identifikovan	0,01-0,02; izduženi tanki agregati
Pirhotin	identifikovan	0,05-0,1; izduženi tanki agregati
Hidroksid Mn	identifikovan	deseti dijelovi mm; izduž. agregati
Anglezit	identifikovan	0,01-0,03; tanka pojedinačna zrna
Plumbojarozit	0,3	0,01-0,1; tankozrnasti agregati
Ceruzit	0,09	0,03-0,06; tankozrnasti agregati
Barit	0,11	0,02-0,06; tanka pojedinačna zrna
Karbonati /siderit/	66,0	>1,0; raznovrsni po veličini agregati
Kalcit	1,6	0,05-0,1;
Hidroksidi Fe	3,7	deseti dijelovi mm; raznovrsni agr.
Kvarc	5,0	deseti dijelovi mm; tankozrnasti agr.

Ostali identifikovani minerali: hlorit, kaolinit, turmalin, serpentin i dr.

Tablica 1 Pregled utvrđenih minerala.

Table 1 Determined minerals in an ore sample.

tali rudni rastvori za željezne mineralizacije je bazični trijaski magmatizam. Sastav matičnog magmatskog kompleksa iz kojeg su nastali rudni rastvori polimetalično-baritnih mineralizacija mogao je biti znatno kiselijeg sastava od matičnog kompleksa iz kojeg su nastale željezne mineralizacije.

Vrijeme nastanka matičnog magmatskog kompleksa iz kojeg su mogli nastati rudni rastvori polimetalično-baritne mineralizacije, neosporno je mlade od matičnog kompleksa, za koji se vežu željezne mineralizacije, što bi značilo post-trijaske starosti. Morfološki oblici rudnih tijela posljedica su međusobnih odnosa litoloških članova i strukturnih karakteristika geološkog prostora u kojem je došlo do izdvajanja rudnih mineralizacija. Osnovne prostorne karakteristike ležišta pokazuju da polimetalično-baritne mineralizacije imaju u osnovi epigenetske karakteristike, što znači da su rudna tijela stvarana poslije konsolidacije okolnih stijenskih masa. Epigenetske karakteristike prostornog zalijeganja rudnih tijela polimetaličnih mineralizacija su još jedan dokaz da su vremenski i prostorno nastale u drugim uvjetima u odnosu na željezne trijasko mineralizacije. Po pravilu radi se o post-trijaskim (mladim) mineralizacijama.

Mineraloškim, hemijskim, spektrohemijskim i drugim ispitivanjima dokazan je elementarni sastav rudnih mineralizacija kao osnovni sastav rudnih mineralizacija.

Utvrđeno je da se radi o polimetalično-baritnim mineralizacijama gdje prevladavaju minerali barit, galenit, sfalerit i pirit, a prateći minerali su antimonit, halkopirit, cinabarit i drugi (tabela 1).

Polimetalično-baritne mineralizacije izdvojene su u različitim litološkim članovima, od kojih su česti na kontaktu između krečnjaka u podini i alevrolita u krovini. Takva izdvajanja su karakteristična u ležištima Rupice i Veovača. Kada su izdvajanja mineralizacija izvrše-

na u kontaktnim dijelovima onda se radi o relativno značajnim ležištima. Rudno deponirajuća sredina je različita, ali neosporno je da je krečnjak najčešća sredina izdvajanja čisto sulfidnih mineralizacija. Radi se o veoma tankim žičnim rudnim tijelima, kakva se sreću na lokalitetima kao što su: Ceo, Veliki do, Selište i druga. Slične mineralizacije sreću se i u krečnjacima Veovače i Rupica. Izdvojene mineralizacije u alevrolitima ili još češće u škriljcima donjeg trijasa su samo mineraloškog značaja. Karakteristične mineralizacije ovakvog načina pojavljivanja tipične su za ležište Orti.

Nastanak polimetalično-baritnih mineralizacija rezultat je složenih fizičko-hemijskih procesa koji su se dešavali u Zemljinoj kori, pa i dubljim nivoima Zemlje. Sam proces nastanka ležišta mineralnih sirovina općenito se može objasniti preko generalnog modela formiranja ležišta. Proces nastanka ležišta mineralnih sirovina moguće je objasniti kroz uslovno podijeljenih više faza, od čega su najznačajnije: izvor rudnih elemenata, mehanizam koncentracija i njihov prijenos do mjesta izdvajanja u čvrstoj fazi, kao i nivoi deponiranja ležišta.

Na magmatogeno porijeklo rudnih elemenata, pored teoretskih postavki upućuju i rezultati hemijskih, spektrohemijskih i mineraloških ispitivanja iz rudnih i stijenskih uzoraka. Dobijeni rezultati dovedeni u komparaciju sa teoretskim postavkama mogućeg nastanka rudnih rastvora sličnog sastava u svjetskim ležištima, nesumnjivo upućuju na zaključak da izvor rudnih elemenata (metala i nemetala) u najvećem obliku za ležišta polimetalično-baritne mineralizacije Vareške rudne zone potiče iz endogenih rudnih rastvora.

Koncentracije cinka, olova, barija, antimona, žive i drugih elemenata identifikovani u polimetalično-baritnim mineralizacijama Vareške rudne zone, posljedica su najvećim dijelom diferencijacije jedne kisele magmatske intruzije, čije je utiskivanje izvršeno u post-tri-

jaskim periodu. Koje je to vrijeme, teško je decidirano odgovoriti, mada po mišljenju autora, to može biti čak i tercijski magmatizam.

Zašto tercijski magmatizam? Zato što su utvrđene određene alteracije koje mogu upućivati da su posljedica tercijskog magmatizma (propilitizacija u Borovica rijeci i u Droškovcu), ali i relativno mala udaljenost Srebreničke metalogenetske zone (u odnosu na Varešku rudnu zonu), gdje su nesumnjivo utvrđeni produkti tercijskog magmatizma. Strukturna heterogenost geološkog prostora nesumnjivo pokazuje da u jednom momentu utiskivanje kiselog magmatizma može biti zajednička veza Srebreničkog i Vareškog geološkog prostora. Prijenos rudnih i nerudnih elemenata od mjesta koncentracija do prostora gdje je izvršena kristalizacija rudnih rastvora izvršila se u vidu hidrotermalnih fluida u smjeru opadajućeg pritiska prema površini Zemljine kore. Izdvajanje mineralizacija je izvršeno u jednom relativno kratkom vremenskom intervalu, bez dosad utvrđenih posebnih zonalnih rasporeda rudnih mineralizacija.

Ocjenu se da je istraženost rudne zone Vareš relativno niska - detaljno je istraživano samo ležište Veovača, a djelimično i Rupice. U svim ostalim rudnim lokalitetima izveden je mali obim istražnih radova, te se njihova istraženost procjenjuje kao veoma niska, odnosno tek naznačena. Općom procjenom o dubini zalijeganja ležišta može se govoriti o subvulkanskom nivou izdvajanja rudnih mineralizacija.

3. LITERATURA

- RAMOVIĆ, M. (1979): Cink, olovo i srebro, Ležišta obojenih metala.- U: Mineralne sirovine BiH, Geoinženjering, 26-36, Sarajevo.
- VELJKOVIĆ, D. (1973): Prilog poznavanja ležišta olovo-cinkanih ruda u zoni trijaskih sedimenata Borovica-Vareš-Veovača-Selište-Brgule.- Geološki glasnik, 17, 269-291, Sarajevo.





Decomposition of Sedimentary Organic Matter in the Recent Sediment of Makirina Bay

Sonja LOJEN¹, Nives OGRINC¹, Tadej DOLENEC¹, Goran MIHELČIĆ² & Marko BRANICA²

Key words: Peloid mud, Sedimentary organic matter, Decomposition, Benthic flux, Carbon, Stable isotope.

Abstract

Fluxes of dissolved nutrients in the peloid mud of Makirina Bay (Croatia) were estimated in in-situ incubation experiments and compared to those calculated from a diagenetic model based on concentration depth profiles in the pore water extracted from a sediment core at the same sampling site. Comparison of the modelled fluxes of nutrients across the sediment/water interface and those measured using in-situ benthic chambers showed quite good agreement. However, the calculated fluxes were underestimated since some relevant processes such as bioturbation and irrigation could not be estimated quantitatively and were therefore neglected.

measurement of concentration gradients with sufficient resolution to enable reliable calculations is very difficult or even impossible in such sediments. It is then preferable to combine the calculated results with those directly measured using either flux chambers which are placed over the sediment surface in-situ, or laboratory incubation experiments.

In our study performed within a Slovenian-Croatian bilateral research project, benthic fluxes of dissolved nutrients at the sediment/water interface were measured in-situ in benthic chambers in July 1997. The results obtained were compared to those calculated from the nutrient concentration depth profiles in the pore water using a diffusion-reaction model. The calculation of nutrient fluxes across the sediment/water interface is the first step toward the estimation of internal nutrient loading and thus to the estimation of general turnover of the organic matter in the system.

1. INTRODUCTION

Along the Eastern Adriatic coast, several accumulations of low-density, fine-grained, organic-rich sediments with particular geochemical, bacteriological, and balneological properties occur, that can be classified as "peloid mud" according to the definition of the International Society of Medical Hydrology (ISMH), and have been used for therapeutic or cosmetic purposes for centuries.

A high accumulation rate, large production of organic matter, the presence of active benthic communities and thus extensive bioturbation and irrigation are typical characteristics of shallow lagoon-type sedimentary environments, interplaying in the process of the decomposition of sedimentary organic matter. Therefore, the inhomogeneous sediment is subject to strong chemical gradients across the sediment surface and repeated fluctuations between oxic and anoxic conditions. In principle, the flux of ions from the pore water and across the sediment/water interface can be calculated from the magnitude of the concentration gradients. However,

2. ENVIRONMENTAL SETTING

The Bay of Makirina represents the southernmost part of the Pirovac Bay (Fig. 1). The water depth in the investigated area is between 0.2 and 0.8 m. The salinity in the summer period varied between 40 and 41‰, and the bottom water temperature was 25°C in July 1997 when sampling took place. The carbonate bottom of the bay is covered by an up to 3 m thick layer of clayey silt, mostly covered by seagrasses and algae. Some sedimentological and mineralogical characteristics of the sediments were reported by ŠPARICA et al. (1995).

3. MATERIALS AND METHODS

Sediment cores were collected manually at site 3 with a Plexiglas tube, immediately transferred to the laboratory and cut into 2 to 4 cm thick sections in a glove bag filled with nitrogen. Redox potential (Eh) was measured immediately after coring by inserting an electrode into the core through 1-cm side openings in

¹ Department of Environmental Sciences, J. Stefan Institute, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

² Department of Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Croatia.

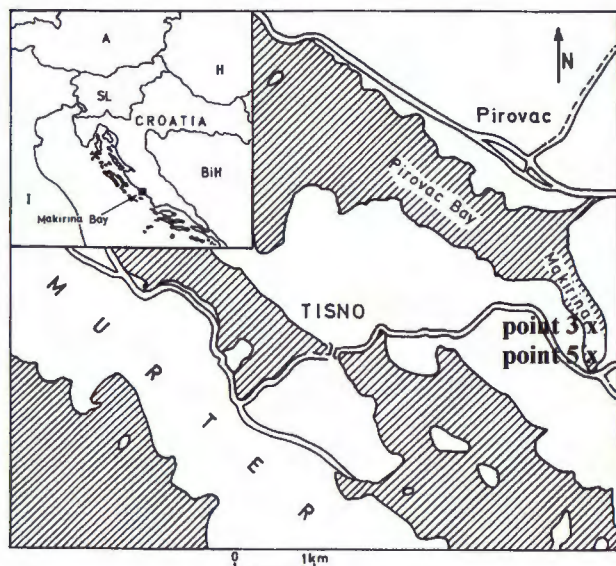


Fig. 1 Map of Makirina Bay with sampling points.

the tube covered with plastic adhesive tape. Pore water was extracted under a pressure of 0.4 MPa through a 0.45 μm membrane filter. Subsequent samples were taken for analyses of total alkalinity, metal cation and nutrient concentrations (NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} , S^{2-} , PO_4^{3-}), and stable carbon isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) of dissolved inorganic carbon (DIC). An in-situ incubation experiment was performed at sites 3 and 5 to determine the benthic fluxes of nutrients at the sediment/water interface. Plexiglas chambers with a diameter of 210 mm were inserted about 35 cm deep into the sediment. The height of the water layer in the chambers was about 15 cm, and the height of the water layer above the cover was more than 5 cm even at low tide. The water in the chamber was gently stirred manually a few times per day. Water samples were taken using plastic syringes approx. 5 cm above the bottom at regular time intervals over a period of 10 days. The volume of the sample taken was compensated through a compensation valve. pH, salinity, total alkalinity, $\delta^{13}\text{C}$ -DIC, and concentrations of main nutrients, as well as Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe_{tot} and Mn_{tot} were determined; all concentrations were corrected for the compensating dilution. For methane isotopic analysis, sediment from the depth segment 0-15 cm was incubated in the dark place in a slurry (sediment + seawater in ratio 1:1) in diffusion bottles kept in upside-down position at room temperature. Headspace CH_4 was analysed for $\delta^{13}\text{C}$.

The pH of the extracted pore water was measured with a combined pH electrode. Salinity was determined refractometrically (Atago, Japan). Total alkalinity ($\pm 2\%$) was determined by the Gran titration method. The concentration of DIC was calculated from the pH and total alkalinity as described by MILLERO (1995). Nitrate, ammonia and sulphide concentrations were determined using colorimetric procedures described by GRASSHOFF et al. (1983). Sulphate was determined

turbidimetrically (TABATABAI, 1974). The precision of all anion analyses was better than $\pm 2\%$. Concentrations of Ca^{2+} ($\pm 2\%$), Mg^{2+} ($\pm 1\%$) and Fe_{tot} ($\pm 3\%$) in pore water were measured by flame AAS (Varian AA5). The stable isotopic composition of DIC and CH_4 were determined after conversion to CO_2 by mass spectrometry (CF-IRMS, Europa 20-20). Results are expressed as relative δ values in ‰ vs. V-PDB standard. The precision of the analysis was better than $\pm 0.2\%$. Porosity (ϕ) was calculated from the weight loss of the sediment dried overnight at 110°C (JOHNSON et al., 1982).

4. RESULTS AND DISCUSSION

Pore water

pH, Eh and solute concentration vs. depth profiles in the pore water at the sampling point 3 are presented in the Fig. 2. The decreasing pH, as well as increasing total alkalinity and DIC concentration with depth are attributed to the processes accompanying the decomposition of sedimentary organic matter. Eh measurement showed that the sediment was highly reductive even in the uppermost layer, indicating that anaerobic degradation of sedimentary organic matter in the organic-rich sediment (up to 5 wt. % organic C, up to 0.7% N, $5.7 < \text{C:N} < 10$ at the sampling point 3, LOJEN et al., 1998) can take place. Irregular sulphate vs. depth profile in the pore water is attributed to the sulphate reduction and simultaneous precipitation of framboidal pyrite, which was observed just below the sediment surface (LOJEN et al., 2000). The calculated saturation indices in the pore water, as well as in the supernatant in the benthic chambers using the values of the solubility products of calcite and aragonite, show that the water was clearly supersaturated with respect to CaCO_3 . The precipitation of authigenic amorphous or crystalline carbonate phases was thermodynamically possible, and dissolution of carbonates was therefore considered as a negligible source of DIC. Bulk carbonate in lower part of the sediment column (below 20 cm) exhibits $\delta^{13}\text{C}$ values as low as -6.6% V-PDB, indicating that the carbon source for carbonate precipitation was depleted in ^{13}C , i.e. the formation of authigenic carbonates indeed took place (VREČA, 1998).

The concentration profiles of solutes in the pore water were described using a one-dimensional model adapted to porous sediments in the form of the general diagenetic equation by BERNER (1980), where advection was taken to be unimportant relative to diffusion over the entire depth interval and enhanced transport due to irrigation was not included either. If the sediment solute distribution is controlled by one-dimensional vertical transport and reaction processes, the diffusive flux of a constituent across the sediment/water interface, J_{diff} , is independent of transport (ALLER, 1982), and can be calculated from Fick's first law. Diffusive fluxes calculated from the concentration profiles

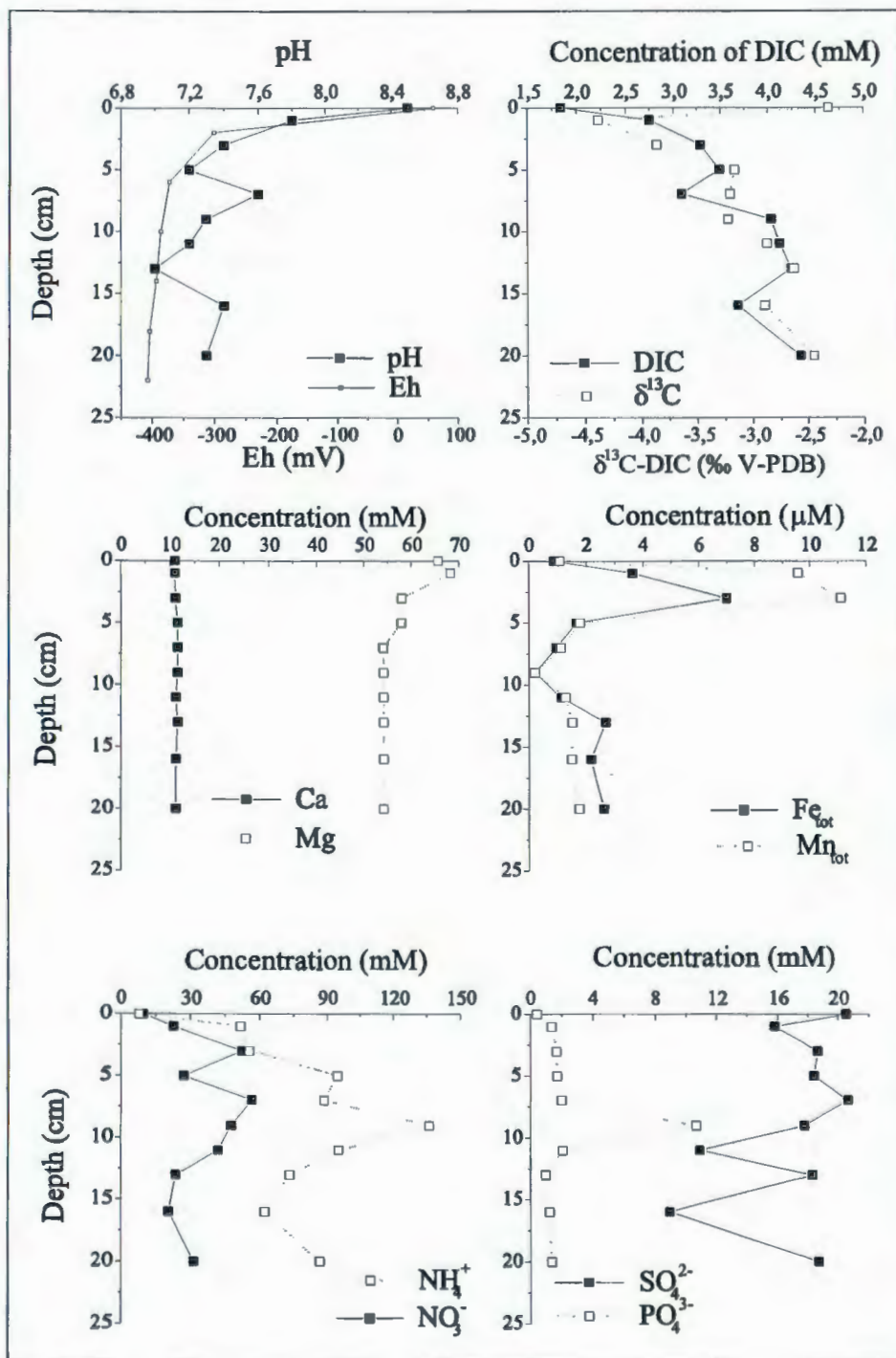


Fig. 2 pH, Eh and solute concentration vs. depth profiles in the pore water at sampling point 3.

of dissolved constituents in pore water are represented in Table 1.

Benthic fluxes

In-situ benthic fluxes were estimated from linear regressions of solute concentrations vs. time (Table 1), and compared to those calculated from depth profiles of the solute distribution in the pore water. An underestimation of calculated fluxes is regularly reported compared to measured ones (BERELSON et al., 1990; McNICHOL et al., 1991), which is attributed to the topography effect caused by an underestimation of the

actual sediment surface area when performing one-dimensional calculations of the fluxes modelled (CER-MELJ et al., 1997).

Anoxic conditions in the sediments strongly influenced the speciation and benthic fluxes of nitrogen and sulphur, as well as iron. The high benthic flux of dissolved inorganic carbon at both sampling sites is easily explained by decomposition of sedimentary organic matter followed by a decrease in $\delta^{13}\text{C}$ of released DIC which is typical of the increasing influence of organic-derived dissolved carbon (McNICHOL et al., 1991). The carbon isotopic composition of the DIC flux was

Solute	In-situ benthic flux		Calculated diffusive flux	
	site 5 0-120 h (mmol m ⁻² day ⁻¹)	site 3 0-240 h (mmol m ⁻² day ⁻¹)	site 3 (mmol m ⁻² day ⁻¹)	
Mn _{tot}	0.20	0.08	-	
Fe _{tot}	-0.16	0.04	-	
NH ₄ ⁺	-1.87	-2.03	-0.92	-0.58
NO ₃ ⁻	-0.40	-0.15	0.62	-0.28
DIC	18.50	12.67		9.81
PO ₄ ³⁻	-0.004	0.002		0.002
SO ₄ ²⁻	-33.5	-22.21		-

Table 1 In situ benthic fluxes at sampling sites 3 and 5 during a 120 and 240-hour incubation experiment, respectively; at site 3, the NH₄⁺ and NO₃⁻ fluxes were calculated separately for periods from 0-70 h and from 70-240 h. Positive fluxes represent an efflux of the solute from the sediment, whereas negative fluxes represent an influx from the supernatant into the interstitial solution.

calculated after LANSDOWN et al. (1992) and BOEHME et al. (1996) as:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{J-DIC}} = \frac{\Sigma(\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC},t_2} [\text{DIC}]_{t_2} - \delta^{13}\text{C}_{\text{DIC},t_1} [\text{DIC}]_{t_1})}{\Sigma([\text{DIC}]_{t_2} - [\text{DIC}]_{t_1})}$$

where $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC},t}$ and $(\text{DIC})_t$ are the isotopic composition and concentration of dissolved inorganic carbon at the two time periods, respectively. $\delta^{13}\text{C}_{\text{J-DIC}}$ was found to be $-6.7\text{‰} \pm 2.1\text{‰}$ at site 3 and $-8.2\text{‰} \pm 1.6\text{‰}$ at site 5. $\delta^{13}\text{C}$ of the sedimentary organic matter which is assumed to be the predominant source of DIC, has been determined to be -15‰ and -16.5‰ , respectively (VREČA, 1998) at the same sites. Carbonate dissolution as a source of DIC was neglected since the pore water is supersaturated with respect to both calcite and aragonite. Methanogenesis is therefore a potential source of ^{13}C -enriched DIC producing isotopically light methane, as concluded from the positive correlation between DIC concentration and its $\delta^{13}\text{C}$ value (LANSDOWN et al., 1992). As it was found in the incubation experiment, methane formation indeed took place in the sediment, producing gas with average $\delta^{13}\text{C}$ -53‰ , i.e. a typical value for partially oxidised marine methane (OREMLAND, 1987).

5. CONCLUSIONS

Benthic fluxes of analysed species show that the organic-rich sediment in the Makirina bay is a source of dissolved inorganic carbon producing between 9 and 19 mmol/m²day⁻¹ of DIC in the summer period, and a sink for NO₃⁻, NH₄⁺ and SO₄²⁻ due to various processes of nitrogen fixation and sulphate reduction taking place within the sediment, resulting also in peculiar NO₃⁻, NH₄⁺ and SO₄²⁻ concentration vs. depth profiles. The decomposition of sedimentary organic matter (including methanogenesis) is the predominant source of DIC flux. Authigenic carbonates (calcite, aragonite, amorphous CaCO₃), as well as framboidal pyrite precipitate from the pore water.

Pore water extracted from the sediment obviously represented an average sample that was not representa-

tive enough for a detailed interpretation of nutrient depth distributions. For instance, sulphate reduction cannot be detected at all, although it is obvious from other indications, such as pyrite precipitation and methane oxidation. Comparison of benthic and diffusive fluxes showed some differences, which indicate that bioturbation and irrigation that were neglected in the model calculation of diffusive fluxes should be taken into account. However, their estimation would be extremely difficult and unreliable because of the heterogeneity of the sediment.

6. REFERENCES

- ALLER, R.C. (1982): The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediment and overlying water.- In: McCALL, P.L. & TEVESZ, M.J.S. (eds.): Animal-sediment relations.- Plenum Press, New York, 53-102.
- BERELSON, W.M., HAMMOND, D.E., O'NEAL, D.O., XU, X.U. & ZUKIN, J. (1990): Benthic fluxes and pore water studies from sediments of the central equatorial North Pacific: Nutrient diagenesis.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 54, 3001-3012.
- BERNER, R.A. (1980): Early diagenesis - A theoretical approach.- Princeton University Press, New Jersey, 241 p.
- BOEHME, S.E., BLAIR, N.E., CHANTON, J.P. & MARTENS, C.S. (1996): A mass balance of ¹³C and ¹²C in an organic-rich methane-producing marine sediment.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60/20, 3835-3848.
- ČERMELJ, B., BERTUZZI, A. & FAGANELI, J. (1997): Modelling of pore water nutrient distribution and benthic fluxes in shallow coastal waters (Gulf of Trieste, Northern Adriatic).- *Water Air Soil Pollut.*, 99, 435-444.
- GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M. & KREMLING, K. (1983): Methods of seawater analysis.- Verlag Chemie GmbH, Weinheim.
- JOHNSON, T.C., EWANS, J.E. & EISENREICH, S.J. (1982): Total organic carbon in Lake Superior sediments: comparisons with hemipelagic and pelagic marine sediments.- *Limnol. Oceanogr.*, 27, 481-491.
- LANSDOWN, J.M., QUAY, P.D. & KING, S.L. (1992): CH₄ production via CO₂ reduction in a temperate bog: A source of ¹³C depleted CH₄.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56, 3493-3503.
- LOJEN, S., OGRINC, N., DOLENEC, T., MIHELČIĆ, G. & ŠPARIĆA, M. (1998): Diffusive fluxes of dissolved nutrients at the sediment/water interface in Makirina Bay (Central Dalmatia, Croatia).- *Mineral. Magazine*, 62A/1-3, 895-896.

- LOJEN, S., OGRINC, N., DOLENEC, T., MIHELČIĆ, G. & BRANICA, M. (2000): Benthic fluxes of nutrients at the sediment/water interface in the peloid mud of Makirina Bay (Croatia).- *Sci. Tot. Environ.*, in press.
- McNICHOL, A.P., LEE, C. & DRUFFEL, E.R.M. (1991): Carbon cycling in coastal sediments 2. An investigation of the sources of the ΣCO_2 to pore water using carbon isotopes.- In: BAKER, R.A. (ed.): *Organic Substances and Sediment in Water. Vol. 2, Processes and Analytical.* Lewis Publishers Inc., Chelsea, Michigan., 249-272.
- MILLERO, F. (1995): Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 661-677.
- OREMLAND, R.S., MILLER, L.G. & WHITICAR, M.J. (1987): Sources and flux of natural gases from Mono Lake, California.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51, 2916-2929.
- ŠPARICA, M., BELAK, M. & CRNKO, J. (1995): Recentni sedimenti uvale Makirina u Pirovačkom zaljevu (Dalmacija).- *First Croatian Geological Congress, Opatija, Proceedings*, 2, 596-600, Zagreb.
- TABATABAI, M.A. (1974): A rapid method for determination of sulfate in water samples.- *Environ. Lett.*, 7, 237-243.
- VREČA, P. (1998): Izotopske in geokemične značilnosti recentnega sedimenta iz zaliva Makirina, otok Murter (Srednji Jadran) (Isotopic characteristics of the recent sediment of Makirina Bay, Murter Island (Central Adriatic)). In Slovene.- M.Sc. Thesis, University of Ljubljana, 99 p.



Lake	Altitude (m)	Surface area (m ²)	Max. depth (m)	Watershed
Planina pri Jezeru	1,430	17,600	10.0	pasture, forest
Krn	1,383	49,600	17.6	rock, meadow
Bled	500	1,440,000	30.5	urbanised, pasture, forest

Table 1 Topographic characteristics of investigated lakes (adapted from GABERŠČIK et al., 1997).

Some characteristics of the investigated lakes are presented in Table 1.

3. MATERIALS AND METHODS

Extensive chemical analyses of the sediment and pore waters were performed for Lake Bled and Planina pri Jezeru, while only the ²¹⁰Pb-age and carbon isotopic composition of bulk sedimentary organic matter were determined in the sediment of Lake Krn.

Sediment cores were collected in the central parts of the lakes, using a gravitational corer equipped with Plexiglas tube. Samples were transported to the laboratory as soon as possible, where they were immediately processed. The cores were cut in a glove bag into 1-4 cm thick segments in a nitrogen atmosphere to prevent the contact of pore water with air. Pore water was squeezed under a pressure of 0.3-0.4 MPa through a 0.45 µm membrane filter. Pore water samples were analysed for nutrient and metal (Ca, Mg, Fe, Mn) species, and isotopic composition (δ¹³C) of dissolved inorganic carbon (DIC). The sediments were dried in an oven at 30°C and crushed with an agate mortar.

The concentration of DIC was calculated from total alkalinity - determined by the Gran titration method - and pH, as described by MILERRO (1995). Nutrients were analysed following standard colorimetric procedures (GRASHOFF et al., 1983), while metal concentrations were determined by flame or ICP AAS (Varian AA5). The isotopic composition of DIC was analysed on the CO₂ released after injection of water samples into evacuated vials with 100% H₃PO₄. Sediment samples for the isotopic analysis of sedimentary organic carbon were digested in 3N HCl overnight, washed thoroughly with distilled water and oven-dried. δ¹³C was measured after Dumas combustion of samples at 1800°C using a Europa 20-20 continuous-flow stable isotope analyser with ANCA-SL preparation module. For the determination of δ¹⁵N of the sediment, bulk powdered samples were analysed. Results are reported in per mill (‰) relative to the IAEA standard as follows:

$$\delta = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 1000 \quad [‰]$$

where R_{sample} is the stable isotopic ratio (¹³C/¹²C or ¹⁵N/¹⁴N) in the sample, and R_{standard} is the stable isotopic

ratio in the standard. International IAEA standards were used, i.e. V-PDB for carbon and air for nitrogen.

Organic carbon was determined with a Coleman C-H analyser at a combustion temperature of 650°C and total nitrogen using a Coleman N analyser at a combustion temperature of 900°C. ²¹⁰Pb was measured by γ-ray spectrometry using a HP Ge well-type detector and a Canberra 90 multichannel analysis system. Sediment age was calculated using a commercially-available computer programme (SHUKLA, 1996). Scanning electron analysis of the dried powdered sediment was performed using a JEOL JSM 5800 SEM equipped with a Link ISIS 300 EDS.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Sediment. The accumulation rates of the lake were determined to be between 2.4 mm/year in Lake Bled (ČERMELJ et al., 1996) and Planina pri Jezeru, and 4.5 mm/year in Lake Krn, via ²¹⁰Pb dating of the sediment. The range of organic C/N ratios can be used as an indicator of the source of sedimentary organic matter in the sediment. Since terrestrial vegetation tends to have C/N ratios >20, and aquatic biota have C/N <10 (HERCZEG et al., 1999), the range of C/N values in Lake Planina pri Jezeru indicates a greater amount of terrestrial organic litter than Lake Bled, where C/N values are closer to those of aquatic organic material (Fig. 1).

The isotopic composition of sedimentary organic nitrogen in Lake Planina pri Jezeru also shows values typical for terrestrial plants, while in Lake Bled much higher δ¹⁵N values were recorded; the increase in δ¹⁵N with depth in the central part of Lake Bled is attributed to the degradation of organic matter and related enrichment of the residual fraction with respect to the heavy N isotope (LOJEN et al., 1997). The isotopic composition of sedimentary organic carbon also reflects its source, as well as early diagenetic processes taking place in the sediment. The presence of bacterial methanogenic communities can shift the δ¹³C of C_{org} toward more negative values, as was reported from Lake Bled (ČERMELJ et al., 1996). It is interesting that the δ¹³C vs. age profiles in Lakes Planina pri Jezeru and Krn (Fig. 1) are exact mirror images. We suggest that time-dependent events, such as precipitation, increase the input of terrestrial organic and inorganic material in Lake Krn where very little or almost no vegetation is present in the watershed of the lake, while in Lake



Isotope Study of Recent Sediments in Some Slovene Alpine Lakes (Lakes Bled, Krn and Planina pri Jezeru)

Sonja LOJEN¹, Nives OGRINC¹, Radojko JAĆIMOVIĆ¹, Zvonka JERAN¹, Polona VREČA¹,
Tadej DOLENEC¹ & Anton BRANCELJ²

Key words: Carbon, Nitrogen, Recent sediment, Sedimentary organic matter, Lake.

Abstract

Recent sediments of three alpine lakes in Slovenia were investigated. C/N ratios and stable isotope compositions of sedimentary organic carbon and nitrogen were used to decode the sources of sedimentary organic material. Early diagenetic processes and environmental influences are recorded in the isotopic signatures of the organic fraction of the sediments. Concentrations of dissolved inorganic carbon (DIC) in the sediment pore water of Lake Planina pri Jezeru were measured, the saturation state of carbonate minerals was estimated, and the possibility of methane formation was evaluated in order to determine the possible sources of DIC in the pore water. Decomposition of sedimentary organic matter was determined to be the main source of DIC, followed by methanogenesis and seasonal carbonate dissolution. Acetate fermentation was estimated to be the predominant methanogenic pathway. Results were compared to those obtained from Lake Bled in previous studies.

1. INTRODUCTION

Lakes are excellent systems for studying the standard vertical organisation of aquatic ecosystems along the axis defined by the direction of light and gravity. The accumulation of organic-rich sediments at the lakes bottom represents a potential secondary source of nutrients, as well as a source of other elements which are released from the sediment due to the mineralisation of sedimentary organic matter, and some other early diagenetic processes. Stable isotopes of carbon and nitrogen are widely used in limnology and marine environmental science as natural tracers of sources of sedimentary organic matter, of environmental changes, as well as of the sources and fluxes of chemical species in aquatic nutrient cycles (BOSCHKER et al., 1995; BOEHME et al., 1996; ČERMELJ et al., 1996; HERCZEG et al., 1999). Natural concentrations of biogenic elements in the atmosphere and hydrosphere have been significantly changed by human activity. The response of the affected biogeochemical cycles is reflected in environ-

mental changes. Artificially induced or promoted natural eutrophication of lakes by anthropogenic pollution is only one of the processes, which can have many ecological and socio-economic effects on a local scale. In order to better understand the eutrophication process in freshwater lakes, an understanding of the cycling of elements in the sediment-water system is needed. The purpose of this research was to investigate the C- and N-biogeochemical cycles in the sediments of selected alpine lakes and to estimate the importance of particular processes in the presence of known populations of micro-organisms.

In the present study, sediments of two remote alpine lakes were analysed and compared to that of a sub-alpine lake (Lake Bled). Isotopic methods were used to decode the sources of sedimentary organic matter. Some results of the pore water study are also presented.

2. ENVIRONMENTAL SETTING

All three investigated lakes (Lake Planina pri Jezeru, Lake Krn and Lake Bled) are of glacial origin, however they are in different states of ontogenetic development (GABERŠČIK et al., 1997). Lake Krn is oligotrophic, while lakes Planina pri Jezeru and Bled are eutrophic. Two of them - Lake Planina pri Jezeru and Lake Krn - are located in Triglav National Park. Since the area is protected, direct pollution is expected to be limited, however they are easily accessible and therefore agriculture and tourism contribute greatly to the sources of anthropogenic pollution. The hinterland of all three lakes is composed predominantly of carbonate rocks, mostly limestones. The lakes are dimictic, and are more or less sheltered against wind influences, however storm events can result in enhanced mixing of water and in increased input of terrestrial material, especially into Lake Krn. Sediments can be characterised as organic-rich clayey silts, with a carbonate component ranging between approximately 50 to more than 99%, and an organic carbon content ranging between less than 2 (Lake Krn) and more than 10% (Lake Planina pri Jezeru).

¹ Department of Environmental Sciences, J. Stefan Institute, Jamova 39, SLO-1000 Ljubljana, Slovenia.

² National Institute of Biology, Večna pot 111, SLO-1000 Ljubljana, Slovenia.

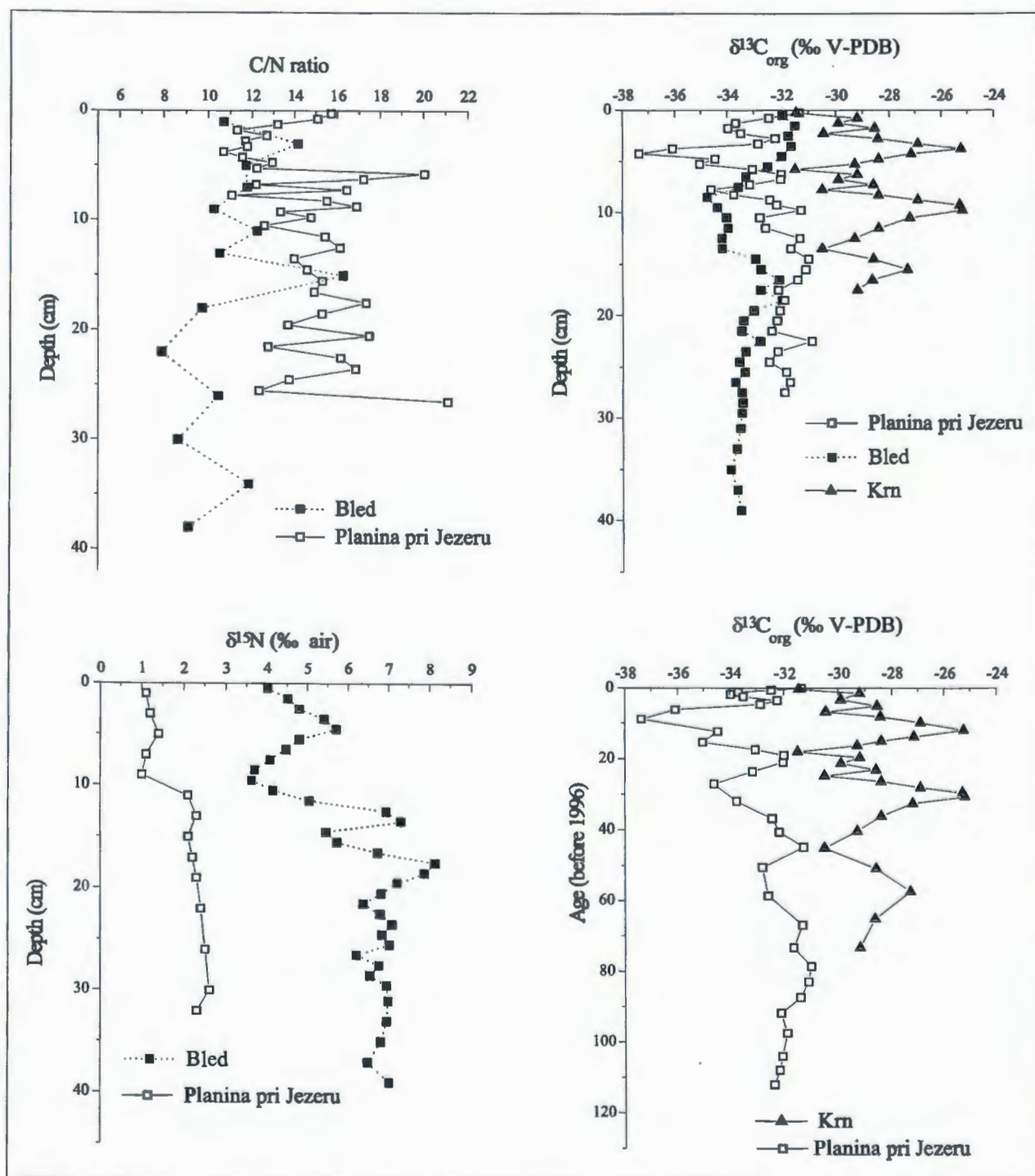


Fig. 1 Profiles of C_{org}/N ratio, $\delta^{13}C$, and $\delta^{15}N$ of sedimentary organic matter vs. depth in lake sediments, and $\delta^{13}C_{org}$ vs. age in sediments from Lake Planina pri Jezeru and Lake Krn.

Planina pri Jezeru heavy precipitation flushes dissolved carbon from the soil into the water, thus increasing the primary productivity in the lake.

Pore water. Saturation indices of carbonate minerals were calculated for the pore water of Lake Planina pri Jezeru using the WATEQP computer programme (APPELO, 1988). The pore water is undersaturated with respect to both calcite and aragonite, as well as dolomite, i.e. dissolution of carbonate minerals can take

place in the sediment column indicating that a possible source of dissolved inorganic carbon is the inorganic carbon component of the sediment. However, the solution is close to the chemical equilibrium and is very likely to shift toward saturation with changing physico-chemical conditions, therefore it is assumed that the contribution of inorganic DIC to the total carbon balance in the sediment can be quantitatively important, but not prevailing. A similar situation was observed in

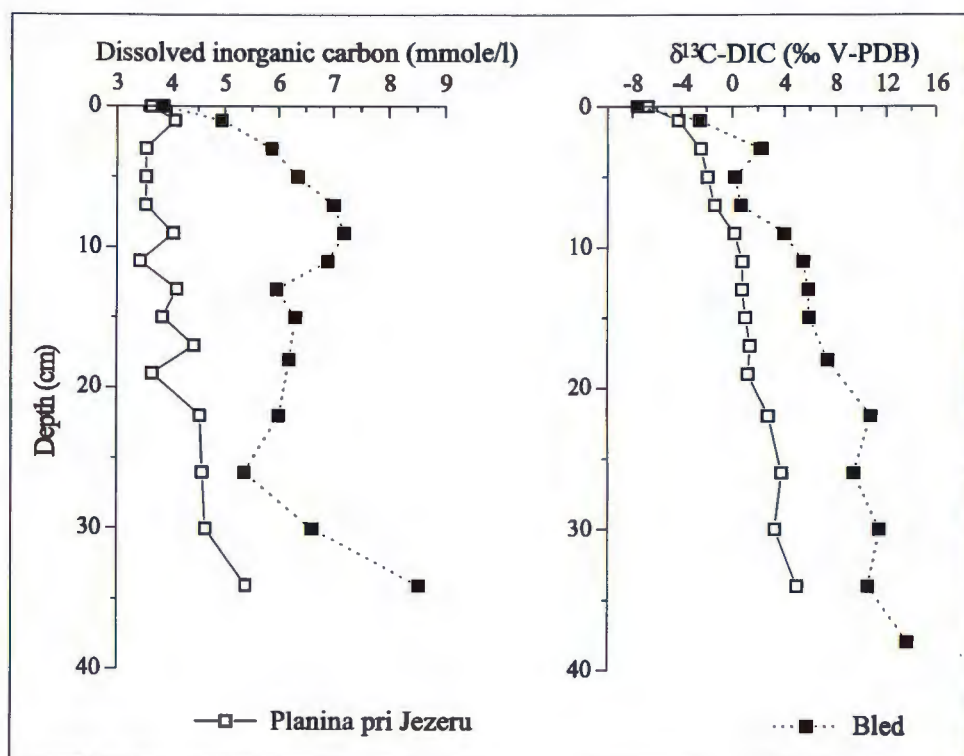


Fig. 2 Concentration and stable isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) of dissolved inorganic carbon (DIC) in pore water vs. depth in the sediments of lakes Bled and Planina pri Jezeru.

Lake Bled, where the saturation state of carbonate minerals in the pore water changes seasonally (LOJEN et al., 1997, 1999; OGRINC et al., 1997).

Relatively low $\delta^{13}\text{C}$ values of DIC at the sediment/water interface indicate that the decomposition of sedimentary organic matter is the prevailing source of DIC.

There are some indications that methanogenesis occurs in the sediments of both lakes Bled and Planina pri Jezeru. SEM/EDS investigation of the sediments showed the presence of authigenic framboidal pyrite accompanied by vivianite (Fe-phosphate), which are a typical mineral paragenesis for methanogenic environments (APPELO & POSTMA, 1994). Increase of DIC concentrations with depth, accompanied by a shift of $\delta^{13}\text{C}$ toward more positive values (Fig. 2), can also be attributed to methane formation in the sediment. In addition, the isotopic composition of DIC flux at the sediment/water interface in the central parts of both lakes, calculated after SAYLES & CURRY (1988) as the slope of the line $[\text{DIC}]/[\text{DIC}_{(z=0)}]$ vs. $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} \times [\text{DIC}]/[\text{DIC}_{(z=0)}]$, shows a high enrichment in ^{13}C , thus indicating methanogenesis (+17.7 to +26.6‰ in Lake Planina pri Jezeru, +14.1 in Lake Bled). The prevailing methane formation pathway was estimated mathematically, following the procedure proposed by LAZERTE (1981), where fluxes of sedimentary organic carbon $\text{C}_{\text{org}} \rightarrow \text{DIC}$, $\text{C}_{\text{org}} \rightarrow \text{CH}_4$ and acetate $\rightarrow (\text{DIC} + \text{CH}_4)$ are determined by fitting the curves to the $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ vs. [DIC] profile. The parameters needed are $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ at depths 0 and ∞ , $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_{\text{org}}}$, and the isotope fractionation factor bet-

ween C_{org} and CH_4 . $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ of lacustrine methane was estimated via an incubation experiment to be between -76‰ and -85‰ (LOJEN et al., 1999). It was found that about 65% of the methane is produced via acetate fermentation and 35% via direct CO_2 reduction by H_2 in both lakes.

5. CONCLUSIONS

C/N ratios and isotopic compositions of sedimentary organic carbon and nitrogen reflect the origin and early diagenetic changes of the organic fraction of lake sediments, as well as other environmental influences. In Lake Planina pri Jezeru, the organic detritus is mainly terrigenous in origin, while in the sediment of Lake Bled, aquatic organic material prevails. Variation in $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ with depth is explained by early diagenetic processes, such as remineralisation and bacterial methanogenesis. Possible methane formation is indicated by the presence of a typical reducing-environment mineral assemblage (framboidal pyrite + vivianite), enrichment of ^{13}C in DIC flux at the sediment/water interface respect to the supernatant, and of enrichment of ^{13}C in DIC in the pore water with depth, as well as with concentration. A mathematical approach was used to estimate the predominant methanogenic pathway. In the central parts of both Lake Bled and Lake Planina pri Jezeru, acetate fermentation prevails over direct CO_2/H_2 reduction.

6. REFERENCES

- APPELO, C.A.J. (1988): WATEQP - A computer program for equilibrium calculations of water analyses.- Instituut vor Aardwetenschappen, Vrije Universiteit Amsterdam.
- APPELO, C.A.J. & POSTMA, D. (1994): Geochemistry, groundwater and pollution.- A. A. Balkema, Rotterdam, 536 p.
- BOEHME, S.E., BLAIR, N.E., CHANTON, J.P. & MARTENS, C.S. (1996): A mass balance of ^{13}C and ^{12}C in an organic-rich methane producing marine sediment.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60 (20), 3835-3848.
- BOSCHKER, H.T.S., DEKKERS, R.P. & CAPPENBERG, T.E. (1995): Sources of organic carbon in the littoral of Lake Gooimeer as indicated by stable carbon isotope and carbohydrate compositions.- *Biogeochemistry*, 29, 89-105.
- ČERMELJ, B., FAGANELI, J., OGORELEC, B., DOLENEC, T. & PEZDIČ, J. (1996): The origin and recycling of sedimented biogenic debris in a subalpine eutrophic lake (Lake Bled, Slovenia).- *Biogeochemistry*, 32, 69-91.
- GABERŠČIK, A., URBANC-BERČIČ, O. BRANCELJ, A. & ŠIŠKO, M. (1997): Mountain lakes - remote but endangered.- In: Proceedings of the First International Conference on Environmental Restoration, July 6-9, 1997, Ljubljana, 452-456.
- GRASSHOFF, K., EHRHARDT, M. & KREMLING, K. (1983): Methods of seawater analysis.- Verlag Chemie GmbH, Weinheim, 1983.
- HERCZEG, A.L., DIGHTON, J.C. & WASSON, R.J. (1999): The history of nutrient variations in aquatic systems: interferences from C/N, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ in sediment cores.- In: Book of extended synopses, International Symposium on Isotope Techniques in Water Resources Development and Management, Vienna, Austria, 10-14 May 1999, IAEA-SM-361, 30-31.
- LAZERTE, B. (1981): The relationship between total dissolved carbon dioxide and its stable isotope composition in aquatic sediments.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 647-656.
- LOJEN, S., OGRINC, N. & DOLENEC, T. (1997): Carbon and nitrogen isotope fractionation in the sediment of Lake Bled (Slovenia).- *Water Air Soil Pollut.*, 99, 315-323.
- LOJEN, S., OGRINC, N. & DOLENEC, T. (1999): Decomposition of sedimentary organic matter and methane formation in the recent sediment of Lake Bled (Slovenia).- *Chem. Geol.* 159, 223-240.
- MILLERO, F. (1995): Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 59, 661-677.
- OGRINC, N., LOJEN, S. & FAGANELI, J. (1997): The sources of dissolved inorganic carbon in pore waters of lacustrine sediment.- *Water Air Soil Pollut.*, 99, 333-341.
- SAYLES, F.L. & CURRY, W.B. (1988): $\delta^{13}\text{C}$, TCO_2 , and the metabolism of organic carbon in deep sea sediments.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 52, 2963-2978.
- SHUKLA, B.S. (1996): Sedimentation rate through environmental radioactivity: Part - I, ^{210}Pb dating of Sediments.- (Software), Environmental Research Publications Inc., Hamilton, Ontario, Canada.





Mid Pleistocene History of the Benguela Current, SE Atlantic (ODP Site 1085)

Neven LONČARIĆ

Key words: SE Atlantic, Benguela Current, Mid Pleistocene Revolution (MPR), Planktic foraminifera, Upwelling, Agulhas eddies.

Abstract

Samples from the upper 70 m of the ODP hole 1085 and numerous SE Atlantic water column samples have been analyzed on planktic foraminiferal assemblages. Gained record provides insight into the Mid Pleistocene Revolution effect on the paleoceanographic setting of the Cape Basin, path and strength of the Benguela Current during the mid Pleistocene, zonal migration of upwelling cells and changes in addition of heat and salt into the South Atlantic.

During the Ocean Drilling Program (ODP) leg 175 expedition thirteen sites have been drilled with the main objective to reconstruct the late Neogene history of productivity and associated upwelling and circulation dynamics of the Benguela Current system. Benguela Current belongs to the eastern flank of the South Atlantic Subtropical Gyre and flows northwards along the African coast between ca. 20° and 35°S. This system is nowadays one of the greatest upwelling regions in the world. The maximum upwelling intensity occurs at 26-27°S (Lüderitz Boundary) with unusually low sea surface temperatures persisting throughout the year. The upwelling area is fed from the thermocline by South Atlantic Central Water (SACW) which originates at the Subtropical Convergence Zone by mixing and sinking of subtropical and subantarctic surface waters. Filaments of cold, nutrient-rich upwelled water from the coastal upwelling area extend as much as ca. 600 km offshore. Differences between upwelling, intermediate and open-ocean oligotrophic areas are evident from the modern-day planktic foraminiferal distribution (GIRAUDEAU, 1993) and likewise from the satellite imaging (LUTJEHARMS & MEEUWIS, 1987).

The area southward from the Lüderitz Boundary (Mid- and Southern Cape Basin) is characterized by highly seasonal upwelling regime with the summer maximum. Large scale eddies of warm Agulhas Current

water are occasionally (5-6 times per year) intruding into the Cape Basin from the Indian Ocean. This addition of warm and salty water into the region where Benguela Current originates is an important element of the global thermohaline circulation and the major controlling factor of the South Atlantic heat and salt budget.

Site 1085 is retrieved in the mid Cape Basin (29°22' S; 13°59'E; 1,713 m) to the side of the mouth of the Orange River. Nowadays is this site characterized by the surface circulation dominated by the oceanic flank of the Benguela Current and it is situated off the strongest coastal upwelling zone. The two cored holes are 600 m long reaching middle Miocene. Deposition at this location is dominated by pelagic settling of biogenic debris. Upper 100 m of sediments covering last 2.2 Ma consist mainly of nannofossil-foraminifer ooze with the carbonate content of about 75%. Forams decrease in abundance downcore. Mean sedimentation rate estimated from the calcareous microfossil-based stratigraphy is close to 4 cm/ky (for the last 1.5 Ma it ranges between 2 and 13 cm/ky) (GIRAUDEAU et al., 1998).

The period between 1.0 and 0.5 Ma marks transition from the dominance of the 41 k.y. cycle in the Earth's climatic record to the dominance of the 100 k.y. cycle. This so-called "Mid Pleistocene Revolution (MPR)" spanning over ca. 0.3 m.y. is well documented in the global foraminiferal stable isotope records. Long-term trends in these records at site 1085 reveal pronounced hydrographic changes in the South Atlantic circulation contemporaneous with the onset of the 100 ky climatic cycle (high glacial/interglacial variations; increase of upper North Atlantic Deep Water (NADW) contribution; indication for enhanced upwelling intensity, ...) (VIDAL et al., 1998).

This study aims to reveal how the MPR effected the paleoceanographic setting of the Cape Basin and the history of associated Benguela upwelling system. Stratigraphy of the core is based on the $\delta^{18}\text{O}$ record (VIDAL, unpublished data) and calcareous microfossil assemblages and paleomagnetism (GIRAUDEAU et al., 1998). Preliminary study of sections from the upper 70 m of this ODP hole confirms that the planktic foraminiferal assemblages preserved at this site provide an

excellent tool for deciphering history of the ocean surface circulation. Two dissolution indexes (B-P ratio and test fragments - whole tests ratio) point to the good preservation and insignificant imprint of dissolution effect over the assemblage composition. The examined assemblages have relatively high diversity with 15 species reaching relative abundance higher than 2 %. Principal component analysis of foraminiferal counts shows high agreement between clustered species and ecological parameters. Species characteristic for warm surface water, cold upwelling and intermediate water are grouped together with high correlation within each of the groups. Further study includes comparison of our fossil record with the foraminiferal assemblages from the sediment surface. Composition of planktic foraminiferal assemblages is used for tracing of the Mid Pleistocene zonal shifting of the upwelling cell and determination of the path and strength of the Benguela Current between 0.5 and 1.0 My. In addition, peaks in the abundance of "warm water species" characteristic for the Indian Ocean are used for identification of the Agulhas water input to the Atlantic. Next to all, the newest results from the "Pelagia Around Africa 2000" expedition are used for the evaluation of foraminiferal proxies. During this cruise many water column samples off SW Africa (plankton nets from upper 800 m, pump samples of the surface water and sediment traps moored above the sea bottom) from oligotrophic areas as well as upwelling zones and Agulhas eddies are sampled, analyzed on planktic foraminiferal assemblages and closely bound to the measured physical and chemical properties of the ambient water. On this way, the recent foraminiferal assemblages can be appraised as a proxy for the surface water paleoenvironment. This is for the first time at this part of the S. Atlantic that such extensive study of the water column samples has been performed and that the original signal has been coupled to the signal preserved in the underlying sediments.

Using the gained foraminiferal records tied to the oxygen isotope stratigraphy and combined with the Modern Analog Technique (MAT) (PFLAUMANN et al., 1996) sea surface temperature (SST) estimation, this study provides insight into the Mid Pleistocene history of the Benguela upwelling system and changes in addition of warm water from the Indian Ocean to the South Atlantic around the Cape of Good Hope.

REFERENCES

- GIRAUDEAU, J. (1993): Planktonic foraminiferal assemblages in surface sediments from the southwest African continental margin.- *Mar. Geol.*, 110, 47-62.
- GIRAUDEAU, J., CHRISTENSEN, B.A., HERMELIN, O., LANGE, C.B., MOTOYAMA, I. & SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY (1998) Biostratigraphic age models and sedimentation rates along the Southwest African Margin.- In: WEFER, G., BERGER, W.H., RICHTER, C. et al. (eds.): *Proc. ODP, Initial Reports*, 175. College station, TX Ocean Drilling Program, 543-546.
- LUTJEHARMS, J.R.E. & MEEUWIS, J.M., (1987) The extent and variability of SE Atlantic upwelling.- *S. Afr. J. Mar. Sci.*, 5, 51-62.
- PFLAUMANN, U., DUPRAT, J., PUJOL, C. & LABEYRIE, L.D. (1996): SIMMAX: A modern analog technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera in deep-sea sediments.- *Paleoceanography*, 11/1, 15-35.
- VIDAL, L., SCHNEIDER, R. & WEFER, G. (1998): ODP leg 175: Paleoceanography in the mid Cape Basin during the last 1.5Ma.- 6th International Conference on Paleoceanography, Lisbon 24-28 August 1998, 226.



Late Quaternary Climate, Circulation and Sediment Source Changes in the Bay of Biscay, NE Atlantic

Neven LONČARIĆ^{1,3}, Gérard A. AUFFRET², Fátima ABRANTES³, Jaco H. BAAS⁴,
Luis GASPAR³ & Claude PUJOL⁵

Key words: Late Quaternary, Bay of Biscay, Foraminiferal fluxes, Sea surface temperature, Ice-rafted debris.

Abstract

Foraminiferal assemblages, oxygen isotopes, CaCO₃ and dolomite content and size and mineralogy of lithic grains have been studied along a 9 m long piston core retrieved from the Meriadzek Terrace, Bay of Biscay. Gained high-resolution record covering the last 26,000 years provided insight into climate, productivity and sediment source changes during the last glacial period down to late isotopic stage 3.

1. INTRODUCTION

One of the major objectives of the European North Atlantic Margin (ENAM) project was to study the evolution of the sedimentary fluxes along the eastern North Atlantic continental margin from Norway to Portugal. Much work has been done at both ends of this north-south transect but the central part, between 43°N and 60°N has been studied only to a limited extent. ESS-CAMP core 02 taken on the Meriadzek Terrace (47° 27.5'N; 8°32.7'W; 2,192 m depth) provides therefore an important link between the northern and southern pole of the ENAM studies.

The Meriadzek Terrace constitutes an outstanding topographic feature at the southern limit of the Celtic margin. Nowadays it is bathed by North Atlantic Deep Water (NADW) and characterized by relatively undisturbed and continuous hemipelagic sedimentation. The southern branch of the northeast flowing Gulf Stream dominates the local surface circulation.

The CLIMAP PROJECT MEMBERS (1976) and RUDDIMAN & McINTYRE (1977) located the polar

front at the time of the Last Glacial Maximum ca. 2-5° south of the Meriadzek Terrace. Many sites of ice-rafted debris (IRD) have been recognized during the last two decades in the North Atlantic. This ocean-wide IRD input occurred at specific short time intervals fed by the huge glacier instability of Laurentide, Greenland and presumably Fenno-Scandian ice sheets. The maximum deposition occurred at the southern limit of the cold surface waters between 45° and 50°N (Ruddiman's IRD belt) but IRD have also been reported as far south as 37°N (ZAHN et al., 1997). These layers of ice-rafted material, designated by Broecker et al. as Heinrich layers (HL), are characterized by high accumulation rates, dominance of the left coiling form of planktic foraminiferal species *Neogloboquadrina pachyderma* (EHRENBERG), low flux of planktic foraminifera and low sea surface salinity (BOND et al., 1992). Although within the latitude of Ruddiman's IRD belt, little has been published about IRD distribution in the Bay of Biscay.

2. RESULTS AND DISCUSSION

2.1. SEA SURFACE TEMPERATURE (SST)

For this study we reconstructed SST from planktic foraminiferal assemblages, $\delta^{18}\text{O}$ record measured on planktic foraminiferal tests and the SIMMAX Modern Analog Technique (MAT) (PFLAUMANN et al., 1996). The relative abundance of *N. pachyderma* (s) defines very distinctive intervals with either a very low or very high number of specimens. Since this planktic foraminifer belongs to the cold water species and prefers SST between 0 and 5 °C (BÉ & TOLDERLUND, 1971) the intervals where it is dominant can be interpreted as periods of very low SST. Low surface water temperature might be due to severe cold climate and/or

¹Netherlands Institute for Sea Research (NIOZ), P.O. Box 59, 1790 AB Den Burg - Texel, The Netherlands; e-mail: nevenl@nioz.nl.

²Département DRO/GM, IFREMER, BP 70, 29280 Plouzané cedex, France.

³IGM - DGM, Estrada da Portela, Zambujal, Apartado 7586, 2720 Alfragide, Portugal.

⁴GEOMAR, Research Center for Marine Geosciences, Wischhofstr. 1-3, 24148 Kiel, Germany.

⁵Université de Bordeaux I - Dep. de Géologie et Océanographie, URA 197, 33405 Talence cedex, France.

to significant melt water input. To distinguish these two signals we compared composition of planktic foraminiferal communities to the $\delta^{18}\text{O}$ record. Negative $\delta^{18}\text{O}$ spikes at periods of low SST could mean salinity drops due to large input of $\delta^{18}\text{O}$ depleted melt water. In this core, with the exception of two small negative $\delta^{18}\text{O}$ peaks during the upper isotopic stage 2, all the intervals with high abundance of *N. pachyderma* (s) correspond to heavier $\delta^{18}\text{O}$ values. Even though meltwater input might have occurred, producing a negative shift on the $\delta^{18}\text{O}$ record, its magnitude is likely to have been smaller than the positive shift caused by the SST decrease.

The temperature estimation revealed three distinctive periods during isotopic stage 2. Late stage 2 (15.3-13.4 ka) was the coldest period in the last 26,000 years, with a mean winter temperature of 0.3 °C. The middle part is characterized by strong and abrupt oscillations and higher SST, while early stage 2 is characterized by two remarkable cold events. Comparing our data with the SST record from the two SU cores (LABEYRIE et al., 1995) we reconstructed the position of the polar front for the stage 2. The CLIMAP polar front position, south of the Meriadzek Terrace must in fact have been situated in the vicinity of the ESSCAMP 02 core during early and middle stage 2 (23.7-15.3 ka). The similar temperature observed at the ESSCAMP 02 and core SU 90-39 (situated far behind the polar front) may be indicative for a southward shifting during late stage 2 (15.3-13.4ka). A northward retreat of the polar front from the Meriadzek Terrace is likely to be synchronous with the onset of an increasing SST trend after 13.4ka.

2.2. PRODUCTIVITY

Foraminiferal accumulation rates are highest in the Holocene, during the first part of Terminations Ia and Ib and at the end of stage 3. The minimum in foraminiferal flux is synchronous to the period of lowest SST (ca. 14 ka). Inferred from the total plankton flux, primary productivity attained its maximum at the time of suggested northward retreat of the polar front.

2.3. ICE-RAFTED DEBRIS

Periods of lowest SST in the ESSCAMP core are always accompanied by a simultaneous increase in IRD. Ages of those IRD peaks agree well with till now reported ages for Heinrich layers at this part of the northeast Atlantic. Still, the origin of this material is uncertain. IRD found within the Ruddiman's IRD belt and on the Portuguese margin are characterized by the presence of detrital carbonate and increased percentage of dolomite (BOND et al., 1992; BAAS et al., 1997). In our core detrital carbonate is absent and dolomite shows a monotonous record with no relation to IRD. This excludes the Laurentide ice sheet as a possible source for this material, but the high number of red, hematite-stained quartz may point to input from an European source (with continental Red Beds).

2.4. NORTH ATLANTIC DEEP WATER (NADW) FORMATION

NADW is formed by sinking of dense, cold surface water in very limited high latitude areas (i.e. Greenland and Iceland seas, Arctic Ocean). Its formation is therefore exposed to significant variations during the Pleistocene caused by the glacial-interglacial changes in the conditions prevailing at the surface. During Heinrich events when a great amount of continental ice was launched into the North Atlantic, the resulting salinity drop was probably enough to drastically reduce the North Atlantic thermohaline circulation and the NADW formation. This reduction of thermohaline circulation resulted in a nutrient-enriched, oxygen-depleted deep water that can be traced through the composition of benthic foraminiferal communities (KAIHO, 1994).

In our core, a significant maximum in benthic foraminiferal accumulation rate between 14.2 and 12.8 ka is almost entirely dominated by the deep-dwelling infaunal species *Globobulimina affinis* (d'ORBIGNY) that is very tolerant to low-oxygen bottom water conditions. The peak of this species matches with the onset of the strongest IRD peak and agrees in age with Heinrich event 1. This may suggest the presence of oxygen-depleted bottom water at Meriadzek Terrace associated with the reduced NADW formation at the time. After the re-establishing of North Atlantic thermohaline circulation and oxygenated bottom water conditions and increased surface water productivity probably associated with the suggested northward retreat of the polar front, other less opportunistic species take advantage of nutrient-enriched sediments and the community becomes more diverse.

3. CONCLUSIONS

- 1) SST was not uniform during isotope stage 2. The coldest was the upper part (15.3-13.4 ka) when average SST ranged between 0.3 °C in winter and 4.2 °C in summer. The middle part (19.8-15.3 ka) was characterized by higher SST with strong and abrupt oscillations while the base of the stage was marked by two notable negative SST spikes congruous with the IRD spikes.
- 2) Late stage 2 was the coldest period in the last 26,000 years.
- 3) The polar front was located in the vicinity of the Meriadzek Terrace during early and middle stage 2, shifting southward during late stage 2, and retreating northward from the ESSCAMP site at 13.4 ka.
- 4) All IRD peaks correspond to periods of low SST and are synchronous with the reported ages for Heinrich events 1, 2 and 3. However, the composition of detrital grains and dolomite record of the core argue against the Laurentian or Greenland origin for most of this material. An alternative expla-

nation could be the IRD transported by Iceland- or Fenno-Scandian-originated icebergs.

- 5) The strongest peak of primary productivity, as inferred from planktic and benthic foraminiferal fluxes, coincides with the northward retreat of the polar front over the site.
- 6) High accumulation rates of benthic species *G. affinis* during the Heinrich event 1 suggest low-oxygen bottom water conditions probably associated with the reduced deep water formation in the North Atlantic at that time.

4. REFERENCES

- BAAS, J.H., MIENERT, J., ABRANTES, F. & PRINS, M.A. (1997): Late Quaternary sedimentation on the Portuguese continental margin: climate-related processes and products.- *Paleogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 130, 1-23.
- BÉ, A.W.H. & TOLDERLUND, D.S. (1971): Distribution and ecology of living planktonic foraminifera in surface waters of the Atlantic and Indian Oceans.- In: RIEDEL, B.M. & FUNNEL, W.R. (eds.): *The Micropaleontology of the Oceans*. Cambridge University Press, Cambridge, 105-149.
- BOND, G., HEINRICH, H., BROECKER, W., LABEYRIE, L., McMANUS, J., ANDREWS, J., HUON, S., JANTSCHIK, R., CLASEN, S., SIMET, C., TEDESCO, K., KLAS, M., BONANNY, G. & IVY, S. (1992): Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic Ocean during the last glacial period.- *Nature*, 360, 245-249.
- CLIMAP PROJECT MEMBERS (1976): The surface of the Ice-Age Earth.- *Science*, 191/4232, 1131-1137.
- KAIHO, K. (1994): Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved oxygen levels in the modern ocean.- *Geology*, 22, 719-722.
- LABEYRIE, L., VIDAL, L., CORTIJO, E., PATERNE, M., ARNO-LD, M., DUPLESSY, J.C., VAUTRAVERS, M., LABRACHERIE, M., DUPRAT, J., TURON, J.L., GROUSSET, F. & VAN WEERING, T. (1995): Surface and deep hydrology of the North Atlantic Ocean during the past 155000 years.- *Philosophical Transactions Royal Society, series B*, 348, 255-264.
- PFLAUMANN, U., DUPRAT, J., PUJOL, C. & LABEYRIE, L.D. (1996): SIMMAX: A modern analog technique to deduce Atlantic sea surface temperatures from planktonic foraminifera in deep-sea sediments.- *Paleoceanography*, 11/1, 15-35.
- RUDDIMAN, W.F. & McINTYRE A. (1977): Late Quaternary surface kinematics and climatic change in the high-latitude North Atlantic.- *Journal Geophysical Research*, 82, 3877-3887.
- ZAHN, R., SCHÖNFELD, J., KUDRASS, H.R., PARK, M.H., ERL-ENKEUSER, H. & GROOTES, P. (1997): Thermohaline instability in the North Atlantic during Heinrich events: Stable isotope and ice-rafted detritus records from core SO75-26KL, Portuguese margin.- *Paleoceanography*, 12/5, 696-710.





Palmyride Evolution: Geologic, Stratigraphic and Structural Overview (Central Syria)

Evolucija Palmirida: geološki, stratigrafski i strukturni pregled (središnja Sirija)

Dubravko LUČIĆ¹ & Goran FORŠEK²

Key words: Syria, Palmyrides, Geology, Stratigraphy, Tectonogenesis.

Ključne riječi: Sirija, Palmiridi, geologija, stratigrafija, tektogeneza.

Abstract

The N45E trending Palmyride fold belt was formed at site of an inverted Mesozoic rift basin. Palmyrides develop as a linear trough genetically related to the Levantine margin rift system which was formed along a zone of a proposed Proterozoic suture zone (Gondwana). Concerning constant extension events, thick portion of the Paleozoic and Mesozoic deposits are widespread. Tectonic evolution has been strongly influenced by geologic events within the Arabian plate boundaries, including Dead Sea transform fault in the west, the Bitlis suture and East Anatolian fault to the north and the Zagros suture to the east. Faulting and folding by convergence was initiated in late Mesozoic and accelerated during Cenozoic. The region was subjected to tectonic compression and shortening through the Cenozoic, primarily during Late Pliocene-Recent time.

Sažetak

Palmiridi se protežu smjerom N45E, a posljedica su izdizanja mezozojskog riftnog bazena koji se pružao pravcem pretpostavljenoga, prekambrijskog prašava (Gondvana), a povezan je sa rubnim, levantskim, riftnim sustavom. Zbog stalne ekstenzije prisutan je debeli slijed paleozojskih i mezozojskih sedimenata. Uzdizanje, rasjedanje i boranje uvjetovano je tektonskom aktivnošću u okruženju Arapske ploče (rasjedna zona oko Mrtvog mora na zapadu, Bitlis sutura i istočni anatolijski rasjed na sjeveru, te Zagros sutura na istoku). Inicijalni pokreti uzdizanja počinju krajem krede, a maksimum kompresije postignut je tijekom gornjeg pliocena, a traje i danas.

RECENT GEOLOGICAL SETTING

Present tectonic provinces of northern Arabian platform in Syria are the result of the interaction of Cenozoic Arabian plate boundaries with older intraplate geologic structures. The Arabian plate was part of the much larger African plate, ex Gondwana until about mid Cenozoic time, when the initiation of sea-floor spreading along the Red Sea and subsequent development of the Dead Sea transform fault system clearly defined the western boundaries of the Arabian plate. The northern boundary is along the Bitlis suture and the east Anatolian fault zone in southern Turkey, which represents the site of convergence and collision of the Arabian and Eurasian plates and subsequent attempt of the Anatolian subplate to escape this collision. Finally the northeast and east boundary is located along the Zagros collision zone in Iraq and Iran (Fig. 1).

Two major structural features dominate the northwestern part of the Middle East region south of Taurus Mountains (Fig. 2). These are the twin NNE-SSW trending mountain chains of Lebanon and the NE-SW trending Palmyride Ranges of Syria. The Palmyrides are an intracontinental transpressive mountain fold belt which is expressed as a zone of subdued topography (max. elevation 1,385 m), extending from the Dead Sea Fault Zone northeastwards N45° at least as far as the Euphrates Graben. The Palmyrides are 400 km long and 100 km wide, flanked by two rigid crustal units, the Rutbah high to the south and the Aleppo plateau to the north. Although the Palmyrides appear to radiate off from the Mount Hermon massif at the southern end of the Anti-Lebanon anticlinorium the precise relationship between the Palmyrides and the Lebanon structures has never been completely clear.

¹INA-Industrija nafte, d.d., Naftaplin, Laboratory Research Department, Lovinčićeva b.b., HR-10000 Zagreb, Croatia.

²INA-Industrija nafte, d.d., Naftaplin, Branch Office Damascus, Syria.

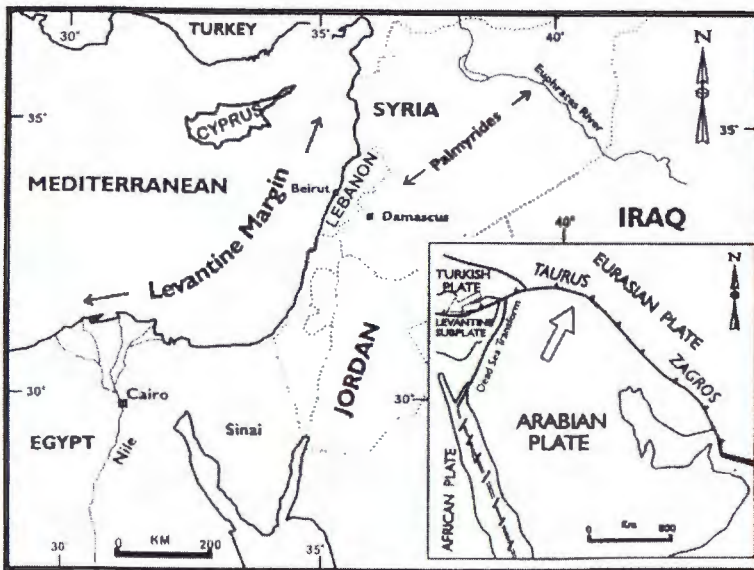


Fig. 1 Map of the eastern Mediterranean area showing general locations. Inset map shows a simplified plate tectonic setting for the region. From WALLEY (1998).

GEOLOGICAL CHRONOLOGY

PROTEROZOIC SUTURING

During the Late Proterozoic, the terranes of the Arabian and adjoining plates were fused along the northeastern flank of the African plate in Gondwanaland (BARAZANGI et al., 1993; BEYDOUN, 1991; HUSSEINI, 1989). Up to date, discussion is about precise timing of such a complex process of terrane accretion and plate collisions. In western Syria, the Aleppo plateau and Rutbah uplift are separated by the Palmyride mountain belt. Bouguer gravity anomalies indicate that there is a fundamental difference in the crust of the Rutbah and the Aleppo regions: the Aleppo crust is denser and/or thinner than the Rutbah crust (BEST et al., 1990; AL-SAAD et al., 1992.) Above mentioned difference suggest that the Palmyra mountain belt is the location of a possible Precambrian (Proterozoic) suture and/or strike-slip fault zone. A deep reflection correlated with the Middle Cambrian Burj limestone (McBRIDE et al., 1990) is observed in both the Aleppo plateau and in the Rutbah uplift. By the matter of fact, Burj limestone have been deposited regionally, so the Rutbah and Aleppo crusts must have been joined prior to the Middle Cambrian (BEST et al., 1990; SEBER et al., 1993).

PALEOZOIC

From the Latest Proterozoic to the Late Paleozoic Arabia with the adjacent plates collectively formed part of the long and wide "northern" passive margin of Gondwana bordering the Paleo-Tethys ocean. The orientation of this passive margin rotated between NW facing in latest Precambrian with oscillations to a W in the Cambrian and back to NW, than to N facing in the Devonian. The passive margin orientation swung to the

NE in the Carboniferous and was almost easterly facing in the Permian (BEYDOUN, 1991).

The earliest sedimentary succession most probably represents deposits at Proterozoic-Phanerozoic boundary and was laid down in rift-related basins and grabens or in the broad intra-shelf and epicratonic sags (Fig. 3). Because of subsequent thick, younger sedimentation and deep burial, most of these deposits have seldom or ever been penetrated by the drill. Thus, details of the thickness and facies variations for the entire succession are poorly understood. Nevertheless, predominant Paleozoic facies is siliciclastic, with limited episodes of carbonate and shale deposition. Much of this region was covered intermittently by shallow epeiric seas that bordered lowlands made up of portions of the shields (Nubo-Arabian, Indian etc.). A wide, broad shallow marine basin is identified in western Syria (the axis more or less coincided with the Palmyride through over Proterozoic suture!). The basin was opened and deepened towards the northeast into the Tethyan Ocean. Apart from Middle Cambrian Burj Formation (limestone), the rest of deposits/formations are clastics, derived from the west (Zabuk, Early Cambrian; Sosnik, Late Cambrian; Khanasser, Early Ordovician; Swab, Early Ordovician; Afandi, Early Ordovician).

During the Late Ordovician, a glacial event took place over much of southern Gondwana (HUSSEINI, 1991). It is likely that ice did not reach Syria, because there is no evidence of glaciation. When the glaciers melted in the Early Silurian, sea level rose sharply and the Paleo-Tethys Ocean transgressed the Arabian and the adjoining plates depositing a thick, organic rich shale - Tanf Formation, directly over the glaciogenic and periglacial rocks and related unconformities. By the onset of the "Hercynian Event" (mild compression uplift and erosion), when the previously passive northern margin of Gondwanaland was transformed into an active margin, as the Tethyan Plate was southward directed

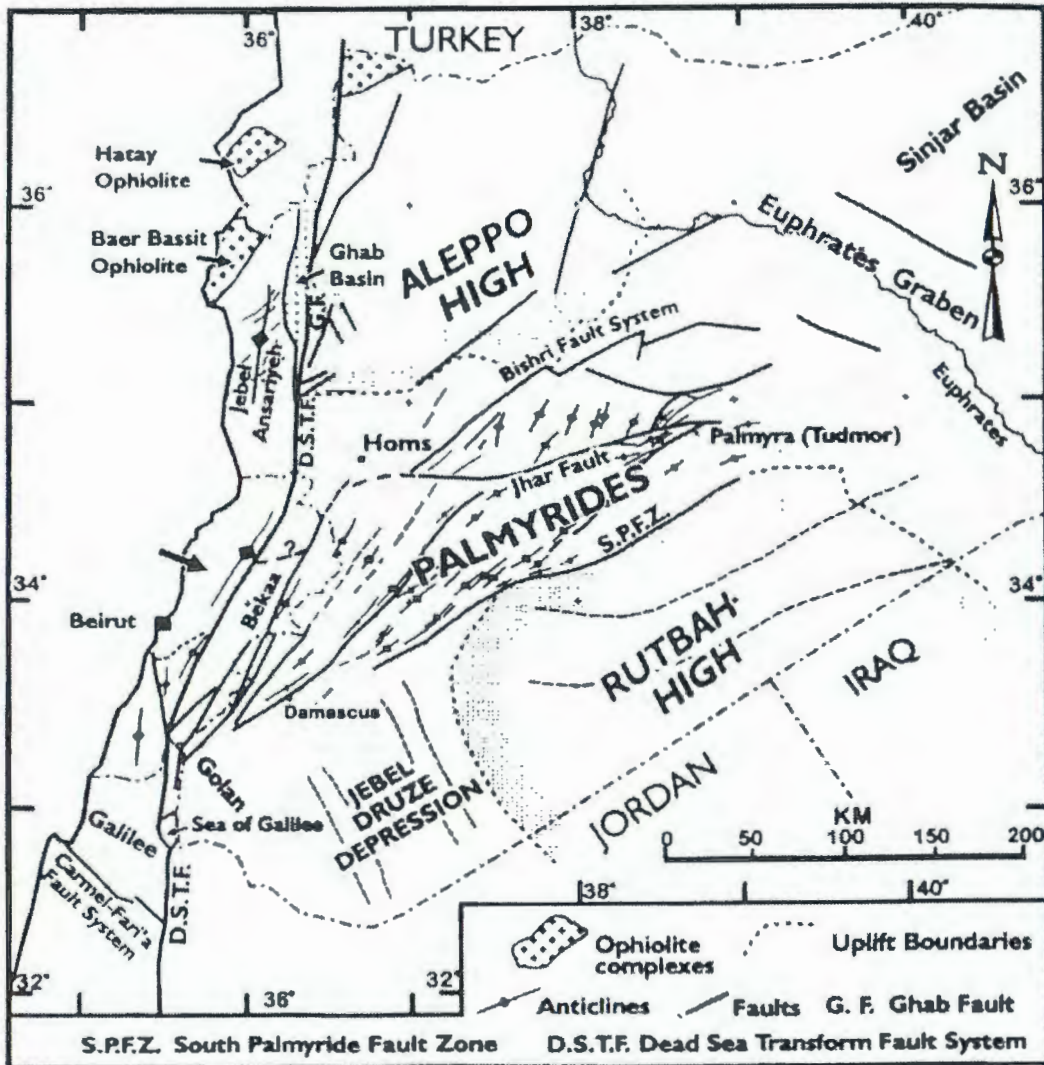


Fig. 2 Main tectonic features of the Syria. From WALLEY (1998).

The surface rocks in the Palmyride fold belt are predominately Cretaceous and Paleogene with only small outcrops of Jurassic and late Triassic in the cores of anticlines. The fold belt is divisible into northern and southern zones, separated by the Jhar Fault with the intervening Al Daww depression (PONIKAROV, 1966 a, b, c, 1967).

Jhar Fault. One of the most prominent fault systems in the Palmyrides is the steep Jhar fault, which strikes about N70°E for nearly 200 km in the Palmyrides, clearly visible on the satellite photos. The Jhar fault is probably a strike-slip boundary between domains of two very different styles of deformation in the northeastern and southwestern Palmyrides. The fault may be a very old feature (BEST et al, 1990) and may have been the site of a Precambrian suture. Seismic reflection data across the Jhar fault (CHAIMOV et al, 1992), indicate vertical separation of more than 1 km. In the southwestern Palmyrides, vertical separation varies from a few hundred meters to about 1.5 km, with the block to the north upthrown.

Al Daww Depression. Between the Jhar fault and the short-wavelength folds of the southern Palmyrides lies the Al Daww depression, an intermontane basin - 100 km long and 20 km wide that contains 11 km of Phanerozoic strata. The extensive Quaternary cover and the absence of well data within the Al Daww depression limit stratigraphic control in that region. The thickness of the entire Mesozoic and Cenozoic sedimentary column reaches at least 5 km and as much as 6 km of Paleozoic strata is estimated to lie beneath Mesozoic rocks.

Northeast Palmyrides. The northeast Palmyrides consist of broad, relatively symmetric box-type anticlines, with reverse faults along the southern and northern flanks of the belt that dip towards the interior of the belt. The seismic data show that deformation affects the whole Phanerozoic section. No local or regional detachment is apparent in the Mesozoic section (AL-SAAD et al., 1992). A system of broad folds and fault zones (mostly strike-slip faults) that bound the folded regions characterize the northeastern sector of the Palmyrides.

Southwestern Palmyrides. The southwestern Palmyrides are characterized by a system of short-wavelength (about 5-10 km) en echelon, northeast-trending folds that are associated with surface-mapped and/or blind, south-vergent frontal thrust faults with small intermontane basins. The South Palmyra fault zone defines the southern limits of the southwestern Palmyrides. Seismic reflection profiles clearly image local, sub-horizontal decollement surfaces within the relatively thick Triassic evaporites (BARAZANGI et al., 1993). However, a regional, pervasive detachment is not observed beneath the southwestern Palmyrides.

subducted beneath, or possibly obducted onto, Gondwanaland (Iran and Turkey). As a result, a south to southwest directed compressional stress regime affected the Arabian Plate. In Syria, this appears to have caused regional uplift and erosion (lack of Devonian deposits).

According to renewed extension and subsidence during Earliest Carboniferous to Latest Permian, new transgression took place and the deposits of the Markada (Carboniferous), and Amanus Sand (Permian), formations are extensive. The area was again in the tropical

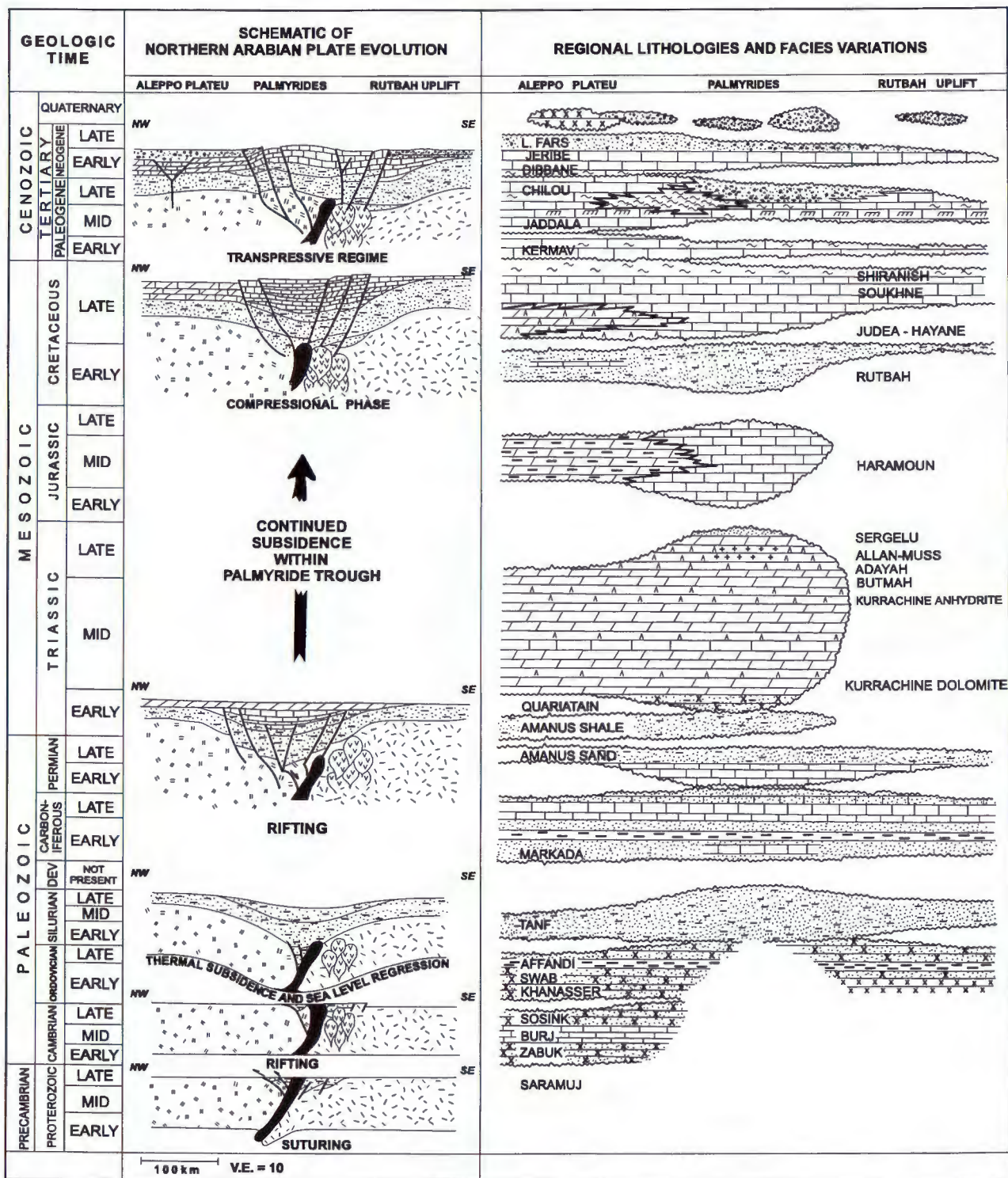


Fig. 3 Schematic tectonic evolution of the Palmyrides and adjacent crustal blocks, with formation lithologies and regional facies variations. Modified after AL-SAAD et al. (1992).

latitudes (BEYDOUN, 1991) and the carbonate intercalations occur within the clastic deposits.

Climatically, based on the consensus of plate tectonic data and the predominance of clastic deposition in the Paleozoic era, the region was mainly temperate with episodes of warm water carbonate deposition in the Middle Cambrian and the Late Permian, and two proven glaciations in the Late Ordovician and Carbonifero-

us-Permian which was only present in the recent southern margins (Ethiopia and southern Oman). The sediment sources for the various Paleozoic clastics of the Arabian plate in main, were the Arabian and Indian, etc. shields and other smaller positive features. During subsequent emergence and erosion, reworking of clastic deposits deposited earlier provided substantial source for younger units on both a local and a more regional

scale. Total Paleozoic sediment thickness may reach several thousand meters.

MESOZOIC AND PALEOGENE

Following Permian rifting, Cimmeria and other continental fragments were rifted off northern margin of Gondwana and drifted northwards towards Eurasia, creating Eastern Mediterranean Neotethys, which was formed in several interconnected small ocean basins adjacent to the north margin of Gondwanaland (ROBERTSON et al., 1991). At the same time, the Apulia Plate begun to move northwards away from Africa along a major dextral transform fault that then formed the western edge of the Arabian Plate, thus opening up the Eastern Mediterranean Basin (MAY, 1991). Meanwhile, plate movements from high to warmer, low latitudes and widespread transgression across the northern Gondwana shelf resulted throughout Arabia in the predominantly clastic section of the Paleozoic being replaced in the Mesozoic by mainly carbonates and evaporites, together with minor shale.

During the Triassic, the Eastern Mediterranean basin was linked to Neo-Tethys (DRUCKMAN et al, 1982; CIRILLI & ESHET, 1991) via the Palmyride and Sinjar troughs, which continued to subside differentially as interior fracture basins. Throughout the stable carbonate platform, carbonate deposits and evaporites are widespread (BEBSEHEV et al., 1988.) (Amanus Shale, Kurrachine Dolomite, Kurrachine Anhydrite, Butmah, Adayah, Muss, Alan, Sergelu Formations).

During the Jurassic, the Apulia Plate moved northwestward away from the Arabian Plate and the western passive margin was established. At the same time Rutbah arch was gently uplifted, restricting but not completely destroying the connection between the Eastern Mediterranean and Neo-Tethys. As the results Jurassic deposits (MOUTY, 1997) of Haramoun Formation are areally restricted or missing.

During the Latest Jurassic and Earliest Cretaceous, the northern margin of the Arabian Plate underwent uplift and block faulting, probably due to plate interaction between the remaining Turkish blocks and the Levant margin of the Arabian Plate. As a result, the Late Jurassic and Early Cretaceous deposits are missing over most of Syria, either by erosion or by non-deposition. This also affected the Levant margin where similar age block uplift occurred or/and was also perhaps related to regional extensional movements in northeast Africa and elsewhere in the area (BEYDOUN, 1991). At this time, block movements were also taking place at the southern end of the Arabian region, probably related to the break-away of India from Afro-Arabia.

Following the period of erosion, a further period of rifting, renewed extension and subsidence during Hauterivian to Cenomanian occurred in the Palmyride trough. The first pulse of sedimentation- transgression during Aptian-Albian, onto penaplane area consist of fluviodeltaic clastic Cherrife Formation, sourced by the

Hail-Rutbah High. Towards north these pass into open marine clastic and minor carbonate. In the southwest, basaltic volcanics testify the continuation of active crustal extension (MAY, 1991). The second pulse had happened under conditions of gradually rising sea level. In the south, deposits are represented by fluviodeltaic Rutbah Formation which also gradually pass towards the north into more open marine clastics and carbonates.

Between Late Aptian - Albian and Turonian, rising sea level replaced the clastic regime with a carbonate platform. Shelf limestones and shales of Hayane, Judea and Soukhne Formations accumulated over much of interior of Syria. The compressional effects of impending collision between Gondwana and Eurasia were first felt in Senonian, when ophiolites were obducted onto the northern edge of Gondwana. The Palmyride and Euphrates troughs passed into thermal subsidence phases (Soukhne and organic rich Rmah Chert Formation), but Sinjar trough, perhaps because of its proximity to the zone of obduction, continued as an active interior fracture basin. In the Maastrichtian to Paleocene, the Palmyride trough underwent inversion, but these movements were gentle compared to the main phase of inversion that took place in the Miocene. During the Paleogene, the previously uniform platform broke up by differential subsidence into number of shelves and intrashelf basins. In the troughs, the thermal contraction phase resulted in the replacement of the platform limestones by marls of the Shiranish Formation. During Paleogene, marine limestones were re-established on the shelves, but marls and deeper water limestones continued to accumulate in the differentially subsiding intrashelf basins (Kermav, Jaddala, Chilou Formations).

NEOGENE TO PRESENT

Collisions between Eurasia and Gondwana finally took place at cca. 20 Ma in the Early Miocene, but possibly as early as Latest Oligocene. The first point of contact appears to have been at the northwest corner of the Arabian Plate, which caused the Levant Plate to break off from it along the Dead Sea Transform, on which, there has been a total of around 105 km of sinistral movement. Between 20 and 6 Ma 65 km of sinistral movement took place on the southern part of Dead Sea Transform Fault (CHAIMOV et al., 1993). Meanwhile the Arabian plate continued to drift northwards, and collided with the leading edge of Eurasia at cca. 6 Ma (Latest Miocene - Messinian). Between 6 Ma and Present Day, the southern part of the Dead Sea Transform has undergone a further 40 km of sinistral movement. North of the Roum fault, this movement is accounted for by 20 km of movement on the Dead Sea transform itself, and 20-25 km of compressional closure across the Palmyride trough (CHAIMOV & BARAZANGI, 1990). During the Miocene, the Palmyride trough was inverted, undergoing south and north-verging reverse faulting, folding and thrusting (McBRIDE et al., 1990).

From the Early Pliocene onwards, the Taurus and Zagros mountains were uplifted, folding and thrusting took place in the Taurus-Zagros Foredeep. As a result of the collision events, the seaway between Gondwana and Eurasia became restricted during the Miocene (Messinian crisis), so the open marine Paleogene limestones and marls were replaced by evaporites, limestones and dolomite (Bishri, Jeribe, Transition Zone, Low Fars, Upper Fars Formations). These are overlain by Pliocene to recent continental molasse deposits derived from the rising Taurus and Zagros mountains.

REFERENCES

- AL-SAAD, D., SAWAF, T., GEBRAN, A., BARAZANGI, M., BEST, J.A. & CHAIMOV, T.A. (1992): Crustal structure of Central Syria: the intracontinental Palmyride mountain belt.- *Tectonophysics*, 207, 345-358.
- BARAZANGI, M., SEBER, D., CHAIMOV, T., BEST, J. & LITAK, R. (1993): Tectonic evolution of the Northern Arabian Plate in Western Syria.- In: BOSCHI, E. et al. (eds.): *Recent Evolution and Seismicity of the Mediterranean Region*.- Kluwer Academic Publishers, 117-140, Amsterdam.
- BEBESHEV, I.J., DZHAILOV, Yu.M., PORTNYAGINA, L.A., YUDIN, G.T., MUALLA, A., ZAZA, T. & JUSEF, A. (1988): Triassic stratigraphy of Syria.- *International Geology Review*, 30, 1292-1301.
- BEST, J.A., BARAZANGI, M., AL-SAAD, D., SAWAF, T. & GEBRAN, A. (1990): Bouger gravity trends and crustal structure of the Palmyride mountain belt and surrounding Northern Arabian Platform in Syria.- *Geology*, 18, 1235-1239.
- BEYDOUN, Z.R. (1991): Arabian plate hydrocarbon geology and potential - a plate tectonic approach.- *AAPG Studies in Geology*, Tulsa, 77 p.
- CHAIMOV, A. & BARAZANGI, M. (1990): Crustal shortening in the Palmyride fold belt, Syria and implications for movement along the Dead Sea Fault System.- *Tectonics*, 9/6, 1369-1386.
- CHAIMOV, T.A., BARAZANGI, M., AL-SAAD, D., SAWAF, T. & GEBRAN, A. (1992): Mesozoic and Cenozoic deformation inferred from seismic stratigraphy in the southwestern intracontinental Palmyride fold-thrust belt, Syria.- *Geol. Soc. Am. Bull.*, 104, 704-715.
- CHAIMOV, T.A., BARAZANGI, M., AL-SAAD, D., SAWAF, T. & KHADDOUR, M. (1993): Seismic fabric and 3-D structure of the Southwestern intracontinental Palmyride fold belt, Syria.- *AAPG Bull.*, 77/12, 2032-2047.
- CIRILLI, S. & ESHET, Y. (1991): First discovery of Samaropollenites and the Onslow microflora in the Upper Triassic of Israel, and its phytogeographic implications.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 85, 207-212.
- DRUCKMAN, Y., HIRSCH, F. & WEISSBROD, T. (1982): The Triassic of the southern margin of the Tethys in the Levant and its correlation across the Jordan Rift Valley.- *Geologische Rundschau*, 71/3, 919-936.
- HUSSEINI, M.I. (1989): Tectonic and deposition model of Late Precambrian-Cambrian Arabian and adjoining plates.- *AAPG Bull.*, 73/9, 1117-1131.
- HUSSEINI, M.I. (1991): Tectonic and depositional model of the Arabian and adjoining plates during the Silurian-Devonian.- *AAPG Bull.*, 75/1, 108-120.
- MAY, P.R. (1991): The Eastern Mediterranean Mesozoic basin: evolution and oil habitat.- *AAPG Bull.*, 75/7, 1215-1232.
- McBRIDE, J.H., BARAZANGI, M., BEST, J., AL-SAAD, D., SAWAF, T., AL-OTRI, M. & GEBRAN, A. (1990): Seismic reflection structure of intracratonic Palmyride fold-thrust belt and surrounding Arabian Platform, Syria.- *AAPG Bull.*, 74/3, 238-259.
- MOUTY, M. (1997): Le Jurassique de la chaîne des Palmyrides (Syrie centrale).- *Bull. Soc. geol. France*, 168/2, 181-186.
- PONIKAROV, V.P. (1966a): The geological map of Syria scale 1:200,000, Sheet I-37-XIV, Explanatory notes.- Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, Damascus.
- PONIKAROV, V.P. (1966b): The geological map of Syria scale 1:200,000, Sheet I-37-XV, Explanatory notes.- Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, Damascus.
- PONIKAROV, V.P. (1966c): The geological map of Syria scale 1:200,000, Sheet I-37-XVI, Explanatory notes.- Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, Damascus.
- PONIKAROV, V.P. (1967): The geological map of Syria scale 1:500,000, Explanatory notes.- Syrian Arab Republic, Ministry of Industry, Damascus, 230 p.
- ROBERTSON, A.H.F., CLIFT, P.D., DEGAN, P.J. & JONES, G. (1991): Paleogeographic and paleotectonic evolution of the Eastern Mediterranean Neotethys.- *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 87, 289-343.
- SEBER, D., BARAZANGI, M., CHAIMOV, T.A., AL-SAAD, D., SAWAF, T. & KHADDOUR, M. (1993): Upper crustal velocity structure and basement morphology beneath the intracontinental Palmyride fold-thrust belt and north Arabian platform in Syria.- *Geophys. J. Int.*, 113, 752-766.
- WALLEY, C.D. (1998): Some outstanding issues in the geology of Lebanon and their importance in the tectonic evolution of the Levantine region.- *Tectonophysics*, 298, 37-62.



Postlutetni vulkanski epiklasti na sjevernojadranskim otocima (Hrvatska)

Post-Lutetian Volcanic Epiclasts from the Northern Adriatic Islands (Croatia)

Boško LUGOVIĆ

Ključne riječi: postlutetni epiklasti, trahibazalti-trahiti, bazaltni andeziti, porijeklo, sjevernojadranski otoci, Hrvatska.

Key words: Post-Lutetian epiclasts, Trachybasalts-trachytes, Basaltic andesites, Origin, Northern Adriatic Islands, Croatia.

Sažetak

U zabitim uvalama sjevernojadranskih otoka u sastavu priobalnih šljunaka otkrivene su krupne valutice svježih egzotičnih efuzivnih stijena kakvih nema na izdancima u istočnom dijelu Jadranske ploče i zapadnom rubnom dijelu Vanjskih Dinarida. Prikupljeni uzorci stijena uključuju litotipove iz nepotpunog niza trahibazalt-trahit i bazaltne andezite. Stijene imaju blago alkalijski do šošonitni geokemijski afinitet (trahibazalti-trahiti) ili su kalcijsko-alkalijskih karakteristika (bazaltni andeziti). Ovakvi litotipovi su reprezentativni za asocijaciju vulkanskih stijena tektonogenetski vezanu za kolizijska područja. Termalno metamorfozirani fragmenti numulitnih vapnenaca u nekim uzorcima ukazuju na postlutetnu starost efuzija. Dosadašnja saznanja o geodinamici eocensko-donjomiocenskog kolizijskog pojasa u istočnom segmentu Jadranske ploče i zapadnom rubnom dijelu Vanjskih Dinarida ne sugeriraju povoljan geotektonski okoliš za sinkolizijski ili postkolizijski vulkanizam, pa konzekventno niti ovo područje kao izvorišno tim epiklastima. Ukoliko se ne otkriju bliže locirana nalazišta istovrsnih stijena na primarnom položaju, treba uzeti u obzir udaljenija, te antropogenu aktivnost kao moguć uzrok ovim pojavama.

Abstract

Coarse boulders of fresh and exotic volcanic rocks occur abundantly within the nearshore mainly carbonate gravely deposits along the secluded coves of the northern Adriatic Islands. The collected rock samples are typical of collision-related volcanism and are comprised of an incomplete rock series of high-K to shoshonitic affinity (trachybasalt-trachyte) and of calc-alkali affinity (basaltic andesites). Similar volcanic rock outcrops have never been found in the northern Adriatic Island region or in the westernmost mainland of the External Dinarides. Since the volcanic rocks contain thermally affected limestones with Lutetian nummulites, the age of volcanism is inferred to be post-Lutetian. The existing geodynamic models developed for the Eocene-Early Miocene collisional belt between the easternmost segment of the Adriatic plate and the northwesternmost External Dinarides do not suggest a favourable tectonomagmatic environment for the syn- or the post-collisional magmatism. When these models are accepted as definitely correct, an external source area is required and an anthropogenic activity to account for the recent position of these boulders.

1. UVOD

U zatarskom zaleđu, u Ljubačkom zaljevu i nasuprot na otoku Pagu u uvalama Stara Poveljana i Smokvica, prikupljene su valutice izuzetno svježih efuzivnih stijena kakve nisu nađene na izdancima u istočnom dijelu Jadranskog bazena i njegovom neposrednom zaleđu u Vanjskim Dinaridima. Tijekom istraživanja istovrsne stijene nađene su i na Rabu, u njegovom južnom dijelu kod Barbata i sjevernom u uvali Pod Šilom, te na Krku u Zaljevu Soline. Neproverene usmene obavijesti kazuju da istovrsnih stijena ima u priobalju između Crikvenice i Kraljevice.

Valutice svježih vulkanita na Pagu i u Ljubačkom zaljevu su subangulane do slabo zaobljene, maksimalno velike do petnaest centimetara. Nalaze se podredno zastupljene uz valutice karbonatnih sedimentnih stijena među kojima su najbrojnije valutice numulitnih vapnenaca. Neke od njih sadrže uklopke termalno metamorfoziranih eocenskih numulitnih vapnenaca. Valutice ovog tipa iz okolice Ljubača po prvi put spominju, a dio i analiziraju LUGOVIĆ et al. (1998), te utvrđuju da pripadaju trahandezitima (absarokitima) i bazaltnim andezitima. Naknadno su nađeni primjerci albitiziranih i kloritiziranih vulkanskih aglomerata i tufova, te alteriranih eruptivnih stijena kakve izdanjuju u Senjskoj

Dragi, a koje su tamo trijaskе starosti (MAMUŽIĆ & MILAN, 1973). Rijetko se nađu i valutice stijena sličnih onima uz proboj paleozoika u zaleđu Brušana, nazvanih dacitima (SALOPEK, 1938) odnosno kristalovitičnim tufovima ladiničke starosti (SOKAČ et al., 1976), a uz njih i poneka krupna valutica konglomerata koji izdanjuju na tipskom lokalitetu Košna u Velebitu.

Svježi vulkaniti iz valutica u Ljubačkoj uvali povezani su ranije s bazaltima Donjeg Pazarišta u Lici u skupinu postkolizijskih stijena mlađeg kenozoika, analognih onima u Apeninima (LUGOVIĆ et al., 1998). S novim uzorcima, prikupljenim na značajno širem području, utvrđen je veći broj varijeteta kojima je, unutar postlutetnih vulkanita, definirana zasebna serija blago alkalijskih stijena sa šošonitnom tendencijom. U radu su prikazane petrološke i geokemijske karakteristike novoprikupljenih uzoraka kenozojskih vulkanita, izvršena je korelacija s kenozojskim ekstenzijskim eruptivima koji izdanjuju u zapadnim i sjevernim rubnim dijelovima Jadranske ploče, te je istaknuta dvojba o porijeklu valutica.

Autor se zahvaljuje Tihomiru i Ljerki Marjanac koji su uputili na pojave i vlastitim uzorcima obogatili kolekciju za istraživanje.

2. KEMIZAM I KLASIFIKACIJA STIJENA

Kemijski sastav stijena određen je metodom rendgenske fluorescentne analize: sadržaj glavnih elementa na taljenim uzorcima, a elemenata u tragovima na prasanom prašku uzoraka. Stijene su svježije s najvećim gubitkom žarenja od 0,90% što kazuje da primarni sastav nije značajno izmijenjen. U kemijskoj klasifikacijskoj shemi (Na₂O+K₂O)-SiO₂ (LE BAS et al., 1986) stijene se grupiraju u poljima trahibazalta i bazaltnih trahiandezita (približno 75% uzoraka) te trahita (15% uzoraka). Većina ovih stijena ima blago alkalijski karakter s masenim omjerom K₂O/Na₂O između 0,40 i 0,48 u mafitnim varijetetima i oko 1,0 u felzitim. Manji dio uzoraka (oko 10%) ima subalkalijska obilježja i odgovara bazaltnim andezitima. Ove stijene se mogu klasificirati prema odnosu K₂O i SiO₂ (PECCERILLO & TAYLOR, 1976): trahibazalti i bazaltni trahiandeziti odgovaraju bazaltima s visokim sadržajem kalija ("high-K basalts") i stoje blizu absarokitima iz šošonitne serije stijena, dok se trahiti, pripadajući toj seriji, mogu nazvati banakitima. Bazaltni andeziti zadržavaju isti naziv i pripadaju kalcijsko-alkalijskoj grupi vulkanskih stijena. Stijene niza trahibazalt-trahit imaju relativno nizak indeks magnezičnosti (Mg# = 100*MgO/(MgO+FeO_{tot})) između 54,3 i 39,4 i visok sadržaj Al₂O₃ (15,9-20,1%). Koncentracija kroma i nikla im je niska (<56 ppm Cr, <29 ppm Ni) a cirkona, niobija i torija relativno visoka (206-453 ppm Zr, 57-81 ppm Nb i 12-32 ppm Th). Sadržaj olova je vrlo promjenljiv i varira od 8 do 52 ppm. Analize kemijskog sastava bazaltnih andezita dane su u radu LUGOVIĆ et al. (1998).

3. PETROGRAFIJA I KEMIZAM MINERALA

Sve stijene su vezikularne, bez mandula. Struktura im je porfima s relativno krupnim utruscima. Osnova je mikrokristalasta do kriptokristalasta, ponekad sa smeđim vulkanskim staklom. Fragmenti kumulatnih stijena, mineraloški istovrsnih matičnim vulkanitima, česta su pojava u svim uzorcima stijena. Stijene su svježije s malo sekundarnih minerala. Kemijski sastav minerala određen je metodom elektronske mikroanalize.

3.1. TRAHIBAZALTI I BAZALJNI TRAHIANDEZITI

Stijene sadrže utruske plagioklasa, klinopiroksena, olivina i opâkih minerala u osnovi izgrađenoj od istovrsnih minerala i akcesornog apatita. Navedeni minerali se međusobno često uklapaju. Veća zrna u pravilu su zonarne grade.

Utrusci klinopiroksena imaju sastav augita i diopsida (Wo_{42,7-47,2}En_{33,4-46,1}Fs_{8,1-20,3}). Sadrže varijabilnu koncentraciju titana i aluminijska (0,58-3,21% TiO₂, 1,90-6,41% Al₂O₃) pri čemu koncentracije obaju elemenata rastu prema rubu zrna. Klinopirokseni u matriksu imaju sastav kao i rubovi utrusaka. Plagioklasi su odreda zonirani: utrusci su vrlo varijabilnog sastava (An_{34,8-82,2}Or_{0,6-7,7}), a u matriksu mogu imati rub ternarnog feldspata (An_{26,1-69,9}Or_{1,2-15,4}). Utrusci olivina umjereno su magnezični i normalno zonirani (Fo_{75,4-62,0}). Sadrže do 0,43% CaO i manje od 0,14% NiO. Olivin u matriksu je više željezovit (Fo_{60,6-40,3}), sadrži više kalcija (0,60-0,39% CaO) i manje nikla (<0,07% NiO) u odnosu na utruske. Utrusci opâkih minerala su Fe-Ti-spineli sastava Usp_{26,6-51,6}Mt_{28,6-51,7}Sp_{16,1-27,4}, pri čemu prema rubu zrna udio ulvospinelske komponente (Usp) naglo raste, a Mg-Fe spinelske komponente (Sp) opada. Opâki minerali u matriksu imaju sastav Usp_{51,3-63,6}Mt_{27,9-37,7}Sp_{7,0-16,4}.

3.2. TRAHITI

U trahitima utrusci su monoklinski piroksen, obojeni tinjac, plagioklas, sanidin, a manje zastupljeni su još kvarc, opâki minerali i sasvim rijetko rompski piroksen. Tinjac je po rubu često korodiran u agregat sanidina, spinela, hematita i plagioklasa. Osnovu tvore kvarc, plagioklas, sanidin, i relativno obilno opâki minerali. Akcesorni su apatit i cirkon.

Utrusci monoklinskog piroksena imaju sastav augita i diopsida (Wo_{41,8-46,1}En_{37,9-42,8}Fs_{13,3-17,5}). U odnosu na monoklinske piroksene iz mafitnih stijena sadrže manja titana i aluminijska (TiO₂ <0,59%; Al₂O₃ <2,11%). U zoniranim zrnima njihova koncentracija raste prema rubu do maksimalnih 2,1% TiO₂ i 5,52% Al₂O₃. Rompski piroksen je homogenog sastava (Mg# = 68) i sadrži do 0,83% Al₂O₃ i 0,95% CaO. Smeđi tinjac sastavom varira između biotita i flogopita (Mg# = 58,7-79,2), a sadrži do 5,9% TiO₂ i 0,78% BaO. Velika prizmatska zrna plagioklasa pokazuju najveće oscilacije u sastavu

($An_{16,8-62,3}Or_{1,4-11,8}$) i u istom uzorku mogu biti normalno i reversno zonirana. Kompozitni fenokristali feldspata imaju korodiranu jezgru plagioklasa i plašt od sanidina ili anortoklasa. Utrusci sanidina imaju sastav $Or_{44,5-57,6}An_{2,0-3,8}$ te sadrže do 1,1% BaO. Plagioklas u matriksu je sastava $An_{19,5-44,5}Or_{2,9-11,2}$ a sanidin $Or_{33,7-47,3}An_{2,9-6,2}$ i sadrži maksimalno 0,47% BaO. Opâki minerali su kristali mješanci skupina magnetit-ulvospinel (titanov magnetit) i ilmenit-hematit. Među fenokristalima zastupljeniji je titanov magnetit ($Usp_{17,1-35,8}Mt_{49,6-77,2}Sp_{4,7-16,0}$) nego ilmenit ($Ilm_{75,8-80,2}Hm_{16,4-21,6}$). U matriksu izrazito prevladava hematit ($Hm_{69,7-86,8}Ilm_{11,0-27,8}$) nad titanovim magnetitom koji ima sastav sličan ulvospinelom bogatom rubu fenokristala.

3.3. BAZALJNI ANDEZITI

U bazaltnim andezitima utrusci su pretežno krupni, hipidiomorfni plagioklasi dok su olivin i monoklinski piroksen podređeno zastupljeni. Fenokristali često sadrže uklopke matriksa i stakla te imaju sitastu strukturu. Utrusci olivina reakcijski su obrubljeni pižonitom. Matriks se sastoji od plagioklasa, monoklinskog piroksena, pižonita i titanova magnetita. Detaljne analize kemijskog sastava minerala u bazaltnim andezitima dane su u radu LUGOVIĆ et al. (1998).

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Strukturni odnosi i kemijski sastav minerala u valuticama postlutetnih vulkanskih stijena ukazuju na kristalizaciju u plitko položenom magmatskom ognjištu otvorenog tipa s povremenim miješanjem slabo hidrozniha magma srodnih geokemijskih obilježja. Kristalizacija se odvijala u uvjetima neuspustavljene ravnoteže uz devolatilizaciju sustava neposredno prije erupcije. Izvorne magme su plašnog podrijetla i može se procijeniti da potječu iz dubine manje od 60 km. Po svojim petrološkim i geokemijskim karakteristikama postlutetni vulkaniti većinom pripadaju seriji stijena s povišenim sadržajem kalija, tj. s jasnom šoŝonitnom tendencijom u mafitnim stijenama, i tipičnim karakteristikama te serije u felzitimnim članovima. Manjim dijelom to su neutralne stijene kalcijsko-alkalijske familije. Asocijacije ovakvih stijena nalaze se u orogenetskim magmatskim pojasevima, a tektonogenetski mogu biti vezane za sinkolizijsku do postkolizijsku ekstenziju u predgorju ili zagorju orogenetskog lanca.

Unutar mediteranskog kolizijskog pojasa Jadranska ploča ima izuzetan položaj jer povezuje više velikih geotektonskih jedinica. Vulkanske stijene paleogenske starosti postoje u njenim rubnim dijelovima na zapadu, gdje se dijelovi Jadranske ploče subduciraju pod Apenine i Kalabriju, te na sjeveru gdje vladaju subdukcijsko-kolizijski odnosi s Južnim Alpama. Istočni segment Jadranske ploče subduciran je pod Vanjske Dinaride, ali u ovom području, kako do sada izgleda, bez popratne magmatske aktivnosti.

U zapadnom i sjevernom predgorju unutar Jadranske ploče vulkanizam ima obilježja tipična za intrakontinentalnu ekstenziju. Na zapadu, u Apulijskom segmentu Jadranske ploče na poluotoku Gargano, postoji manja pojava ekstenzijskih Na-alkalijskih vulkanita i intruziva eocensko-oligocenske starosti (DI GIROLAMO, 1978). Ove stijene ne stoje u tektonskoj i genetskoj vezi s ostalim eruptivnim stijenama Apeninskog poluotoka. Na sjeveru, u pokrajini Veneto, vulkanizam je sinkolizijski i plašnog porijekla; dao je niz umjereno do jako Na-alkalijskih mafitnih i felzitimnih stijena u vremenskom rasponu od gornjeg paleocena do donjeg oligocena (DE VECCHI & SEDEA, 1995). Rb-Sr izotopna starost riolita i trahita, petrografski sličnih onima iz valutica s naših otoka, iznosi između 34 i 32 milijuna godina i odgovara donjem oligocenu (ZANTEDESCHI, 1994). Ovi vulkaniti se nalaze uz rasjed Schio-Vicenza koji se sredinom jadranskog podmorja proteže do Palagruže.

Sjeveroistočni dio Jadranske ploče tijekom paleogena doživio je razlamanje paralelno pružanju orogenetskog lanca povezano za subdukciju ploče pod Dinaride (ZAMPIERI, 1995). Tektonska aktivnost intenzivno je nastavljena tijekom neogena i kvartara (PRELOGOVIĆ, 1989). Smatra se da intenzitet ekstenzije nije bio dovoljno snažan za aktiviranje plašnog magmatizma. Mogućnost vulkanske aktivnosti uzduž Centralnog jadranskog praga nagovijestila je TARI KOVAČIĆ (1995) analizom intenziteta zračenja i debljine alteriranih piroklastičnih naslaga unutar kvartarne sukcesije u podmorju. Na temelju pojave ultraalkalijskih litoklasta u naslagama gornjeg pliocena, pretpostavljena je tipična intrakontinentalna vulkanska aktivnost u blizini Jadranskog praga u visini Dugootočkog bazena (MILETIĆ & LUGOVIĆ, 1996, 2000). Hipotetski vulkani locirani su uz regionalni rasjed Schio-Vicenza-Palagruža koji, zajedno s Dugootočkim i Velebitskim rasjedom, određuje glavnu zonu postkolizijskog rasjedanja unutar Jadranske ploče (GRANDIĆ et al., 1997).

U Vanjskim Dinaridima, kod Donjeg Pazarišta u Lici, olivinski bazalti probijaju blago metamorfizirane ladiničke piroklastične stijene andezitsko-dacitnog vulkanizma (MARCI et al., 1990). Pretpostavljena im je postmiocenska starost (POLJAK & TAJDER, 1942), oprečna opće prihvaćenom mišljenju o njihovoj trijaskoj starosti (SOKAČ et al., 1976). U jednom od uzoraka s lokaliteta Kalinovače (LUGOVIĆ et al., 1998) određen je K-Ar metodom izotopni sastav koji ukazuje na srednjoeocensku (barton) starost. Zbog gubitka kalija alteracijom stijene taj je rezultat odbačen kao nevjerodostojan, ali govori u prilog kenozojskoj starosti. Ta činjenica bila je razlogom da se mladi vulkaniti iz valutica u Ljubačkom zaljevu i bazalti D. Pazarišta uzmu zajedno kao postkolizijske stijene u predgorju, u Jadranskoj ploči, odnosno u zaleđu orogenetskog lanca Velebita (LUGOVIĆ et al., 1998).

Obilne pojave epiklasta postlutetnih vulkanita na sjevernojadranskim otocima, i to s istovrsnim litotipovi-

ma u nizu od preko sto kilometara, mogu ukazivati na postojanje dosad nepoznatog kenozojskog vulkanizma i u sjeveroistočnom rubnom dijelu Jadranske ploče. Problemi proizlaze iz činjenice da na ovim otocima nema izdanaka nikakvih eruptivnih stijena, a epiklasti su prekrupni za donos iz udaljenog izvorišta. Eocenski fliš odnosno polimiktni molasni konglomerati oligocensko-miocenske starosti u Dalmatinskoj zoni ne sadrže klase vulkanskih stijena (TARI KOVAČIĆ & MRINJEK, 1994). Donos dijela prikupljenih klasta s Velebita je izvjestan, što dokazuju zaobljene valutice alteriranih trijaskih vulkanita i Košna konglomerata, ali Velebit po svoj prilici nije izvorno područje epiklasta postlutetnih vulkanskih stijena iz otočnih nalazišta. Zaključno kazano, lokacije vulkana iz kojih potječu ove valutice ostaju nepoznate.

Nameće se, na kraju, suštinsko pitanje: jesu li valutice mladih efuziva na današnja nalazišta došle prirodnim načinom ili su se tamo nekako, i s nekim razlogom, našle uz pomoć ljudske djelatnosti? Prva mogućnost otvara pitanje tektonomagmatskih procesa koji su uzrokovali vulkanizam, a druga traži petrološko-arheološki pristup za pronalaženje mjesta porijekla, te razloga i načina prijenosa. Buduće istraživanje bit će usmjereno tako da potvrdi ili isključi jednu od tih dviju mogućnosti.

5. LITERATURA

- DE VECCHI, G. & SEDEA, R. (1995): The Paleogene basalts of the Veneto region (NE Italy).- *Mem. Sci. Geol.*, 47, 253-274.
- DI GIROLAMO, P. (1978): Geotectonic settings of Miocene-Quaternary volcanism in and around the Eastern Tyrrhenian Sea border (Italy) as deduced from major element geochemistry.- *Bull. Volcanol.*, 41, 229-250.
- GRANDIĆ, S., BOROMISA-BALAŠ, E. & ŠUŠTERČIĆ, M. (1997): Exploration concept and characteristic of the Dinarides stratigraphic and structural model in the Croatian offshore area (Part I).- *Nafta*, 48, 117-128, Zagreb.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANETTIN, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram.- *J. Petrol.*, 27, 745-750.
- LUGOVIĆ, B., ALTHERR, R., MARJANAC, T. & MEYER, H.-P. (1998): Orogenic signatures in Late Cenozoic volcanic rocks from the northern External Dinarides, Croatia.- *Acta Volcanol.*, 10, 55-65.
- MAMUŽIĆ, P. & MILAN, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Rab L33-114.- *Inst. geol. istraž. Zagreb* (1966), *Sav. geol. Zavod Beograd*, 39 str.
- MARCI, V., PLETEŠ, G., BOSAK, Ž. & ŠATARA, D. (1990): Prvi nalazi lapića u trijaskim naslagama kod Donjeg Pazarišta.- *Geol. vjesnik*, 43, 113-120.
- MILETIĆ, D. & LUGOVIĆ, B. (1996): Pliocene volcanoclastic sediments in the Croatian Adriatic off-shore region (drill-hole Kruna-1).- In: DROBNE, K., GORIČAN, Š. & KOTNIK, B. (eds): *International workshop Postojna 96: The role of impact processes in the geological and biological evolution of planet Earth*, 52-53.
- MILETIĆ, D. & LUGOVIĆ, B. (2000): Kontrastni ultraalkalijski lito-klasti iz pliocenskih naslaga u podmorju Dugootočkog bazena (Hrvatska).- 2. hrvatski geol. Kongres, *Zbornik radova*, ovaj sv.
- PECCERILLO, A. & TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamou area, Northern Turkey.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 58, 63-81.
- POLJAK, J. & TAJDER, M. (1942): Bazalt Čemerikovca kraj Donjeg Pazarišta u Velebitu.- *Vjestnik Hrv. Drž. geol. zavoda*, 1, 93-103.
- PRELOGOVIĆ, E. (1989): Neotektonski pokreti u području sjevernog Velebita i dijela Like.- *Geol. vjesnik*, 42, 133-147.
- SALOPEK, M. (1938): Karbon i perm u okolici Brušana i Sv. Roka.- *Ljetopis JAZU*, 51, 135-139, Zagreb.
- SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I. (1976): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Gospić L33-127.- *Inst. geol. istraž. Zagreb* (1967), *Sav. geol. Zavod Beograd*, 64p.
- TARI KOVAČIĆ, V. & MRINJEK, E. (1994): The role of Paleogene clastics in the tectonic interpretation of Northern Dalmatia (Southern Croatia).- *Geol. Croatica*, 47/1, 127-138.
- TARI KOVAČIĆ, V. (1995): Razvoj pliocenskih i pleistocenskih naslaga sjevernog i srednjeg Jadrana - karotažni markeri i korelacija.- 1. hrv. geol. Kongres, *Zbornik radova*, 2, 609-612.
- ZANTEDESCHI, C. (1994): New Rb-Sr radiometric data from Colli Euganei (North-Eastern Italy).- *Mem. Sci. Geol.*, 46, 17-22.
- ZAMPIERI, D. (1995): Tertiary extension in the southern Trento Platform, Southern Alps, Italy.- *Tectonics*, 14, 645-657.



Geochemical Baseline Mapping of Southern Dalmatia: Geogene and Environmental Implications

Slobodan MIKO, Zoran PEH, Željko KASTMÜLLER, Vedrana SUČIĆ,
Stanka NOVOSEL-ŠKORIĆ & Vlasta JURIŠIĆ-MITROVIĆ

Key words: Soils, Geochemical baseline mapping, Geogene associations, Environmental impact, Heavy metals.

Abstract

The results of the geochemical baseline soil mapping program of Southern Dalmatia are interpreted with the aid of multivariate statistics, the R-mode factor analysis and discriminant analysis. The obtained data indicate that the analyzed elements, their contents and distribution are a reflection of the underlying bedrock. A five factor model accounting for 75 % of the data variability seemed appropriate to portray the geochemical variability within the topsoil in Southern Dalmatia. The Fe-Th-V-La-Ti-Y-Nb-La-Pb-Ba-(Ca-Mg) factor accounts for 35 % of the total data variability. The factor scores distribution patterns show low values for soils developed in alluvial plains, dolomites and flysch bedrock (high concentrations of Ca and Mg), high values correspond to brown soils on limestone and terra rossa. The most interesting association in a geogene sense is the K-Na-Ba factor (factor 2) with high factor scores associated with soils on the Adriatic islands Mljet, Korčula and Hvar and slightly lower values on the island of Brač and the Pelješac peninsula. The plot of the discriminant loadings and the position of group centroids in reduced discriminant space show that the topsoils of the islands of Mljet, Hvar and Korčula have significantly different (higher concentrations) of K, Na and Ba, especially on their southern coasts. The distribution pattern of Zn, Cd, P and Pb association, with high positive scores that correlate positively with altitude are interpreted as a consequence of anthropogenic influence through atmospheric deposition.

1. INTRODUCTION

Geochemical baselines, or natural background concentrations for an element refers to its natural variations in contents in the secondary (surficial) environment (soils, stream sediments, lake sediments). The geochemical baseline was defined within the IGCP 360 project Global Geochemical Baselines making them of essential importance in environmental legislation, which prescribes limits for heavy metals in contaminated land

and other surficial materials as defined by environmental authorities. This is complicated by regional geochemical data that show that natural background concentration vary widely due to differences in basic geology and the origin of the soil cover as in the Mediterranean regions of Croatia. In areas with sedimentary rocks such as carbonates in the Croatian karst regions it remains the same for most elements over a wide region. Although there are some elements that do not follow this general rule due to the nature of soils developed on carbonate rocks, namely, these soils are derived from parent materials that accumulated on the carbonate rocks via different transport mechanisms (wind, erosional processes, etc.). In the region of southern Dalmatia the geochemistry of the topsoil cover distinguishes two major environments; the southern Adriatic islands (Mljet, Korčula and Hvar and to some extent Brač) and the mainland which consist of two somewhat less pronounced environments (alluvial valleys-polja and carbonate bedrock, PEH & MIKO, 1999).

In the past decades it has been recognized that atmophile trace metals such as As, Hg, Pb, Zn, Cd and Cu contribute most to soil pollution as atmospheric fallout (LANTZY & MACKENZIE, 1979; FÖRSTNER, 1995; MATSCHULLAT & BOZAU, 1996). The results of geochemical baseline mapping with the aid of multivariate statistics also find application in environmental evaluation of carbonate terrains (PIRC et al., 1991; PROHIĆ et al., 1995, 1997, 1998; MIKO et al., 1999b) indicating that areas considered previously as well preserved natural karstic landscapes have been to some degree affected by airborne pollution.

2. THE GEOLOGY AND SOIL COVER

The geological setting of the investigated area ensues from a very lively tectonic activity since the Palaeozoic times. The whole area is dominated by the nappe complex which places the Dinaric over the Adriatic structures. In its western part these structures looks more whole, while eastwardly they show strong subsequent

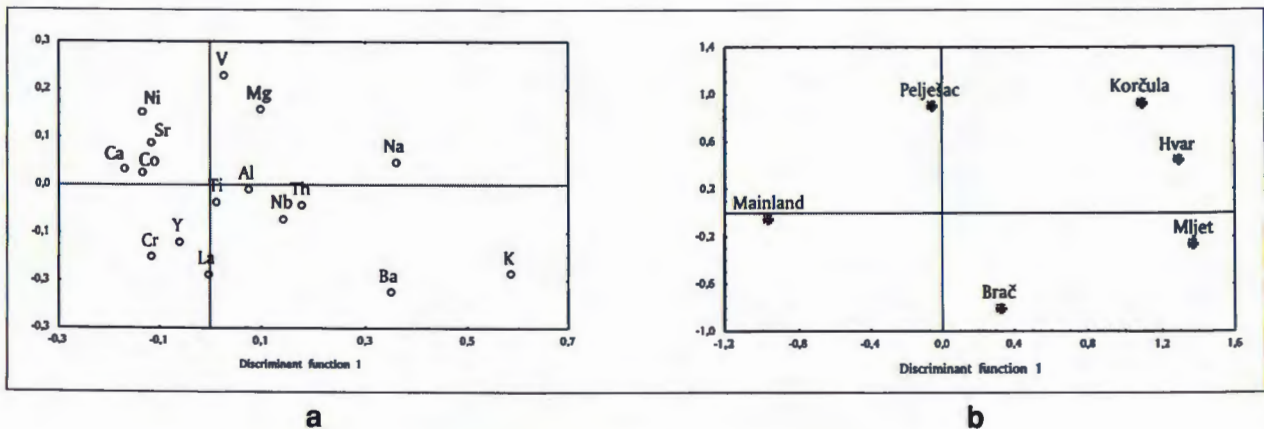


Fig. 1 Scatterplot of discriminant loadings (a) and group centroids (b) in reduced discriminant space.

thrusting of the former into the latter. Limestones and dolomites prevail in the area, which occasionally, due to tectonics and later karstification are abundant in deep karstic phenomena. The flysch rocks, mostly marls appear, though more rarely, along with the carbonate rocks. The occurrence of clastic rocks apart from the flysch complex is extremely rare being related only to the Palaeozoic tectonic windows far to the northwest. The stratigraphic sequence can be traced from the Palaeozoic to the Quaternary.

The carbonate bedrock is covered by various types of terra rossa, brown soils and rendzinas, although higher altitudes also sustain zones with dark organo-mineral soils. These melanosols are also notably present on some islands (Brač, Hvar, Mljet) as well as on the Pelješac peninsula. On non-carbonate lithologies mostly immature soils such as rendzinas have developed, but also the alluvial, holomorphic soils and gleys which typify wet and flooded river plains. Much of the soils on flysch, and more rarely, on carbonate areas are anthropogenized and transformed into rigosols.

3. GEOCHEMICAL DATA AND STATISTICAL METHODS

The geochemical data used in this work were obtained from 155 sites on a regular grid (each site consists of 5 topsoil subsamples) on the south Dalmatia mainland and 72 sites on the islands Korčula, Hvar and Brač during a low sampling density regional geochemical mapping program (1 site per 25 km²). A high density sampling program (1 site per 1 km²) was performed on the island of Mljet where 75 sites were sampled.

The topsoil samples were taken at each sampling site from 3 to 5 shallow pits (mollic horizon, from 0 to 20 cm deep).

The sieved (-63 μm) soil samples were analyzed after near total (hot 4 acid mixture: HClO₄-HNO₃-HCl-HF at 200 °C) digestion for 35 elements by ICP-AES in the ACME Labs in Vancouver. The following elements were used in this study: Cu, Ni, Co, Mn, Fe, Th, V, Cr,

Ti, Al, Zr, Sc, Ca, Mg, Sr, Na, K, Ba, Pb, Zn, As, Cd and P.

For decades both exploration and environmental geochemical studies frequently use R-mode factor analysis as a multivariate mathematical technique to reveal the underlying structure of a specific set of data (DAVIS, 1986). As such, it is commonly used as a tool of data reduction, with a purpose of clearer insight into the basic relationships among variables (R-mode). The factor scores of element associations present the most straightforward way of portraying the influence of each independent factor in every single sample, or observation point. When plotted on a map they disclose some significant local or regional geochemical signature.

The multivariate statistical analysis of multigroup discrimination was employed in statistical processing of geochemical data with the aim to separate as best as possible among different regional geochemical provinces. The method allows the discrimination between objects which belong to one of several different groups having the same assemblage of predictor variables. It is applied to an *a priori* defined set of geological observations, or as in this case, the southern Croatian islands and the corresponding mainland.

5. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the geochemical baseline mapping program of Southern Dalmatia is summarized in an atlas of single element maps (PEH & MIKO, 1999). In order to present a summary of these results a five factor model accounting for 75 % of the data variability seemed appropriate to portray the geochemical variability within the topsoil in southern Dalmatia.

The Fe-Th-V-La-Ti-Y-Nb-La-Pb-Ba-(Ca-Mg) factor (Table 1) accounts for 35 % of the total data variability. The factor scores distribution patterns show low values for soils developed in alluvial plains, dolomites and flysch bedrock (high concentrations of Ca and Mg), high values correspond to brown soils on limestone and terra rossa. This element association is the major geo-

VARIABLE	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
Pb	0.61	0.07	0.07	0.35	-0.07
Fe	0.82	0.10	0.50	0.11	0.02
Th	0.94	0.10	0.11	-0.03	-0.03
V	0.72	-0.09	0.49	-0.07	-0.05
Ca	-0.72	-0.43	-0.26	-0.18	0.31
La	0.93	0.05	0.14	0.13	0.07
Ti	0.86	0.08	0.37	0.09	-0.01
Al	0.91	0.13	0.29	0.06	-0.01
Y	0.72	0.05	0.19	0.24	0.19
Nb	0.93	0.08	0.13	0.05	-0.06
Ba	0.66	0.56	-0.09	-0.06	0.06
Na	-0.06	0.89	0.19	-0.11	0.03
K	0.39	0.78	-0.01	-0.23	0.10
Cr	0.24	0.08	0.82	0.17	0.07
Ni	0.10	-0.01	0.93	0.08	0.11
Mn	0.46	0.23	0.44	0.42	0.20
Co	0.48	0.12	0.75	0.21	0.19
As	0.25	0.11	0.44	-0.25	-0.21
Altitude	0.02	-0.25	0.00	0.58	-0.29
Cd	0.27	-0.21	0.25	0.66	0.05
Zn	0.49	-0.10	0.30	0.61	0.11
P	-0.04	0.04	-0.05	0.79	0.16
Sr	-0.42	-0.19	-0.14	-0.16	0.75
Mg	-0.51	-0.22	-0.22	-0.15	-0.56
Cu	0.07	0.11	0.16	0.10	0.32
Expl.Var	8.74	2.26	3.66	2.47	1.40
Prp.Totl	0.35	0.09	0.15	0.10	0.06

Table 1 The factor loadings; extraction: principal components; varimax rotation; N=303.

gene association of soils developed on Croatian karst (PROHIĆ et al., 1998; MIKO et al., 1999a).

The most interesting association in a geogene sense is the K-Na-Ba factor (factor 2) with high factor scores associated with soils on the Adriatic islands Mljet, Korčula and Hvar and slightly lower values on the island of Brač and the Pelješac peninsula. Also with the aid of discriminant analysis, where the mainland, the four islands and the peninsula were treated as separate groups, the first discriminant function which accounts for more than 75 % of the total variability of the groups turned out to be highly loaded by these elements (Fig. 1a). The discriminating potential of the other four discriminating functions is negligible. The plot of the discriminant loadings (Fig. 1a) and the position of group centroids (Fig. 1b) in reduced discriminant space show that the topsoils of the islands Mljet, Hvar and Korčula have significantly different (higher) concentrations of K, Na and Ba especially on their southern coastal regions as seen on the distribution of discriminant scores of the first discriminant function (Fig. 2).

The high concentrations of these elements were also observed in the surficial sediments of the southern part of the Adriatic sea by DOLENEC et al. (1998). Some

of the high Na values are associated with NaCl from the sea water, but the association of elements and their spatial distribution implies an eolian influence connected with Vesuvian volcanism. A detailed mineralogical analysis is yet to prove these presumptions.

Factor 3 with high loading for Cr, Ni, Co, Mn, Fe and with lower loading V, Ti and Al is hard to interpret unequivocally because in some regions it confers to basaltic influence while in others, probably to felsic components of weathered clastic materials (flysch deposits). Factor 4 is interpreted as the anthropogenic, since it is loaded with Zn, Cd, P and a slightly lower values for Pb and altitude. This is very similar to the karst regions of western Croatia (Risnjak National Park) where a similar distribution pattern is also present (MIKO et al., 1999b) and the high positive scores that correlate positively with altitude are interpreted as a consequence of acid rain deposition. The relationship between the potentially toxic elements Cd, Zn, Pb is best illustrated on the plots of element concentrations normalized on Al (to reduce variability due to carbonate dilution effects) with altitude. The increase of Cd and Zn with altitude is evident (Fig. 3). These are some of the more evident applications of geochemical baseline data.

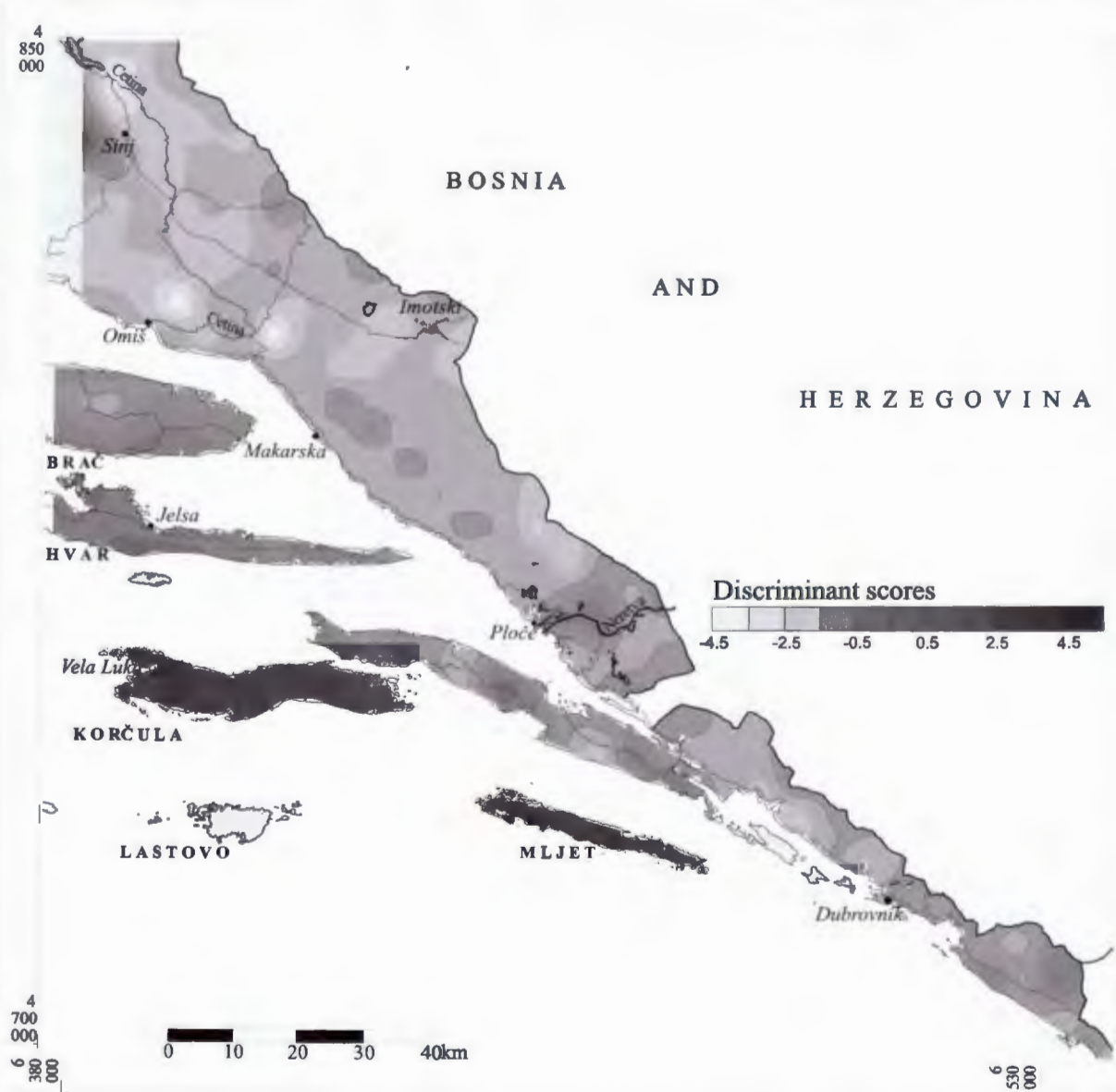


Fig 2 The distribution map of discriminant scores for the first discriminant function (K, Na, Ba).

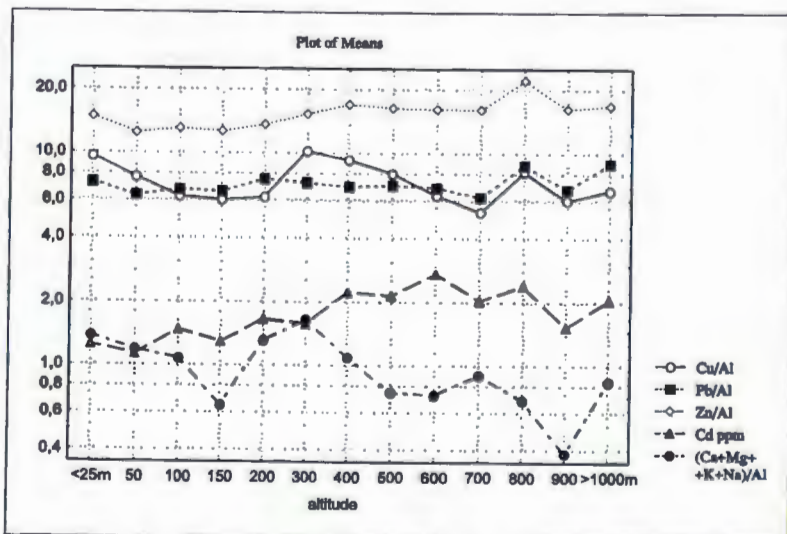


Fig. 3 Distribution of some elements and the weathering index $(Ca+Mg+K+Na)/Al$ in respect with altitude.

6. REFERENCES:

- DAVIS, J.C. (1986): Statistics and data analysis in geology.- John Wiley & Sons, New York, 646 p.
- DOLENEC, T., FAGANELI, J. & PIRC, S. (1998): Major, minor and trace elements in surficial sediments from the open Adriatic Sea: a regional geochemical study.- *Geol. Croatica* 51/1, 59-73.
- FÖRSTNER, U. (1995): Land contamination by metals - global scope and magnitude of problem.- In: ALLEN, H.E., HUANG, C.P., BAILY, G.W. & BOWERS, A.R., (eds.): Metal speciation and contamination of soil.- CRC Press, 358 p.
- LANTZY, R.J. & MACKENZIE, F.T. (1979): Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43, 511-525.
- MATSCHULLAT, J. & BOZAU, E. (1996): Atmospheric element input in the Eastern Ore Mountains.- *Appl. Geochem.*, 11, 149-154.
- MIKO, S., DURN, G. & PROHIĆ, E. (1999a): Evaluation of terra rossa geochemical baselines from Croatian karst regions.- *J. Geochem. Explor.*, 66, 173-182.
- MIKO, S., PEH, Z., BUKOVEC, D., PROHIĆ, E. & KASTMÜLLER, Ž. (1999b): Geochemical baseline mapping and Pb pollution assesment of soils on karst in Western Croatia.- *Natura Croatica* (in press).
- PEH, Z. & MIKO, S. (1999): The geochemical atlas of Middle and Southern Dalmatia.- Open file report (in Croatian), Institute of Geology, Zagreb, 102 p.
- PIRC, S., McNEAL, M.J., LENARČIĆ, T., PROHIĆ, E. & SVRKOTA, R. (1991): Geochemical mapping of carbonate terrain.- *Bull. Inst. Metall. Min., Applied Earth Sci.*, 100, B74-B83.
- PROHIĆ, E., MIKO, S. & PEH, Z. (1995): Normalization and trace element contamination of soils in a karstic polje - an example from the Sinjsko Polje, Croatia.- *Geol. Croatica*, 48/1, 67-86.
- PROHIĆ, E., HAUSBERGER, G. & DAVIS, J.C. (1997): Geochemical patterns in soils of the karst region, Croatia.- *J. Geochem. Explor.*, 60, 127-138.
- PROHIĆ, E., PEH, Z. & MIKO, S. (1998): Geochemical characterization of karst polje - an example from Sinjsko polje, Croatia.- *Environmental Geology*, 33/4, 263-273.





Kontrastni ultraalkalijski litoklasti iz pliocenskih naslaga u podmorju Dugotočkog bazena (Hrvatska)

Contrasting Ultraalkali Lithoclasts in Pliocene Sedimentary Rocks from the Depression of Dugi
Otok Island, Adriatic Off-shore (Croatia)

Danica MILETIĆ¹ & Boško LUGOVIĆ²

Ključne riječi: Hrvatska, jadransko podmorje, Dugi otok, pliocen, litoklasti, leucititi, nefeliniti, porijeklo.

Key words: Croatia, Adriatic off-shore, Island of Dugi Otok, Pliocene, Lithoclasts, Leucitites, Nephelinites, Origin.

Sažetak

Početak pliocenske transgresivne sukcesije po miocenskoj podlozi markiran je u Dugotočkom bazenu pojavom planktonske foraminifere *Globorotalia margaritae* i obilnom zastupljenošću kemijski zrelog glaukonitičnog materijala u laporima i slabo vezanim glinovitim siltitima i pješčenjacima. Horizonti s vulkanskim materijalom slijede u litološki sličnoj sukcesiji a markirani su zadnjom pojavom *Gt. margaritae* te pojavom planktonskih foraminifera grupe *Globorotalia crassaformis* i razvojnog niza *Gt. puncticulata* - *Gt. bononiensis* prije 3,40 do 2,31 milijuna godina. Ovi horizonti u nekim podmorskim bušotinama Dugotočkog bazena sadrže litoklaste ultraalkalijskih vulkanskih stijena mediteranske (leucititi) i atlantske geokemijske provenijence (nefeliniti) te kristaloklaste i litoklaste kalcijsko-alkalijske do šošonitne vulkanske svojte. Apeninski pliocenski vulkani mogući su izvor kalcijsko-alkalijskog i šošonitnog vulkanoklastičnog materijala. Porijeklo ultraalkalijskih litoklasta nije riješeno. Dozvoljava se mogućnost da potječu iz nekog zasad nepoznatog izvorišta lociranog istočno od Apeninskog poluotoka, u području Jadranske ploče.

Abstract

In the depression of Dugi Otok island the beginning of the Pliocene transgressive succession over the Miocene sedimentary rocks coincides with the appearance of planktonic foraminifera *Globorotalia margaritae* and the abundance of chemically highly evolved glauconitic material in alternating layers of marls and poorly consolidated clayey siltites and sandstones. Volcanic material-bearing horizons are marked by extinction of *Gt. margaritae* and occurrence of planktonic foraminifera *Globorotalia puncticulata* to *Gt. bononiensis* and the group of *Globorotalia crassaformis*, and thus the age of deposition can be paleontologically constrained to Upper Pliocene (3.40-2.31 Ma). The horizons contain melilitic ultraalkali lithoclasts typical of Mediterranean Clan (leucitites) and of Atlantic volcanic affinity (nefelinites), and additionally may contain volcanoclastic material indicative of calc-alkali to shoshonitic volcanism. It appears viable that the ultraalkali lithoclasts were derived from still unknown source(s) located to the east of Apennine peninsula, in the area of Adriatic plate. The edifices of calc-alkali to shoshonitic air-borne tephra might have been Pliocene Apenninic volcanoes.

1. UVOD

Smatra se da u istočnom dijelu jadranskog podmorja i njegovom bliskom kopnenom zaleđu u Vanjskim Dinariidima ne postoji magmatska (vulkanska) aktivnost mlađa od trijasa, iako u sedimentima mlađeg kenozoika postoje vulkanoklastični horizonti ili tufovi u podmorju, na otocima i kopnu. Izvorište vulkanoklastičnog materijala najčešće ostaje nepoznato ili se traži u apeninskim vulkanskim provincijama u Italiji, i samo se iznimno

pretpostavlja porijeklo iz nepoznatih vulkana lociranih bliže, u istočnom dijelu jadranskog prostora.

Nedavno su u pliocenskim naslagama iz bušotina u Dugotočkom bazenu pronađene krhotine ultraalkalijskih vulkanskih stijena inače tipičnih za intrakontinentalni vulkanizam mediteranskog (leucititi) i atlantskog (nefeliniti) tipa. Njihova je pojava ovdje neočekivana i iznenađujuća. Pliocenski horizonti su biostratigrafski i paleoekološki detaljno raščlanjeni, a vulkanski materijal je mineraloški i petrološki karakteriziran elektron-

¹INA-Naftaplin, PJ laboratorij, Lovinčićeva 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

skom mikroanalizom. Rezultati ne govore u prilog mogućnosti da su vulkani aktivni tijekom pliocena na Apeninskom poluotoku bili izvorište ovih ultraalkaljskih litoklasta, a dopuštaju mogućnost hipotetskog izvorišta smještenog istočnije, unutar Jadranske ploče.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Jadransko podmorje intenzivno se bušilo zadnjih tri desetak godina sa svrhom pronalazjenja ugljikovodika. Postoje brojni neobjavljeni rezultati istraživanja koji se mogu naći u Fondu stručne dokumentacije INA-Naftaplina.

TURK (1971) je na temelju seizmičkih mjerenja izvršio strukturno-tektonsku rajonizaciju sjeveroistočnog dijela jadranskog podmorja pri čemu je pojas širok 10-15 km uz sjevernodalmatinski arhipelag označio kao zonu jačeg tektonskog poremećaja a najistureniju zonu prema centru Jadrana označio zonom horstovskih struktura. BRDAREVIĆ & OLUIĆ (1979) interpretiraju rezultate geomagnetnih mjerenja u jadranskom podmorju i lociraju vršni dio kristalinske podloge na prosječnu dubinu od 10 km; pretpostavljaju da je izgrađena od slabomagnetičnih magmatskih stijena u koje su se tijekom geoloških razdoblja utiskivali bazični magmatiti. U predjelu Dugog otoka kristalinska je podloga najpliće položena, a nalazi se na dubini od oko 6 km.

JENKO & BISTRČIĆ (1978) interpretiraju Dugootočki bazen kao tercijarni marinski bazen formiran do helveta koji transgresijom u donjem pliocenu postaje dio jedinstvenog prostora Jadranskog mora. Omeđen je zadrarskim arhipelagom, Jadranskim pragom i Istarskom platformom. MILETIĆ & BAJRAKTAREVIĆ (1995) koreliraju naslage neogena u distalnom području Dugootočkog bazena: donjopliocenske naslage su transgresivne na miocensku podlogu koja je u području Jadranskog praga u karbonatnom razvoju, a na rubu Padskog bazena je grade laporiti i pješčenjaci. KALAC et al. (1995) dokumentiraju kontinuiran razvoj pliocenskih naslaga u Dugootočkom bazenu i procjenjuju debljinu pliocenskih naslaga na oko 200 metara.

U pliocenskim naslagama Srednjojadranskog praga glinoviti i laporoviti horizonti imaju pojačano gama zračenje koje se veže za prisustvo kerogene tvari (VU-LAMA, 1997). Ove naslage se mogu korelirati uzduž cijelog strukturnog uzdignuća Središnjeg jadranskog praga (TARI KOVAČIĆ, 1995). Fragmente ultraalkaljskih vulkanskih stijena u pliocenskim sedimentima Dugootočkog bazena po prvi put spominju MILETIĆ & LUGOVIĆ (1996).

3. ANALITIČKE TEHNIKE

Istraživanja su vršena na materijalu iz isplake koji je pri bušenju prikupljan u intervalima od 5 metara. Količina raspoloživog materijala za analizu nije prelazila 50 g. Uzorci krhotina stijena iz isplake su obrađeni metod-

om razmuljivanja i mokrog prosijavanja na sitima dimenzija očica 0,010, 0,063 i 1,6 mm. Ukupna količina materijala iz isplake zaostalog na sitima ne prelazi 10% mase uzorka i pretežno je čine fosili. Fosili, kristali i fragmenti vulkanskih stijena odvojeni su magnetnom separacijom i ručnim odabirom. Foraminiferska fauna analizirana je pomoću mikroskopa u reflektiranom svjetlu, a reprezentativni primjerci dodatno su analizirani elektronskim mikroskopom Philips SEM 515 opremljenim spektrometrom EDAX PV 9900 za analizu rendgenskog zračenja. Kemijski sastav minerala je analiziran elektronskom mikrosondom Camebax SX51 metodom disperzije valnih duljina uz radne uvjete od 15 kV i 20 nA. Defokusirani elektronski snop širine 10 µm korišten je za analizu feldspata, feldspatoida i glaukonitičnog materijala.

4. GEOLOGIJA I PALEONTOLOGIJA

Čestice vulkansko-porijekla (litoklasti i kristaloklasti) registrirane su u naslagama gornjeg pliocena iz bušotina Krana-1, Kornati more-4 i Kristina-1. Bušotina Krana-1 sadrži litoklaste leucitita s tek ponekim litoklastom nefelinita u plićim nivoima. U bušotini Kornati more-4 nađeni su litoklasti nefelinita i tek izuzetno litoklasti latita u plićim horizontima, dok Kristina-1 sadrži samo vulkanske kristaloklaste. Ultraalkaljski litoklasti prikupljeni su u intervalu od četrdeset metara (870-910 m Krana-1; 610-650 m Kornati more-4) a kristaloklasti u bušotini Kristina-1 u intervalu od deset metara (740-750 m). U vrijeme pripreme ovog članka nađeni su ultraalkaljski litoklasti u naslagama gornjeg pliocena i u bušotini Jadran-13. Sve navedene bušotine nalaze se zapadno i jugozapadno od Zadra.

U navedenim bušotinama potvrđeno je da su naslage pliocena u jasnom transgresivnom kontaktu s podinskim naslagama miocena. Početak transgresije obilježen je fosiliferim, slabo vezanim laporima i glinovitim siltitima-pješčenjacima s puno glaukonitičnog materijala koji im daje svijetlu maslinastozelenu boju. Pirit je obavezno prisutan. Glaukonitični materijal dolazi u šupljinama fosila ili potiskuje matriks u fragmentima klastičnih sedimentnih stijena, dok se homogeni glaukonit nalazi u formi samostalnih, zaobljenih zrna tamnozeleno boje. Ovakav glaukonit se sporadično nalazi i u početnim horizontima s ultraalkaljskim litoklastima. Taloženje klastičnih marinskih sedimentnih stijena kontinuirano se nastavlja u pleistocen.

Neposrednu podinu horizonata s vulkanskim materijalom tvore laporiti u izmjeni s glinovitim psamitnim i psefitnim sedimentnim stijenama. Ove naslage sadrže brojnu zajednicu foraminifera u kojoj je utvrđena zadnja masovna pojava planktonske foraminifere *Globorotalia margaritae* BOLLI & BERMUDEZ karakteristične za donji pliocen (BERGGREN et al., 1995). Horizonti s vulkanskim materijalom sadrže primjerke bentičkih i planktonskih foraminifera dio kojih, oko 30%, ima sivkaste a ne bijele stijenke kućica. Bentičke fora-

minifere zastupljene su s 34 vrste iz 22 roda i sve su predstavljene malim brojem individua. Planktonske foraminifere su zastupljene manjim brojem vrsta (13 vrsta u 6 rodova) ali s velikim brojem individua. Najvažnije su provodne globorotalije, a zastupljeni su i globigerinoidesi, globigerine i orbuline. U biostratigrafskom pogledu najznačajnije su *Globorotalia ex. gr. crassaformis* (GALLOWAY & WISSLER), *Gt. puncticulata* (DESHAYES) - *Gt. bononiensis* DONDI, te u plićim nivoima *Globorotalia inflata* D'ORBIGNY s karakterističnom zajednicom globigerinoidesa.

5. PETROGRAFIJA I KEMIZAM MINERALA

Čestice ultraalkalijskih litoklasta su relativno krupne, ali rijetko veće od 5 mm. Budući da su afanitne strukture, čine se dovoljno krupne da budu reprezentativne. Izdvojena su dva dominantna litotipa koja se po mineraloškoj klasifikacijskoj shemi (STRECKEISEN, 1978) mogu nazvati leucitit i nefelinit; oba tipa su melilitni varijeteti. Ovi litoklasti su oštrobridni i doimlju se kao krhotine krupnijih cjelina. Vulkanoklasti sastava latita su posve rijetki, dok se pojedini kristaloklasti, vulkanskog i kontinentalnog porijekla, nalaze sporadično. Njihova veličina ne prelazi 0,5 mm.

5.1. LEUCITITI

Fragmenti leucitita su ekstremno svježiji. Imaju holokristalnu porfirnu do serijatnu strukturu s krupnijim kristalima idiomorfnog leucita i svijetlozelenog monoklinskog piroksena u matriksu izgrađenom od istih minerala te podređeno olivina, melilita, nefelina, obojenog tinjca i magnetita. Apatit je akcesoran.

Leucit se sastavom približava idealnoj formuli i sadrži maksimalno 0,81% Fe_2O_3 . Klinopirokseni imaju varijabilan sastav $\text{Wo}_{47,4-52,4}\text{En}_{31,0-44,0}\text{Fs}_{6,4-18,4}$, pokazuju širok raspon koncentracije aluminija (2,3-9,7% Al_2O_3) i relativno nizak sadržaj titana (< 2,3% TiO_2). Većina ih ima homogenu magnezičnu jezgru i tanki željezoviti rub, neki su oscilirajuće zonirani. Olivini imaju također homogenu magnezičnu jezgru ($\text{Fo}_{73,8-83,0}$) i tanki, normalno zonirani željezoviti rub ($\text{Fo}_{46,6-72,8}$) u kojem sadržaj MnO i CaO kontinuirano raste do koncentracija od 2,3% MnO i 3,1% CaO. Ove koncentracije spadaju među najveće uopće izmjerene u olivinima iz ultraalkalijskih vulkanskih stijena. Nefelini u intersticijama imaju sastav $\text{Ne}_{69,2-63,1}\text{Ks}_{34,7-30,3}\text{Q}_{2,5-0,2}$ i sadrže do po 1,5% CaO i Fe_2O_3 . Neka zrna nefelina pokazuju manjak silicija, tj. imaju negativnu vrijednost za Q. Melilit je obogaćen akermanitnom (65,5-74,6 mol. %) i Na-melilitnom komponentom (28,2-37,0 mol. %); udio gelenitne i Na-ferimelilitne komponente manji je od 4,4 mol. % odnosno 2,3 mol. %. Smeđi tinjac je flogopit ($\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) = 0,81-0,88$) s vrlo visokom koncentracijom barija (5,3-9,4% BaO) i relativno niskom koncentracijom titana (1,1-2,2% TiO_2). Magnetit je vrlo promjenjivog sastava s obzirom na sadržaj titana i aluminija (0,6-9,9% TiO_2 ,

1,1-7,9% Al_2O_3); koncentracija magnezija je niska (0,04-2,3% MgO).

5.2. NEFELITI

Nefeliniti su oligofirme porfirne strukture s fenokristalima olivina, crnog monoklinskog piroksena, rijetko i magnetita, unutar osnove izgrađene od monoklinskog piroksena, intersticijskog nefelina te podređeno olivina, melilita i magnetita. Perovskit i apatit su akcesorni minerali.

Utrusci olivina su zonirani s magnezičnim jezgrama ($\text{Fo}_{86,8-84,3}$) i blago željezovitim rubovima ($\text{Fo}_{82,9-81,0}$). U istom smjeru se sadržaj nikla smanjuje (0,37-0,05% NiO), a kalcija i mangana raste (0,13-1,06% CaO; 0,12-0,57% MnO). Fenokristali olivina najčešće su svježiji, no ponekad su to pseudomorfoze klorita ili serpentina. Olivin u matriksu ima sastav sličan rubovima utrusaka. Klinopirokseni imaju homogenu magnezičnu jezgru, u središnjim i rubnim dijelovima su raznovrsno zonirani, te im sastav koleba u granicama $\text{Wo}_{55,2-49,2}\text{En}_{42,5-31,5}\text{Fs}_{13,6-8,1}$. Imaju širok raspon koncentracije aluminija i titana s vrlo visokim maksimalnim vrijednostima od 12,2% Al_2O_3 i 7,7% TiO_2 na rubovima zrna. Nefelin je sastava $\text{Ne}_{76,7-74,0}\text{Ks}_{23,9-19,5}\text{Q}_{2,4-0,9}$ i sadrži do 1,3% CaO i 2,0% Fe_2O_3 . Dio intersticijskog nefelina izmijenjen je u zeolit. Opaki mineral je titanski magnetit (18,4-22,3% TiO_2) s povišenim sadržajem magnezija i aluminija (< 7,1% MgO, < 4,5% Al_2O_3). Melilit je obogaćen akermanitnom (62,2-69,7 mol. %) i Na-melilitnom komponentom (28,2-37,0 mol. %), dok je udio gelenitne i Na-ferimelilitne komponente manji od 3,4 mol. % odnosno 0,9 mol. %.

5.3. OSTALI KLASTI

Ustanovljen je neznatan broj zaobljenih klasta kontinentalnog podrijetla (kvarc, granat, albit, klorit, fragmenti glaukonitiziranih pješčenjaka-siltita) i relativno velik broj vulkanskih kristaloklasta koji imaju jasne kristalne konture i često su idealno idiomorfni. Među vulkanskim kristaloklastima određeni su plagioklas (An_{48-80}), sanidin (Or_{74-76}), magnezijska hornblenda koja sadrži do 2,2% TiO_2 i 8,1% Al_2O_3 , flogopit s 3,7% TiO_2 i 1,3% BaO, te magnetit, leucit i apatit. Litoklasti latita imaju porfirnu strukturu s hipidiomorfnim fenokristalima sanidina (Or_{41-54}), plagioklasa (An_{31-49}) i diopsida ($\text{Mg}\# = 79$) u matriksu od istih minerala i apatita. Samostalna zrna glaukonita imaju kemijski vrlo zreo sastav (< 8,9% K_2O), najčešće su homogena, no ponekad sadrže uklopke apatita, titanita i albita. Glaukonitični materijal u šupljinama fosila i u matriksu kontinentalnih litoklasta pokazuje slabiju kemijsku zrelost (> 4,6% K_2O).

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Pliocenske sedimentne stijene u Dugootočkom bazenu leže transgresivno na različitim horizontima mio-

censkih naslaga. Transgresija je brzo napredovala uz slab utjecaj kopna na sedimentaciju u bazenu čemu u prilog govori obilan udio glaukonitičnog materijala koji ima kemijski sastav karakterističan za glaukonit visoke zrelosti. Uvjeti taloženja su bili lokalno reduktivni i vrlo povoljni za glaukonitizaciju supstrata različite podatnosti i porijekla. Nije isključeno vulkansko porijeklo za dio supstrata iz kojeg je nastao kemijski evoluirani glaukonit. Krajem donjeg pliocena u bazenu se ostvaruju ekološki stabilni uvjeti karakteristični za područje vanjskog šelfa na što ukazuje asocijacija bentičkih foraminifera s puno različitih vrsta. Masovna prisutnost planktonskih foraminifera ukazuje na dobru komunikaciju s otvorenim morem.

Granice između pojedinih stratigrafskih zona u analiziranim bušotinama Dugootočkog bazena utvrđene su na temelju zadnje pojave provodnih foraminifera. Početak pojavljivanja vulkanskih litoklasta u ovim bušotinama markiran je prestankom pojavljivanja planktonske foraminifere *Globorotalia margaritae*. Dublje položeni horizonti s vulkanitima karakteriziraju se provodnim planktonskim foraminiferama koje pripadaju evolucijskom slijedu *Globorotalia puncticulata* - *Gt. bononiensis*, *Globorotalia* ex. gr. *crassaformis*, a u vršnim horizontima su i foraminifere *Globorotalia inflata*. Prema paleontološkoj dokumentaciji starost taloženja ovog vulkanskih materijala može se procijeniti na 3,40 do 2,31 milijun godina (ZACHARIASSE et al., 1989) što odgovara gornjem pliocenu (BERGGREN et al., 1995). Determinirane bentičke foraminifere, osobito one užeg stratigrafskog raspona, u potpunosti potvrđuju navedenu starost.

Indikativno je da skoro trećina bentičkih i planktonskih foraminifera u horizontima s vulkanitima ima sivo obojene stijenske kućica. Nije se moglo pouzdano zaključiti je li obojenje posljedica piritizacije i glaukonitizacije tijekom dijagenese ili je uzrokovano povremenom kontaminacijom okoliša.

Ultraalkalijske vulkanske stijene karakteristične su za kontinentalne riftne zone ali se također nalaze i u orogenetskim vulkanskim provincijama. U širem mediteranskom orogenetskom prostoru rasprostranjene su kalijske vulkanske stijene neogensko-kvartarne starosti (KELLER, 1983) među kojima se posebno značajni kvartarni ultrakalijski leucitni vulkaniti središnje Italije (tzv. "Mediterranean Clan"). Natrijsko alkalijski vulkanizam u Italiji vremenski se podudara s kalijskim, a reprezentativni vulkani su na Eolskom otočju i istočnoj obali Sicilije (ELLAM et al., 1989). Ultraalkalijski vulkanizam u Italiji je započeo prije 1,3 milijuna godina kao najmlađa, peta faza vulkanske aktivnosti koja na Apeninskom poluotoku, istočnom dijelu Tirenskog mora i pripadajućim otocima traje od oligocena do recentnog doba (SAVELLI, 1988).

Vulkani na Apeninskom poluotoku očito ne mogu biti izvorište fragmentima leucitita i nefelinita u pliocenskim naslagama Dugootočkog bazena. Čestice ultraalkalijskih vulkanita u Dugootočkom bazenu su oštro-

bridne i po svemu sudeći prije taloženja nisu pretrpjele dugotrajan transport. Porijeklo iz bazena rijeke Po nije vjerojatno jer je tijekom gornjeg pliocena Centralni jadranski prag bio dovoljno izdignut da priječi donos materijala iz tog smjera u Dugootočki bazen. U prilog ovoj tvrdnji ide i činjenica da horizonti s vulkanitima sadrže vrlo malo čestica izvanbazenskog porijekla. Za razliku od ultraalkalijskih litoklasta, vulkanoklasti kalcijsko-alkalijskih do šošonitnih karakteristika mogu predstavljati tefru iz ekstenzivnih erupcija apeninskih vulkana aktivnih za vrijeme treće faze vulkanske aktivnosti, prije 5,5-1,8 milijuna godina (SAVELLI, 1988), povezane na subdukciju Jadranske kontinentalne litosfere pod Apenine (SERRI et al., 1993).

Izvorište ultraalkalijskih litoklasta iz pliocenskih sedimenata Dugootočkog bazena tek treba pronaći. Najbliža pojava srodnih stijena unutar Jadranske ploče nalazi se u dijelu Apulijske karbonatne platforme na poluotoku Gargano, gdje na lokalitetu Punta delle Pietre Nere izdanjuju kalijske i natrijske mafitne vulkanske stijene eocensko-oligocenske starosti (u: DI GIROLAMO, 1978). Postanak ovih stijena veže se za ekstenziju unutar Jadranske ploče. Po svemu sudeći, postoji realna mogućnost da se izvorište koje tražimo nalazi unutar Jadranske ploče u sklopu malih, izoliranih eruptivnih žarišta maksimalno gornjopliocenske starosti. Začudujuće je da su dugootočki melilitni leucititi i nefeliniti petrografski i mineraloški vrlo slični stijenama kvartarnog vulkana Vulture (MELLUSO et al., 1996), koji se izoliran nalazi na samom rubu navlačne fronte južnih Apenina prema Jadranskoj ploči. Ta činjenica zahtijeva sličan tektonomagmatski položaj. LAVECCHIA & ST-OPPA (1996) predložili su geodinamički model "pasivnog riftinga" za genezu kalijsko alkalijskih i melilitnih stijena vulkana lociranih u istočnoj rubnoj zoni Apenina. Njihov model, poprilično alternativan jer ne uključuje utjecaj subducirane Jadranske ploče, podrazumijeva plaštni vulkanizam navedenog tipa koji s 2 do 3 milijuna godina razmaka slijedi intrakontinentalnu ekstenziju.

7. LITERATURA

- BERGGREN, W.A., KENT, D.V., SWISHER, C.C.III & AUBRY, M.-P. (1995): A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy.- U: BERGGREN, W.A., KENT, D.V., AUBRY, M.-P. & HARDENBOL, J. (ur.): Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation. SEPM Spec. Publ., 54, 129-212.
- BRDAREVIĆ, N. & OLUIĆ, M. (1979): Prilog poznavanju tektonske građe jadranskog podmorja.- Zbornik radova Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu u povodu 40 godina rada (1939-1979), 318-332.
- DI GIROLAMO, P. (1978): Geotectonic settings of Miocene-Quaternary volcanism in and around the Eastern Tyrrhenian Sea border (Italy) as deduced from major element geochemistry.- Bull. Volcanol., 41, 229-250.
- ELLAM, R.M., HAWKESWORTH, C.J., MENZIES, M.A. & ROGERS, N.W. (1989): The volcanism of Southern Italy: role of subduction and the relationship between potassic and sodic alkaline magmatism.- J. Geophys. Res., 94, 4589-4601.

- JENKO, K. & BISTRČIĆ, A. (1978): Doprinos poznavanju biostratigrafskih odnosa mlađeg paleogena, neogena i kvartara Dugo-otočkog bazena.- IX kongres geol. Jugoslavije, Sarajevo, Zbornik radova, 25-39.
- KALAC, K., BAJRAKTAREVIĆ, Z., MARKOVIĆ, Z., BARBIĆ, Z. & GUŠIĆ, I. (1995): Stratigrafija pliocensko-pleistocenskih sedimenata u bušotinama podmorja Jadrana.- 1. hrvat. geol. kongres, Opatija, Zbornik radova, 1, 281-284.
- KELLER, J. (1983): Potassic lavas in the orogenic volcanism of the Mediterranean area.- *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 18, 321-335
- LAVECCHIA, G. & STOPPA, F. (1996): The tectonic significance of Italian magmatism: an alternative view to the popular interpretation.- *Terra Nova*, 8, 435-446.
- MELLUSO, L., MORRA, V. & DI GIROLAMO, P. (1996): The Mt. Vulture volcanic complex (Italy): evidence for distinct parental magmas and for residual melts with melilite.- *Mineral. Petrol.*, 56, 225-250.
- MILETIĆ, D. & BAJRAKTAREVIĆ, B. (1995): Biostratigrafska korelacija neogenskih sedimenata Jadrana u bušotinama Koraljka-1, Ksenija-1, i Ksenija-3.- 1. hrvat. geol. kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 379-382.
- MILETIĆ, D. & LUGOVIĆ, B. (1996): Pliocene volcanoclastic sediments in the Croatian Adriatic off-shore region (drill-hole Kruna-1).- U: DROBNE, K., GORIČAN, Š. & KOTNIK, B. (ur.): International workshop Postojna 96: The role of impact processes in the geological and biological evolution of planet Earth, 52-53.
- SAVELLI, C. (1988): Late Oligocene to Recent episodes of magmatism in and around the Tyrrhenian Sea: implications for the processes of opening in a young inter-arc basin of intra-orogenic (Mediterranean) type.- *Tectonophysics*, 146, 163-181.
- SERRI, G., INNOCENTI, F. & MANETTI, P. (1993): Geochemical and petrological evidence of the subduction of delaminated Adriatic continental lithosphere in the genesis of Neogene-Quaternary magmatism of central Italy.- *Tectonophysics*, 223, 117-147.
- STRECKEISEN, A. (1978): Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks.- *N. Jb. Miner. Abh.*, 134, 1-14.
- TURK, M. (1971): Grada tercijarnog bazena u sjeveroistočnom dijelu Jadranskog mora.- *Nafta*, 22, 275-282.
- TARI KOVIČIĆ, V. (1995): Razvoj pliocenskih i pleistocenskih naslaga sjevernog i srednjeg Jadrana - karotazni markeri i korelacija.- 1. hrvat. geol. kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 609-612.
- VULAMA, I. (1997): Pliocene source rocks, Miocene reservoir rocks and origin of the gas accumulation of the Irma field (Northern Adriatic, Croatia) based on wireline-logging.- *Geol. Croatica*, 50, 89-103.
- ZACHARIASSE, W.J., ZIJDERVELD, J.D.A., LANGEREIS, C.G., HILGEN, F.J. & VERHALLEN, P.J. (1989): Early Late Pliocene biochronology and surface water temperature variations in the Mediterranean.- *Marine Micropaleontology*, 14, 339-355.





Periadriatsko-savsko-varđarska suturna zona

The Periadriatic-Sava-Vardar Suture Zone

Jakob PAMIĆ

Ključne riječi: Periadriatska zona, Prelazna alpsko-dinaridska zona, Savsko-varđarska zona, suturna zona.

Key words: Periadriatic zone, Transitional Alpine-Dinaridic zone, Sava-Vardar zone, Suture zone.

Sažetak

U radu se razmatra problem međusobne prostorne povezanosti Periadriatske i Savsko-varđarske zone koje su u klasičnoj alpskoj geologiji bile tretirane kao "zone ožiljaka", t.j. razdjelnica između "sjeverne grane", sa sjevernim strukturnim vergencijama i "južne grane", s južnim vergencijama Alpsko-himalajskog pojasa. Prema modernim geodinamskim shvaćanjima, Periadriatsko-savsko-varđarska zona, koja se po pružanju može pratiti oko 1700 km, predstavlja suturnu zonu, odnosno konvergencijsko područje između euroazijske i afričke ploče. Ona je presječena Prelaznom alpsko-dinaridskom zonom koja je prostorno definirana Periadriatskom i Zagreb-Zemlen rasjednom zonom.

Kredno-tercijarne magmatske, sedimentne i metamorfne formacije Periadriatsko-savsko-varđarske zone paleogeografski su vezane za zalučni bazen (BARB) koji je nastao nakon prve gornjojurske intraoceanske obdukcije ofiolita. Te su tvorevine kompletno razvijene u savsko-varđarskom dijelu zone, dok su u samoj Periadriatskoj zoni potpuno reducirane što je uvjetovano postorogenetskim tercijarnim uklinjavanjem Apulije u Euroaziju. To dovodi do desnih pružno-kliznih ("strike-slip") rasjeda duž kojih dolazi u području Alpa do istočno usmjerenog transporta tektonski razbijenih paleozojsko-mezozojskih blokova mehanizmom tektonike istiskivanja u prostor današnjeg Panonskog bazena.

UVOD

Periadriatska zona (PZ) - SUESS (1985), predstavlja jedno od geološki najviše izučavanih područja u Europi. Nakon devedesetogodišnjeg istraživanja su BOEGEL (1975) i EXNER (1976) kompilirali sve raspoložive podatke o PZ, no intenzivno studiranje se nastavlja sve do danas (LAUBSCHER, 1983; SCHMID et al., 1989; VON BLANCKENBURG et al., 1998; FODOR et al., 1998 i drugi).

PZ predstavlja rasjedni sustav prvog reda, približnog pružanja I-Z, koji je nastao složenim desnim pružno-kliznim rasjedanjima nakon završne eocenske alp-

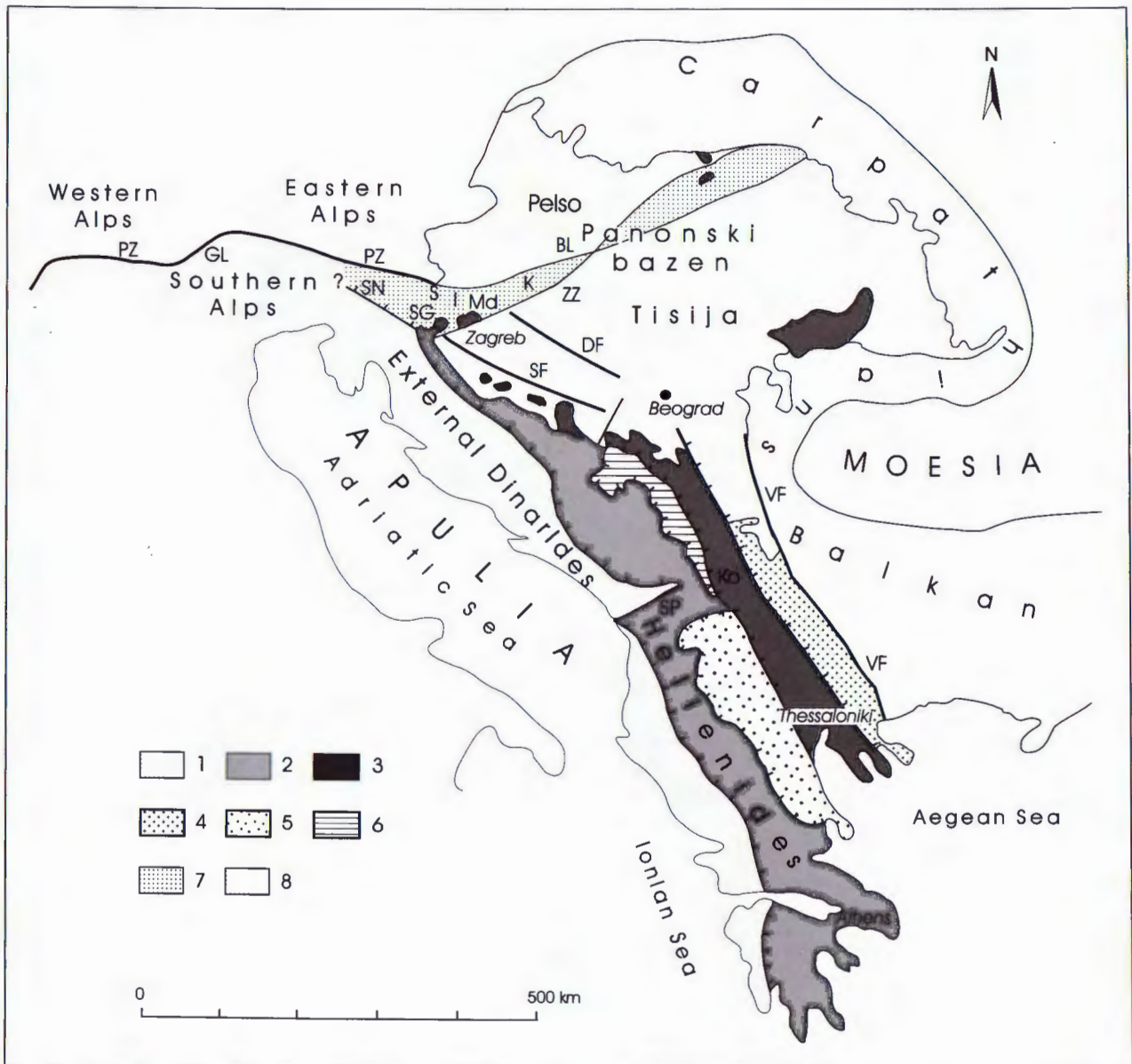
Abstract

In the paper is considered the spatial linkage between the Periadriatic zone and the Sava-Vardar zone which were treated in the classical Alpine geology as a "Narbe zone", i.e., the parting line between north-verging "northern branch" and south-verging "southern branch" of the Alpine-Himalaya belt. According to modern geodynamic ideas, the Periadriatic-Sava-Vardar zone, which can be traced along strike for about 1700 km, represents a suture zone or converging area between Eurasian and African plates. It is transected by the Transitional Alpine-Dinaridic zone spatially defined by the Periadriatic-Balaton and Zagreb-Zemlen fault systems.

Cretaceous-Tertiary formations of the Periadriatic-Sava-Vardar zone are paleogeographically related to a back-arc basin (BARB), originating after first Late Jurassic intraoceanic obduction of ophiolites. These formations are completely developed in the Sava-Vardar parts of the zone and they wedge out northwestward towards the Periadriatic zone. This structural shortage is brought about by postorogenic NNW indentation of Apulia into Eurasia which gave rise to dextral strike-slip fault system along which east-directed transport of broken Paleozoic-Mesozoic blocks from the Alps were displaced by a mechanism of escape tectonics into the Pannonian Basin.

inske kompresijske faze, odnosno za vrijeme oligocenske transpresijske faze (LAUBSCHER, 1983). PZ razgraničava južnovergentne Južne Alpe, od sjevernovergentnih Istočnih Alpi. Zbog te strukturne polarnosti PZ se je u klasičnoj alpskoj geologiji bila interpretirala kao "zona ožiljaka" (Narbe Zone), ustvari, kao regionalna razdjelnica između gorskih sustava "sjeverne i južne grane bilateralnog orogena" (KOBBER, 1930 i drugi). U novijim radovima temeljenim na tektonici ploča, PZ se interpretira kao konvergencijsko područje između afričke i euroazijske ploče (DEWEY et al., 1973; DEWEY, 1988), odnosno kao suturna zona.

U svojim najistočnijim dijelovima PZ povija na IJI i tone pod tercijarne sedimente Panonskog bazena (PB)



Sl. 1 Geotektonska skica Alpa, Dinarida i Helenida s položajem Periadriatsko-savsko-varđarske suturne zone. Legenda: 1) eksterne zone; 2) unutarnje zone; 3) Periadriatsko-savsko-varđarska zona; 4) Srpsko-makedonski masiv; 5) Pelagonidi; 6) Golija zona; 7) Prelazna alpsko-dinaridska zona; 8) Panonski bazen. Rasjedi: BL) Balaton PZ) Periadriatic; SF) Sava; SN) Sava nappe; SP) Skadar-Peć; VF) Vardar; ZZ) Zagreb-Zemlen. Planine: I) Ivanščica; K) Kalnik; Ko) Kopaonik; Md) Medvednica; S) Strahinščica; SG) Samoborska Gora.

Fig. 1 Geotectonic sketch map of the Alps, Dinarides and Hellenides showing position of the Periadriatic-Sava-Vardar suture zone. Legend: 1) External units; 2) Internal units; 3) Periadriatic-Sava-Vardar Zone; 4) Serbo-Macedonian Massif; 5) Pelagonides; 6) Golija Zone; 7) Transitional Alpine-Dinaride Zone; 8) Pannonian Basin. Faults: BL) Balaton PZ) Periadriatic; SF) Sava; SN) Sava nappe; SP) Skadar-Peć; VF) Vardar; ZZ) Zagreb-Zemlen. Mountains: I) Ivanščica; K) Kalnik; Ko) Kopaonik; Md) Medvednica; S) Strahinščica; SG) Samoborska Gora.

ispod kojih skreće na SI i spaja se s Balatonskim rasjedom u Periadriatsko-balatonsku rasjednu zonu koja dijeli podlogu PB na zapadnu Pelso jedinicu i istočnu Tisiju (FÜLÖP et al., 1987) - sl. 1.

S druge strane, već je preko 100 godina uvriježeno mišljenje da se Alpe nastavljaju kontinuirano u pravcu II u Dinaride pa bi, prema tome, bilo logično očekivati da se i PZ nastavlja u Dinaride. Cilj je ovog rada razmatranje problema kontinuiteta PZ u područje Dinarida i njezinog nastavka u Helenide.

PERIADRIATSKA ZONA

PZ, koja je u svojim središnjim dijelovima presječena poprečnim Giudicaria rasjedom, može se po pružanju pratiti na dužini od oko 600-700 km. Južno od nje su smještene Južne Alpe, izgrađene pretežno od variscijskih metasedimenata preko kojih leže transgresivno gornjokarbonske i permske tvorevine, te formacije alpskog orogenetskog ciklusa koje se u mnogim aspektima mogu pozitivno korelirati s mezozojskim formacija-

ma Vanjskih Dinarida. Te su tvorevine borane i izluskane s jasnom južnom vergencijom, a u smjeru PL se ustrmljuju tako da je sam kontakt vertikalni i duž njega su stijene jako kataklazirane i milonitizirane (FANINGER & ŠTRUCL, 1978; SCHMID et al., 1989 i drugi).

Sjeverno od PZ nalaze se Istočne Alpe izgrađene od austroalpskog sustava sjevernovergentnih navlaka. Duž same PZ dolaze variscijske i prijevariscijske kristaline stijene s transgresivnim gornjokarbonsko-permskim naslagama, te mezozojske, pretežno trijaskne formacije koje se facijesno mogu korelirati s trijaskim tvorevinama Južnih Alpi (TOLLMANN, 1980; NEUBAUER & VON RAUMER, 1993 i drugi).

U PZ se karakteristično javljaju tonalitetni plutoni, pa zato neki ovu strukturu označavaju "tonalitetna linija". Starost tih plutona je najčešće donjoooligocenska (32-28 Ma), tako da imaju jasan postorogenetski karakter (VON BLANCKENBURG et al., 1998). Radi se o složenoj asocijaciji stijena u kojoj, pored dominantnih tonalita, dolaze i granodioriti, dioriti i gabrodioriti.

Unutar PZ dosad nisu utvrđene nikakve alpske subdukcijско-kolizijske tvorevine koje bi se mogle korelirati s bilo kojom tektonostratigrafskom jedinicom Unutarnjih Dinarida.

PRELAZNA ALPSKO-DINARIDSKA ZONA (PADZ)

MIOČ (1984) je u središnjoj Sloveniji odvojio Savsku navlaku kojoj je frontalni dio navučen na SI obod Vanjskih Dinarida, dok joj sjeverni rub definira jedan od jugoistočnih ogranaka Periadriatskog lineamenta s povijanjem prema Balatonskoj liniji. Na zapadu ta navlaka ostaje otvorena (?) na granici s Italijom. Savska je navlaka na istoku razdvojena neogenskim rasjedima i račva se u jugoistočni (Samoborska gora - Una - središnji Dinaridi) i istočni odvojak (Strahinščica - Ivanščica - Kalnik - Medvednica) do Zagreb-Zemljen rasjednog sustava. To je, ustvari, Zagorsko-srednjotransdanubijska zona (PAMIĆ & TOMLJENOVIC, 1998) koja je izvedena iz tzv. Srednjotransdanubijske zone (FÜLÖP et al., 1987), uklještena između tektonskih jedinica Pelso i Tisije.

PADZ je izgrađena od variscijskih silursko-donjokarbonskih metasedimenata s grinšistima i transgresivnih gornjokarbonsko-permskih formacija te klastično-karbonatnih tvorevina alpskog razvoja trijasa (MIOČ, 1996), koje se pozitivno koreliraju s Južnim Alpama.

No u PADZ dolaze i mezozojske formacije dinaridskog afiniteta. COUSIN (1970) je izdvojio "Slovensko korito" izgrađeno od jursko-krednih bazenskih vapnenaca, šejlova i rošnjaka. MIOČ (1996) spominje i prisutnost ofiolita koje, doduše, dosad nitko nije opisao. Dosta veliko rasprostiranje imaju i flišne tvorevine raspone od alb-cenomana do senona i paleogena (PLENIČAR & PREMUR, 1977).

SAVSKO-VARDARSKA ZONA (SVZ)

Prvi je KOSSMAT (1924) odvojio Vardarsku zonu (VZ) u području bivše jugoslavenske i grčke Makedonije, a na sjever ju je povukao do Kopaonika. Kasnije su AUBOUIN et al. (1970) produžili VZ dalje na sjever sve do južno od Beograda i nastavili je sa sjeverozapadnim povijanjem u područje južno od Save. Najsjeverozapadniji izdanci VZ nalaze se na sjevernim padinama Medvednice (PAMIĆ & TOMLJENOVIC, 1998), odnosno u PADZ, odakle se nastavljaju dalje na SI u Mađarsku i susjednu JI Slovačku (PAMIĆ, 1999). Dakle, tako prostorno šire definirana VZ može se po pružanju pratiti kroz cijele Dinaride i Helenide na dužini od oko 900-1000 km, pa i više, imajući na umu da se njezini izdanci javljaju i na grčkim otocima u Egejskom moru (PAPANIKOLAU, 1996/97). Budući da joj se veći dio SSI pružanja proteže u području Vardara, a nešto manji dio ZSZ pružanja u širem području rijeke Save, to joj je adekvatniji naziv Savsko-vargarska zona (SVZ).

SVZ je izgrađena od nekoliko tektonostratigrafskih jedinica (PAMIĆ, 1993, 1999).

- 1) Donjokredni paraflis preko kojeg transgresivno leži rasprostranjeniji turonski do donjopa-leogenski flis.
- 2) Gornjokredna do (?) donjopaleogenska bimodalna bazaltno-riolitna formacija s manjim probojima A-granita.
- 3) Gornjopaleogenske regionalnometamorfne sekvencije nastale progresivnim metamorfizmom iz okolnih gornjokredno-paleogenih flišnih tvorevina. Paleogensku starost dokumentiraju izotopne starosti (48-38 Ma) visokometamornih stijena i paleofloristički gornjokredno-ranopaleogeni nalazi u nisko-metamornim dijelovima progresivnometamornih sekvencija.
- 4) Paleogeni tektonizirani ofiolitni melanž u kojem su najmlađi egzotični fragmenti vapnenaca gornjokredne i paleocenske starosti, a fragmenti bazičnih ofiolita imaju radiometrijske starosti od 110 do 66 Ma. Ta se tvorevina jasno razlikuje od jurskog olisostromskog melanža Dinaridske ofiolitne zone na kojem transgresivno naliježu kredne klastično-karbonatne formacije urgonskog tipa.
- 5) Problematična paleozojska (?) "Veleška serija", izgrađena od metasedimenata grinšistnog facijesa, izdvojena je u VZ s. *stricto* (KOSSMAT, 1924). No, u litološki identičnim formacijama, izdvojenim kao Veleška serija u sjevernim dijelovima SVZ utvrđena je trijaska i kredna fauna (DIMITRIJEVIĆ, 1995). U grčkim dijelovima SVZ identične metasedimentne formacije uvrštene su u mezozoik i paleogen (MERCIER, 1973; PAPANIKOLAU, 1996/97; MIRCHARD, 1993).
- 6) Srednjoeocenski kolizijski (sinkinematiski) S-graniti, uz podređene I-granite (Sr-izokrona starost 48 Ma) prostorno su vezani za gornjopaleogenske regional-

nometamorfne sekvencije, a prema geofizičkim podacima granitni su plutoni češći u podzemlju negoli na površini (VUKAŠINOVIĆ, 1991).

- 7) Poslijekolizijske tercijarne vulkanske asocijacije predstavljene a) donjoooligocenskim (35-28 Ma) šošonitima; b) egersko-egenburškim (28,5-19,7 Ma) andezitima i podređenim dacitima i bazaltima; c) karpatskim (17-16 Ma) šošonitima; d) badenskim (15-13 Ma) bazaltima, andezitima, dacitima i riolitima i e) poslijebadenskim (12-8 Ma) bazaltima i alkalijskim bazaltima. Neke od njih su udružene s tercijarnim granitoidnim stijenama.

DISKUSIJA

PZ i SVZ predstavljaju jedinstvenu suturnu zonu koja je u dodirnom području sjeverozapadnih Dinarida i južnih Alpa presječena s PADZ-om (sl. 1). Osnovna geotektonska i geodinamska karakteristika Periadriatsko-savsko-varždarske zone (PSVZ) je ta da ona definira granicu između afričke i euroazijske ploče, odnosno njezinih fragmenata: Apulije i Mezije (DEWEY, 1988).

Litostatigrafske jedinice PSVZ nisu jednako sačuvane u današnjem strukturnom planu Alpa, Dinarida i Helenida, zbog razlika u njihovoj geodinamskoj evoluciji u završnim stadijima alpinske orogeneze, naročito u postorogenetskom stadiju. Nakon gornjojursko-donjokredne orogenetske faze, kada su obducirani ofioliti Dinaridske ofiolitne zone preko pasivnog oboda Apulije, dolazi do znatne prostorne redukcije dinaridsko-helenidskog Tetisa i na njegovom sjevernom obodu formira se zalučni bazen (BARB) koji je vjerojatno predstavljao najzapadnije dijelove prostrane tetiske subdukcijske zone, s protezanjem na istok sve do Afganistana (CAMOIN et al., 1993).

Kredno-paleogenski fliš predstavlja posljednju marinsku formaciju koja je taložena u jarku subdukcijske strukture, a istovremena bazaltno-riolitna formacija s A-granitima, prema svojim geokemijskim karakteristikama, ima jasne subdukcijske (BARB) značajke. U takvom okolišu dolazi i do sekundarne akrecije oceanске kore, odnosno do produžetka generiranja ofiolita.

U srednjem eocenu (ca 45 Ma) odigrava se završna kolizijsko-kompresijska faza kada dolazi do (i) tektoniziranja prvotnog jurskog olistostromskog melanža, uz dodatno uklapanje mladih kaotičnih fragmenata i drugog smještavanja (obdukcije) ofiolita; (ii) alpskog regionalnog metamorfizma i (iii) sinkinematskog granitnog plutonizma. Izdižu se Dinaridi, Helenidi i Alpe i nastupa postorogenetski alpski stadij, naprije transpresijska faza, karakterizirana snažnim desnim pružno-kliznim rasjedanjem, a zatim ekstenzijska koja dovodi do nastanka PB.

Na cijelom području protezanja SVZ, na dužini od oko 900-1000 km, sasvim je jasno da ona predstavlja

najunutarniju geotektonsku jedinicu Dinarida i Helenida, koja je nastala duž sjevernog aktivnog tetiskog ruba u kontaktu s euroazijskom pločom, odnosno njezinim mezijskim fragmentom.

No pojave tektonostratigrafskih jedinica dinaridskog afiniteta (gornjokredno-paleogenski fliš) u tektonskim oknima ispod Savske navlake u Sloveniji ukazuju na mogućnost paleogeografske povezanosti SVZ i PZ. U tom dodirnom području s Alpama dinaridske SZ-JI strukture postupno povijaju na ZSZ-IJI što se poklapa s pružanjem PZ u njenim naistočnijim dijelovima.

Ovaj se fenomen može objašnjavati tercijarnom postorogenetskom geodinamskom evolucijom šireg alpsko-dinaridsko-helenidskog prostora. Naime, nakon završne eocenske deformacijske faze apulijski se blok kreće u SZS smjeru i utiskuje u južne obodne dijelove Euroazije (BUTTERLIN et al., 1993; LORENZ et al., 1993). Pri takovim snažnim i produženim kolizijskim procesima u dodirnom području Južnih i Istočnih Alpi dolazi duž PZ do prebacivanja (navlačenja sa sjevernom vergencijom) paleozojsko-mezozojskih tektonostratigrafskih jedinica nastalih duž sjevernog oboda Apulije preko euroazijske podloge, s jedne strane, i do njihove prostorne redukcije, s druge strane. Kao rezultat tog sjevernog uklinjanja Apulije, dinaridske strukture zadbivaju svoje karakteristično SZ-JI pružanje.

Kao posljedica SZS utiskivanja Apulije i velike S-J redukcije paleozojsko-mezozojskih formacija nastalih duž sjevernog oboda Gondvane dolazi do snažnih desnih pružno-kliznih rasjedanja i tektonskog transporta paleozojsko-mezozojskih blokova u smjeru istoka u područje današnjeg PB mehanizmom tektonike istiskivanja - "escape tectonics" ili "extrusion tectonics" (KÁZMÉR & KOVÁCS, 1985). Tim se mehanizmom danas objašnjava prisutnost alohtonih egzotičnih paleozojsko-mezozojskih blokova u recentnoj strukturi PB i alohtonija paleozojsko-trijaskih formacija unutar PADZ (PAMIĆ, 1999).

Upravo tako objašnjeni nastanak PADZ nameće zaključak o međusobnoj paleogeografskoj povezanosti SVZ i PZ. Naime, u sastavu PADZ nalazimo izdanke tektoniziranog ofiolitnog melanža i gornjokredno-paleogenskih flišova, dakle, jedinica karakterističnih za SVZ. Ako je, prema danas opće prihvaćenom mišljenju, dodirno područje između Južnih i Istočnih Alpa, dakle, današnja PZ, predstavljalo izvorište iz kojeg su paleozojsko-mezozojski fragmenti kretani ekstruzijskom tektonikom u istočnom smjeru, onda je logično pretpostaviti da su u tom istom izvorištu morale biti prisutne i sve druge litologije današnje SVZ, uključujući i ofiolitni melanž. U takovoj se interpretaciji pretpostavlja da su prije eocenske kolizijske faze tektonostratigrafske jedinice SVZ bile prisutne i duž PZ, s tim da su one za vrijeme eocenske kompresijske faze znatno reducirane i kasnijim postorogenetskim mehanizmom tektonskog istiskivanja transportirane na istok u područje Panonskog bazena.

NAJVAŽNIJA LITERATURA

- AUBOUIN, J., BLANCHET, R., CADET, J.-P., CELET, P., CHARVET, J., CHOROWICZ, J., COUSIN, M. & RAMPNOUX, J.-P. (1970): Essai sur la géologie des Dinarides.- *Bull. Soc. Geol. Fr. Ser. 7*, 12, 1060-1095.
- BOEGEL, H. (1975): Zur Literatur über die "Periadriatische Naht".- *Verh. Geol. Bundesan.*, 2/3, 163-199.
- BUTTERLIN, J., VRIELYNCK, B., BIGNOT, G., CLERMONTÉ, J., COLCHEN, M., DERCOURT, J., GUIRAND, R., POISSON, A. & RICOU, E. (1993): Lutetian (46-40 Ma).- In: DERCOURT, J., RICOU, L.E. & VRIELYNCK, B. (eds.): Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps, Explanatory Notes. Gauthiers-Villars, Paris, 197-209.
- CAMMOIN, G., BELLION, Y., DERCOURT, J., GUIRAUD, R., LUKAS, J., POISSON, A., RICOU, E. & VRIELYNCK, B. (1993): Late Maastrichtian (69.5-65).- In: DERCOURT, J., RICOU, L.E. & VRIELYNCK, B. (eds.): Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps, Explanatory Notes. Gauthiers-Villars, Paris, 179-196.
- COUSIN, M. (1970): Esquisse géologique des confins italo-yougoslaves: leur place dans les Dinarides et Alpes méridionales.- *Bull. Geol. France, Ser. 7*, 12/6, 1034-1047.
- DEWEY, J.F. (1988): Extensional collapse of orogens.- *Tectonics*, 7, 1123-1139.
- DEWEY, J.F., PITMAN, W.C., RYAN, W.B.F. & BONIN, J. (1973): Plate tectonics and evolution of the Alpine system.- *Bull. Geol. Soc. Am.*, 84, 3137-3170.
- DIMITRIJEVIĆ, M. (1995): Geologija Jugoslavije.- Baurex, Beograd, 205 p.
- EXNER, C. (1976): Die geologische Position der Magmatite des periadriatischen Lineament.- *Verh. Geol. Bundesan.*, 2, 3-64.
- FANINGER, E. & ŠTRUCL, I. (1978): Plutonic emplacement in the Eastern Karavanke Alps.- *Geologija*, 21, 81-87, Ljubljana.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., SKABERNE, D., ČAR, J. & VRABEC, M. (1998): Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault: Implications for Alpine-Carpathian extrusion model.- *Tectonics*, 7, 690-709.
- FÜLÖP, J., BREZSNYANSZKY, K. & HAAS, J. (1987): The new map of basin basement of Hungary.- *Acta geol. Hung.*, 30, 3-20.
- KÁZMÉR, M. & KOVÁCS, S. (1985): Permian-Paleogene paleogeography along the eastern part of the Bakony-Drauzug Unit.- *Acta geol. Hung.*, 28, 71-84.
- KOBER, L. (1930): Grundgesetze des Bauplanes des alpinen Europe.- *Forsch. Fortsch.*, 29, 10-39.
- KOSSMAT, F. (1924): Geologie der zentralen Balkanhalbinsel.- Die Kriegsschauplätze 1914-1919 geolog. dargestellt, Berlin, 198 p.
- LAUBSCHER, H. (1983): The late Alpine (Periadriatic) intrusions and the Insubric Line.- *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 26, 21-30.
- LORENZ, C., BUTTERLIN, J., CAVELIER, C., CLERMONTÉ, J., COLCHEN, M., DERCOURT, J., GUIRAUD, R., MONTENAT, C., POISSON, A., RICOU, E. & SANDULESCU, M. (1993): Late Rupelian (30 to 28 Ma).- In: DERCOURT, J., RICOU, L.E. & VRIELYNCK, B. (eds.): Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps, Explanatory Notes. Gauthiers-Villars, Paris, 211-223.
- MERCIER, J. (1973): Etude géologique des zones internes des Hellenides en Macédoine Centrale (Grèce).- *Ann. Geol. Pays Hell.*, 20, 1-798.
- MIOČ, P. (1984): Geologija prethodnega območja med Južnimi in Vzhodnimi Alpami v Sloveniji.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 182 str.
- MIOČ, P. (1996): Explanation to the terrane map of Slovenia.- IGCP No 276, Geol. Survey, Ljubljana, 46 p.
- MIRCHARD, A. (1993): Metamorphic zonation in northern Greece, and its bearing on the Eohellenic obduction issue.- *Bull. Geol. Soc. Greece*, 28, 125-136.
- NEUBAUER, F. & VON RAUMER, J.F. (1993): The Alpine basement-linkage between Variscides and east-Mediterranean mountain belts.- In: VON RAUMER, J.F. & NEUBAUER, F. (eds.): Pre-Mesozoic geology in the Alps. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, 625-639.
- PAMIĆ, J. (1993): Eoalpine to Neoalpine magmatic and metamorphic processes in the northwestern Vardar Zone, the easternmost Periadriatic Zone and the southwestern Pannonian Basin.- *Tectonophysics*, 226, 503-518.
- PAMIĆ, J. (1999): Vardar zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean.- 4th Workshop on Alpine geological studies, Tübingen, Tübingen Geowiss. Arbeiten, 52, 106-107.
- PAMIĆ, J. & TOMLJENOVIĆ, B. (1998): Basic geological data on the Croatian part of the mid-Transdanubian Zone.- *Acta geol. Hung.*, 41, 389-400.
- PAPANIKOLAOU, D. (1996/97): The tectonostratigraphic terranes of the Hellenides.- *Ann. geol. pays Helleniques*, 37, 495-514.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. (1977): Osnovna geološka karta 1:100000, Tolmač za list Novo Mesto.- Geol. Zavod Ljubljana, Sav. geol. zavod Beograd, 61 p.
- SCHMID, S.M., AEBLI, H.R., HELLER, F. & ZINGG, A. (1989): The role of the Periadriatic Line in the tectonic evolution of the Alps.- In: COWARD, M., DIETRICH, D. & PARK, R.G. (eds.): Alpine tectonics. Geol. Soc. London Spec. Publ., 45, 153-171.
- SUESS, E. (1885): Das Anlitz der Erde.- Bd. 1, Wien, 778 p.
- TOLLMANN, A. (1980): Outline of the geology of Austria and selected excursions.- *Abh. Geol. Bundesan.*, 34, 197-255.
- VON BLANCKENBURG, F., KAGAMI, H., DEUTSCH, A., OBERLI, F., MEIER, M., WIEDENBECK, M., BARTH, S. & FISCHER, H. (1998): The origin of Alpine plutons along the Periadriatic Lineament.- *Schweiz. miner.-petr. Mitt.*, 78, 55-66.
- VUKAŠINOVIĆ, S. (1991): Aeromagnetske indikacije prekrivenih magmatita i jedinstvene razlomno-magmatogene strukture na pravcu Prosara-Motajica-Cer-Bukulja.- *Zap. SGD, Beograd*, 489-491.





Ottngian Lacustrine Sediments on Mt. Medvednica: Facies, Depositional Environments, and Tectonic Controls (Pannonian Basin System, Croatia)

Davor PAVELIĆ¹, Radovan AVANIĆ¹ & Jožica ZUPANIĆ²

Key words: Lacustrine sedimentation, Tectonic control, Early Miocene (Ottngian), Mt. Medvednica, Pannonian Basin System, Croatia.

Ključne riječi: jezerska sedimentacija, tektonska kontrola, rani miocen (otnang), Medvednica, Panonski bazenski sustav, Hrvatska.

Abstract

The evolution of the Ottngian lake was related to synsedimentary tectonics. The first phase consists of the fine-grained swamp deposits, overlain by carbonate deposits of the lake margin, and marls and thin turbidites of a deeper lake realms. These sediments reflect continued tectonic subsidence and deepening. The second phase shows a coarsening-upward trend with an increase of the proportion of clastic deposits, reflects delta progradation, and may be interpreted as a consequence of a relative tectonic quiescence. The third phase includes very silty marls and turbidites, and indicates renewed tectonic activity and deepening. Marine transgression in Karpatian, which terminated the evolution of the lake, is explained by the opening of the connection with Mediterranean sea due to tectonic subsidence.

Sažetak

Razvoj jezera tijekom otnanga bio je pod utjecajem sin-sedimentacijske tektonike. Prva faza razvoja sastoji se od sitnozrnatih taloga močvare prekrivenih karbonatnim naslagama ruba jezera, na kojima zatim leže lapori proslojeni tankim turbiditima dubljeg jezera. Ovi sedimenti odražavaju kontinuirano tektonsko spuštanje i produbljavanje okoliša. Druga faza pokazuje trend pokrupnjavanja naviše, s povećanim udjelom klastičnih naslaga i odražava progradaciju delte. Interpretirana je kao posljedica relativnog tektonskog smirenja. Treća faza uključuje vrlo siltozne lapore a indicira obnavljanje tektonske aktivnosti i produbljavanje. Marinska transgresija u karpatu kojom je dokinut razvoj jezera, objašnjena je uspostavom veze sa Sredozemljem uslijed tektonskog spuštanja.

1. INTRODUCTION

Lower Miocene sedimentary complex of Mt. Medvednica (north Croatia, Fig. 1) belongs to the SW marginal part of the Pannonian Basin System. This system started to form during the Early and Middle Miocene due to the collision of the African (=Apulian) and European plates, that resulted in back-arc extension (ROYDEN, 1988; HORVÁTH, 1993). During the Miocene and the Pliocene the basin was one of several Mediterranean back-arc basins.

The Lower Miocene fresh-water sediments of Mt. Medvednica, which are of probable Ottngian age (late Early Miocene - ŠIKIĆ, 1968; KOCHANSKY-DEVIDÉ & SLIŠKOVIĆ, 1978; BASCH, 1983), disconformably overlie strongly tectonized pre-Neogene basement. The sediments consist of a lower, alluvial

portion (PAVELIĆ et al., 1995), and an upper, lacustrine portion (AVANIĆ et al., 1995a, b).

The alluvial portion may attain a thickness of approximately 100 m. It is dominated by poorly stratified, pebble to cobble conglomerates, which reflect deposition within braided-stream systems (Fig. 2). General direction of streams was toward the NE. The coarse-grained character of these systems reflects the activation of faults at the closely situated active tectonic margins of the depositional basin.

The upper, lacustrine portion overlies the Ottngian alluvial clastics, and is about 105 m thick. Lacustrine environments are indicated by fresh-water mollusks, ostracods and haraceas (ŠIKIĆ, 1968; KOCHANSKY-DEVIDÉ & SLIŠKOVIĆ, 1978). Lacustrine sediments are overlain by marine Karpatian deposits (Fig. 2).

¹Institute of Geology, Sachsova 2, P.O.Box 268, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Mineralogy and Petrology, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia.

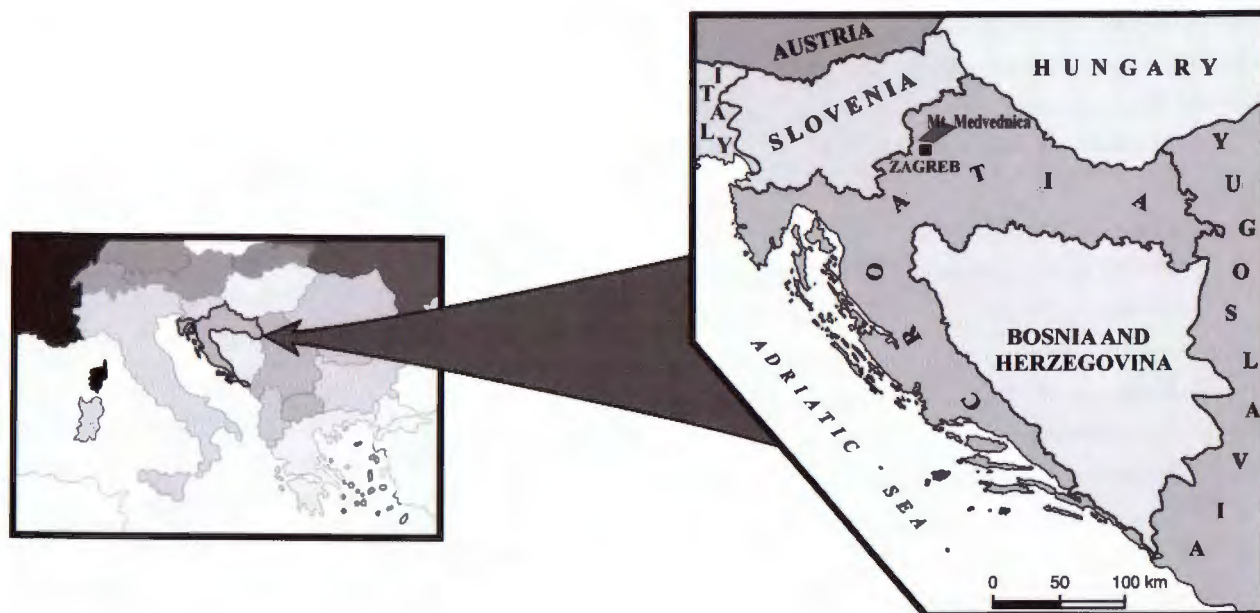


Fig. 1 Location map with study area (Mt. Medvednica).

This paper focuses on the lacustrine sedimentary fill, their transgressive - regressive - transgressive character, and tectonic implications.

2. FACIES AND DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS

Seven sedimentary facies have been recognized (PAVELIĆ, 1998).

Massive silts (F_1) occur only in the lowermost portion of the studied succession. Silts contain skeletons of fresh-water bivalves and ostracods, fragments of carbonized terrestrial flora, as well as intercalations of coal. This facies is interpreted as swamp and peat deposits.

Limestones (L) characterize the lower part of the lacustrine succession. Limestones are horizontally laminated or massive and commonly rich in molluscan shells, ostracods and haraceas. Several endemic species of *Congerina* commonly constitute coquinas (KOCHANSKY-DEVIDÉ & SLIŠKOVIĆ, 1978). These limestones originated in a shallow lake environment.

Marls (F_2) form units up to few meters thick. They may be horizontally laminated or massive. Marls are very silty in the uppermost part of the lacustrine succession. Fresh-water mollusks, ostracods, and fragments of terrestrial flora occur locally. Pyroclastics can also be found (MUTIĆ, 1969). Marls are interpreted as sediments of basinal realm of the lake.

Sands (S_n) are intercalated within marls (Fig. 2). Most sands are medium to fine-grained. In the upper part of the succession, they are coarse-grained and contain granules in some beds. Sand beds are mostly 1 to 2 cm thick, and rarely attain a thickness of up to 30 cm in

the upper part of succession. Bed bases are flat or show erosional scours. Sands are normally graded and were deposited within the basinal realm of the lake by turbidity currents (underflows), which derived from the river mouths.

Normally graded conglomerates (C_n) are 10 to 40 cm thick beds intercalated in marls (F_2), and occur in the upper part of the succession (Fig. 2). Conglomerates are clast-supported and of pebble-size. Matrix is represented by coarse-grained sandstone and granules. The conglomerates are interpreted as shallow pro-delta sediments deposited from gravely, high-density turbidity currents.

Massive, clast-supported conglomerate (C_c) represents a 10 m thick unit occurring in the upper part of the succession (Fig. 2). The sediment is chaotic and poorly sorted pebble to boulder conglomerate. The deposition occurred by cohesionless debris flow, at the toe of the coarse-grained delta.

Massive, matrix-supported conglomerates (C_m) represent the units 5-30 cm in thickness (Fig. 2). Grain-size varies from granule to cobble-size, with cobbles up to 15 cm in diameter. Matrix is sand and silt. Sorting is poor. These conglomerates were probably deposited from cohesive debris flow in the prodelta zone.

3. SEDIMENTATION AND TECTONICS

The studied succession consists of three parts. The sharp transition from coarse-grained alluvium to the fine-grained swamp deposits (Fig. 2) is regarded to have been a consequence of extensional tectonics, which caused subsidence (*sensu* BLAIR & BILODEAU,

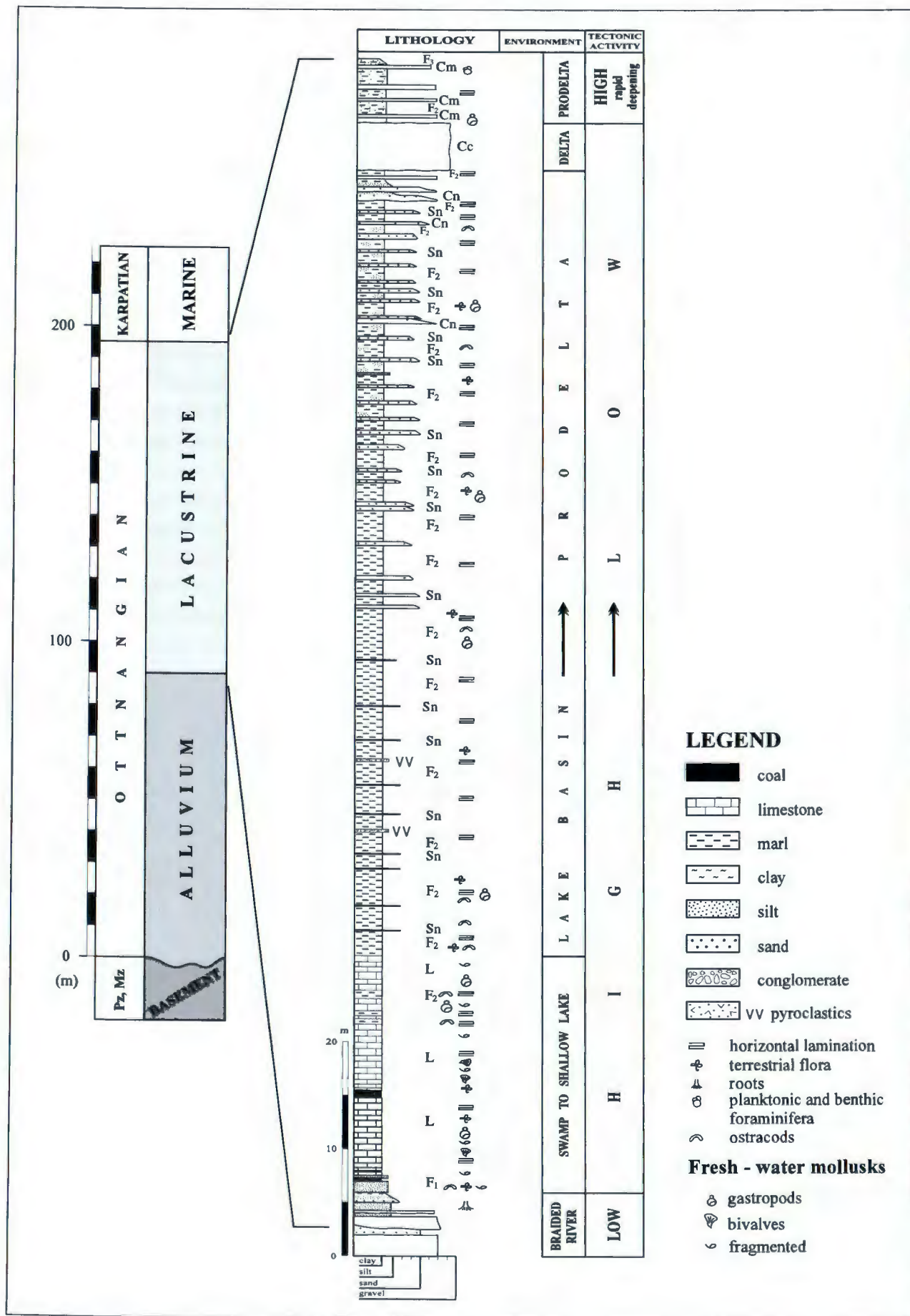


Fig. 2 Left: succession of Ottngian and Karpatian depositional environments in the area of the Mt. Medvednica. Right: synthetic log.

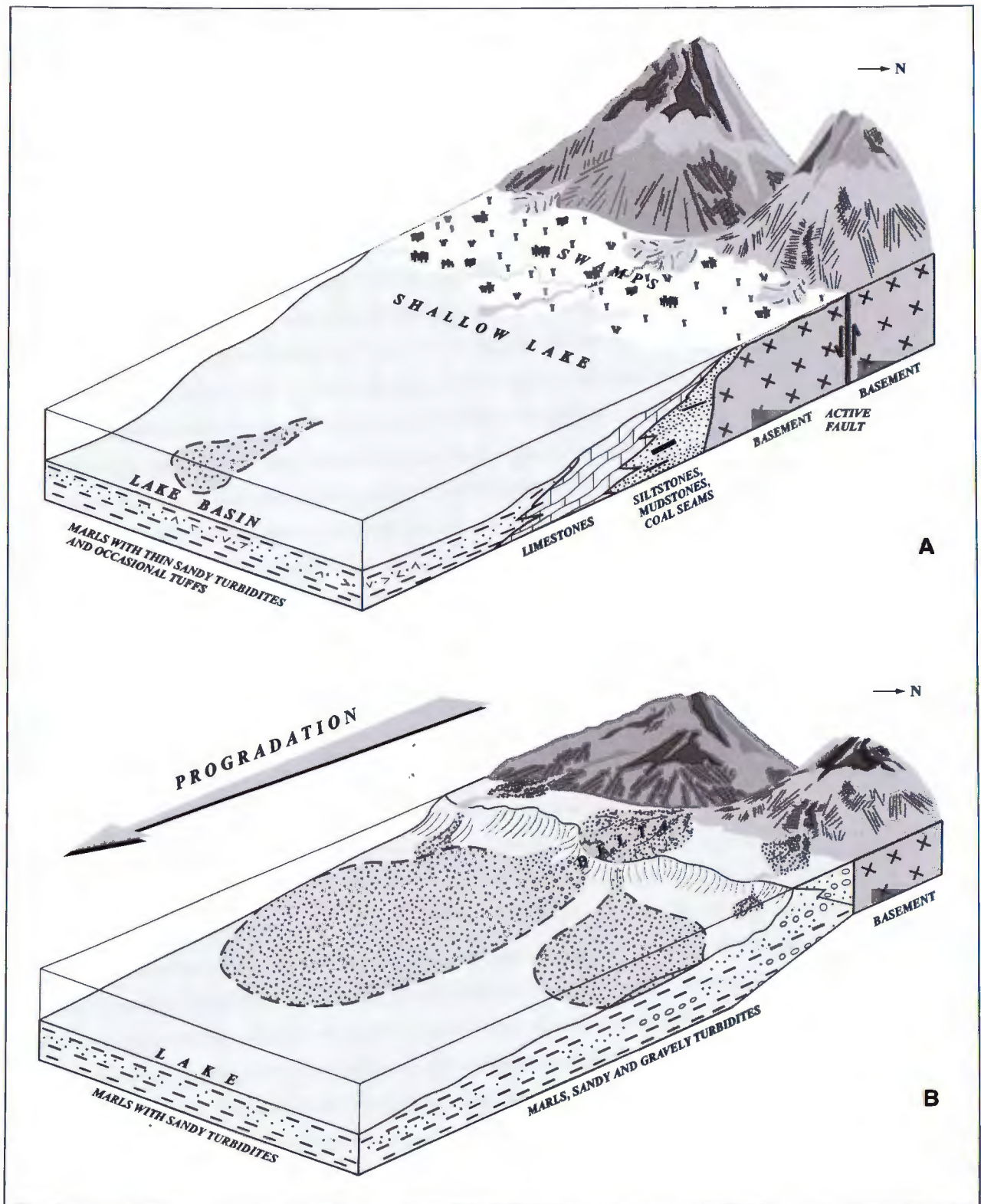


Fig. 3 a) Paleogeographic interpretation of lower part of the Ottmangian lacustrine succession; b) paleogeographic interpretation of upper part of the Ottmangian lacustrine succession.

1988), enlargement of the depositional area, i.e. the activation of new faults situated farther from the previous basin margins. The swamp deposits are overlain by carbonate deposits of lake margin, and marls and thin turbidites in the deeper lake realms, which reflect continued subsidence (Fig. 3a). Tectonic movements have

been accompanied by weak volcanic activity. The second part of the succession shows a coarsening-upward trend with an increase of the proportion of sands and gravels reflecting a delta progradation. The progradation ended with coarse-grained material (Fig. 3b). Subsequent sharp transition from the delta to prodelta set-

tings, representing the third portion of the succession (Fig. 2), reflects sudden deepening caused by renewed tectonic activity, i.e. the activation of extensional faults. This event was later followed by marine transgression in the Karpatian time.

The Karpatian transgression is known from other parts of the Pannonian Basin System and has been explained by the opening of a Paratethyan seaway to the Mediterranean sea due to tectonic subsidence (HÁMOR & SZENTGYÖRGYI, 1981; RÖGL & STEININGER, 1983; RÖGL, 1998).

Acknowledgements

These investigations represent a part of the project: Geological Map of the Republic of Croatia, Scale 1:50.000, financed by the Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia.

We are indebted to Ljubomir BABIĆ (University of Zagreb) for providing helpful suggestions. Thanks to Miroslav KLADNIČKI for drawings.

4. REFERENCES

- AVANIĆ, R., KOVAČIĆ, M., PAVELIĆ, D., ŠIMUNIĆ, A., MIKNIĆ, M. & VRSALJKO, D. (1995a): Kongerijski vapnenci i klastiti otnanga - geološki stup Vidovec-2.- In: ŠIKIĆ, K. (ed.): Geološki vodič Medvednice, 154, Inst. za geol. istraž., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
- AVANIĆ, R., PAVELIĆ, D., VRSALJKO, D., ŠIMUNIĆ, A., MIKNIĆ, M., HAJEK-TADESSE, V. & JERINIĆ, G. (1995b): Otnanški klastiti Planine.- In: ŠIKIĆ, K. (ed.): Geološki vodič Medvednice, 164-168, Inst. za geol. istraž., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
- BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100000. Tumač za list Ivanić-Grad.- Geol. zavod, Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd, 66 p.
- BLAIR, T.C. & BILODEAU, W.L. (1988): Development of tectonic cyclothems in rift, pull-apart, and foreland basins: sedimentary response to episodic tectonism.- *Geology*, 16, 517-520.
- HÁMOR, G. & SZENTGYÖRGYI, K. (1981): Outlines of geological structure and evolution of the Miocene. Excursion guide of molasse formations in Hungary.- *Hung. Geol. Inst. Publ.*, 42-55, Budapest.
- HORVÁTH, F. (1993): Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin.- *Tectonophysics*, 226, 333-357.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & SLIŠKOVIĆ, T. (1978): Miocenske kongerije Hrvatske, Bosne i Hercegovine.- *Palaeont. Jugosl.*, 19, 1-98, Zagreb.
- MUTIĆ, R. (1969): Neogenska magmatska aktivnost na jugoistočnim obroncima Medvednice (Zagrebačke gore).- *Geol. vjesnik*, 22, 423-438, Zagreb.
- PAVELIĆ, D. (1998): Taložna evolucija slatkovodnog donjeg i srednjeg miocena sjeverne Hrvatske na temelju analize facijesa.- Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 149 p.
- PAVELIĆ, D., ŠIMUNIĆ, A., ŠIMUNIĆ, A., AVANIĆ, R. & KOVAČIĆ, M. (1995): Aluvijalne naslage otnanga - lokalitet Vidovec-1.- In: ŠIKIĆ, K. (ed.): Geološki vodič Medvednice, 152-153, Inst. za geol. istraž., INA-Industrija nafte d.d., Zagreb.
- RÖGL, F. (1998): Paleogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene).- *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 99, 279-310, Wien.
- RÖGL, F. & STEININGER, F.-F. (1983): Vom Zerfall der Tethys zu Mediterran und Paratethys. Die Neogene Paläogeographie und Palinspastik des zirkum-mediterranen Raumes.- *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 85, 135-163, Wien.
- ROYDEN, L.H. (1988): Late Cenozoic tectonics of the Pannonian Basin System.- In: ROYDEN, L.H. & HORVÁTH, F. (eds.): *The Pannonian basin. A study in basin evolution.* AAPG Mem., 45, 27-48, Budapest & Tulsa.
- ŠIKIĆ, L. (1968): Stratigrafija miocena sjeveroistočnog dijela Medvednice na osnovu faune foraminifera.- *Geol. vjesnik*, 21, 213-227, Zagreb.





Biostratigrafija i sedimentologija naslaga egenburga u bušotini Gola-8

Biostratigraphy and Sedimentology of the Eggenburgian in the Gola-8 Well

Vlasta PREMEC FUČEK, Branko SOKOLOVIĆ & Terezija VLAHOVIĆ

Ključne riječi: Panonski bazen, egenburg, biostratigrafija, sedimentologija.

Key words: Panonian basin, Eggenburgian, Biostratigraphy, Sedimentology.

Sažetak

U bušotini Gola-8, koja se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Dravske potoline, nabušeni su plitkovodni karbonati egenburga. Naslage egenburga zastupljene su bioklastičnim vapnencima biokalkruditima, biokalkarenitima i biomikritima, odnosno sekvencijama positnjavanja naviše. Vapnenci su nastali brzom akumulacijom dobro prerađenog grebenskog i pri-grebenskog biogenog materijala u plitkomorskom okolišu s promjenjivom energijom vode. Starost naslaga dokumentirana je bogatom zajednicom velikih i malih bentičkih foraminifera u kojoj dominiraju brojne vrste rodova *Elphidium* i *Cyclamina*, a provodnu vrijednost imaju *Bulimina arndti*, *Cribrononion hiltermanni*, *Budashevaella* sp. i *Dyocibicides* sp. Postanak ovih vapnenaca vezan je za marine plicake s promjenjivom energijom vode u području plitkog subtidala do intertidala s povremenim izranjanjem u u subaersku zonu.

Abstract

Gola-8 well in the northwestern part of the Drava depression (Croatia) was drilled through the shallow marine Eggenburgian limestones. These bioclastic limestones (biocalcru-dite, biocalcarenite, biomicrite) consist of reworked skeletal material and they are composed of fining-upward sequences. Microfossil assemblage contain rich and highly diversified association of benthic foraminifera. Dominant genera are *Elphidium* and *Cyclamina*, and stratigraphically significant taxa are *Bulimina arndti*, *Cribrononion hiltermanni*, *Budashe-vella* sp. and *Dyocibicides* sp. Texture and structure features as well as microfossil association of these bioclastic limestones indicate peritidal carbonate environment with fluctuating energy water and significant and rapid accumulation of reworked carbonate biotritus.

1. UVOD

Bušotina Gola-8 smještena je u sjeverozapadnom dijelu Dravske potoline, između rijeke Drave i hrvatsko-mađarske granice. Karbonatne naslage egenburga nabušene su u intervalu od 2.592-2.615 m. U krovini ovih naslaga, u transgresivnom kontaktu, su glinoviti vapnenci i kalcitom bogati lapori koji samo mjestimice sadrže tanke ljušturice ostrakoda, a korelacijom sa susjednim bušotinama pretpostavljena im je gornjomiocenska starost. Budući da je bušenje obustavljeno u karbonatima egenburga nije bilo moguće ustanoviti podinu istraživanih naslaga.

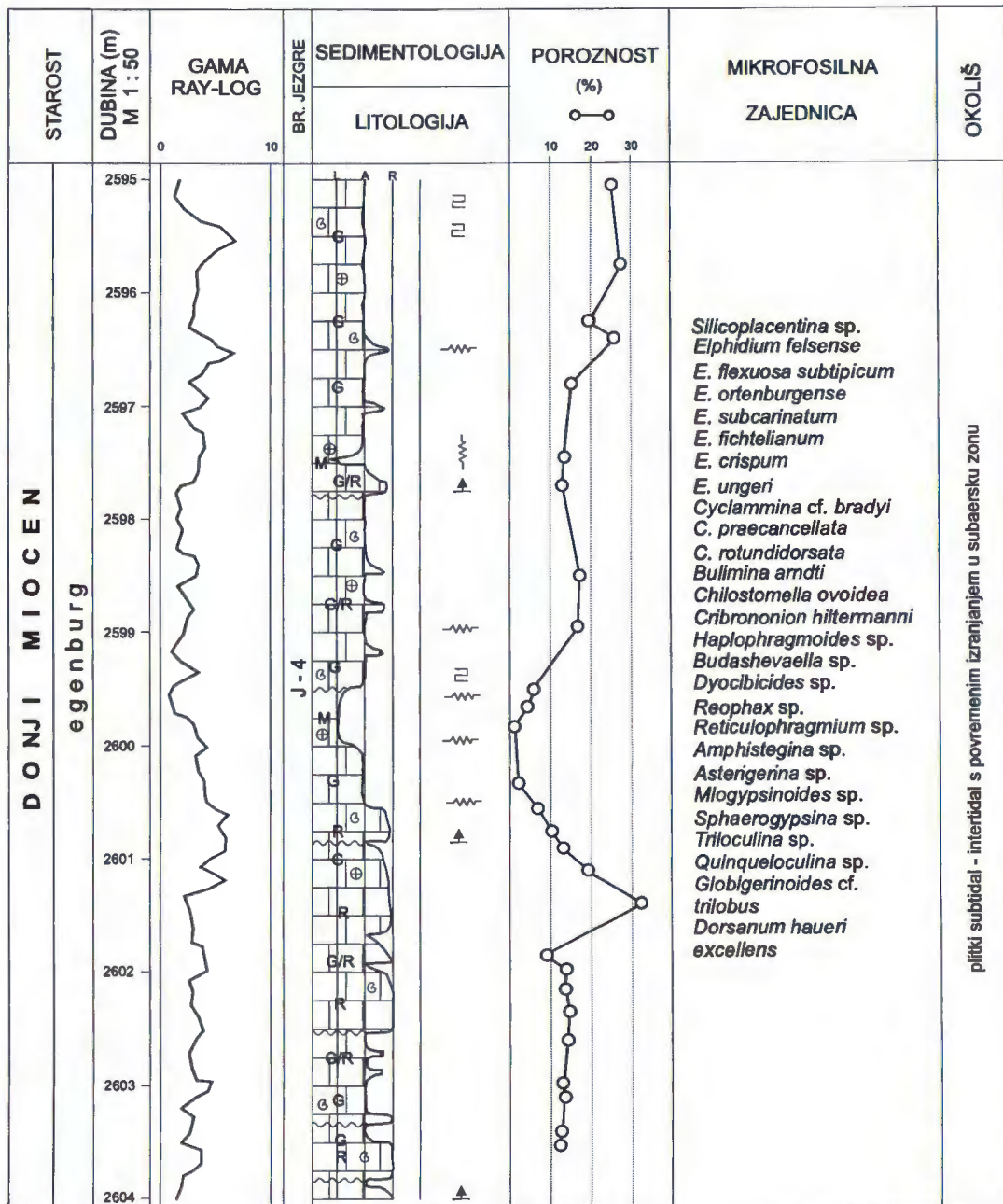
Naslage egenburga su do danas, zacijelo zbog svoje manje rasprostranjenosti na površini, rijetko opisivane u našoj geološkoj literaturi. Najbolje do danas obradene naslage egenburga pripadaju Macelj formaciji u zapadnom dijelu Hrvatskog zagorja, koja je u više navrata opisana od nekoliko autora (GORJANOVIĆ-KRAM-

BERGER, 1904a, b; ŠIKIĆ et al., 1979; ŠIMUNIĆ et al., 1995).

U ovom je radu na temelju detaljnih analiza dana biostratigrafska, petrografska-sedimentološka i paleo-okolišna interpretacija nabušenog dijela naslaga egenburga.

2. METODE RADA

Bušotinom Gola-8 u intervalu od 2.592-2.615 m nabušeni su karbonatni sedimenti egenburga. Krhotine stijena iz isplake i uzorci iz jezgrovanog intervala (2.595-2.604 m) obrađeni su metodom tankih izbrusaka te metodom razmuljivanja i izdvajanjem mikrofosila u čelije. Odredba vrsta malih bentičkih foraminifera izvršena je na temelju izvađenih primjeraka. Rezultati detaljnih petrografska-sedimentoloških i mikropaleontoloških analiza te mjerenja poroziteta jezgrovanog intervala



LEGENDA:

 biokalkrudit (rudstone)	 normalna gradacija	 makrofosili
 biokalkarenit (grainstone)	 horizontalna laminacija	 lutit
 biomikrit (mudstone)	 erozijska granica	 arenit
 mikrofosili	 stiloliti	 rudit

Sl. 1 Stratigrafski stup karbonata egenburga u bušotini Gola-8, jezrovani interval 2.595-2.604 m.

Fig. 1 Stratigraphic column of the Eggenburgian carbonate deposits in the Gola-8 well, cored interval 2,595-2,604 m.

prikazani su na sl. 1. Osim optičkih istraživanja neki uzorci su dani na kemijske analize, a dio uzoraka stijena je impregniran u svrhu razlikovanja poroziteta.

Tijekom rada korišteni su podaci iz operativnog geološkog dijagrama i krivulje karotažnih mjerenja u bušotini.

3. SEDIMENTNE KARAKTERISTIKE STIJENA

Paket slojeva bioklastičnog vapnenca zastupljen je sekvencijama u kojem se odozdo prema gore redaju slojevi biokalkrudita, biokalkarenita (tabla I, sl. 1, 3 i 4), dok se biomikriti (tabla I, sl. 2) nalaze pri vrhu mal-

og broja sekvencija. Sekvencije su odvojene mjestimično dobro vidljivim erozijskim ploham. Biokalkruditi i biokalkareniti su izgrađeni od dobro zaobljenih, prerađenih skeleta grebenskih i prigrebenskih organizama kao što su velike i male bentičke foraminifere, koralinaceje, briozoi, ježinci, školjkaši u sparitskoj osnovi. Sortiranost bioklasta varira od vrlo dobro sortiranih biokalkarenita do slabo sortiranih biokalkrudita. Biomikriti sadrže autohtonu, ali daleko siromašniju mikrofaunu u mikritnom matriksu.

Biokalkruditi (rudstone) izgrađeni su od krupnijih, dobro zaobljenih fragmenata koralinaceja, briozoa te kućica velikih bentičkih foraminifera kao što su *Amphistegina* sp., *Miogypsinoidea* sp., *Sphaerogypsina* sp., miliolide i dr. Intraklasti su vezani obrubnim nazubljenim, te mozaičnim makrokristalastim i mikrokristalastim kalcitnim cementom. Pore pripadaju intergranularnom tipu koje su mjestimično proširene u šupljine otapanja, a u manjoj mjeri su to intraskeletne pore. Vrlo visok primarni porozitet s jedne strane je bitno smanjen cementacijom, a s druge strane ponovo povećan naknadnim otapanjem tijekom dijageneze. U opisanim biokalkruditima izmjerene su najveće vrijednosti poroziteta i horizontalne propusnosti, što su bile temeljne prirodne osobitosti stijena za uskladištenje ugljikovodika u polju Gola.

Biokalkareniti (grainstone) se najvećim dijelom sastoje od usitnjenih, dobro zaobljenih i dobro sortiranih skeleta velikih bentičkih foraminifera, koralinaceja, bodljikaša, briozoa i školjkaša te kućica malih bentičkih foraminifera i ostalog karbonatnog detritusa. Osnova je sparitska, razvijena u vidu obrubnog cementa i mozaičnog kalcitnog cementa. Dosta rijetke intergranularne pore i intraskeletne šupljine uglavnom su ispunjene mozaičnim kalcitnim cementom. Izmjerena poroznost u biokalkarenitima je niska.

Biomikrit (mudstone/wackestone) javlja se redovno u gornjim dijelovima pojedinih taložnih sekvenci dok nedostaje kod nepotpunih ciklusa. U mikritskoj, dijelom rekristaliziranoj osnovi nalazimo pojedinačne kućice malih bentičkih foraminifera, ostrakode, peloide te mikrokode. Uočavaju se fenestre, šupljine otapanja i mikropukotine ispunjene mozaičnim kalcitom ili internim sedimentom. Poroznost je vrlo slaba.

4. BIOSTRATIGRAFIJA

Bioklastični vapnenci ovog intervala sadrže veoma bogatu zajednicu malih i velikih bentičkih foraminifera (tabla II), a pojedine vrste imaju usku stratigrafsku vrijednost. Provodni oblici za egenburg su *Bulimina arndti* HAGN, *Cribronion hiltermanni* (HAGN), *Budashevella* sp. i *Dyocibicides* sp., te vrste elfidija koji ujedno dominiraju u zajednici malih bentičkih foraminifera *Elphidium ortenburgense* PAPP, *E. flexuosum subtipicum* PAPP, *E. felsense* PAPP, *E. subcarinatum* (EGG-

ER), *E. ungeri* (REUSS) i *E. crispum* (LINNE). Od aglutiniranih foraminifera prisutne su slijedeće vrste i rodovi: *Cyclamina* cf. *bradyi* CUSHMAN, *C. praecancellata* VOLOSHINOVA, *C. rotundidorsata* (HANTKEN), *Reophax* sp., *Reticulophragmium* sp. i *Haplophragmoides* sp. Velike bentičke foraminifere zastupljene su slijedećim taksonima: *Asterigerina planorbis* (D'ORBIGNY), *Miogypsinoidea* sp., *Amphistegina* sp., *Sphaerogypsina* sp., a pojavljuju se zajedno s krhotinama koralinaceja, briozoa, koralja i školjkaša. Od ostalih vrsta malih bentičkih foraminifera određene su *Spiroplectamina carinata* (D'ORBIGNY), *Uvigerina* cf. *posthantkeni* (PAPP), *Lenticulina* sp., *Anomalinoidea* sp., *Hanzawaia* sp., *Heterolepa* sp., *Triloculina* sp. i *Quinqueloculina* sp.

Planktonske foraminifere *Globigerinoides* cf. *trilobus* (REUSS) i *Globorotalia* sp. nađene su pojedinačno. Svakako treba spomenuti i nalaz roda *Silicoplectina*. Gastropodi su zastupljeni s više rodova i vrsta od kojih je bilo moguće odrediti *Dorsanum haueri excellens* SCHAFFER i *Patella* sp.

Svi nabrojani organizmi nisu pripadali istoj ekološkoj niši. Snažni hidrodinamički procesi plime i oseke te povremeno jakim vjetrovima i olujama izazvani valovi odigrali su presudnu ulogu u premještanju, nakupljanju, ispiranju (*winnowing*) i odlaganju razbijenih ili cijelih skeleta organizama (SEILACHER & AIGNER, 1991; TIŠLJAR, 1994). Raznovrsnost sastava mikrofossilne zajednice ukazuje na postojanje više istovremenih okoliša koji su se lateralno i vertikalno izmjenjivali. Najveću biogenu produkciju, kao i danas, predstavljali su grebenski ekosistemi s koralinacejama, velikim bentičkim foraminiferama (*Amphistegina*, *Miogypsinoidea*, *Sphaerogypsina*), briozoima, koraljima i školjkašima. Brojne vrste roda *Elphidium* i *Cibicides*, epifaunalni i herbivorni organizmi (MURRAY, 1991), naseljavale su nešto mimije zagrebenke okoliše algalnih livade. *Cyclamina*, *Haplophragmoides* i *Reophax* su detritivne vrste koje su tipične za pješčana i muljevita dna. Zaštićene morske plićake s povišenim salinitetom nastanjuju miliolide, rijetke bentičke foraminifere, puževi i ostrakodi. U uzorcima trećeg i petog metra jezgrovanog intervala (tabla I, sl. 4) uočeni su brojni mikrokode koji predstavljaju kalcitizirane biljne stanice, a tipični su za plitkomorska područja i zone izranjanja.

5. PALEOKOLIŠ SEDIMENTACIJE

Sastav i struktura ovih plitkomorskih, ciklički taložnih vapnenaca ukazuju na nastanak u okolišu peritajdala s promjenjivom energijom vode u kojem je visoka biogena produkcija okolnih grebenskih i prigrebenskih okoliša omogućavala značajnu i brzu akumulaciju taloga. Visoka energija morskih struja i valova u području peritajdala dovela je do zaobljavanja i sortiranja skeletnog materijala, a rezultirala je taloženjem biokalkrudita i biokalkarenita (TUCKER & WRIGHT, 1990). Verti-

kalni porast količine akumuliranih taloga u potplimnoj zoni uzrokuje opadanje dubine vode i mijenjanja okoliše taloženja kada se talože biomikriti s autohtonim organizmima, kao što su rijetke bentičke foraminifere, ostrakodi, mikrokodiji i dr., koji zajedno s fenestrama i mikropukotinama ukazuju na zaštićene plićake i zone izranjanja (tabla I, sl. 2). Nakon toga akumulacijski prostor se ponovo produbljava i ciklusi taloženja vapnenca se ponavljaju.

6. ZAKLJUČAK

Naslage donjeg miocena (egenburga) zastupljene su vapnencima biokalkrudit/arenitskog do biomikritskog tipa koji sadrže raznoliku zajednicu malih i velikih bentičkih foraminifera, te fragmente koralinaceja, briozoa, školjkaša i puževa. Postanak ovih vapnenaca vezan je za marinske plićake s promjenjivom energijom vode u području plitkog subtidala do intertidala s povremenim izranjanjem u subaersku zonu.

Paleogeografski gledano sedimenti egenburga pripadaju Panonskom bazenu, odnosno jugozapadnoj bioprovinciji Centralnog Paratethysa, a zajednica foraminifera gotovo je istovjetna onima u Bečkom bazenu ili Intra-karpatskom bazenu Slovačke (CICHA et al., 1971).

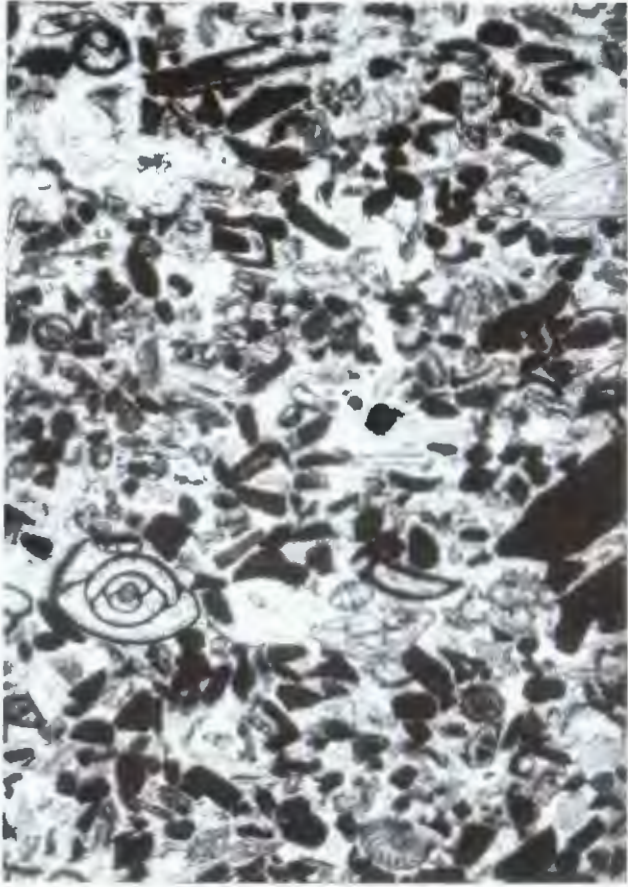
Geneza sedimenata, postsedimentacijski dijagenetski procesi, te naknadne tektonske pukotine, rezultirali su izvrsnim rezervoarskim karakteristikama karbonatnih naslaga egenburga u polju Gola.

7. LITERATURA

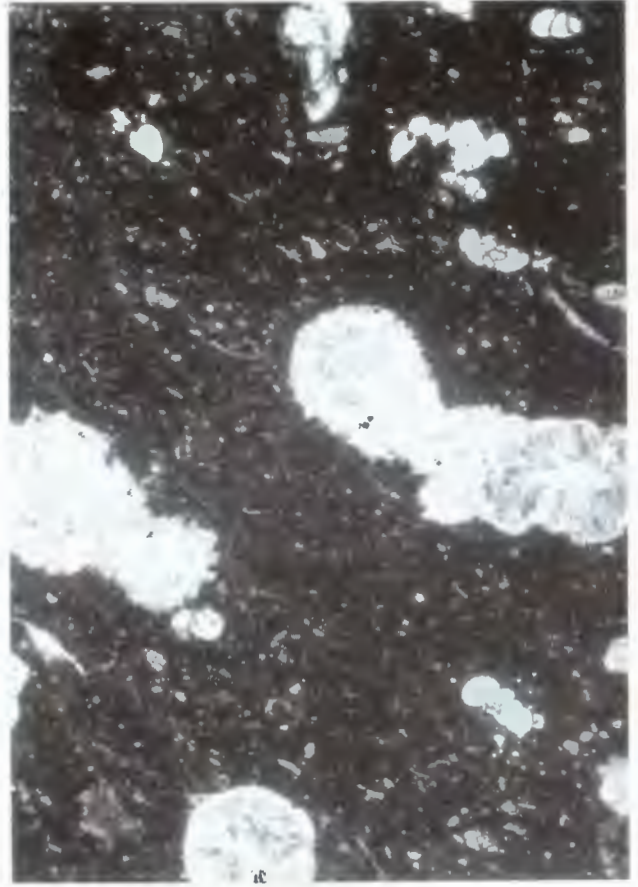
- CICHA, I., ZAPLETALOVA, I., PAPP, A., ČTYROKA, J. & LEHOTAYOVA, R. (1971): Die Foraminiferen der Eggenburger Schichtengruppe (incl. Arcellinida).- U: Chronostratigraphie und Neostratotypen Miozän der zentralen Paratethys. Bd.II, Slovenskej akad., 234-355, Bratislava.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1904a): Geologijska prijeledna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Rogatec-Kozje, M 1.75.000, Zona 21, Col. XII.- Naklada Kralj. zemalj. vlade, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1904b): Geologijska prijeledna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Krapina i Zlatar, M 1.75.000, Zona 21, Col. XIV.- Naklada Kralj. zemalj. vlade, Zagreb.
- MURRAY, J. (1991): Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera.- Longman Scientific & Technical, New York, 397 str.
- SEILACHER, A. & AIGNER, T. (1991): Storm deposition at the bed, facies and basin scale: the geologic perspective.- U: EINSELE, G., RICKEN, W. & SEILACHER, A. (ur.): Cycles and Events in Stratigraphy. Springer-Verlag, 249-267, Berlin, Heidelberg.
- ŠIKIĆ, L., ŠIMUNIĆ, A. & ŠIKIĆ, K. (1979): Neogene in Central and Northern Croatia.- 16th Europ. Micropaleont. Colloq., 123-130, Ljubljana.
- ŠIMUNIĆ, A., AVANIĆ, R., ŠIMUNIĆ, AI. & HEĆIMOVIĆ, I. (1995): Stratigrafska raščlamba donjomiocenskih klastita u Hrvatskom zagorju.- 1. hrvatski geol. kongres, Zbornik radova, 2, 581-584, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb, 422 str.
- TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. (1990): Carbonate sedimentology.- Blackwell Scient. Public., London, 482 str.

Tabla - Plate I

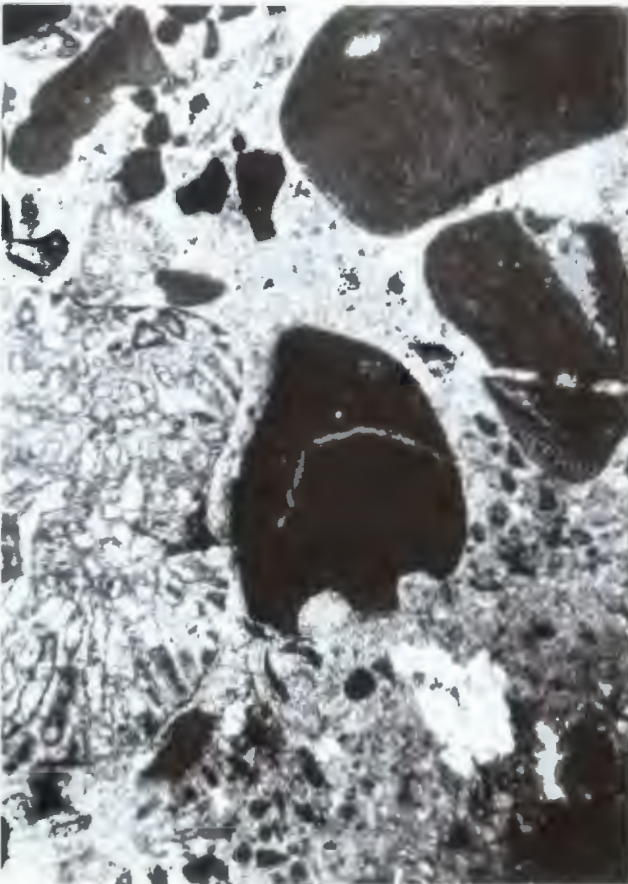
- 1 Biokalkarenit, bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, IX m 0,40; x23.
Biocalcarenite, Gola-8 well, interval 2,595-2,604, IX m 0,40; x23.
- 2 Biomikrit s mikrokodijima i malim bentičkim foraminiferama (*Anomalinoidea* sp). Bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, V m 0,70; x23.
Biomicroite with Microcodium and smaller benthic foraminifera, Gola-8 well, interval 2,595-2,604, V m 0,70; x23.
- 3 Biokalkrudit, bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, IX m 0,55; x23.
Biocalcrudite, Gola-8 well, interval 2,595-2,604, IX m 0,55; x23.
- 4 Biokalkrudit/biokalkarenit, bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, IX m 0,90; x23.
Biocalcrudite/biocalcarenite, Gola-8 well, interval 2595-2604, IX m 0,90; x23.



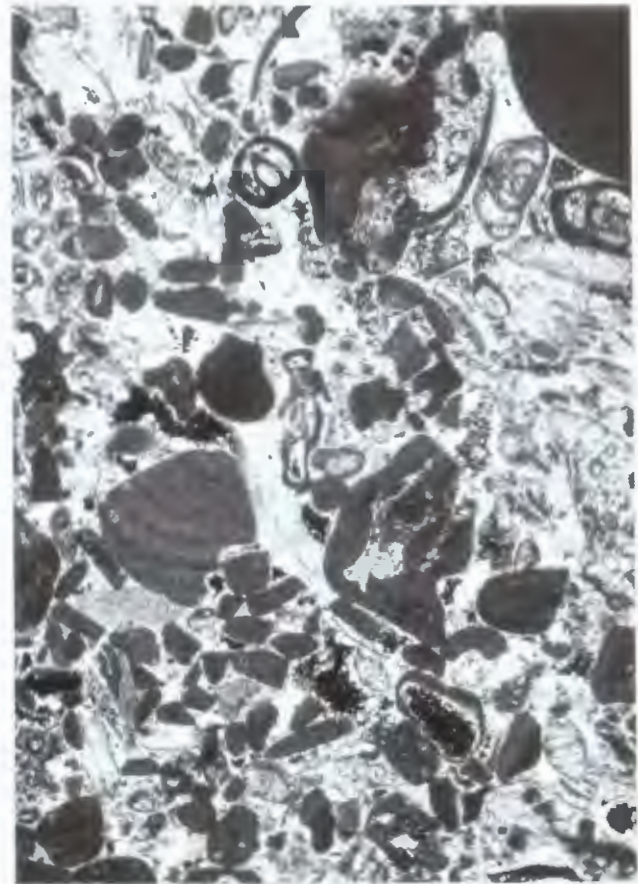
1



2



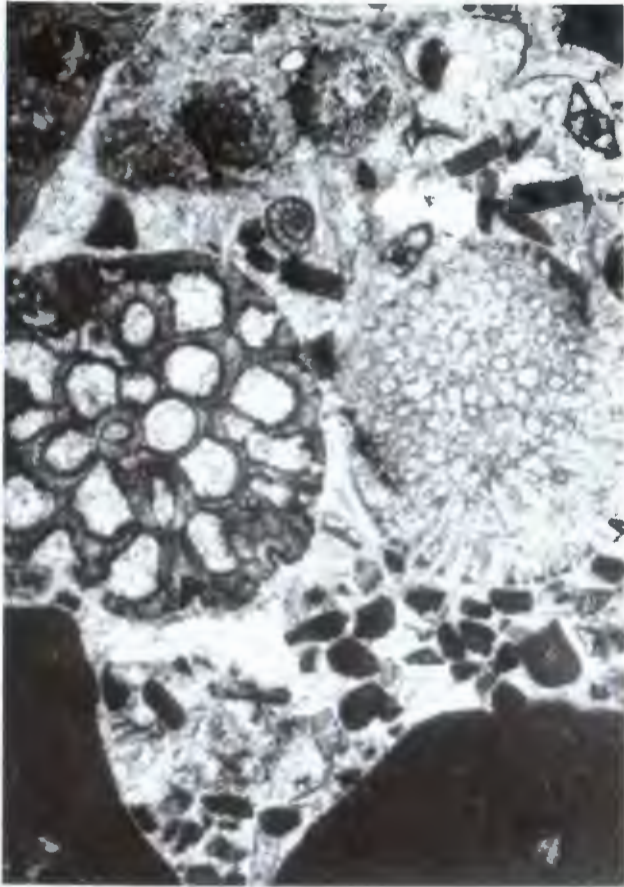
3



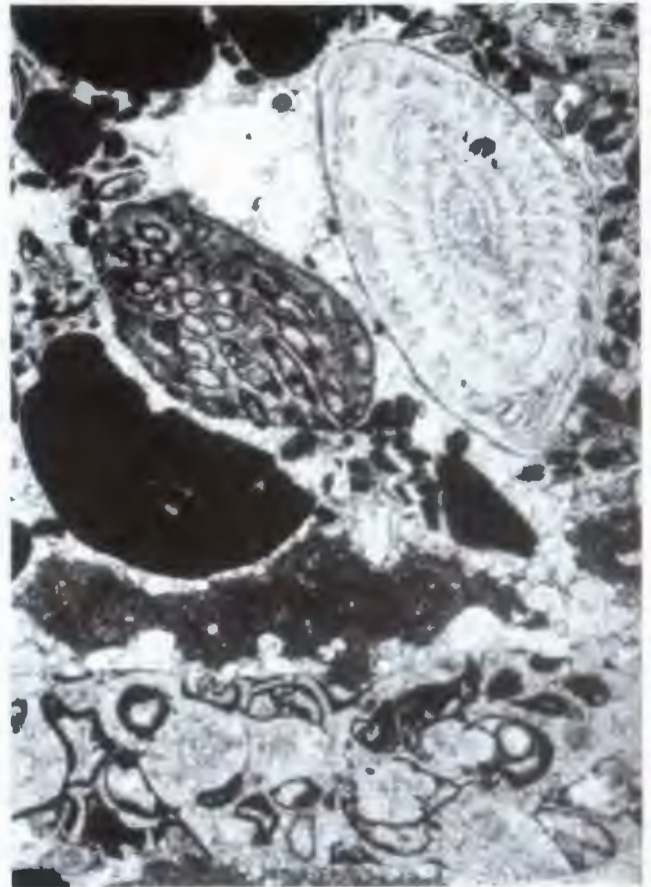
4

Tabla - Plate II

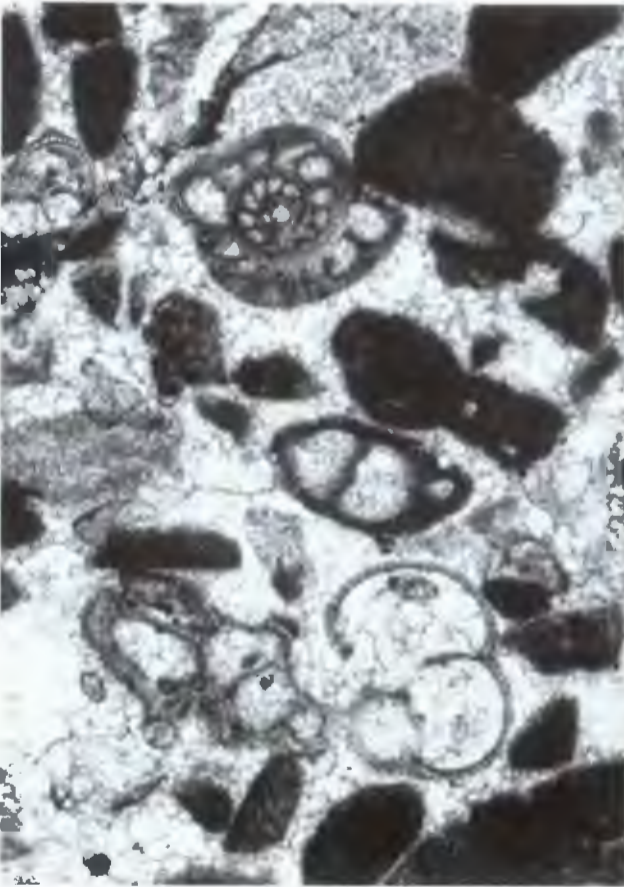
- 1 Biokalkrudit s *Miogypsinoides* sp., briozojem, krupnim i sitnim klastima koralinaceja te kućicama malih bentičkih foraminifera. Bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, IX m 0,55; x23.
Biocalcrudite with *Miogypsinoides* sp, bryozoa, corallinacean fragments and smaller foraminifera. Gola-8 well, interval 2595-2604, IX m 0,55; x23.
- 2 Biokalkrudit s *Amphistegina* sp., briozojem, krhotinama koralinaceja. Bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, VIII m 0,35; x23
Biocalcrudite with *Amphistegina* sp., bryozoan and corallinacean fragments. Gola-8 well, interval 2,595-2,604, VIII m 0,35; x23.
- 3 Biokalkrudit/biokalkarenit s *Globigerinoides* sp., *Heterolepa* sp. i krhotinama koralinaceja. Bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, IX m 0,55; x58.
Biocalcrudite/biocalcarenite with *Globigerinoides* sp., *Heterolepa* sp. and corallinacean fragments. Gola-8 well, interval 2,595-2,604, IX m 0,55; x58.
- 4 Biokalkarenit s *Heterolepa* sp., *Anomalinoidea* sp. i krhotinama koralinaceja. Bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, VI m 0,35; x58.
Biocalcarenite with *Heterolepa* sp., *Anomalinoidea* sp. and corallinacean fragments. Bušotina Gola-8, interval 2.595-2.604, VI m 0,35; x58.



1



2



3



4



Biometrija i taksonomski status srednjotrijaskih amonita (*Ptychitidae*) iz okolice Knina, Hrvatska

Biometry and Taxonomical Status of Middle Triassic Ammonoids (*Ptychitidae*)
from Knin Vicinity, Croatia

Nediljka **PRLJ-ŠIMIĆ**, Katarina **KRIZMANIĆ** & Krešimir **SAKAČ**

Ključne riječi: biometrija, amoniti, srednji trijas, okolica Knina, Hrvatska.

Key words: Biometry, Ammonoids, Middle Triassic, Knin Vicinity, Croatia.

Sažetak

Sjeverozapadno od Knina, u području Plavna, pronađena je bogata srednjotrijaska amonitna fauna, u kojoj dominiraju predstavnici skupine *Ptychitidae*. Devedeset primjeraka iz te skupine, obrađenih u ovom radu, prvotno su određeni kao 7 različitih vrsta roda *Flexoptychites* i 5 različitih vrsta roda *Ptychites*. Na temelju proučavanja morfoloških karakteristika kućica, raspoloživih stratigrafskih i paleokoloških podataka, i primjene metode biometrijskog istraživanja (detajne analize disperzijskih dijagrama, u kojima su prikazani odnosi pojedinačnih varijabli, kao i kombinacija odnosa pojedinačnih i složenih varijabli), zaključeno je da je sve te preliminarno određene vrste potrebno reducirati i da najvjerojatnije pripadaju samo dvjema vrstama: *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS, 1882) i *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS, 1882.

Abstract

In the area of Plavno, NW of Knin, Croatia, the rich Middle Triassic ammonoid fauna has been found, with predominance of *Ptychitidae* samples. Ninety specimens from this group, elaborated in this paper, has been preliminary determined as 7 different species of the genus *Flexoptychites* and 5 different species of the genus *Ptychites*. Analysing morphological characteristics of shells, available stratigraphical and palaeoecological data, as well as applying of biometrical investigation (detailed analysis of scatter diagrams showing the relation between single variables, along with the combination of relation between single and derived variables), we offer the following conclusion: all the preliminary determined species need to be reduced, and most plausible they belong to only two species - *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS, 1882) and *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS, 1882.

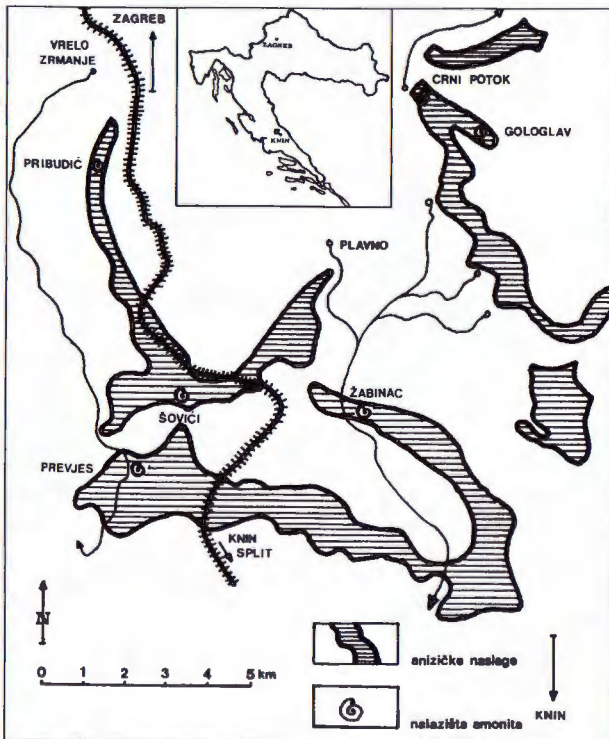
1. UVOD

U Geološko-paleontološkom odjelu Hrvatskoga prirodoslovnog muzeja u Zagrebu pohranjena je bogata zbirka srednjotrijaskih amonita iz okolice Knina. Većinu primjeraka te zbirke prikupio je tijekom terenskih istraživanja umirovljeni muzejski savjetnik mr. Krešimir Sakač, dok je manji dio prikupio dipl. inž. Josip Papeš.

Pri određivanju amonitnih vrsta iz skupine *Ptychitidae*, uz do sada uvriježeni dijagnostički kriterij vanjske morfologije kućice (vrsta i složenost suturne linije, oblik pupka, način zavijanja kućice, ornamentacija - broj i raspored rebara, itd.), primjenjena je biometrijska metoda uzimajući u obzir standardne parametre. Proučavanje vanjske morfologije kućice, rezultati biometrijskih istraživanja i paleokološki uvjeti pridonijeli su novoj interpretaciji i novom taksonomskom razumijevanju srednjotrijaske amonitne faune iz okolice Knina.

2. GEOLOŠKI PREGLED

Na području sjeverozapadno od Knina moguće je unutar trijasa izdvojiti nekoliko stratigrafskih jedinica. Donji trijas zastupljen je sajskim i kampilskim naslagama. Početak srednjeg trijasa označavaju samo mjestimične vidljive breče, dok anizik karakterizira izmjena dolomita i vapnenaca. Ladiničke naslage leže transgresivno na naslagama anizika, a čine ih klastiti i vapnenci s dolomitima (GRIMANI et al., 1975). Anizičke naslage u široj okolici Plavna, nedaleko od Knina, osim karbonatnih stijena (dolomita i vapnenaca) čine vulkanogene stijene. Te naslage karakterizira vulkanska djelatnost koja se manifestirala submarinskim izljevima bazične lave, te opetovanom erupcijom vulkanoklasta, čiji su produkti interstratificirani u sedimente pretežno plitkomorskog okoliša. U toj sredini izmjenjivali su se karbonatni sedimenti, prvo dolomiti, a potom gomoljasti vapnenci tipa "buloškog" facijesa s pelitnim tufitima i dru-



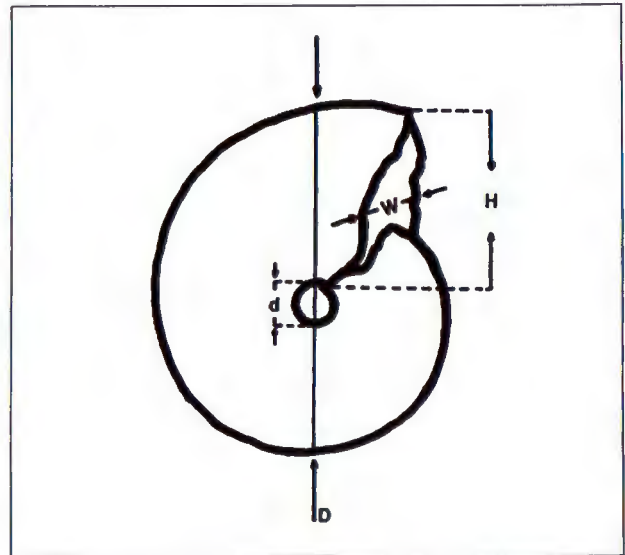
Sl. 1 Karta nalazišta anizičkih amonita, okolica Knina.

Fig. 1 Location map of Anisian ammonoids, vicinity of Knin.

gim vrstama vulkanoklasta. Najčešći fosili u anizičkim naslagama, posebice u vapnencima, su vapnenačke alge. Amoniti se pojavljuju u crvenim ili rjeđe zelenkastim gomoljastim vapnencima djelomice s primjesama piroklasta, u tzv. gnijezdima ili pojedinačno. Široko su rasprostranjeni u okolici Plavna između izvorišnog dijela rijeke Zrmanje i duboke doline rječice Butišnice. Do sada su prikupljeni i preliminarno paleontološki obrađeni primjerci s triju značajnijih nalazišta: Pribudić, Gologlav i Prevljes, te manji broj primjeraka s lokaliteta Crni potok, Šovići i Žabinac (sl. 1). Rezultati istraživanja objavljeni su samo za nalazište Pribudić (PRLJ & MUDRENOVIĆ, 1988), a ostale primjerke odredio je, za potrebe muzejske dokumentacije, Krešimir Sakač. S obzirom da je navedeno područje pretežito planinsko, pošumljeno i teže pristupačno, do sada je, pretpostavljamo, istražen samo manji dio nalazišta amonita, a daljnja istraživanja dati će nove zanimljive podatke.

3. MATERIJAL I METODE

Na spomenutim nalazištima u okolici Knina prikupljeno je više od 200 primjeraka amonita. Svi potječu iz istog stratigrafskog nivoa - naslaga srednjeg trijasa, odnosno anizika. S obzirom da primjerci iz skupine *Ptychitidae* dominiraju među amonitima, biometrijska istraživanja obavljena su na ukupno 90 primjeraka koji su preliminarno bili određeni kao: *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS), *Flexoptychites acutus* (MOJSISOVICS), *Flexoptychites uhligi* (MOJSISOVICS), *Fle-*

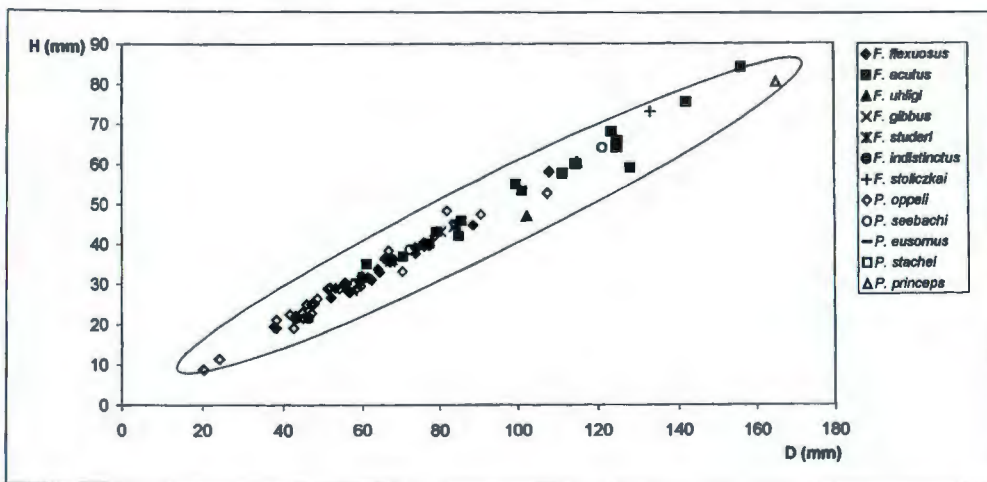


Sl. 2 Shematski prikaz kućice amonita s naznačenim mjenim parametrima (D - promjer zavojnice, H - visina zadnjeg zavoja, W - širina zadnjeg zavoja, d - širina pupka).

Fig. 2 Schematic reconstruction of ammonoid shell showing the measured parameters (D - shell diameter, H - last whorl height, W - last whorl width, d - umbilical width).

xoptychites gibbus (BENECKE), *Flexoptychites studeri* (HAUER), *Flexoptychites indistinctus* (MOJSISOVICS), *Flexoptychites stoliczkai* (MOJSISOVICS), *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS, *Ptychites seebachi* MOJSISOVICS, *Ptychites eusomus* (BEYRICH), *Ptychites stachei* MOJSISOVICS i *Ptychites princeps* MARTELLI. Svega nekoliko primjeraka određenih kao vrste roda *Discoptychites* nisu uzeti u biometrijsko razmatranje zbog premalog uzorka. Uz navedene taksone pronađeni su i predstavnici drugih rodova cefalopoda: *Paraceratites*, *Arcestes* (*Proarcestes*), *Danubites*, *Proteusites*, *Gymnites* i *Monophyllites*, koji nisu bili predmetom istraživanja u ovom radu.

Primjerci iz skupine *Ptychitidae* uglavnom su dovoljno dobro sačuvani, pa su se na njima mogli mjeriti parametri potrebni za biometrijsko istraživanje. Čišćenje uzoraka obavljeno je termički, mehanički i kemijski. Primjenjena je, i nekoliko puta na pojedinim uzorcima ponovljena, metoda zagrijavanja do određene temperature i naglog hlađenja, u svrhu odstranjivanja suvišnih dijelova primame stijene. Primjerci su zatim mehanički očišćeni od preostalih nečistoća. Kemijski su, korištenjem razblažene klorovodične kiseline, uzorci tretirani s namjerom da se dobije kontrast radi što boljeg uočavanja suturne linije. Svi parametri mjereni su elektroničkim pomičnim mjerilom, tako da su dobiveni rezultati izraženi s velikom točnošću. Izmjereni su sljedeći parametri (sl. 2): promjer zavojnice (D), visina zadnjeg zavoja (H), širina zadnjeg zavoja (W) i širina pupka (d). Parametar 'd' (širina pupka) nije kod svih primjeraka precizno izmjereno, jer je njegovo mjerenje ovisno o mogućnosti odvajanja sedimenta od kućice. Stoga parametar 'd' nismo koristili kao varijablu u bio-



Sl. 3 Disperzijski dijagram primjeraka iz skupine *Ptychitidae* (D - promjer zavojnice, H - visina zadnjeg zavoja).

Fig. 3 Scatter diagram for *Ptychitidae* specimens (D - shell diameter, H - last whorl height).

metrijskim istraživanjima. Broj i raspored rebara uzeti su u obzir samo kao morfološke karakteristike, a budući da ti parametri pokazuju veliku složenost i povezanost s ontogenetskim transformacijama, u ovom radu nisu uključeni u biometrijska istraživanja.

3. BIOMETRIJSKO ISTRAŽIVANJE I INTERPRETACIJA

Polazište većine klasičnih deskriptivnih i sistematskih monografija, kao i biostratigrafskih istraživanja, bila je tzv. tipološka metoda određivanja vrsta, prema kojoj je pripadnost nekoj vrsti temeljena postojanjem tek neznatnih razlika u morfološkim karakteristikama, što je često dovodilo do znatnog taksonomskog razdjeljivanja i rezultiralo ekstremnim tipološkim konceptom vrste. U novije vrijeme, uz tipološku metodu, primjenjuje se i biometrijsko istraživanje, koje ju dopunjuje, a često pridonosi i smanjenju broja vrsta, odnosno pojednostavljenju nomenklature i boljem uvažavanju biološke varijabilnosti odnosnih taksona. Do sada je objavljeno nekoliko radova s različitim metodama biometrijskih istraživanja srednjotrijaskih amonita (HOHENEGGER & TATZREITER, 1992; DAGYS & WEITSCHAT, 1993, i dr.), čiji su rezultati pridonijeli drugačijem sistematskom statusu proučavanih fauna.

S obzirom na brojnost primjeraka iz skupine *Ptychitidae* i mi smo bili u mogućnosti provesti biometrijsko istraživanje i mjerene parametre prikazati na disperzijskim dijagramima i tako preispitati ispravnost postavljenih taksona.

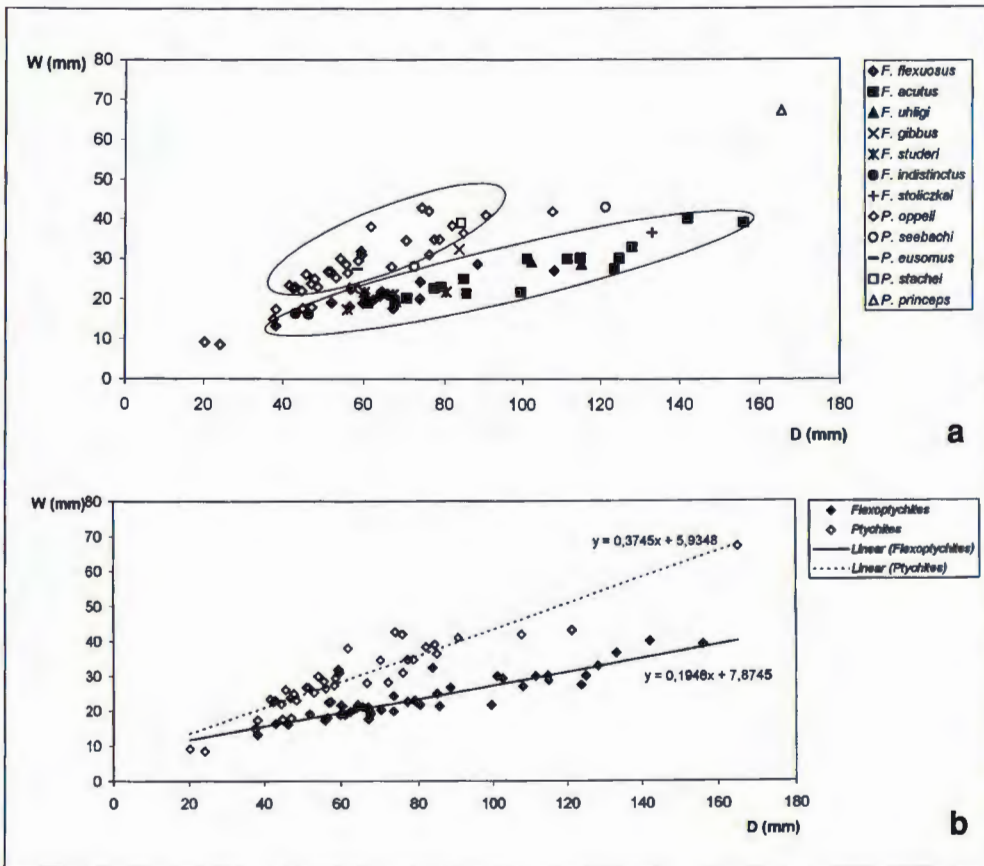
Uzimajući u obzir promjer zavojnice (D) i visinu zadnjeg zavoja (H) na disperzijskom dijagramu (sl. 3) vidljivo je da svi obrađeni primjerci pripadaju istoj skupini. Odnos ovih parametara može se upotrijebiti za razlikovanje involutnih i evolutnih kućica, a kako su svi naši primjerci involutni, bilo je i za očekivati da ćemo dobiti jedan skup ('klaster'), dakle, međusobni omjer navedenih parametara ne pokazuje odvajanje različitih taksona.

Za razliku od spomenutog disperzijskog dijagrama, na drugom dijagramu (sl. 4a), u kojem su razmatrani odnosi parametara D (promjer zavojnice) i W (širina zadnjeg zavoja), jasno su uočljiva dva odvojena skupa ('klastera'), što ukazuje na vjerojatno postojanje samo dva taksona. To potvrđuju različiti trendovi i jednadžbe regresije (sl. 4b) prikazane za primjerke rodova *Flexoptychites* ($y=0,1946x+7,8745$) i *Ptychites* ($y=0,3745x+5,9348$). Mala odstupanja vidljiva su kod preliminarno određenih vrsta *Flexoptychites gibbus* i *Ptychites seebachi*, ali kako se radi samo o nekoliko primjeraka koji su pripadali tim vrstama, teško je zaključiti je li riječ o tek slučajnom odstupanju. Ipak, promatrajući morfološke karakteristike vrste *Flexoptychites gibbus*, moguće je da čak i pripada rodu *Ptychites*, kako navodi MOJSISOVICS (1882), a odstupanje vrste *Ptychites seebachi* može biti samo izraženija varijacija unutar roda *Ptychites*, što, nažalost, zbog premalog broja primjeraka nismo mogli utvrditi.

Na sl. 5a prikazan je disperzijski dijagram s odnosom parametara H (visina zadnjeg zavoja) i W (širina zadnjeg zavoja), na kojem su također odvojena dva skupa ('klastera'), što potvrđuje pripadnost primjeraka dvama spomenutim taksonima: *Flexoptychites* i *Ptychites*. U prilog tome govore različiti trendovi i jednadžbe regresije (*Flexoptychites*: $y=0,3548x+8,6005$; *Ptychites*: $y=0,7307x+5,4777$) istaknuti na sl. 5b.

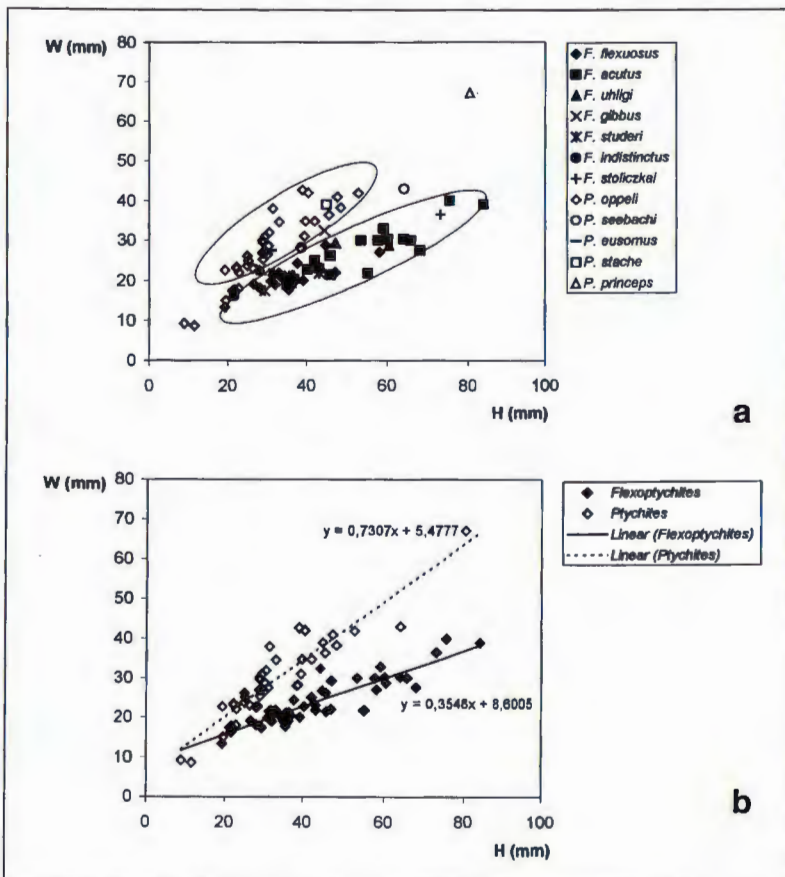
Osim pojedinačno razmatranih odnosa varijabli, načinjen je disperzijski dijagram u kojem je prikazan odnos promjera zavojnice (D) i omjera visine i širine zadnjeg zavoja (H/W), kao složene varijable (sl. 6a). Kada su uzete u obzir i složene varijable (sl. 6b), dobio je isti rezultat - dva odvojena skupa koji predstavljaju dva različita taksona, odnosno dva različita trenda s pripadajućim jednadžbama regresije (*Flexoptychites*: $y=0,0073x+1,1755$; *Ptychites*: $y=0,0023x+0,9735$).

Osnovne morfološke karakteristike vrste *Flexoptychites flexuosus* su involutna, plosnata kućica, tanak i blago zaoštren ventralni dio, mali i uzak pupak, amonitna sutura i prisutnost radijalnih rebara, dok vrstu *Ptychites oppeli* karakteriziraju involutna kućica, zadeb-



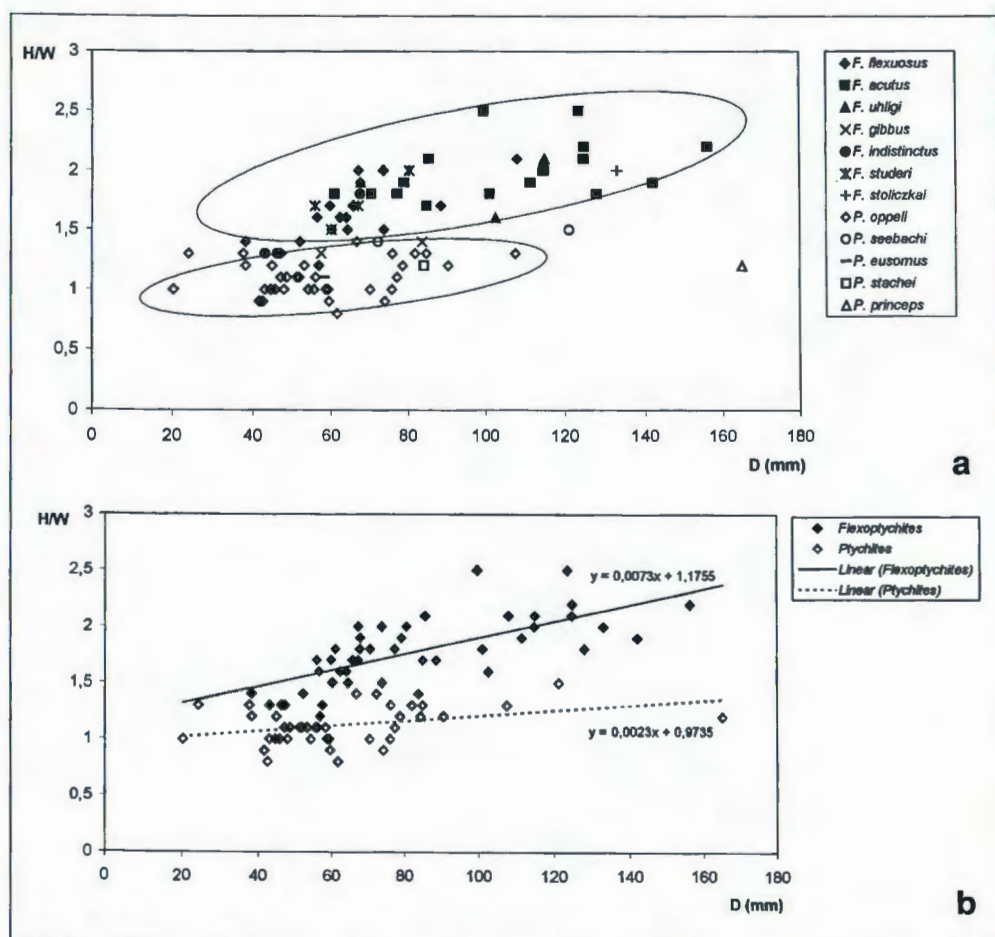
Sl. 4 a) Disperzijski dijagram primjeraka iz skupine *Ptychitidae* (D - promjer zavojnice, W - širina zadnjeg zavoja). b) Disperzijski dijagram za *Flexoptychites* i *Ptychites* s regresijama (D - promjer zavojnice, W - širina zadnjeg zavoja).

Fig. 4 a) Scatter diagram for *Ptychitidae* specimens (D - shell diameter, W - last whorl width). b) Scatter diagram for *Flexoptychites* and *Ptychites* with regressions (D - shell diameter, W - last whorl width).



Sl. 5 a) Disperzijski dijagram primjeraka iz skupine *Ptychitidae* (H - visina zadnjeg zavoja, W - širina zadnjeg zavoja). b) Disperzijski dijagram za *Flexoptychites* i *Ptychites* s regresijama (H - visina zadnjeg zavoja, W - širina zadnjeg zavoja).

Fig. 5 a) Scatter diagram for *Ptychitidae* specimens (H - last whorl height, W - last whorl width). b) Scatter diagram for *Flexoptychites* and *Ptychites* with regressions (H - last whorl height, W - last whorl width).



Sl. 6 a) Disperzijski dijagram primjeraka iz skupine *Ptychitidae* (D - promjer zavojnice, H/W - omjer visine i širine zadnjeg zavoja). b) Disperzijski dijagram za *Flexoptychites* i *Ptychites* s regresijama (D - promjer zavojnice, H/W - omjer visine i širine zadnjeg zavoja).

Fig. 6 a) Scatter diagram for *Ptychitidae* specimens (D - shell diameter, H/W - last whorl height and width ratio). b) Scatter diagram for *Flexoptychites* and *Ptychites* with regressions (D - shell diameter, H/W - last whorl height and width ratio).

ljan, gladak i zaobljen ventralni dio, dubok i srednje širok pupak, amonitna sutura i prisutnost radijalnih rebara. Razlike koje se pojavljuju kod pojedinih primjeraka vrsta rodova *Flexoptychites* i *Ptychites*, primjerice oblik i veličina pupka, širina i usmjerenost radijalnih rebara, te neznatne razlike u složenosti suturne linije, mogu se tumačiti kao pojava specifičnih varijacija unutar jedne vrste ili pak kao različiti stupnjevi ontogenetskog razvoja.

Navedene morfološke karakteristike tipične za ranije određene vrste *Flexoptychites flexuosus*, odnosno *Ptychites oppeli*, činjenica da su svi proučavani amoniti pronađeni na relativno malom prostoru u istom stratigrafskom nivou, zauzimajući istu ekološku nišu, kao i novi rezultati biometrijskog istraživanja navode nas na zaključak da svi naši primjerci vjerojatno pripadaju samo dvjema različitim vrstama: *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS, 1882) i *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS, 1882.

4. ZAKLJUČAK

Devedeset primjeraka iz skupine *Ptychitidae* obradenih u ovom radu bili su prvotno određeni kao 7 različitih vrsta roda *Flexoptychites* i 5 različitih vrsta roda *Ptychites*. Na temelju proučavanja morfoloških karakte-

ristika kućica, raspoloživih stratigrafskih i paleoekoloških podataka, i primjene metode biometrijskog istraživanja (detaljne analize disperzijskih dijagrama, u kojima su prikazani odnosi pojedinačnih varijabli, kao i kombinacija odnosa pojedinačnih i složenih varijabli), zaključeno je da je sve te preliminarno određene vrste potrebno reducirati i da najvjerojatnije pripadaju samo dvjema vrstama: *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS, 1882) i *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS, 1882.

Zahvala

Zahvaljujemo muzejskoj tehničarki Nives Borčić na pomoći i izrađenim fotografijama.

5. LITERATURA

- DAGYS, A.S. & WEITSCHAT, W. (1993): Extensive intraspecific variation in a Triassic ammonoid from Siberia.- *Lethaia*, 26, 113-121.
- GRIMANI, I., JURIŠA, M., ŠIKIĆ, K. & ŠIMUNIĆ, A. (1975): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Knin L33-141.- Inst. geol. istraž. Zagreb (1966), Sav. geol. zavod Beograd, 61 str.
- HOHENEGGER, J. & TATZREITER, F. (1992): Morphometric methods in determination of ammonite species, exemplified through Balatonites shells (Middle Triassic).- *Journal of Paleontology*, 66, 801-816.

MOJSISOVICS, E. (1882): Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz.- Abh. Geol. Reichsanst., 10, Wien, 322 str.

PRLJ, N. & MUDRENOVIĆ, V. (1988): Srednjotrijaski amoniti iz područja Pribudića.- Geol. vjesnik, 41, 15-24.

TABLA 1

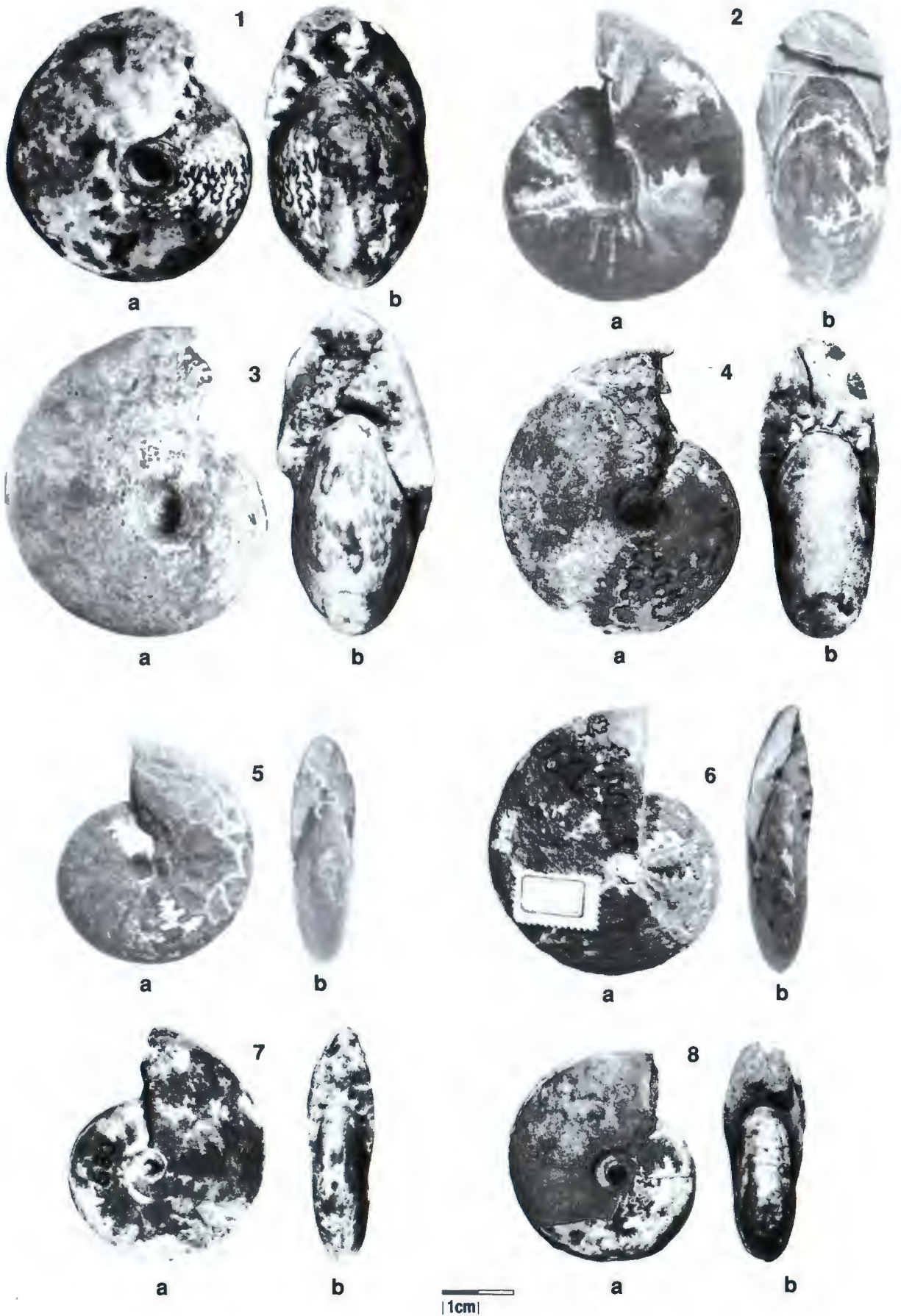
- 1 - 3 *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS (1 - Gologlav, 2 - Pribudić, 3 - Plavno).
 4 Primjerak s prijelaznim karakteristikama između *P. oppeli* i *F. flexuosus*, Prevljes.
 5 - 8 *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS) (5, 6 - Pribudić, 7, 8 - Gologlav) - (a - bočna strana, b - pogled s ušća).

(Prvotne odredbe ovih primjeraka bile su: 1 - *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS; 2 - *Ptychites stachei* MOJSISOVICS; 3 - *Ptychites eusomus* (BEYRICH); 4 - *Flexoptychites gibbus* (BENECKE); 5 - *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS); 6 - *Flexoptychites acutus* (MOJSISOVICS); 7 - *Flexoptychites uhligi* (MOJSISOVICS); 8 - *Flexoptychites studeri* (HAUER))

PLATE 1

- 1 - 3 *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS (1 - Gologlav, 2 - Pribudić, 3 - Plavno).
 4 Specimen with transitional characteristics between *P. oppeli* i *F. flexuosus*, Prevljes.
 5 - 8 *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS) (5, 6 - Pribudić, 7, 8 - Gologlav) - (a - lateral view, b - frontal view).

(Former determinations of these specimens were: 1 - *Ptychites oppeli* MOJSISOVICS; 2 - *Ptychites stachei* MOJSISOVICS; 3 - *Ptychites eusomus* (BEYRICH); 4 - *Flexoptychites gibbus* (BENECKE); 5 - *Flexoptychites flexuosus* (MOJSISOVICS); 6 - *Flexoptychites acutus* (MOJSISOVICS); 7 - *Flexoptychites uhligi* (MOJSISOVICS); 8 - *Flexoptychites studeri* (HAUER))







Poredbena analiza parametara jedinične ćelije kristala barita različitih tipova habitusa

Comparative Analysis of the Unit Cell Dimensions of Different Habit Type of Barite Crystals

Biserka RADANOVIĆ-GUŽVICA¹, Stjepan ŠČAVNIČAR² & Vladimir ZEBEC¹

Ključne riječi: barit, tipovi habitusa, parametri jedinične ćelije.

Key words: Barite, Habit types, Unit cell dimensions.

Sažetak

Poredbenom analizom parametara jedinične ćelije uzorka barita različitih tipova habitusa utvrđeno je da u smjeru izduljenja kristala parametar jedinične ćelije ima najmanju relativnu vrijednost (a_0 je smanjen kod baritnih kristala izduljenih smjerom [100] (E_a skupina); b_0 je smanjen kod baritnih kristala izduljenih smjerom [010] (E_b skupina); c_0 je smanjen kod baritnih kristala izduljenih smjerom [001] (E_c skupina)). U smjeru skraćivanja kristala parametar jedinične ćelije ima najveću relativnu vrijednost, tj. c_0 ima najveću relativnu vrijednost kod kristala pločastih po baznom pinakoidu (T_c skupina). Analizom međuovisnosti postotnih vrijednosti parametara jedinične ćelije istraživanih uzoraka barita u odnosu na parametre jedinične ćelije standardnog celestina (A_0/B_0 , A_0/C_0 i B_0/C_0) uočene su obrnute tendencije promjena parametara za E_a i E_b skupine, kao i za T_c i E_c skupine baritnih kristala.

Abstract

By comparative analysis of the unit cell dimensions of barite specimens, represented by different habit types, it was determined that the value of unit cell parameter decreases in direction of crystal elongation (a_0 is decreased in the case of barite crystals elongated in [100] direction (E_a group); b_0 is decreased in the case of barite crystals elongated in [010] direction (E_b group); c_0 is decreased in the case of barite crystals elongated in [001] direction (E_c group)). The value of unit cell parameter increases in the shortening direction, i.e. c_0 is increased in the case of barite crystals tabular on basal pinacoid (T_c group). By analysis of dependencies of percentage values of the unit cell dimensions of investigated barite samples with the unit cell dimensions of standard celestine (A_0/B_0 , A_0/C_0 and B_0/C_0), inverse tendencies of parameters changes for E_a and E_b groups, as well as for T_c and E_c groups of barite crystals were observed.

UVOD

Barit je jedna od rjedih mineralnih vrsta čiji se kristali mogu pojavljivati u ekstremno različitim tipovima habitusa. BRAUN (1932) je na temelju istraživanja ovisnosti morfologije barita i paragenese izdvojio 7 različitih tipova habitusa kristala. Kod uzoraka barita iz Westmorlanda i County Durhama u sjevernoj Engleskoj utvrđeno je 6 stadija promjena habitusa tijekom rasta kristala (SEAGER & DAVIDSON, 1952). Proučavanjem fantoma i inkluzija u kristalima barita iz Muddy Creek-a u Koloradu uočeno je najmanje 5 epizoda u rastu kristala koje se očituju u promjeni morfologije tijekom vremena (TRUEBE, 1981). BURKHARD (1978) je, istražujući barit i celestin, te njihove mješance iz područja Švicarskih Alpa i Jure, uočio da su prom-

jene habitusa kristala i nekih drugih svojstava ovisne o promjeni količine $SrSO_4$. Kod barita iz Krapinskih Toplica u Hrvatskom zagorju utvrđen je razvojni niz kristala tijekom kristalizacije koji je praćen promjenom temperature i smanjenjem količine celestinske komponente (ZEBEC, 1976). U novije vrijeme provode se brojna istraživanja o podudaranju i međusobnoj povezanosti strukture i morfologije barita (SCHWARZ & FOLLNER, 1981; HARTMAN & STROM, 1989; SAWADA & TAKÉUCHI, 1990; RADANOVIĆ-GUŽVICA et al., 2000).

U zbirci Mineraloško-petrografskog odjela Hrvatskog prirodoslovnog muzeja u Zagrebu nalazi se velik broj uzoraka barita različitog habitusa kristala. Zbog toga se pojavila potreba za sistematskim istraživanjem morfologije i nekih strukturnih elemenata, a posebno

¹ Mineraloško-petrografski odjel, Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Mineraloško-petrografski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

parametara jedinične ćelije da bi se utvrdila ovisnost morfologije barita o njegovoj strukturi.

Ovaj rad rezultat je istraživanja pretežno obavljenih u okviru izrade magistarskog rada "Morfološke i kemijske značajke barita odabranih iz zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja u Zagrebu" (RADANOVIĆ-GUŽVICA, 1995).

MATERIJAL I METODE RADA

U ovom radu obrađeni su uzorci barita iz Mrzlih Vodica u Gorskom kotaru, Sivca na Petrovoj gori, Ričica u Lici, Žuna u sjeverozapadnoj Bosni i Hercegovini, doline rijeke Krivaje, područja Mačkare, Veovače i širjeg područja Kreševa u središnjem dijelu Bosne i Hercegovine, Prače u istočnoj Bosni i Hercegovini, Šuplje Stene na Avali, Velikog Majdana u zapadnoj Srbiji i Starog Trga (Trepče) na Kosovu, Jugoslavija.

Kristalografska istraživanja izvršena su RTG snimanjem metodom praha na vertikalnom Philips-ovom goniometru sa Cu K_{α} zračenjem i grafitnim monokromatorom kod standardnih uvjeta: 40 kV, 30 mA, 1° 2θ /min za brojač i 1 cm/min za papir, u području od 6 do 1° 2θ . Identifikacija refleksa načinjena je u skladu sa JCPDS karticom br. 24-1035. Parametri jedinične ćelije rezultat su utočnjavanja metodom najmanjih kvadrata korištenjem GITTER kompjutorskog programa (HUMMEL, 1982) na temelju 28 do 32 indicirana refleksa.

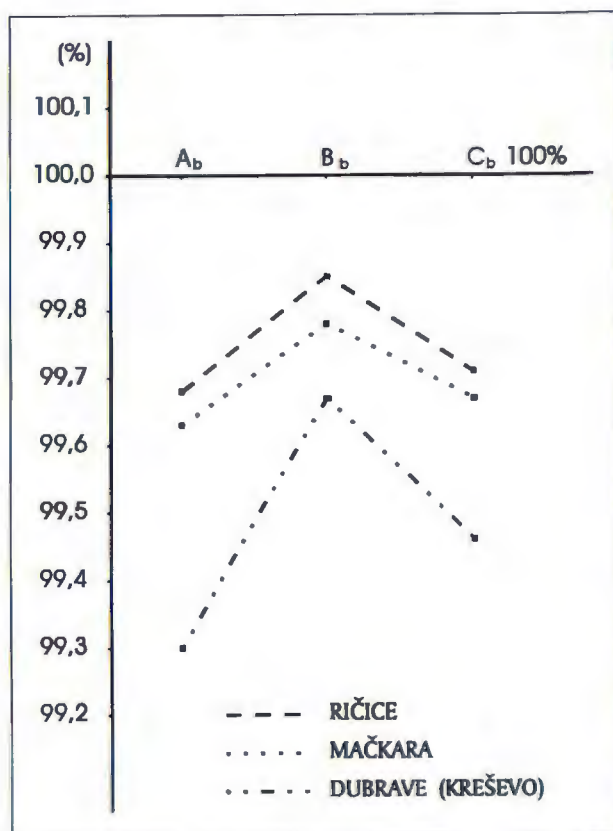
Poredbena analiza parametara jedinične ćelije istraživanih uzoraka barita izvršena je radi boljeg sagledavanja i objašnjenja opaženih međusobnih razlika. Izračunate vrijednosti parametara jedinične ćelije pojedinih uzoraka barita različitih tipova habitusa prikazane su kao postotne vrijednosti (A_b , B_b , C_b) u odnosu na parametre jedinične ćelije standardnog barita prema JCPDS kartici br. 24-1035: $(a_0)_{sb} = 8,8811(4)$ Å, $(b_0)_{sb} = 5,4541(3)$ Å, $(c_0)_{sb} = 7,1565(3)$ Å (vrijednosti parametara jedinične ćelije usklađene su s uobičajenom orijentacijom barita, korištenom u ovom djelu). Postotne vrijednosti parametara jedinične ćelije (A_b , B_b , C_b) izračunate su prema slijedećim formulama:

$$A_b = [(a_0)_u / (a_0)_{sb}] \times 100$$

$$B_b = [(b_0)_u / (b_0)_{sb}] \times 100$$

$$C_b = [(c_0)_u / (c_0)_{sb}] \times 100$$

gdje indeks "u" označava pojedini uzorak barita. Izračunate postotne vrijednosti parametara jedinične ćelije (A_b , B_b , C_b) grupirane su prema tipovima habitusa baritnih kristala i prikazane grafički u dijagramima stopostotnih vrijednosti. Osim toga, izvršena je i poredbena analiza parametara jedinične ćelije istraživanih uzoraka barita u odnosu na parametre jedinične ćelije standardnog celestina prema JCPDS kartici br. 05-0593: $(a_0)_{sc} = 8,359$ Å, $(b_0)_{sc} = 5,352$ Å, $(c_0)_{sc} = 6,866$ Å. Postotne vrijednosti parametara jedinične ćelije (A_c , B_c , C_c) u odnosu na standardni celestin izračunate su na isti način kao i postotne vrijednosti (A_b , B_b , C_b) u odnosu na standardni barit.

















Sl. 1 Dijagram postotnih vrijednosti parametara jedinične ćelije baritnih kristala izduljenih smjerom [100] (E_a skupina).

Fig. 1 Diagram of the percentage values of the unit cell dimensions of barite crystals elongated in [100] direction (E_a group).

Uzorci barita na kojima su izvršena ranije opisana istraživanja pohranjeni su u zbirci Mineraloško-petrografskog odjela Hrvatskog prirodoslovnog muzeja u Zagrebu.

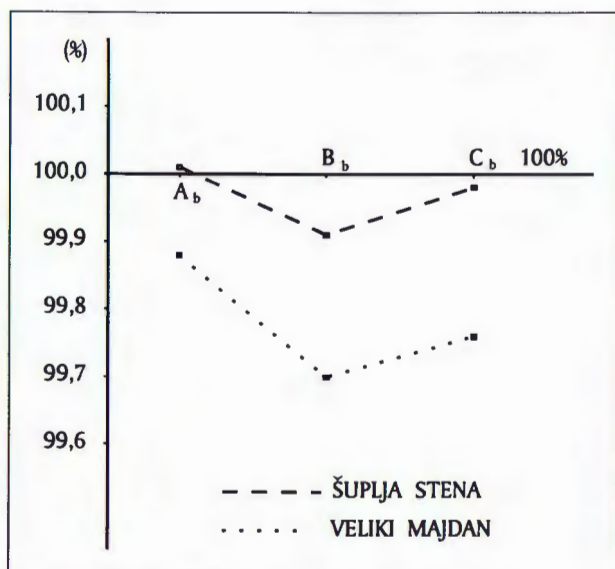
POREDBENA ANALIZA PARAMETARA JEDINIČNE ĆELIJE

Usporedbom parametara jedinične ćelije istraživanih uzoraka barita sa parametrima jedinične ćelije standardnog barita uočena je veza između parametara jedinične ćelije (tj. njihovim postotnim vrijednostima) i tipa habitusa. Kod uzoraka barita čiji su kristali izduljeni smjerom [100] (E_a skupina) postotna vrijednost parametra a_0 (A_b) je najmanja (tablica 1 i sl. 1). Postotna vrijednost parametra b_0 (B_b) najmanja je kod uzoraka barita čiji su kristali izduljeni smjerom [010] (E_b skupina) (tablica 1 i sl. 2), dok je postotna vrijednost parametra c_0 (C_b) najmanja kod uzoraka barita čiji su kristali izduljeni smjerom [001] (E_c skupina) (tablica 1 i sl. 3). Kod baritnih kristala najčešćeg tipa habitusa - kristala pločastih po baznom pinakoidu {001} (T_c skupina) postotna vrijednost parametra c_0 (C_b) je najveća (tablica 1 i sl. 4). Izračunate vrijednosti parametara jedinične ćelije najniže su kod uzorka barita iz Dubrava kod Kreševa

SKUPINA GROUP	TIP HABITUSA HABIT TYPE	NALAZIŠTE LOCALITY	a_0, b_0, c_0 (Å)	A_b, B_b, C_b (%)	A_c, B_c, C_c (%)
E _a		Ričice	$a_0=8.853(3)$ $b_0=5.446(1)$ $c_0=7.136(2)$	$A_b=99.683$ $B_b=99.851$ $C_b=99.713$	$A_c=105.910$ $B_c=101.756$ $C_c=103.932$
		Dubrave, Kreševo	$a_0=8.819(3)$ $b_0=5.436(2)$ $c_0=7.118(3)$	$A_b=99.300$ $B_b=99.668$ $C_b=99.462$	$A_c=105.503$ $B_c=101.570$ $C_c=103.670$
		Mačkara	$a_0=8.848(3)$ $b_0=5.442(1)$ $c_0=7.133(2)$	$A_b=99.627$ $B_b=99.778$ $C_b=99.671$	$A_c=105.850$ $B_c=101.682$ $C_c=103.889$
E _b		Šuplja Stena	$a_0=8.882(2)$ $b_0=5.449(1)$ $c_0=7.155(3)$	$A_b=100.010$ $B_b=99.906$ $C_b=99.979$	$A_c=106.257$ $B_c=101.812$ $C_c=104.209$
		Veliki Majdan	$a_0=8.870(3)$ $b_0=5.438(3)$ $c_0=7.139(3)$	$A_b=99.875$ $B_b=99.704$ $C_b=99.755$	$A_c=106.113$ $B_c=101.607$ $C_c=103.976$
E _c		Krivaja	$a_0=8.880(2)$ $b_0=5.453(1)$ $c_0=7.148(2)$	$A_b=99.987$ $B_b=99.979$ $C_b=99.881$	$A_c=106.233$ $B_c=101.887$ $C_c=104.107$
		Sivac	$a_0=8.852(5)$ $b_0=5.445(3)$ $c_0=7.128(4)$	$A_b=99.672$ $B_b=99.833$ $C_b=99.601$	$A_c=105.898$ $B_c=101.738$ $C_c=103.816$
T _c		Žune	$a_0=8.876(2)$ $b_0=5.452(2)$ $c_0=7.162(2)$	$A_b=99.942$ $B_b=99.961$ $C_b=100.077$	$A_c=106.185$ $B_c=101.868$ $C_c=104.311$
		Mrzle Vodice	$a_0=8.873(5)$ $b_0=5.448(4)$ $c_0=7.167(4)$	$A_b=99.908$ $B_b=99.988$ $C_b=100.147$	$A_c=106.149$ $B_c=101.794$ $C_c=104.384$
		Veovača	$a_0=8.856(2)$ $b_0=5.441(2)$ $c_0=7.142(1)$	$A_b=99.717$ $B_b=99.759$ $C_b=99.797$	$A_c=105.946$ $B_c=101.663$ $C_c=104.020$
		Kreševo	$a_0=8.863(3)$ $b_0=5.445(2)$ $c_0=7.149(3)$	$A_b=99.796$ $B_b=99.833$ $C_b=99.895$	$A_c=106.029$ $B_c=101.738$ $C_c=104.122$
		Prača	$a_0=8.874(3)$ $b_0=5.454(1)$ $c_0=7.158(2)$	$A_b=99.920$ $B_b=99.998$ $C_b=100.021$	$A_c=106.161$ $B_c=101.906$ $C_c=104.253$
		Veliki Majdan	$a_0=8.866(2)$ $b_0=5.440(2)$ $c_0=7.151(3)$	$A_b=99.829$ $B_b=99.741$ $C_b=99.923$	$A_c=106.065$ $B_c=101.644$ $C_c=104.151$
		Stari Trg (Trepča)	$a_0=8.869(3)$ $b_0=5.454(3)$ $c_0=7.159(3)$	$A_b=99.863$ $B_b=99.998$ $C_b=100.035$	$A_c=106.101$ $B_c=101.906$ $C_c=104.267$

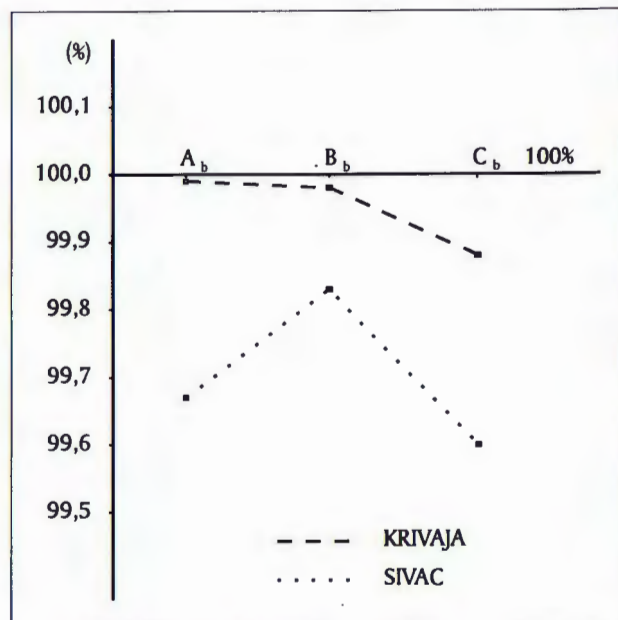
Tablica 1 Vrijednosti parametara jedinične ćelije baritnih kristala različitih tipova habitusa iz 12 nalazišta, te njihove postotne vrijednosti (A_b, B_b, C_b) u odnosu na parametre jedinične ćelije standardnog barita (prema JCPDS kartici br. 24-1035), i postotne vrijednosti (A_c, B_c, C_c) u odnosu na parametre jedinične ćelije standardnog celestina (prema JCPDS kartici br. 05-0593).

Table 1 Values of the unit cell dimensions of different habit type of barite crystals from 12 localities, and its percentage values (A_b, B_b, C_b) in relation to the unit cell dimensions of standard barite (according to JCPDS card no. 24-1035), and percentage values (A_c, B_c, C_c) in relation to the unit cell dimensions of standard celestine (according to JCPDS card no. 05-0593).



Sl. 2 Dijagram postotnih vrijednosti parametara jedinične ćelije baritnih kristala izduljenih smjerom [020] (E_b skupina).

Fig. 2 Diagram of the percentage values of the unit cell dimensions of barite crystals elongated in [010] direction (E_b group).

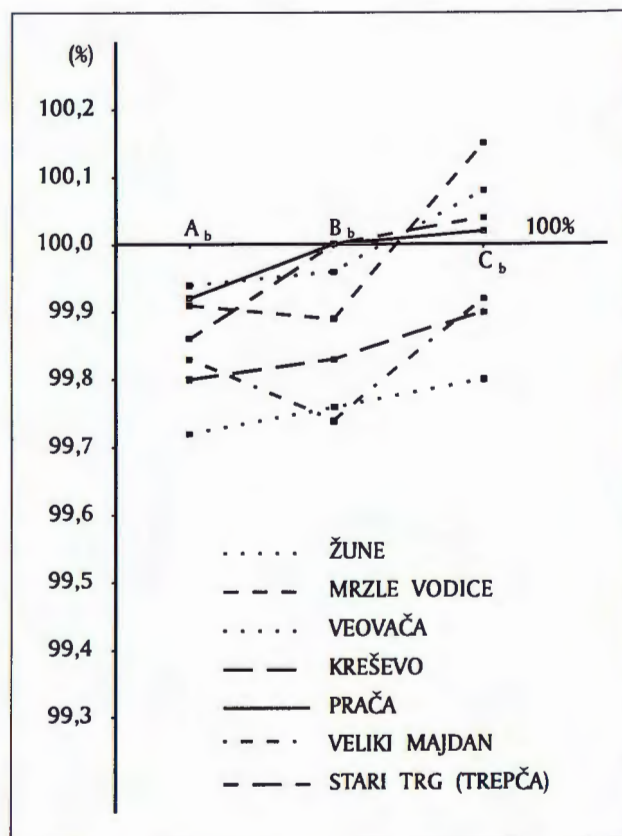


Sl. 3 Dijagram postotnih vrijednosti parametara jedinične ćelije baritnih kristala izduljenih smjerom [001] (E_c skupina).

Fig. 3 Diagram of the percentage values of the unit cell dimensions of barite crystals elongated in [001] direction (E_c group).

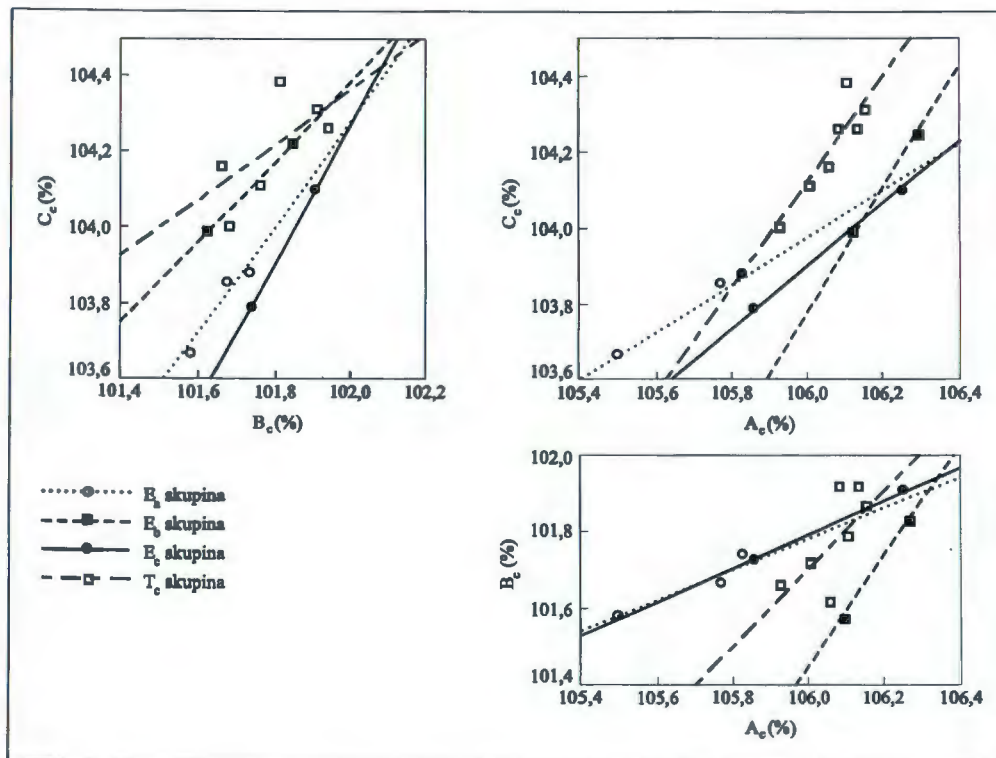
čiji su kristali izduljeni smjerom [100], a istovremeno pokazuju i maksimalno odstupanje od vrijednosti standardnog barita. To odstupanje iznosi: $\Delta a_0 = (-0,062 \pm 0,003) \text{ \AA}$; $\Delta b_0 = (-0,018 \pm 0,002) \text{ \AA}$; $\Delta c_0 = (-0,039 \pm 0,003) \text{ \AA}$. Osim toga, potrebno je naglasiti da je ranije opisana ovisnost između tipa habitusa i dimenzije jedinične ćelije utvrđena kod svih ispitivanih uzoraka barita.

Usporedbom parametara jedinične ćelije istraživanih uzoraka barita sa parametrima jedinične ćelije standardnog celestina uočava se da je razlika najveća kod parametra a_0 čije se postotne vrijednosti A_c kreću od 105,503% do 106,257% (tablica 1). Najmanja razlika uočena je kod parametra b_0 , čije se postotne vrijednosti B_c kreću u rasponu od 101,57% do 101,906% (tablica 1). Kod parametra c_0 razlika izražena kao postotna vrijednost C_c kreće se u rasponu od 103,67% do 104,384% (tablica 1). Iz dijagrama međusobne ovisnosti parametara jedinične ćelije a_0 i b_0 tj. postotnih vrijednosti A_c i B_c (sl. 5) uočava se da je koeficijent nagiba pravca regresije najniži kod E_a skupine baritnih kristala i iznosi 0,411, a najveći je kod E_b skupine i iznosi 1,424, što izražava obratnu tendenciju promjene postotnih vrijednosti A_c i B_c . Obratna tendencija promjene parametara A_c i B_c uočava se i kod E_c i T_c skupina, gdje koeficijent nagiba pravca regresije za E_c skupinu iznosi 0,445 i izražava tendenciju veće promjene A_c u odnosu na B_c , dok je koeficijent nagiba pravca regresije za T_c skupinu 0,989 i izražava tendenciju veće promjene B_c u odnosu na A_c (Sl. 5). Usporedbom međusobne ovisnosti parametara jedinične ćelije a_0 i c_0 tj. njihovih postotnih vrijednosti A_c i C_c (sl. 5) uočava se da pravci regresije, odnosno njihovi koeficijenti nagiba također ukazuju na



Sl. 4 Dijagram postotnih vrijednosti parametara jedinične ćelije baritnih kristala pločastih po baznom pinakoidu {001} (T_c skupina).

Fig. 4 Diagram of the percentage values of the unit cell dimensions of barite crystals tabular on {001} basal pinacoid (T_c group).



Sl. 5 Dijagrami međuovisnosti postotnih vrijednosti (A_c/B_c , A_c/C_c i B_c/C_c) parametara jedinične ćelije uzoraka barita (4 različite morfološke skupine - E_a , E_b , E_c i T_c) u odnosu na parametre jedinične ćelije standardnog celestina (prema JCPDS kartici br. 05-0593).

Fig. 5 Diagrams of dependencies of percentage values (A_c/B_c , A_c/C_c and B_c/C_c) of unit cell dimensions of barite samples (4 morphological different groups - E_a , E_b , E_c and T_c) in relation to the unit cell dimensions of celestine standard (according to JCPDS card no. 05-0593).

obrnute tendencije promjene postotnih vrijednosti A_c i C_c kod E_a skupine ($b=0,639$) i E_b skupine ($b=1,618$) baritnih kristala, kao i kod E_c skupine ($b=0,869$) i T_c skupine ($b=1,35$) (sl. 5). Iz dijagrama međusobne ovisnosti postotnih vrijednosti B_c i C_c parametara jedinične ćelije b_0 i c_0 (sl. 5) uočava se da je koeficijent nagiba pravca regresije najniži kod T_c skupine i iznosi 0,787, a najveći kod E_c skupine i iznosi 1,953, što izražava obratnu tendenciju promjene postotnih vrijednosti B_c i C_c . Koeficijenti nagiba pravca regresije za E_a skupinu ($b=1,453$) i E_b skupinu ($b=1,137$) također ukazuju na nešto slabije izraženu obratnu tendenciju promjene postotnih vrijednosti B_c i C_c (sl. 5).

Poredbena analiza parametara jedinične ćelije izvršena je samo na kristalima barita. Buduća istraživanja trebala bi biti usmjerena na druge mineralne vrste koje se odlikuju velikom raznolikošću morfologije, kao što su kremen, kalcit, gips i wulfenit. Rezultati tih istraživanja mogli bi dati odgovor na pitanje koje se neizostavno nameće: da li je utjecaj relativnog smanjenja ili povećanja parametra jedinične ćelije na rast kristala, odnosno tip habitusa, ograničen samo na barit, ili je to općenito pravilo.

LITERATURA

- BRAUN, F. (1932): Morphologische, genetische und paragenetische Trachtstudien an Baryt.- Neues Jahrbuch Miner. Abh., 65, 173-222, Stuttgart.
- BURKHARD, A. (1978): Baryt-Coelestin und ihre Mischkristalle aus Schweizer Alpen und Jura.- Schweiz. Min. Petrogr. Mitt., 58, 1-96.
- HARTMAN, P. & STROM, C.S. (1989): Structural morphology of crystals with barite ($BaSO_4$) structure: a revision and extension.- J. Crystal Growth, 97/2, 502-512.
- HUMMEL, W. (1982): Bestimmung von Gitterparametern aus Pulverdiagrammen nach M. Mayr.- Linz-Radex-Rundsch 4/81, 682.
- RADANOVIĆ-GUŽVICA, B. (1995): Morfološke i kemijske značajke barita odabranih iz zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja u Zagrebu.- Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 152 str.
- RADANOVIĆ-GUŽVICA, B., ŠĆAVNIČAR, S. & ZEBEC, V. (2000): A new crystallographic feature of barite from the Balkan peninsula.- N. Jb. Miner. Mh., 2000/1, 15-33.
- SAWADA, H. & TAKÉUCHI, Y. (1990): The crystal structure of barite, $b-BaSO_4$, at high temperatures.- Z. Kristall., 191/3-4, 161-171.
- SCHWARZ, H. & FOLLNER, H. (1981): A new investigation of correspondence between structure and crystal morphology of barite.- Bull. Soc. Franç. Minér., 104, 215-217.
- SEAGER, A.F. & DAVIDSON, W.F. (1952): Changes in habit during the growth of baryte crystals from the north of England.- Miner. Mag., 29, 885-894.
- TRUEBE, H.A. (1981): Water-clear barite from Muddy Creek, Colorado.- Miner. Record, 12, 79-80.
- ZEBEC, V. (1976): Barit i kalcit iz kamenoloma litotamnjskog vapnenca u Krapinskim Toplicama u Hrvatskom Zagorju.- Geološki vjesnik, 29, 323-345.



Temperature of Homogenization of Fluid Inclusions in Ore Parageneses of Vareš Metallogenic Zone, Central Bosnia

Enes RAMOVIĆ

Key words: Key words: Fluid inclusions, Temperature of homogenization, Vareš metallogenic zone, Central Bosnia, Dinarides.

During regional metallogenic prospection in Bosnia, since 1976 until 1982, a part of the research was dedicated to fluid inclusions in mineral parageneses from ore deposits in Central Bosnia. The research has been focused only on temperature of homogenization in particular, due to availability of instrumentation and partly from the inconvenient material due to a small size of FIs. The inconvenience arises from the very nature of the ore deposits from Vareš metallogenic region, i.e. volcanogenic-sedimentary (SEDEX), with clear stratiform characteristics. The measurements were performed on a large number of minerals within variety of parageneses from polymetallic districts: Vareš-Srednje-Olovo, and deposits: Gornja Borovica, Vareš, Veovača, and Maina near Srednje.

Preliminary results of the study were presented by BLEČIĆ & RAMOVIĆ (1987), and detailed review of the results and the interpretation by RAMOVIĆ (1991). The obtained results are summarized in Tables 1-3.

Results for the Gornja Borovica ore field are presented in Table 1. Some FIs in barite from Radakovac locality have Th as high as 200°C, what could be assigned to possible leakage phenomena.

The Vareš-Veovača ore field results are presented in Table 2.

Characteristics of the polymetallic ore-field Srednje are presented in Table 3.

CONCLUSION

The fluid inclusions in the ore minerals and dolomite from the three fields show following characteristics, small size less than 20 μm , ubiquitous constant L/V ratio and Th from 50-180°C. Higher temperatures in barite (more than 200°C) are probably result of FIs leakage, common in barite mineral elsewhere. A real temperature of formation at present is not possible to determine without use of an independent geothermometer. The results, however, are an indication of possible low formation temperature (BLEČIĆ & RAMOVIĆ, 1982; RAMOVIĆ, 1991).

REFERENCES

- BLEČIĆ, N. & RAMOVIĆ, E. (1982): Rezultati preliminarnih geotermometrijskih ispitivanja rudnih formacija obojenih metala u širem području Vareša.- X jubilarni kongres geologa Jugoslavije, Zbornik radova, 11, 17-25, Budva.
- RAMOVIĆ, E. (1991): Metalogenija Bosne i Hercegovine.- Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Locality	Mineral	Inclusion type	Th (°C)	Notes
Veliki Do	barite	(L+V)	130-170	veinlets Sph+Ga
Radakovac	barite	(V+L)	50-148	const. LN ratio
	sphalerite	(V+L)	75-130	regular shape
	barite	(V+L)	50-80	Secondary FIs
	barite	(L+V)	124-148	Ba+Q+Ga+Sph
Križ	dolomite	(L+V)	120-160	vein dolomite
	barite	(L+V)	100-170	very small bubble
	sphalerite	(L+V)	87-129	const. L/V ratio moving bubble, colloform structure
Juraševac	sphalerite	(L+V)	80-120	
Brestić	calcite	(L+V)	80-140	tiny gas bubble
	sphalerite	(L+V)		solid galena inclus.

Table 1 Th and basic characteristics of FIs from Gornja Borovica ore field.

Locality	Mineral	Inclusion type	Th (°C)	Notes
Vareš	sphalerite	(L+V)	110-130	ore bearing dolomite
	barite	(L+V)	200-230	possible leakage
	barite	(L+V)	100-130	small vapor bubble
			(L), (G)	
Veovača	barite	(L+V)	60-160	
	sphalerite	(L+V)	70-145	small vapor bubble
Selište	sphalerite	(L+V)	90-145	
	barite	(L+V)	90-160	constant L/V ratio

Table 2 Th and basic characteristics of FI from Vareš-Veovača ore field.

Locality	Mineral	Inclusion type	Th (°C)
Maine	barite	(L+V)	90-110
	siderite	(L+V)	90-112
	sphalerite	(L+V)	90-134
	dolomite	(L+V)	95-169

Table 3 Th and characteristics of FIs from Srednje ore-field locality.



Karakteristike vulkansko-sedimentnih facijesa Dravske potoline na primjerima bušotina Bačkovica-1 i Crna Bara-1 α

Characteristics of the Volcanic-Sedimentary Facies in Bačkovica-1 and Crna Bara-1 α Wells, Drava Depression

Nevenka RAŠKAJ, Zlata IVANIČEK & Jasna TADEJ

Ključne riječi: vulkanska aktivnost, vulkanoklastična breča, tokovi lava i intruzije, hijaloklastiti.

Key words: Volcanic activity, Volcanoclastic breccia, Lava flows and intrusions, Hyaloclastite.

Sažetak

Uspoređivanjem vulkansko-sedimentnih facijesa jugozapadnog i sjeveroistočnog dijela Dravske potoline na primjerima bušotina Bačkovica-1 i Crna Bara-1 α može se zaključiti da postoji genetska sličnost u načinu pojavljivanja vulkanita. Ova su područja u miocenu bila neposredno pod utjecajem intenzivne vulkanske aktivnosti. Vulkanske pojave dokazane su kao subaerski izljevi lava, resedimentirani *mass flow* (za vrijeme i nakon erupcije) i kao plitke intruzije u nekonsolidirane ili nepotpuno konsolidirane sedimente vanjskog šelfa.

Abstract

Correlation with SW and NE Drava depression district indicates genetic similarity of volcanic-sedimentary facies in Bačkovica-1 and Crna Bara-1 α wells. Both of them were directly controlled by intensive volcanic activity in the Miocene. Volcanic evidence is demonstrated as subaerial lava flow, resedimented volcanoclastic mass flow (syn-eruptive/post-eruptive), as well as shallow intrusions in unconsolidated or weakly consolidated outer shelf sediments.

1. UVOD

Bušotina Bačkovica-1 (Bac-1) nalazi se u središnjoj Hrvatskoj i pripada sjevernom dijelu bjelovarske depresije. Izbušena je 1997. godine, a bušenje je zaustavljeno na dubini od 2.100 m. Udaljena je otprilike stotinjak km u smjeru sjeveroistoka od usmjerene bušotine Crna Bara-1 α (CrB-1 α) koja se nalazi u sjeverozapadnom dijelu istočno-slavonske depresije. Crna Bara-1 α izbušena je 1998. godine sa konačnom dubinom od 3.040 m.

Utvrđivanje vulkansko sedimentnih facijesa kao i njihova zastupljenost u bušotinama u označenim intervalima temelji se na petrografsko-sedimentološkim analizama jezgri i krhotina stijena iz isplake koje su rađene u sklopu završnog izvješća bušotina Bačkovica-1 (RAŠKAJ & VLAHOVIĆ, 1997) i Crna Bara-1 α (RAŠKAJ & VLAHOVIĆ, 1998).

2. OSNOVNI STRATIGRAFSKI PODACI

Podinu vulkansko-sedimentnih facijesa u obje bušotine izgrađuju efuzivi različitog petrografskog sastava.

Na Bac-1 nabušeni su dacit-rioliti za koje se pretpostavlja da su donjomiocenske starosti, dok su trahitandeziti iz CrB-1 α kronostratigrafski nedeterminirani.

Na Bac-1 izdvojena su dva vulkansko-sedimentna facijesa (VS₁ i VS₂) različite starosti. VS₁ (interval 2.094-1.950 m) pripada donjem miocenu - egenburg, dok je VS₂ (interval 1.820-1.695 m) badenske starosti (RAŠKAJ & VLAHOVIĆ, 1997). Na bušotini CrB-1 α izdvojen je jedan vulkansko-sedimentni facijes (VS₁) u intervalu 2.900-2.800 m utvrđene badenske starosti (RAŠKAJ & VLAHOVIĆ, 1998).

3. LITOLOŠKE I GENETSKE KARAKTERISTIKE VS FACIJESA

Pod vulkansko-sedimentnim facijesom smatra se facijes koji se sastoji od mješavine vulkanskih i sedimentnih stijena nastalih za vrijeme trajanja vulkanske aktivnosti ili neposredno nakon završetka iste. Definiran je litološkim i genetskim karakteristikama koje daju podatke o petrografskom sastavu, strukturalno-teksturnim osobinama, smještaju primarnih vulkanskih i vulkanokla-

stičnih stijena, uključujući i taložne procese (McPHIE et al., 1993).

Na izabranim bušotinama facijesi su određeni na temelju detaljnih petrografskih analiza stijena iz jezgri, koristeći klasifikaciju McPHIE et al. (1993), te sedimentološke radove navedene pod literaturom.

3.1. LITOLOŠKE I GENETSKE KARAKTERISTIKE VULKANSKO-SEDIMENTNIH (VS) FACIJESA BUŠOTINE BAČKOVIKA-1 (Bac-1)

VS₁ - submarinski resedimentirani sineruptivni vulkanoklastiti

VS₁ facijes određen je prema petrografskim analizama stijena iz jezgrovanog intervala od 1.992,0-1.997,0 m u kojem je dobiveno 2,5 m jezgre. Izgrađuju ga vulkanoklastične breče u izmjeni sa horizontalno do koso laminiranim proslojcima tufita i tufitičnih grauakva. U sastavu breča prevladavaju juvenilni klasti i piroklasti riolitkog i dacitkog sastava izrazito vezikularne odnosno amigdaloidalne teksture (uslijed naknadne alteracije, kloritizacijom i kalcitizacijom nastale su mandule), porfirne i nejednoliko izražene sferulitske i perlitske strukture. Fragmenti su nesortirani, dimenzija od krupnog pijeska do blokova (veličine oko 40 cm), nevezani i/ili vezani tufitičnim grauakvnim matriksom. U tufitičnim grauakvama, uz neravnomjeran udio čestica vulkanskog porijekla u osnovi je primijećen rijetki, djelomično piritizirani biodetritus i poneka krhotina metamorfita.

Karakter i zastupljenost juvenilnih piroklasta ukazuje da su još topli klasti iz eksplozivnih erupcija kiselog sastava gravitacijskim tokovima visoke gustoće transportirani u subakvatičnu sredinu, gdje su se mješali s marinskim sedimentima.

VS₂ - hijaloklastiti i "slampne"/debritne breče

VS₂ facijes određen je na temelju petrografskih analiza stijena iz jezgrovanog intervala 1.738,0-1.744,0 m. Jezgru izgrađuju monomiktne vulkanske breče nastale ili plitkim intruzijama ili izljevanjem lave u nekonsolidirane izrazito fosiliferne, glinovitokarbonatne sedimente vanjskog šelfa/padine i klastični krupnozrnati sedimenti, izgrađeni od intraklasta nastalih klizanjem, slampiranjem i pretaložavanjem još nepotpuno litificiranih marinskih taloga (TIŠLJAR, 1994) te ekstraklasta (veličine do 30 cm) koji su naglom erozijom, tektonskim potresima i/ili kompleksnim tokovima masa taloženi unutar istog sedimentacijskog prostora (GALLOWAY et al., 1996).

Vulkanske breče izgrađuju vezikulami do amigdaloidni fragmenti dacita koji se međusobno dodiruju ili su odijeljeni staklastim matriksom istog sastava, a fragmenti pokazuju tipične "jigsaw-fit" teksture (McPHIE et al., 1993). Struktura fragmenata je porfirna, hijalopilitiska te mjestimično intersertalna i perlitska. Brečokonglomerati se sastoje od litificiranih blokova tektonizira-

nih mikritskih vapnenaca, djelomično litificiranih valutica glinovitih biomikrita i jako fosilifernih siltoznih lapora, te vulkanskih klasta dimenzija pijeska do sitnog šljunka s međusobnom i/ili matriksnom potporom zrna. Fragmenti su vezani pjeskovitim, glinovito-karbonatnim matriksom (identičnog sastava kao i nepotpuno litificirane valutice glinovitih biomikrita), uz promjenjivu količinu biodetritusa, čestica vulkanskih stijena i pojedinačnih kristala vulkanskog porijekla.

3.2. LITOLOŠKE I GENETSKE KARAKTERISTIKE VULKANSKO-SEDIMENTNOG (VS) FACIJESA BUŠOTINE CrB-1 α

VS₁ - Intruzivni hijaloklastiti (peperiti)

VS₁ facijes određen je prema petrografskim analizama stijena iz jezgrovanog intervala od 2.853,0-2.862,0 m. Sastoji se od koherentnog trahiandezita vezikularne teksture s pilotaksitskom strukturom osnove koji od 2.857-2.853 m prelazi u klastični agregat - trahiandezitsku breču s vezivom od neravnomjerno kloritiziranog i kalcitiziranog vulkanskog stakla i fosilifernog glinovitokarbonatnog mulja. Klasti trahiandezita međusobno su subparalelni odnosno pokazuju "jigsaw-fit" teksturu.

VS₁ facijes nastao je sinvulkanskom intruzijom magme u sedimente vanjskog šelfa.

4. ZAKLJUČAK

U obje bušotine utvrđeni su hijaloklastiti nastali kao plitke intruzije magmi ili pukotinski izljevi lava u badeenske sedimente vanjskog šelfa, što ukazuje da je postanak vulkanoklastita vezan za submarinske sredine.

Na bušotini Bačkovica-1 VS₁ određen je kao vulkanoklastični *mass flow* čije karakteristike pokazuju da su i ovi vulkanoklastiti nastali u subakvatičnim sredinama no izvorište im je moguće vezano za subaerski vulkanizam.

5. LITERATURA

- GALLOWAY, W.E. & HOBDAI, D.K. (1996): Terrigenous clastic depositional systems.- Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- McPHIE, J., DOYLE, M. & ALLEN, R. (1993): Volcanic Textures. A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks.- University of Tasmania.
- RAŠKAJ, N. & VLAHOVIĆ, T. (1997): Završno laboratorijsko izvješće Bačkovica-1. Petrografsko-sedimentološka i biostratigrafska interpretacija.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, Zagreb.
- RAŠKAJ, N. & VLAHOVIĆ, T. (1998): Završno laboratorijsko izvješće Crna Bara-1a. Petrografsko-sedimentološka i biostratigrafska interpretacija.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb.



Conodont-dated Cambrian Rocks from the Tahtalıdağ Nappe (Antalya Nappes) of the Kemer Area, Western Taurides (Turkey)

Mustafa ŞENEL¹, Yakut GÖNCOĞLU¹ & Heinz W. KOZUR²

Key words: Conodonts, Cambrian, Tahtalıdağ Nappe, Western Taurides, Turkey.

Abstract

Cambrian-Lower Ordovician formations were recently described from the Tahtalıdağ Nappe of the Antalya Nappes in the Western Taurides. A conodont fauna of the uppermost Middle Cambrian *Shandongodus priscus* Zone was found in the second intercalation of Çaltepe-type nodular limestone within the lowermost part of the Seydişehir Formation in the Göynük valley (Kemer area, western Taurides).

INTRODUCTION

In the western Bey Dağları area to the northwest of the Antalya Bay (Fig. 1) the very complex structure with numerous tectonic slivers of Palaeozoic and Mesozoic platform sequences, volcanic assemblages and ophiolitic rocks has been noticed already in the earliest geological studies (e.g., TIETZE, 1885). ALTINLI (1944) was the first to recognise the presence of an autochthonous sequence (Bey Dağları Anticline) and allochthonous nappes on both sides of it, which were later named the Antalya nappes (LEFÈVRE, 1967) in the east and the Lycian nappes (BRUNN et al., 1971) in the west. MARCOUX (1970, 1977, 1979) mapped the area to the west of the Antalya Bay and considering its structural position, he subdivided the Antalya nappes into the Lower-, Middle- and Upper Nappe, and each of them was further subdivided into tectonic units. In recent studies, ŞENEL et al. (1992, 1996) and ŞENEL (1997a, b) reviewed the Antalya nappes and named them in ascending order as the Çataltepe, Alakırçay, Tahtalıdağ and Tekirova nappes.

Upper Ordovician sequences were already known from the Tahtalıdağ Nappe since 20 years (MARCOUX, 1977; ŞENEL et al., 1981). ŞENEL et al. (1992) have shown that the Palaeozoic succession starts with

the carbonates of the Çaltepe Formation (sensu DEAN & MONOD, 1970) and is followed by the shales of the Seydişehir Formation. Some intercalations of nodular limestones in the facies of the upper Çaltepe occur in the lower part of the Seydişehir Formation. However, DEAN et al. (1999) wrote again that north of Kemer, in our study area, the base of the Seydişehir Formation is faulted and Cambrian and Tremadoc are yet unknown from the Kemer area. This is in contradiction both to the published data (ŞENEL et al., 1992) that the Cambrian Çaltepe Formation is present in the Kemer area, and to our late Middle Cambrian age data of the lowermost Seydişehir Formation. According to DEAN et al. (1999), only the upper Seydişehir Formation with lenses of sandy limestones (with Arenig fossils) is present in the Kemer area.

The first conodont data on yet poorly known Cambrian sediments in the Tahtalıdağ Nappe are presented which indicate a late Middle Cambrian age for the lowermost Seydişehir Formation.

STRUCTURAL SETTING AND STRATIGRAPHY OF THE CAMBRIAN SEDIMENTS IN THE KEMER AREA

Tahtalıdağ Nappe is the middle thrust-slice of the Antalya nappes. It crops out as an almost 10 km long N-S trending tectonic sliver to the WNW of Kemer (Fig. 1a). The generalised columnar section of the Kemer Unit in the study area is given in Fig. 2.

The studied Lower Palaeozoic succession is well exposed in the Göynük Çayı Valley approximately 700 m to the west of the Pamucak Dere - Göynük Çayı junction (Fig. 1b). The measured sequence starts with a few meters thick white to yellow quartz-arenites that belong to the Feke Quartzite Formation. The quartz-arenites are bounded by a tectonic contact against the underlying Triassic rocks. The quartz-arenites are followed by the Çaltepe Formation. In the study area, the lower Çaltepe Formation consists of reddish-brown massive to thick-bedded dolomites. These dolomites are frequently

¹Department of Geology, MTA, TR-06520 Ankara, Turkey.

²Rézsü u. 83, H-1029 Budapest, Hungary.

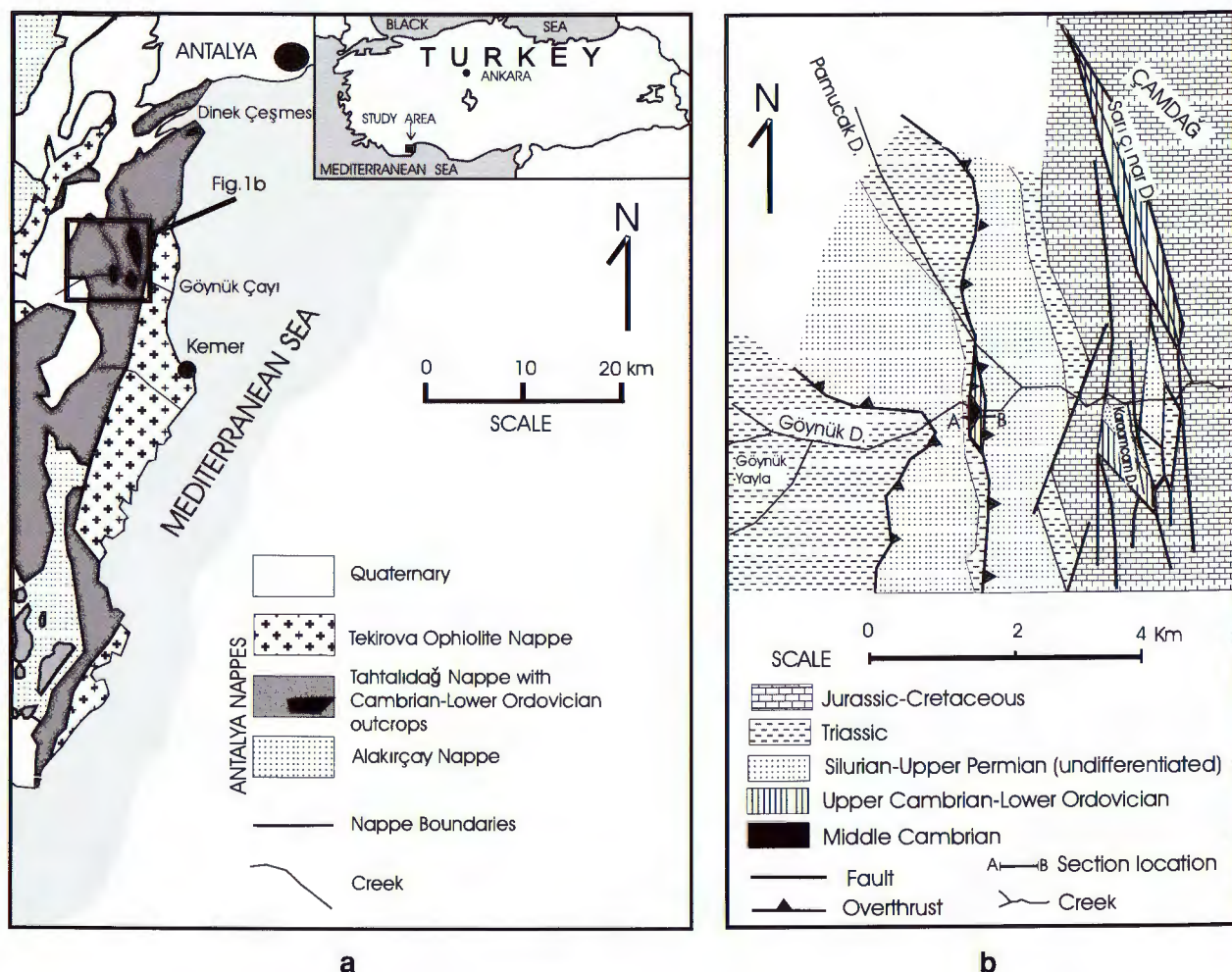


Fig. 1 Simplified geological map of the Kemer area, western Taurides west of Antalya Bay. a) Overview with position of the study area north-west of Kemer. b) Detailed geological map of the study area at Göynük Dere northwest of Kemer.

jointed and the joints are filled with hematite, baryte and calcite. The dolomites are followed by grey, green and pink recrystallized nodular limestones and dolomites. The thickness of the nodular carbonates varies between 1 and 5 metres. Upwards, the nodular carbonates are transitional to green, greyish-green and brown shales of the Seydişehir Formation.

In the study area, the Seydişehir Formation occurs as a distinct tectonic sliver, where the green shales of the formation in the foot-wall block are overthrust by green-grey shales of the same unit (Fig. 3).

Seydişehir Formation in the hanging-wall block contains in its lower part green, pink, grey and white coloured bands and lenses of nodular limestones in the facies of the upper Çaltepe Formation. The thickness of these nodular limestone interlayers is up to 1.5 m. The conodont-bearing sample (95-Ke-3) is from the second nodular limestone lens (Fig. 2) and contains also trilobites. The upper part of the Seydişehir Formation in the studied section comprises thin to thick-bedded grey, greenish-grey and brown shales with sandstone interlayers. The upper contact of the Seydişehir Formation in this area is a thrust-plane, along which Upper Perm-

ian limestones are overthrust onto the upper part of the Seydişehir Formation.

The Seydişehir Formation is exposed also to the east in the southwest of Karaamcam Dere (Fig. 1b). The overturned succession in this locality is unconformably overlain by Lower-Middle Devonian sediments. Further outcrops of the Seydişehir Formation to the west of Çamdağ does not contain bands and lenses of nodular limestones, whereas red nodular limestones are noticed as erratic blocks but not as outcrops in the Dinek Çeşme area to the southwest of Antalya. In this locality, the sequence is again overturned and contains in the sandstone interlayers a rich trilobite fauna together with trace fossils (*Cruziana rugosa*).

CONODONT DATA

Only one sample (95-K-3, Fig. 3) yielded a poor conodont fauna. Only one stratigraphically important species could be determined which indicates latest Middle Cambrian age (*Shandongodus priscus* Zone, see Figs. 4 and 5, Table 1).

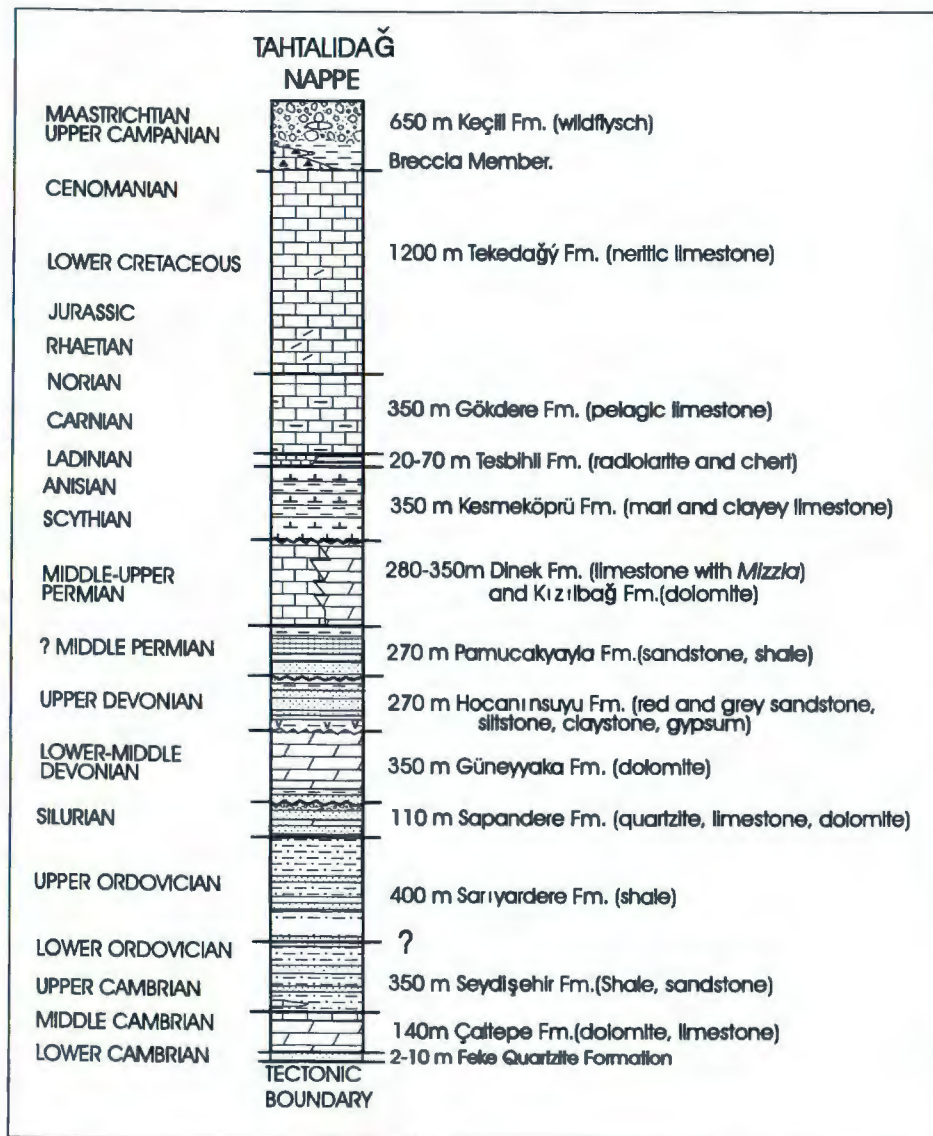


Fig. 2 General stratigraphic column of the Tahtalıdağ Nappe (Antalya nappes). Not to scale.

Genus *Westergaardodina* MÜLLER, 1959
Type species: *W. bicuspidata* MÜLLER, 1959

Westergaardodina lunata AN & MEI, 1994
(Fig. 4)

1982 *Westergaardodina lunata* n. sp. - AN & MEI, p. 541, Pl. 4, Figs. 1-3

Remarks: The inner part of the very broad lateral denticles is broken away and by this a rather wide space between the lateral denticles, as in *W. bicuspidata* is produced. The tiny central elevation which looks like a tiny central denticle, is rather a secondary feature.

Occurrence: *W. lunata* is a guideform of the *Shandongodus priscus* Zone of the uppermost Middle Cambrian, where also other forms with similar wide, in the lower part semicircular outline occur (e.g., *W. anisodonta* AN & MEI). Forms with similar semicircular outline of the lower part of the paraconodont (*W. com-*

pressa AN) occur in the *W. oryigma* Zone of the lowermost Upper Cambrian. They are, however, at their lower side not so widely rounded.

Exceptionally, few specimens of *W. bicuspidata* have a similar outline as our form (e.g., AN, 1982, Pl. 7, Fig. 7; AN & MEI, 1994, Pl. 3, Fig. 6), but the lateral denticles are not as wide and flat and these forms of *W. bicuspidata* are in general much smaller.

Prooneotodus MÜLLER & NOGAMI, 1971
Type species *Oneotodus gallatini* MÜLLER, 1959

Prooneotodus ? sp.
(Fig. 5)

Remarks: The outline of *P. gallatini* (MÜLLER) is similar, but the entire posterior margin is widely concave. In the present form, only the lower part of the posterior margin is concave but the upper part is straight. The paraconodont nature of these forms is not sure. Some trilobite spines have a similar shape and size.

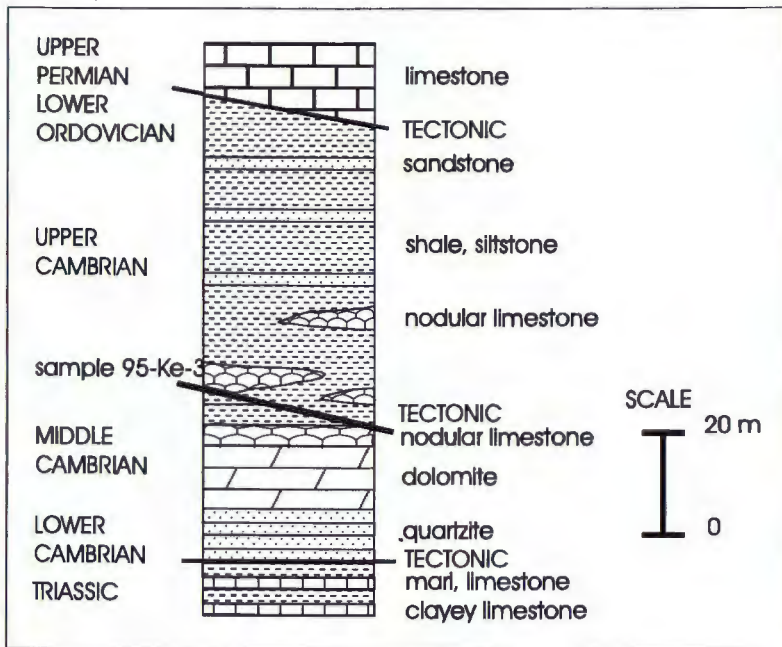


Fig. 3 Measured section A-B of Fig. 1 (with the conodont-bearing sample 95-Ke-3) in the Göynük Çayı Valley approximately 700 m to the west of the Pamucak Dere - Göynük Çayı junction. Thickness of Çaltepe Formation and Fekke Quartzite Formation are tectonically reduced.

System	Series	Conodont Zone/Subzone	
Ordovician	Tremadoc	Parioistodus proteus	
		Paltodus deltifer	
		Cordylodus angulatus	
		Iapetognathus genozone	
Cambrian	Upper Cambrian	Cordylodus lindstromi	
		Cordylodus intermedius	Clavohamulus hintzei
			Hirsutodontus simplex
		Cordylodus proavus	Clavohamulus elongatus
			Fryxellodontus inornatus
		Cambrooistodus minutus	
		Eoconodontus notchpeakensis	
		Proconodontus muelleri	
		Proconodontus posterocostatus	
		Proconodontus tenuiserratus	
	Westergaardodina fossa		
	Muellerodus ? erectus		
	Westergaardodina matsushitai		
	Westergaardodina orygma		
	Middle Cambrian	Shandongodus priscus	
Laiwugnathus laiwuensis			
unnamed Zone			

Table 1 Middle Cambrian to Tremadoc conodont zonation (after AN, 1982 and GÖNCÜOĞLU & KOZUR, 1999).

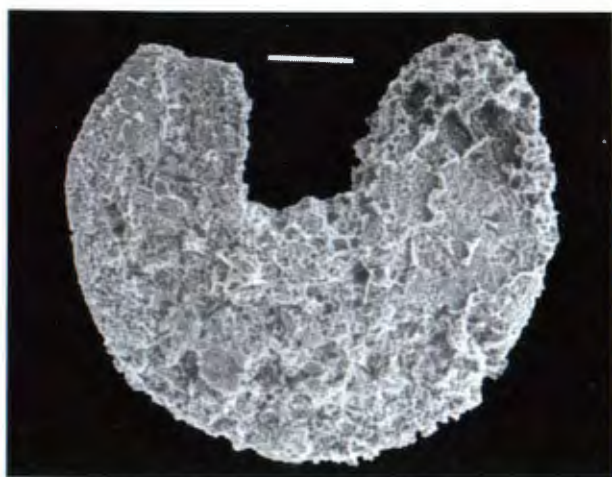


Fig. 4 *Westergaardodina lunata* AN & MEI, x 100, sample 95-Ke-3, upper Middle Cambrian *Shandongodus priscus* Zone, rep.-no. 27-11/I-43 (collection Y. GÖNCÜOĞLU, MTA, Ankara). Scale = 100 µm.

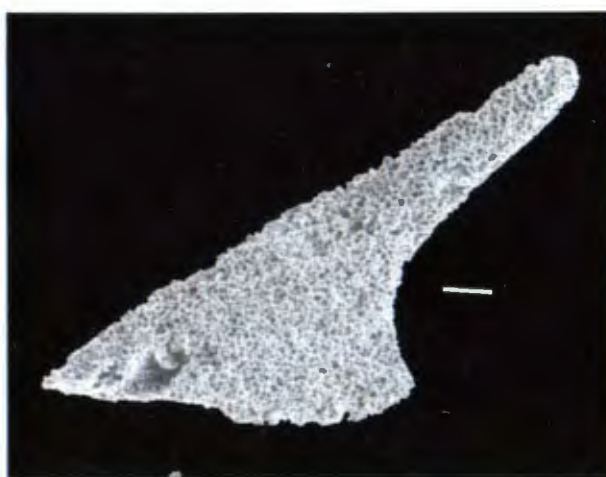


Fig. 5 *Prooneotodus* ? sp., x 70, sample 95-Ke-3, upper Middle Cambrian *Shandongodus priscus* Zone, rep.-no. 27-11/I-44 (collection Y. GÖNCÜOĞLU, MTA, Ankara). Scale = 100 µm.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The studied sequence correlates to the Seydişehir Formation, the equivalents of which are known throughout southern Turkey and should be all named as the Seydişehir Formation: Ovacık Formation in Silifke-Anamur (DEMİRTAŞLI, 1984), Armutdere Formation in Tufanbeyli (ÖZGÜL et al., 1973), Lordlar Formation in the Alanya nappes of the Alanya tectonic window (ÖZGÜL, 1985; GÖNCÜOĞLU & KOZUR, 1999), Mekersin Formation in Amanos Mountain (ATAN, 1969), and Sadan Formation in SE Anatolia (KETIN, 1966); detailed correlation is given in GÖNCÜOĞLU (1997). Cambrian conodonts were only found in few places in the lower Seydişehir Formation (Tauride Autochthon in the Hadım area, ÖZGÜL & GEDİK, 1973; Antalya Unit in the Alanya tectonic window, GEDİK, 1977, GÖNCÜOĞLU & KOZUR, 1999). On the base of Upper Cambrian to Tremadoc conodonts, ÖZGÜL & GEDİK (1973) and GEDİK (1977) suggested a Late Cambrian to Tremadoc age for the lower part of the Seydişehir Formation.

DEAN et al. (1993) reviewed the stratigraphy and fossil content of the Seydişehir Formation in the autochthonous Geyikdağ Unit. They found a maximum middle Middle Cambrian to Arenig age of the Seydişehir Formation and recognised that the late Middle Cambrian clastics of this formation are mainly restricted to the north, whereas contemporaneous carbonates (Çaltepe Formation) dominate in the south. According to DEAN et al. (1993) the only region with well developed Late Cambrian is the Sultandağ area (lower Seydişehir Formation: silty shales and quartzitic sandstones that alternate with rare bands of pink nodular limestone with Cambrian trilobites and acritarchs). In the palaeogeographical interpretation by DEAN et al. (1993, Fig. 2) Late Cambrian and Tremadoc are strongly reduced or

missing in the south. Conodont data have shown that the lowermost part of the Seydişehir Formation in the Kemer area (present paper) and in the Alanya Tectonic Window (GÖNCÜOĞLU & KOZUR, 1999), both in the south, has the same age and facies as the corresponding strata in northern Geyikdağ (Sultandağ) area. Moreover, late Middle Cambrian age, proven by DEAN et al. (1993) for the lowermost Seydişehir Formation in the northern part of the Tauride Autochthon, is confirmed by conodonts.

The early beginning of the Seydişehir Formation within the late Middle Cambrian and the well developed clastic Upper Cambrian south of the northern sector (south of the Sultandağ - Seydişehir - Hadım axis) in the Antalya nappes supports the view of MARCOUX et al. (1989) about a northern origin of the Antalya nappes what is also supported by other data (KOZUR, 2000 - this volume). On the other hand, the Palaeozoic development of the Antalya nappes corresponds to that of the northern part of the Tauride Autochthon and is basically different from the Palaeozoic development north of the Tauride Autochthon (e.g. in the Karaburun-Bolkardağ Zone, KOZUR, 1998). This indicates a root zone of the Antalya nappe immediately northward adjacent to the Tauride Autochthon.

There are the following conclusions:

- 1) The Cambrian of the Antalya nappes (GÖNCÜOĞLU & KOZUR, 1999; present paper) has the same development and age as in the northern part of the Perigondwana Tauride Autochthon.
- 2) The earliest beginning of the siliciclastic Seydişehir Formation within the late Middle Cambrian (DEAN et al., 1993) could be confirmed by conodonts.
- 3) Using the Cambrian palaeogeographic reconstruction by DEAN et al. (1993), the Antalya nappes were not derived from the south but were rooted immediately north of the Tauride Autochthon

- 4) The boundary between the Çaltepe and Seydişehir Formation is a diachronous facies boundary. If the water depth become greater, the typical reddish nodular limestone facies of the uppermost Çaltepe Formation changes into shale-siltstone facies (partly turbiditic) of the Seydişehir Formation. In areas, where the subsidence on the northern margin of Perigondwana began earlier (northern Tauride Autochthon, root zone of the non-ophiolitic Antalya nappes), the deep-water facies of Seydişehir type was reached earlier. This is obviously the case toward the north (DEAN et al., 1993).
- 5) During the upper Middle Cambrian, the northern Perigondwana margin in Turkey turned into a flexured margin, indicating a deep-sea basin toward the north. As this Cambrian facies and event succession can be followed through Sardinia until Spain, this deep-sea basin was not a local intra-platform basin, but probably an ocean.

Acknowledgement

The authors thank very much Prof. C.M. GÖNCÜOĞLU, Ankara, for many important scientific and technical help.

REFERENCES

- ALTINLI, E. (1944): Étude stratigraphique de la région d'Antalya.- Rev. Fac. Sc. Univ. Istanbul, B, 10/1, 60-67, Istanbul.
- AN, T.-X. (1982): Study on the Cambrian conodonts from North and Northeast China.- Sci. Re., Inst. Geosci., Univ. Tsukuba, Sec. B, 3, 113-159, Tsukuba.
- AN, T.-X. & MEI, S.-L. (1994): On evolution of Cambrian conodonts.- Acta Paleont. Sinica, 33/5, 525-544, Beijing.
- ATAN, O. (1969): Eğribucak-Karacaören (Hassa)-Ceylanlı-Dazevleri (Kırkhan) arasında Amanoslarnın jeolojisi.- MTA Publ., 139, 58 p., Ankara.
- BRUNN, J.H., DUMONT, J., De GRACIANSKY, P.C., GUTNIC, M., JUTEAU, T., MARCOUX, J., MONOD, O. & POISSON, A. (1971): Outline of the geology of the western Taurides.- In: CAMPBELL, A.S. (ed.): Geology and History of Turkey, 225-255, Petr. Expl. Soc. Libya, Tripoli.
- DEAN, W.T. & MONOD, O. (1970): The Lower Palaeozoic stratigraphy and faunas of the Taurus Mountains near Beyşehir, Turkey. I: Stratigraphy.- Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.), Geol., 19/8, 411-426, London.
- DEAN, W.T., MARTIN, F., MONOD, O., GÜL, M.A., BOZDOĞAN, N. & ÖZGÜL, N. (1993): Early Palaeozoic evolution of the Gondwana land margin in the Western and Central Taurides, Turkey.- In: TURGUT, S. (ed.): Tectonics and hydrocarbon potential of Anatolia and surrounding regions. Ozan Sungurlu Symposium Proceedings, November 1991, Ankara. Ozan Sungurlu Found. Sci., Educat. & Aid, 262-272, Ankara.
- DEAN, W.T., UYENO, T.T. & RICKARDS, R.B. (1999): Ordovician and Silurian stratigraphy and trilobites, Taurus Mountains near Kemer, southwest Turkey.- Geol. Mag., 136, 373-393, London.
- DEMİRTAŞLI, E. (1984): Stratigraphic evidence of Variscan and Early Alpine tectonics in Southern Turkey.- In: DIXON, J.E. & ROBERTSON, A.H.F. (eds.): The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. Spec. Publ., 17, 129-146, Edinburgh.
- GEDİK, I. (1977): Orta Toroslar'da Konodont biyostratigrafisi (Conodont biostratigraphy in the Middle Taurus).- Bull. Geol. Soc. Turkey, 20, 35-48, Ankara.
- GÖNCÜOĞLU, M.C. (1997): Distribution of Lower Palaeozoic Rocks in the Alpine Terranes of Turkey: Early Palaeozoic Evolution in NW Gondwana proceedings. In: GÖNCÜOĞLU, M.C. & DERMAN, A.S. (eds.): IGCP Proj. 351, III. Int. Meeting November 5-11, 1995 Ankara. Turkish Assoc. Petrol. Geol., Special Publ., 13-23, Ankara.
- GÖNCÜOĞLU, Y. & KOZUR, H. (1999): Upper Cambrian and Lower Ordovician conodonts from the Antalya Nappe in the Alanya Tectonic Window, southern Turkey.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 1999/10, 593-604, Stuttgart.
- KETIN, I., 1966, Cambrian outcrops in southeastern Turkey and their comparison with the Cambrian of East Iran.- Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey, 66, 77-89, Ankara.
- KOZUR, H. (1998): The age of the siliciclastic series ("Karareis Formation") of the western Karaburun Peninsula, western Turkey.- In: SZANIAWSKI, H. (ed.): Proc. Sixth European Conodont Symposium (ECOS VI). Palaeont. Polonica, 58, 169-187, Warszawa.
- KOZUR, H.W. (2000): Northern origin of the Antalya and Alanya nappes (Western Taurus, Turkey) and causes for the end of the Tethyan faunal provincialism during the Middle Cambrian.- In: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (eds.): Proceedings of the 2nd Croatian Geological Congress, this volume.
- LEFÈVRE, R. (1967): Un nouvel élément dans la géologie du Taurus lycien: les nappes d'Antalya (Turquie).- C. R. Acad. Sc., 265, 1365-1368, Paris.
- MARCOUX, J. (1970): Age Cambrien de termes effusifs du cortege ophiolitique des nappes d'Antalya (Taurus Lycien oriental, Turquie).- C. R. Acad. Sc., 271, 286-287, Paris.
- MARCOUX, J. (1977): Geological sections of the Antalya region.- In: GÜVENÇ, T. et al. (eds.): Western Taurus excursion. Geological Guide Book, 21-29. VI. Coll. on the Geology of Aegean Regions, Izmir.
- MARCOUX, J. (1979): General features of Antalya Nappes and their significance in the paleogeography of southern margin of Tethys.- Bull. Geol. Soc. Turkey, 22/1, 1-6, Ankara.
- MARCOUX, J., RICOU, L.E., BURG, J.P. & BRUN, J.P. (1989): Shear-sense criteria in the Antalya and Alanya thrust systems (southwestern Turkey): evidence for a southward emplacement.- Tectonophysics, 161, 81-91, Amsterdam.
- MÜLLER, K.J. (1959): Kambrische Conodonten.- Z. Deutsch. Geol. Ges., 111/2, 434-485, Hannover.
- MÜLLER, K.J. & NOGAMI, Y. (1971): Über den Freinbau der Conodonten.- Mem. Fac. Sci., Kyoto Univ., Ser. Geol. Min, 38/1, 1-87, Kyoto.
- ÖZGÜL, N. (1985): Alanya bölgesinin jeolojisi (Geology of the Alanya Region).- In: ERCAN, T. & ÇAĞLAYAN, M.A. (eds.): Keten Symposium. 20-21. February 1984, Ankara. Geol. Soc. Turkey, 97-120, Ankara.
- ÖZGÜL, N. & GEDİK, I. (1973): New data on the stratigraphy and the conodont faunas of Çaltepe Limestone and Seydişehir Formation - Lower Palaeozoic of Central Taurus Range.- Bull. Geol. Soc. Turkey, 2, c. XVI, 39-52, Ankara.
- ÖZGÜL, N., METİN, S., GÖĞER, E., BİNGÖL, I., BAYDAR, O. & ERDOĞAN, B. (1973): Cambrian-Tertiary rocks of the Tufanbeyli region eastern Taurus, Turkey.- Bull. Geol. Soc. Turkey, 1, c. XVI, 82-100, Ankara.
- ŞENEL, M. (1997a): 1:100000 Öçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya-L10 Paftası, No:7.- MTA Publ., Ankara.

- ŞENEL, M. (1997b): 1:100000 Öçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya-L11 Paftası, No:8.- MTA Publ., Ankara.
- ŞENEL, M., DALKILIÇ, H., GEDİK, I., SERDAROĐLU, M., BÖLÜKBAŞI, A.S., METİN, S., ESENTÜRK, K., BILGIN, A.Z., UĐUZ, M.F., KORUCU, M. & ÖZGÜL, N. (1992): Eğirdir-Yeşişarbademli-Gebiz ve Geriř-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanın jeolojisi.- MTA Rap., 9390, TPAO Rap., 3132 (unpubl.), 559 p., Ankara.
- ŞENEL, M., GEDİK, I., DALKILIÇ, H., SERDAROĐLU, M., BILGIN, A.Z., UĐUZ, M.F., BÖLÜKBAŞI, A.S., KORUCU, M. & ÖZGÜL, N. (1996): Isparta bölükümü doğusunda, otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi (Bati Toroslar).- MTA Derg. 118, 111-160, Ankara.
- ŞENEL, M., SERDAROĐLU, M., KENGİL, R., ÜNVERDİ, M. & GÖZLER, M.Z. (1981): Teke Torosları güneydoğusunun jeolojisi.- MTA Derg., 95/96, 13-43, Ankara.
- TIETZE, E. (1885): Beiträge zur Geologie von Lykien.- Jb.k.k. Geol. Reichsanst., 35, 238-386, Wien.





Ultramafitne kumulatne stijene ofiolitnog kompleksa Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska)

Ultramafic Cumulate Rocks from the Medvednica Mts. Ophiolite Complex (Northwestern Croatia)

Damir SLOVENE¹ & Boško LUGOVIĆ²

Ključne riječi: Hrvatska, Medvednica, ofiolitni kompleks, ultramafitni kumulati, geokemija, petrogeneza.

Key words: Croatia, Medvednica Mts., Ophiolite complex, Ultramafic cumulates, Geochemistry, Petrogenesis.

Sažetak

Stijene ofiolitnog kompleksa Medvednice nalaze se kao alohtoni fragmenti unutar ofiolitnog melanža jursko/kredne starosti koji izdanjuje u Hrvatskom zagorju. Petrološki i geokemijski podaci o ultramafitnoj kumulatnoj sekvenci daju nova saznanja o tektonomagmatskom porijeklu ovog ofiolitnog kompleksa. Sekvenca je dominantno izgrađena od poikilitnih amfibolskih i plagioklasnih peridotita, podređeno od piroksenita. Strukturne karakteristike i kemizam minerala ukazuju na kristalizaciju iz pulzirajućih magma pri niskom do umjerenom tlaku u uvjetima otvorenog ognjišta. Izdvajanje jako oksidiranih kromita i titanskog edenit-pargazitnog amfibola već u ranoj fazi kristalizacije indicira matičnu magmu bogatu volatili- ma s visokim oksidacijskim potencijalom. Ultramafitni kumulati Medvednice nastali su iz magma evoluiranog toleilitnog kemizma u uvjetima sličnim onima koji vladaju u području magmatskih lukova. Reliktne magmatski minerali imaju kemizam tipičan za minerale plutonskih stijena nezrelih otočnih lukova i aktivnih kontinentalnih rubova. Stijene kumulatne sekvence Medvednice su se relativno brzo izdizale i tijekom smještanja doživjele retrogradne promjene, završne i najjače izražene u prehnit-pumpelinitnom facijesu. Na temelju petroloških i geokemijskih karakteristika ultramafitna kumulatna sekvenca ofiolitnog kompleksa Medvednice ne korelira se s ekvivalentnim nivoima u ofolitima Dinarida, odnosno Vardarske zone, dok ima dosta zajedničkih korelativnih elemenata s odgovarajućom sekvencom mezozojskog ofiolitnog kompleksa planine Bükk u Mađarskoj.

Abstract

The rocks of the Medvednica Mts. ophiolite complex are incorporated as allochthonous fragments in the Upper Jurassic/Lower Cretaceous ophiolite mélangé in the region of Hrvatsko Zagorje, northwestern Croatia. Petrologic and geochemical data of the ultramafic cumulate sequence brought out more light in the tectonomagmatic origin of this ophiolite complex. The sequence consists of chromite-olivine cumulates whereby cumulus phases are embayed in large poikilitic oikocrysts of orthopyroxene, clinopyroxene and amphibole (\pm plagioclase). Dominant lithologies are amphibole and plagioclase peridotites, pyroxenites are scarce. Textural characteristics of the ultramafic cumulate rocks and their mineral chemistry suggest crystallization from pulsing magma(s) in an open system under low to slightly elevated pressure. The early crystallization of highly oxidized Al-Ti-chromite and Ti-edenite/pargasite indicates hydrous parental magma with high oxygen fugacity. On the account of the bulk rock chemistry and igneous mineral chemistry the Medvednica Mts. ultramafic cumulates are quite comparable with those documented for evolved deep seated plutonic rocks from magmatic arc settings, particularly from immature island arcs or active continental margins. Subsolvus reactions blocked at high temperature and a range of alteration paragenesis preserved indicate relatively rapid emplacement of the ultramafic cumulate sequence in shallow crustal levels. The final and most extensive alterations of the rocks resemble prehnite-pumpellyite facies. Concerning the petrologic and geochemical signatures, the Medvednica Mts. ultramafic cumulate sequence surprisingly is not correlated with equivalent sequences from the Dinaric and the Vardar zone ophiolite complexes, respectively. It is best compared with ultramafic cumulate sequence of the Mesozoic Bükk Mts. ophiolite complex from northeastern Mid-Transdanubian Zone in Hungary.

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

1. UVOD

Ultramafitne kumulatne stijene tvore najdublje dijelove kore oceanskog tipa i čine prijelaznu zonu prema plašnim peridotitima. Nalaze se također kao sastavnice ofiolitnih kompleksa u zajednici heterogenih stijena nazvanoj ofiolitni melanž. Unutar te zajednice ofioliti su fragmentirana alohtona tijela te su interpretacije njihova geotektonskog izvorišta, odnosno mjesta kristalizacije i načina smještanja često suprotstavljene. Petrološka i geokemijska istraživanja stijena ofiolitnih kompleksa pokazala su se od velike koristi u razrješavanju tih kontroverza. Iako se pri tome pozornost najviše poklanja ekstruzivnim stijenama, ultramafitne kumulatne stijene mogu nositi obilježja odlučujuća za objašnjenje petrogeneze i geodinamike nekog ofiolitnog kompleksa.

Među stijenama ofiolitnog melanža koji izdanjuje u prostoru omeđenom sjevernohrvatskim planinama Samoborskom gorom, Medvednicom, Ivanščicom i Kalnikom, pojave ultramafitnih kumulatnih stijena su rijetke i ograničene na ofiolitni kompleks Medvednice. Položaj ovog ofiolitnog melanža je izoliran i još nije sasvim jasno tvori li zasebnu cjelinu ili je periferni, sastavni dio nekog od susjednih ofiolitnih pojasa. Namjera je ovog rada da u okviru novih sistematskih istraživanja magmatsko-sedimentnog sklopa Medvednice cjelovito karakterizira ultramafitne kumulatne stijene radi interpretacije njihove geneze i osnovne korelacije s ekvivalentnim stijenama iz susjednih ofiolitnih zona.

2. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Pojave ultramafitnih stijena kumulatnog sklopa u okolici Puntijarke na Medvednici prvi spominje GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1908), naziva ih serpentinima i genetski svrstava uz gabrove i dijabaze. CRNKOVIĆ (1960, 1963) je detaljno istražio spomenute ultramafite i veže ih za najstariju fazu erupcija kalcijsko-alkalijskih magma koja se odigrala u gornjoj kredi. Ove se pojave spominju u Tumaču osnovnoj geološkoj karti 1:100000 list Zagreb (ŠIKIĆ et al., 1979), ali zbog malih dimenzija nisu izdvojene u geološkoj karti (ŠIKIĆ et al., 1977). SLOVENEK (1998) u sklopu opsežnih istraživanja ofiolitnog melanža Medvednice petrološki proučava ultramafitne kumulate sjeverno od Puntijarke; drži ih intruzivnim produktima pulzacijske magmatske aktivnosti unutar neprekinutog ciklusa.

3. OSNOVNI GEOLOŠKI PODACI

Kumulatni ultramafiti nalaze se kao blokovi u slabo otkrivenom području sjeverno od Puntijarke. Najbolje otkriveni izdanci ultramafita su metarskih dimenzija i ne omogućavaju jednoznačno zaključivanje o internim odnosima i granicama unutar ultramafitnog tijela. Gra-

nice s okolnim stijenama su prekrivene i tek se u istočnim dijelovima mase jasnije vidi da ultramafitne kumulatne stijene kontinuirano prelaze u mafitne kumulate i potom u gabroidne stijene nekumulatnog sklopa.

Može se pouzdano zaključiti da se ultramafitne kumulatne stijene Medvednice pojavljuju kao blokovi uloženi u ofiolitnom melanžu pa se mogu shvatiti kao alohtona fragmentirana tijela unutar navedene jedinice. Ofiolitni melanž ima izvorno kaotičan sklop i naknadno je tektonski dodatno poremećen, te je primarni taložni slijed rijetko sačuvan. Ovaj melanž karakterizira se pervazivno deformiranim šejlnim matriksom u kojem se nalaze fragmenti stijena raznovrsnih po litološkoj i stratigrafskoj pripadnosti: sinsedimentacijske grauvake, brojni magmatski litotipovi razorenog ofiolitnog kompleksa, zatim tufovi, rožnjaci i "egzotični" vapnenci različitog starosnog raspona (sl. 1; PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ, 1998; HALAMIĆ, 1998; SLOVENEK, 1998). Veličina fragmenata je vrlo promjenljiva i varira od centimetarsko-decimetarskih do hektometarsko-kilometarskih dimenzija.

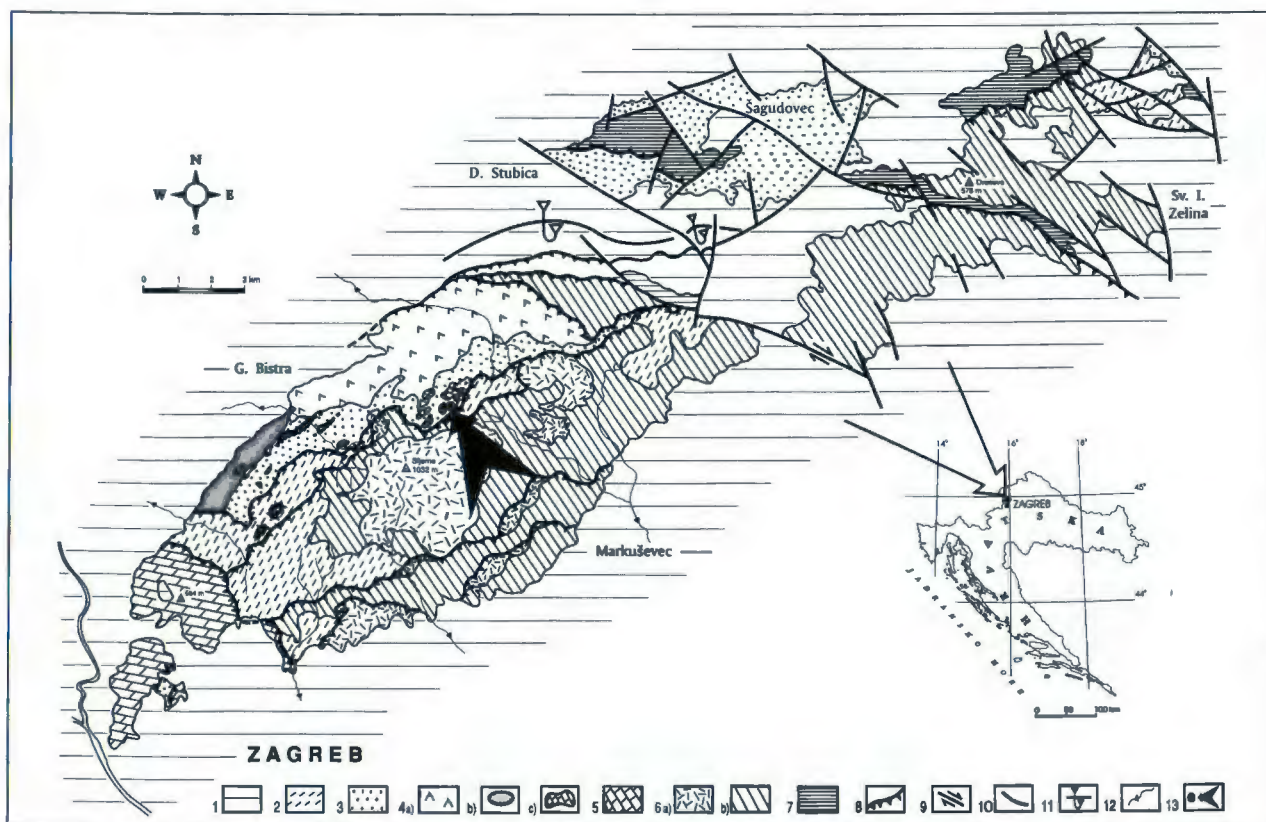
Starost iskonskog ofiolitnog melanža koji je bio olivostromskog tipa procjenjuje se na gornjojursku/donjokrednu a starost njegove tektonizacije drži se gornjoeocenskom do oligocenskom (PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ, 1998). Vrijeme kristalizacije magmatskih stijena sastavnica ofiolitnog kompleksa Medvednice još nije pouzdano riješeno, jer datiranje stijena, zbog njihove jake alteracije, daje rezultate koji su u neskladu s relativnom starosti izvedenom na temelju geoloških odnosa na izdancima (94-85 milijuna godina, PAMIĆ, 1997a).

4. ANALITIČKE TEHNIKE

Od ukupno četrdeset uzoraka ultramafita koji su mikroskopski analizirani sedam reprezentativnih odabrano je za dodatnu analitiku. Mineralni sastav odabranih stijena je provjeren primjenom rendgenske difrakcije (XRD) na prahu. Sadržaj većine glavnih elemenata u stijenama određen je klasičnim gravimetrijsko-volumetrijskim, tzv. mokrim postupkom a Na_2O i K_2O plamenom fotometrijom. Koncentracije elemenata rijetkih zemalja i ostalih mikroelemenata analizirane su metodom atomske emisije masene spektroskopije s induciranom plazmom (MS-ICP). Kemijski sastav minerala određen je metodom elektronske mikroanalize (EMPA).

5. PETROGRAFIJA I KEMIZAM MINERALA

Kumulatne stijene ofiolitnog kompleksa Medvednice su crne do tamnozeleno, masivne su i nepravilnog loma. Struktura im je poikilitna, tipična za najdublje položene intruzive ofiolitnih kompleksa. Olivin i spinel su kumulatne faze uklopljene u krupnim interkumulatnim kristalima smeđeg amfibola, monoklinskog i rompskog piroksena (oikokristali) s amfibolom i/ili plagioklasom u njihovim uskim intersticijama (mezostaze). Spinel je



Sl. 1 Shematizirana geološka karta s glavnim tektonostratigrafskim jedinicama Medvednice (prema ŠIKIĆ et al., 1977; BASCH, 1981; ŠIKIĆ, 1995; PAMIĆ & TOMLJENVIĆ, 1998). Legenda: 1) neogenski kvartarni sedimenti; 2) gornjokredno-paleocenski fliš; 3) tektonizirani ofiolitni malanž; 4) veliki blokovi u ofiolitnom melanžu: a) mafita, b) radiolarita, c) vapnenaca; 5) trijaski, uglavnom platformni karbonati Savske navlake; 6) paleozojsko-trijaski metamorfni kompleks: a) ortometamorfne stijene; b) parametamorfne stijene; 7) mezozojski, uglavnom trijaski klastiti i karbonati; 8) glavni reversni ili navlačni rasjedi; 9) horizontalni rasjed; 10) rasjed; 11) aksijalna trasa prevrnutе sinklinale; 12) glavni potoci; 13) mjesto uzorkovanja.

Fig. 1 Simplified map with the main tectonostratigraphic units of the Mt. Medvednica (after ŠIKIĆ et al., 1977; BASCH, 1981; ŠIKIĆ, 1995; PAMIĆ & TOMLJENVIĆ, 1998). 1) Neogene and Quaternary sedimentary rocks; 2) Late Cretaceous-paleocene flysch; 3) tectonized ophiolite mélangé; 4) larger blocks in ophiolite mélangé: a) mafics, b) radiolarites, c) limestones; 5) Triassic mainly platform carbonates of Sava nappe; 6) Paleozoic-Triassic metamorphic complex: a) orthometamorphic rocks; b) parametamorphic rocks; 7) Mesozoic, mostly Triassic clastics and carbonates; 8) major reverse or thrust faults; 9) strike-slip fault; 10) fault; 11) axial trace of overturned syncline; 12) main creeks; 13) sample location.

najranija kumulatna faza, često uklopljena u olivinu. Radi se o strukturama opisanim u literaturi kao heteroadkumulatne. Stijene se mogu klasificirati kao amfibolski i/ili plagioklasni peridotiti (harcburgiti, lercoliti i verliti) i pirokseniti (olivin-amfibolski vebsteriti i amfibolski vebsteriti). Amfibolski peridotiti su dominirajući litotip.

Stijene sadrže obilje sekundarnih minerala različitih parageneza. Zrna olivina su u pravilu reliktna. Najčešće su to pseudomorfoze magnetita i serpentina, ponekad i talka. Rompski pirokseni su uzduž pukotina izmijenjeni u serpentin, a po rubovima u klorit. Monoklinski pirokseni su u kumulatnim peridotitima relativno svježiji, tek djelomice uz rubove alterirani u aktinolit i klorit. U piroksenitima su jako kloritizirani, manjim dijelom izmijenjeni u Ca-amfibole koji sastavom variraju između magnezijske hornblende i aktinolita, te izuzetno i u Mg-Fe amfibol (kumingtonit?). Plagioklasi su intenzivno izmijenjeni u sosirit ili u prehnit i pumpeliit. Kumulatni spineli su jedini virtualno svježiji primarni minerali.

Spineli su aluminijski kromiti s promjenjivim, općenito povišenim sadržajem titana (1,2-7,1% TiO₂). Pokazuju širok raspon magnezičnosti ($Mg\# = 100 \cdot Mg / (Mg + Fe^{2+}) = 6,7-38,1$) i udjela trovaljanoga željeza ($Fe^{3+\#} = 100 \cdot Fe^{3+} / (Cr + Al + Fe^{3+}) = 17,0-48,0$) uz relativno usku varijaciju udjela kroma ($Cr\# = 100 \cdot Cr / (Cr + Al) = 50,5-64,4$). Koncentracija nikla ne prelazi 0,32% NiO. Kromiti uklopljeni u oikokristalima amfibola komparativno su najbogatiji titanom (6,5-7,1% TiO₂), imaju najniže vrijednosti za Mg# (6,7-13,9), najviše za Fe³⁺# (46,1-48,0) dok im je Cr#, unutar navedenog intervala, umjereno visok (58,5-59,3).

Olivini u kumulatnim peridotitima imaju Mg# od 78,7 do 82,3. Sadržaj CaO je neuobičajeno nizak (0,02-0,09%) dok je sadržaj NiO (0,23-0,33%) karakterističan za olivine iz krustalnih peridotita (LEBLANC et al., 1984). Veći raspon kemijskog sastava olivina iz kumulatnih peridotita Medvednice (Fo₈₃₋₇₃) odredio je CRNKOVIĆ (1960). U piroksenitima ne postoje mjerljivi relikti olivina.

Rompski pirokseni imaju uske varijacije sastava: $W_{0,2-5,3,7}En_{78,4-81,5}Fs_{15,5-18,4}$ i sadrže 1,39-1,95% Al_2O_3 . Neki, vjerojatno rekristalizirani ortopirokseni sadrže tek $W_{0,1,1}$ i 0,80% Al_2O_3 . Svi oni sastavom odgovaraju enstatitu (MORIMOTO, 1988). Rompski pirokseni prema CRNKOVIĆU (1960) sadrže Fs_{12-17} .

Monoklinski pirokseni u kumulatnim peridotitima po CRNKOVIĆU (1960) odgovaraju diopsidu. Prema našim određivanjima oikokristali monoklinskih piroksena u kumulatnim peridotitima i piroksenitima imaju sličan sastav s relativno uskim varijacijama: $W_{0,40,1-46,1}En_{46,3-49,9}Fs_{7,3-10,0}$ pa se klasificiraju kao augiti (MORIMOTO, 1988). Prema starijim klasifikacijama odgovarali bi endiopsidu. Imaju visoki Mg# od 85,9 do 89,6. Sadržaj Al_2O_3 im je relativno nizak (1,71-3,05%) dok je omjer Al^{VI}/Al^{IV} nizak do umjereno visok ($< 0,46$). Koncentracija titana i kroma iznosi 0,23-0,76% TiO_2 i 0,25-0,88% Cr_2O_3 .

Amfiboli zastupljeni kao krupni oikokristali ili u intersticijama jakog su crvenosmedeg do srednjeg pleokroizma i prema CRNKOVIĆU (1960) odgovaraju hornblendi. Naša istraživanja pokazuju da ovi amfiboli imaju prijelazan sastav između pargazita i edenita (LEAKE, 1997). U odnosu na retrogradne Ca-amfibole sadrže značajno više aluminija (8,9-12,0% Al_2O_3), natrija (2,0-2,9% Na_2O) i titana ($TiO_2 \leq 3,6\%$). Strukturni položaj i kemizam ovih amfibola ukazuje na njihovo magmatsko podrijetlo.

Reliktne plagioklasi u mezostazama imaju sastav $An_{82,4-83,9}$, značajno različit od vrijednosti An_{95-100} koje navodi CRNKOVIĆ (1960).

6. KEMIZAM STIJENA

Visoke vrijednosti određene za gubitak žarenjem (8-10%) potvrđuju virtualan dojam o snažno izmijenjenom izvornom kemizmu ultramafitnih kumulatnih stijena Medvednice. Sadržaj elemenata velikog ionskog radijusa (K, Na, Ba, Cs) varira bez jasne pravilnosti. Inkompatibilni elementi visokog naboja (Ti, Zr, Hf, Y, P) i elementi rijetkih zemalja, za koje se drži da su pri alteracijama imobilni, zadržavaju magmatske koncentracije i omjere ($Zr/Hf = 33,3-40,0$, $Sm/Nd = 5,7-20,7$). Koncentracije nekih inkompatibilnih elemenata (Rb, Ta, U, dijelom i Nb) nalazi se ispod granice detekcije.

Analizirane stijene imaju relativno niske vrijednosti magnezičnosti ($Mg\# = 100 * MgO / (MgO + FeO_{tot})$) od 75,1 do 81,4. Sadržaj kroma i vanadija je visok (2.130-4.000 ppm Cr, 138-182 ppm V) i nema značajne razlike između sadržaja u peridotitima i piroksenitima kao u slučaju nikla (1.090-1.800 ppm Ni u peridotitima, 434 ppm Ni u piroksenitima) i kobalta (115-176 ppm Co u peridotitima, 55 ppm Co u piroksenitima). Koncentracija aluminija i kalcija (1,26-11,50% CaO, 2,43-5,23% Al_2O_3) ovisi o udjelu augita i amfibola, odnosno o stupnju alteracije. Sadržaj TiO_2 je nizak i ne prelazi 0,24%.

U "spidigramima" su koncentracije niza elemenata iz kumulatnih stijena Medvednice normalizirane prema

koncentracijama u primitivnom plaštu (HOFMANN, 1988). Isključivši cezij koji je alteracijskim procesima ekstremno koncentriran u peridotitima ($Cs_n = 105-153$) a ponekad selektivno i barij ($Ba_n = 12,1$), koncentracije ostalih elemenata su bliske plaštnim vrijednostima, maksimalno su dva puta veće. Sve stijene pokazuju slabu negativnu anomaliju udjela titana i fosfora. Uzorci sa sadržajem niobija iznad granice detekcije nemaju negativnu niobijevu anomaliju ili je ona, ako postoji, blago izražena ($(Nb/La)_n = 0,75$).

Kumulatni ultramafiti su blago osiromašeni lakim u odnosu na teške elemente rijetkih zemalja s većim relativnim osiromašenjem u piroksenitima ($(La/Yb)_n = 0,42-0,78$ u peridotitima i 0,29 u piroksenitima). Krivulja normaliziranih koncentracija ("REE pattern") u segmentu teških rijetkih zemalja od terbija do iterbija ("HREE pattern") ima relativno ravan tok ($(Tb/Yb)_n = 0,88-1,09$) na razini koncentracija od 1,9 do 4,2 puta većim od koncentracija u ordinarnom hondritu (BOYNTON, 1984). Pirokseniti ne pokazuju europijevu anomaliju dok je u peridotitima ona negativna i slabog intenziteta ($(Eu/Eu^*) = 0,89-1,00$).

7. DISKUSIJA

Struktura stijena i kemijski sastav minerala ultramafitnih kumulata Medvednice jasno ukazuju da su kromit, olivin, augit, enstatit, edenit-pargazit i plagioklas magmatske faze. Kromit i olivin su kumulatni minerali, u ranoj su fazi kotetički minerali, a njihovu kristalizaciju kao postkumulatni minerali slijede najprije enstatit i augit, potom edenit-pargazit i završno plagioklas. Prisustvo primarnih amfibola ukazuje na značajan utjecaj volatila u ranoj fazi kristalizacije. Napadno homogeni kemijski sastav, bez kriптиčkog zoniranja primarnih minerala, ukazuje na postanak ovih kumulatnih stijena u uvjetima kristalizacijskog sustava otvorenog tipa.

Redosljed pojavljivanja minerala u kumulatnim stijena Medvednice tipičan je za kristalizacijske nizove nastale pri niskom do blago povišenom tlaku. Nizak sadržaj Al_2O_3 u piroksenima, nizak do umjereno visoki omjer Al^{VI}/Al^{IV} u augitu te visok sadržaj titana u edenitu-pargazitu u skladu su s tim mišljenjem o visini tlaka. U tom smislu, vrlo niski sadržaj kalcija u kumulatnim olivinima, tipičan za olivine iz visokotlačnih plaštnih peridotita, nije primarna karakteristika već posljedica preraspodjele kalcija između olivina i interkumulatni minerala na subsolidus temperaturama.

Visok udio volastonitne komponente u augitu, a malen u koegzistirajućem enstatitu određen je na samo jednom njihovom kontaktu što ukazuje da je ravnotežno stanje ovog para na subsolidus temperaturama rijetko ostvareno. U grafičkom termometru s izotermama konstruiranim u funkciji sastava (LINDSEY, 1983), analizirani pirokseni odražavaju temperature između 900 i 1100°C. Temperature ravnoteže računane za koegzistencije piroksena prema termometrima koje su dali WELLS

(1977) odnosno BREY & KÖLLER (1990) su slične i variraju između 983 i 1029°C. Ovi iznosi imaju visinu magmatskih temperatura. Ravnotežne temperature određene prema udjelu kalcija u enstatitu (BREY & KÖLLER, 1990) značajno su više, pokrivaju temperaturni interval od 1095 do 1191°C i, za sustav bogat volatilima, doimaju se previsokim. Koegzistentni olivin i spinel pokazuju završne temperature ravnoteže u rasponu od 790 do 860°C što je za ovaj par relativno visok iznos; temperature su računane samo za inkluzije spinela u olivinu po termometru koji je kalibrirao FABRIÉS (1979).

Bitna karakteristika ovih ultramafitnih kumulata je relativno obilna zastupljenost primarnih amfibola edenit-pargazitnog sastava. Prisustvo hidroznih minerala u ranoj fazi kristalizacije ukazuje na povišeni sadržaj volatila u začetnoj, matičnoj magmi. To se dodatno može potkrijepiti činjenicom da i mafitni kumulati kao i nekumulatne stijene gabroidne sekvence u Medvednici, koje su nedvojbeno u genetskoj vezi s ultramafitnim kumulatima, također sadrže smeđi amfibol magmatskog podrijetla (CRNKOVIĆ, 1960; SLOVENEK, 1998). Sekvence kumulata i asociiranih nekumulatnih stijena koje su kristalizirale iz bazičnih magma s volatilima, nalaze se ekskluzivno u zonama subdukcije, prvenstveno u području otočnih lukova i aktivnih kontinentalnih rubova (npr. CONRAD & KAY; 1984; DeBARI & COLEMAN, 1989), ali isto tako, u manjoj mjeri i netipično, i u intruzivnim kompleksima predlučne ("fore-arc") i zalučne ("back-arc") provenijencije.

Kemijski sastav piroksena iz ultramafitnih kumulata Medvednice podudara se s vrijednostima kompiliranim za piroksene iz najdubljih intruzivnih sekvenca magmatskih lukova. To se posebno odnosi na nizak sadržaj aluminijske u rompskim i titana u monoklinskim piroksenima. Ipak, u našem slučaju kumulatni kromiti su najvažniji petrogenetski i geotektonski indikator, jer su jedini potpuno svježi primarni minerali. Ovi kromiti imaju umjereno visoke vrijednosti za Cr#, relativno niske za Mg#, jako su oksidirani (visoki Fe³⁺#) i po tome su vrlo slični plutonskim spinelima magmatskih lukova, posebno onima aktivnog kontinentalnog ruba (npr. na Kamčatki, KEPEZHINSKAS et al., 1993). Specifično obilježje kromita Medvednice je povećan sadržaj titana iako je koncentracija titana u matičnoj stijeni niska. Ta ih karakteristika, zajedno s visokim stupnjem oksidiranosti, dodatno i bitno razlikuje od spinela predlučnih i zalučnih intruziva.

Olivini sadržani u ultramafitnim kumulatima ofiolitnog kompleksa Medvednice morali su kristalizirati iz magme s iznosom Mg# između 53 i 58, ako se vrijednost od 0,30 uzme kao koeficijent raspodjele magnezija i željeza između kristalizirajućeg olivina i taljevine. Toleitni mafitni ekstruzivi asociirani s analiziranim ultramafitima imaju Mg# između 51 i 60 (SLOVENEK, 1998), pa je njihova matična magma sasvim moguće izvoriste olivina kumulatnog podrijetla. Spidergrami ultramafitnih kumulata Medvednice vrlo su slični onima iz

ekvivalentnih stijena bivših i recentnih zona subdukcije. U ovim dijagramima blago negativne anomalije relativnih koncentracija titana, fosfora, a čini se i niobija, jače obilježavaju toleitni nego kalcijsko-alkalijski geokemijski karakter stijena. Toleitni afinitet kumulatnih stijena Medvednice nedvojbeno se vidi i iz osiromašenja lakih u odnosu na teške elemente rijetkih zemalja

Ultramafitni kumulati su integralni dio ofiolitnog kompleksa Medvednice (SLOVENEK, 1998) čiji se fragmentirani dijelovi nalaze kao alohtona kompozitna tijela unutar ofiolitnog melanža koji se diskontinuirano pruža po Hrvatskom zagorju, uklješten između Perijadranskog rasjednog sustava i rasjedne zone Zagreb-Zemplin. Geotektonsko izvoriste ofiolitnih stijena Medvednice nije do sada jednoznačno objašnjeno. U Ivanščici su u krednim klastitima s ofiolitima prepoznata dva geotektonska izvorista eruptivnog materijala: otočni luk za klastite iz psefitno-pelitnih sedimenata otriv-alske starosti i aktivni kontinentalni rub za glomazne litoklaste iz klasičnog ofiolitnog melanža vjerojatne alb-turonske starosti (BABIĆ et al., 1979). Geološke i strukturne korelacije ukazuju da ofiolitni melanž u Hrvatskom zagorju pripada krajnim sjeverozapadnim izdancima Centralnog ofiolitnog pojasa Dinarida, odnosno Vardarske ofiolitne zone (PAMIĆ, 1997b). U novije se vrijeme geotektonski prostor Hrvatskog zagorja, u kojem se miješaju tektonostratigrafske jedinice alpskih i dinaridskih karakteristika, priključuje u Središnju transdanubijsku zonu (PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ, 1998) koja se u smjeru sjeveroistoka širi u Mađarsku. Na njenom krajnjem sjeveroistočnom rubu, u planini Bükk, također izdanjuje melanž s fragmentima mezozojskih ofiolita (BALLA et al., 1983); geotektonski okoliši s karakteristikama orogenetskog magmatskog luka i marginalnog, zalučnog bazena određeni su kao izvoriste eruptivnih stijena iz ovog ofiolitnog melanža (BALLA, 1984).

Postoji malo petroloških i egzaktnih geokemijskih podataka o ultramafitnim kumulatnim stijenama u ofiolitima Središnjih Dinarida i Vardarske zone te se korelacija s istovrsnom sekvencom Medvednice temelji zasad uglavnom na petrografskim i geološkim podacima. Sekvence ultramafitnih kumulata u ofiolitima Središnje dinaridske ofiolitne zone ne sadrže litotipove s amfibolskim oikokristalima (MAJER, 1993; PAMIĆ & DESMONS, 1989); prema dostupnim podacima izvjesno je da oni ne postoje ni u Vardarskoj zoni (KARAMATA, 1979). Navedeni ultramafitni kumulati Dinarida i Vardarske zone kristalizirali su iz suhih magma, imaju bitno drugačiji kemijski sastav kumulatnih faza i redosljed kristalizacije, te se u tom segmentu ne mogu petrogenetski korelirati s ekvivalentnom sekvencom ofiolitnog kompleksa Medvednice. Ona je, naprotiv, vrlo slična ultramafitnoj sekvenci ofiolitnog kompleksa Bükk u Mađarskoj, koja sadrži istovrsne ultramafitne litotipove s amfibolima i karakterizira se ranom kristalizacijom titanom bogatih nesilikatnih minerala (BALLA et al., 1983).

8. ZAKLJUČCI

Sažeti zaključci o ultramafitnim kumatima ofiolitnog kompleksa Medvednicje jesu:

- 1) Ultramafitna kumulatna sekvenca ofiolitnog kompleksa Medvednice sastoji se od genetski povezanih olivin-kromitnih kumulatnih stijena sastava harzburgita, lercolita, verlita i websterita. Posebno im je obilježje obilno prisustvo interkumulatnog edenit-pargazitnog amfibola.
- 2) Stijene ove sekvence kristalizirale su u plitko položenom magmatskom ognjištu otvorenog tipa iz magma izvorno bogatim volatiliba i povišenim oksidacijskim potencijalom. Tlak je pri kristalizaciji bio nizak do umjeren, što je pogodilo ranom izdvajanju titanom bogatih oksida (kromita) i hidroznih silikata (edenita-pargazita).
- 3) Ultramafitni kumulati Medvednice imaju kemijske i mineraloške karakteristike tipične za intruzivne stijene lučne tektonomagmatske provenijencije. Nije se moglo razlučiti radi li se o nezrelom otočnom luku ili aktivnom kontinentalnom rubu. Ove stijene su kumulati toleilitnih bazalta i stoje u genetskoj vezi s asociiranim mafitnim ekstruzivima relativno niske magnezičnosti.
- 4) Subsolidus reakcije primarnih minerala ukazuju na relativno brzo uzdizanje kumulatne sekvence ofiolitnog kompleksa Medvednice. Sačuvane su alteracijske parageneze velikoga temperaturnog raspona; najobilnije su zastupljene one prehnit-pumpelliitnog facijesa.
- 5) Prema petrografskim i petrogenetskim karakteristikama ultramafitna kumulatna sekvenca Medvednice bolje se korelira s ekvivalentnom sekvencom u ofiolitima Bükk planine u Središnjoj transdanubijskoj zoni, u Mađarskoj, nego s istovrsnim nivoima u ofiolitnim kompleksima iz Centralne ofiolitne zone u Dinaridima i Vardarske ofiolitne zone.
- 6) Petrološka i geokemijska istraživanja mafitnih intruzivnih i ekstruzivnih stijena ofiolitnog kompleksa Medvednice, koja su u tijeku, trebaju potvrditi pouzdanost ovih zaključaka i dati nove podatke relevantne za objašnjenje petrogeneze i tektonomagmatskog podrijetla stijena iz ofiolitnog melanža u Hrvatskom zagorju.

9. LITERATURA

- BABIĆ, LJ., ZUPANIĆ, J. & CRNJAKOVIĆ, M. (1979): Prepoznavanje dviju jedinica unutar "klastita s ofiolitima" Ivanščice i uloga magmatskog pojasa i aktivnog kontinentalnog ruba pri njihovom postanku.- Zbornik rad. IV. god. znan. skupa JAZU, Stubičke Toplice, 115-124.
- BALLA, Z. (1984): The North Hungarian Mesozoic mafics and ultramafics.- *Acta geol. Hungarica*, 27, 341-357.
- BALLA, Z., HOVORKA, D., KUZMIN, M. & VINOGRADOV, V. (1983): Mesozoic ophiolites of the Bükk Mountains (North Hungary).- *Ophioliti*, 8, 5-45.
- BASCH, O. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Ivanić Grad.- *Inst. za geol. istr. Zagreb, Sav. Geol. Zavod Beograd*.
- BOYNTON, W.V. (1984): Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies.- U: HENDERSON, P. (ur.): *Rare earth element geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 63-114.
- BREY, G.P. & KÖHLER, T. (1990): Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers, and practical assessment of existing thermobarometers.- *J. Petrol.*, 31, 1353-1378.
- CONRAD, W.K. & KAY, R.W. (1984): Ultramafic and mafic inclusions from Adak Islands: Crystallization history, and implications for the nature of primary magmas and crustal evolution in the Aleutian arc.- *Jour. Petrol.*, 25, 88-125.
- CRNKOVIĆ, B. (1960): Hornblende-peridotit na sjevernoj strani Medvednice (Zagrebačke gore).- *Geol. vjesnik*, 13, 57-64.
- CRNKOVIĆ, B. (1963): Petrografija i petrogeneza magmatita sjeverne strane Medvednice.- *Geol. vjesnik*, 16, 63-160.
- DeBARI, S.M. & COLEMAN, R.G. (1989): Examination of the deep levels of an island arc: Evidence from the Tonsina ultramafic-mafic assemblage, Tonsina, Alaska.- *Jour. Geophys. Res.*, 94, 4373-4391.
- FABRIÉS, J. (1979): Spinel-olivine geothermometry in peridotites from ultramafic complexes.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 329-336.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1908): Geološki pregledna karta Kraljevine Hrvatske-Slavonije. Tumač geološki karti Zagreb.- *Kralj. Zemalj. Vlada*, 75 str.
- HALAMIĆ, J. (1998): Litostratigrafska karakterizacija jurskih i krednih sedimenata s ofiolitima Medvednice, Kalnika i Ivanščice.- *Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu*, 188 str.
- HOFMANN, A.W. (1988): Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust.- *Earth Planet. Sci. Letters*, 90, 297-314.
- KARAMATA, S. (1979): The transitional zone between tectonite ultramafic rocks and igneous-cumulate rocks in the ophiolite complexes of Yugoslavia.- *Bull. SANU*, 66, 57-62.
- KEPEZHINSKAS, P.K., TAYLOR, R.N. & TANAKA, H. (1993): Geochemistry of plutonic spinels from the North Kamchatka Arc: comparison with spinels from other tectonic settings.- *Mineral. Mag.*, 57, 575-589.
- LEAKE, B.E. (1997): Nomenclature of amphiboles.- *Eur. J. Mineral.*, 9, 623-651.
- LEBLANC, M., DUPUY, C. & MERLET, C. (1984): Nickel content of olivine as a discriminatory factor between tectonite and cumulate peridotite in ophiolites.- *Sci. Géol. Bulletin*, 37, 131-135.
- LINDSEY, D.H. (1983): Pyroxene thermometry.- *Amer. Mineral.*, 68, 477-493.
- MAJER, V. (1993): Ofiolitni kompleks Banije s Pokupljem u Hrvatskoj i Pastireva u Bosni.- *Acta geologica*, 23, 39-84, Zagreb.
- MORIMOTO, N. (1988): Nomenclature of pyroxenes.- *Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.*, 68, 95-111.
- PAMIĆ, J. (1997a): Vulkanske stijene savsko-dravskog međurječja i Baranje (Hrvatska).- *Pos. izd. Nafta, Zagreb*, 192 str.

- PAMIĆ, J. (1997b): The northwesternmost outcrops of the Dinaridic ophiolites: a case study of Mt. Kalnik (North Croatia).- *Acta geol. Hungarica*, 40, 37-56.
- PAMIĆ, J. & DESMONS, J. (1989): A complete ophiolite sequence in Ržav, area of Zlatibor and Varda ultramafic massifs, the Dinaride ophiolite zone.- *Ofioliti*, 14, 13-32.
- PAMIĆ, J. & TOMLJENović, B. (1998): Basic geologic data from the Croatian part of the Zagorje-Mid-Transdanubian Zone.- *Acta geol. Hungarica*, 41, 389-400.
- SLOVENEc, D. (1998): Ofiolitne stijene u slivu potoka Bistre na sjevernim padinama Medvednice.-Magistarski rad Sveučilišta u Zagrebu, 104 str.
- ŠIKIĆ, K. (1995): Strukturni odnosi i tektogeneza šireg prostora Medvednice.- U: ŠIKIĆ, K. (ur.): *Geološki vodič Medvednice*. Inst. za geol. istraž. Zagreb & INA, Zagreb, 31-40.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Zagreb.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Savezni geol. zavod, Beograd.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Zagreb.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Savezni geol. zavod, Beograd, 81 str.
- WELLS, P.R.A. (1977): Pyroxene thermometry in simple and complex systems.- *Contrib. Mineral. Petrol.*, 62, 129-139.





Sedimentation of Aragonite in the Mljet Lakes (Mljet Island, Adriatic Sea)

Taloženje aragonita u Mljetskim jezerima (otok Mljet, Jadransko more)

Ivan SONDI¹, Mladen JURAČIĆ² & Ognjen MILAT³

Key words: Aragonite, Coastal waters, Lagoons, Precipitation, Sediments.

Ključne riječi: aragonit, obalne vode, laguna, taloženje, sediment.

Abstract

The presence of aragonite particles in the suspended matter and sediments in the Malo and Veliko Jezero on Mljet Island is demonstrated. An earlier investigation (VULETIĆ, 1953) already suggested formation of the aragonite mud ("drewit") in Malo Jezero, while SEIBOLD (1958) denied the existence of this mineral. The present results unequivocally confirm that the needle-like particles in the suspended matter and in the lake sediments have the aragonite structure.

Sažetak

Prikazan je nalaz aragonitnih čestica u suspendiranoj tvari i sedimentima Malog i Velikog jezera na Mljetu. Ranijim istraživanjima (VULETIĆ, 1953) ukazano je na taloženje aragonitnog mulja ("drewit") u Malom jezeru. Međutim SEIBOLD (1958) opovrgava nalaz tog minerala u jezerskom sedimentu. Prikazani rezultati nedvojbeno potvrđuju da igličaste čestice u suspendiranoj tvari i jezerskim sedimentima pokazuju aragonitnu strukturu.

1. INTRODUCTION

Veliko and Malo Jezero (Large and Small Lake, i.e. Mljet Lakes) are located on the western part of the Mljet Island (Adriatic Sea) (Fig. 1). Due to its scenic beauty, ecological peculiarities, and environmental values, this western part of the island was proclaimed a National Park in 1960. The Mljet Lakes are semi-enclosed depressions connected with the open sea by a narrow, shallow channel. The "lakes" are typical karst depressions (a *dolina* and an *uvala*), which were formed under subaerial exposures and are now submerged due to Holocene sea-level rise (JURAČIĆ et al., 1995). Being connected with the sea, they contain saline water and, therefore, are not true lakes. Due to their depth (46 and 29 m respectively) they can hardly be termed lagoons because the latter are usually defined as shallow semi-enclosed water bodies (PHLEGER, 1969) "having depths that seldom exceed a couple of meters" (KJERFVE & MAGILL, 1989).

The water exchange between the lake and the sea occurs only at the surface layer through very shallow,

narrow straits, and is driven by tidal currents, but it is insufficient for aeration of deeper water layers (BENOVIĆ & ONOFRI, 1995). This latter situation coupled with a weak wind results in water stratification and gives rise to temporary stagnant conditions with anoxia in deeper parts of the "lakes", especially in Malo Jezero (BULJAN & ŠPAN, 1976). Hydrographic data indicate that the surface of the lakes may reach temperatures higher than 27°C and salinity exceeding 38 ‰ during summer (BULJAN & ŠPAN, 1976). Accordingly, the Mljet Lakes are restricted environments not only in spatial sense, but also in the terms of the stress producing environmental factor (SEIBOLD & BERGER, 1996). The aim of this study is to clarify the long lasting dilemma on the precipitation and sedimentation of aragonite in Mljet Lakes.

2. SAMPLING AND METHODS

Sediment cores up to 80 cm long were collected by scuba diving in Mljet Lakes in May 1995 (Fig. 1). On the same locations samples of suspended matter were

¹ Center for Marine and Environmental Research, Ruđer Bošković Institute, Zagreb, Croatia. Present address: Center for Advanced Materials Processing, Clarkson University, Potsdam, N.Y. 13600-5814, USA.

² Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

³ Institute of Physics, Bijenička 46, HR-10000 Zagreb, Croatia.

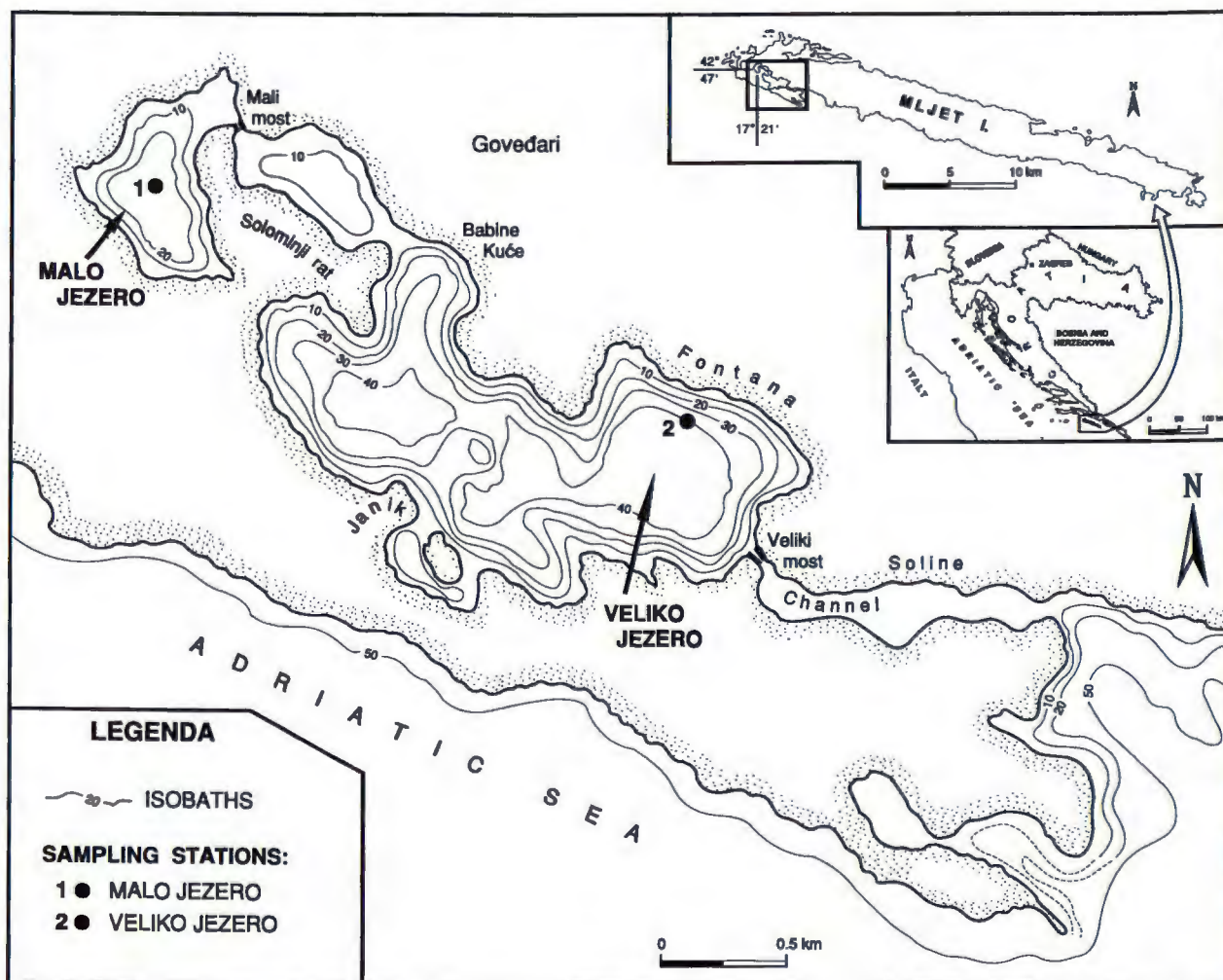


Fig. 1 Map of the Mljet Island, Croatia, showing the studied area and sampling stations.

Sl. 1 Područje istraživanja i lokacije uzorkovanja.

collected from the surface (0.5 m) by filtration 2 liters of water through 0.45 μm Millipore membranes. Sediment cores and suspended matter samples were frozen within 4 hours, and transported frozen to the laboratory. After freeze-drying adequate amounts of samples were used for analysis.

Qualitative mineral composition was determined by the powder X-ray diffraction (Philips, PW 1050), while carbonate content was assayed volumetrically by measuring CO_2 evolved from dissolved sample. The morphology, particle size, and EDAX spectra of the suspended matter and the sediment were analyzed by scanning electronic microscopy (SEM) (Philips, SEM 515). In addition, detailed investigation of crystal structure and morphology of particles was carried out with transmission electron microscope Philips EM 400T (operating at 100 kV) in transmission imaging mode (magnification of 3,000 - 30,000 \times), and in diffraction mode (with a goniometer tilt of $\pm 60^\circ$).

3. RESULTS

The surface sediments from Malo Jezero consisted mostly of needle-type particles, typical of aragonite (Fig. 2), with the particle sizes ranging from 0.1 to 1 μm in thickness and 1 to 10 μm in length. The sediments have a high carbonate content (72 wt. %), and the X-ray pattern of these solids indeed showed the prevalence of aragonite, while calcite, Mg-calcite and dolomite are less abundant (SONDI et al., 1995). These results strongly suggested presence of aragonite as main mineral component in sediment samples.

In order to further substantiate this finding additional transmission electron microscopy and electron diffraction analyses (TEM and ED) on selected samples were performed. Polycrystalline ring pattern obtained from clusters (Fig. 3c) revealed mostly aragonite with some calcite. Spot patterns of properly oriented grains of needle-like morphology (as in Fig. 3a) could be

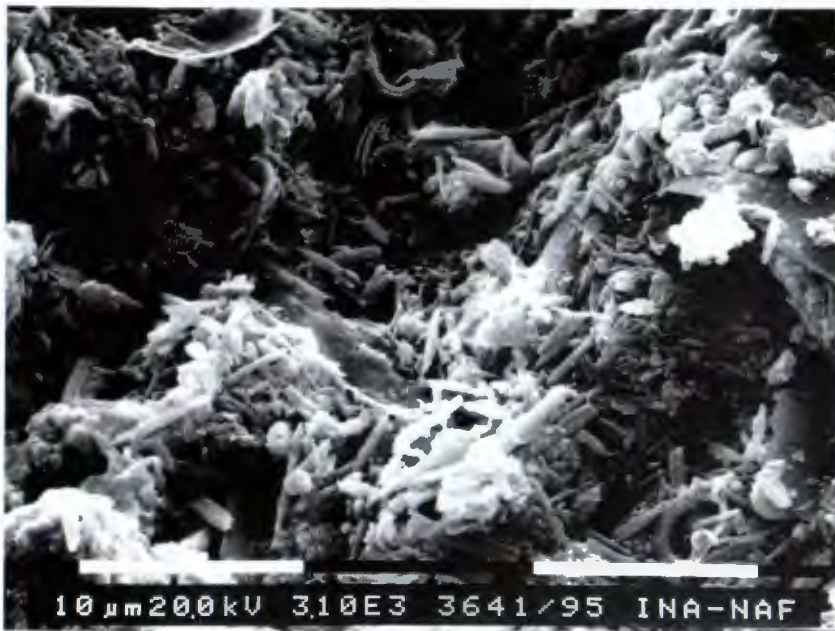


Fig. 2 SEM micrograph of recent surface sediment from Malo Jezero showing prevalence of needle-like particles.

Sl. 2 Fotografija rasternim elektronskim mikroskopom (SEM) na kojoj prevladavaju igličaste čestice.



Fig. 3 TEM micrograph of recent surface sediment from Malo Jezero, with diffraction patterns of (a) needle-like particles of aragonite, (b) plate-like grains of calcite, and (c) polycrystalline ring pattern taken from a cluster.

Sl. 3 Fotografija prolaznim elektronskim mikroskopom (TEM) površinskog sedimenta iz Malog jezera, s difrakcijskom slikom (a) igličaste čestice aragonita, (b) pločaste čestice kalcita i (c) nakupine čestica.

unambiguously indexed on the basis of aragonite orthorhombic lattice cell (zone pattern $[110]_A$; $d^*_{001A}=(5.75A)^{-1}$; $d^*_{110A}=(4.20A)^{-1}$). Spot pattern of plate-like grains (as in Fig. 3b) revealed a hexagonal mesh and could be assigned as the $[001]_C$ zone pattern of calcite phase.

4. DISCUSSION

The presented results definitely confirm the presence of aragonite needle-like particles both in suspended matter and in the surface sediments of Malo and

Veliko Jezero, which was previously only assumed to be the case (VULETIĆ, 1953; SONDI et al., 1995). This result is interesting, because most reported findings of recent aragonite mud come from warm tropical climatic zone locations; thus, the thoroughly investigated recent sedimentation of aragonite mud comes from the Bahamas, Florida, Persian/Arabic Gulf and Red Sea (BATHURST, 1975; TUCKER & WRIGHT, 1990).

There is an ongoing debate in the literature whether the origin of aragonite in recent sediments is of inorganic or algal natures (BATHURST, 1975; SHINN et al., 1989; TUCKER & WRIGHT, 1990; MILLIMAN et

al., 1993; BOSENCE, 1995). Thus, STOCKMAN et al. (1967) showed that in south Florida, this mineral is produced by the disintegration of calcareous codiacean algae such as *Penicillus*, *Rhipocephalus* and *Udotea*, while MILLIMAN et al. (1993) concluded that much of the lime mud of the Great Bahama Bank precipitated directly.

At this stage of investigations we assume that in the Mljet Lakes the heating of the surface water layer during the summer might produce conditions for physico-chemical precipitation of aragonite. Furthermore, the whittings (drifting milky clouds of water with suspended carbonate) have also been sporadically observed in lakes. For example, a patch of cca 20 m in diameter was observed on June 3, 1997 in Malo Jezero (water temp. 20.17°C; salinity 37.8 ‰; oxygen concentration 6.9 ml l⁻¹ - A. BENOVIĆ, pers. comm.).

It is worthwhile to note a recent study, which demonstrated that needle-like aragonite of very similar morphological and size properties can be precipitated directly in aqueous solution under defined conditions at somewhat elevated temperature (WANG et al., 1999). The formation of aragonite in lakes takes place at lower temperature and may be caused by the presence of some organics, which could affect the crystal growth of this mineral at the expense of other forms, such as calcite.

Previous investigations have shown that carbonate polymorph specificity may depend on the presence of organic compounds, which can regulate nucleation and growth processes of these minerals (POKROVSKY & SAVENKO, 1995; FALINI et al., 1996). The molecular interactions in natural marine environments are still not well understood and, therefore, a systematic laboratory study of precipitation of aragonite particles in the presence of organic compounds present in natural environment is desirable. Such studies using conditions typical for Mljet Lakes would help understanding the kinetics and mechanism of the precipitation and sedimentation of aragonite in marine environments in general.

5. LITERATURE

- BATHURST, R.G.C. (1975): Carbonate sediments and their diagenesis.- Developments in Sedimentology, 12, 2nd enlarged edition, Elsevier, Amsterdam, 658 p.
- BENOVIĆ, A. & ONOFRI, V. (1995): Ekološke osobitosti Velikog jezera na otoku Mljetu.- In: DURBEŠIĆ P. & BENOVIĆ, A. (eds.): Zbornik "Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta". Ekološke monografije, 6, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 511-521.
- BOSENCE, D.W.J. (1995): Anatomy of a Recent biodetrital mud-mound, Florida Bay, USA.- Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 23, 475-493.
- BULJAN, M. & ŠPAN, J. (1976): Hidrografska svojstva mljetskih jezera i susjednog mora.- Acta Adriatica, 6/12, 1-227, Split.
- FALINI, G., ALBECK, S., WEINER, S. & ADDADI, L. (1996): Control of aragonite or calcite polymorphism by mollusk shell macromolecules.- Science, 271, 67-69.
- JURAČIĆ, M., SONDI, I., BARIŠIĆ, D., VDOVIĆ, N. & PRAVDIĆ V. (1995): Sedimenti i sedimentacija u mljetskim jezerima (Hrvatska).- In: DURBEŠIĆ P. & BENOVIĆ, A. (eds.): Zbornik "Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta". Ekološke monografije, 6, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 107-116.
- KJERFVE, B. & MAGILL, K.E. (1989): Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons.- Mar. Geol., 88, 187-199.
- MILLIMAN, J.D., FREILE, D., STEINEN, R.P. & WILBERT, R.J. (1993): Great Bahama Bank aragonitic muds: mostly inorganically precipitated, mostly exported.- J. Sediment. Petrol., 63, 589-595.
- PHLEGER, F.B. (1969): Some general features of coastal lagoons.- In: AYALA-CASTANERAS, A. (ed.): Lagunas Costeras. Univ. Nac. Autonomus de México, México, 5-26.
- POKROVSKY, O.S. & SAVENKO, V.S. (1995): Influence of dissolved organic matter on the kinetics of homogeneous precipitation of aragonite in seawater.- Okeanologiya, 34, 833-841.
- SEIBOLD, E. (1958): Jahreslagen in Sedimenten der mittleren Adria.- Geol. Rundsch., 47, 100-117.
- SEIBOLD, E. & BERGER, W.H., (1996): The Sea Floor. An Introduction to Marine Geology.- 3rd ed., Springer Verlag, Berlin, 356 p.
- SHINN, E.A., STEINEN, R.P., LIDZ, B.H. & SWART, R.K. (1989): Whittings, a sedimentologic dilemma.- J. Sediment. Petrol., 59, 147-161.
- SONDI, I., JURAČIĆ, M., SLAVKOVIĆ, R. & PRAVDIĆ, V. (1995): Mineraloške i površinske fizikalno-kemijske značajke sedimenata mljetskih jezera.- In: DURBEŠIĆ P. & BENOVIĆ, A. (eds.): Zbornik "Prirodne značajke i društvena valorizacija otoka Mljeta". Ekološke monografije, 6, Hrvatsko ekološko društvo, Zagreb, 117-125.
- STOCKMAN, K.W., GINSBURG, R.N. & SHINN, E.A. (1967): The production of lime mud by algae in south Florida.- J. Sediment. Petrol., 37, 633-648.
- TUCKER, M.E. & WRIGHT, V.P. (1990): Carbonate Sedimentology.- Blackwell Scientific Publ., Oxford, 482 p.
- VULETIĆ, A. (1953): Structure geologique du fond du Malo et du Veliko jezero, sur l'île de Mljet.- Acta Adriatica, 6/1, 1-64, Split.
- WANG, L., SONDI, I. & MATIJEVIĆ, E. (1999): Preparation of uniform needle-like aragonite particles by homogeneous precipitation.- J. Colloids Interface Sci., 218, 545-553.

Tourmalines from the Ravne Pegmatite and Metamorphic Country Rock

Petra SOUVENT¹, Anna M. FIORETTI², Giuliano BELLINI³ & Tadej DOLENEC¹

Key words: Pegmatite, Metamorphic rock, Tourmaline, Chemical zoning, Slovenia.

Abstract

In the Ravne area (north Slovenia), tourmalines from the pegmatite and the metapelites were studied. All of the tourmalines are members of the schorl-dravite solid solution series. Most of the tourmalines show optical zoning. Electron microprobe analyses indicate chemical zoning, with low Ca, Mg and Ti within optically distinct core with respect to the rim, for the pegmatite tourmalines, and low Fe, Na, Ti and high Al, Mg, Ca and Mn within optically distinct core with respect to the rim, for the metapelite tourmalines.

as well as in the metamorphic country rocks. The investigated area is located north of the periadriatic lineament in the Eastern Alps (Fig. 1). In an area of approximately 40 km², more than 300 pegmatite veins were found, ranging from some centimetres to some metres in thickness. Most of the pegmatite bodies lie concordant within the metamorphic rocks, only a few are discordant (ŠTRUCL, 1988). Metamorphic rocks are metapelites and metacarbonates with silicate component, represented mostly by biotite and biotite-muscovite gneiss, biotite-amphibole gneiss and calc-silicate slates. Tourmaline was found in almost all of the pegmatite bodies and in some of the metamorphic country rocks, namely only in the metapelites.

Electron microprobe data on zoned tourmalines are reported in this paper in order to investigate the difference between tourmalines from the pegmatite and tourmalines from the metapelites.

1. INTRODUCTION

Tourmaline is a common accessory mineral with the general formula of $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3(OH)_4$. The X site is usually occupied by Na, but it can contain some amount of Ca, Mg and vacancies also (FOIT & ROSENBERG, 1977). Y site can be occupied by large variety of monovalent (Li), divalent (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+}), trivalent (Al^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Fe^{3+}) and tetravalent cations (Ti^{4+}) (FRONDEL et al., 1966; HERMON et al., 1972; FORTIER & DONNAY, 1975; FOIT & ROSENBERG, 1979). The Z site is typically occupied by Al but significant amounts of Mg, Fe^{3+} , V^{3+} and Cr^{3+} can replace Al (HAWTHORNE & HENRY, 1999). In the T site, some Al can substitute for Si (FOIT & ROSENBERG, 1979) and in the hydroxyl site, OH⁻ can be substituted by O²⁻ or F⁻ (FOIT & ROSENBERG, 1979). Tourmaline can be found in granitoid intrusive rocks and their associated pegmatites, aplites, and hydrothermal aureoles, in metamorphic rocks and in clastic sedimentary rocks.

Tourmaline of the Ravne area (north Slovenia) occurs as an euhedral accessory mineral in pegmatite veins

2. EXPERIMENTAL METHODS

Chemical analyses on mineral phases were carried out at the "Centro di Studi per la Geodinamica Alpina" of CNR in Padova. Wavelength dispersive analyses were obtained using a CAMECA-CAMEBAX 799 electron microprobe operating at 15kV with 15 nA sample current. Counting times were 10 seconds for peak and 5 seconds for background for F, Na, K, Mg, Al, Si, Fe, and 20 seconds for peak and 10 seconds for background for Ca, Ti, Cr, Mn and Zn. PAP correction program was used to convert x-ray counts into oxide weight percentages. Well characterised minerals and synthetic compounds were used as standard: wollastonite (Si, Ca), corundum (Al), albite (Na), orthoclase (K), periclase (Mg), iron oxide (Fe), $MnTiO_3$ (Mn, Ti), chromite (Cr), fluorapatite (F) and sphalerite (Zn). The analyses are precise to within 1% for major elements and 3% for minor elements. The structural formula was calculated with the "Formula1" program provided by SAMx-France (Support for Application in x-ray Microanalyses) on the basis of 24.5 oxygens and 4 H₂O. B₂O₃ was calculated by stoichiometry.

¹University of Ljubljana, Faculty of Natural Science and Engineering, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

²Centro Studi Geodinamica Alpina CNR, Corso Garibaldi 37, I-35137 Padova, Italy.

³University of Padova, Dept. of Mineralogy and Petrology, Corso Garibaldi 37, I-35137 Padova, Italy.

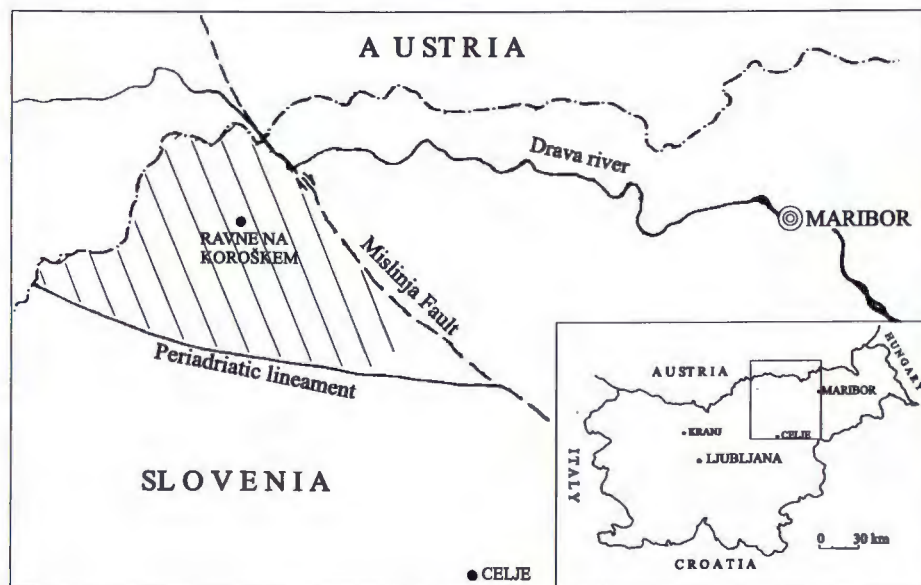


Fig. 1 Map showing the location of investigated metamorphic rocks and pegmatites (hatched area).

3. RESULTS AND DISCUSSION

All of the Ravne tourmalines are members of the schorl-dravite solid solution series. Tourmalines from pegmatite are closer to the schorl end member (the Y-site cation is predominantly Fe^{2+}) while tourmalines from metamorphic rocks have more dravitic component and are closer to the dravite end member (the Y-site cation is predominantly Mg). On the Al-Fe-Mg (Fig. 2) and Ca-Fe-Mg (Fig. 3) ternary classification diagram of HENRY & GUIDOTTI (1985) tourmalines from pegmatite fall in the field of Li-poor granitoids and their associated pegmatites and aplites. Tourmalines from metapelites fall in the field of metapelites and metapsammities coexisting with an Al-saturating phase (Fig.

2) and in the field of Ca-poor metapelites, metapsammities, and quartz-tourmaline rocks (Fig. 3).

Tourmalines from pegmatite

The diameter of the tourmaline crystals ranges from 0.1 mm to 40 mm and the length from 0.5 mm to 150 mm. Most of the tourmaline grains are fractured. Fractures are filled with fine-grained quartz, muscovite (sericite) or feldspar. Larger crystals are clearly zoned under the microscope. Cores are light to greyish-blue while the rims are darker - olive green, greenish-, brownish-, or dark blue. The colour is usually not gradational from core to rim and involves sharp optical discontinuities. Tourmaline grains showing these optical discontinuities may have either irregular cores, which are

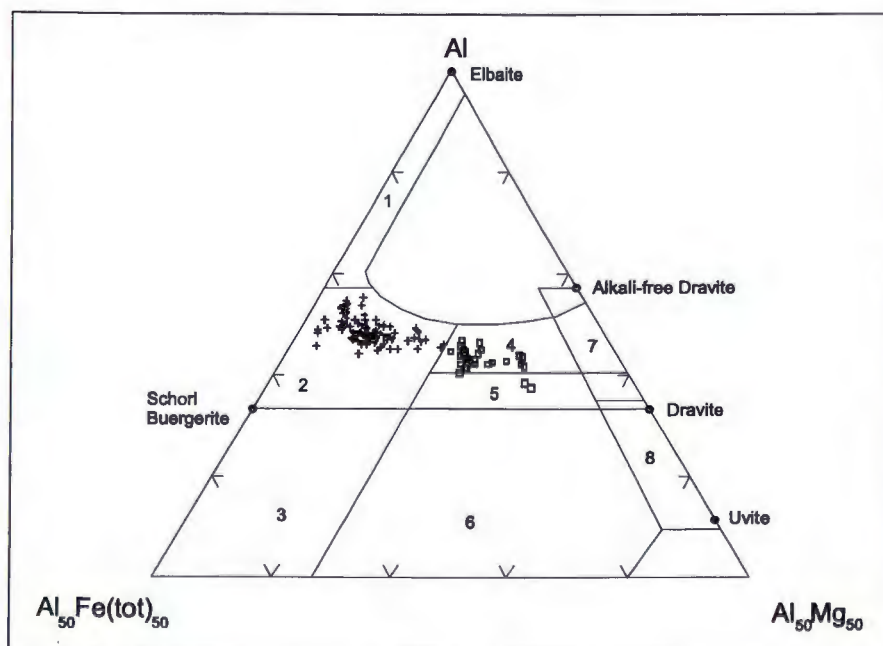


Fig. 2 Al-Fe_{total}-Mg diagram for Ravne tourmalines. Field numbers as in HENRY & GUIDOTTI (1985): 1) Li-rich granitoid pegmatites and aplites; 2) Li-poor granitoids and their associated pegmatites and aplites (+); 3) Fe^{3+} -rich quartz-tourmaline rocks (hydrothermally altered granites); 4) metapelites and metapsammities coexisting with an Al-saturating phase (□); 5) metapelites and metapsammities not coexisting with an Al-saturating phase; 6) Fe^{3+} -rich quartz-tourmaline rocks, calc-silicate rocks, and metapelites; 7) Low-Ca metaultramafics and Cr, V-rich metasediments; 8) metacarbonates and meta-pyroxenites. Fields 4 and 5 overlap with field 7.

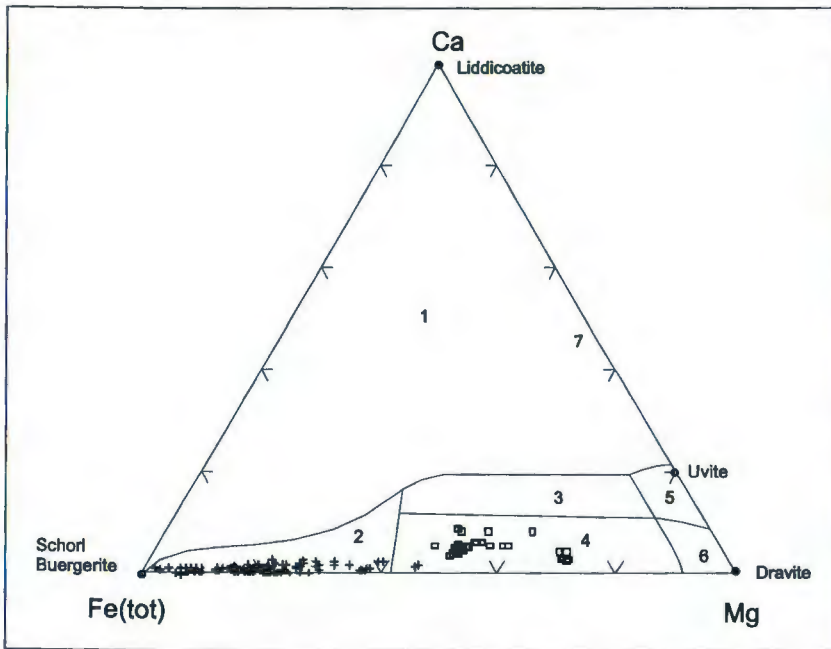


Fig. 3 Ca-Fe_{total}-Mg diagram for Ravne tourmalines. Field numbers as in HENRY & GUIDOTTI (1985): 1) Li-rich granitoid pegmatites and aplites; 2) Li-poor granitoids and their associated pegmatites and aplites (+); 3) Ca-rich metapelites, metapsammites, and calc-silicate rocks; 4) Ca-poor metapelites and metapsammites, and quartz-tourmaline rocks (□); 5) metacarbonates; 6) metaltramafics. Field 6 overlap with field 4.

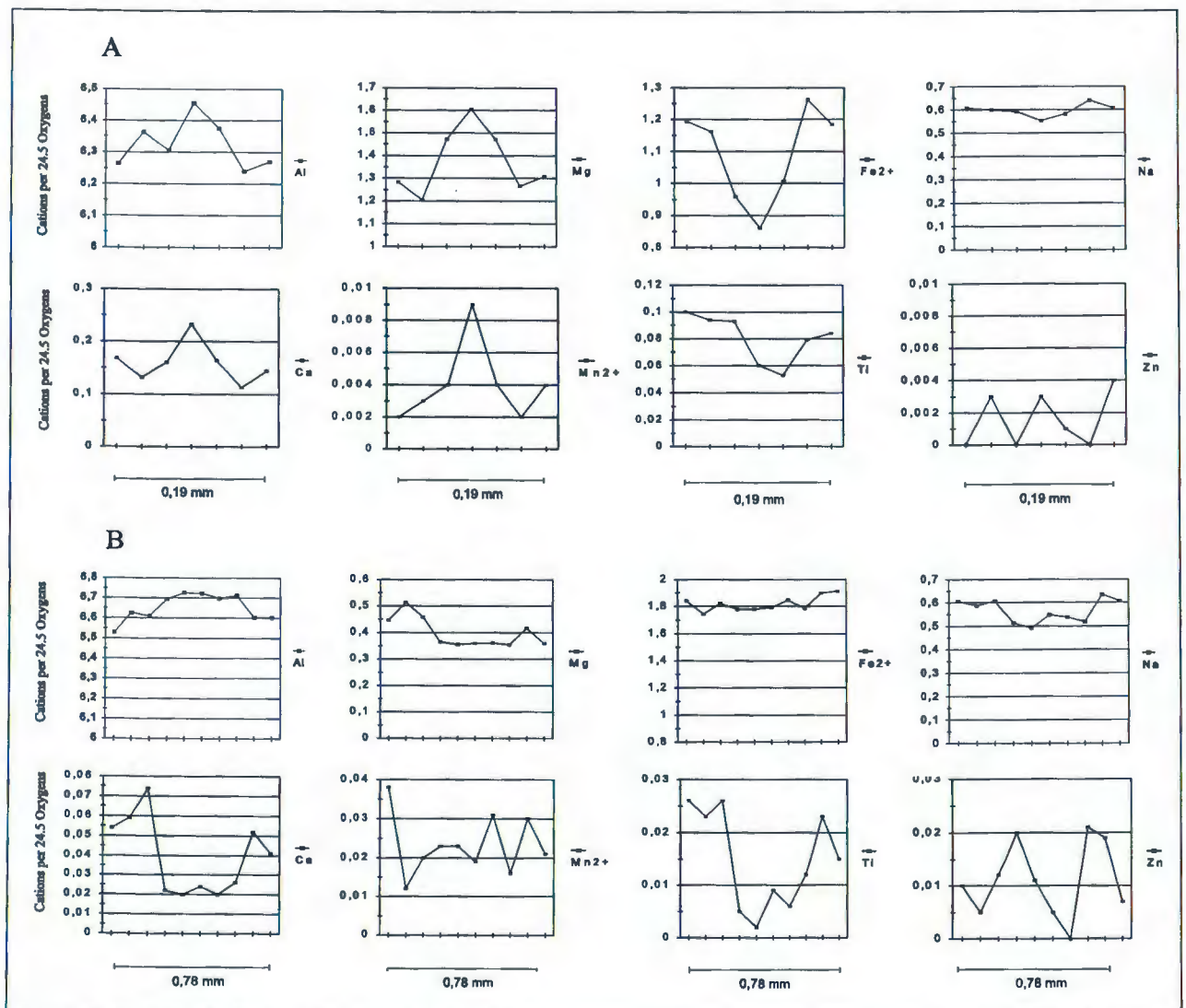


Fig. 4 Electron microprobe traverses from rim to rim of zoned tourmalines from metapelite (A) and pegmatite (B).

Point	1P-r	2P-r	3P-r	4P-c	5P-c	6P-c	7P-c	8P-r	9P-r	10P-r	1M-r	2M	3M	4M-c	5M	6M	7M-r
SiO ₂	35.72	35.42	34.33	35.82	35.91	35.73	35.64	35.76	35.04	35.27	35.98	36.39	36.59	35.89	36.38	35.98	36.27
TiO ₂	0.21	0.18	0.2	0.04	0.01	0.07	0.05	0.1	0.18	0.12	0.8	0.76	0.75	0.49	0.43	0.63	0.68
Al ₂ O ₃	33.12	33.5	32.55	33.97	34.24	34.2	34.01	34.14	33.25	33.16	32.01	32.89	32.73	33.6	33.14	31.73	32.26
Cr ₂ O ₃	0	0	0.04	0	0	0.02	0.01	0.04	0	0	0.01	0.04	0	0.04	0.03	0.04	0.02
B ₂ O ₃ (c)	10.39	10.36	10.09	10.39	10.43	10.42	10.4	10.42	10.31	10.29	10.47	10.59	10.63	10.66	10.65	10.42	10.54
FeO	13.16	12.42	12.65	12.72	12.76	12.84	13.21	12.8	13.46	13.54	8.6	8.46	7.02	6.3	7.39	9.04	8.59
MnO	0.27	0.09	0.14	0.16	0.16	0.13	0.22	0.12	0.21	0.15	0.01	0.02	0.03	0.06	0.03	0.01	0.03
MgO	1.79	2.05	1.78	1.46	1.43	1.44	1.45	1.42	1.66	1.42	5.19	4.92	6.04	6.6	6.05	5.08	5.32
CaO	0.3	0.33	0.4	0.12	0.11	0.13	0.11	0.15	0.29	0.23	0.94	0.75	0.92	1.33	0.94	0.63	0.82
ZnO	0.08	0.04	0.09	0.16	0.09	0.04	0	0.17	0.16	0.06	0	0.02	0	0.03	0.01	0	0.03
Na ₂ O	1.87	1.81	1.81	1.58	1.52	1.69	1.66	1.6	1.94	1.85	1.89	1.88	1.87	1.75	1.84	1.98	1.9
K ₂ O	0.1	0.05	0.06	0.04	0.06	0.01	0.04	0.06	0.05	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.08	0.05	0.13
F	0.08	0.21	0.23	0	0.06	0	0.13	0.06	0	0.12	0.25	0.34	0.18	0.06	0.49	0.29	0.15
H ₂ O(c)	3.55	3.47	3.37	3.59	3.57	3.59	3.53	3.56	3.56	3.49	3.49	3.49	3.58	3.85	3.44	3.46	3.57
O=F	0.04	0.09	0.1	0	0.02	0	0.06	0.03	0	0.05	0.11	0.14	0.07	0.03	0.21	0.12	0.06
Σ Ox%	100.61	99.83	97.66	100.07	100.34	100.33	100.4	100.37	100.11	99.67	99.58	100.45	100.3	100.47	100.7	99.22	100.23
Structural formula on the basis of 24.5 oxygens																	
Si	5.975	5.943	5.914	5.99	5.985	5.96	5.955	5.966	5.905	5.96	5.973	5.976	5.98	5.851	5.938	6.004	5.981
AlT	0.025	0.057	0.086	0.01	0.015	0.04	0.045	0.034	0.095	0.04	0.027	0.024	0.02	0.149	0.062	0	0.019
B ³⁺	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
AlZ	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
AlY	0.504	0.569	0.524	0.684	0.71	0.683	0.652	0.678	0.509	0.582	0.237	0.339	0.286	0.306	0.313	0.24	0.251
Cr	0	0	0.006	0	0.001	0.003	0.001	0.005	0.001	0	0.001	0.005	0	0.005	0.004	0.005	0.002
Ti	0.026	0.023	0.026	0.005	0.002	0.009	0.006	0.012	0.023	0.015	0.1	0.094	0.093	0.06	0.053	0.079	0.084
Fe ²⁺	1.841	1.743	1.822	1.779	1.778	1.792	1.846	1.785	1.897	1.913	1.194	1.162	0.959	0.86	1.008	1.262	1.184
Mn ²⁺	0.038	0.012	0.02	0.023	0.023	0.019	0.031	0.016	0.03	0.021	0.002	0.003	0.004	0.009	0.004	0.002	0.004
Mg	0.447	0.513	0.458	0.364	0.355	0.359	0.361	0.354	0.416	0.359	1.284	1.205	1.472	1.605	1.472	1.265	1.308
Zn	0.01	0.005	0.012	0.02	0.011	0.005	0	0.021	0.019	0.007	0	0.003	0	0.003	0.001	0	0.004
Y tot	2.866	2.865	2.868	2.875	2.88	2.87	2.897	2.871	2.895	2.877	2.818	2.811	2.814	2.848	2.855	2.853	2.837
Ca	0.054	0.059	0.074	0.022	0.02	0.024	0.02	0.026	0.052	0.041	0.168	0.132	0.16	0.233	0.164	0.113	0.144
Na	0.606	0.587	0.606	0.514	0.491	0.547	0.538	0.518	0.634	0.606	0.607	0.599	0.592	0.553	0.582	0.64	0.607
K	0.02	0.01	0.013	0.009	0.013	0.002	0.008	0.012	0.011	0.006	0.009	0.008	0.01	0.005	0.017	0.012	0.028
X tot	0.68	0.656	0.693	0.545	0.524	0.573	0.556	0.556	0.697	0.653	0.784	0.739	0.762	0.791	0.763	0.765	0.779
F	0.044	0.113	0.124	0	0.03	0	0.07	0.034	0	0.066	0.133	0.174	0.091	0.031	0.253	0.153	0.077
OH	3.956	3.887	3.876	4	3.97	4	3.93	3.966	4	3.934	3.867	3.826	3.909	3.969	3.747	3.847	3.923
(OH,F)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Σ Cat.	22.548	22.52	22.561	22.42	22.403	22.442	22.463	22.428	22.592	22.53	22.603	22.55	22.575	22.638	22.619	22.621	22.616

Table 1 Representative microprobe analyses of tourmaline from pegmatite (P) and metapelite (M); c - core, r - rim, (c) - calculated.

not necessarily in the centre of the tourmaline, and euhedral rims, or both euhedral cores and rims. Some smaller tourmaline grains are optically unzoned.

Tourmalines with euhedral cores and rims display chemical zoning, with Ca, Mg, Ti, Zn increasing, and Mn, Na, Al decreasing from the rim towards the boundary of the optically distinct core. Within the optically distinct core, Ca, Mg and Ti decrease abruptly, Zn and Mn do not show any specific trends, Na slightly decreases and Al slightly may increase or decrease (Fig. 4).

Tourmalines from metapelites

Tourmalines are subhedral to euhedral and smaller than tourmalines from pegmatite. The diameter of the grains ranges from 0.01 mm to 0.2 mm and the length from 0.04 mm to 2.5 mm. Some of them are fractured. The optical zoning is not very clear, transition between

colours are blurred. The cores are usually light greenish-brown, very pale brown or yellowish-brown. The rims are brown or dark greenish-brown.

Chemical zoning indicates Al, Mg, Ca, Mn enrichment and Fe, Ti, Na depletion in the cores with respect to the rims. Zn does not show any specific trends. Representative microprobe analyses of the zoned tourmalines are reported in Table 1.

According to HINTERLECHNER-RAVNIK (1984), tourmalines in the pegmatite probably formed during the anatexis of the metamorphic rocks in the sillimanite field of the amphibolite facies. Rims of these tourmalines could be younger and may be related with the last phase of the metamorphism. The drop of pressure and of temperature, together with the influx of water was the cause of this retrograde metamorphism. In this stage of the recrystallisation, boron was also pre-

sent and numerous euhedral tourmalines were formed in the metapelites (HINTERLECHNER-RAVNIK, 1984). Alternatively, the tourmalines in the pegmatite could have crystallized from pegmatite fluids related to the near granites of the Northern Karavanke igneous belt. Further investigations are planned to better constrain the genesis of these tourmalines.

4. REFERENCES

- FOIT, F.F. & ROSENBERG, P.E. (1977): Coupled substitutions in the tourmaline group.- *Contrib. to Min. and Petrol.*, 62, 109-127.
- FOIT, F.F. & ROSENBERG, P.E. (1979): The structure of vanadium-bearing tourmaline and its implications regarding tourmaline solid solutions.- *Amer. Miner.*, 64, 788-798.
- FORTIER, S. & DONNAY, G. (1975): Schorl refinement showing compositional dependence of the tourmaline structure.- *Canadian Mineralogist*, 13, 173-177.
- FRONDEL, C., BIEDL, A. & ITO, J. (1966): New type of ferric iron tourmaline.- *Amer. Miner.*, 51, 1501-1505.
- HAWTHORNE, F.C. & HENRY, D.J. (1999): Classification of the minerals of the tourmaline group.- *Eur. J. Mineral.*, 11, 201-215.
- HENRY, D.J. & GUIDOTTI, C.V. (1985): Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: An example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine.- *Amer. Miner.*, 70, 1-15.
- HERMON, E., SIMKIN, D.J., DONNAY, G. & MUIR, W.B. (1972): The distribution of Fe²⁺ and Fe³⁺ in iron-bearing tourmalines: A Mössbauer study.- *Tschermaks Mineral. und Petrograph. Mitt.*, 19, 124-132.
- HINTERLECHNER-RAVNIK, A. (1984): Regional metamorphism of pelites and calc-silicate rocks in the area north of Ravne na Koroškem.- *Geologija*, 27, 171-199, Ljubljana.
- ŠTRUCL, I. (1988): Raziskava pegmatoidov v okolici Raven na Koroškem. Končno poročilo poglobljenih raziskav, projekt C7-7233-539.- *Ekonomski Center Maribor, Ravne*, 47 p.





Pelagični mikriti i kanalna sedimentna tijela u gornjem mastrihtu bušotine Istra More - 3 (sjeverni Jadran, Hrvatska)

Pelagic Micrites and Channel Sedimentary Bodies of the Upper Maastrichtian
in the Well Istra More - 3 (Northern Adriatic, Croatia)

Damir STANKOVIĆ, Vladimir VESELI & Renata SLAVKOVIĆ

Ključne riječi: gornji mastriht, pelagički mikriti i kanalna sedimentna tijela, Istra More - 3, Jadranska karbonatna platforma, Sjeverni Jadran, Hrvatska.

Key words: Upper Maastrichtian, Pelagic micrites and channel sedimentary bodies, Off-shore well Istra More - 3, Adriatic Carbonate Platform, Northern Adriatic, Croatia.

Sažetak

Istražna off-shore bušotina Istra More - 3, nakon probušnih naslaga donjeg eocena i paleocena nabušila je naslage gornjeg mastrihta. Unutar kontinuiranog slijeda dubljevodnih sedimentata tijekom gornjeg mastrihta taloženi su pelagički mikriti i kanalna brečokonglomeratna-biokalkarenitna tijela. Brečokonglomerati tvore sekvencije debljine 50-80 cm. Biokalkareniti slijede kontinuirano na njima ili se pojavljuju kao zasebna tijela. Gornjomastrihtska starost dokazana je na temelju nalaza planktonskih foraminifera iz familije globotrunkanida. Pelagički mikriti su taloženi u mirnom okolišu bazenske ravnice ili za vrijeme dužih ili kraćih razdoblja bez turbiditnih struja. Brečokonglomerati i biokalkareniti su sedimenti kanalne ispune, a taloženi su iz turbiditnih struja velike gustoće.

Abstract

Upon perforated deposits of the Lower Eocene and Paleocene, exploration off-shore well Istra More - 3 entered into Upper Maastrichtian deposits. Pelagic micrites and channel brecciaconglomerate-biocalcarene bodies were deposited within continuous sequence of deep-water sediments during Upper Maastrichtian. Brecciaconglomerates make 50-80 cm thick sequences. Biocalcarenes follow continuously on them or appear as separate bodies. Upper Maastrichtian age was proved based upon planktonic foraminifera from the Globotruncanida family. Pelagic micrites were deposited in calm environment of basin plateau or during longer or shorter periods without turbidite streams. Brecciaconglomerates and biocalcarenes are sediments of channel fillings and were deposited from turbidite layer of high density.

1. UVOD

Sjeverni dio podmorja Jadrana prema novijim geološkim interpretacijama pripada sjeverozapadnom dijelu Jadranske karbonatne platforme (FINETTI et al., 1989). Unutar njega je moguće izdvojiti dvije geomorfološke cjeline. Istočni dio koji pripada karbonatnoj platformi odlikuje debeli slijed plitkomorskih karbonatnih sedimentata taložen od gornjeg dogera do gornje krede, s time što je u njezinom najistočnijem dijelu (poluotok Istra) plitkovodna sedimentacija trajala s povremenim prekidima sve do ranog eocena (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973; TIŠLJAR et al., 1983; VELIĆ & TIŠLJAR, 1988; VELIĆ et al., 1989, 1995; MATIČEC et al., 1996, i dr.). Zapadni dio koji je smješten unutar Venecijanskog bazena i ima odlike potopljene karbonatne platforme ili intraplatformnog bazena od gornjeg

anizika do gornjeg dogera karakteriziraju pretežito plitkovodni karbonatni sedimenti. U srednjoj juri zbog djelovanja sinsedimentacijske tektonike ovo područje postupno tone, te se u njemu tijekom čitave krede i starijeg paleogena odvija dubljevodna ("bazenska") karbonatna sedimentacija (CATTI et al., 1989; FINETTI et al., 1989).

Podmorska bušotina Istra More - 3 nalazi se 25 km jugoistočno od bušotine Amanda - 1, a od bušotine Istra More - 1 približno 54 km sjevernije (sl. 1).

2. PELAGIČKI MIKRITI I KANALNA TIJELA

Facijesne karakteristike pelagičnih mikrita i kanalnih brečokonglomeratno-biokalkarenitnih tijela prikazane su na sl. 2.



Sl. 1 Pozicijska karta bušotine Istra More - 3.

Fig. 1 Location map of the well Istra More - 3.

2.1. LITOFACIJES

Sedimenti gornjeg mastrihta nabušeni u intervalu između 2.016,0 i 2.300,0 m pretežito se sastoje od pelagičnih mikrita. U nižem dijelu facijesa u njih su uložena kanalna brečokonglomeratno-biokalkarenitna tijela debljine 10-60 m, dok se u višem dijelu, kao ulošci, pojavljuju 10-30 m debela tijela biokalkarenita (sl. 2).

Brečokonglomerati tvore sekvencije debljine 50-80 cm. Donje slojne plohe sekvencija prema sitnozmatijim sedimentima prethodne sekvencije su u pravilu erozijske ili stilolitske dok je prijelaz u krovinske biokalkarenite postupan, ali najčešće dosta intenzivan.

Početni dijelovi sekvencija se sastoje od slabozabljenih do uglastih, loše sortiranih, tj. potpuno neurednih vapnenačkih klasta koji ponekad u tankom baznom dijelu pokazuju nejasnu inverznu gradaciju koja prema gore prelazi u normalnu. Dimenzije klasta variraju od nekoliko mm pa do preko 10 cm (sl. 3). Pojedini klasti pokazuju tragove plastičnih deformacija. Klasti su veoma heterogeni s obzirom na starost (alb-kampan) i litoški sastav. Jedni potječu iz okoliša plitkomorske karbonatne platforme, a drugi s područja padine ili dubljevodnog okoliša.

Vezivo, odnosno matriks koji povezuje klaste u čvrstu stijenu, mjestimično pokazuje paralelnu laminaciju. Sastoji se od mikrita i/ili biokalkarenita. Ovisno o količini veziva klasti se međusobno podupiru ili imaju matriksnu potporu. Ponegdje se unutar veziva može naći veća količina gline i tamne organske tvari (sl. 3). Analize gline na SEM mikroskopu su pokazale sastav ilita, asocijacije ilit/klorit te manje količine sericita i kalcita (sl. 4).

Mikroskopska analiza i rock-eval piroliza tamne organske tvari ukazuju na mješavinu terestičke organske tvari - pretaloženog vitrinita i inertinita porijeklom od višeg kopnenog bilja i amorfne marinske tvari, algalno-bakterijskog podrijetla. Niska maksimalna temperaturna pirolize (423°C) pokazuje da organska tvar nije pretrpjela znatniju termičku izmjenu. Prema prisutnosti velike količine oksidirane organske tvari i visokom kisikovom indeksu može se pretpostaviti da se primarno taloženje ove tvari odvijalo u relativno oksidnoj zoni (analizirao: dipl. inž. D. Španić).

Biokalkareniti kontinuirano slijede na brečokonglomeratima ili se pojavljuju kao zasebna sedimentna tijela, osobito u višem dijelu litofacijesa. To su krupnozmatni do sitnozmatni karbonatni turbiditi, odnosno Ta-c ili Tb-c intervali Bouminih sekvencija. Bazne plohe sekvencija su, kao i kod brečokonglomerata, erozijske ili stilolitske, a vršni dijelovi sekvencija uglavnom nedostaju - odsječeni su. S obzirom na litoški sastav, donji dio odnosno Ta-b intervali, pretežito se sastoje od loše sortiranih bioklasta rudista, bodljikaša, velikih bentičkih foraminifera, vapnenačkih alga, te promjenljive količine poluzabljenih do zaobljenih mikritnih klasta dimenzija od nekoliko mm do 1 cm, klasta sitnozmatnih do srednjozmatnih biokalkarenita, rekristaliziranih biopelsparita i varijabilne količine muljevitog matriksa.

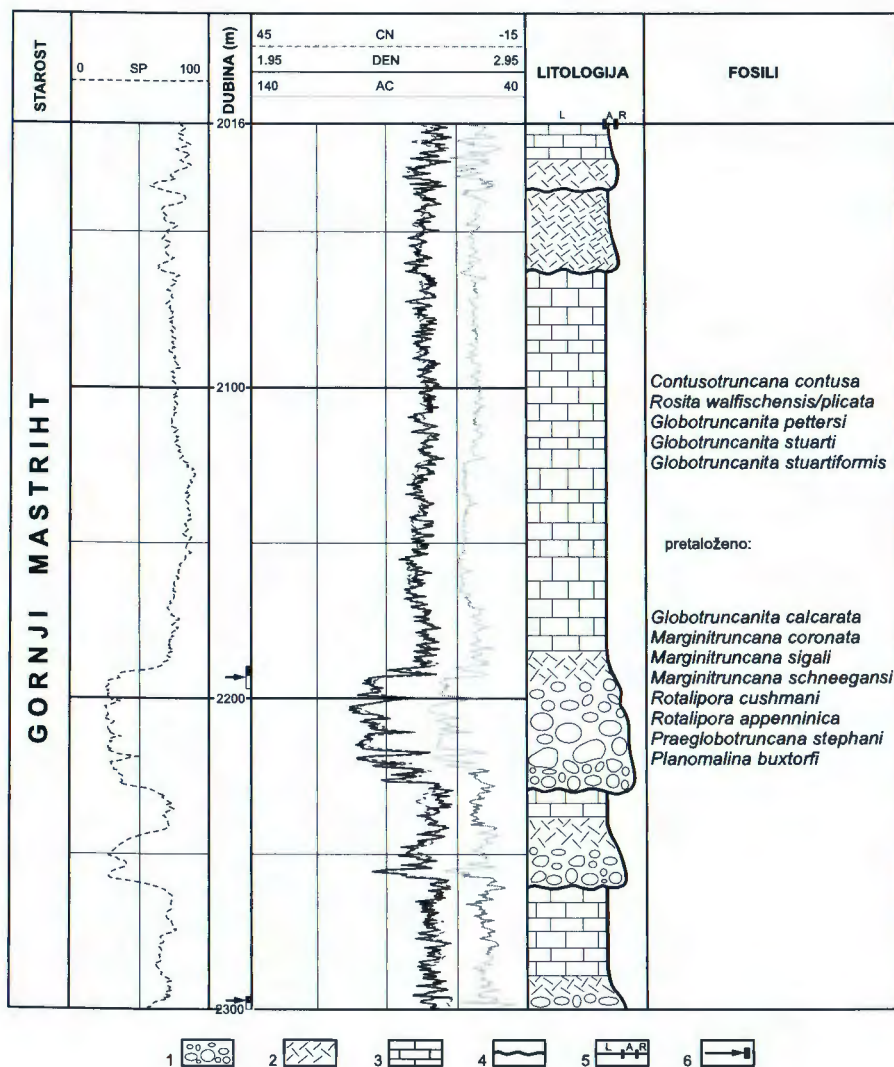
Intervali Tc se sastoje od sitnozmatog biokalkarenita u kojima je ponekad slabo izražena vijugava laminacija i konvolucija, vidljiva na jezgri u obliku uskih mikritnih traka. Mjestimično se unutar ovog intervala pojavljuju i 1-2 cm debeli, nepravilni ulošci loše sortiranih mikritnih klasta. Poroznost biokalkarenita pretežito je intergranularnog tipa. Efektivna poroznost dobro je vidljiva na uzorku koji je impregniran plavo obojenom epoksidnom smolom.

Pelagični mikriti, kao što je već spomenuto, čine najveći dio ovog litofacijesa, a sastoje se od tanko laminiranog sitnozmatog karbonatnog mulja u kojem je raspršena promjenljiva količina vrlo finog karbonatnog detritusa i planktonskih foraminifera. Ponekad sadrže i tanke, 1-3 cm debele proslojke sitnozmatnih biokalkarenita kao Tb-c intervale Bouminih sekvencija (sl. 5 i 6).

Mikriti su često ispresjecani brojnim horizontalnim stilolitima malih amplituda. Mjestimično se uz horizontalne stilolite pojavljuju i potpuno nepravilni stiloliti, pa je stijena pretvorena u stilolitizacijsku breču.

2.2. BIOFACIJES

Sedimente gornjeg mastrihta karakteriziraju brojne vrste i rodovi globotrunkana. To su: *Gansserina gansseri* (BOLLI) (Tab. I, sl. 1), *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI) (Tab. I, sl. 2), *G. conica* (WHITE), *G. stuarti* (DE LAPPARENT) (Tab. I, sl. 6), *G. stuartiformis* (DALBIEZ) (Tab. I, sl. 7 i 8), *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN), *Contusotruncana walfischensis/plicata* (TODD)/(WHITE) (Tab. I, sl. 3 i 4), *Globotruncana aegyptiaca* NAKKADY (Tab. I, sl. 5), *G. bulloi-*



Sl. 2 Shematski geološko-geofizički stup intervala 2.016,0-2.300,0 m bušotine Istra More-3. Legenda: 1) brečokonglomerat; 2) biokalkarenit; 3) mikrit; 4) erozijska površina; 5) lutit, arenit, rudit; 6) jezgra.

Fig. 2 Schematic geological-geophysical column of the interval 2,016.0-2,300.0 m in the well Istra More-3. Legend: 1) brecciaconglomerate; 2) biocalcarenite; 3) micrite; 4) erosion surface; 5) lutite, arenite, rudite; 6) core.

des VOGLER, *G. arca* (CUSHMAN), te *Hedbergella* sp., *Rugoglobigerina* sp. i heterohelicide. Od bentičkih foraminifera utvrđene su *Orbitoides media* (D'ARCHIAC) (Tab. I, sl. 9 i 10), *Pseudosiderolites vidali* (DOUVILLE), *Goupillaudina* sp. i rotaliide, zatim brojno kršje rudista, ehinida, školjkaša, briozoa i kalcisferulide.

Unutar turbiditnih slojeva, a katkada i u pelagičnim mikritima nađeni su brojni fosili pretaloženi iz kronostratigrafski starijih sedimenata. Među njima dominiraju različiti rodovi i vrste globotrunkana: *Planomalina buxtorfi* (GANDOLFI), *Rotalipora cushmani* (MORROW), *R. appenninica* (RENN), *Praeglobotruncana stephani* (GANDOLFI), *P. delrioensis* (PLUMMER), *P. gibba* KLAUS, *Helvetoglobotruncana helvetica* (BOLLI), *Marginotruncana coronata* (BOLLI), *M. angusticarinata* (GANDOLFI), *M. schneegansi* (SIGAL), *M. sigali* (REICHEL), *M. marginata* (REUSS), *M. pseudolinneiana* PESSAGNO, *Dicarinella primitiva* (DALBIEZ), *D. imbricata* (MORNOD), *Hedbergella trochoides* (GANDOLFI), *Biticinella breggiensis* (GANDOLFI), *Globotruncanita calcarata* (CUSHMAN), *Contusotruncana fornicata* (PLUMMER), *Globotruncanita linneiana* (D'ORBIGNY), *Sabaudia minuta* (HOFK-

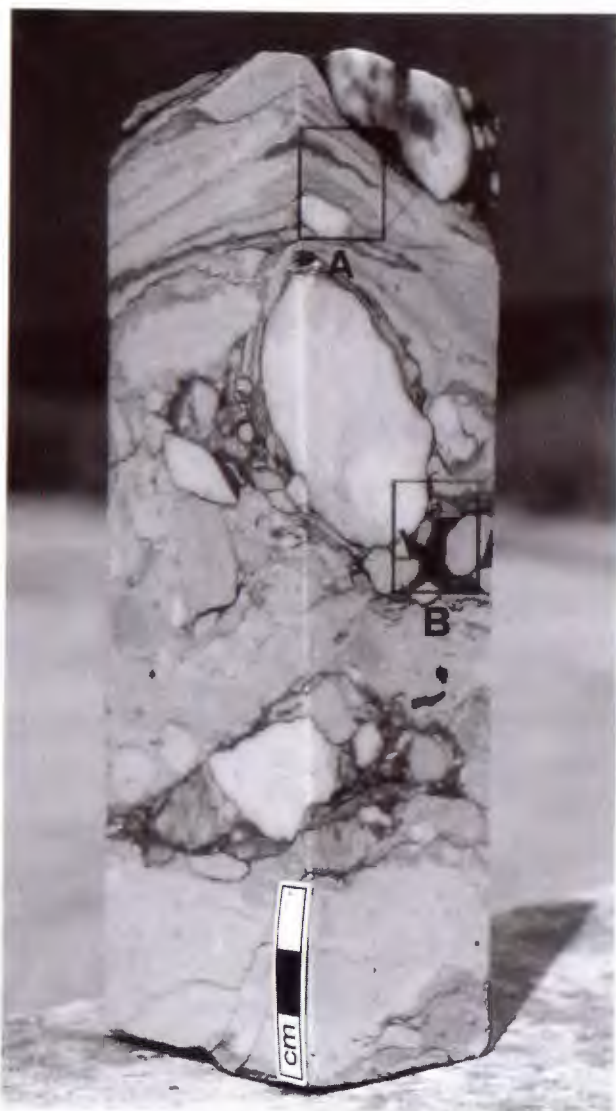
ER), *Tintinopsella simplex* RADOIČIĆ, *Triploporella fraasi* STEINMANN, *Orbitolina* sp., *Paracoskinolina* sp., *Glomospira* sp., *Bacinella* sp., *Triploporella* sp., kršje slaboočuvanih dazikladacea, i dr.

Autohtona fosilna zajednica ustanovljena u pelagičnim mikritima predstavljena je vrstama vrlo uskog stratigrafskog raspona kao što su *Gansserina gansseri* (BOLLI), *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI), *Contusotruncana contusa* (CUSHMAN) i dr., što nesumnjivo dokazuje **gornjomastrihtsku starost** naslaga ovog facijesa (CARON, 1985; SLITER, 1989).

2.3. OKOLIŠ TALOŽENJA

Pelagični mikriti su taloženi u mirnom okolišu bazenske ravnice ili za vrijeme dužih ili kraćih razdoblja bez turbiditnih struja tijekom visokoga vodostaja (HST).

Povremeno su u ovu sredinu naglim detritnim tokovima i/ili turbiditnim strujama uzduž podmorskih kanala ili kanjona donošane ogromne količine karbonatnog i terestičkog detritusa kao posljedica pojačane tektonske aktivnosti na rubnim dijelovima platforme, a vjerojatno



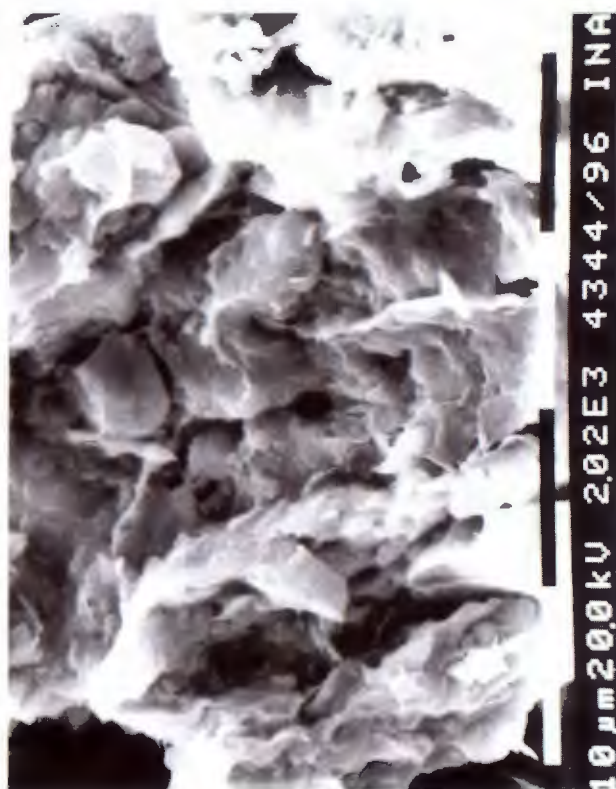
Sl. 3 Brečokonglomerat (floatstone) sastavljen od loše sortiranih klasata različitih dimenzija i oblika koji "plivaju" u muljevitom matriksu. Matriks je sporadično laminiran (2.298,0-2.300,0 m; II. m 0,30-0,50 m). Gornji mastriht.

Fig. 3 Brecciaconglomerate (floatstone) composed of poorly sorted clasts of different dimensions and shapes which "float" in a muddy matrix. Matrix is sporadically laminated (2,298.0-2,300.0 m; II. m 0.30-0.50 m). Upper Maastrichtian.

i izronjavanja i erozije najplićih njenih dijelova. Taj je detritus taložen u zoni distribucijskih kanala, vjerojatno srednje lepeze, tvoreći izdužena tijela vapnenačkih brečokonglomerata i pješčenjaka, odnosno sedimente kanalske ispune. Povećana količina terestičke organske tvari u sastavu brečokonglomerata dokazuje postojanje kopnenih područja u neposrednom zaleđu, odnosno na karbonatnoj platformi.

3. ZAKLJUČAK

Karbonatne sedimente gornjeg mastrihta karakteriziraju pelagički mikriti i kanalna brečokonglomeratna-



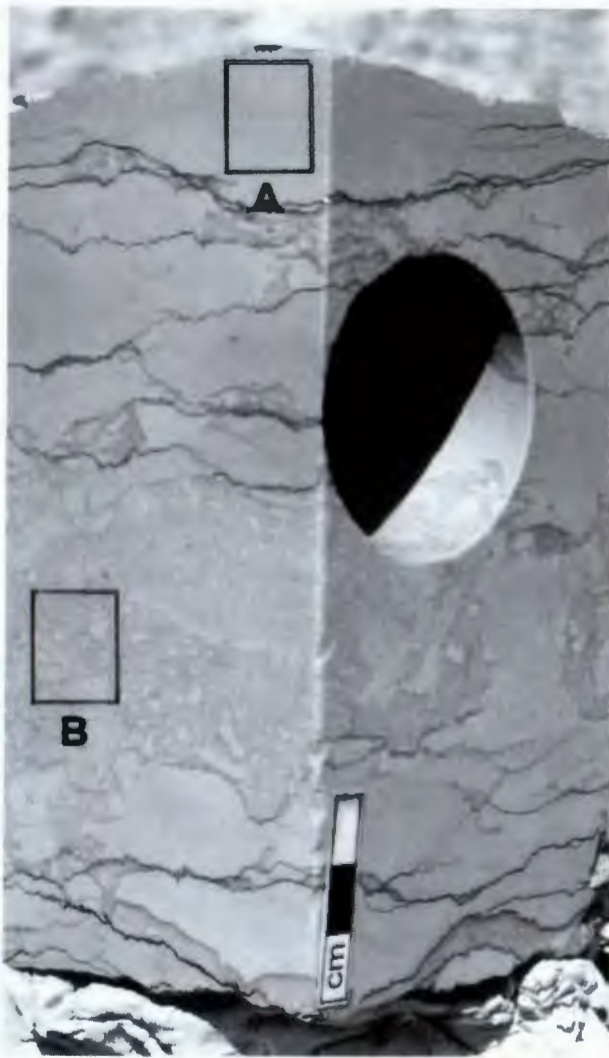
Sl. 4 SEM-fotografija. Karbonatna glina - ilit (tamniji dijelovi muljevitog matriksa), (2.298,0-2.300,0 m; II. m 0,40 m). Gornji mastriht.

Fig. 4 SEM-photography. Carbonate clay - illite (darker parts of muddy matrix), (2,298.0-2,300.0 m; II. m 0.40 m). Upper Maastrichtian.

biokalkarenitna tijela. Pelagični mikriti su taloženi u mimom okolišu bazenske ravnice. Brečokonglomerati i biokalkareniti su taloženi iz subakvatskog detritnog toka ili iz turbiditne struje velike gustoće koja pretežito sadrži krupnozrnatu pjeskovito-šljunčanu karbonatni detritus.

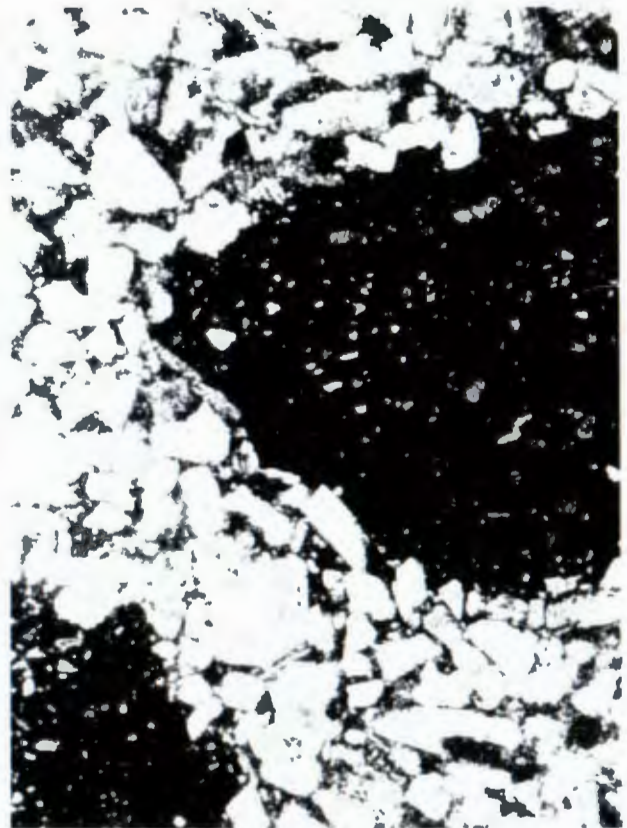
4. LITERATURA

- CARON, M. (1985): Cretaceous planctonic foraminifera.- U: BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (ur.): Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press, 17-86, Cambridge.
- CATTI, A., SARTORIO, D. & VENTURINI, S. (1989): Carbonate platforms in the subsurface of the Northern Adriatic area.- Mem. Soc. Geol. It., 40, 296-308, Roma.



Sl. 5 Jako stilolitizirani, tanko laminirani (gore) pelagički mikrit (vekston) s nepravilnim ulošcima sitnozrnatog biokalkarenita (bioklastični pekston). Biokalkarenit u sebi sadrži različito oblikovane mikritne klaste i plastiklaste, (2.192,0-2.198,0 m; VI. m 0,15-0,25 m). Gornji masstriht.

Fig. 5 Intensely stylolitized, thinly laminated (up) pelagic micrite (wackestone) with irregular intercalations of fine-grained biocalcarenite (bioclastic packstone). Biocalcarenite consist of differently shaped micrite clasts and plasticlasts, (2,192.0-2,198.0 m; VI. m 0.15-0.25 m). Upper Maastrichtian.



Sl. 6 Sitnozrnati biokalkarenit (bioklastični pekston) sastavljen od poluuglastog, dobro sortiranog kršja rudista s manjom količinom mikritnog matriksa u međuprostorima zrna te zaobljenih mikritnih klasta (vekston), (2.192,0-2.198,0 m; V. m 0,20 m), 40x. Gornji masstriht.

Fig. 6 Fine-grained biocalcarenite (bioclastic packstone) made of semiangular, well sorted particles of rudists with smaller quantity of micritic matrix in interstitial spaces of grains and rounded micritic clasts (wackestone), (2,192.0-2,198.0 m; V. m 0.20 m), 40x. Upper Maastrichtian.

FINETTI, I., BRICCHI, G., DEL BEN, A., PIPAN, M. & XUAN, Z. (1989): Geophysical study of the Adria plate.- Mem. Soc. Geol., 40, 336-344, Roma.

MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1996): Eocene limestones overlying Lower Cretaceous deposits of western Istria (Croatia): did some parts of present Istria form land during the Cretaceous?- Geologia Croatica, 49/1, 117-127, Zagreb.

POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1973): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Rovinj (Geology of Rovinj sheet).- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd, 51 str.

SLITER, W.V. (1989): Biostratigraphic zonation for Cretaceous planktonic foraminifers examined in thin section.- Journ. Foram. Research, 19/1, 1-19, Washington.

TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow mari-

ne and perireefal carbonate sediments of Istria.- U: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (ur.): Contributions to Sedimentology of Some Carbonate and Clastics Units of the Coastal Dinarides. 4th I.A.S Regional meeting, Split, 1983, Excursion Guide-book, 13-35, Zagreb.

VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratigrafske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre (Lithostratigraphic units in the Dogger and Malm of western Istria).- Geol. vjesnik, 41, 26-49, Zagreb.

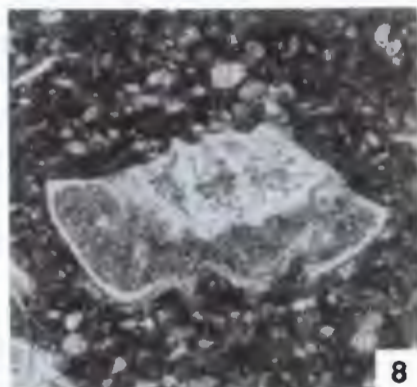
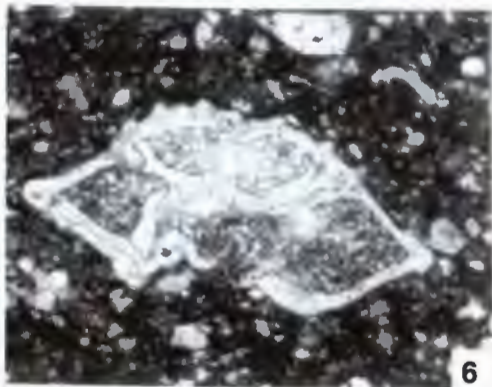
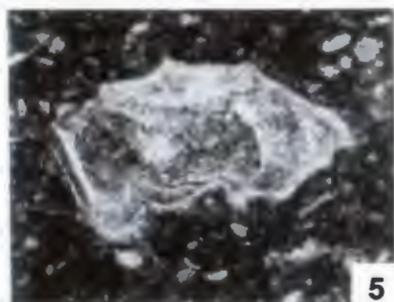
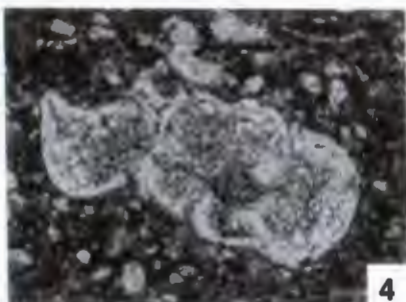
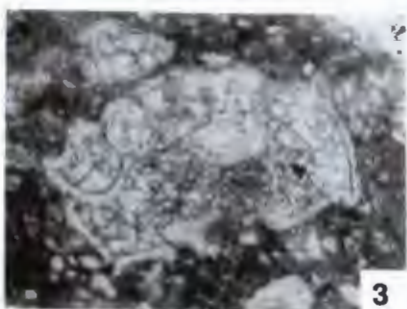
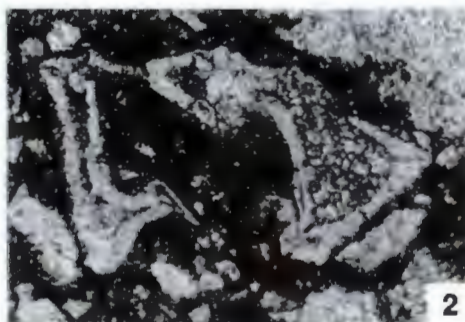
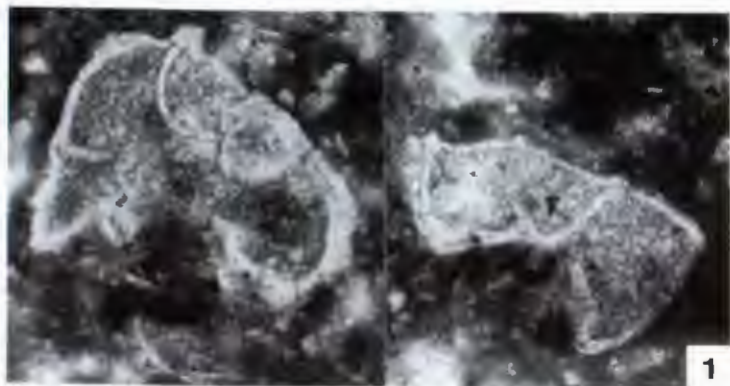
VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and emersion in western Istria (Croatia, Yugoslavia).- Mem. Soc. Geol. It., 40, 209-218, Roma.

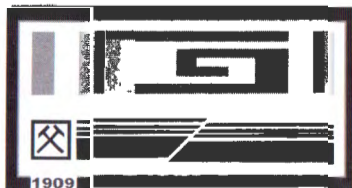
VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEC, D. & VLAHOVIĆ, I. (1995): Opći prikaz geološke građe Istre (A review of the geology of Istria).- U: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres, Vodič ekskurzija, 5-30, Zagreb.

Tabla - Plate I

Gornji mastriht bušotine Istra More - 3 - Upper Maastrichtian of the Istra More - 3 well

- 1 *Gansserina gansseri* (BOLLI), 90x (2050,0 m).
- 2 *Globotruncanita pettersi* (GANDOLFI), 90x (2298,0-2300,0 m, II. m 0.70).
- 3, 4 *Contusotruncana walfischensis/plicata* (TODD), 90x (2192,0-2198,0 m, VI. m 0.30).
- 5 *Globotruncana aegyptiaca* NAKKADY, 90x (2298,0-2300,0 m, I. m 0.30).
- 6 *Globotruncanita stuarti* (DE LAPPARENT), 90x (2192,0-2198,0 m, V. m 0.30).
- 7, 8 *Globotruncanita stuarti formis* (DALBIEZ), 90x (2298,0-2300,0 m, II. m; 2192,0-2198,0 m, VI. m 0.30).
- 9, 10 *Orbitoides media* (D'ARCHIAC), 9=31x, 10=36x (2192,0-2198,0 m).







Mogućnost razlikovanja dubine okoliša taloženja gornjojurskih karbonata područja Koreničko Vrelo pomoću sadržaja mangana (Mn)

Possibility of Differentiation of Sedimentary Environment Depth of Upper Jurassic Carbonates of the Koreničko Vrelo Area by Manganese (Mn) Content

Mile - Mišo STOJSAVLJEVIĆ¹, Jadranka MATIĆ² & Ladislav PALINKAŠ³

Ključne riječi: mangan, Lemeške naslage, gornja jura, Koreničko Vrelo.

Key words: Manganese, Lemeš deposits, Upper Jurassic, Koreničko Vrelo.

Sažetak

Kasnodijagenetska dolomitizacija može biti odgovorna za "brisanje" prvotnih strukturalnih i teksturalnih zapisa, što rezultira poteškoćama pri razumijevanju okoliša taloženja prvotnih vapnenačkih taloga. U nedostatku pokazatelja važnih za interpretaciju okoliša taloženja karbonata, neke geokemijske karakteristike, kao test na sadržaj mangana, mogu poslužiti kao njihova nadopuna ili nadomjestak. Ispitan je sadržaj mangana gornjojurskih dolomita, vapnenaca i kerogeno-bituminoznih naslaga, te donjokrednih vapnenaca područja Koreničko Vrelo, s ciljem dobivanja dodatnih informacija o dubini taloženja prvotnih vapnenačkih taložina. Zamisao je temeljena na pozitivnim prethodnim iskustvima razlikovanja plitkomorskih i dubljemorskih vapnenaca pomoću mangana i provjerenoj činjenici da dolomitizacija bitno ne utječe na njegov sadržaj (FLÜGEL, 1982). Plitkovodni vapnenci, utvrđeni i temeljem mikrofacijesa, imaju niske vrijednosti sadržaja Mn. Rezultati istraženih dolomita ne odudaraju znatno od istraženih plitkomorskih vapnenaca, što znači da su prvotni vapnenački talozi bili plitkomorski. Vapnenac, biomicrit sa pelagičnom biokomponentom sadrži najviše Mn, i ukazuje na dublji okoliš taloženja.

Abstract

The late diagenetic dolomitization could be responsible for "wiping out" of the primary textural and structural records, that implicates the difficulties in understanding the sedimentary environment of the primary lime sediment. In lack of indications important for interpretation of the carbonate sedimentary environments, some geochemical characteristics, like test on Mn content, could be useful either as their complement or a substitute. The Mn content in the Upper Jurassic late-diagenetic dolomites, limestones and kerogenous-bitumenous beds, as well as in the Lower Cretaceous limestones of Koreničko Vrelo area was investigated, for the purpose of getting additional informations about the sedimentation depth of the primary lime sediment. The idea was based on previous positive distinguishing experiences of the shallow and a deeper marine limestones using Mn content, and clear fact that dolomitization does not essentially influence on its contents (FLÜGEL, 1982). Shallow marine limestones, established also by microfacies, have low values of Mn content. The results of the investigated dolomites are similar to the shallow marine limestones, which means that primary lime sediments were the shallow marine. Limestone, biomicrite with pelagic organisms contains most Mn, and implicates the deeper sedimentary environment.

UVOD

U nedostatku pokazatelja važnih za interpretaciju okoliša taloženja karbonata, kao što su strukturalne, teksturalne i dijagenetske značajke, vrsta sastojaka i osnove, mineralni sastav, sadržaj fosilne flore i faune, te oblik sedimentnih tijela, neke geokemijske karakteristike mogle bi poslužiti kao njihova nadopuna ili nadomjestak. Kasnodijagenetska dolomitizacija može imati učinak "brisanja" prvotnih strukturalnih i teksturalnih zapisa,

što rezultira poteškoćama pri razumijevanju okoliša taloženja prvotnih vapnenačkih taloga, i poteškoćama pri korelaciji takvih naslaga u recentnom strukturalnom sklopu, što je bio slučaj pri istraživanju gornjojurskih kerogeno-bituminoznih naslaga (tzv. Lemeških naslaga) područja Koreničko Vrelo. Zato su izvedene geokemijske analize, odnosno test na sadržaj mangana opažanih sedimentata tog područja, s ciljem dobivanja dodatne informacije o relativnoj dubini taloženja prvotnih vapnenačkih taloga. Pokušaj razlikovanja dubine okoliša

¹Geodinarika d.o.o., Kolarova 10, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²MZOPU, Ulica grada Vukovara 78/III, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³Mineraloško-petrografski zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

taloženja karbonata pomoću sadržaja mangana u ovom radu, temeljen je na sličnim iskustvima pri razlikovanju plitkomorskih od dubljemorskih vapnenaca, kao i tvrdnji da dolomitizacija bitno ne utječe na sadržaj mangana (FLÜGEL, 1982).

GEOLOŠKA GRAĐA I PROBLEM KASNODIJAGENETSKIH DOLOMITA

Geološka građa

Područje Koreničkog Vrela, obuhvaćeno istražnim radovima i geokemijskim testovima na sadržaj mangana, izgrađeno je uglavnom od gornjojurskih karbonata, kerogeno-bituminoznih naslaga, te manje donjokrednih vapnenaca, kao i mladih, vjerojatno kvartarnih, aluvijalnih naslaga (tablica 1).

Problem kasnodijagenetskih dolomita

Gornjojurske naslage područja Koreničko Vrelo, kartirane i nabušene, zahvaćene su nepravilno kasnodijagenetskom dolomitizacijom, pa je njihova korelacija u strukturnom sklopu mjestimično otežana, kao i određivanje stratigrafske pripadnosti, okoliša taloženja, te samog strukturnog sklopa. Dok kerogeno-bituminozne naslage imaju vrlo prepoznatljive karakteristike i u slučaju kada su zahvaćene kasnodijagenetskom dolomitizacijom, prvotni vapnenci, obilježja plitkomorskih taložina, a ponegdje dubljevodnih pelagičnih obilježja ili utjecaja pelagijala, bez obzira na starost i okoliš taloženja mogu poprimiti slične osobine krupno do srednje kristaliničnih dolomita sličnih boja, što dovodi do spomenutih poteškoća u korelaciji. To pogotovo dolazi do izražaja ako dolomiti ne sadrže relikte sastojaka prepoznatljivih značajki, i ako je uz to još prisutna relativno velika prekrivenost terena, kao što je to slučaj u području Koreničkog Vrela.

METODIKA ISTRAŽIVANJA

Zamisa o i svrha istraživanja

Osnovna svrha rada i zamisa bila je ispitati sadržaj mangana u različitim tipovima kartiranih i nabušenih (B 6) naslaga, tj. dolomitima i vapnencima gornje jure, te donjokrednim vapnencima (tablica 1), s ciljem dobivanja dodatnih informacija o dubini taloženja prvotnih vapnenačkih taložina. Zamisa je temeljena na pozitivnim prethodnim iskustvima razlikovanja plitkomorskih i dubljemorskih okoliša taloženja vapnenaca pomoću mangana i istraženju činjenici da dolomitizacija bitno ne utječe na njegov sadržaj (FLÜGEL, 1982). Obzirom da je kasnodijagenetska dolomitizacija "prikrla ili prebrisala" strukturne, teksturne i druge relevantne informacije, očekivalo se da će te analize možda dijelom odgovoriti na pitanja o relativnoj dubini taloženja prvotnih vapnenačkih taloga, u smislu pliče - dublje, te na taj

način pridonijeti shvaćanju paleogeografskih prilika i recentnog strukturnog sklopa istraživanog područja.

Analitički postupak

Za geokemijske analize mangana odabrano je 45 uzoraka. Uzorci su samljeveni u ahatnom tarioniku, a 2 g uzorka je podvrgnuto digeriranju u staklenoj čaši sa smjesom kiselina HCl:HNO₃ u omjeru 3:1 tijekom 4 sata. Smatra se da je to bilo dovoljno da se otope sve forme manganskih oksida (hidroksida), te mangan vezan uz glinenu frakciju. Sadržaj Mn je određen atomskom apsorpcijom pomoću Pye-Unicam atomskog apsorbera tipa SP-9, plamenom metodom (acetilen-zrak), uz korištenje manganskog permanganata kao standarda.

REZULTATI SADRŽAJA Mn

Vapnenci i dolomiti oksford-kimeridža, J₃^{1,2}, (I)

Sadržaj Mn u vapnencima oksford-kimeridža (tablica 1), potvrđuje plitkomorski okoliš taloženja, a utvrđen je i neznatan porast sadržaja Mn od starijeg (C-4) ka mladem dijelu vapnenaca (F-21, plankton:bentos = 50:50), gdje i mikrofacijes upućuje na utjecaj pelagijala. Mali broj analiza, kao i međusobno nedovoljno definiran odnos pojava vapnenaca na površini, omogućuju da se porast sadržaja Mn tumači dvojako, produbljivanjem okoliša uz utjecaj pelagijala ili naplavlivanjem planktonskih organizama u postojeći okoliš, gdje veće prisustvo kalcita i niskomagnezijskog kalcita u vapnenačkim talozima doprinosi većoj mogućnosti ugrađivanja iona Mn²⁺.

Kerogeno-bituminozne naslage (II i III) i najstariji dio dolomita (IV), jezgrovani materijal istražne bušotine B6

Rezultati sadržaja Mn u jezgrama (1-B6, 7-B6 i 21-B6) nabušenih dolomita (IV) ukazuju na plitkomorski okoliš taloženja prvotnih vapnenačkih taloga, pri čemu sa dubinom lagano raste i sadržaj Mn (tablica 1). U dubljim intervalima nabušenih dolomita nalaz amonita, radiolarija, te proslojaka rožnjaka ukazuje na utjecaj pelagijala, uz moguće produbljivanje okoliša i/ili naplavlivanje pelagičnih organizama. Ta tendencija nastavlja se i u kerogeno-bituminoznim slump naslagama (III), na što upućuju rezultati sadržaja Mn svijetlije dolomitne lamine (26-B6), te lamine crnog šejla (30/3-B6). Kod razmatranja rezultata treba uzeti u obzir da slump naslage imaju resedimentirani karakter, a šejlovi su glede ishodišta detritusa alohtoni.

Vapnenac, biomikrit (w) sa pelagičnim organizmima, dio starijeg dijela kerogeno-bituminoznih naslaga (II), sadrži 180 ppm Mn (45-B6), a shvaćen je kao autohtoni sediment. U usporedbi sa prethodnim rezultatima, u smislu pliče - dublje, ovaj rezultat bi ukazivao na dublji okoliš taloženja. Povišeni sadržaj Mn, ali manji, imaju gline u kojima je utvrđen vapnenački nanoplankton (47-B 6).

STAROST	ANALIZE SADRŽAJA MANGANA (ppm)		LITOLOGIJA
	pliće	dublje	
KVARTAR			VI. Aluvijalne naslage.
DONJA KREDA	5 uzoraka, od 3,80 do 14,00, prosječno 7,20		V. Donjokredni vapnenci, u početnom obuhvaćenom dijelu, sa biokomponentom karakterističnom za plitkomorski okoliš taloženja.
- TITON	Analizirano 22 uzorka od 6,50 do 19,70, prosječno 10,29 1-B6=7,50 7-B6=14,30 21-B6=22,50		IV. Dolomiti, najzastupljeniji gornjomalmski litološki član. Pretežno tzv. šećerasti - krupnokristalinični, zatim srednjekristalinični i kasnodijagenetski. Rijeđe su opažani dolomitični i kristalinični vapnenci. Starost kimeridž - titon pretpostavljena im je superpozicijski. Donji dio tih naslaga obuhvaćen je istražnim bušenjem.
	KIMERIDŽ	26-B6=28,00 30-B6=47,80	III. Kerogeno-bituminozne naslage, litološki izmjena uglavnom sinsedimentno deformiranih lamina i slojeva krupnokristaliničnih, manje srednjekristaliničnih dolomita sa crnim do sivocrnim šejlovima različitog sadržaja organske tvari. Rijeđe su prisutne lamine i slojevi vapnovitog dolomita do dolomitičnog vapnenca, te kriptokristaliničnog kvarca, silificiranih i glinovitih dolomita. Pretpostavlja se, da je cijeli interval pokrenuti polukonsolidirani sediment ili slump naslage. Stratigrafska pripadnost je vjerojatno kimeridž, moguće titon. Obuhvaćene su istražnim bušenjem i raskopima.
45-B6=180,00 47-B6=77,50		II. Stariji dio kerogeno-bituminoznih naslaga je zastupljen pločastim do laminiranim smeđastim vapnencima, djelomično dolomitiziranim, u izmjeni sa laminama crnih šejlova do tamnosmeđih kalsilita, te crnih rožnjaka. Vapnenci znate potpore sadrže sastojke, peloide, intraklaste, oide, agregirana zrna, foraminifere, bioklaste, krinoide, ponegdje sparitni cement. Vjerojatno su rezultat resedimentacije vapnenačkih sastojaka iz plićih dijelova karbonatne platforme. U vapnencima muljevite potpore utvrđena je biokomponenta, Radiolaria, Saccocoma sp., Globochaete alpina, Pteropoda, Globuligerina sp., amoniti, kao i monoflorni nanoplankton, što ukazuje na dublji i pelagični okoliš taloženja, za sada, nepoznate geometrije, moguće kombinacija Wilsonovih facijesa 1 i 2, iznad kalcitne kompe nazijske dubine (CCD), ispod baze olujnih valova, povremeno anoksičnih uvjeta. Naslage su obuhvaćene istražnim bušenjem.	
OXFORD -	F-21=15,50 F-32=10,00 C-4= 5,75	I. Vapnenci su, pretežno muljevite osnove sa biokomponentom karakterističnom za potplimni okoliš taloženja, sa povremenim utjecajem pelagijala. Dolomiti su srednje i krupnikristalinični s nejasnim odnosom prema vapnencima zbog prekrivenosti. Ove naslage su moguće, premda bušenjem ne potvrđena, stratigrafska podina kerogeno-bituminoznim naslagama.	

Tablica 1 Starost, analize sadržaja mangana i tekstualni prikaz geološke grade istraženog područja. Kompilacija terenskih podataka (STOJSAVLJEVIĆ et al., 1986, 1988) i podataka O GK (POLŠAK et al., 1976, 1978).

Table 1 Age, results of the Mn contents analysis and textual representation of the geological composition of the study area. Compilation of the field data (STOJSAVLJEVIĆ et al., 1986, 1988) and data from the Basic Geological Map (POLŠAK et al., 1976, 1978).

Dolomiti kimeridž-titona, J₃^{2,3} (IV)

Rezultati sadržaja Mn uglavnom krupno i srednjekristaliničnih kasnodijagenetskih tzv. šećerastih dolomita, superpozicijske krovine nabušeni kerogeno-bituminoznih naslaga tipa Lemeš (II i III), sve do kontakta sa donjokrednim vapnencima, ukazuju na plitkomorski okoliš prvotnih vapnenačkih taloga. Varijacije u vrijednostima mogu se shvatiti kao rezultat dijagenetskih pro-

mjena i/ili cikličnosti prvotnih vapnenačkih taloga, uslijed promjene plitkomorskog okoliša taloženja, npr. oplićavanje naviše.

Vapnenci donje krede, K₁¹⁺² (V)

Vapnenci titon-neokoma, te donjokredni vapnenci općenito, imaju sadržaj Mn karakterističan za plitkomorske taložine, kao i dolomit u neposrednoj blizini titon-neokomskog vapnenca.

DISKUSIJA REZULTATA

Prethodna iskustva

Od geokemijskih metoda upotrebljenih pri razlikovanju plitko od dubljemorskih karbonata, većina objavljenih radova upućuje na sadržaj mangana (Mn) i varirajući iznos alumosilikata (netopivog ostatka) ili elemenata u tragovima koji oni sadrže, kao Co, Ni, Ca, Zn, Mo i Pb, kao moguće indikatore pri razlikovanju plitkomorskih od dubokomorskih vapnenaca (FLÜGEL, 1982).

Porijeklo viška Mn u pelagičkim sedimentima treba tražiti u kontinentalnom trošenju, izluživanju bazaltnih stijena, vulkanskim i hidrotermalnim emanacijama, te dijagenetskoj difuziji prema gore iz dubljih slojeva sedimenta, gdje reduktivna sredina nastala raspadanjem organske tvari uzrokuje redukciju mangana (Mn^{4+}) i prelaz iz krute faze u otopinu kao Mn^{2+} (ADDY et al., 1976).

Sadržaj Mn varira u različitim bazenskim prostorima kroz geološku povijest, a ion Mn^{2+} se zbog ionskog radiusa i tipa kristalne rešetke kalcita, te niskomagnezijskih (NMC) i visokomagnezijskih kalcita (VMC) (trigonski kristalni sustav), može ugraditi u navedene minerale, ali ne i u aragonit (rompski kristalni sustav). Vapnenački talozi sastoje se iz različitih kombinacija aragonita, kalcita, NMC i VMC, što ovisi o fizikalnim, kemijskim i biološkim uvjetima određenog okoliša taloženja. Pri tome je aragonit tipičan za tople i plitkomorske okoliše, VMC za plitkomorske okoliše, a kalcit i NMC se izlučuju u dubljem i/ili hladnijem moru i u slatkoj vodi (TIŠLJAR, 1994). To potvrđuju istraživanja recentnih sedimenta južne Floride, južnog i istočnog Kineskog mora, te Perzijskog zaljeva, gdje su vapnenački talozi toplih i plitkih mora izgrađeni uglavnom od aragonita, a VMC dominira nad NMC. Kod dubljemorskih vapnenačkih taloga prevladava NMC, a VMC dominira nad aragonitom. Na području Floride sadržaj Mn je uglavnom veći u Florida Bay-u nego li na grebenu (*reef*), zagrebenkoj laguni (*back reef lagoon*), mangrovoj močvari (*mangrove swamp*), vanjskoj obali (*Outer Coast*) i plimatskom prolazu (*Tidal Pass*). Pri tome je uglavnom smanjen sadržaj aragonita u odnosu na VMC i NMC (STEHLI & HOWER, 1961).

Komentar dobivenih rezultata

Plitkovodni vapnenci (I i V), utvrđeni temeljem mikrofacijesa, imaju niske vrijednosti sadržaja Mn. Vapnenac, biomikrit sa pelagičnom biokomponentom (II) sadrži najviše Mn, i ukazuje na dublji okoliš talože-

nja. Tako interpretirani rezultati, manji sadržaj Mn u plitkomorskim vapnencima, viši sadržaj Mn u dubljemorskim vapnencima, poslužili su za interpretaciju sadržaja Mn u drugim kartiranim i nabušanim sedimentima.

Rezultati istraženih dolomita (IV) ne odudaraju znatno od istraženih plitkomorskih vapnenaca, što znači da su kasnodijagenetski dolomiti, krovina kerogeno-bituminoznih naslaga, kako nabušeni, tako i površinski, koji čine superpozicijsku krovinu sve do donjokrednih vapnenaca, bili prvotno plitkomorski vapnenački talozi, što ima izvjesne strukturne implikacije za strukturni sklop ovog područja (HERAK, 1991).

Porijeklo Mn u okolišu taloženja gornjojurskih naslaga područja Koreničko Vrelo vjerojatno je uslovljeno gornjojurskim vulkanizmom (ŠČAVNIČAR & NIKLER, 1976).

LITERATURA

- ADDY, S.K., PRESLEY, B.J. & EWING, M. (1976): Distribution of manganese, iron and other trace elements in a core from the northwest Atlantic.- *Journal of Sedim. Petrol.*, 46/4, 813-818.
- FLÜGEL, E. (1982) : Microfacies analysis of limestones.- Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 633 str.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu (Dinarides - Mobilistic view of the genesis and structure).- *Acta geol.*, 21, 35-117, Zagreb.
- POLŠAK, A., ŠPARICA, M., CRNKO, J. & JURISA, M. (1976): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Bihać L33-116.- Inst. za geol. istr. Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- POLŠAK, A., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, AL., ŠPARICA, M. & JURISA, M. (1978): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Bihać L33-116.- Inst. za geol. istr. Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- STEHLI, F.G. & HOWER, J. (1961): Mineralogy and early diagenesis of carbonate sediments.- *Journal of Sedim. Petrol.*, 31/3, 358-371.
- STOJSAVLJEVIĆ, M., MATIĆ, J. & VELIMIROVIĆ, Z. (1986): Istraživanje kerogeno-bituminoznih naslaga Ličke Plješevice, područja Donji Lapac i Koreničko Vrelo.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada Geološki konzalting), Zagreb.
- STOJSAVLJEVIĆ, M., MATIĆ, J., TADEJ, N. & VELIMIROVIĆ, Z. (1988): Istraživanje kerogeno-bituminoznih naslaga Koreničkog Vrela.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada Geološki konzalting), Zagreb.
- ŠČAVNIČAR, B. & NIKLER, L. (1976): Staklasti tuf u lemeškim naslagama Velike Kapele (Vitric tuff in Upper Jurassic Lemeš-deposits of Mt. Velika Kapela (Croatia)).- *Geol. vjesnik*, 29, 269-275, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb, 422 str.

Prstenaste-kružne i polukružne strukture u geologiji Hrvatske

Ring Structures in Croatian Geology

Mile-Mišo STOJSAVLJEVIĆ¹ & Marinko OLUIĆ²

Ključne riječi: prstenaste strukture, satelitski snimci, Hrvatska.

Key words: Ring structures, Satellite images, Croatia.

Sažetak

Od sedamdesetih godina, kada su prve satelitske snimke bile pristupačne u Republici Hrvatskoj za namjenske analize u različitim geološkim disciplinama, vizualna i digitalna opažanja snimljenog recentnog strukturnog sklopa rezultirala su za hrvatsku geologiju novim strukturnim elementom, kružnim ili prstenastim strukturama različitih dimenzija i različitog genetskog porijekla. Njihova geneza objašnjavana je najčešće ekranizacijom magmatskih utiskivanja, dijapirizmom, tektonskom uslovljenošću (diferencijalno kretanje blokova) u kombinaciji s egzodinamskim faktorima. Razmatrana je uloga prstenastih struktura pri nastanku ležišta mineralnih sirovina, te njihove implikacije na mlađi magmatizam u Vanjskim Dinaridima.

Abstract

Since the seventies, when the first satellite images have been accessible in the Republic of Croatia for assignment analysis in the various geological disciplines, visual and digital observations of the scanned recent structural framework, gave the Croatian geology the new structural element, the ring structures of various dimensions and various genetic origin. Their genesis has been frequently explained by the screening of the magmatic intrusions, diapirism, tectonic conditioning (differential movements of blocks) in combination with the exodynamic factors. The ring structures role has been analysed during the mineral deposits formation, as well as the implication on the younger magmatism in Outer Dinarides.

UVOD

Satelitski snimci dobiveni posredstvom satelita Landsat, te orbitalne stanice Skylab, od 1973. godine postaju dodatno oruđe koje se koristi pri geološkim istraživanjima u Republici Hrvatskoj, bilo da se analizirani vizualno ili je analiza potpomognuta kompjutorskom obradom (OLUIĆ, 1983, 2000). Nositelji fotogeologije i kasnije daljinskih istraživanja u geologiji Republike Hrvatske bili su geolozi Industroprojekta, odnosno INA Projekta: M. Oluić, M. Hanich, M. Haček, B. Koščec, a s njima je surađivala čitava plejada geologa (N. Jakić, B. Radaković, J. Koščec, M. Denih, Z. Capanec, M. Pecić, Đ. Bodrožić, M. Tonejec, M. Knapp, D. Jovičić, A. Barjaktarević, M. Stojavljević i dr.), koji su koristeći za ono vrijeme suvremeni instrumentarij i opremu te bogatu datoteku, primjenjivali daljinska istraživanja pri rješavanju različitih geoloških zadataka. Podaci tih istraživanja, koji od kraja sedamdesetih sadrže i opažanja prvih kružnih i polukružnih struktura, novijeg strukturnog elementa u geologiji Hrvatske, nalaze se u brojnim neobjavljenim elaboratima, a nešto i u publiciranim radovima.

PRSTENASTE STRUKTURE U HRVATSKOJ GEOLOGIJI

Bez pretenzije o spoznaji tko je zaokružio prvu prstenastu-kružnu ili polukružnu strukturu, ili pretenzije o kasnijoj kronološkoj potpunosti, te strukture su od kraja sedamdesetih postupno postajale dijelom percepcije pri analizi satelitskih snimaka, aerosnimaka sitnijih mjerila, te su nadopunile prijašnja opažanja uglavnom rasjeda i pukotina u strukturnoj geologiji Hrvatske (OLUIĆ, 1979; OLUIĆ & JOVIČIĆ, 1979; OLUIĆ & KUBAT, 1981; OLUIĆ et al., 1982; KNAPP et al., 1981; CEPANEC et al., 1980, 1981, 1983; PREMURU, 1982; PREMURU et al., 1986; STOJSAVLJEVIĆ, 1986). Gotovo istovremeno, da li i interakcijski, V. Klein morfostrukturnim analizama temeljenim na zemljovidima sitnih mjerila opaža zamaskirani ovalno-koncentrični sklop-lukove, odnosno ocrte reljefa (KLEIN, 1978, 1979). Morfostrukturnom analizom tektonske karte Jugoslavije (PREMURU et al., 1986), Klein za područje Republike Hrvatske opaža prstenastu tektonsku strukturnu jedinicu "Sjeverozapadna Hrvatska" promjera od nekoliko stotina kilometara (KLEIN & MIŠE, 1990), a morfograf-

¹GEODINARIKA d.o.o., Kolarova 10, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²GEOSAT, B. Hanzekovića 31, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

skom analizom reljefa satelitske snimke u boji M 1:200.000 izdvaja prstenaste pojaseve reljefa Velebita (KLEIN, 1995). Jovičić i Klein objedinjuju vizualni i vizualni morfostrukturni pristup analize satelitskih snimaka (M 1:500.000) izdvajajući pri tome morfostrukturnu "Lika", u okviru koje su opažane i kružne strukture jednostrukog ocrta kilometarskog promjera (oko 2-10 km) (JOVIČIĆ & KLEIN, 1995).

Jedan dio geološke zajednice Hrvatske ostao je prilično rezerviran prema kružnim i polukružnim strukturama, vjerojatno dijelom zbog toga što pri svom radu nisu rapolagali satelitskim snimkama, a dijelom i zbog mišljenja o mogućem pretjerivanju u pogledu gustoće podataka bez čvrstog genetskog pojašnjenja. Tako kružne i polukružne strukture nisu tada izborile svoje mjesto niti na jednoj O GK, ni u smislu "kružnih" rasjeda, npr. *peripheral faults* (BILLINGS, 1954) ili koncentričnih rasjeda (DIMITRIJEVIĆ 1978), a čije mjerilo (M 1:100.000) već dozvoljava njihov grafički prikaz. U novije vrijeme, prema usmenom priopćenju I. Hećimovića, voditelja projekta strukturno-geomorfološke karte Republike Hrvatske M 1:100.000, geolozi Instituta za geološka istraživanja također opažaju kružne i polukružne strukture i morfostrukture različitog genetskog porijekla. U knjizi "Daljinska istraživanja u geoznanostima" Oluić opisuje prstenaste strukture, uz rupturne deformacijske oblike i plikativne strukture, kao vrstu strukturnih oblika opažanih na satelitskim snimkama, pri čemu ih definira kao morfostrukturne elemente reljefa koji imaju kružni, polukružni ili eliptični oblik (OLUIĆ, 1983). Klein ih definira kao stijenske sklopove kružnog do jajolikog oblika, odnosno ocrta na površini, uz konstataciju o neujednačenosti naziva u stručnoj literaturi. Također smatra da su se prstenaste strukture izdvajale više manje u obliku jednostrukog prstenastog ocrta, te da im je konačno oblikovanje neotektonsko (KLEIN, 1995). Sličnog je mišljenja PREMURU (1982), koji smatra da su prstenaste strukture uglavnom neotektonske i/ili neotektonski reaktivirane tvorevine, dok im je porijeklo korijena-izvora većinom predneotektonsko.

POSTANAK PRSTENASTIH-KRUŽNIH I POLUKRUŽNIH STRUKTURA

Kružne strukture različitih dimenzija, uglavnom kilometarske (od nekoliko do više desetaka i stotina km), opažane su na cijelom području Republike Hrvatske (u Panonskom bazenu i Dinaridima). Autori koji su opažali prstenaste strukture na satelitskim snimkama i/ili zemljovidima područja Republike Hrvatske najčešće su pretpostavljali njihov nastanak bilo magmatskom aktivnošću (intruzije), dijapirizmom anhidrita, tektonskom uslovljenošću (diferencijalno kretanje blokova) u kombinaciji s egzodinamskim faktorima, ili su općenito navodili uzroke postanka prstenastih struktura poznate iz literature. Prema tim podacima one mogu predstavljati središta ili ostatke nekadašnje magmatske, odnosno

vulkanske aktivnosti (lakoliti, lopoliti, kaldere, kupe i dr.), mogu biti uvjetovane tektonski (plikativna ili disjunktivna tektonika, dome, bazeni, sistemi rasjeda različitih pružanja), zatim dijapirskom djelatnošću ili nešto drugačije rečeno, na njihov postanak mogu utjecati različiti tekto-magmatski, tekto-erozijski do lito-klimatski čimbenici.

Prstenaste strukture mogu nastati i uslijed pada meteorita. Pristaša te teze u Hrvatskoj je Zvonarić, koji pretpostavlja da je krajem krede asteroid promjera 1 km udario u područje Gorskog kotara (Lokvarsko jezero) napravivši krater promjera dvadesetak kilometara. Svoju tezu temelji na Oluićevoj tektonskoj analizi Landsatova skanograma iz 1975. godine, korelirajući pravce ruptura sa pravcima ruptura utvrđenih astroblema u Americi. Zvonarić na tom skanogramu također opaža tri segmenta prstenaste strukture, za koje se i inače u širem području ovih prostora pita, da li su tragovi egzogenih udara (ZVONARIĆ, 1988/89)? Proučavajući odnose između pojava mega i gigantskih slojeva dubljemorskih okoliša i poznatih impakata tijekom eocena u području Mediterana, kao i jačine seizmičkih šokova potrebnih za inicijaciju tih slojeva, Marjanac vjeruje da je jedan još neotkriveni impakt negdje u blizini Dalmacije prouzročio pokretanje ogromne mase materijala koji grade mega- i gigantske slojeve u tom području, potvrđujući da su takvi egzogeni udari-impakti bili mogući (MARJANAC, 2000).

Premru uvodi termin spiralne strukture, te ih smatra važnim indikatorima magmatske aktivnosti - dijapirizma, bez obzira što magmatske stijene nisu prisutne na površini. Genetski ih objašnjava postupnim prodiranjem magmatskih intruzija iz katazone, preko mezozone u epizonu. Pri tome vertikalna kompresija isprva rezultira na površini Zemlje monoklinalnim ispupčenjima, a kasnije "kružnim" rasjedima, koji ocrtavaju prstenastu strukturu. Najstariji prodor uzrokuje na površini prstenaste rasjede najvećeg promjera, a mlađi prodori bliže površini prstenaste strukture sve manjih promjera. Krajnje prodora lako možemo povezati u jednu prostornu spiralu, a na površini plošnu spiralu, spajanjem centara prstenastih struktura od najveće prema najmanjoj. Ta zamišljena crta koja spaja centre prstenastih struktura predstavlja spiralnu strukturu (PREMURU, 1982). Osim genetskog pristupa za rad je interesantna spiralna struktura zapadno od Zagreba koja svojim dijelom prelazi u područje Hrvatske.

Prstenaste strukture područja susjedne centralne Bosne odlikuju se izrazitim magnetometrijskim i gravimetrijskim maksimumima, a prisustvo magmatskih stijena na površini unutar tih struktura ukazuje uglavnom na postanak uslijed magmatskih aktivnosti (OLUIĆ & KUBAT, 1981). U području Velebita, gdje je veliki broj gravimetrijskih maksimuma i minimuma vezan uz pojave magmatskih stijena, manji broj prstenastih struktura odgovara gravimetrijskim anomalijama, što upućuje da su one uglavnom posljedica neotektonskih okomitih pomicanja blokova uzduž rasjeda, s magmatizmom

dubljih dijelova velebitskog podzemlja kao uzrokom. Njihovu oblikovanju i razaranju također doprinose denudacijski procesi (KLEIN, 1995). U dijelu istog područja, koje se inače nalazi iznad depresije Mohorovičićeva diskontinuiteta (ALJINOVIĆ, 1986), Stojsavljević opaža podudarnost prstenastih - kružnih i polukružnih struktura s pozitivnom magnetometrijskom anomalijom jugozapadno od Ričica (STOJSAVLJEVIĆ, 1986), a Labaš uzajamnost površinskih trijaskih pa i paleozojskih sedimenata s prisutnošću izrazito težih stijena u potpovršinskoj građi, izraženih rezidualnim maksimumom na potezu Gračac - Karlobag (LABAŠ, 1987). Romandić, analizirajući podatke dubokog geoelektričnog sondiranja na području zapadnog dijela Dinarida, korelira te podatke s podacima dobivenim metodama daljinskih istraživanja geologa INA-Projekta. Tako su izraziti lineamenti i kružne strukture opažani na Landsat snimkama, prenešeni na karte prividne otpornosti izdvojenih dubinskih razina $AB/2 = 1, 2, 5, 10, 15, 20$ i 30 km. U pogledu prstenastih - kružnih struktura Romandić je mišljenja da se iste manifestiraju kao polukružni rasjedi nastali prilikom zaokretanja ili rotiranja pojedinih struktura ili blokova, tako da većina prstenastih struktura istraženog područja nije posljedica magmatske i dijapirске aktivnosti (ROMANDIĆ, 1990).

Duh, odnosno koncepciju tektonike ploča pri postanku prstenastih struktura unosi M.D. Dimitrijević u Stubičkim Toplicama 1978. godine, kada u diskusiji - dopuni referatu Kleina, komentira krupnu prstenastu strukturu jugoistočno od Zagreba. Dimitrijević navodi da je i sâm pri analizi Landsatovih skanograma opazio u nastavku navedene prstenaste strukture prema jugoistoku pojas manjih (km-dkm) takvih struktura sve do sjeveroistočne Makedonije. Uspoređujući taj pojas s pojasom mladih vulkanita i zonama pozitivnih naftnih struktura i pretpostavkom da prstenaste strukture predstavljaju površinske manifestacije magmatskih ognjišta (prema ruskoj i američkoj literaturi), Dimitrijević spekulira da moguće tonjenje jadranske ploče pod Dinaride nije sasvim bez osnove, te da pojas prstenastih struktura može predstavljati i eventualnu zonu budućih vulkana. (KLEIN, 1979).

ULOGA PRSTENASTIH STRUKTURA - KORIST I IMPLIKACIJE

Obzirom da je Industroprojekt, kasnije INA Projekt, tada nositelj djelatnosti daljinskih istraživanja u geologiji Republike Hrvatske, bio sedamdesetih i osamdesetih godina dohodovna organizacija, pokušavala se naći praktična primjena opažanih strukturnih oblika na satelitskim snimkama s ciljem pronalazjenja investitora. Jedan od najvećih bio je INA-Naftaplin, za čije potrebe su izvedena strukturno-tektonska istraživanja na osnovu Landsat podataka gotovo cijele Hrvatske. Prstenaste strukture registrirane u području hrvatskog dijela Panonskog bazena trebale su, prema koncepciji autora pro-

jekata, obzirom na mogući postanak - ekranizacija magmatskih intruzija, imati važnost pri formiranju antiformi, odnosno izdignutih blokova - predcrteža pogodnih pri formiranju strukturnih i strukturno-stratigrafskih zamki (CEPANEC et al., 1980, 1981, 1983). Rezonanca i varijacija razmišljanja te škole, vjerojatno su i zaključci Pavleković, koja pretpostavlja utjecaj hidrotermalnih aktivnosti uslijed dubokih intruzija i subvulkanске aktivnosti u "Dubokoj Dravi", na stvaranje ležišta ugljikovodika (PAVLEKOVIĆ et al., 1995).

Temeljem mišljenja da je najveći broj prstenastih struktura vezan za magmatsku aktivnost, logična je i moguća veza između tih struktura i rudnih ležišta, što može biti korisno kod metalogenetskih istraživanja (OLUIĆ, 2000). Za područje susjedne centralne Bosne Oluić i Kubat nalaze uzajamnu vezu između rupturnih i prstenastih struktura registriranih na Landsatovim digitalno procesiranim snimkama s različitim magmatskim stijenama, mineralnim pojavama i ležištima potvrđenim terenskim kartiranjem. Zaključili su da se povećane koncentracije korisnih minerala nalaze uz prstenaste strukture promjera 6-15 km, a učestalije mineralizacije su vezane uz strukture s više kružnih trasa-ocrti, te na presjecištima ili dodirnim točkama prstenastih struktura (OLUIĆ & KUBAT, 1981).

Stojsavljević opaža podudarnost kružnih i polukružnih struktura i morfostruktura kilometarskog reda veličina (1-3 km) jugozapadno od Ričica s pozitivnom magnetometrijskom anomalijom (magnetometrijska karta M 1:100.000), te pretpostavlja nastanak tih struktura ekranizacijom magmatske aktivnosti, vjerojatno bazičnog karaktera. Podršku toj pretpostavci nalazi u pojavi bazalta Čemerikovca kraj Donjeg Pazarišta, oko 50-60 km sjeverozapadno od područja Ričica, a u zoni pružanja "Ličkog rasjeda", kojoj Poljak i Tajder, bez geotektonskih opterećenja, a komparacijom s bazaltom Krndije, pripisuju postmiocensku starost (POLJAK & TAJDER, 1942). Naime, ta pojava je smatrana srednetrijaskom, jer mlađe naslage od trijaskih nisu zapažane u neposrednoj zoni pojava bazalta. Obzirom da su polukružne i kružne strukture shvaćene kao neotektonske tvorevine, jer presjecaju naslage različite stratigrafske pripadnosti, paleozojske, trijaskie i jurske, nametnula se i pretpostavka o postojanju mladeg magmatizma od srednetrijaskog. Zbog naftno-geoloških implikacija interesantnih za šire područje, predložen je INA-Naftaplinu kao investitoru projekt određivanja apsolutne starosti bazalta kod Čemerikovca, kojeg se tada nije moglo realizirati (STOJSAVLJEVIĆ, 1986).

Lugović i suradnici obrađuju primitivne olivinske bazalte s lokaliteta Donje Pazarište, kao i šošonitne i bazaltno andezitne valutice plaže lokaliteta Ljubač u Dalmaciji, od kojih neke sadrže inkluzije vapnenaca s dobro očuvanim numulitima luteta. Terenski podaci ukazuju na post-ladiničku starost bazalta Donjeg Pazarišta, odnosno na post-lutetsku bazaltičnih andezitnih valutica s plaže lokaliteta Ljubač (LUGOVIĆ et al., 1998). Na jednom uzorku primitivnog olivinskog bazal-

ta lokaliteta Donje Pazarište izradena je analiza izotopnog sastava K-Ar, koja ukazuje na kenozojsku starost ekstruzije, ali je rezultat nepouzdan, zbog toga što je analizirana stijena izgubila značajnu količinu kalija alteracijom (LUGOVIĆ, 2000). Mišljenje je autora da, obzirom na terenske prilike, jedino analize (K-Ar) svježih uzoraka mogu odgovoriti točnije na to pitanje. Magma za ovaj post-kolizijski vulkanizam, koji sadrži rijetke elemente tipične za orogenetski magmatizam, je pokrenuta s relativno plitkih (<60 km) izvorišta plašta, koji su prethodno bili modificirani subdukciji pridruženim fluidima. Temeljem i drugih podataka o mlađem magmatizmu u širem području, starost opisanih pojava pretpostavljena je kao mlađe kenozojska (LUGOVIĆ et al., 1998).

Inače o "zapisima" mlađeg vulkanizma u širem području Vanjskih Dinarida i Jadrana pišu mnogi autori, o andezitsko-dacitskim tufovima u neogenskim naslagama srednje Dalmacije (ŠUŠNJARA & ŠČAVNIČAR, 1974), vitričnom tufu u kvartarnim glinama Gljeva u Dalmaciji (ŠUŠNJARA et al., 1994), o piroklastičnim materijalima (bentonit i tuf) u pleistocenskim naslagama jadranskog podmorja sjevernog i srednjeg Jadrana (TARI KOVAČIĆ, 1995), kao i o pliocenskim vulkanoklastičnim sedimentima off shore bušotine Kruna-1 (MILETIĆ & LUGOVIĆ, 1996). Iz navedenog je vidljivo da spekulacije o mladim magmatskim aktivnostima kao uzročnicima barem dijela opažanih prstenastih struktura u području Vanjskih Dinarida, imaju osnova.

ZAKLJUČAK

Iz pregleda dosadašnjih radova o prstenastim strukturama vidljivo je da one postoje, da se mogu registrirati na satelitskim skanogramima, aerosnimkama (strukture manjeg promjera), a ponekad se mogu interpretirati i na topografskim zemljovidima. Međutim, njihova uloga u geološkoj građi terena, kao i uloga pri nastanku ležišta mineralnih sirovina i drugim korisnim implikacijama nije jednoznačno određena. Zbog toga smo mišljenje da bi prstenastim strukturama, inače različitog načina postanka, trebalo posvetiti daljnju pozornost, uskladiti stručne nazive pri opažanju i preciznije odrediti njihovu ulogu u građi terena, kao i funkciju pri stvaranju različitih ležišta mineralnih sirovina.

Ujedno želimo se zahvaliti gosp. Velimiru Vukoviću, vlasniku i direktoru tvrtke Geološki konzalting, na dozvoli pregleda elaborata vezanih uz ovu temu.

LITERATURA

- ALJINOVIĆ, B. (1986): Karta dubina Mohorovičićeva diskontinuiteta na području Jugoslavije.- Nafta, 37/3, 127-130, Zagreb.
- BILLINGS, M.P. (1954): Structural Geology.- Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs.
- CEPANEC, Z., RADAKOVIĆ, B. & HANICH, M. (1981): Strukturno-tektonska istraživanja istočnog dijela Podravine sa Slavonsko-srijemskom depresijom na osnovu Landsat podataka.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada Geološki konzalting), Zagreb.
- CEPANEC, Z., HANICH, M. & RADAKOVIĆ, B. (1983): Strukturno-tektonska istraživanja jugozapadnog dijela Savske potoline na osnovu Landsat podataka.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada Geološki konzalting), Zagreb.
- CEPANEC, Z., OLUIĆ, M., HAČEK, M., HANICH, M. & JAKIĆ, N. (1980): Strukturno tektonska istraživanja dijela Podravine (Virovitica-Varaždin) na osnovi Landsat podataka.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada Geološki konzalting), Zagreb.
- DIMITRIJEVIĆ, M.D. (1978): Geološko kartiranje.- BIGZ, Beograd.
- JOVIČIĆ, D. & KLEIN, V. (1995) : Prikaz ovalne morfostrukture - Lika.- 1. hrvatski geol. kongres, Opatija (1995), Zbornik radova, Zagreb.
- KLEIN, V. (1978): Morfostrukturna rajonizacija Slovensko-medi-murskih gorica.- 9. kongr. geol. Jugosl., Zbornik radova, 209-215, Sarajevo.
- KLEIN, V. (1979): Analiza morfostrukturne evolucije jugozapadnog dijela Panonskog bazena s osvrtom na tektoniku podloge naslaga neogena.- 4. god. skup Sekcije za primjenu geol. geofiz. geokem. Znan. savjeta za naftu, Stubičke Toplice (1978), Zbornik radova, 207-217, Zagreb.
- KLEIN, V. (1995): Detaljni prikaz prstenastih struktura i morfostrukturne podjele Velebita na osnovi satelitske snimke u boji, mjerilo 1: 200.000.- Znanstveno-stručno glasilo DIT-a Ina-Naftaplina, Zagreb.
- KLEIN, V. & MIŠE, S. (1990): Dopunsko proučavanje prstenastih tektonskih struktura zemljine kore Jugoslavije prema landsat-tektonskoj karti M 1:500.000.- 12. jugosl. geol. kongr., 5, 63-81, Ohrid.
- KNAPP, M., KOŠČEC, B. & DENIH, M. (1981): Aviosnimanje termalnim infracrvenim skanerom offshore područja zapadne Istre.- Zbornik radova simp. "Kompleksna naftno - geološka problematika podmorja i priobalnih dijelova Jadranskog mora", Split (1981), 1, 189-200, Zagreb.
- LABAŠ, V. (1987): Neke specifičnosti građe podzemlja dijela centralne zone dinaridskog gravimetrijskog minimuma.- Nafta, 38/10, 547-554, Zagreb.
- LUGOVIĆ, B. (2000): Postlutetni vulkanski epiklasti na sjevernojadranskim otocima (Hrvatska).- U tisku.
- LUGOVIĆ, B., ALTHERR, R., MARJANAC, T. & MEYER, H.-P. (1998): Orogenic signatures in Late Cenozoic volcanic rocks from the northern External Dinarides, Croatia.- Acta Vulcanologica, 10/1, 55-65.
- MARJANAC, T. (2000): Giant beds - Impact induced deep-marine deposits.- Lunar and Planetary Science Letters.
- MILETIĆ, D. & LUGOVIĆ, B. (1996): Pliocene volcaniclastic sediments in the Croatian Adriatic off-shore region (drill-hole Kruna-1).- International workshop "The role of impact processes in the geological and biological evolution of Planet Earth", Postojina.
- OLUIĆ, M. (1979): Digitalna obrada Landsat podataka za geološku analizu područja Dravske potoline.- 4. god. skup Sekcije za primjenu geol. geofiz. geokem. Znan. savjeta za naftu, Stubičke Toplice (1978), Zbornik radova, 219-228, Zagreb.
- OLUIĆ, M. (1983): Daljinska istraživanja u geologiji.- U: Daljinska istraživanja u geoznanostima. JAZU Savjet dalj. istraž. fotointerpret., 141-268, Zagreb.

- OLUIĆ, M. (2000): Snimanje i istraživanje Zemlje iz svemira - sateliti, senzori, primjena.- (u tisku).
- OLUIĆ, M. & JOVIČIĆ, D. (1979): Neotektonska grada Savske potoline na osnovi satelitskih snimaka.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada Geološki konzalting), Zagreb.
- OLUIĆ, M. & KUBAT, I. (1981): Povezanost rupturnih i prstenastih struktura na landsatovim snimcima i mineralnih pojava u centralnoj Bosni.- Acta geol., 11/2, 45-57, Zagreb.
- OLUIĆ, M., CVIJANOVIĆ, D. & PRELOGOVIĆ, E. (1982): Some new data on the tectonic activity in the Montenegro coastal region (Yugoslavia) based on the landsat imagery.- Acta Astronautica, 9/1, 27-33, Oxford.
- PAVLEKOVIĆ, M., JOVANIĆ, M., KARAN, D., PERICA, R. & SYRINEK, M. (1995): Odnos hidrotermalnih ili pseudohidrotermalnih procesa i pojava ugljikovodika u Dubokoj Dravi.- 1. hrvatski geol. kongres, Opatija, Zbornik radova, Zagreb.
- POLJAK, J. & TAJDER, M. (1942): Bazalt Čemerikovca kraj D. Pazarišta u Velebitu.- Vjes. Hrv. drž. geol. zav., 1, 91-103, Zagreb.
- PREMRU, U. (1982): Spiralne strukture, nektari primeri na području Jugoslavije.- 10. jubilarni kongres geol. Jugoslavije, Zbornik radova, Budva.
- PREMRU, U., POLJAK, M., KOŠČEC, B., KOŠČEC, J., RADAKOVIĆ, B., DENIH, M., MARIĆ, J., VIDOVIĆ, M., VARGA, O., KOŠČAL, M., TRIFUNOVIĆ, S., RADANOVIĆ, Z., PRUHTI, V. & PETROVSKI, R. (1986): Tektonska karta SFR Jugoslavije, izrađena na temelju analize landsat snimaka 1:500.000.- Beograd.
- ROMANDIĆ, S. (1990): Analiza podataka dubokog geoelektričnog sondiranja na području zapadnog dijela Dinarida.- Nafta, 41/7-8, 307-324, Zagreb.
- STOJSAVLJEVIĆ, M. (1986): Program istraživanja starosti bazalta Čemerikovca kod Donjeg Pazarišta.- Fond stručne dok. INA-Projekta (sada INA-Geološki konzalting) i Ina Naftaplina, Zagreb.
- ŠUŠNJARA, A. & ŠČAVNIČAR, B. (1974): Tufovi u neogenskim naslagama srednje Dalmacije (Južna Hrvatska).- Geol. vjesnik, 27, 239-253, Zagreb.
- ŠUŠNJARA, A., ŠČAVNIČAR, B. & GABRIĆ, A. (1994): The occurrence of vitric tuff in Quaternary deposits of Gljev in Dalmatia (Southern Croatia).- Geol. Croatica, 47, 193-198, Zagreb.
- TARI KOVAČIĆ, V. (1995): Razvoj pliocenskih i pleistocenskih naslaga sjevernog i srednjeg Jadrana - karotažni markeri i korelacija.- 1. hrvatski geol. kongres, Opatija, Zbornik radova, Zagreb.
- ZVONARIĆ, S. (1988/89): Je li Gorski Kotar razoren udarom asteroida? Geološka problematika istraživanja Gorskog kotara.- Priroda, 9, 19-23, Zagreb.





The Fluids in Quartz from Central Bosnia

Sabina STRMIĆ¹, Ladislav PALINKAŠ¹, Ivan JURKOVIĆ² & Hazim HRVATOVIĆ³

Key words: Central Bosnia, Dinarides, Fluid inclusion, High sulfidation, Quartz.

Abstract

The fluids in vein-quartz from the Mid-Bosnian Schist Mts. were investigated by cryometric and thermometric measurement. There are two groups of fluid inclusions (FIs): aqueous and aqueous-carbonic FIs. Aqueous FIs were determined in all observed samples, and aqueous-carbonic FIs were observed only in the samples from Čemernica and Meduvršje. Aqueous FIs from Čemernica are KCl-NaCl-H₂O. Aqueous-carbonic FIs from Čemernica contain, beside CO₂, other volatiles (CH₄, N₂). In the FIs from the area of Meduvršje and Raštelica 4 or 5 types of hydrates can be developed. This type of FIs was determined as CaCl₂ FIs with presence of other cations. Aqueous-carbonic FIs from Čemernica contain high concentration of other volatiles. Salinity of aqueous FIs is higher than salinity of aqueous-carbonic FIs. Salinity in the both types of FIs is higher in fluids from Meduvršje and Raštelica than those from Čemernica. Temperatures of homogenization of all types of FIs are similar and are around 300°C.

1. BASIC GEOLOGICAL DATA

The Mid-Bosnian Schist Mountains (MBSM) are a part of the Central Dinarides (Fig. 1). The Dinarides represent a typical orogenic belt located along northeastern flank of Adriatic microplate (DEWEY et al., 1973). In this large area, genetically different rock formations originated during the Alpine Wilson cycle in the Dinaridic parts of the Tethys (PAMIĆ & JURKOVIĆ, 1997). The most widespread rocks of the MBSM however are pre-Devonian metamorphic rocks (SOFILJ et al., 1980). Age of the last thermal event upon those rocks, related probably to the Hercynian orogeny and obtained by K/Ar dating is 343±13 Ma (PALINKAŠ et al., 1996). The main phase of volcanic activity occurred during Permian (JURKOVIĆ, 1957). Quartz-porphyrines and adjacent ore deposits are probably formed at the post-collisional phase of the Hercynian orogeny or incipient, widespread rifting within Pangea (PALINKAŠ, 1990)

2. FLUID INCLUSION STUDY

The object of FI study was quartz from Čemernica, Meduvršje and Raštelica deposit in the MBSM. Microthermometric measurements were performed on 0.3 to 0.5 mm thick wafer using a microscope equipped with Leitz-Wetzlar P25/0.50 for freezing and Leitz-Wetzlar UM32/0.30 for heating runs, and Chaixmeca cooling and heating stage operating between -180 and +600°C (POTY et al., 1976).

2.1. ČEMERNICA

In Čemernica region the most widespread rocks are the epidote-chlorite-sericite quartz schists, ottrelite schists and phyllites. The magmatic rocks are represented only by quartz-porphiry. The main ore minerals are stibnite, sphalerite and cinnabar. Microscopic examination distinguished wolframite, pyrite, arsenopyrite, jamesonite, berthierite, boulangerite, plagionite, pyrrhotite, chalcopyrite, marcasite, tetrahedrite, gold, galena, realgar and enargite (JURKOVIĆ, 1962). The main gangue mineral is quartz, subordinate are chalcedony, siderite, barite. The object of the FI study was a yellow, highly fractured, semitransparent quartz crystals associated with antimony mineralization.

Petrography of fluid inclusion

Microscopic examination distinguished following FIs:

- 1) The two-phase, L+V, aqueous, secondary FIs. At the places a great diversity of the degree of fill suggests a heterogeneous trapping, what is not proved by the microthermometry (Fig. 2).
- 2) The two-phase, L+V, aqueous, secondary or pseudosecondary FIs, with small bubble and the uniform degree of fill.
- 3) The three-phase, aqueous-carbonic FIs, NaCl-H₂O-CO₂ (Fig. 3). Degree of fill (water) varies between 0.80-0.95. Density varies as well, easily recognized by four kinds of CO₂-FIs. 3a - Low density - liquid

¹Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Sciences, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Croatian Academy of Sciences and Arts, Ante Kovačića 5, HR-10000 Zagreb, Croatia.

³Geological Survey Sarajevo, Ustanička 7, Ilidža, BIH-71210 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

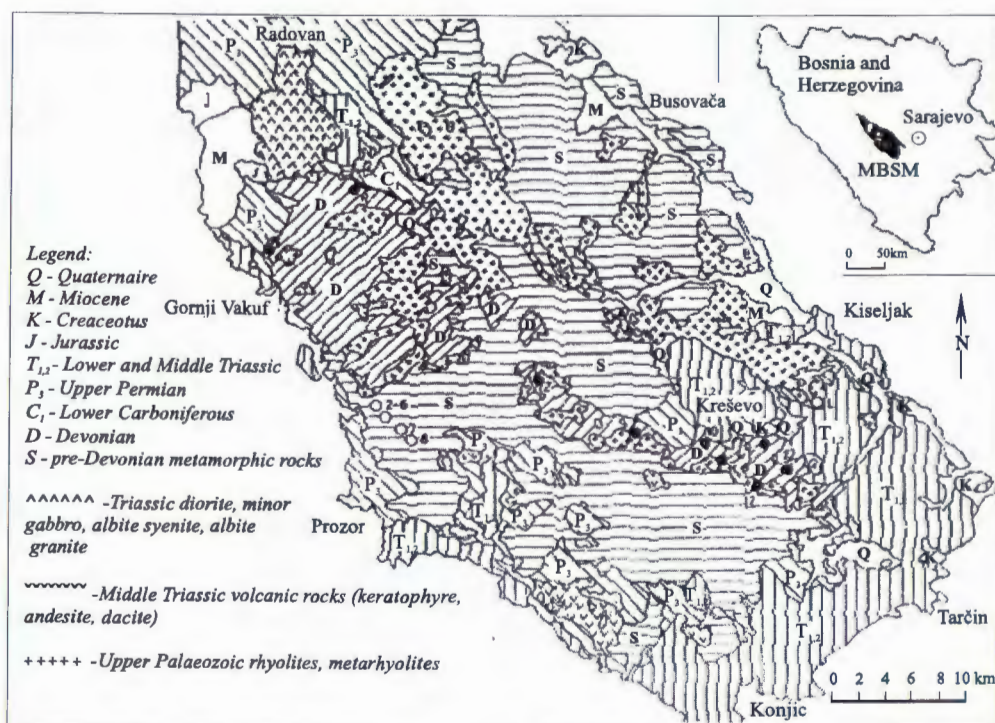


Fig. 1 The Mid-Bosnian Schist Mts.

CO₂, which wets vapor bubble, is hardly observed;
 3b - Medium density - liquid CO₂ is a visible ring;
 3c - High density - liquid CO₂ host a small vapor bubble.

- 4) Vapor rich, low-density aqueous-carbonic FIs, highly irregular, situated at the crosscut of the FI planes of the type 1 and 3.

Microthermometry

a) Aqueous FIs

FIs of this type freeze at moderately low temperature (-40 to -60°C). Their perfectly clear, colourless frozen content, characteristic of NaCl-KCl-H₂O FIs (SHEPARD et al., 1985) is in concordance with the temperature of the first melting (eutectic, T_e) around -25°C. The freezing is observed only by distortion and shrinkage of the bubble. Temperature of the final melting of ice (T_{m,ice}) (Fig. 4), is adequate with salinity of 14.9 to 20.2 wt.% equ. NaCl (POTTER et al., 1977). Temperature of homogenization (T_H) into the liquid phase is between 150 and 230°C, with maximum at 190°C.

b) Aqueous-carbonic FIs

The FIs of this type freeze in two steps, first aqueous part around -60°C, observed by distortion and shrinkage of carbonic phase, and around -120°C with formation of the crescent-shaped solid CO₂. On heating phase transition occurs as follows: Majority of the first melting of solid CO₂ occurs in a very narrow temperature range, between -61 and -64°C, what is assigned to the presence of other volatiles (CH₄, N₂; BURRUS, 1981). In some aqueous-carbonic FIs melting proceed-

ed between -57 and -58°C, therefore being designated to NaCl-H₂O-CO₂ FIs. Temperature of the final ice melting is recorded between -7 and -13°C. The final melting temperature of clathrates (T_{clath}) is measured between 3.9 and 5.5°C, what corresponds to 9.4 and 10.7 wt.% equ. NaCl (COLLINS, 1979). Homogenization of the carbonic phase proceeds in two ways, L+V → V, L+V → L, and critical phenomena has not been observed. The data gather around 26 to 28°C in either ways of homogenizations symmetrically plotted along T_H-CO₂-axis. Densities of the CO₂ phases are between 0.76 and 0.33 gcm⁻³, but presence of lower densities, 0.17 gcm⁻³, and even CO₂ gaseous FIs have been recorded as well. Temperature of homogenization (T_Htot CO₂) into the liquid phase is between 210 and 290°C.

2.2. MEĐUVRŠJE AND RAŠTELICA

Meduvršje and Raštelica are situated in the barite bearing Kreševo region. The oldest rocks are pre-Devonian metamorphic rocks that grade into metasandstone (JOVANOVIĆ et al., 1977/1978). Devonian fossiliferous layered or bedded dolomites, limestones or marbles overlie this metamorphic complex. Magmatic rocks are represented by Upper Palaeozoic rhyolites and metaryolites, forming sills in the metamorphic complex, or extrusions on the verge of the Devonian carbonates. The vein and metasomatic barite deposits of Kreševo area are located almost exclusively in the Devonian carbonate rocks, and as such represent the largest barite accumulation in the Palaeozoic rocks of the Dinarides. The main gangue mineral is barite, locally with rhombohedral calcite, octahedral fluorite and siderite (SLO-

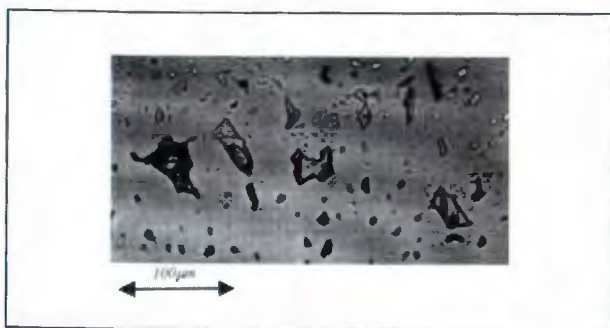


Fig. 2 The two-phase, L+V, aqueous, secondary FIs.



Fig. 3 The three-phase, NaCl-H₂O-CO₂, aqueous-carbonic FIs.

VENEC et al., 1997). The main ore mineral in the area of Međuvršje is mercurian tetrahedrite, scarce are pyrite, arsenopyrite, chalcopyrite, sphalerite, enargite, luzonite and antimonite (JURKOVIĆ, 1987). In the area of Raštelica appearance of tetrahedrite is not recognized. The characteristic of this area is occurrence of copper-sulphosalts. The main ore mineral is bornite, subordinate are chalcopyrite, chalcocite, covellite, pyrite, sphalerite. Barite is the main gangue mineral, scarce are calcite and quartz. The mineral solutions did not contain ions of antimony and arsenic, only ions of copper and iron. This composition of thermal fluids is responsible for deposition of bornite, chalcopyrite, covellite and chalcocite, without tetrahedrite and enargite, which are present in the area of Međuvršje (JURKOVIĆ, 1956).

Petrography of fluid inclusion

Microscopic examination distinguished aqueous and aqueous-carbonic FIs in quartz from Međuvršje and aqueous FIs in quartz from Raštelica.

a) Aqueous FIs

FIs of this type show the same microscopic characteristic in quartz from the both deposits. Microscopic examination distinguished following FIs:

- 1) The two-phase, L+V, aqueous, primary, liquid-rich FIs. Degree of fill is uniform, $F=0.90$. Shape of the FIs is usually regular, with progressive formation of negative crystal forms.
- 2) The poly-phase, L+V+S, aqueous, primary FIs. The number of daughter minerals can be one or more. Shape of the FIs follows progressive formation of negative crystal forms.
- 3) The two-phase, L+V, aqueous, secondary or pseudosecondary FIs, aligned along healed, conchoidal fractures.
- 4) Solid, S, FIs.
- 5) Gas, G, FIs.

b) Aqueous-carbonic FIs

Degree of fill (water) varies between 0.75 and 0.90. Shape of the FIs is irregular or with feebly recognisable formation of negative crystal forms.

Microthermometry

a) Aqueous FIs

FIs of this type freeze at temperature of about -70°C . Their yellow-brownish frozen content, characteristic of CaCl₂-NaCl-H₂O FIs (SHEPHERD et al., 1985) agrees well with the temperature of the first melting (eutectic, T_e) around -52°C (Fig. 5). The continuation of heating causes partial melting of content at temperature around -30°C . In all L+V FIs from Međuvršje the last melting occurs around -11°C . There is a difference within the group of L+V FIs from Raštelica. In the part of FIs the last melting occurs around -11°C , and in the other in temperature range between -7 and $+3^{\circ}\text{C}$, what corresponds to more than 25.0 wt.% equ.NaCl. In quartz from Međuvršje temperature of salt dissolution (T_s) is in the range from 209 to 219°C , what corresponds to 32.0 to 32.6 wt.% equ.NaCl, (SHEPHERD, 1985), and in quartz from Raštelica, T_s is in the range between 219 and 221.8°C , what corresponds to 32.6 to 32.9 wt.% equ.NaCl. Temperature of total homogenization into liquid phase, in the samples from Međuvršje, is between 230 and 280°C , with maximum at 250°C , and between 220 and 345°C , with maximum at 235°C , in the samples from Raštelica.

b) Aqueous-carbonic FIs

The first melting of solid CO₂ occurs in the temperature interval between -81 and -84°C , and the final melting occurs at temperature between -61 and -70°C , what is assigned to high concentration of other volatiles, (BURRUS, 1981). The temperature of the first ice melting is recorded in range between -28 and -35°C , and the final ice melting temperature in the range between -10 and -13°C . Temperature of clathrate melting is in the interval between $+1.9$ and $+2.9^{\circ}\text{C}$, what corresponds to 14.0 to 14.8 wt.% equ.NaCl, (COLLINS, 1979). Homogenization of CO₂ phase proceeds into two ways, L+V→V, L+V→L, and the critical phenomena has not been observed. The temperature of homogenization of carbonic phase is between 24.5 and 28.0°C in either ways. The temperature of total homogenization ($T_{H,tot CO_2}$) into liquid phase is between 210 and 290°C .

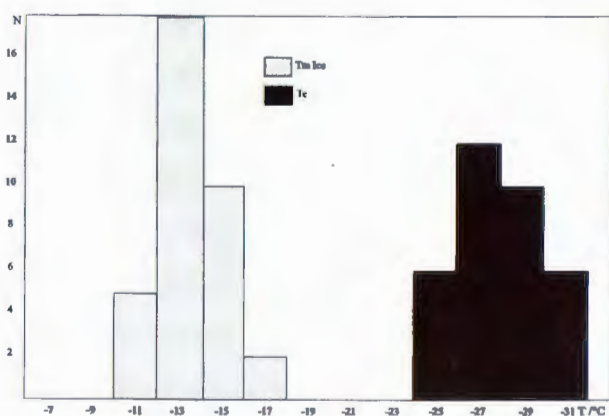


Fig. 4 Histogram showing frequency distribution of the first (T_e) and the final melting temperature of ice (T_{ice}).

3. DISCUSSION

The FIs in quartz from the MBSM are aqueous and aqueous-carbonic. Fluids from Međuvršje and Raštelica are similar, and they differ from fluids from Čemernica. The P-T-t metamorphic loop for fluids from Čemernica is constructed on the basis of metamorphic phase analysis (MAJER et al., 1991), and is characteristic of the regional metamorphism caused by collisional processes. It gives a frame for possible P-T evolution of the fluids. Isochores for the aqueous FIs were calculated by Zhang and Frantz equation of state, using FLINCOR, 1.4 Version. Some selected H₂O-NaCl-CO₂ FIs with temperature of final solid CO₂ melting close to -57°C (approaching CO₂ triple point) were elaborated by Bowers and Helgeson equation of state. Their position clearly intersects the retrogressive part of the P-T loop. Similar FIs have been already determined in quartz and hyalophane within chloritoid schists of the area of Busovača (PALINKAŠ et al., 1996). Aqueous-carbonic FIs from Međuvršje have a lower salinity and a higher concentration of other volatiles than FIs from Čemernica. In aqueous FIs from Međuvršje and Raštelica, during freezing, 4 or 5 hydrates could be developed. On the basis of the microscopic characteristics and the last melting temperatures the first melted hydrate is determined as CaCl₂, the third melted hydrate as ice and the last melted hydrate as hydrohalite. The transformation of hydrohalite into halite occurs at temperature around +14°C probably because of influence of other cations on this reaction. The high salinity of fluids, gangue minerals (barite, enargite), temperatures of homogenization around 300°C are characteristic of epithermal high sulfidation ore deposits (HEDENQUIST, 1995). Occurrence of calcite is in contradiction with this supposition but deposition in carbonate environment could be a reason for neutralization of originally acid hydrothermas.

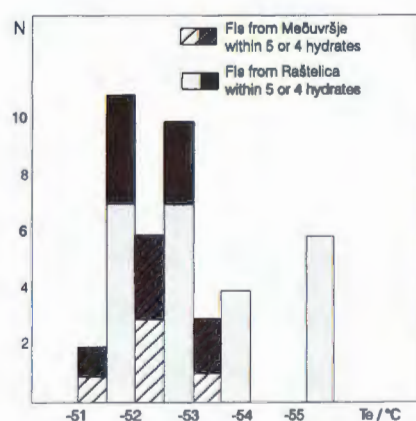


Fig. 5 Histogram showing frequency distribution of the first melting temperature (T_e).

4. REFERENCES

- BURRUSS, R.C. (1981): Hydrocarbon fluid inclusions in studies of sedimentary diagenesis.- In: HOLLISTER, L.S. & CRAWFORD M.L. (eds.): Short Course in Fluid Inclusions: Applications to Petrology. Mineralogical Association of Canada, 138-156.
- COLLINS, P.L.F. (1979): Gas hydrates in CO₂-bearing fluid inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity.- *Econ. Geol.*, 74, 1435-1444.
- DEWEY, J.F., PITMAN, W.C., RYAN, W.B.F. & BONNIN, J. (1973): Plate tectonics and evolution of the Alpine system.- *Bull. Geol. Soc. Am.* 84, 3137-3170.
- HEDENQUIST, J.W. (1995): Origin of and exploration for epithermal gold deposits.- Department of Mineralogy, Eotvos Lorand University, Budapest.
- JOVANOVIĆ, R., MOJIČEVIĆ, M., TOKIĆ, S. & ROKIĆ, Lj. (1977/1978): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Sarajevo K34-I.- Geol. zavod Sarajevo, Savezni geol. zavod Beograd.
- JURKOVIĆ, I. (1956): Mineralne paragenize rudnih pojava Srednjobosanskog rudogorja s osobitim osvrtom na tetraedrite.- *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu.
- JURKOVIĆ, I. (1957): The basic characteristics of the metallogenic region of the Midd-Bosnian Ore Mountains.- *Zbornik radova II. kongresa geologa FNRJ*, 504-519, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I. (1962): Paragenize rudnih pojava u oblasti Čemernice kod Fojnice.- *Geol. glasnik*, 6, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I. (1987): Barite deposits on Mount Međuvršje south and south-east of the town of Kreševo, Bosnia.- *Geol. Vjesnik*, 40, 313-336, Zagreb.
- MAJER, V., LUGOVIĆ, B. & TRUBELJA, F. (1991): Metamorfizam Bosanskih škriljavih planina (predhodna istraživanja).- *Radovi, LXXXVII, Odjeljenje tehn. nauka ANU BiH*, 13, 141-158, Sarajevo.
- PALINKAŠ, L.A. (1990): Siderite-barite-polysulfide deposits and early continental rifting in Dinarides.- *Geol. vjesnik*, 43, 181-185, Zagreb.
- PALINKAŠ, L.A., BALOGH, K., BERMANEC, V., ZEBEC, V.S. & SVINGOR, E. (1996): On use of hyalophane for K-Ar dating in the Central Bosnian Schist Mts.- *Acta geologica Hungarica*, 39, 149-153, Budapest.
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (1997): Geology of Bosnia and Herzegovina.- In: MOORES, E.M. & FAIRBRIDGE, R.W. (eds.): *Encyclopedia of European and Asian Geology*. Chapman and Hall, 86-92, London.

- POTTER, R.W. II (1977): Pressure corrections for fluid-inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O.- J. Res. U.S. Geol. Surv., 5, 603-607.
- POTY, B.P., LEROY, J. & JACHIMOWICH, L. (1976): Un nouvel appareil pour la mesure des temperatures sous le microscope: L'installation de microthermometrie Chaixmeca.- Bull. Mineral, 99, 182-186.
- SHEPHERD, T.J. (1985): A practical guide to fluid inclusion studies.- Blackie, Glasgow and London, 239 p.
- SLOVENAC, D., ŠIFTAR, D., JAKŠIĆ, M. & JURKOVIĆ, I. (1997): Strontium dependence of the lattice constants of barites from the Kreševo Area in Central Bosnia (Bosnia and Herzegovina).- Geologia Croatica, 50/1, 27-32, Zagreb.
- SOFILJ, J., ŽIVANOVIĆ, M. & PAMIĆ, J. (1980): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Prozor.- Geol. zavod Sarajevo, Savezni geol. zavod Beograd.



Geologija područja Morinjskog zaljeva (srednja Dalmacija, Hrvatska)

Geology of Morinje Bay Area (Middle Dalmatia, Croatia)

Marko ŠPARICA, Stanislav BERGANT, Valentina HAJEK-TADESSE & Ladislav FUČEK

Ključne riječi: santon-kampan, paleogen, kvartar, formacijska analiza, tektonika, zaljev Morinje, Dalmacija.

Key words: Santonian-Campanian, Paleogen, Quaternary, Formation analysis, Tectonics, Morinje bay, Dalmatia.

Sažetak

Najstarije naslage na istraživanom području su santon-kampanske starosti. Sastoje se od različitih strukturnih tipova vapnenaca, koji su taloženi u plitkomorskim okolišima karbonatne platforme do kraja kampana, kada u ovom području nastupa emerzija i traje do kraja senona. Paleocenske i donjo-eocenske karbonatne naslage taložene su najprije u lagunarnom, brakično-marinskom okolišu, kasnije u plitkomorskim okolišima zatvorenog i otvorenog šelfa. Bitne promjene prostora sedimentacije karbonatne platforme početkom srednjeg eocena, a koje su prethodile taloženju fliša, posljedica su djelovanja pirinejskih tangencijalnih pokreta. To je ujedno i početak dezintegracije karbonatne platforme. Fliš ovog područja je integralni dio velikog sedimentacijskog sustava koji se proteže priobaljem istočnog Jadrana.

Izdvojene neformalne litostratigrafske jedinice usporedne su sa istovremenim u širem jadranskom prostoru.

Osnovne značajke recentnog strukturnog sklopa ovog prostora su borane strukture dinarskog smjera pružanja, uzdužni reverzni rasjedi i dijagonalni neotektonski rasjedi koji su poremetili starije strukture.

UVOD

Metodologija istraživanja recentnih plitkomorskih taloga u zaštićenim zaljevima i uvalama duž jadranske obale uključuje i geološko istraživanje okoline pojedinog lokaliteta. U tom smislu, stratimetrijskim snimanjem profila i izradom geološke karte proučene su litostratigrafske značajke stijena i njihovi međusobni odnosi u području Morinjskog zaljeva nedaleko od Šibenika (sl. 1), gdje su u tijeku višedisciplinarna istraživanja podzemskih sedimenata.

Zaljev Morinje jugoistočno od Šibenika je u prapovijesno vrijeme morem potopljen najniži dio Donjeg

Abstract

The oldest sediments on researched area are of Santonian-Campanian age. They consist of various structural types of limestone which have been deposited in shallow-marine environment of carbonate platform until the end of Campanian, when in this area begins an emersion which lasted until the end of Senonian. Paleocene and Lower Eocene carbonate sediments are deposited first in a lagoon, brackish-marine environment, and later in shallow-marine environments of closed and open shelf. Important changes of sedimentation area of carbonate platform in the beginning of Middle Eocene, which preceded the flysch sedimentation, are result of activity of the Pyrenean tangential movements. This is, at the same time, the beginning of the disintegration of the carbonate platform. Flysch of this area is an integral part of big sedimentation system which is spread along the coastal area of eastern Adriatic sea.

Separated informal lithostratigraphic units are compared to a synchronous ones in the broader Adriatic area.

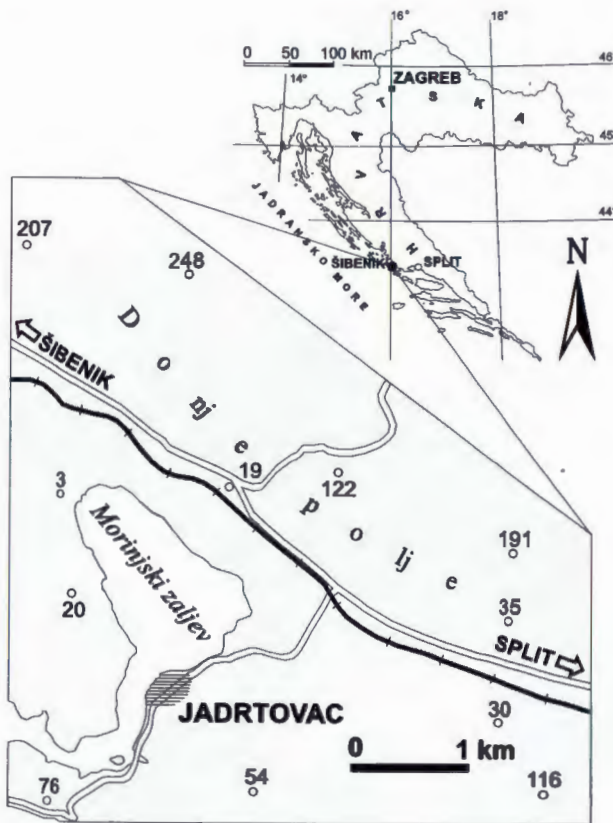
Main characteristics of recent structural complex of this area are folding structures of Dinaric strike, longitudinal reversal faults and diagonal neotectonic faults which have disordered the older structures.

polja. Sa sjeveroistočne i jugozapadne strane prirodni okvir ovom polju je nisko pobrđe dinarskog smjera pružanja maksimalne visine nešto više od 200 m.

Dosada najcjelovitiji prikaz geologije ovog područja nalazi se na Geološkoj karti M 1:100.000 (list Šibenik) i u pripadajućem tumaču (MAMUŽIĆ, 1975).

OPIS LITOSTRATIGRAFSKIH JEDINICA

Najpotpuniji slijed naslaga koje izgrađuju ovo područje, proteže se uz more nasuprot mjesta Jadrtovac u gornjem dijelu istoimenog kanala koji spaja Morinjski



Sl. 1 Položajna karta.

Fig. 1 Index map.

zaljev s otvorenim morem. Ovdje su na temelju stratimetrijskih podataka proučene i opisane neformalne litostratigrafske jedinice označene početnim slovima abecede. Prostorni raspored i međusobni odnosi ovih jedinica prikazani su na geološkoj karti (sl. 2). Na sl. 2 i 3 nalazi se i smještaj lokaliteta gdje je snimljen detaljni geološki profil, što omogućuje zainteresiranim istraživačima da ponove promatranje.

JEDINICA (A)

Najstarije naslage u istraživanom području otkrivene su u krilima složene sinklinale Donje polje u dva odvojena područja: u sjeverozapadnom i jugoistočnom pobrđu (sl. 2). Budući da je kartiranjem zahvaćen dio slijeda naslaga koje se nalaze u okviru geološke karte, a samo vršni dio obuhvaćen stratimetrijskim profilom Morinje (sl. 3), to prikaz ove jedinice potpuno ne ocrta stvarne vertikalne i lateralne odnose ove jedinice u širem prostoru.

Naslage se sastoje od dobro uslojenih vapnenaca s rijetkim i tankim ulošcima dolomita. Vapnenci su strukturnog tipa bioklastično-skeletni vekstoni, pekstoni i grejnstoni. U muljnoj i djelomično rekristaliziranoj osnovi sadrže ostatke bentosnih foraminifera, fragmente algi, ljuštura ostrakoda i rudista. Mikrofossilna zajednica sastoji se od vrsta: *Murgella lata* (LUPERTO-SINNI),

Keramosphaerina tergestina (STACHE), *Moncharmontia apenninica* (DE CASTRO), *Nezzazatinella picardi* (HENSON), *Aeolisacus kotori* RADOIČIĆ, *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ, fragmenta *Thaumatoporella parvovesiculifera* RAINERI, (?) *Merlingina cretacea* HAMAOUÏ & SAINT-MARC i planktonskih foraminifera (?) *Rugoglobigerina*. Pretpostavljenu starost santon-kampan potvrđuju i brojne odredbe vrsta rudista podroda *Vaccinites* i *Orbigynya* kod Jadrtovca (MAMUŽIĆ, 1975). Ove naslage taložene su u plitkovodnijem zaštićenom okolišu s utjecajem otvorenog mora, a njihovo taloženje u ovim prostorima završava emerzijom regionalnog značaja. Tako POLŠAK (1986) navodi regresiju tijekom gornjeg kampana na sjevernom dijelu Jadranske karbonatne platforme, koja prelazi u emerziju na granici kampan-mastriht, dok GUŠIĆ & JELASKA (1990), na detaljno obrađenom primjeru otoka Brača smatraju da se razmjerno nagla regresija s emerzijom zbila u gornjem kampanu.

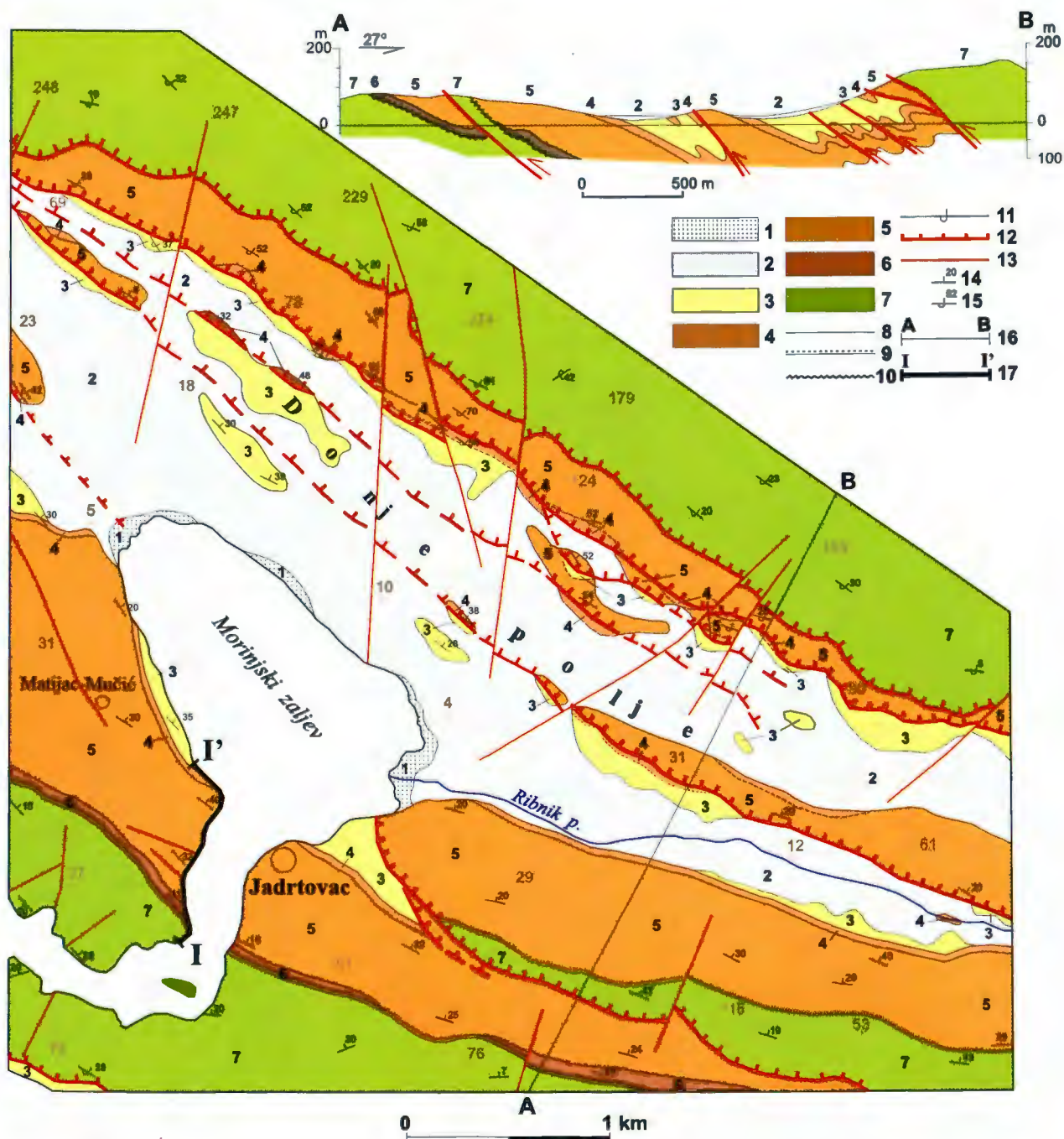
Promatrani slijed pokazuje veliku sličnost sa slijedom naslaga Gornji Humac formacije na otoku Braču (GUŠIĆ & JELASKA, 1990) i Dugom otoku (FUČEK et al., 1990).

JEDINICA (B)

U širem jadranskom prostoru najstarije paleogenske naslage, koje su slične ovoj jedinici različito su nazivane: Liburnijska stepenica (STACHE, 1889), Liburnijska serija (PAVLOVEC, 1963), Liburnijski slojevi (MAMUŽIĆ, 1975), Liburnijska formacija (JURKOVŠEK et al., 1996) i dr.

Naslage ove jedinice mogu se u obliku relativno uske, dijelom prekinute zone pratiti u jugozapadnom dijelu istraživanog područja (sl. 2). Iako mjestimično tektoniziran, najpogodniji profil za promatranje ovih naslaga sa slijedom od emerzije u vrhu prethodne jedinice do jedinice (C) u njihovoj krovini, otkriven je u kanalu Morinje kao donji dio geološkog stupa Morinje (sl. 3 i 4). Smatramo korisnim stratimetrijski snimljeni stup naslaga detaljnije prikazati. Sedimenti su male debljine (na snimljenom geološkom stupu ona iznosi cca 30 m), a katkad i nedostaju. Taloženi su na emergiranu podlogu karbonatnih naslaga santon-kampanске starosti, bez vidljive kutne diskordancije i bazalnih breča. Jedinici tragovi kopnene faze su okršeni paleoreljef, pojave boksita i limonitnog materijala male debljine koji najčešće ispunjavaju paleopukotine.

Donji dio ove jedinice (debljine 15 m, uvjetno nazvan B.) transgresivno naliježe na erodiranu podlogu. Izgrađena je od slabo rekristaliziranih madstona, skeletno-bioklastičnih vekstona (mikriti do rahli biomikriti) i floustonea. U muljnoj osnovi nalaze se i nekarbonatne čestice, vjerojatno terigenog porijekla. Uz tanje pukotine kao i dijelove skeletno-kalupnih šupljina pojavljuje se ograničeno dispergirana organska materija (bitumen?). Fosilni sadržaj (uzorci 3-6; sl. 4) sastoji se od brojnih fragmenta ljuštura ostrakoda, gastropoda, presjeka oogonija haraceja, školjkaša, kalcisfera i modroze-



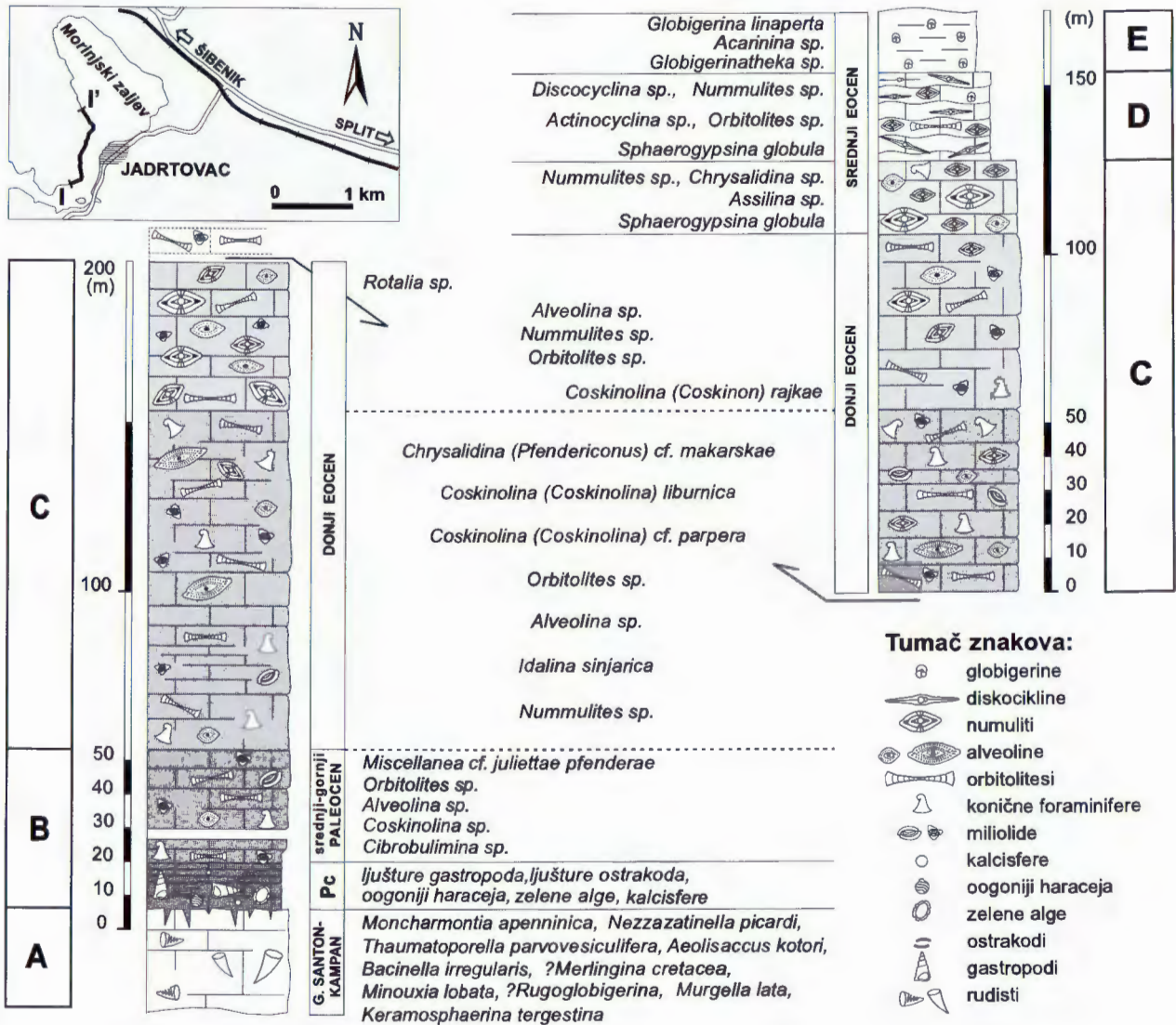
Sl. 2 Pregledna geološka karta okolice Morinjskog zaljeva. Tumač: 1) Jedinica (F₁) - limničko-marinski sedimenti (holocen); 2) Jedinica (F₂) - aluvijalno-deluvijalne naslage (kvartar); 3) Jedinica (E) - fliš (srednji eocen); 4) Jedinica (D) - "glaukonitni vapnenci" (srednji eocen); 5) Jedinica (C) - "alveolinsko-numulitni vapnenci" (donji eocen - početak srednjeg eocena); 6) Jedinica (B) - "Liburnijske naslage" (paleocen); 7) - vapnenci s rudistima (santon-kampan); 8) normalna granica; 9) erozijsko-diskordantna granica; 10) isto, u profilu; 11) prevrnutna normalna granica; 12) reverzni rasjed, navlaka; 13) rasjed; 14) položaj sloja; 15) prevrnuti sloj; 16) geološki profil; 17) detaljni geološki stup.

Fig. 2 Geological sketch map of Morinje Bay area. Legend: 1) Unit (F₁) - limnic-marine sediments (Holocene); 2) Unit (F₂) - alluvial-deluvial deposits (Quaternary); 3) Unit (E) - Flysch (Middle Eocene); 4) Unit (D) - "Glauconitic limestones" (Middle Eocene); 5) Unit (C) - "Alveolina and Nummulite limestones" (Lower Eocene - beginning of the Middle Eocene); 6) Unit (B) - "Liburnian deposits" (Paleocene); 7) Unit (A) - Limestones with rudists (Santonian - Campanian); 8) boundary - normal; 9) boundary - erosional and discordant; 10) boundary - erosional and discordant (in section); 11) overturned normal boundary; 12) reverse fault, nappe; 13) fault; 14) position of bed; 15) overturned bed; 16) geological section 17) geological column "Morinje" with details.

lenih algi (*Clypeina* sp.), rijetkih presjeka sitnih diskorbisa, a nalazi se i biljno trunje. U pojedinim slojevima gastropodi su brojni tvoreći lumakele.

Slijede skeletni vekstoni (rahli biomikriti) u izmjeni s madstonima i floustonima, u kojima se osim spome-

nutog fosilnog sadržaja u prethodnim slojevima nalaze brojne sitne miliolide, *Valvulina* sp., *Globulina* sp., *Textularia* sp., *Cibrobullimina* sp., *Alveolina* sp. i *Rotalia* sp. Značajno je istaknuti uočene promjene na stijen-kama imperforatnih foraminifera koje su deformirane,



Sl. 3 Pojednostavljeni prikaz geološkog stupa "Morinje".

Fig. 3 Simplified outline of the geologic column "Morinje".

limonitizirane ili "otopljene" (uzorci 7-15; sl. 4), a rezultat su promjena paleoekoloških uvjeta.

Donji dio jedinice (B₁) taložen je u oslađenim i zaštićenim lagunarnim okolišima, katkad u intertajdalju.

U postupnom prijelazu slijede slabije uslojeni vapnenci, svjetlijih boja od prije opisanih (jedinica (B₂)). Prema strukturnom tipu to su vekstoni do pekstoni (zbiženi biomikrosparit s 40-60% alokema). Fosilni sadržaj, u kojem prevladavaju miliolide, bogatiji je i raznovrsniji nego prije, ali bez gastropoda. Određena mikrofosilna zajednica je gomjopaleocenske starosti: *Miscellanea cf. juliettae pfenderae* LEPPIG, *Orbitolites* sp., *Alveolina* sp., *Coskinolina* sp., *Cibrolulimina* sp. i *Rotalia* sp. (uzorci 16-26; sl. 4). Ovi vapnenci su vjerojatno taloženi u potplimskim okolišima otvorenog i zaštićenog plitkomorskog prostora.

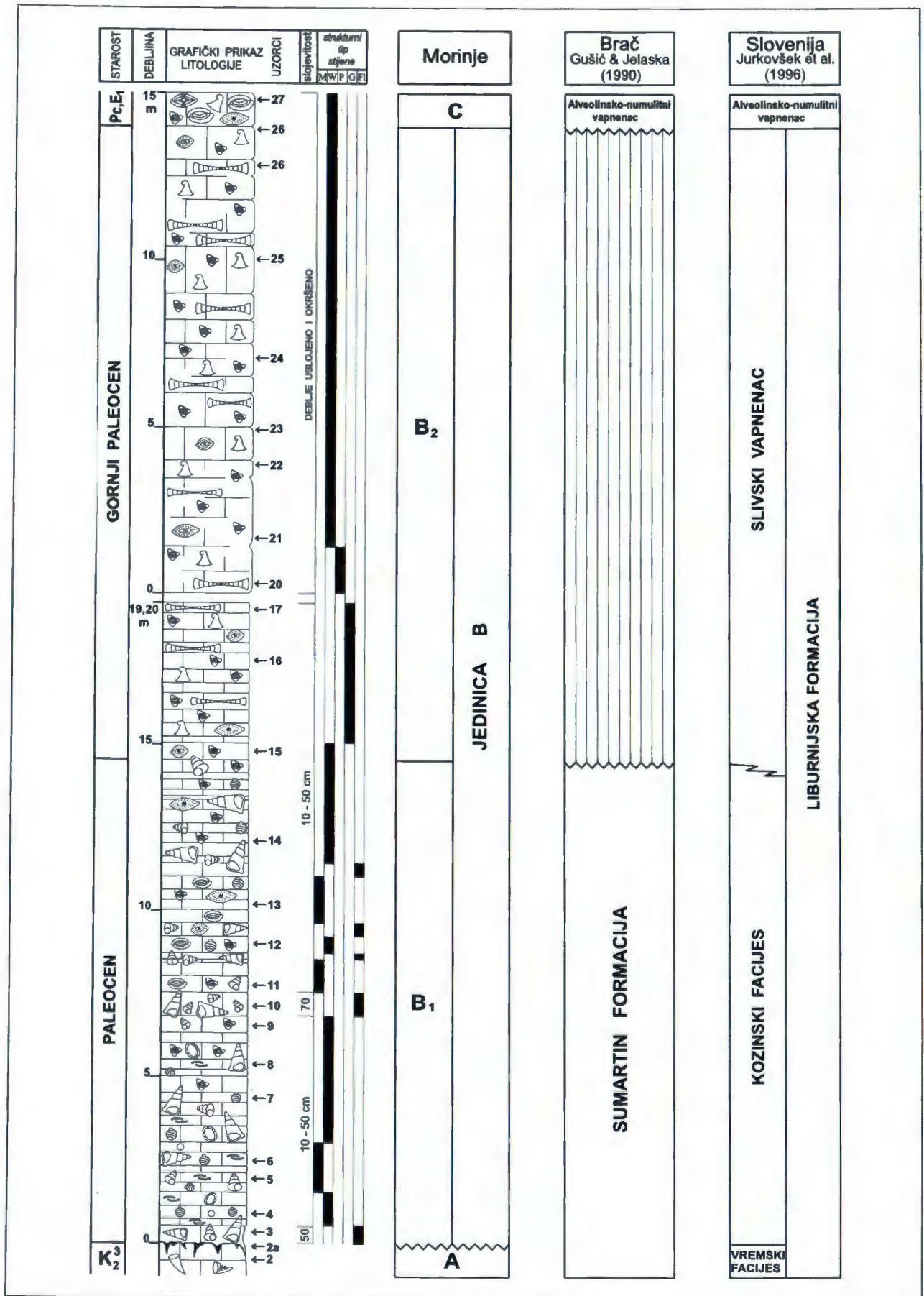
Prema litofacijskim značajkama i dijelom fosilnom sadržaju naslage jedinice (B) mogu se usporediti (sl. 4) s Liburnijskom formacijom u Istri (JURKOVŠEK et al.,

1996), na način da je razvoj naslaga donjeg dijela jedinice (B₁) sličan "Kozinskom facijesu", a (B₂) "Slivskom vapnencu" ove formacije. Također naslage (B₁) odgovaraju vršnom dijelu "Formacije Sumartin" na otoku Braču (GUŠIĆ & JELASKA, 1990).

JEDINICA (C)

U postupnom prelazu na prethodnoj jedinici, naravno tamo gdje je slijed naslaga neporemećen (sl. 2), nalaze se dobro, često debelo uslojeni i okršeni vapnenci sa sitnim i krupnim foraminiferama po kojima se često nazivaju "foraminiferski vapnenci". Njihova debljina na stratimetrijski snimljenom stupu, gdje su najbolje proučeni, iznosi cca 180 m (sl. 3).

U početnom dijelu slijeda zabilježena je prva pojava trematofornih foraminifera kao i bogata zajednica s vrstama: *Idalina sinjarica* GRIMSDALE, *Lacazina* sp., *Chrysalidina (Pfendericonus) cf. makarskae* (VAN SOEST), *Coskinolina (Coskinolina) liburnica* (STACHE),



Sl. 4 Stratigrafski stup jedinice (B): usporedba s otokom Bračom i JZ Slovenijom.

Fig. 4 Stratigraphic section of the unit (B): correlation with Brač Island and SW Slovenia.

Coskinolina (*Coskinolina*) cf. *parpera* HOTINGER & DROBNE, *Coskinolina* (*Coskinon*) *rajkae* HOTINGER & DROBNE, *Cibrobulimina* sp., *Orbitolites* sp., *Alveolina* sp., *Rothalia* sp., pokoji *Nummulites* sp., *Valvulina* sp., *Textularia* sp., sitne miliolide, presjeci briozoa i anelida. Navedena zajednica određuje granicu paleocen-eocen. Veći dio ovih naslaga s brojnijim pojavama *Nummulites* sp., i *Alveolina* sp., uz koje se nalaze *Orbitolites* sp., *Rothalina* sp., *Lithophillum* sp., male konične foraminifere i miliolide je donjoeocenske starosti. Dok je fauna u ovom dijelu jedinice slična, struktura obilježja vapnenaca se mijenjaju od skeletnih vekston-pekstona do grejnston-radstona. Promjena osnove od mikritne do sparitne može ukazivati na povišenje energije vode, a time i na mogućnost odnošenja mikritnog mulja između alokema prije litifikacije stijene.

U vršnom dijelu stupa vapnenci su srednjoeocenske starosti. Imaju struktura obilježja kao i prije opisani, ali u mikrofosilnoj zajednici značajno je dominantan *Nummulites* sp., uz kojeg se nalaze: *Sphaerogypsina globula* (REUSS), *Assilina* sp., *Rhotalia* sp., *Alveolina* sp., *Chrysalidina* sp., *Eorupertia* sp., *Cibrobulimina* sp., *Textularia* sp. i *Lithothamnium* sp. Mjestimično se nalaze presjeci školjkaša i ježinaca.

Naslage ove jedinice taložene su u prozračnim i toplim plitkomorskim okolišima s povremeno povećanom energijom morske vode.

JEDINICA (D)

Na ovom se prostoru u srednjem eocenu povećava dubina taloženja, pa plitkomorske vapnenice prethodne jedinice postupno zamjenjuju vapnenci dubljeg mora, koji su male debljine (u ovom području do 40 m) i mogu se pratiti u obliku uske zone između jedinice (C) i jedinice (E). Ove naslage različito se nazivaju: "glaukonitni vapnenci"; "vapnenci s rakovicama"; "prelazni slojevi" i dr. Zbog male debljine, ponekad se pribrajaju "foraminiferskim vapnencima" (MAMUŽIĆ, 1975).

Jedinicu izgrađuju odlično uslojeni vapnenci. Strukturi tip stijena je rahli skeletno-bioklastični vekston do flouston s glaukonitnim zmcima. U mikrofosilnoj zajednici nalaze se *Discocyclina* sp., uz koju još nalazimo manje oblike *Nummulites* sp., vrste *Sphaerogypsina globula* (REUSS), *Orbitolites* sp., *Actinocyclina* sp., *Eorupertia* sp., kao i sve brojnije planktonske foraminifere, naročito u gornjem dijelu naslaga - *Globigerina* sp. i *Acarinina* sp. Od makrofosila česte su rakovice i iregularni ježinci tankih oklopa. Jedinica je srednjoeocenske starosti, vjerojatno lutet.

Krajem donjeg eocena i početkom srednjeg eocena tektonski pokreti u okviru pirinejske tektonske faze uzrokovali su početak spuštanja dijelova sedimentacijskog prostora, pa se naslage ove jedinice talože u dubljem moru, često u reduktivnim uvjetima, na što upućuju glaukonit i produkti piritizacije. U ovakvim okolišima postupno prestaju uvjeti za život bentoskih organizama. JURACIĆ (1980) smatra na temelju istraživanja sličnih naslaga u Istri, da je dubina taloženja donjeg dijela nas-

laga uz granicu s "foraminiferskim vapnencima" bila između 60-100 m, a vršni dio naslaga da je taložen u dubini od (str. 65): "..... više stotina ili čak 1.000 m".

JEDINICA (E)

Povećanjem dubine naslage sadrže sve više glinovi-to-mikritne osnove (do 90%), smanjuje se udio bioklasta, tako da prije opisana jedinica postupno prelazi u madstone (rahle mikrite s planktonskim foraminiferama). Na istraživanom lokalitetu (sl. 3) ti sedimenti ne sadrže proslojke krupnijeklastičnih turbiditskih sekvencija. Također, zbog pokrivenosti kvartarnim taloženjima i morem, nije moguće definirati njihov odnos s fliškim naslagama. To nameće pitanje za sada bez jednoznačnog odgovora: da li su ovi sedimenti taloženi gravitacijskim sedimentacijskim procesima ("globigerinski lapori", MAGDALENIĆ, 1972), ili su dio fliške sukcesije? Mikrofosilna zajednica obilježena je brojnim planktonskim foraminiferama: *Globigerina lineaperta* FINLAY, *Globigerina* sp., *Acarinina* sp., *Globirinathea* sp., *Victoriella* sp., ima briozoa i presjeka anelida. Naslage su taložene u okolišu dubokog i otvorenog mora.

Naslage fliša izgrađuju veći dio Donjeg polja i dno Morinjskog zaljeva, međutim zbog pokrivenosti kvartarnim taloženjima slabo su dostupne promatranju. Ipak, na međusobno udaljenim izdancima zapaža se da naslage fliša izgrađuju podsječene Bouma-sekvencije s intervalima T-b,c,d i T-c,d. Klastične intervale (T-b,c,d) izgrađuju kalkarenacejski pješčenjaci sastavljeni od karbonatnih i siliciklastičnih čestica. Iako su sličnog mineralno-petrografskog sastava, intervali T-b i T-c međusobno se razlikuju prema prisutnim teksturama u sloju i teksturnim oblicima na donjim slojnim plohama. Donja slojna ploha intervala T-b, redovito je erozijska, oštra i neravna s čestim tragovima paleotečenja. U intervalu je prisutna donja paralelna laminacija i gradacija čestica. Postupno slijedi interval T-c koji je izgrađen od sitnozrnastih pješčenjaka i silita s valovitom laminacijom, kosom slojevitosti i rjeđe konvolucijom. Postupno slijedi pelitski interval T-d, kojeg izgrađuju lapori s paralelnom laminacijom i tragovima životne aktivnosti organizama. Naslage ove jedinice taložene su tijekom srednjeg eocena.

JEDINICA (F)

Ova neformalna litostratigrafska jedinica obuhvaća kvartarne taložine, koje su prema taložnim okolišima podijeljene u dvije jedinice:

Jedinica (F₁) obuhvaća subrecentne limničko-marinske sedimente Morinjskog zaljeva. Dosadašnjim radovima izmjerena debljina ovih taloga je do 4 m. Sastoje se pretežno od glinovitog silta. Pri dnu mjestimično se nalazi šljunak fluvijalnog porijekla, a u stupu taloga šljunkovite leće - lumakele makrofosila.

Jedinica (F₂) rasprostranjena je na većem prostoru Donjeg polja (sl. 2). Obuhvaća deluvijalne, proluvijalne i aluvijalne taloge izgrađene od silta, šljunka, pijesaka i muljevitog nanosa debljine do 2 m.

TEKTONIKA

Temeljne tektonske značajke istraživanog područja su borane i rasjedne strukture, kao dijelovi većih tektonskih struktura u šibenskom priobalju. Najmarkantnija je izdužena, asimetrična i složena sinklinala Donjeg polja (sl. 2), čija jezgra je izgrađena od naslaga fliša, a krila od karbonatnih naslaga santon-kampanske i starije paleogenske starosti. Sjeveroistočno krilo je snažno tektonski poremećeno nizom uzdužnih reverznih rasjeda (ljuskava struktura), kojima su gornjokredni i paleogenški vapnenci relativno kretani prema jugoistoku. Jugoistočno krilo ove sinklinala relativno je mimo s potpunim slijedom naslaga koje su prethodno opisane. Mladi, neotektonski rasjedi koji su dijagonalni ili vertikalni na starije reverzne rasjede, naknadno su poremetili prvotne strukture i konačno oblikovali recentni strukturni sklop ovog područja.

ZAKLJUČAK

Stratimetrijski promatrane i određene, za sada neformalne litostratigrafske jedinice, geološki su kartirane na relativno malom prostoru u okolici Morinjskog zaljeva. Ipak, mogu se izvući vrlo precizne usporedbe s definiranim gornjokrednim i paleogenskim sedimentima - litostratigrafskim jedinicama šireg jadranskog područja, koje imaju slična strukturno-teksturna i fosilna obilježja. Vjerujemo da će izneseni podaci biti od koristi istraživačima koji se bave formacijskom analizom ovih naslaga.

LITERATURA

- FUČEK, L., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., KOROLIJA, B. & OŠTRIĆ, N. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga jugoistočnog dijela Dugog otoka i njihova korelacija s istovremenim naslagama otoka Brača.- *Geol. vjesnik*, 23-33, Zagreb.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača.- *Jugosl. akad. znan. umjet. & Institut geol. istraž.*, Zagreb, 160 str.
- JURAČIĆ, M. (1979): Dubina sedimentacije "lapora s rakovicama" iz odnosa planktonskih i bentičkih foraminifera.- *Geol. vjesnik*, 31, 61-67, Zagreb.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. (1996): Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-Komenske planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine.- *Inštitut geol. geotehn. geofiz.*, Ljubljana, 143 str.
- MAGDALENIĆ, Z. (1972): Sedimentologija fliških naslaga srednje Istre.- *Acta geol.*, 7/2, 1-34, Zagreb.
- MAMUŽIĆ, P. (1975): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Šibenik.- *Inst. za geol. istr. Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd*, 37 str.
- PAVLOVEC, R. (1963): Stratigrafski razvoj starejšega paleogena v južnozahodni Sloveniji.- *Razprave 4. raz. SAZU*, 7, 421-556, Ljubljana.
- POLŠAK, A. (1986): Aktualni problemi moderne stratigrafije.- *Zbornik XI kong. geol. Jugosl.*, 2, 1-23, Tara.
- STACHE, G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte.- *Abh. K.K. geol. R.-A.*, 13/1, Wien, 170 str.





Geokemijske i mineraloške karakteristike miocenskih vulkanoklastita sjeverozapadne Hrvatske

Geochemical and Mineralogical Characteristics of Miocene Volcaniclastic Rocks from the North-Western Croatia

Darko TIBLJAŠ¹, Vanja LOPARIĆ¹, Dražen BALEN¹, Mirko BELAK²,
Marta CRNJAKOVIĆ³ & Josip HALAMIĆ²

Ključne riječi: vulkanoklastične stijene, geokemijske karakteristike, Hrvatska.

Key words: Volcaniclastic rocks, Geochemical characteristics, Croatia.

Sažetak

Miocenski vulkanoklastiti u sjeverozapadnoj Hrvatskoj zastupljeni su različitim varijetetima kiselih do neutralnih "tufova" i tufita. Modalni sastav većine stijena izmijenjen je alteracijskim procesima, pa je vulkansko staklo bitan sastojak samo u tufovima s Kalnika, a u svim ostalim stijenama determinirani su minerali glina i zeoliti. Rezultati diskriminantne statističke analize ukazuju na egersko-egenburšku starost svih analiziranih stijena osim badenskih bentonita Poljanske Luke. Sadržaj mikroelemenata u diferenciranim stijenama ukazuje na magmatizam vezan uz završnu fazu subdukcije odnosno kolizije.

Abstract

Miocene volcaniclastic rocks in north-western Croatia are represented by different varieties of acid to neutral "tuffs" and tuffites. Modal composition of the rocks was strongly affected by alteration processes. Volcanic glass is still one of the major components only in samples from Kalnik Mt., while clay minerals and zeolites are ubiquitous components. Results of the discriminant analysis indicate Egerian-Eggenburgian age of all samples except of bentonites from Poljanska Luka that are Badenian. Microelement content of the differentiated rocks is consistent with magmatism that is linked with late stages of subduction and collision.

1. UVOD

Kao što je iz literature poznato (PAMIĆ, 1997), u Savsko-dravskom međurječju pojavljuju se vulkaniti neogenske starosti. Vulkaniti s piroklastitima egersko-egenburške starosti površinski se javljaju u petnaestak manjih pojava andezita i piroklastita, duž rasjedne zone Hum na Sutli - Varaždinske toplice. Podzemne pojave tih vulkanita nalazimo u potolinama: Murskoj, Dravskoj i Slavonsko-srijemskoj. Karpatska trahandezitna formacija ima malo rasprostiranje. Na površini se javlja u području Lončarskog visa na Krmđiji, udružena s trahandezitnim tufovima. U dubokim bušotinama registrirana je samo u Dravskoj potolini. Stijene badenske and-

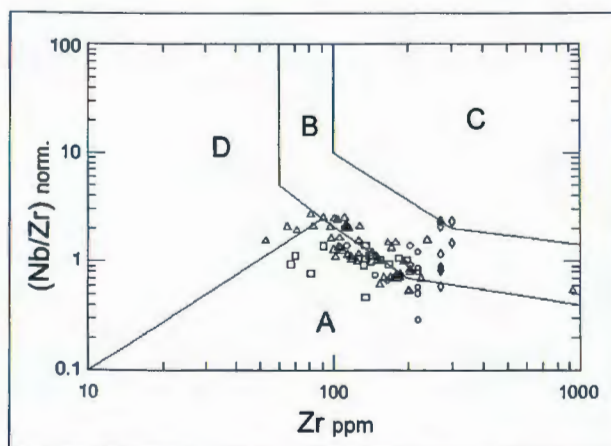
ezitno-bazaltne formacije rasprostranjene su od najzapadnijih do najistočnijih dijelova Savsko-dravskog međurječja i Baranje.

U okviru ovog rada načinjene su mineraloške i geokemijske analize neogenskih vulkanoklastita, kao i stijena nastalih njihovom alteracijom, npr. bentonita. Analizirani su bentoniti iz Poljanske Luke i Šaše, te "tufovi" iz okolice Hromca, Jesenja, Vuglovca, Podruta, Moždenca, kao i oni koji se pojavljuju na Kalniku. Veći dio uzoraka prikupljen je tijekom izrade rada, ali su analizirani i uzorci "dacita" koje je opisao KIŠPATIĆ (1909), a nalaze se pohranjeni u Hrvatskom prirodoslovnom muzeju (inv. broj. 600: ZAG; 7113 i 7115: MP1).

¹ Mineraloško-petrografski zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac b.b., HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³ Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 3 Projekcija analiziranih vulkanoklastita i vulkanita sjeverozapadne Hrvatske te literaturnih podataka za miocenske efuzivne Savsko-dravskog međurječja (PAMIĆ, 1997) na dijagramu prema THIÉBLEMONT & TÉGYEY (1994) za razlikovanje diferenciranih stijena prema geotektonskom smještaju: A = subdukcijske zone i zalučni bazeni, B = kontinentalne kolizijske zone, C = alkalne i prijelazne provincije unutar ploča te oceanski otoci, D = peraluminijske stijene kolizijskih zona. Egerski vulkaniti označeni su kvadratićima, karpatski rombovima, badenski kružićima, a vulkanoklastiti trokutima.

Fig. 3 Plot of the analysed Miocene volcaniclastic and volcanic rocks from the north-western Croatia as well as literature data for Miocene volcanic rocks from the Sava-Drava interfluvium (PAMIĆ, 1997) on diagram for discrimination of differentiated rocks according to their tectonic setting: A = subduction zones and back-arc basins, B = continent/continent collision zones, C = within-plate continental alkaline to transitional provinces and oceanic islands, D = continent/continent collision peraluminous rocks (THIÉBLEMONT & TÉGYEY, 1994). Egerian volcanic rocks are shown by squares, Karpatian by diamonds, Badenian by circles, while volcaniclastics are represented by triangles.

ukazuju na magmatizam vezan uz završnu fazu subdukcije odnosno kolizije kao što je to već ranije ustanovljeno za bazične stijene. Takav magmatizam može se objasniti modelom nastavljanja subdukcijskog procesa ("slab-breakoff" model - VON BLANCKENBURG et al., 1998) koji je primjenjen i na području Periadriatskog lineamenta. Prema tom modelu otkinuće podvučene oceanske litosfere tijekom kontinentalne kolizije ima za posljedicu post-kolizijski magmatizam uzrokovani kretanjem i taljenjem ploče unutar plašta. Takav model uklapa se u opću sliku evolucije šireg područja (PAMIĆ, 1998).

3. LITERATURA

- BRAUN, K. (1991): Mineraloško-petrografske karakteristike i geneza ležišta bentonitnih glina Maovica, Gornje Jelenske, Bednje i Poljanske Luke.- *Acta geologica*, 21/1, 1-34, Zagreb.
- FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A. (1978): Identification and discrimination of altered and metamorphosed volcanic rocks using immobile elements.- *Chem. Geol.*, 21, 291-306.
- KIŠPATIĆ, M. (1909): Dacit od Moždjenca kod Novog Marofa.- *Rad JAZU*, 179, 63-67, Zagreb.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A. & ZANNETTIN, B. (1986): A chemical classification of volcanic rocks based on total alkali-silica diagram.- *Jour. of Petrol.*, 27, 745-750.
- PAMIĆ, J. (1997): Vulkanске stijene Savsko-dravskog međurječja i Baranje (Hrvatska).- *Nafta*, Zagreb, VIII+192 str.
- PAMIĆ, J. (1998): Crystalline basement of the South Pannonian Basin based on surface and subsurface data.- *Nafta*, 49/12, 371-390, Zagreb.
- THIÉBLEMONT, D. & TÉGYEY, M. (1994): Une discrimination géochimique des roches différenciées témoin de la diversité d'origine et de situation tectonique des magmas calco-alkalins.- *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, série II*, 319, 87-94, Paris.
- TIBLJAŠ, D. (1996): Zeoliti i drugi produkti alteracijskih procesa u oligocenskim i donjomiocenskim piroklastitima na širem području Macelja.- *Disertacija*, Sveučilište u Zagrebu, 167 str.
- VON BLANCKENBURG, F., KAGAMI, H., DEUTSCH, A., WIENDENBECK, M., OBERLI, F., MEIER, M., BARTH, S. & FISCHER, H. (1998): The origin of Alpine plutons along the Periadriatic Lineament.- *Schweiz. Mineral. und Petrogr. Mitt.*, 78, 57-68.





Kinematske značajke srednjomiocenske ekstenzije u području Samoborskog gorja

Middle Miocene Extensional Kinematics at Mt. Samoborsko Gorje

Bruno TOMLJENVIĆ

Ključne riječi: Panonski bazen, srednjomiocenska ekstenzija, rasjedna kinematika, polja paleonaprezanja.

Key words: Pannonian Basin, Middle Miocene extension, Fault kinematics, Paleostress fields.

Sažetak

Rad prikazuje rezultate strukturne analize rasjeda za koje se pretpostavlja da su svojom aktivnošću doveli do otvaranja/širenja bazenskih prostora tijekom srednjeg miocena u hrvatskom dijelu Panonskog bazena sjeverno od Zagreb-Zemljen lineamenta. Prema kinematskoj kompatibilnosti rasjedi su podijeljeni u dvije populacije. Prvu čini konjugirani sustav lijevih i desnih rasjeda SI-, odnosno SZ-pružanja, nastalih u okviru polja paleonaprezanja obilježenog kompresijom S-J i ekstenzijom I-Z. Drugu čini konjugirani sustav normalnih rasjeda SI-pružanja kojima odgovara polje paleonaprezanja s naglašenom ekstenzijom SZ-JI. Prva populacija rasjeda objašnjava se inicijalnim stadijem otvaranja, a druga stadijem otvaranja/širenja bazenskih prostora unutar transtenzijskih zona nastalih uz lijeve rasjede SI-pružanja tijekom srednjeg miocena.

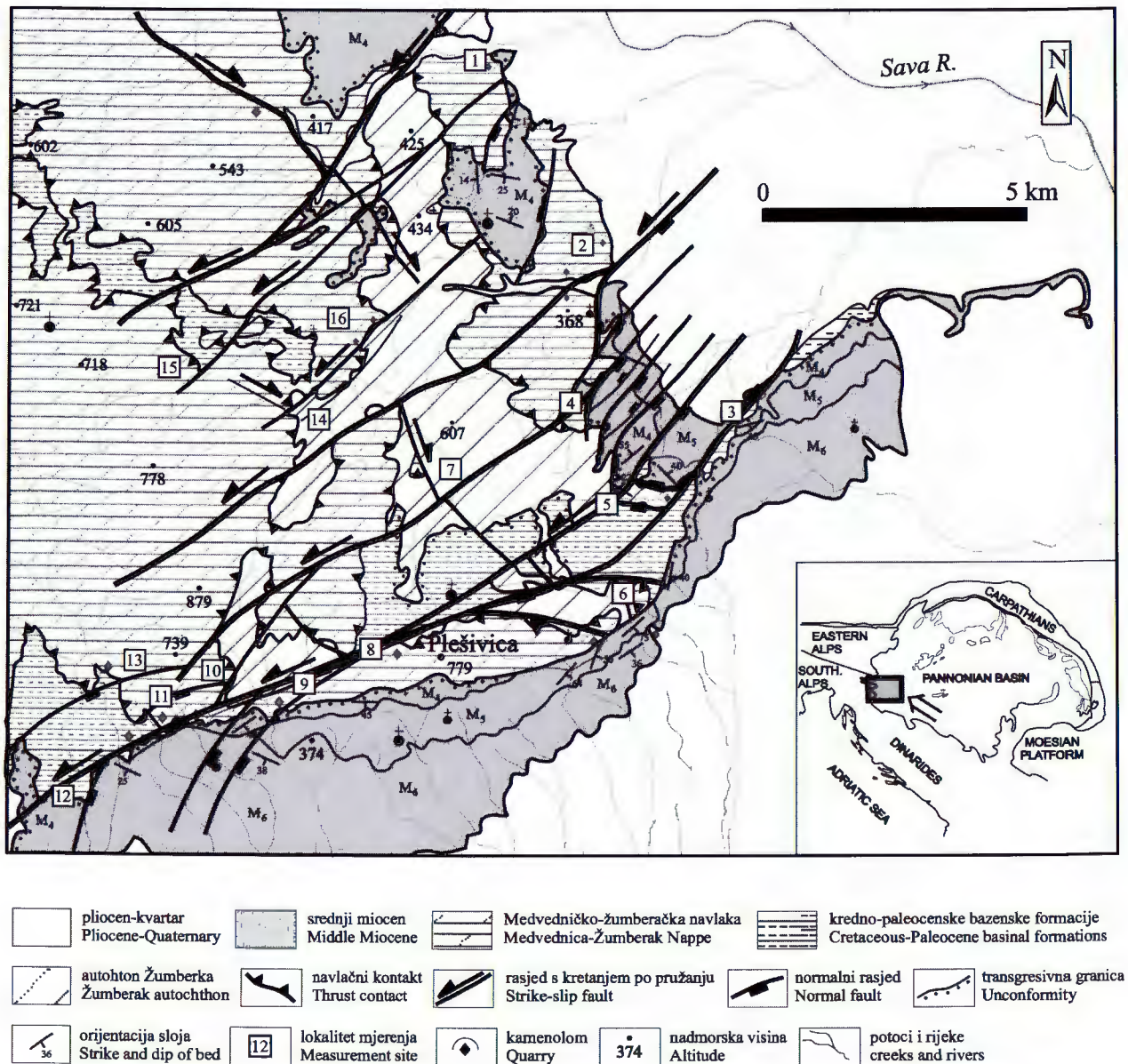
Abstract

The paper presents the results of structural analysis of faults presumably related to the opening/widening of basins in the Croatian part of the Pannonian Basin, north of Zagreb-Zemljen lineament during the Middle Miocene. Due to their kinematic compatibility they are separated into two populations. The first one comprises conjugate system of NE-striking sinistral and NW-striking dextral faults related to paleostress field with N-S compression and E-W directed extension. The second comprises conjugate NE-striking normal faults related to paleostress field with NW-SE directed extension. The former is interpreted as being related to the initial stage of the basin formation, and the later to the opening/widening stage localized within transtensional zones along sinistral NE-striking faults during the Middle Miocene.

1. UVOD

U razvitku Panonskog bazenskog sustava (PBS) razdoblje srednjeg miocena (baden - sarmat - donji panon; 16,5-11 Ma prema STEININGER et al., 1988) obilježava svuda prisutna ekstenzija koja dovodi do otvaranja novih i širenja već ranije stvorenih bazenskih prostora. Premda prisutan na cijelom prostoru PBS srednjomiocenski ekstenzijski događaj nije, međutim, posvuda rezultirao istovjetnom kinematikom otvaranja i širenja bazenskih prostora (vidi CSANTOS, 1995). Ponegdje je ona predodređena reaktiviranjem predneogenskih navičnih ploha koje sada postaju normalni rasjedi blagog nagiba, često i regionalnog značaja na rubovima tektonskih graba ili polugraba (npr. TARI, 1994), a ponegdje je rezultat stvaranja transtenzijskih rasjednih zona i otvaranja romboidnih (*pull-apart*) graba (npr. FODOR, 1995; PRELOGOVIĆ et al., 1995). Bazenski prostori na jugozapadnom rubu PBS prema Dinaridima, na području sjeverozapadne Hrvatske, u istom su razdoblju ili započeli svoj inicijalni stadij otvaranja ili su u stadiju naglašenog širenja (npr. bazen Hrvatskog zagorja, Kar-

lovačka uleknina, Savska i Dravska potonina) što dovodi do gotovo posvuda zabilježene badenske transgresije na stariju podlogu. Prema PRELOGOVIĆ et al. (1995 - sl. 1b, 1998 - sl. 2 i 5) kinematika otvaranja i širenja ovih bazena međusobno se bitno razlikuje: oni smješteni sjeverno od zone Medvedničkog rasjeda interpretirani su otvaranjem romboidnih graba u transtenzijskim zonama omeđenim lijevim rasjedima SI-pružanja (uleknine u bazenu Hrvatskog zagorja), dok se oni smješteni južno od Medvedničkog rasjeda pa do zapadnog ruba Slavonskih planina interpretiraju kao tektonske polugrabe nastale spuštanjem krovinskih krila po listričkim rasjedima sjeverozapadnog pružanja. Ovaj rad donosi podatke o orijentaciji, geometriji i kinematskim značajkama rasjeda za koje se pretpostavlja da su pridonijeli otvaranju bazenskih prostora na sjevernom i južnom rubu Samoborskog gorja, dakle u zapadnom produžetku bazena Hrvatskog zagorja i u Karlovačkoj uleknini, tijekom srednjeg miocena. Mjereni podaci omogućili su i rekonstrukciju orijentacije glavnih osi polja naprezanja koje je predodredilo rasjednu kinematiku. Na kraju, predstavlja se i kinematski model kojim se objašnjava



Sl. 1 Geološka karta Samoborskog gorja (prema ŠIKIĆ et al., 1977) i raspored rasjeda aktivnih tijekom srednjeg miocena.

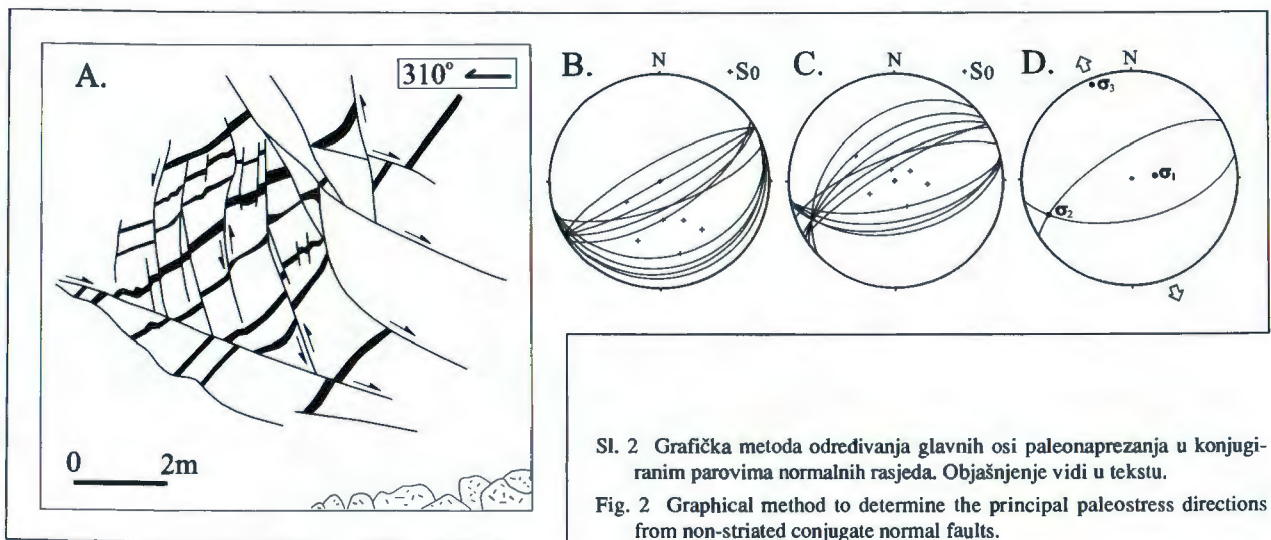
Fig. 1 Geological map of Mt. Samoborsko gorje (after ŠIKIĆ et al., 1977) showing faults active during the Middle Miocene.

razvoj i otvaranje bazenskih prostora tijekom srednjeg miocena u okolnom području Samoborskog gorja i sjeverno od današnjeg pružanja Medvedničkog rasjeda.

2. METODE

Kinematski podaci o srednjomiocenskim rasjedima (ukupno 119 analiziranih rasjednih ploha) zabilježeni su unutar predneogenskih strukturnih jedinica Samoborskog gorja na 33 izdanka grupiranih u 16 lokaliteta (sl. 1). Prema kinematskoj kompatibilnosti rasjedi su podijeljeni u dvije populacije od kojih prva obuhvaća rasjede s kretanjem po pružanju, a druga rasjede s dominantnom normalnom komponentom kretanja. Za rasjede sa dobro očuvanim kinematskim pokazateljima prav-

ca i smjera kretanja krila (73 rasjeda) orijentacija glavnih osi paleonapreznja determinirana je metodom koju predlažu ANGELIER & MECHLER (1977), dok se za rasjede na čijim ploham kinematski pokazatelji nisu sačuvani (56 rasjeda), ali se jasno mogla utvrditi njihova kinematska kompatibilnost i konjugirani karakter (sl. 2), koristila grafička metoda koja slijedi Coulombov zakon sloma (vidi npr. DAVIS & REYNOLDS, 1996). Kod ovakvog tipa rasjeda, u slučaju kada je bilo očito da su rasjedna krila osim translacije doživjela i značajniju rotaciju (sl. 2A), mjereni podaci (sl. 2B) su prethodno povratno rotirani da bi se doveli u pretpostavljenu orijentaciju prije rotacije krila (sl. 2C). Budući da je za pojedini set rasjeda u takvim slučajevima najčešće mjereno nekoliko rasjednih ploha za proračun se koristio podatak o njihovoj prosječnoj orijentaciji (sl. 2D).



Sl. 2 Grafička metoda određivanja glavnih osi paleonapreznja u konjugiranim parovima normalnih rasjeda. Objašnjenje vidi u tekstu.

Fig. 2 Graphical method to determine the principal paleostress directions from non-striated conjugate normal faults.

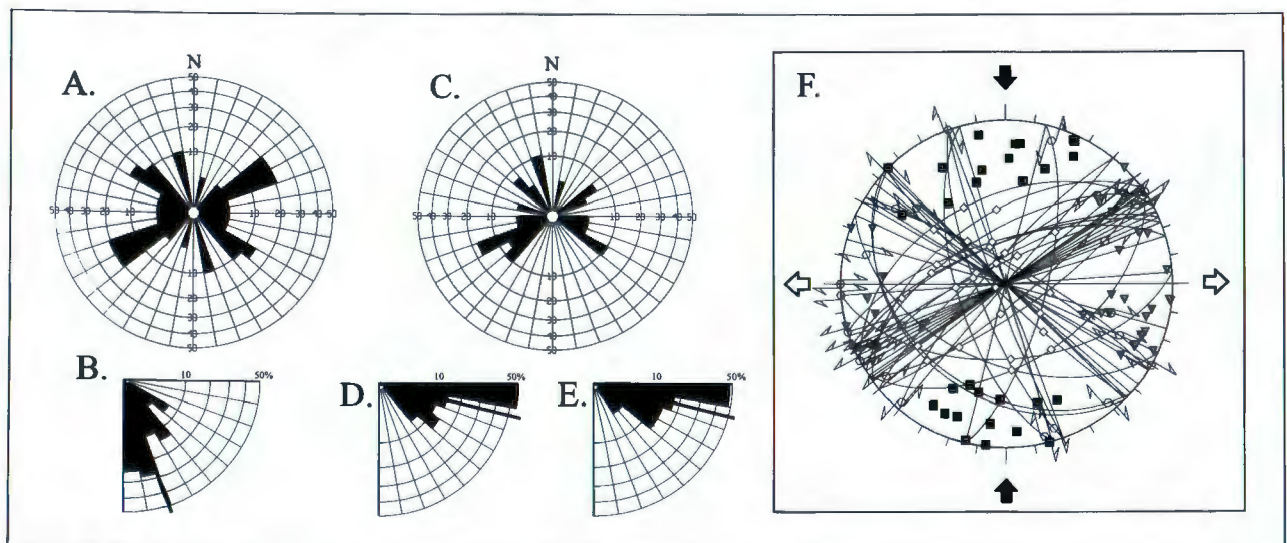
3. REZULTAT

Prema kinematskoj kompatibilnosti među zabilježenim rasjedima mogle su se izdvojiti dvije populacije rasjeda: konjugirani sustav rasjeda s kretanjem po pružanju i konjugirani sustav normalnih rasjeda.

3.1. KONJUGIRANI SUSTAV RASJEDA S KRETANJEM PO PRUŽANJU

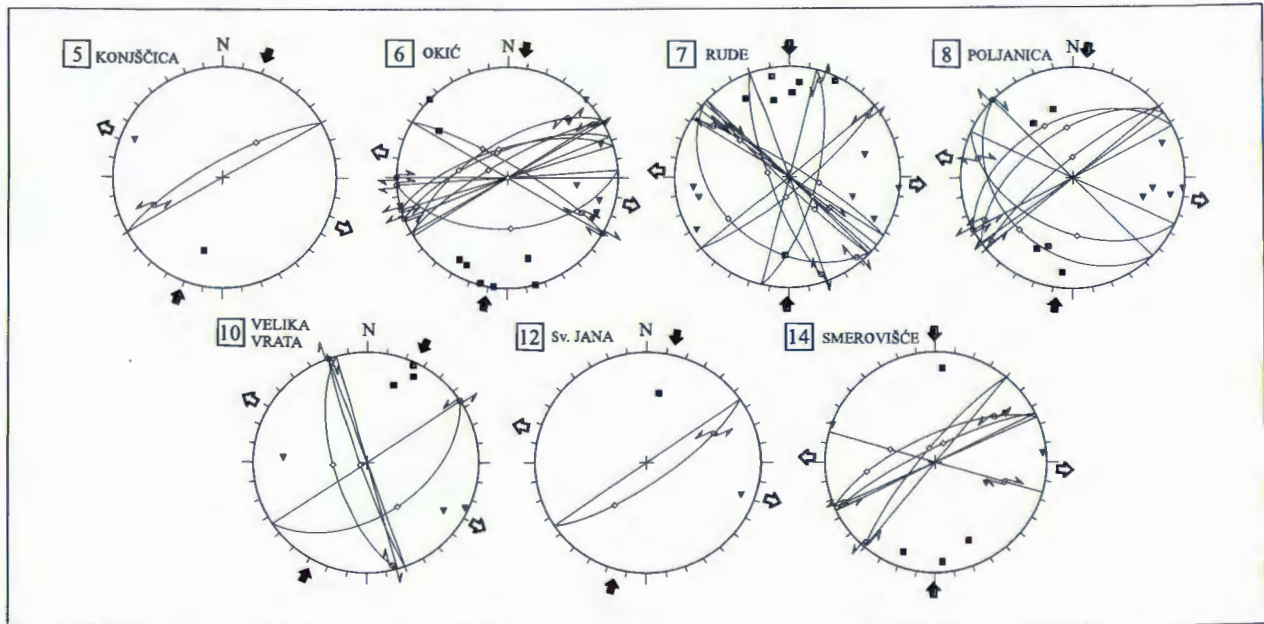
Ovi su rasjedi zabilježeni na 26 izdanaka grupiranih u 7 lokaliteta. Ukupno je zabilježeno 39 rasjeda, s dobro očuvanim kinematskim pokazateljima pravca i smjera kretanja krila, vrlo dobre pouzdanosti. Dijagram pru-

žanja pokazuje dva dominantna seta, jedan sa ISI-pružanjem, a drugi sa SZ-pružanjem (sl. 3A). Gotovo polovina rasjeda (40%) pokazuje ISI-pružanje (između 50 i 70°) dok drugih 35% pokazuje SZ-pružanje (25% između 300-320°, 10% između 340-350°). Kut nagiba rasjeda varira od 30-90°, s prosječnom vrijednošću od 70° (sl. 3B). Dijagram smjera nagiba strija (sl. 3C) pokazuje dominaciju nagiba prema SI i JZ, te prema SZ i JI, dakle paralelno s pružanjem rasjednih ploha. Razlog tome leži u činjenici da su na više od polovine zabilježenih rasjeda izmjerene strije s kutem nagiba manjim od 10° (sl. 3D), odnosno s prosječnim kutem otklona



Sl. 3 Konjugirani sustav lijevih i desnih rasjeda SI- i SZ-pružanja: A) dijagram pružanja rasjeda; B) dijagram kuteva nagiba rasjeda; C) dijagram smjera nagiba strija; D) dijagram kuteva nagiba strija; E) dijagram otklona strija od pružanja rasjeda; F) proračun orijentacije glavnih osi paleonapreznja; Schmidtova mreža, donja polukugla. Legenda: kvadrati - osi kompresije; trokuti - osi tenzije; rombovi - srednje osi; crne strelice - smjer kompresije; bijele strelice - smjer ekstenzije.

Fig. 3 Sinistral and dextral conjugate NE- and NW-striking faults: A) strike of faults; B) dip of faults; C) trend of striae; D) plunge of striae; E) pitch of striae; F) orientation of principal stress axes; Schmidt lower-hemisphere net. Legend: black squares - compression axis; triangles - tension axis; rhombs - intermediate axis; black arrows - direction of compression; white arrows - direction of extension.



Sl. 4 Konjugirani sustav lijevih i desnih rasjeda SI- i SZ-pružanja i proračun orijentacije glavnih osi paleonapreznja za pojedine lokalitete. Schmidtova mreža, donja polukugla (za položaj lokaliteta vidi sl. 1; za legendu vidi sl. 3).

Fig. 4 Sinistral and dextral conjugate NE- and NW-striking faults and orientation of principal stress axes for different locations. Schmidt lower-hemisphere net (see Fig. 1 for locations; see Fig. 3 for legend).

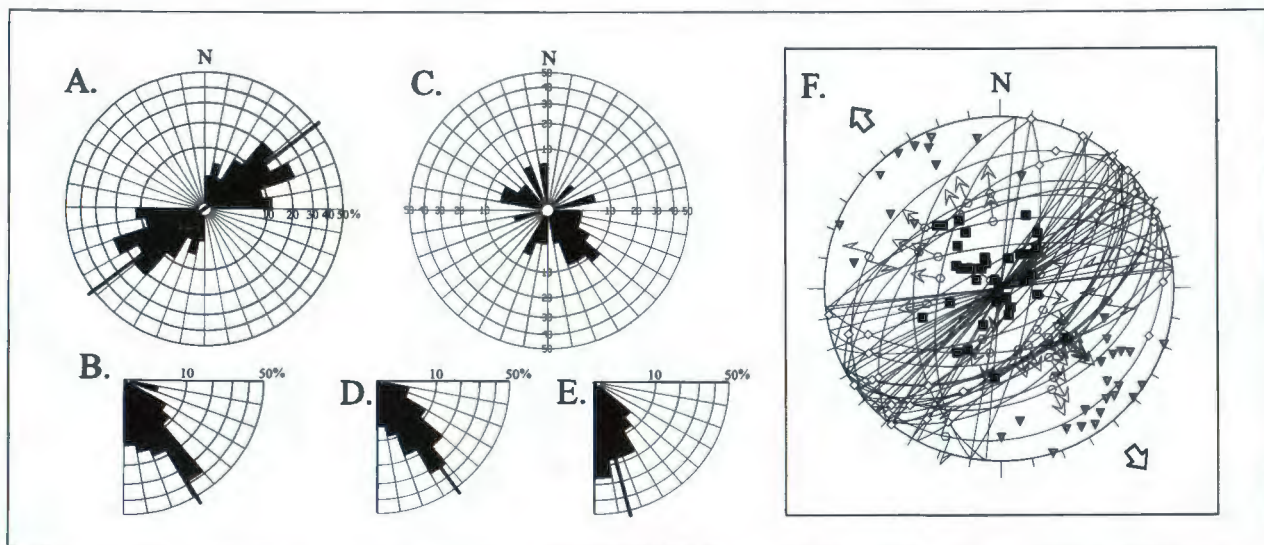
(ili zakosa) od 13° (sl. 3E) što dokazuje naglašeni karakter kretanja po pružanju za ove rasjede. Stereografska projekcija rasjeda i kinematskih pokazatelja (sl. 3F) jasno pokazuje da je set rasjeda SZ-pružanja desnog, a set SI-pružanja lijevog karaktera kretanja krila. Isti dijagram pokazuje i orijentaciju glavnih osi paleonapreznja s koncentracijom polova osi kompresije i tenzije blizu perifernog kruga, prvih uzduž promjera S-J, a drugih po promjeru I-Z. Polovi srednje osi koncentrirani su u središtu dijagrama. Kada se podaci analiziraju odvojeno, prema lokalitetima, vidi se da osi kompresije i tenzije pokazuju sporadično i određeni odklon od opće utvrđene orijentacije i to prema SSI, odnosno prema IJI (sl. 4). Ipak može se zaključiti da analizirani rasjedi čine konjugirani rasjedni sustav koji čine lijevi i desni rasjedi, SI-, odnosno SZ-pružanja, nastali u okviru polja paleonapreznja obilježenog kompresijom S-J i ekstenzijom I-Z.

3.2. KONJUGIRANI SUSTAV NORMALNIH RASJEDA

Ukupno 34 rasjedne plohe sa dobro očuvanim kinematskim pokazateljima zabilježene su na 19 izdanaka. Pored toga, zabilježeno je i 56 normalnih rasjeda na kojima nisu zabilježeni kinematski pokazatelji zbog intenzivnog kemijskog i mehaničkog trošenja stijena u kojima su nastali (većinom u gornjotrijaskim dolomitima). Ovi su rasjedi, međutim, korišteni i za proračun osi paleonapreznja i to u slučaju kada se na temelju translacije pojedinih slojeva mogao jasno utvrditi njihov normalni karakter i kada su, zajedno sa ostalim rasjedima normalnog karaktera na izdanku, činili konjugirani par normalnih singenetskih rasjeda.

3.2.1. Normalni rasjedi sa dobro očuvanim kinematskim pokazateljima

Dijagram pružanja ovih rasjeda pokazuje dominaciju SI-pružanja, s prosječnom vrijednosti pružanja $52-232^\circ$ (sl. 5A). Više od 50% ovih rasjeda pruža se unutar intervala $40-70^\circ$. Većina rasjeda, gotovo 40%, pokazuje kut nagiba između 50 i 60° , s prosječnom vrijednosti od 59° (sl. 5B) što je podudarno s teoretski očekivanim vrijednostima za kut nagiba kod normalnih rasjeda koji slijede Coulombov zakon sloma (DAVIS & REYNOLDS, 1996). Određeni broj rasjeda (oko 20%), međutim, pokazuje veći kut nagiba, između 70 i 90° , ali i vrlo blagi nagib, između 10 i 20° . Izrazito strmi nagib rasjednih ploha može se objasniti reaktiviranjem prijašnjih rasjeda s kretanjem po pružanju u rasjede s normalnim kretanjem krila o čemu svjedoče i kinematski pokazatelji mjereni na rasjednim ploham. Pojava normalnih rasjeda vrlo blagog nagiba može se objasniti višestruko. Prvo, na nekoliko je izdanaka zapažena pojava normalnih rasjeda listričke geometrije kod kojih se nagib rasjedne plohe idući od površine prema dubini postupno mijenja od približno 60° pa do 20 i 10° . Drugo objašnjenje leži u mogućnosti da se prvotno stvoreni normalni rasjed s uobičajenim nagibom od 60° dovede u blaže nagnuti položaj naknadnom rotacijom, obično kao dio krovnog krila nekog većeg listričkog normalnog rasjeda. Ova je mogućnost također potvrđena terenskim opažanjem (sl. 2A). Treće, ovakva pojava može se objasniti i reaktiviranjem ranije stvorenih reversnih rasjeda stvorenih u vrijeme smještaja Medvedničko-žumberačke navlake (vjerojatno tijekom eocena). Ova mogućnost nije za sad dokazana terenskim opažanjem na istraživanom području, ali je inače čest slučaj u PBS tijekom sred-



Sl. 5 Konjugirani sustav normalnih rasjeda SI-pružanja: A) dijagram pružanja rasjeda; B) dijagram kuteva nagiba rasjeda; C) dijagram smjera nagiba strija; D) dijagram kuteva nagiba strija; E) dijagram otklona strija od pružanja rasjeda; F) proračun orijentacije glavnih osi paleonapreznja; Schmidtova mreža, donja polukugla. Za legendu vidi sl. 3.

Fig. 5 Conjugate NE-striking normal faults: A) strike of faults; B) dip of faults; C) trend of striae; D) plunge of striae; E) pitch of striae; F) orientation of principal stress axes; Schmidt lower-hemisphere net. For legend see Fig. 3.

njeg miocena (npr. TARI, 1994; CSONTOS & NAGY-MAROSY, 1998). Dijagram smjera nagiba strija zabilježenih na ovim rasjedima pokazuje dominaciju onih s nagibom prema JI, odnosno SZ (sl. 5C), dakle okomito na pružanje rasjeda, što odgovara normalnim rasjedima. Isto potvrđuje i dijagram kuta nagiba strija (sl. 5D) s prosječnom vrijednošću od 53° , odnosno dijagram otklona strija od pružanja rasjeda s prosječnom vrijednošću od 76° (sl. 5E). Stereografska projekcija rasjeda i kinematskih pokazatelja ukazuje da većina ovih rasjeda tvori konjugirani sustav normalnih rasjeda SI-pružanja (sl. 5F). Polovi osi kompresije koncentrirani su u središtu dijagrama, osi tenzije i srednje osi uz periferni krug što odgovara polju paleonapreznja s naglašenom SZ ekstenzijom. Analizirani pojedinačno, prema lokalitetima opažanja, mjereni podaci pokazuju dominaciju istog polja s naglašenom SZ ekstenzijom uz sporadičan otklon tenzijske osi prema zapadu i sjeveru (sl. 6).

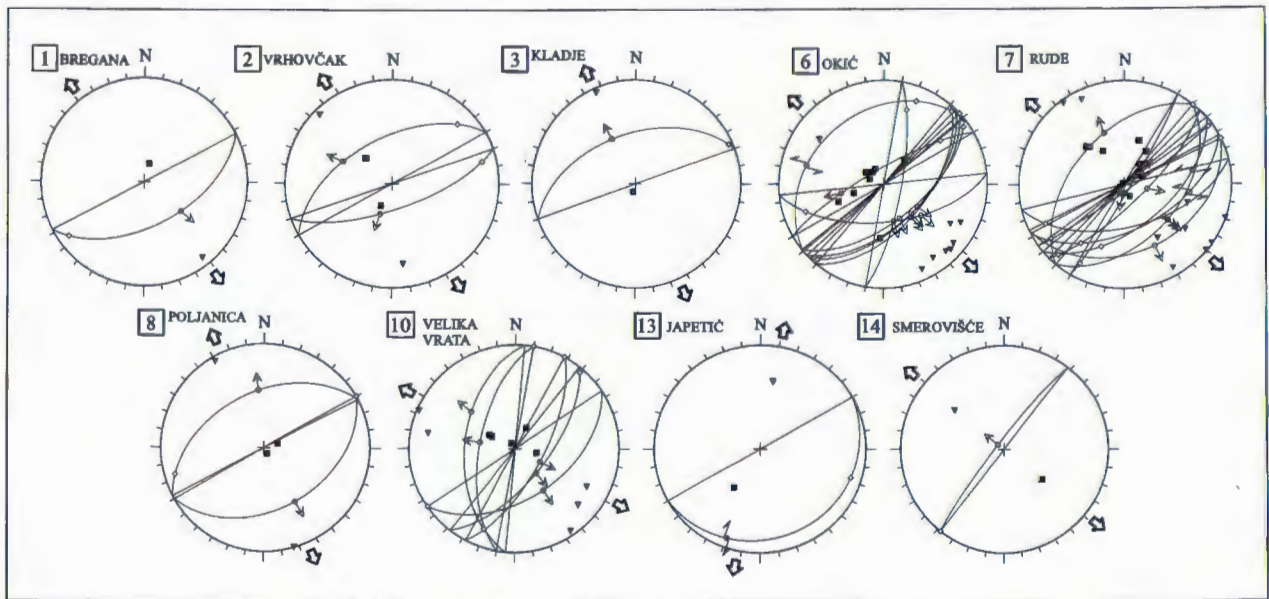
3.2.2. Normalni rasjedi bez kinematskih pokazatelja

Velika većina ovih rasjeda (oko 80%) ima SI pružanje prosječne orijentacije $60-240^\circ$ i kut nagiba između 40 i 80° s prosječnom vrijednošću od 58° (sl. 7A i B), čime se ne razlikuju od prethodno opisanih normalnih rasjeda kod kojih su kinematski pokazatelji dobro sačuvani. Na izdancima redovito dolaze u konjugiranim parovima (sl. 2A). Proračun orijentacije glavnih osi paleonapreznja za svaki pojedini lokalitet pokazuje gotovo uvijek isti raspored: pol najdulje osi napreznja σ_1 projicira se u središte ili blizu središta dijagrama, dok se najkraća i srednja os, σ_3 i σ_2 , projiciraju na trag perifernog kruga ili blizu njega (sl. 8) Ovakav raspored glavnih osi napreznja odgovara polju napreznja s jasno naglašenom SZ-ekstenzijom (sl. 7C).

4. STAROST RASJEDA I ODGOVARAJUĆIH POLJA PALEONAPREZNJA

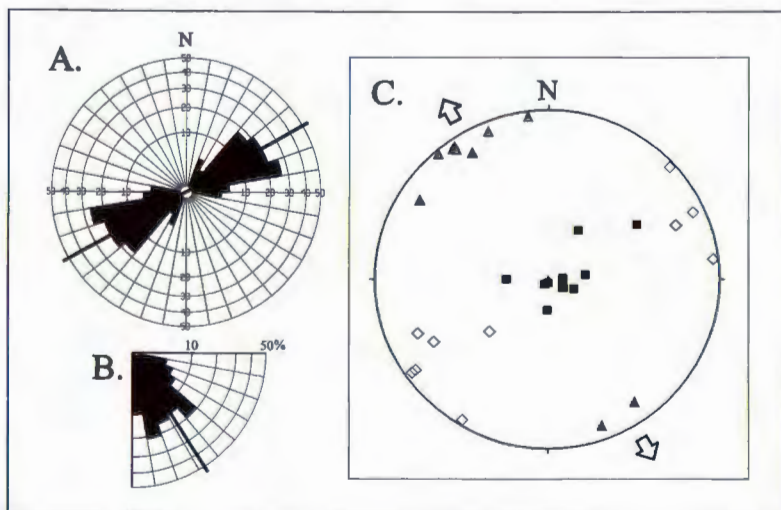
Srednjomiocenska starost rasjeda pretpostavlja se na temelju nekoliko činjenica. Prvo, praktički svi opisani rasjedi zabilježeni su u stijenama starijim od srednjeg miocena. Drugo, pružanje normalnih rasjeda po kojima se ostvaruje ekstenzija prema SZ i JI paralelno je sa SI-pružanjem bazenskih prostora u zoni i sjeverno od Medvedničkog rasjeda tijekom srednjeg miocena (PRELOGOVIĆ et al., 1995, sl. 1b). Pružanje normalnih rasjeda također je paralelno recentnom pružanju struktura u neogenskim bazenima sjeverno i južno od Samoborskog gorja (Krško bazen i Karlovačka uleknina) koji su u vrijeme srednjeg miocena doživjeli stadij najintenzivnijeg otvaranja. Treće, geometrijske i kinematske značajke rasjeda i njima odgovarajuća polja paleonapreznja podudarni su s podacima zabilježenim u istočnim Alpama i u području PBS sjeverno od Zagreb-Zemplen lineamenta za vrijeme srednjeg miocena. Za sustav konjugiranih lijevih i desnih rasjeda SI-, odnosno SZ-pružanja i njima odgovarajuće polje paleonapreznja utvrđena je starost u raponu oligocen?-donji/srednji miocen (LINZER et al., 1997; PERESSON & DECKER, 1997), dok je za polje paleonapreznja sa ekstenzijom SZ-JI utvrđena nešto manja starost, u rasponu gornjeg badena i sarmata (BADA et al., 1996; pregledno u BADA, 1999).

Relativna starost između dva rasjedna sustava nije terenski jednoznačno utvrđena. Naime, zabilježeno je reaktiviranje rasjeda s kretanjem po pružanju u normalne i obratno što se može objasniti čestom promijenom karaktera polja paleonapreznja tijekom neogena i kvartara, ali i mogućoj, barem djelomično, istovremenoj aktivnosti jednog i drugog sustava.



Sl. 6 Konjugirani sustav normalnih rasjeda SI-pružanja i proračun orientacije glavnih osi paleonapreznja za pojedine lokalitete. Schmidtova mreža, donja polukugla (za položaj lokaliteta vidi sl. 1; za legendu vidi sl. 3).

Fig. 6 Conjugate NE-striking normal faults and orientation of principal stress axes for different locations. Schmidt lower-hemisphere net (see Fig. 1 for locations; see Fig. 3 for legend).



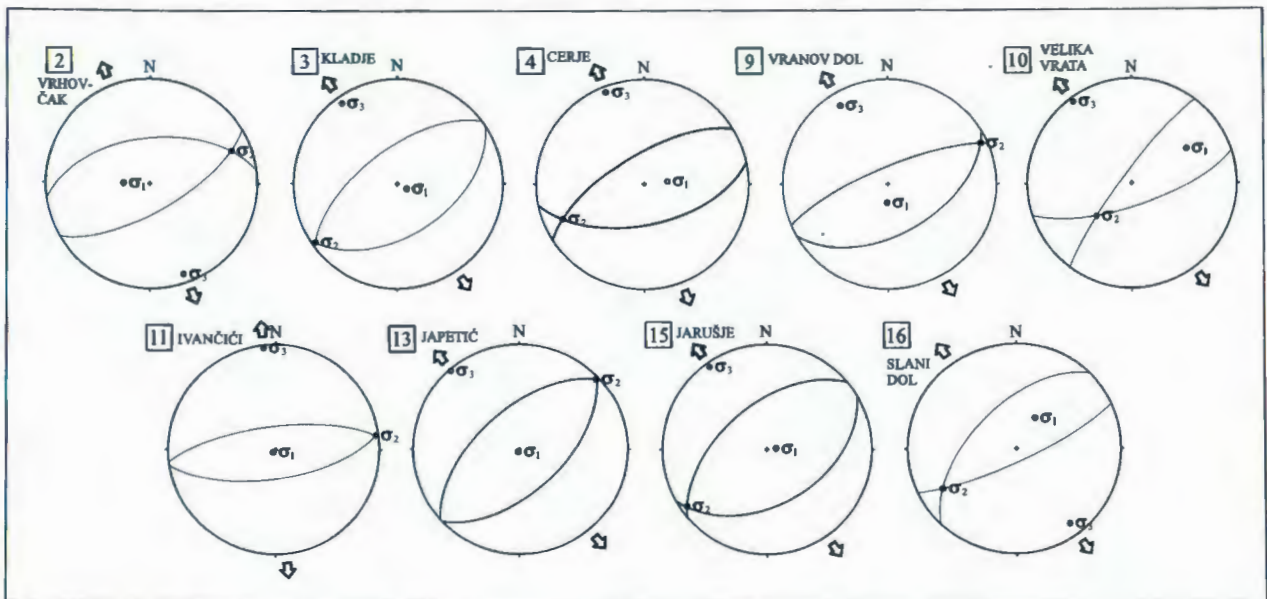
Sl. 7 Konjugirani sustav normalnih rasjeda SI-pružanja: A) dijagram pružanja rasjeda; B) dijagram kuteva nagiba rasjeda; C) orientacija glavnih osi paleonapreznja; Schmidtova mreža, donja polukugla. Za legendu vidi sl. 3.

Fig. 7 Conjugate NE-striking normal faults: A) strike of faults; B) dip of faults; C) orientation of principal stress axes; Schmidt lower-hemisphere net. For legend see Fig. 3.

5. INTERPRETACIJA PODATAKA - KINEMATSKI MODEL

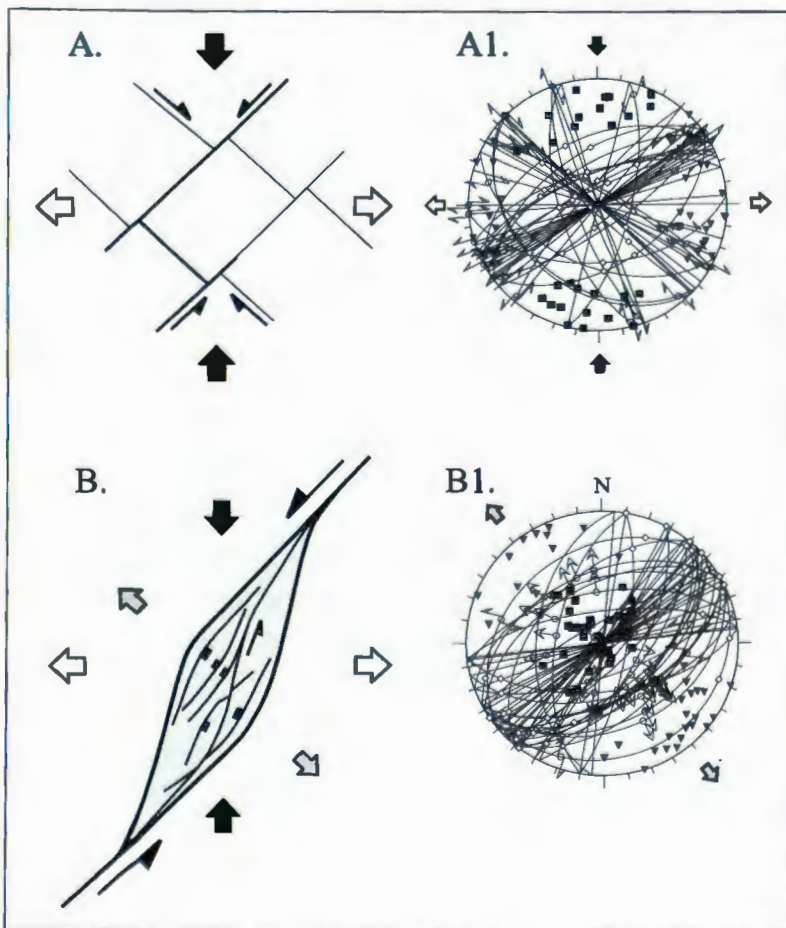
Pretpostavljeni kinematski model temelji se na rekonstrukciji strukturnih odnosa u vrijeme srednjeg miocena koju predlažu PRELOGOVIĆ et al. (1995), podacima o rasjedinim sustavima prikazanim u ovom radu kao i onim poznatim iz literature za područje PBS sjeverno od Zagreb - Zemplen lineamenta za isto vremensko razdoblje. Inicijalni stadij otvaranja bazenskih prostora sjeverno od tog lineamenta uglavnom je predodređen dominantnim sustavom konjugiranih lijevih i desnih rasjeda SI- i SZ-pružanja naslijeđenih iz razdoblja oligocen? - donji/srednji miocen (PERESSON & DECKER, 1997) kao posljedice zadiranja Apulijske ploče prema sjeveru i kolizije s Europskom pločom u području

Alpa, te lateralne translacije i ekstruzije rasjedima omeđenih blokova prema istoku u područje PBS (model *escape* tektonike prema KÁZMÉR & KOVÁCS, 1985; RATSCHBACHER et al., 1991). Duž lijevih rasjeda SI-pružanja lokalno su stvorene transtenzijske zone sa stvaranjem romboidnih graba i polu-graba (MÁRTON & FODOR, 1995). Ovi rasjedi posljedica su polja paleonapreznja s dominantnom kompresijom S-J i ekstenzijom I-Z i po svojoj orijentaciji, geometrijskim i kinematskim značajkama odgovaraju sustavu konjugiranih lijevih i desnih rasjeda SI-, odnosno SZ-pružanja zabilježenih u području Samoborskog gorja (sl. 9A). Na temelju strukturne i litostratigrafske analize neogenskih naslaga hrvatskog dijela PBS sjeverno od Zagreb - Zemplen lineamenta PRELOGOVIĆ et al. (1995) su dokumentirali da je glavnina ekstenzije i otvaranja tijekom



Sl. 8 Konjugirani sustav normalnih rasjeda SI-pružanja i proračun orientacije glavnih osi paleonaprežanja za pojedine lokalitete. Schmidtova mreža, donja polukugla (za položaj lokaliteta vidi sl. 1; za legendu vidi sl. 3).

Fig. 8 Conjugate NE-striking normal faults and orientation of principal stress axes for different locations. Schmidt lower-hemisphere net (see Fig. 1 for locations; see Fig. 3 for legend).



Sl. 9 Kinematski model otvaranja bazenskih prostora u hrvatskom dijelu PBS sjeverno od Zagreb-Zemljen lineamenta tijekom srednjeg miocena: A) inicijalni stadij otvaranja; B) stadij otvaranja/širenja bazenskih prostora; A1) regionalno polje paleonaprežanja; B1) lokalno polje paleonaprežanja unutar transtenzijskih zona.

Fig. 9 Kinematic model showing the opening of basins in Croatian part of PBS north of Zagreb-Zemljen lineament during the Middle Miocene: A) initial stage; B) opening/widening stage; A1) regional paleostress field; B1) local paleostress field within zones of transtension.

srednjeg miocena bila predodređena lijevim transkurentnim rasjedima SI-pružanja uz koje nastaju transtenzijske zone s otvaranjem romboidnih graba i lokalnom ekstenzijom SZ-JI. Budući da je istovjetna orijentacija

ekstenzije dokumentirana sustavom konjugiranih normalnih rasjeda SI-pružanja zabilježenim na području Samoborskog gorja logički je pretpostaviti da se upravo ovim rasjedima ostvaruje glavnina otvaranja i širenja

bazenskih prostora tijekom srednjeg miocena u hrvatskom dijelu PBS sjeverno od Zagreb - Zemplén lineamenta unutar formiranih transtenzijskih zona (sl. 9B). Pojedini rasjedi ovog sustava vjerojatno su se razvili iz lijevih rasjeda SI-pružanja promjenom kretanja krovinskih krila od onog paralelno pružanju u inicijalnom stadiju u pretežito normalno u stadiju otvaranja bazena o čemu svjedoče i terenska mjerenja. Listrička geometrija ovih rasjeda ukazuje na mogućnost da se prema dubini stapaju u plihu regionalnog dekolmana nastalu normalnim reaktiviranjem jedne od navlačnih ploha nastalih u razdoblju gornja kreda/paleocen-oligocen što valja provjeriti analizom seismičkih profila. Prema ponuđenom kinematskom modelu polje paleonaprezanja sa SZ-JI ekstenzijom koje odgovara ovim rasjedima treba shvatiti kao lokalno polje paleonaprezanja ograničeno na transtenzijske zone tijekom srednjeg miocena (sl. 9B).

6. LITERATURA

- ANGELIER, J. & MECHLER, P. (1977): Sur une méthode graphique de recherches contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits.- Bull. Soc. géol. France, 7, 1309-1318.
- BADA, G. (1999): Cenozoic stress field evolution in the Pannonian Basin and surrounding orogens - Inferences from kinematic indicators and finite element modelling.- Disertacija, Vrije Univ., Amsterdam, 204 str.
- BADA, G., FODOR, L., SZÉKELY, B. & TIMÁR, G. (1996): Tertiary brittle faulting and stress field evolution in the Gerecse Mts., N. Hungary.- Tectonophysics, 255, 269-289.
- CSONTOS, L. (1995): Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review.- Acta Vulcanologica, 7/2, 1-13.
- CSONTOS, L. & NAGYMAROSY, A. (1998): The Mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversion.- Tectonophysics, 297, 51-71.
- DAVIS, G.H. & REYNOLDS, S.J. (1996): Structural geology of rocks and regions.- John Wiley & Sons, Inc., 2. izd., 776 str.
- FODOR, L. (1995): From transpression to transtension: Oligocene-Miocene structural evolution of the Vienna basin and the East Alpine-Western Carpathian junction.- Tectonophysics, 242, 151-182.
- KÁZMÉR, M. & KOVÁCS, S. (1985): Permian-paleogene paleogeography along the Eastern part of the Insubric-Periadriatic Lineament system: evidence for continental escape of the Bakony-Drauzug Unit.- Acta geol. Hung., 28, 71-84.
- LINZER, H.G., MOSER, F., NEMES, F., RATSCHBACHER, L. & SPERNER, B. (1997): Build-up and dismembering of the eastern Northern calcareous Alps.- Tectonophysics, 272, 97-124.
- MÁRTON, E. & FODOR, L. (1995): Combination of paleomagnetic and stress data - a case study from North Hungary.- Tectonophysics, 242, 99-114.
- PERESSON, H. & DECKER, K. (1997): The Tertiary dynamics of the northern Eastern Alps (Austria): changing paleostresses in a collisional plate boundary.- Tectonophysics, 272, 125-157.
- PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.- U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 2, 481-486, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., SAFTIĆ, B., KUK, V., VELIĆ, J., DRAGAŠ, M. & LUČIĆ, D. (1998): Tectonic activity in the Croatian part of the Pannonian basin.- Tectonophysics, 297, 283-293.
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W., LINZER, H.G. & MARLE, O. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, part 2: Structural analysis.- Tectonics, 10, 257-271.
- STEININGER, F., MÜLLER, C. & RÖGL, F. (1988): Correlation of Central Paratethys, Eastern Paratethys, and Mediterranean Neogene stages.- U: ROYDEN, L.H. & HORVÁTH, F. (ur.): The Pannonian Basin. AAPG Mem., 45, 79-87.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1977): Osnovna geološka karta M 1:100.000. List Zagreb.- Inst. geol. istraž. Zagreb, Sav. Geol. zav. Beograd.
- TARI, G. (1994): Alpine tectonics of the Pannonian basin.- Disertacija, Rice Univ., Houston, 501 str.



Initiation of Tethys-Formation: Evidence from Triassic Magmatic Rocks from Bosnia and Herzegovina

Fabijan TRUBELJA¹, Vesna MARCHIG², Klaus Peter BURGATH² & Axel HÖHNDORF²

Key words: Triassic volcanic activity, Calc-alkalic series, Subduction, Rifting, Trace elements chemistry, Rare earth elements, Sr and Nd isotopes.

Ključne riječi: trijaski vulkanizam, kalcijsko-alkalijske serije, subdukcija, riftovanje, kemijski elementi u tragovima, rijetke zemlje, izotopi Sr i Nd.

Abstract

Triassic magmatic rocks from Bosnia and Herzegovina are predecessors of Jurassic oceanic spreading at the opening of the Neo-Tethys. They originated from partial mantle melts which were modified by reactions with continental crust. The most obvious modification is an enrichment of elements transported in aqueous solution under metasomatic conditions, which changed the composition of partial mantle melts towards calc-alkalic basalts. Another obvious feature is the SiO₂ enrichment either by progressive differentiation or assimilation of the continental crust.

It is concluded that the modification by means of aqueous solution was possible in two different tectonic settings: (a) either the metasomatic aqueous solutions originated from subducted sediments, or (b) the modification was initiated by high volcanicity rifting at the transition zone from altered mantle to lower continental crust.

The possible influence of both tectonic settings is discussed on the basis of chemical composition, using trace and rare earth element patterns and isotopic compositions of Nd and Sr.

Sažetak

Magmatske stijene trijasko starosti u Bosni i Hercegovini su preteča oceanskog širenja u juri pri otvaranju Neo-tetisa. One su nastale iz magme, koja je rezultat parcijalnog taljenja Zemljinog plašta. Kemijski sastav magmatske taljevine je izmijenjen putem reakcije sa kontinentalnom korom. Najočitiya promjena sastoji se u obogaćivanju kemijskim elementima koji su doneseni vodenom otopinom u uvjetima metasomatoze. Na taj je način promijenjen sastav taljevine u odnosu na sastav kalcijsko-alkalijskih bazalta. Druga karakteristična osobina taljevine je obogaćenje kremičnom kiselinom (SiO₂), bilo kroz progresivnu diferencijaciju ili asimilaciju kontinentalne kore.

Može se zaključiti da je promjena pod utjecajem vodene otopine bila moguća u dva različita geotektonska okoliša: a) da su metasomatske vodene otopine porijeklom iz subdukcijskih sedimenata ili b) promjene su započete snažno vulkanskim riftovanjem na prelaznoj zoni od promijenjenog plašta k donjoj kontinentalnoj kori.

U radu raspravljamo o mogućem utjecaju oba geotektonska okoliša na osnovu kemijskog sastava magmatskih stijena, koristeći obrasce elemenata u tragovima i rijetkih zemalja, te izotopski sastav Nd i Sr.

1. GEOLOGICAL SETTING

The opening of the Neo-Tethys was initiated by the break-up of parts of the Gondwanaland supercontinent in early Mesozoic. Several microplates (Anatolia, Central Iran, Afghanistan, Central Tibet) were detached from the main Gondwanaland and drifted north towards the Euro-Asian plate. Evidences of spreading of Neo-Tethyan oceanic crust are ophiolite belts, stretching from the Alps via Italy, Bosnia and Herzegovina, Serbia, Albania, Greece, Turkey, the Near East and further down to China and Southeast Asia. In the early stage of disintegration of Gondwanaland, preceding the ocean-floor formation, another type of magmatic activity took

place, characterized by a wide range of tholeiitic to alkaline rocks. It is characteristic of the early stage of opening of the Neo-Tethys that volcanics appear as pillow lavas together with large amounts of pyroclastic rocks and deposits of marine shallow water carbonates, which indicates magmatic emplacement in shallow marine basins.

The geology and petrography of pre-oceanic igneous rocks in Bosnia and Herzegovina was described in detail by TRUBELJA (1978), PAMIĆ (1978), and KARAMATA (1978). This paper presents geochemical approaches to the geological setting.

The Adriatic carbonate platform of the Outer and Transitional Dinarides is formed mainly of limestone,

¹ Academy of Sciences and Arts, Bistrik 7, 71000 Sarajevo, Bosnia and Herzegovina.

² Federal Institution for Geosciences and Natural resources, Hannover, Germany.

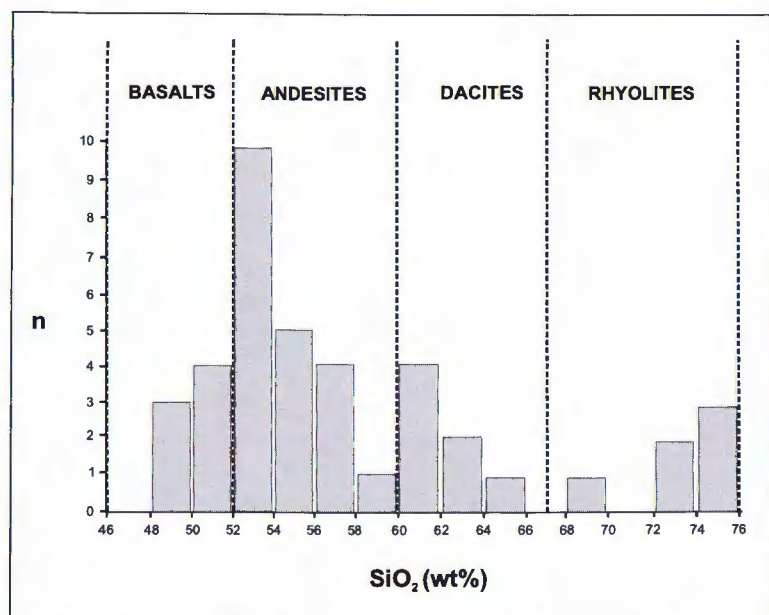


Fig. 1 Frequency diagram for SiO₂ content in 40 magmatic rocks.

Sl. 1 Dijagram učestalosti u odnosu na sadržaj SiO₂ za 40 uzoraka magmatskih stijena.

but occasionally cherts, shales and sandstone layers are exposed. Sediments were deposited on continental crust, and were intruded by igneous bodies of Triassic age. The Triassic igneous rocks occur in several locations parallel to the elongation of the major tectonic units. The extrusive types, comprising pillow lavas followed by stratified tuff layers, are concordant with the sedimentary sequence. This indicates a formation under shallow marine conditions. Sedimentary sequences in contact with igneous bodies show influence of contact metamorphism and at several places parts of the limestones are incorporated in the lavas. Some Triassic magmatites occur in direct contact with rocks of Paleozoic age (slates and phyllites) which also show influence of contact metamorphism (CISSARZ, 1956).

The specific association of the Triassic sedimentary sequence with interstratified igneous and pyroclastic rocks of the same age in the Outer and Transitional Dinarides is known under the name "porphyrite-chert series" (ČIRIĆ, 1954) or "Middle Triassic volcanogenic-sedimentary formation".

Fossil assemblages in the sedimentary sequence confirm the age of volcanic pyroclastic rocks and tuffs as Ladinian (Middle Triassic), which emphasize a large period of time, from Upper Permian to Upper Triassic for the deposition of the sedimentary succession.

2. PETROGRAPHY

The Triassic igneous activity resulted in the formation of intrusive, hypabyssal, and volcanic rocks. Most widespread are lavas, often followed by corresponding pyroclastic rocks.

The volcanic rocks and dykes of the Middle Triassic include basalts, andesites, dacites and rhyolites. A large variation in their textural characteristics and mineral

compositions has been recorded (TRUBELJA et al., 1978). The textures vary between holocrystalline and porphyritic. The basic members contain bytownite, and more or less altered mafic constituents (augite and rarely olivine). More acid members contain quartz as important constituent, and hornblende.

Numerous postmagmatic low-temperature minerals are present: epidote, clinozoisite, prehnite, calcite, chlorite, sphene, laumontite, pumpellyite, idocrase, muscovite-illite, kaolinite, talc, smectite and chrysotile. Laumontite, prehnite and pumpellyite are indicative of the zeolite and pumpellyite-prehnite facies of very low grade metamorphism (WINKLER, 1976), or of the subgreenschist facies (BUCHER & FREY, 1994).

Some volcanic rocks and dykes display a strong albitisation of plagioclase. These rocks are classified as spilites with the albite-chlorite paragenesis, as keratophyres and quartz-keratophyres.

The Triassic igneous activity has also produced **intrusive and hypabyssal rocks** (gabbro, diorite, granite, diabase, and quartz albitite). The intrusive rocks are less frequent than the volcanics, although the famous gabbroic complex of Jablanica has a size of 15 square kilometers. Bijela Gromila, south of Travnik, is another large gabbro-diorite complex. In addition smaller complexes of diorite, quartz diorite and granite exist.

3. CHEMISTRY

Main components and trace elements were analysed by means of X-ray fluorescence. Rare earth elements (REE) were determined with ICP-MS. The isotopes of Sr and Nd were analysed with chromatography and isotope dilution methods.

The rocks are divided in four groups based on their SiO₂ contents: basalts, andesites, trachites and rhyolites.

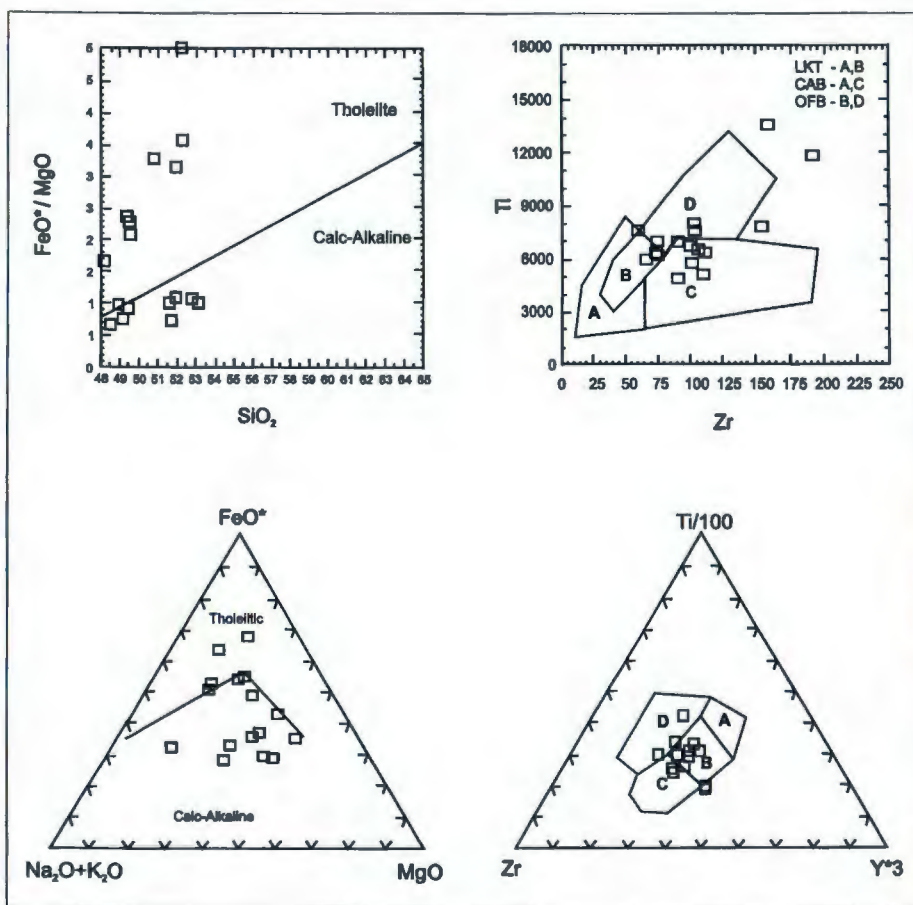


Fig. 2 Basalt discrimination diagrams. a) MIYASHIRO, 1974 (FeO^* = total Fe calculated as FeO). b) PEARCE & CANN, 1973. Legend: LKT = low potassium tholeiites; CAB = calc-alkali basalts; OFB = ocean-floor basalts. c) IRVINE & BARAGAR, 1971 (FeO_i = total Fe calculated as FeO). d) PEARCE & CANN, 1973. Legend: A, B = ocean floor basalts; B, C = calc-alkaline basalts; D = within plate basalts.

Sl. 2 Dijagrami za razlikovanje bazalta. a) MIYASHIRO, 1974 (FeO^* = ukupno Fe preračunato kao FeO). b) PEARCE & CANN, 1973. Legenda: LKT = toleiti sa niskim sadržajem kalija; CAB = kalcijsko-alkalijski bazalti; OFB = bazalti oceanskog dna. c) IRVINE & BARAGAR, 1971 (FeO_i = ukupno Fe preračunato kao FeO). d) PEARCE & CANN, 1973. Legenda: A, B = bazalti oceanskog dna; B, C = kalcijsko-alkalijski bazalti; D = bazalti unutar ploče.

Their plutonic equivalents (2 gabbros, 1 diorite, 1 granodiorite and 1 granite) are included in the group of volcanic rocks following their SiO_2 contents.

Figure 1 shows the differentiation of magmatic rocks based on their SiO_2 content. There are more higher differentiated rocks present as basalts (17 rocks with $SiO_2 < 54\%$ and 23 rocks with $SiO_2 > 54\%$). A vacant space is displayed between dacites and rhyolites.

Figure 2 shows the nature of rocks plotted on four different variation diagrams introduced for discrimination of basalts. Only samples with less than 54% SiO_2 were plotted. The data reveal a development from tholeiitic to calc-alkalic basalt.

Figure 3 shows the REE plots for the same rocks as in Fig. 2. All the REE patterns show strong enrichment of light in comparison to heavy REE. Such enrichment is known from calc-alkalic series as well as from oceanic islands and some continental-rifting basalts, but also from hydrothermally altered basic rocks.

Figure 4 shows a spider diagram calculated for Triassic basalts normalized on the basis of Jurassic mid-ocean-ridge basalt (MORB) from the same zone. Also here a distribution similar to the trend of calc-alkalic basalts is visible, i.e. extreme enrichment of large-ion-lithophile elements (LILE) Ba, Rb, K, which are extremely mobile in aqueous solutions under metasomatic conditions in the partial melting regime of the subducting slab. One exception is Sr which is only mo-

derately enriched, although, as LILE element, it should be also enriched. This could be attributed to proceeding differentiation and consequent Sr loss due to the compatibility of this element with plagioclases.

The high field strength elements (HFSE) in the spider diagram divide in two groups, the first one is moderately enriched in calc-alkalic basalts due to the mobility in aqueous solutions under same conditions and the other group is immobile under same conditions.

A further criterion for discrimination of calc-alkalic basalts from other basaltic rocks is the higher Al content in some calc-alkalic series. The average composition of Triassic basalts is only slightly higher than the average for Jurassic basalts (17.8 vs. 15.5 wt. % Al_2O_3).

In Fig. 5 the $^{143}Nd/^{144}Nd$ ratios and the $^{87}Sr/^{86}Sr$ ratios, both corrected for decay since crystallization 230 Ma ago, are plotted for three basalts, two gabbros and two andesites. The samples show increasing crustal characteristics from basalts over gabbros to andesites which could be interpreted as the result of mixing between depleted mantle and pre-existent crust.

It is not possible to conclude from the isotope ratios alone whether the crustal contamination was inducted by metasomatic aqueous solutions or by direct assimilation of the continental crust. For the basic rocks the trace element distributions give evidence that the alteration was due to metasomatic processes. Only in case of two andesites with most proceeded contamination, a

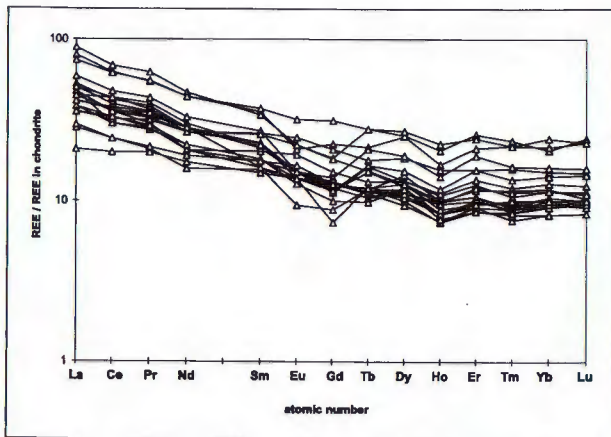


Fig. 3 Rare earth elements patterns for Triassic basalts normalized on chondrite basis (WAKITA et al., 1971).

Sl. 3 Obrasci elemenata rijetkih zemalja za trijasko bazalte normalizirani na bazi hondrita (WAKITA et al., 1971).

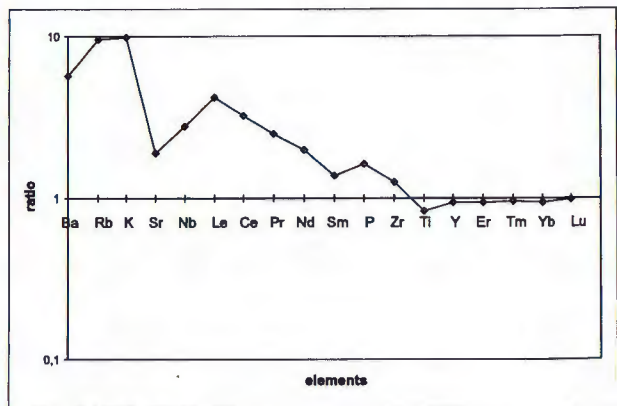


Fig. 4 Spider diagram modified after THOMPSON et al. (1984). The Triassic basalts are normalized on basis of Jurassic basalts from the same area. The Jurassic basalts are mid-ocean ridge basalts (TRUBELJA et al. 1995). Sl. 4 Spider dijagram izmijenjen prema THOMPSON et al. (1984). Trijaski bazalti su normalizirani na bazi jurskih bazalta sa istog područja. Jurski bazalti su bazalti srednjooceanskog hrpta (TRUBELJA et al. 1995).

minor part of this contamination could have originated from direct assimilation of continental crust in the magma.

Triassic magmatic rocks of Bosnia and Herzegovina are situated in association with the continental crust and shallow marine sediment sequence, consisting mostly of carbonates. The occurrence of magmatic rocks in several parallel belts was interpreted as consequence of rifting of continental crust (TRUBELJA, 1978), but due to metamorphism and tectonic deformation which could have masked the line of evidence, a subduction-initiated volcanism comparable with the Andean Type can not be totally ruled out.

BEBIEN et al. (1978) investigated the major element chemistry of Triassic magmatic rocks, from Bosnia and Herzegovina, Croatia, Montenegro, and Serbia. The igneous rocks show Al-rich and Ti-poor nature, suggesting a calc-alkalic trend. BEBIEN et al. (1978) further concluded that "the volcanism is very different from that related to continental rifting, but not unlike present day calc-alkalic series in volcanic arcs". The formation of troughs and ridges, contemporaneous with volcanism, which indicates continental rifting, should, due to BEBIEN et al. (1978) be reinterpreted as subduction-triggered volcanism.

Our chemical data of basaltic rocks (max. 54% SiO₂) show a development from ocean floor basalts or tholeiites to calc-alkalic basalts. It could be argued that the use of discrimination diagrams (Fig. 2) is restricted to fresh basaltic rocks and that some changes in more mobile elements could make these diagrams questionable for discrimination of older basaltic rocks. However, Figs. 3 and 4 with a spider diagram and normalized REE patterns suggest that the discrimination of the calc-alkalic trend is realistic, because less mobile elements also follow the calc-alkalic trend.

The formation of calc-alkalic magmas is possible without subduction setting as suggested by ARCULUS (1987): the enrichment of LIL-elements as well as of several HFS-elements, which eventually produce calc-alkalic magmas, is depending on the presence of water under metasomatic conditions. Aqueous and silica-rich solutions can transport selectively these elements whose enrichment is characteristic for calc-alkalic magmas (PEARCE, 1982). Water required must not come only from the sediments on top of the subducted slab, it can also originate in metasomatically changed mantle or in altered lower continental crust. The activation of water is especially strong in case of intensive rifting volcanism where the geothermal anomaly proceeds far up into the rifting continental crust (BARBERI et al., 1982).

The isotopic investigations of Sr and Nd of some samples could also not supply a definitive proof for one of the two possible tectonic settings. In Fig. 5 the fields for Andean type volcanism and for some East African Continental Rift basalts are included which represent recent subduction related melts as well as calc-alkalic rift volcanics. The samples from Bosnia and Herzegovina reveal a similar trend from the depleted mantle to materials increasingly contaminated by continental crust or deep-sea sediments. A distinction between contamination by metasomatic aqueous solutions or by direct assimilation of the continental crust is not possible by isotopic data alone (HAWKESWORTH, 1982).

The volcanism caused by continental rifting as well as subduction-triggered volcanism both occur in aligned belts. For the second one it is characteristic that the belts produce different kinds of magmatic rocks with the distance to the subducting slab. We could not find difference in chemical composition between eastern and western belt within the rocks investigated in this paper. This might be the argument against subduc-

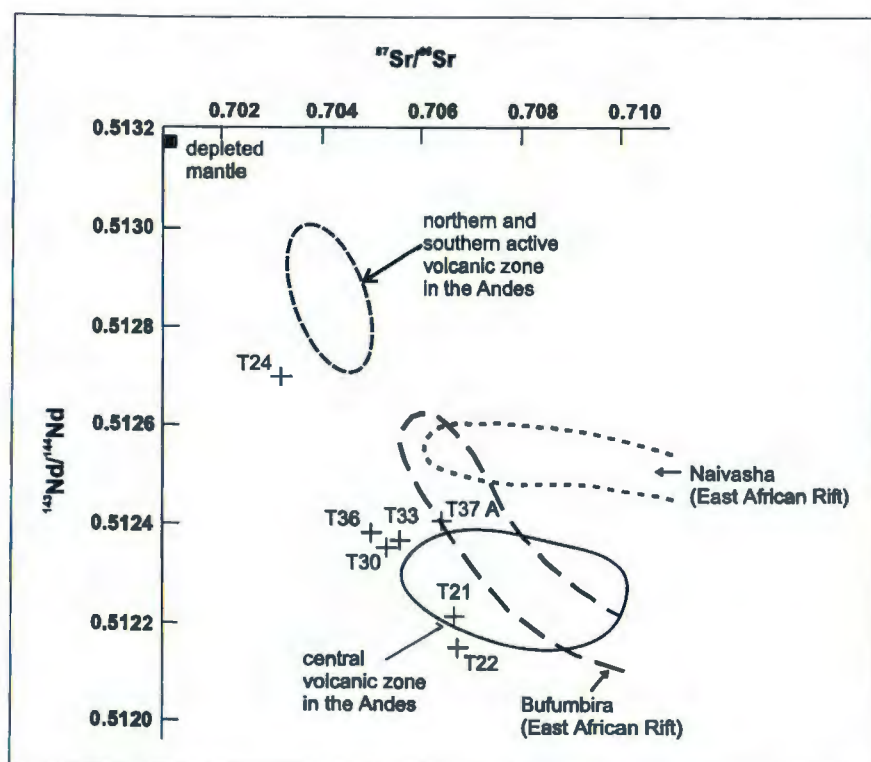


Fig. 5 Plot of $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratio against the $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio. The isotopic ratios are corrected for radioactive decay since crystallization 230 Ma ago. Additional informations: depleted mantle from DePAOLO et al. (1991); active volcanic zones in the Andes from HAWKESWORTH et al. (1982), THORPE et al. (1984), HICKEY et al. (1986) and JAMES (1982); zones from East African Rift from VOLLMER & NORRY (1983a, b), and DAVIES & MACDONALD (1987).

Sl. 5 Grafički prikaz odnosa $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ prema odnosu $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Izotopni odnosi su korigirani za radioaktivno raspadanje budući da se kristalizacija dogodila prije 230 milijuna godina. Dodatne informacije: osiromašeni omotač od DePAOLO et al. (1991); aktivne vulkanske zone u Andama od HAWKESWORTH et al. (1982), THORPE et al. (1984), HICKEY et al. (1986) i JAMES (1982); zone Istočno afričkog rifta od VOLLMER & NORRY (1983a, b) i DAVIES & MACDONALD (1987).

tion-triggered volcanism but it might as well be the consequence of deficient sampling and further sampling might change this statement.

From all these arguments we can conclude that the formation of Bosnian Triassic magmatites is still an open question. We are planning additional sampling, microscopic and microprobe investigations, and eventually additional isotopic analyses on selected samples trying to solve this problem.

4. REFERENCES

- ARCULUS, R.J. (1987): The significance of source versus process in the tectonic controls of magma genesis.- *J. Volcanol. and Geothermal Res.*, 1-12.
- BARBERI, F., SANTACROCE, R. & VARET, V. (1982): Chemical aspects of rift magmatism.- In: PALMASON, G. (ed.): *Continental and oceanic rifts*. American Geophysical Union, Washington DC, 233-258.
- BEBIEN, J., BLANCHET, R., CADET, J.P., CHARVET, J., CHOROWICZ, J., LAPERIERRE, H. & RAMPNOU, J.P. (1978): Le volcanisme Triasique des Dinaires en Yougoslavie: sa place dans l'evolution geotectonique peri-Mediterranenne.- *Tectonophysics*, 47, 159-176.
- BUCHER, K. & FREY, M. (1994): *Petrogenesis of metamorphic rocks*.- 6th edn. Complete Revision of Winkler's Textbook, Springer, Berlin.
- CISSARZ, A. (1956): Lagerstätten und Lagerstättenbildung in Jugoslavien in ihren Beziehungen zu Vulkanismus und Geotektonik.- *Rasprave zav. geol. i geofiz. istr.*, 6, 1-150, Beograd.
- ČIRIĆ, B. (1954): Neka zapažanja o dijabazno-rožnjačkoj formaciji Dinarida.- *Ves. Zav. geol. geofiz. istr.*, 20, 31-88, Beograd.
- DAVIES, G.R. & MACDONALD, R. (1987): Crustal influences in the petrogenesis of the Naivasha basalt-rhyolite complex: combined trace element and Sr-Nd-Pb isotope constraints.- *J. Petrol.*, 28, 1009-1031.
- DePAOLO, D.J., LINN, A.M. & SCHUBERT, G. (1991): The continental crustal age distribution: methods of determining mantle separation ages from Sm-Nd isotopic data and application to the southwestern United States.- *J. of Geophys. Res.*, 96, 2071-2088.
- HAWKESWORTH, C.J. (1982): Isotope characteristics of magmas erupted along destructive plate margins. In: THORPE, R.S.: *Andesites*. 549-571.
- HAWKESWORTH, C.J., HAMMILL, M., GLEDHILL, A.R., VAN CALSTEREN, P. & ROGERS, G. (1982): Isotope and trace element evidence for late-stage intra-crustal melting in the high Andes.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 58, 240-254.
- HICKEY, R.L., FREY, F.A. & GERLACH, D.C. (1986): Multiple sources for basaltic arc rocks from the southern volcanic zone in the Andes (34-41 S): trace element and isotopic evidence for contributions from subducted oceanic crust, mantle and continental crust.- *J. Geophys. Res.*, 91, 5963-5983.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971): A guide to chemical classification of the common volcanic rocks.- *Can. Jour. of Earth Sci.*, 8, 523-548.
- JAMES, D.E. (1982): A combined O, Sr, Nd and Pb isotopic and trace element study of crustal contamination in central Andean lavas.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 57, 47-62.
- KARAMATA, S. (1978): Magmatske stijene područja Borovica-Vareš-Čevljanovići-Bjelašnica-Kalinovik.- In: PAMIĆ, J. & ČIČIĆ, S. (eds.): *Geologija Bosne i Hercegovine; magmatizam i metalogenija*. Sarajevo, 69-82.
- MIYASHIRO, A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins.- *Am. Jour. of Sci.*, 274, 321-355.
- PAMIĆ, J. (1978): Trijaski magmatiti područja Prozora, Jablanice i Konjica.- In: PAMIĆ, J. & ČIČIĆ, S. (eds.): *Geologija Bosne i Hercegovine; magmatizam i metalogenija*. Sarajevo, 51-67.
- PEARCE, J.A. (1982): Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries.- In: THORPE, R.S.: *Andesites*. 526-548.

- PEARCE, J.A. & CANN, J.R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, 290-300.
- THOMPSON, R.N., MORRISON, M.A., HENDRY, G.L. & PARRY, S.J. (1984): An assesment of the relative role of a crust and mantle in magma genesis: an elemental approach.- *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A 310, 549-590.
- THORPE, R.S., FRANCIS, P.W. & O'CALLAGHAN, L. (1984): Relative roles of sources composition, fractional crystallisation and crustal contamination in the petrogenesis of Andean volcanic rocks.- *Phil. Trans. R. Soc. London*, A310, 675-692.
- TRUBELJA, F. (1978): Trijaski magmatiti područja Jajca, Vakufa, Bugojna i Kupresa.- In: PAMIĆ, J. & ČIČIĆ, S. (eds.): *Geologija Bosne i Hercegovine; magmatizam i metalogenija*. Sarajevo, 39-49.
- TRUBELJA, F., MARCHIG, V., BURGATH, K.P. & VUJOVIĆ, Ž. (1995): Origin of the Jurassic Tethyan ophiolites in Bosnia: a geochemical approach to tectonic setting.- *Geologia Croatica*, 48/1, 49-66.
- TRUBELJA, F., RAMOVIĆ, M., VARIČAK, D. & PAMIĆ, J. (1978): *Geology of Bosnia and Herzegovina.- Tome IV, Magmatism and metallogenesis*. Sarajevo.
- VOLLMER, R. & NORRY, M.J. (1983a): Possible origin of K-rich volcanic rocks from Virunga, East Africa, by metasomatism of continental crustal material: Pb, Nd, and Sr isotopic evidence.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 64, 374-386.
- VOLLMER, R. & NORRY, M.J. (1983b): Unusual isotopic variations in Nyiragongo nephelinites.- *Nature*, 301, 141-143.
- WAKITA, H., REY, P. & SCHMITT, R.A. (1971): Abundances of the 14 rare-earth elements and 12 other trace elements in Apollo 12 samples; five igneous and one breccia rocks and four soils.- *Proc. 2nd Lunar Sci. Conf.*, 1143-1158.
- WINKLER, H.G.F. (1976): *Petrogenesis of metamorphic rocks.- 4th edition*, Springer, New York.



Prilog poznavanju stratigrafije starijeg paleogena na području jugoistočne Hercegovine (Bosna i Hercegovina)

Contribution to the Knowledge on Stratigraphy of the Early Paleogene in the Southeastern Area of the Hercegovina (Bosnia and Hercegovina)

Mladen TRUTIN¹, Katica DROBNE², Zorana DMITROVIĆ³,
Rajko PAVLOVEC⁴ & Damir VRANARIČIĆ¹

Ključne riječi: jugoistočna Hercegovina, stariji paleogen, vapnenački razvoj, bentičke foraminifere, emersije, laramijska faza.

Key words: Southeastern Herzegovina, Early Paleogene, Limestone development, Benthic foraminifera, Emersion, Laramian phase.

Sažetak

Dokazane su naslage starijeg paleogena u karbonatnom razvoju od početka dana do gornjeg cuisa. Na pojedinim područjima utvrđen je kontinuirani prijelaz maastrichta u donji paleocen (dan), ali na najvećem dijelu istraživanog terena taj odnos je transgresivan. Na više lokaliteta utvrđeni su prekidi sedimentacije (emersije) dužeg ili kraćeg trajanja tijekom paleocena, a ponegdje i najnižeg eocena (ilerda). Nisu dokazane naslage luteta u karbonatnom razvoju, a klastitima koji leže transgresivno na najmlađim vapnencima dokazana je donjolutetska starost na osnovu analiza planktonskih foraminifera (P 10).

Abstract

The Early Paleogene deposits have been proved in the carbonate development from the beginning of Danian until Upper Cuisian. In some areas the continuous transition has been recognized from Maastrichtian to the Early Paleocene (Danian), but on the largest part of the explored area, that relation is transgressive. On many localities the breaks in sedimentation of longer or shorter duration were registered, during Paleocene and somewhere the earliest Eocene (Ilerdian). Lutetian deposits have not been proved in carbonate development, but the clastics transgressive to the youngest limestones are dated as of Early Lutetian age on the basis of planktonic foraminifera (P 10).

1. UVOD

Na području jugoistočne Hercegovine paleogenske naslage imaju značajnu ulogu u izgradnji terena. Zavidan dio od toga pripada karbonatima i to uglavnom vapnencima. Podređeno dolaze vapnenačke breče dok dolomiti nisu zapaženi. Usprkos zavidnoj debljini i dosta lijepoj razvijenosti ove naslage nisu bile dobro poznate, posebice što se tiče njihove kronostratigrafske pripadnosti. Tako ih većina autora superpozicijski dijeli na liburnijske slojeve s.str. (Pc, E) i alveolinsko-numulitne vapnence (E_{1,2}) (NATEVIĆ, 1970; ČIČIĆ & PAPEŠ, 1970; MOJICEVIĆ & LAUŠEVIĆ, 1973; RAIĆ & PAPEŠ, 1977, 1982). Detaljnija raščlamba ovih naslaga izvršena je samo u području Podveležja, jugoistočno od Mostara (SLIŠKOVIĆ et al., 1978).

Krajem 80-tih godina za potrebe INA-Naftaplina radena je studija "Naftogeološka istraživanja paleogena na području Vanjskih Dinarida", za čije je potrebe snimljeno nekoliko profila u paleogenskim vapnencima ovog područja (TRUTIN et al., 1988, 1990, 1991; DROBNE, & PAVLOVEC, 1989; BENIĆ, 1990). Snimljeni su profili jugoistočno od Mostara (Mostar-Guberača), jugoistočno od Čapljine, od Neretve prema Svitavi (Metković-Sjekoše, Metković-Svitava i Metković-Dubravica), sjeveroistočno od Stoca na sjevernim obroncima brda Hrgud (Stolac-Hrgud), jugoistočno od Nevesinja u području Lukavca i Trusine (Lukavac-Val i Trusina-Mokri Do), te na području između Dabarskog polja i Ljubinja (Ljubinje-Vlahovići). Profilima se nastojalo zahvatiti što potpuniji stratigrafski raspon, a isto tako i što više mogućih facijelnih raznolikosti.

¹Geološki konzalting, Savska cesta 88a, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Paleontološki inštitut ZRC-SAZU, POB 306, SI-61001 Ljubljana, Slovenija.

³Veslačka 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

⁴Odsek za geologiju Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Aškerčeva 12, SI-61001 Ljubljana, Slovenija.

2. STRATIGRAFSKI PREGLED

Obradom prikupljenog materijala prilikom ovih istraživanja, te usporedbom sa sličnim područjima Vanjskih Dinarida (SLIŠKOVIĆ & RAIĆ, 1968; DROBNE, 1974, 1977; HOTTINGER & DROBNE, 1980; DROBNE et al., 1988; DROBNE & TRUTIN, 1997), moglo se dosta detaljnije izvršiti kronostratigrafska podjela paleogenskih vapnenaca, kao i njihove neposredne podine.

Paleogeni vapnenci na čitavom ovom prostoru dolaze na najmlađem članu gornje krede, maastrichtu. Na području između Neretve i Svitave, jugoistočno od Čapljine, utvrđen je kontinuirani prijelaz iz maastrichta u dan. Na ostalim područjima taj je odnos transgresivan. Granicu prate breče, izraženi paleoreljef, pojave boksitično-limonitičnog materijala, a negdje i boksita (Lukavac - Val), te česti primjerci forme *Microcodium* sp.

Vapnenci maastrichta na profilima Metković - Sjekoške i Matković - Dubravica sadrže provodne foraminifere *Rhapydionina liburnica* (STACHE), *Raadshoovenia salentina* (PAPETTI & TEDESCHI), *Moncharmontia appenninica* (DE CASTRO) i dr. Nade se i kršje rudista, posebno roda *Gyropleura*, te kršje puževa i oogoniji *Charophyta*. Ovo upućuje na povremena oslađivanja, a vjerojatno i prekide sedimentacije koji su obilježeni brečama u kojima dolazi *Microcodium* sp.

Na ostalom prostoru nije utvrđena provodna mikrofauna, ali zato mnogobrojni primjerci rudista koji pripadaju VI cenozoni (gornji campan - maastricht) dokumentiraju završni dio gornje krede (SLIŠKOVIĆ, 1968).

Na profilu Lukavac - Val uz brojne primjerke rudista interesantna je foraminifera *Keramopshaerina tergestina* (STACHE).

Najniži dio paleocena - dan, zastupljen je dobro uslojenim vapnencima koji su mjestimično zaglinjeni. U njima često dolaze fenestre, a ponekad i tamniji klasti ("black pebbles"). Također dolaze i breče, što upućuje na povremene emerzije. Ove naslage utvrđene su jugoistočno od Čapljine, dok na profilu Stolac - Hrgud danu pripada 2-3 m breča i brečastih vapnenaca. Od fosila dolaze: *Discorbiidae*, *Miliolidae*, *Valvulineria* sp., *Ostracoda*, *Gastropoda* i *Charophyta*, što upućuje na uglavnom brakičnu i lagunsku sredinu taloženja.

Vapnenci na pojedinim horizontima maastrichta i nižeg paleocena imaju tamnije nijanse boje kao posljedicu obogaćenosti organskom tvari. Ovo je posebno izraženo u usjeku pruge Mostar - Ploče kod Gabele na desnoj obali Neretve.

Viši dio paleocena, thanet, razvijen je na čitavom ovom području. Postupno prevladava pravi marinski razvoj, ali lokalno povremeno ima oslađivanja, a vjerojatno i kraćih prekida sedimentacije. Mnogo bolje je fosilno dokumentiran: *Alveolina (Glomalveolina) primaeva* (REICHEL), *A. (G.) primaeva ludwigi* (REICHEL), *A. (G.) telemetensis* HOTTINGER, *Cribrobulimina carniolica* HOTTINGER & DROBNE, *Fallotella alavensis* MANGIN, *F. kochanskae* HOTTINGER & DR-

OBNE, *Idalina sinjarica* GRIMSDALE, *Pseudolacazina donatae* DROBNE, *Broeckinella arabica* HENSON i dr.

Niži dio donjeg eocena (ilerd) taložio se uglavnom u tipičnim plitkovodnim marinskim uvjetima iako ponegdje može biti kraćih oslađivanja kao što je slučaj na profilu Ljubinja - Vlahovići. Vapnenci su uglavnom decimetarski uslojeni, rjeđe metarski, a po strukturnom tipu to su najčešće wackestone i packstone. Dosta su bogati fosilima, posebice alveolinama i ostalim bentičkim foraminiferama, a u srednjem ilerdu javljaju se i numulitidi. Određene su ove značajnije vrste: *Alveolina (Glomalveolina) lapidula* (SCHWAGER), *Alveolina ellipsoidalis* SCHWAGER, *A. subpyrenaica* LEYMERIE, *A. montanarii* DROBNE, *A. guidonis* DROBNE, *A. brasica* DROBNE, *A. tiestina* HOTTINGER, *A. aragonensis* HOTTINGER, *A. cylindrata* HOTTINGER, *Nummulites globulus* LEYMERIE, *N. atacicus* LEYMERIE, *Nummulites* div. sp. i *Operculina* sp.

Karakteristično je da na profilu Metković - Sjekoške nisu dokumentirane naslage najvišeg ilerda i donjeg cuisija, što ukazuje na emerziju koja je vjerojatno bila lokalnog karaktera. Ovo upućuje na djelovanje laramijske faze alpinske orogeneze.

Vapnenci višeg dijela donjeg eocena, cuisija, talože se isključivo u plitkoj morskoj sredini i nisu zapažena izdizanja i emerzije. Stijene su pretežito zrnate strukture: packstone i grainstone, dok su s muljevitom potporom rjeđe - wackestone, iznimno ponegdje mudstone. Jako su bogati fosilima, posebno bentičkim foraminiferama od kojih su mnoge specifički određene: *Alveolina oblonga* D'ORBIGNY, *A. schwageri* CHECCHIA-RISPOLI, *A. fornasinii* CHECCHIA-RISPOLI, *A. cremae* CHECCHIA-RISPOLI, *A. histrica septentioinalis* DROBNE, *Nummulites aquitanicus* BEOIST, *N. praelevigatus* SCHAUB, *N. aff. manfredi* sensu SCHAUB, *Operculina marinellii* DAINELLI i druge.

Na području jugoistočne Hercegovine nisu utvrđene vrste koje se prvi put javljaju u gornjem cuisiju, što navodi na zaključak o prekidi sedimentacije krajem donjeg eocena. Može se međutim, navesti hipoteza da su naslage najvišeg cuisija istaložene, pa možda i najnižeg luteta, ali su one erodirane tijekom orogenetske faze (pirinejska) koja se ovdje manifestira već početkom srednjeg eocena, premda je maksimalni intenzitet njenog djelovanja tek krajem eocena.

Klastične naslage srednjeg eocena talože se transgresivno na vapnencima cuisija. Analizama planktonskih foraminifera utvrđeno je da im bazalni dio odgovara cenozoni *Hantkenina aragonensis* (P 10), što znači da im je sedimentacija počela u donjem lutetu (TRUTIN et al., 1988, 1990).

Prema rezultatima istraživanja makrofosila dobiveni rezultati upućuju na nešto mlađu starost (viši lutet i biarritz) ovih naslaga (BUTKOVIĆ, 1983; JUNGWIRTH, 1995). Slični rezultati dobiveni su analizama vapnenačkog nanoplanktona (TRUTIN et al., 1988; BENIĆ, 1990).

4. ZAKLJUČAK

Na području jugoistočne Hercegovine dokumentirane su naslage maastrichta koje na području između Neretve i Svitave, južnom obodu Hutova blata, kontinuirano prelaze u donji paleocen (dan). Na ostalim lokalitetima paleocenske naslage, uglavnom thanet, transgresivne su na gornjokredne rudistne vapnence.

Tijekom maastrichta i paleocena zapaženo je više prekida sedimentacije (emerzije). One su obilježene brečama, pukotinama isušivanja, slabim paleookršavanjem, a obično dolazi i *Microcodium* sp.

U thanetu postupno jačaju morske odlike sedimentacije, što se pojačava u ilerdu, a osobito cuisiju. U thanetu i ilerdu još ima povremenih osladivanja, a lokalno i emerzija.

Nisu dokumentirane naslage najvišeg cuisija, kad vjerojatno na ovom području dolazi do izdizanja.

Krovinske klastične naslage talože se transgresivno na vapnencima starijeg paleogena, a sedimentacija počinje najvjerojatnije već u donjem lutetu.

5. LITERATURA

- BENIĆ, J. (1990): Analize vapnenačkih nanofosila na području Vanjskih Dinarida IV.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- BUTKOVIĆ, J. (1983): Prilog poznavanju eocenskih molusaka Dabrice kod Stoca (Hercegovina).- Glasnik Zemaljskog muzeja BiH, Sv. prir. nauke, 22, 29-34, Sarajevo.
- ČIČIĆ, S. & PAPEŠ, J. (1970): Litostratografske odlike paleogena u Bosni i Hercegovini.- Geol. glasnik, 14, 33-40, Sarajevo.
- DROBNE, K. (1974): Velike miliolide iz paleocenskih skladov severozahodne Jugoslavije.- SAZU, Razprave, 17/3, 129-184, Ljubljana.
- DROBNE, K. (1977): Alvéolines paléogènes de la Slovénie et de l'Is-trie. Mém. Swiss. Paléont., 99, 132 p., Basel.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., ZUCCHI-STOLFA, M.L. & TURNŠEK, D. (1988): Maastrichtian, Danian and Thanetian beds in Dolenja Vas (NW Dinarides, Yugoslavia).- SAZU, Dissertationes, 24, 151-224, Ljubljana.
- DROBNE, K. & PAVLOVEC, R. (1989): Velike foraminifere karbo-natnega razvoja v Paleogenu (med Imotskim in Cavtatom).- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- DROBNE, K. & TRUTIN, M. (1997): Alveolinas From the Bunić Sec-tion (Lika, Croatia).- Geol. Croat., 50/2, 215-223, Zagreb.
- HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (1980): Early Tertiary conical im-perforate foraminifera.- SAZU, Dissertationes, 20/3, 191-276, Ljubljana.
- JUNGWIRTH, E. (1995): Boksit i paleogenski sedimenti na nekim lokalitetima u Hercegovini.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 1, 261-264, Zagreb.
- MOJIČEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M. (1973): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Nevesinje.- Institut za geološka istraži-vanja Sarajevo (1965), Savezni geološki zavod, Beograd, 53 str.
- NATEVIĆ, Lj. (1970): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Trebinje.- Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1964-1965), Savezni geološki zavod, Beograd, 46 str.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1977): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Metković.- Institut za geološka istraživanja Saraje-vo (1971), Savezni geološki zavod, Beograd, 43 str.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1982): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Ston.- Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1980), Savezni geološki zavod, Beograd, 39 str.
- SLIŠKOVIĆ, T. (1968): Biostratigrafija gornje krede južne Hercego-vine.- Glasnik zemalj. muzeja, Prirodne nauke, 7, 5-66, Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, T., PAVLOVEC, R. & DROBNE, K. (1978): Stariji paleogen u južnoj Hercegovini.- IX Kongr. geol. Jugoslavije, Zbornik radova, 125-128, Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, T. & RAIĆ, V. (1968): Razvoj i paleogeografija paleo-gena u vanjskom pojasu Dinarida Bosne i Hercegovine.- Prvi kolokvij o geol. Dinaridov, 1, 155-160, Ljubljana.
- TRUTIN, M., VRANARIČIĆ, D., DMITROVIĆ, Z., BENIĆ, J., BABAC, D. & OREŠKI, E. (1988): Naftogeološka istraživanja paleogena na području Vanjskih Dinarida (područje srednje i juž-ne Dalmacije i Hercegovine).- Fond stručne dokumentacije Geo-loškog konzaltinga, Zagreb.
- TRUTIN, M., VRANARIČIĆ, D., DMITROVIĆ, Z., & OREŠKI, E. (1990): Naftogeološka istraživanja paleogena na području Vanj-skih Dinarida (istraživanja 1989/90).- Fond stručne dokumentaci-je Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- TRUTIN, M., VRANARIČIĆ, D., & DMITROVIĆ, Z. (1991): Naft-nogeološka istraživanja paleogena na području Vanjskih Dinarida (Sinteza).- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.





Quaternary Sediments of the Krško Basin

Tomaž VERBIČ¹, Igor RIŽNAR², Marijan POLJAK³, Matevž DEMŠAR³ & Martin TOMAN³

Key words: Krško basin, Quaternary, Sava river terraces, Folds, Faults.

Abstract

The Krško basin is a flat plain of Quaternary sediments situated between the Krško hills and Mt. Orlica on the north and the Gorjanci (Žumberak) Mts. on the south. These hilly regions are built up of rocks of Mesozoic to Neogene age. The Quaternary sediments consist of coarse-grained Sava river terraces and their fine-grained fluvial to lacustrine equivalents. The four main terraces are developed: the Plio-Quaternary, Middle Pleistocene, Upper Pleistocene and Holocene. The ages have been determined only for the former two. Structurally, the Plio-Quaternary sediments are the most deformed. They are folded into the main Krško syncline with some secondary folds, and partially faulted. Middle Pleistocene sediments are gently folded into the Krško syncline and only exceptionally faulted. Upper Pleistocene and Holocene sediments show no signs of structural deformation.

1. INTRODUCTION

The Krško basin is normally defined as the flat plain of the Krško-Brežice field and the Krakovo forest that is situated in southeast Slovenia. This terrain is built up of fluvial and lacustrine sediments of Quaternary age. It is surrounded by the Krško hills, Mt. Orlica, Kapele hills and the Gorjanci (Žumberak) Mountains. These terrains are built up of rocks of Mesozoic and Neogene age.

Recent investigations of the Krško basin, related to seismic hazard calculation to the Krško Nuclear Power Plant (NPP), enabled better understanding of geological setting of this region as a whole and specially of geology of Quaternary sediments. These are represented by the two main horizons. The first one is non-carbonate sand and gravel known as the Plio-Quaternary series, and the second one is developed as the three Pleistocene to Holocene Sava river terraces consisting of mixed silicate-carbonate sand and gravel with their lateral fluvial to lacustrine equivalents. Each of these, i.e. the

Plio-Quaternary series and the Pleistocene river terraces can be also regarded as particular tectofacieses with related structures.

Generally, the Krško basin was considered to be a Quaternary tectonic depression with prominent faults on its northwestern and southeastern rims (PREMRU, 1976; PLENIČAR & PREMRU, 1977a, b; POLJAK & ŽIVČIČ, 1995). In addition to these, numerous other faults within Quaternary sediments were also inferred (PREMRU, 1976, 1996). According to ŠIKIĆ et al. (1979a, b) and ŠIKIĆ (1995), faults in NW-SE direction were activated at the beginning of Holocene, what opened a path for the Sava river flow from the Krško depression to the Brežice-Samobor and to the Zagreb (Sava) depression. The latest data, however, suggest that the above mentioned depressions are, at least the Krško and the Brežice-Samobor depressions, Neogene folds with no signs of bounding faults. Depressions were continuously filled up by paleo Sava alluvial deposits along its path throughout the Quaternary.

Considering the age of particular morphological and lithological units, only the first and second have been determined as Holocene and Upper Pleistocene. The age of the third and the oldest Quaternary series has been only conditionally determined as Middle Pleistocene and Upper Pliocene (Romainian) - Lower Pleistocene respectively.

In our paper, we focus only on sediments whose origin is connected to the paleo Sava flow. They are presented as morpholithological units, and only their broad stratigraphic span has been given. VERBIČ (1995) determined these units as alloformation, and gave them particular geographic names. The formation-determination of presented sediments is, however, a subject of the future work.

2. GEOLOGY OF THE QUATERNARY SEDIMENTS

The Krško basin is filled up primarily by alluvial and lacustrine sediments related to the paleo-Sava flow. Of less importance, there are alluvial sediments of the

¹Independent researcher, Cesta dveh cesarjev 15a, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

²Faculty of Natural Sciences and Engineering, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

³Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI-1001 Ljubljana, Slovenia.

AGE	LITHOLOGY		THICKNESS
Q ₂	silt and clay	carbonate and silicate gravel	10 m
Q ₁ ³		carbonate and silicate gravel	20 m
Q ₁ ² (?)		carbonate and silicate conglomerate and gravel	20 m
Pl, Q(?)		paleosol; silt and clay	10 m
	silicate sand and gravel	150 m	

Fig. 1 Simplified geological column of Quaternary sediments in the Krško basin.

Krka and Sotla rivers, as well as sediments of numerous smaller tributaries. The hilly regions that surround the basin are quite extensively covered by various Quaternary slope sediments. A simplified chronostratigraphical column of described sediments is presented in Fig. 1, their areal distribution with structural patterns in Fig. 2 (a-d), and the structural build up along a N-S profile in Fig. 3.

2.1. PLIOCENE-PLEISTOCENE (?) DEPOSITS

The older Sava river sediments of the Krško basin are the so called Plio-Quaternary deposits. They occupy the edges of the Krško basin as well as the most of its central part, where they are covered by younger sediments (Fig. 2a).

On the northern rim of the Krško basin, the highest elevation of these sediments is 310 m, and on the southern rim 300 m. In both cases they lie on various rocks of pre-Quaternary basement, mostly on rocks of Neogene age. In the Krško basin itself, Plio-Quaternary sediments are drilled by numerous bore-holes and their average elevation is at 150 meters with exception of the Globoko area, where they are deposited in a depression that reach the elevation of -55 meters. Towards the east, they crop out to the surface in the Kapele hills. Their further eastward continuation to the Marija Gorica hills is not quite clear. ŠIKIĆ et al. (1979a) mark Plio-Quaternary sediments also on the left Sotla river bank. According to our observations, however, pebbles of these sediments are mostly secondarily distributed on the surface. Because they somewhat differ petrographically (quartz, chert, jaspis), they may originate from the Pontian series that consists of quartz sands with pebble

lenses of the same content. This can indeed be seen in rare primary outcrops of this area. The western part of the Krško basin has not been investigated in detail, so the western limit of described sediments is also not well established. On the geological map of this area (PLENIČAR & PREMUR, 1977a), these sediments are marked here, but they consist of loams with chert fragments, thus they probably belong to a different facies.

Lithologically, the Plio-Quaternary sediments are composed of gravel with rare sandy lenses. The content is exclusively non-carbonate (Table 1). A few isolated outcrops with carbonate pebbles are not well investigated yet. The absence of the carbonate component has been formerly explained by their dissolution during transportation (VERBIČ, 1995) or "in situ" (KUŠČER, 1993). Laterally over the Krško basin, the content of the whole series is influenced by other rivers and creeks, and for example in the vicinity of the Sotla river and the Senuša creek, there is a higher proportion of chert fragments.

Regarding the age of the Plio-Quaternary sediments, they have generally been considered as a separate lithological unit that differs from the other Quaternary sediments. They have been supposed to be of Upper Pliocene to Lower Pleistocene age (HERITSCH & SEIDL, 1919; PLENIČAR & RAMOVŠ, 1954). ŠIKIĆ et al. (1979b) considered them as an equivalent of the Upper Paludina beds of Romanian age with possible transition into the Lower Pleistocene. However, as far as we know, their exact stratigraphic span has not been determined yet.

All over the Krško basin, together with its rims, the Plio-Quaternary sediments are overlain by a sequence

CONTENT (pebbles > 2 cm)	SEDIMENT		
	PI-Q (all pebbles)	Q ₁ ² , Q ₁ ³ , Q ₂ (silicate pebbles)	Q ₂ (all pebbles)
Carbonates	0 %		77 %
Permian (Gröden) sandstone	17 %	15 %	
Other siliciclastites	14 %	32 %	
Triassic extrusive	22 %	17 %	23 %
Andesite and andesite tuff	13 %	21 %	
Chert	22 %	9 %	
Quartz	12 %	6 %	
Total	100 %	100 %	100 %

Table 1 Petrographic composition of pebbles taken in the open clay-pit at Globoko (PI, Q) and in gravel pits south of Krško (Q₁², Q₁³, Q₂). Total of 22 samples 14-22 kg of weight were taken.

that consists of silt and clay. VERBIČ (1995) determined it as paleosol whose thickness reaches up to 10 meters. The same author detected at least two of paleosol horizons even within the sand and gravel series at the clay pit atop the abandoned coal mine at Globoko. The thicknesses of these horizons are up to 1 meter.

Structurally, the Plio-Quaternary sequence is included into the folding of the same sense as the Neogene one, however, the amplitude of folds is lower (Fig. 3). Strata form a syncline that coincides with the main

Neogene fold of the Krško basin. Their limbs are secondarily folded. The most distinct is the Libna anticline, and the Leskovec and Mraševo folded areas. These structures have been determined by field mapping (POLJAK, 1996; 1997a; TOMAN, 1996; VERBIČ, 1996; RIŽNAR, 1998), by geophysical investigations (ŽIVANOVIĆ & POLJAK, 1997) and by trenching (POLJAK, 1997b). We believe that their origin is, in addition to the main folding, connected to horizontal displacement along the Orlica fault during Pleistocene. Longitudinally in ENE-WSW direction, the main fold forms the two depressions, at Kostanjevica and Globoko area. The first one was detected by previous geophysical investigations (BREZIGAR et al., 1993), and the second one was determined by drilling (POLJAK et al., 1985; MARIN, 1988; POLJAK et al., 1995; POLJAK, 1999). In the Globoko depression, the thickness of the Plio-Quaternary series is over 150 meters.

In addition to being folded, the Plio-Quaternary sediments are also faulted. Supposed faulting is along the Orlica fault and along several smaller faults on the Libna Mt. (POLJAK, 1996, 1997a; ŽIVANOVIĆ et al., 1998). A structure known as the Artiče flexure is, according to recent seismic profiling (PHARE, 1995), more likely to be a reverse fault that stretches in E-W direction with southward direction of thrusting.

2.2. MIDDLE PLEISTOCENE(?) SEDIMENTS

These sediments form a distinct river terrace along the paleo Sava river flow (Fig. 2 b). This is the oldest Quaternary terrace in the Krško basin. ŠIKIĆ et al.

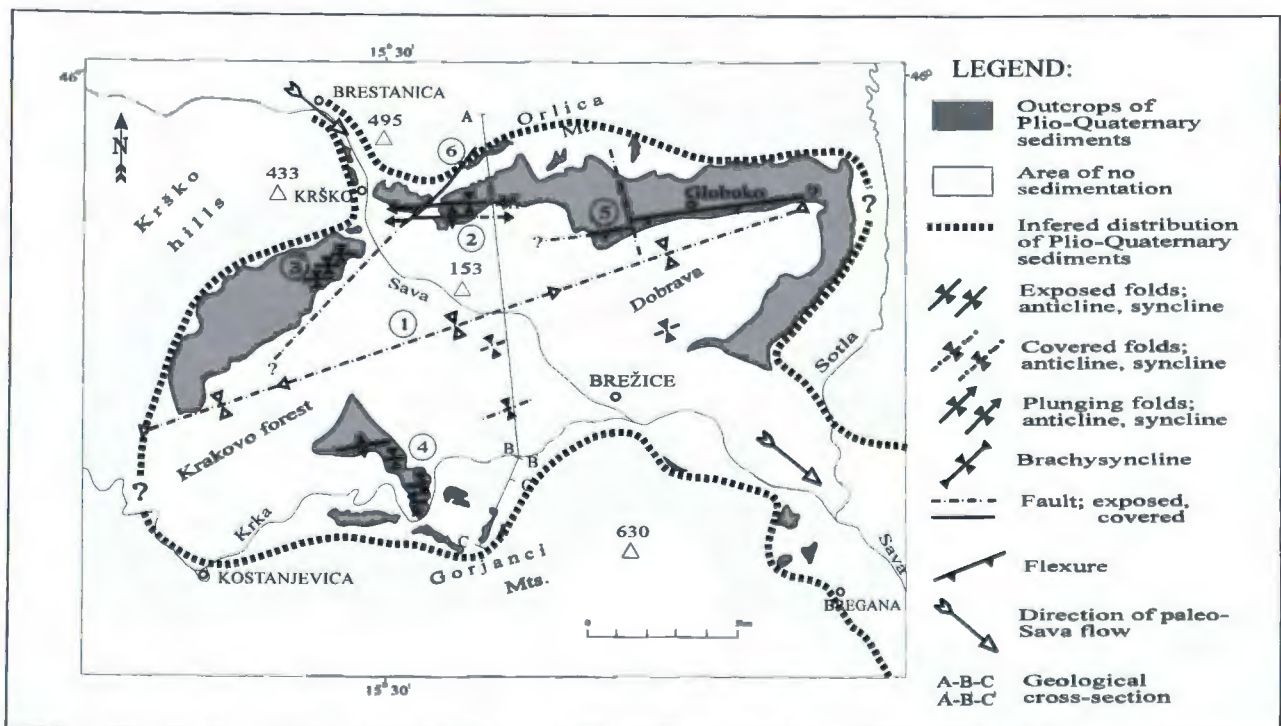


Fig. 2a Position of Plio-Quaternary sediments (Sava river faces) in the Krško basin. Structures: 1) Krško syncline; 2) Libna fold; 3) Leskovec folded area; 4) Mraševo folded area; 5) Artiče flexure; 6) Orlica fault.

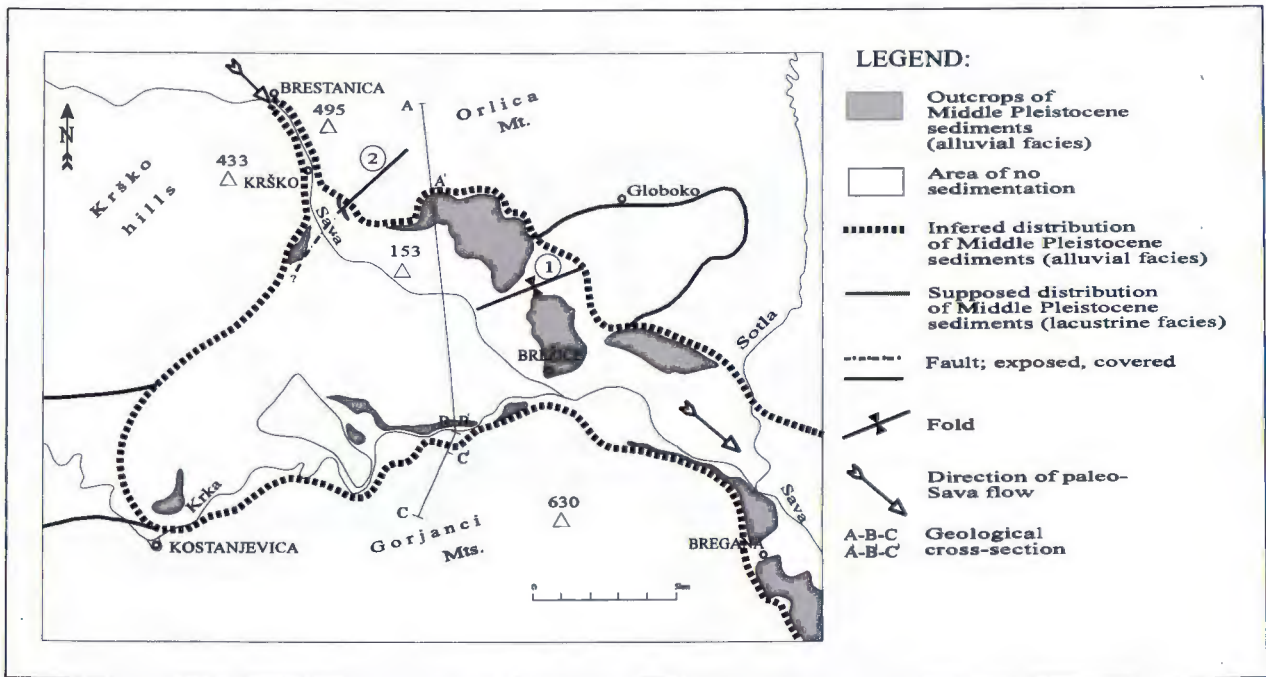


Fig. 2b Position of Middle Pleistocene sediments in the Krško basin. Structures: 1) Krško syncline; 2) Orlica fault.

(1979b) defined it as the a_3 terrace, i.e. as the highest one among the other two Sava terraces. KUŠČER (1993) and VERBIČ (1995) called it a deposit of the penultimate glaciation and supposed its Rissian age.

This terrace can be followed from Brestanica where it lies at elevation 170 meters to Brežice where its elevation is on 150 meters. The continuation of the terrace can be followed further southwestward between the Gorjanci (Žumberak) Mts. and the Mt. Medvednica into the Zagreb depression. This path could be considered as the epigenetic one, because the paleo Sava cut here the

uplifted SSE synclinal limb. These sediments are also present in the middle part of the Krško basin, where they are covered by younger Quaternary sediments.

Lithologically, these sediments differ distinctly from the Plio-Quaternary sequence, and they consist of mixed silicate carbonate sand and gravel that is somewhere cemented by a stalactite type of cement (Table 1). Laterally, in the Krakovo forest and Dobrava, there are sediments that consist of silt and clay. Here, they are covered by younger Quaternary sediments of the same lacustrine origin.

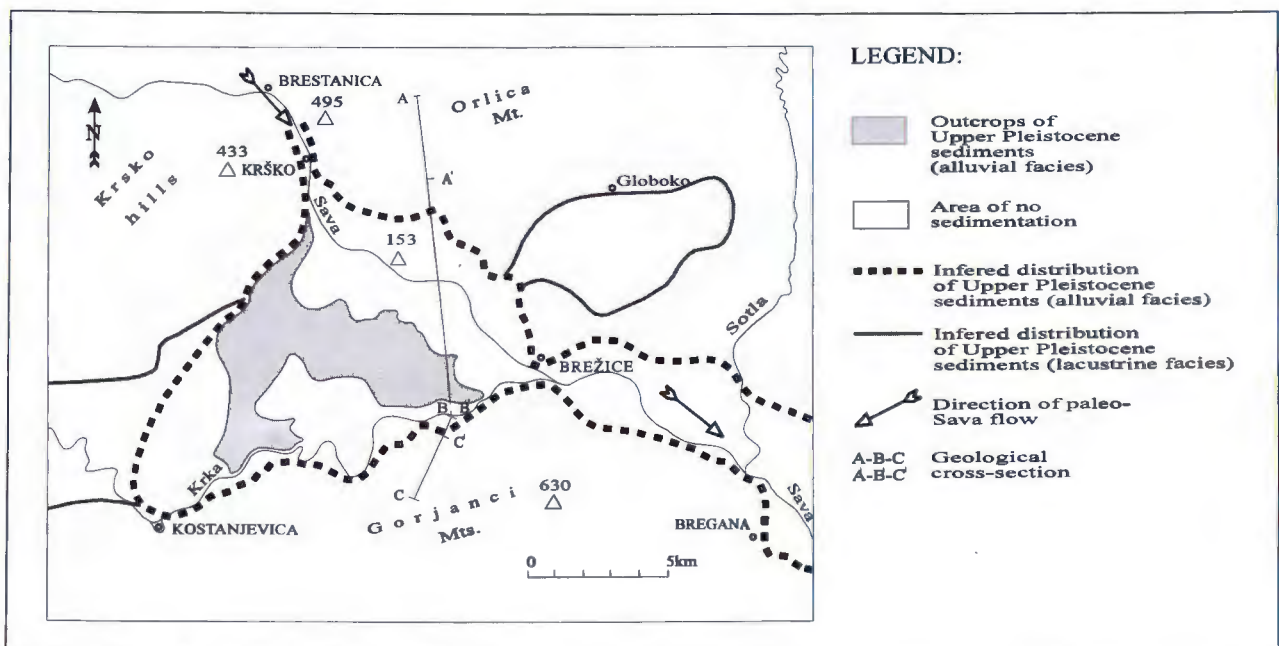


Fig. 2c Position of Upper Pleistocene sediments in the Krško basin.

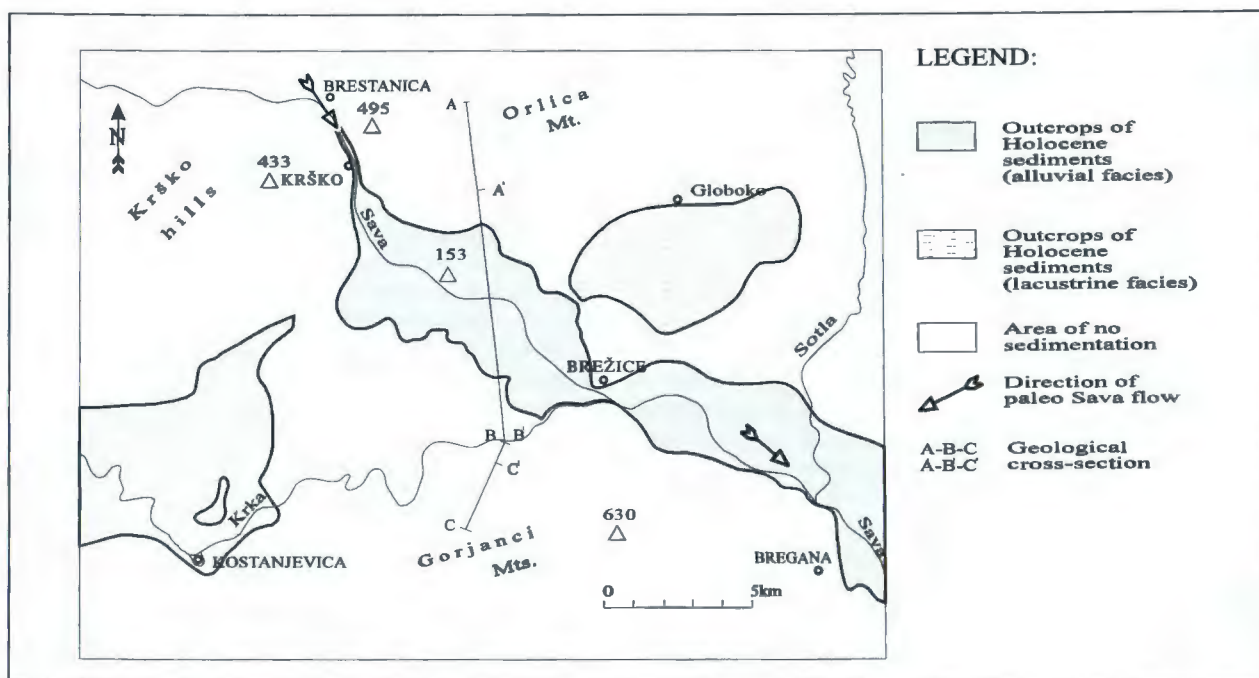


Fig. 2d Position of Holocene sediments in the Krško basin

Their exact stratigraphic position has not been determined yet. They lie above the younger river terrace, the age of which has been at Kostanjevica determined as Würm (PLENIČAR & PREMUR, 1977b). Therefore, KUŠČER (1993) supposed, that this older terrace may belong to Riss. The existence of older Pleistocene sediments is indeed proven by pollen in the easternmost part of the Krško basin at Novo mesto, and these belong to the Günz - Mindel interglacial (PLENIČAR & PREMUR, 1977b). On the basis of this data, we suppose that the lateral equivalent of the described river terrace belongs to an older stratigraphic sequence than Würm, possibly to Riss.

The upper surface of the terrace is on some places covered by a relatively thick (1-6 m) sequence of silty and sandy sediments that originate from local creeks' deposition.

Generally, the Middle Pleistocene river terrace (lower and upper surface) gently dips towards southeast following the Sava river flow. In addition to this, the terrace is also bended towards the central part of the Krško basin and coincide with the Krško syncline (Fig. 3). Faulting is detected at the Libna Mt. slope, where there are indications that the terrace is broken along the Orlica fault. The southeastern part of the terrace is uplifted for 5 to 10 meters in relation to the northwestern one (VERBIČ, 1995; POLJAK, 1996; ŽIVANOVIĆ et al., 1998).

2.3. UPPER PLEISTOCENE SEDIMENTS (WÜRM)

These sediments form a river terrace whose distribution is smaller than the older one. It could be traced from the Brestanica at the north to the Bregana at the south (Fig. 2c).

This terrace has the character of an alluvial fan, whose surface dips steeper than the recent Sava flow. Sedimentary textures that can be seen in numerous gravel pits over the Krško basin suggest a typical braided flow. Lithologically, these sediments consist of non-cemented sand and gravel (Table 1).

Laterally, in the area of the Krakovo forest and Dobrava, there are fined-grained equivalents of the above described gravels. These sediments follow the broad axis of the Krško syncline and represent the sedimentary fill of numerous creeks of the Krško hills and Mt. Orlica. In addition to silty sediments, there are also sequences of mud and clays with peat, what suggest partial lacustrine or marshy environment over these terrains during Upper Pleistocene. The age of these sediments was on the basis of pollen determined as Upper Pleistocene, i.e. the Würm (PLENIČAR & PREMUR, 1977b; ŠIKIĆ et al., 1979b).

Structurally, both of these sequences are undeformed. Numerous gravel pits have been carefully investigated, and no signs of tectonics have been noticed here, specially not those ones suggested by PREMUR (1976, 1996).

2.4. HOLOCENE SEDIMENTS

Holocene coarse grained sediments consisting of sandy gravel sediments could be found along the recent Sava flow. In fact, in its northwestern part from Krško to Brežice the Sava river cut its bed into the Upper Pleistocene terrace, so that this area is more an erosional surface. The deposition of Holocene Sava sediments started southeast of Brežice towards Bregana.

Fluvial activity of the Sava river during the Holocene could be also studied from historical records. Thus,

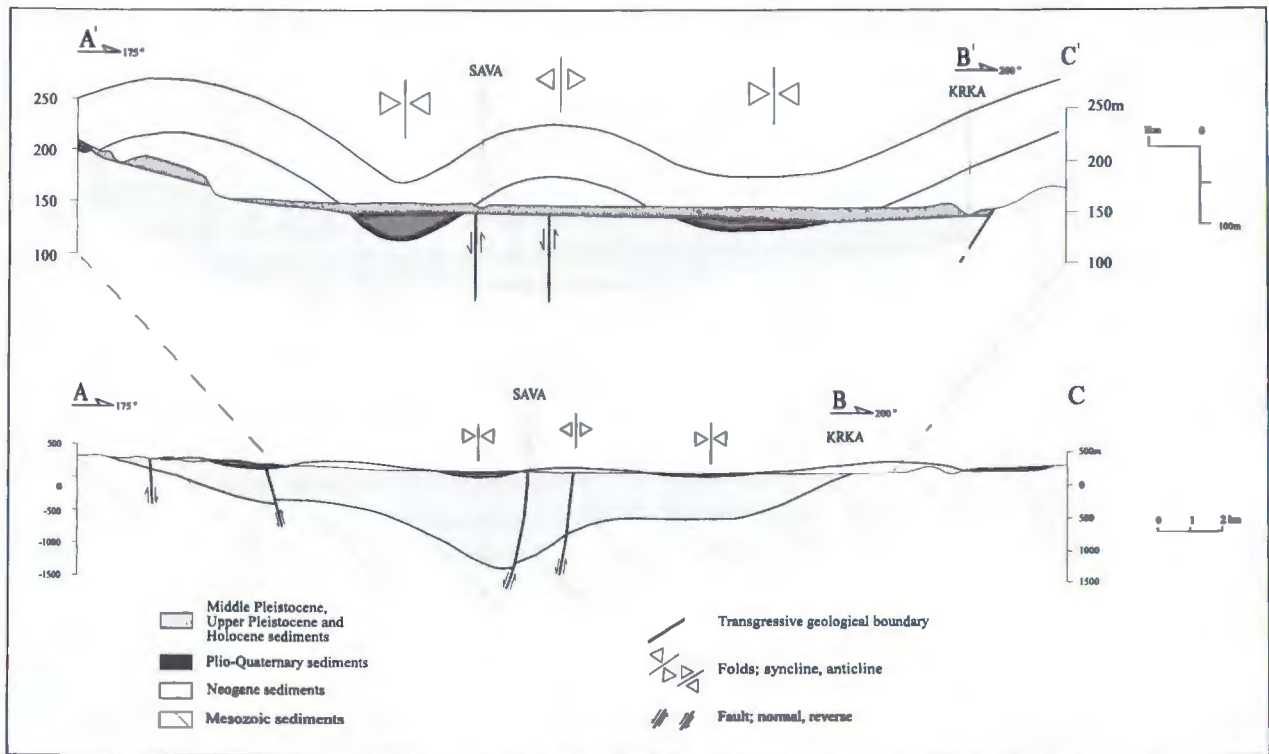


Fig. 3 Geological profile across the Krško basin. Profile a (A-B-C) follows the seismic reflection profile by GOSAR et al. (1995), and profile b (A'-B'-C') is its vertically exaggerated portion.

at Drnovo village, there are remnants of a Roman port. In fact, recent Sava river bed is an artificial one, and originates from the end of the 19th century, and it was finished in the 20th century. This is well illustrated by a number of topographic maps from that period collected by VERBIČ (1993).

Laterally to the main Sava river flow, in the Krakovo forest and Dobrava, there is a facies of fine grained sediments. It is identical to that of Upper Pleistocene age and consists of silt, silty clay and clay with peat. These sediments can not be distinguished from older ones, and they represent a continuation of lacustrine deposition from the Pleistocene to Holocene with total column of over 50 meters (Fig. 1). This area is in fact still marshy to this day.

There is no evidence of tectonic deformation of the Holocene sediments.

3. CONCLUSION

The main achievement of this work is a reconstruction of the paleogeographic position of Quaternary and the Plio-Quaternary sediments of the Krško basin. They all, contrary to existing hypothesis, are connected to the paleo Sava river flow, and they were continuously deposited along its bed from the Sava folds on the northwest to the Zagreb (Sava) depression to the southeast throughout the Quaternary. Sediments consist of sands and gravels of fluvial origin with lateral lacustrine equivalents consisting of silts, silty clays and clays with peat.

The Plio-Quaternary sediments, form the highest river terrace, composed of silicate sand and gravel. They were deposited in a broad valley of the initial Krško basin that coincided with the Neogene syncline. Lower river terrace consists of mixed silicate carbonate sand and gravel and its lacustrine equivalents of silt and clay. It is likely Riss but there is not yet incontrovertible evidence. The next river terrace, together with its lateral lacustrine facies, is of the same lithological content. Its age has been previously determined as Würm. The Holocene terrace can be followed along the present Sava bed. Its lacustrine equivalents were deposited in the eastern and western part of the Krško basin. The Holocene age of this terrace may be determined by archeological sites.

Structurally, each of the mentioned morpholithological units represent a particular tectofacies with related structures. Thus, the Plio-Quaternary sediments are folded in the same sense as the Neogene sediments. The existence of some faults is also determined. The Middle Pleistocene sediments also express folding but of less amplitude. Some faulting, determined indirectly is also present here. Sediments belonging to Upper Pleistocene and Holocen have no signs, no direct nor indirect, of folding or faulting.

To conclude, we can say that there is a sufficient evidence to discard the hypothesis of the Krško basin being a tectonic graben as well as ideas of numerous active faults within the Quaternary sediments. What, however, remains to be solved is the exact age of Plio-

Quaternary sediments as well as of the Pleistocene river terraces. This is not a pure academic question, because the purpose of our research, mentioned in the introduction, requires quantitative parameters of structures, among which is their exact age of great importance. This in turn can be determined only if the exact age of deformed sediments is known. However, we hope that the ongoing investigations will give the answer to that question.

Acknowledgements

The research was initiated by the Slovenian Nuclear Safety Administration, who is also the final beneficiary of obtained data. Here, we also thank Nataša Vidic Jeack and Glenn Jeack for reviewing our text.

4. REFERENCES

- BREZIGAR, A., TOMŠIČ B., STOPAR, R. & ŽIVANOVIČ, M. (1993): Pregled in reinterpretacija geofizikalnih raziskav v okolici NE Krško.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- GOSAR, A., ŽIVANOVIČ, M. & TOMŠIČ, B. (1995): Neotektonske raziskave na območju JE Krško, Geofizikalne raziskave na Krškem polju.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- HERITSCH, F. & SEIDL, F. (1919): Das Erdbeben von Rann und der Sava von 29. Jänner 1917.- Metteil. Erdbeben - Kommission, Noe Folge, 55, Wien, 155 p.
- KUŠČER, D. (1993): Neotektonika Krške kotline, Predhodno poročilo.- Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana (unpublished report).
- MARIN, M. (1988): Spremljiva in obdelava podatkov geotehniških lastnosti hribin strukturnih in hidrogeoloških razmer na območju rudnika Globoko pri poizkusnem odkopavanju za izdelavo glavnega rudarskega projekta in investicijskega programa.- Geološki zavod Slovenije (unpublished report).
- PHARE (1995): Geophysical research in the surroundings of Krško NPP.- PHARE Program, Project No. PH 1.08/95, European Commission, Brussels.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. (1977a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Novo mesto.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. (1977b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tolmač za list Novo mesto.- Geol. zavod Ljubljana, Zvezni geološki zavod, Beograd, 61 p.
- PLENIČAR, M. & RAMOVŠ, A. (1954): Geološko kartiranje severovzhodno od Brežic.- Geologija, 2, 242-248, Ljubljana.
- POLJAK, M. (1996): Geološko kartiranje na območju hriba Libne pri Krškem.- In: POLJAK, M. (ed.): Poročilo o detaljnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- POLJAK, M. (1997a): Geološka reambulacija hriba Libne pri Krškem in okolice.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- POLJAK, M. (1997b): Geološka reambulacija hriba Libne pri Krškem in okolice, Geološki razkopi.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- POLJAK, M. (1999): Geološke raziskave Krške kotline, Detaljno geološko kartiranje območja Globokega.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- POLJAK, M., DOZET, S., STOJANOVIČ, B., RIŽNAR, I. & DEMŠAR, M. (1995): Neotektonske raziskave na območju JE Krško, Geološke raziskave Krške kotline in njenega obrobja.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- POLJAK, M. & ŽIVČIČ, M. (1995): Tectonics and seismicity of the Krško basin. - 1st Croat. Geol. Congr., Opatija, Proceedings, 2, 475-479, Zagreb.
- POLJAK, M., ŽNIDARČIČ, M., DEMŠAR, M. & CAJHEN, J. (1985): Raziskave premoga Globoko.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- PREMRU, U. (1976): Neotektonika vzhodne Slovenije.- Geologija, 19, 211-249, Ljubljana.
- PREMRU, U. (1996): Recente tektonische Aktivität des Krško Einbruchstales (Slowenien).- Geologija, 39, 239-281, Ljubljana.
- RIŽNAR, I. (1998): Geološka karta ozemlja med Izvirom in Starim gradom.- Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana (unpublished report).
- ŠIKIĆ, K. (ed.) (1995): Geološki vodič Medvednice.- Institut za geološka istraživanja & INA, Zagreb, 199 p.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ A. (1979a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zagreb.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ A. (1979b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zagreb.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd, 81 p.
- TOMAN, M. (1996): Geološko kartiranje vzhodnega dela Krškega hribovja.- In: POLJAK, M. (ed.): Poročilo o detaljnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- VERBIČ, T. (1993): Kvartarni sedimenti v Krški kotlini, Raziskave za potrebe ugotavljanja potresne nevarnosti na lokaciji NEK.- Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana (unpublished report).
- VERBIČ, T. (1995): Neotektonske raziskave na območju JE Krško, Kvartarni sedimenti v vzhodnem delu Krške kotline.- Geološki zavod Slovenije (unpublished report).
- VERBIČ, T. (1996): Geološko kartiranje Krške kotline.- In: POLJAK, M. (ed.): Poročilo o detaljnem geološkem kartiranju Libne pri Krškem in okolice. Geološki zavod Slovenije (unpublished report).
- ŽIVANOVIČ, M. & POLJAK, M. (1997): Poročilo o geoelektričnih raziskavah na severnem pobočju hriba Libna v letu 1997.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).
- ŽIVANOVIČ, M., STOPAR, R., GAZZANO, G. & POLJAK, M. (1998): Geofizikalne in geološke raziskave na treh ostankih srednjepleistocenskega zasipa pri Stari vasi.- Geološki zavod Slovenije, Ljubljana (unpublished report).





Peritajdalni ciklusi oplićavanja naviše tijekom mladeg titona u bušotini Jadran-15/3 (sjeverni Jadran, Hrvatska)

Late Tithonian Peritidal Shallowing-upward Cycles in the Well Jadran-15/3 (Northern Adriatic, Croatia)

Vladimir VESELI, Renata SLAVKOVIĆ & Damir STANKOVIĆ

Ključne riječi: peritajdalni ciklusi oplićavanja naviše, mladi titon, Jadran-15/3, Jadranska karbonatna platforma, sjeverni Jadran, Hrvatska.

Key words: Peritidal shallowing-upward cycles, Late Tithonian, Off-shore well Jadran-15/3, Adriatic Carbonate Platform, Northern Adriatic, Croatia.

Sažetak

Istražnom bušotinom Jadran-15/3 probušen je u intervalu 1217,0-1252,0 m slijed gornjotitonskih karbonatnih naslaga koje karakteriziraju peritajdalni ciklusi oplićavanja naviše, odnosno sekvencije pokrupnjavanja naviše. Ciklusi se obično sastoje od tri člana: stilolitizirani madston, fenestralni madston i intraklastično-bioklastični grejnston.

Prvi član ciklusa, stilolitizirani madstoni, taloženi su u plitkom potplimskom okolišu. Postupnim oplićavanjem ovi sub-tajdalni muljevi dospjevaju u intertajdal gdje se isušuju i pucaju te u njima nastaju fenestralne tvorevine kojima je obilježen drugi član ciklusa. Treći član ciklusa se pojavljuje u obliku tanjih ili debljih slojeva na erodiranoj i desikacijski ispucanoj površini prethodnog člana. Najčešće se sastoji od različitih tipova fenestralnih pizoidno-intraklastično-bioklastičnih grejnstona/radstona. Nastao je djelovanjem olujnih valova ili visokih plima koje razaraju slabolitificirane podinske taloge, a odlomljene komadiće naplavljaju u intertajdalno-supratajdalni okoliš (prednji i stražnji žal). Duža ili kraća izloženost subaerskim uvjetima uz djelovanje slatke meteor-ske vode, a vjerojatno i zaostale morske vode uzrokuju stvaranje brojnih vadoznih dijagenetskih tvorevina.

Abstract

Sequence of the Upper Tithonian carbonate deposits which is characterized by peritidal shallowing-upward cycles and coarsening-upward sequences, has been drilled by exploration well Jadran-15/3 in the interval 1217.0-1252.0 m. These cycles contain generally three members: stylolized mudstones, fenestral mudstones, and intraclastic-bioclastic grainstones.

The sediments of the first member, i.e. the stylolized mudstones, were deposited in shallow subtidal environments. Due to gradual shallowing, these subtidal muds got into the intertidal settings where they desiccate and crack, and within the fissures fenestral elements have originated, which are characteristic for the second member. The third member occurs in a form of thin or thick layers which lay on the eroded bedding surface of the second member characterised by desiccation cracks. Usually, these layers consist of different types of fenestral pisoid-intraclastic-bioclastic grainstone/rudstones. This lithotype was formed by the action of storm waves and high tides which have destructed the weakly lithified sediments so that the broken pieces were washed ashore into the intertidal to supratidal settings (foreshore and backshore). The short to long-lasting exposure to subaeric conditions, together with the action of meteoric water and the remained marine water, respectively, have caused the formation of the vadose diagenetic fabrics.

1. UVOD

Sjeverni dio podmorja Jadrana prema novijim geološkim interpretacijama pripada sjeverozapadnom dijelu Jadranske karbonatne platforme (FINETTI et al., 1989). Unutar njega je moguće izdvojiti dvije geomorfološke cjeline: a) istočni dio koji pripada karbonatnoj platformi odlikuje debeli slijed plitkomorskih karbonatnih sedimenata taložen od gornjeg dogera do gornjeg

krede, s time što je u njezinom najistočnijem dijelu (poluotok Istra) plitkovodna sedimentacija trajala s povremenim prekidima sve do ranog eocena (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973; TIŠLJAR et al., 1983; VELIĆ & TIŠLJAR, 1988; VELIĆ et al., 1989, 1995; MATIČEC et al., 1996, i dr.) i b) zapadni dio koji je smješten unutar Venecijanskog bazena i ima odlike potopljene karbonatne platforme ili intraplatformnog bazena od gornjeg anizika do gornjeg dogera karakteriziraju pretežito



Sl. 1 Pozicijska karta bušotine Jadran-15/3.
Fig. 1 Location map of the well Jadran-15/3.

plitkovodni karbonatni sedimenti. U srednjoj juri zbog djelovanja sinsedimentacijske tektonike ovo područje postupno tone, te se u njemu tijekom čitave krede i starijeg paleogena odvija dubljevodna ("bazenska") karbonatna sedimentacija (CATTI et al., 1989; FINETTI et al., 1989).

Podmorska bušotina Jadran-15/3 nalazi se na području plitkomorske karbonatne platforme oko 72 km jugozapadno od Pule (sl. 1).

2. PERITAJDALNI CIKLUSI OPLIĆAVANJA NAVIŠE U GORNJEM TITONU

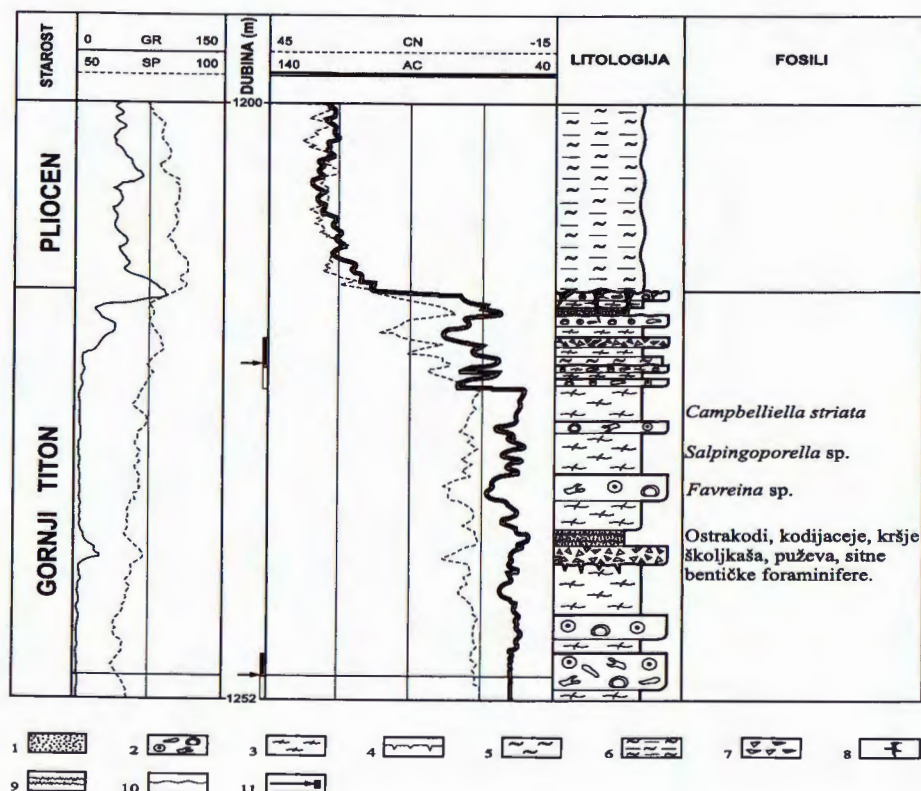
Facijesne osobitosti peritajdalnih ciklusa oplićavanja naviše prikazane su na shematskom geološko-geofizičkom stupu bušotine (sl. 2) i shematskom prikazu ciklusa oplićavanja naviše u titonskim vapnencima (sl. 3).

2.1. LITOFACIJES

Peritajdalni ciklusi su predstavljeni ritmičnom izmjenom tri glavna tipa vapnenaca: 1) stilolitiziranih madstona; 2) fenestralnih madstona i 3) fenestralnih grejnstona/radstona s vadoznim dijagenetskim tvorevinama (sl. 3).

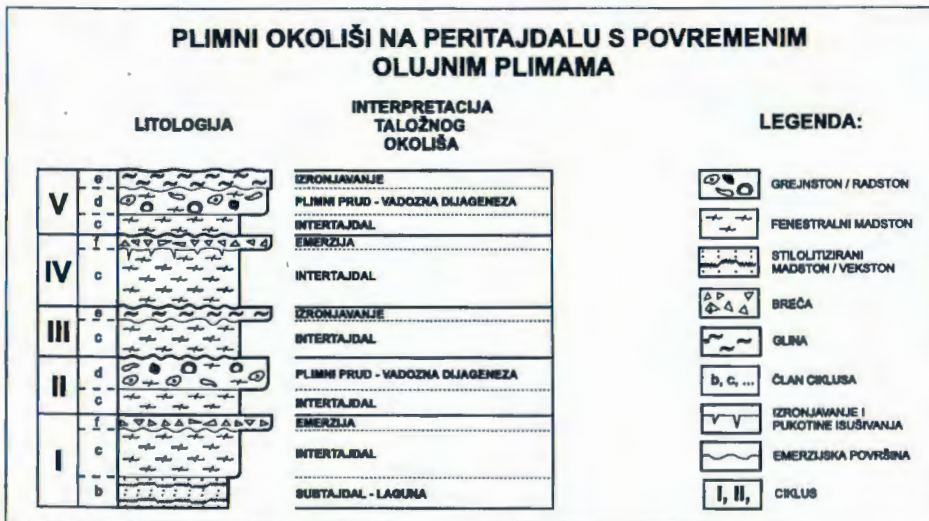
Prvi član ciklusa (a) obično čine 30-60 cm debeli stilolitizirani madstoni sive do svijetlosmeđe boje. U gusto pakiranom karbonatnom mulju oni sadrže kršje ostrakoda i vapnenačkih alga te promjenljivu količinu sitnih, često intenzivno mikritiziranih bentičkih foraminifera. Uz njih, mjestimice se pojavljuju i madstoni s mrvičastom strukturom (mrvičasti mikriti), a vrlo rijetko i peloidno-onkoidni madstoni/vekstoni.

Peloidi imaju mikritnu internu strukturu, subzaobljenog su do zaobljenog oblika, veličine 0,07-0,35 mm. Onkoidi su slabije zastupljeni u odnosu na peloide, ali



Sl. 2 Shematski geološko-geofizički stup intervala 1200,0-1252,0 m bušotine Jadran-15/3. Legenda: 1) madston/vekston/pekston; 2) grejnston; 3) fenestralni madston; 4) pukotine isušivanja; 5) glina; 6) glinoviti lapor; 7) emerzijska breča; 8) okršavanje; 9) stiloliti; 10) emerzijska površina; 11) jezgra.

Fig. 2 Schematic geological-geophysical column of the interval 1200.0-1252.0 m in the well Jadran-15/3. Legend: 1) mudstone/wackestone/packstone; 2) grainstone; 3) fenestral mudstone; 4) desiccation cracks; 5) clay; 6) clayey marls; 7) emersion breccia; 8) palaeokarstification; 9) stylolites; 10) emersion surface; 11) core.



Sl. 3 Shematski prikaz ciklusa opličavanja naviše u titonskim vapnencima podmorske bušotine Jadran-15/3.

Fig. 3 Schematic diagram of shallowing-upward parasequences in the Upper Tithonian limestones in off-shore well Jadran-15/3.

su zato znatno krupniji od njih (veličina 0,50-2,50 mm) i pretežito pripadaju onkoidima tipa algalnih lopti.

Vapnenci ovog člana često su ispresjecani brojnim horizontalnim stilolitima, suturiranog i/ili seizmogram tipa. Amplitude su im uglavnom niske, a šavovi su ispunjeni rezidualnim i glinovitim materijalom.

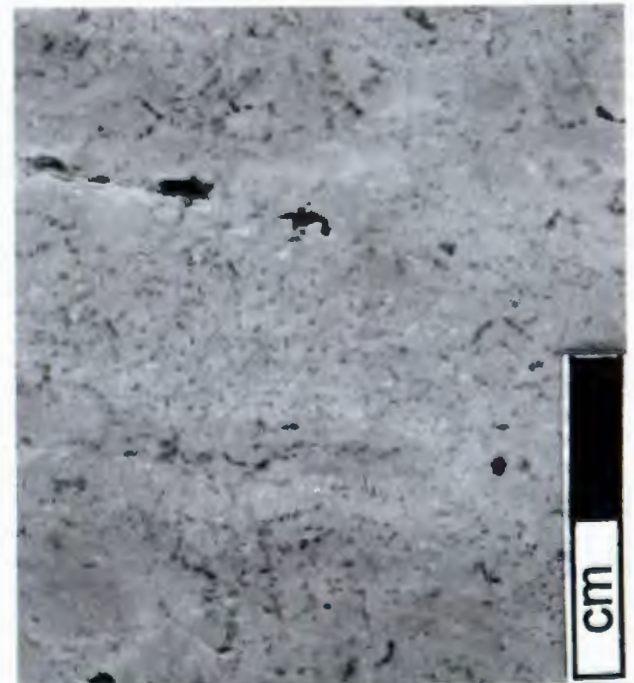
Prividna neutronska poroznost stilolitiziranih mikritnih vapnenaca izuzetno je mala i iznosi svega 1-2% (sl. 2, krivulja CN). Pore se pojavljuju u obliku rijetkih šupljina otapanja, poneke skeletno-kalupne (*biomoldic*) pore ili pora romboedarskog oblika koje su nastale otapanjem pojedinačnih idiomorfni kristalića dolomita.

Drugi član ciklusa (b) izgrađuju fenestralni madstoni svijetlosmede boje. To je najzastupljeniji član u stupu bušotine, kako po učestalosti tako i po ukupnoj debljini (sl. 2). Fenestralni madstoni se odlikuju brojnim sitnim nepravilnim i/ili laminoidnim fenestrama tako da stijena pokazuje šupljikavu i celularnu građu (sl. 4). Sitne i tanke laminoidne fenestre većinom su potpuno ispunjene mozaičnim kalcitnim cementom (sl. 5). Za razliku od njih, krupne nepravilne fenestre i šupljine otapanja u donjem dijelu često sadrže vadozni kristalni silt, dok im je gornji dio djelomice ili potpuno ispunjen mozaičnim kalcitnim cementom.

U pojedinim ciklusima ovaj član može završavati desikacijskim pukotinama, tankim slojevima i proslojcima emerzijskih breča i kalkretnih kora ili glina (sl. 3). Kalkretne kore su ponekad rastrgane i pretvorene u kalkretnu breču. Analize uzoraka glina provedene pomoću skanirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM) pokazale su da se glina sastoji od asocijacije illita i klorita (sl. 6), manje količine igličastog i štapičastog anhidrita te malih nakupina pločastog gipsa. Kalkretne kore većinom ispunjavaju manja udubljenja u stijeni, a građene su od krupnokristaliničnog ili radijalnoznatog kalcitnog cementa. Sporadično sadrže i varijabilnu količinu autigenog kvarca. Obzirom na intenzivnu cementaciju pomog prostora primarna poroznost fenestralnih vapnenaca je uveliko smanjena i iznosi svega 1-3%,

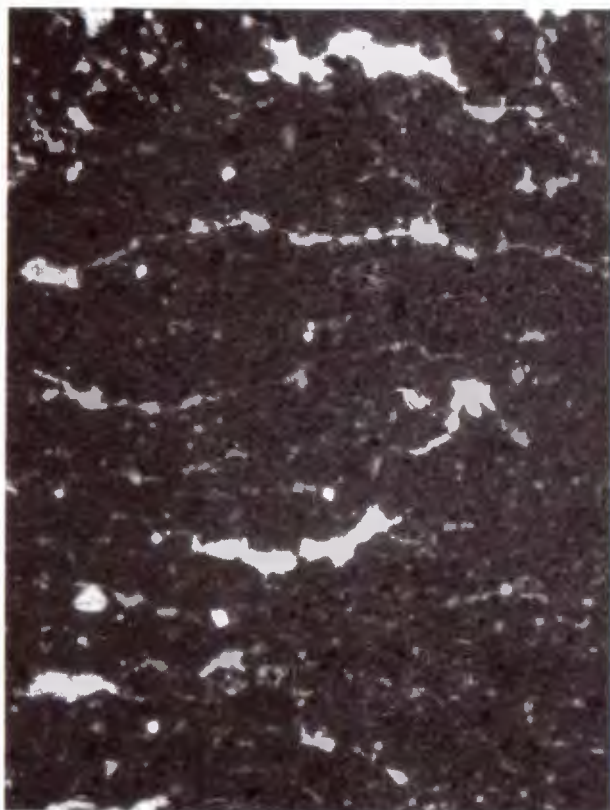
osim u gornjem dijelu litofacijesa gdje je zbog okršavanja znatno veća i iznosi od 15-25% (sl. 2, krivulja CN).

Treći član ciklusa (c) je zastupljen različitim tipovima fenestralnih grejnstona i radstona. Oni u vertikalnom slijedu imaju jako promjenljivu građu i debljinu (sl. 2). To su najčešće fenestralni pizoidno-intraklastični grejnstoni/radstoni i fenestralni pizoidni onkoidno-bioklastični grejnstoni/radstoni. Nepravilne i laminoidne fenestre, brojne šupljine otapanja i tanke valovite kore trošenja te pizoidi različitih oblika, građe i dimenzija čine glavni sadržaj ovih vapnenaca (sl. 7).



Sl. 4 Fenestralni madston sadrži male nepravilne i laminoidne fenestre (1220,5-1225,0 m, l.m 0,20-0,27 m). Član b ciklusa opličavanja naviše. Gornji titon.

Fig. 4 Fenestral mudstone containing small irregular and laminoid fenestrae (1220,5-1225,0 m, l.m 0,20-0,27 m). Member b of the shallowing-upward cycle. Upper Tithonian.

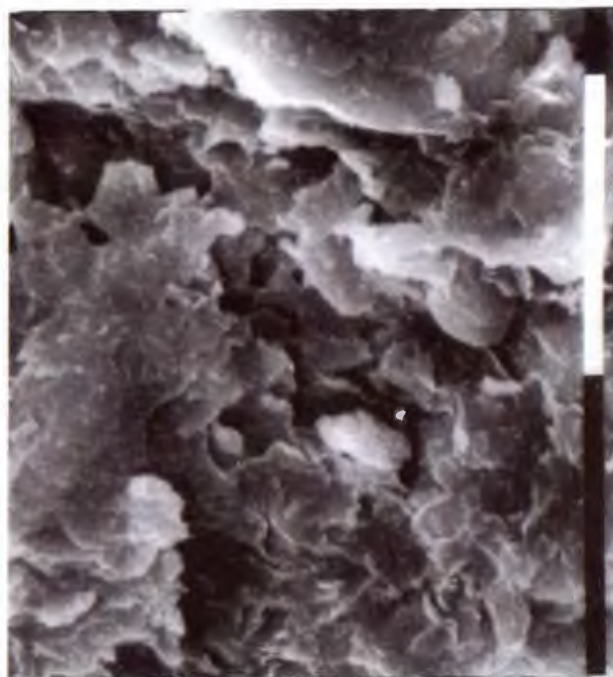


Sl. 5 Fenestralni madston sadži tanke laminojne fenestre pretežito zapunjene kalcitnim cementom. (1220,5-1225,0 m, I.m 0.30 m). Gornji titon.

Fig. 5 Fenestral mudstone containing thin laminoid fenestrae mostly filled by calcite cement (1220.5-1225.0 m, I.m 0.30 m). Upper Tithonian.

Pizoidi su građeni od jezgre, omotane s jednim ili više koncentričnih ovoja u kojima se jasno nazire radijalna grada. Jezgre im najčešće čine različito oblikovani mikritni intraklasti, a ponekad se kao jezgra pojavljuju i dva ili više slijepljena manja pizoida. Uz njih su učestali sastojci ovog člana slabo zaobljeni do zaobljeni mikritni intraklasti i peloidi. U manjoj mjeri još se nalaze i onkoidi tipa C, odnosno obavijeni bioklasti koji kao jezgru sadrže fragment skeleta nekog organizma (gastropoda, školjkaša, bodljikaša, zelene alge ili bentičke foraminifere) obavijen s jednim ili više kriptokristalastih onkoidnih ovoja. Zna se međusobno dodiruju tako da stijena ima zrnску potporu.

Laminojne fenestre, intergranularni prostori i šupljine otapanja pretežito su ispunjene mozaičnim kalcitnim cementom. Zbog cementacije pomog prostora znatno je smanjena primarna poroznost sedimenata u pretežitom dijelu facijesa. Međutim, u vršnom dijelu facijesa, intergranularni prostori, šupljine otapanja i fenestre nisu uvijek potpuno zapunjene kalcitnim cementom, pa stijena pokazuje relativno visoku poroznost (sl. 8). Uz prethodno spomenute šupljine ovdje je učestala i kristalomoldička poroznost. Ona je posljedica nepotpune cementacije kalupnih šupljina nastalih nakon izluživanja kristalića dolomita tijekom procesa dedolomitizacije.



Sl. 6 SEM-mikrofotografija asocijacije ilit/klorit (1220,5-1225,0 m, I.m 0.55 m), 3300x. Gornji titon.

Fig. 6 SEM-microphotograph of illite/chlorite association (1220.5-1225.0 m, I.m 0.55 m), 3300x. Upper Tithonian.

Prividna neutronska poroznost fenestralnih grejstona/radstona iznosi 2-8%, osim u višem dijelu facijesa gdje se zbog spomenutih razloga vrijednosti kreću od 10 do 15% (sl. 2, krivulja CN).

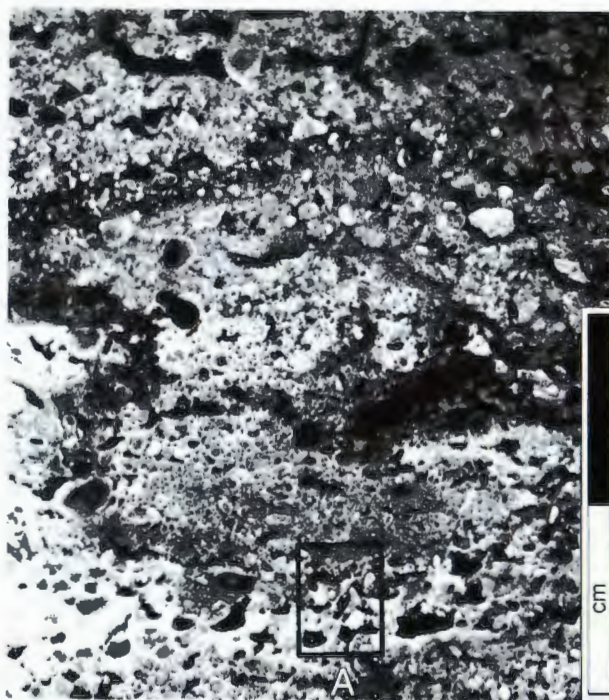
2.2. BIOFACIJES

Nastupanje relativno nepovoljnih uvjeta i okoliša za život i rast kako biljnog tako i životinjskog svijeta uzrok je veoma slabe fosilifernosti analiziranih naslaga. Mikrofosilna zajednica se uglavnom svodi na pojedinačne, a samo mjestimice i nešto učestalije nalaze zelenih alga *Campbelliella striata* CAROZZI i *Salpingoporella* sp. Uz njih pojavljuje se još i manja količina kršja školjkaša, gastropoda, ostrakoda, specifički neodredivih sitnih bentičkih foraminifera, kodijaceja, te favreinskih peleta.

Iako malobrojna, citirana fosilna zajednica dovoljno jasno definira gornjomalmsku, odnosno gornjotitonsku starost vapnenaca izdvojenih u facijes peritajdalnih ciklusa oplićavanja navise (= Kirmenjak član - VELIĆ & TIŠLJAR, 1988).

2.3. OKOLIŠ TALOŽENJA

Mikritni vapnenci prvog člana ciklusa oplićavanja navise taloženi su u plitkom potplimnom okolišu zašti-



Sl. 7 Fenestralni pisoidno-intraklastični grejnston/rudston sastavljen od nesortiranih loše cementiranih intraklasta i pisoida (1248.0-1252.0 m, II.m 0.65-0.85 m). Član c ciklusa oplićavanja naviše. Gornji titon.

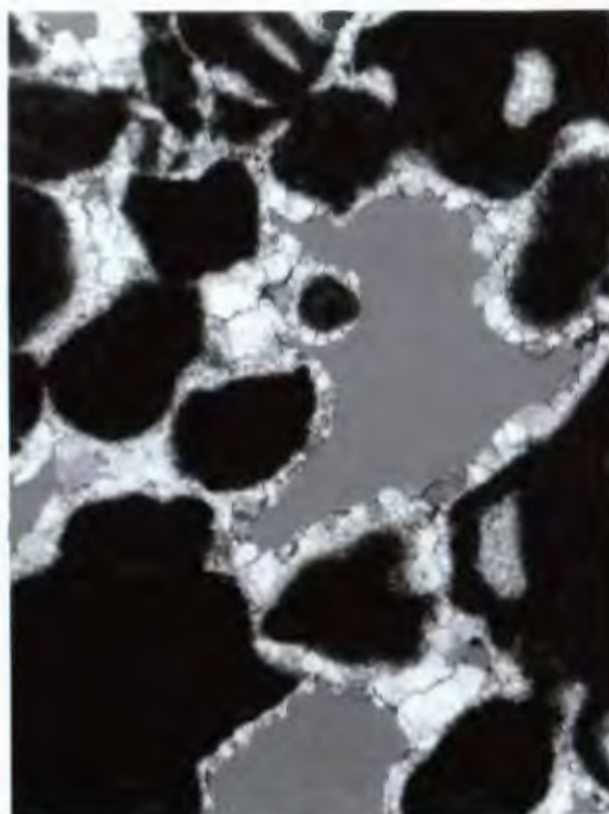
Fig. 7 Fenestral pisoid-intraclastic grainstone/rudstone composed of unsorted poorly cemented intraclasts and pisoids (1248.0-1252.0 m, II.m 0.65-0.85 m). Member c of the shallowing-upward cycle. Upper Tithonian.

ćenih plićaka ili laguna. Jednolična i oskudna fosilna zajednica u kojoj dominiraju vapnenačke alge, sitne bentičke foraminifere i ostrakodi ukazuje na nešto povišeni salinitet. Postupnim sve jačim oplićavanjem ovi još nedovoljno litificirani karbonatni talozi dopjevaju u donji intertajdal gdje se slabije ili jače isušuju uz nastanak fenestralne grade. U vršnim dijelovima sloja česta su desikacijska pucanja, a sporadično i erozija tako ispućalog taloga (drugi član ciklusa).

Djelovanjem plima i olujnih valova, na takvu ispućanu i erodiranu površinu prethodnog člana naplavljan je iz plitkog potplimnog okoliša krupnozrnati karbonatni detritus sastavljen od skeletnih zrna, intraklasta, peloida, onkoida i mikritiziranih bioklasta, te su nastajali niski prudovi. Daljnjim oplićavanjem sedimenti plimnog pruda izranjaju iznad srednje razine plime gdje su dulje ili kraće izloženi subaerskim i/ili vadoznim uvjetima, posljedica čega je nastanak laminoidnih fenestri, šupljina otapanja i kristalnog silta, a iz otopina prezasićenih Ca-hidrogenkarbonatom tvorba pisoida.

3. ZAKLJUČAK

Karbonatne sedimente mladeg titona karakteriziraju ciklusi oplićavanja naviše, tj. sekvencije pokrpnjavanja



Sl. 8 Vrlo porozni grejnston. Interpartikularna poroznost djelomice zapunjena obrubnim sparitnim kalcitom (1248.0-1252.0 m, I.m 0.80 m), + nikoli, 50x. Gornji titon.

Fig. 8 Very porous grainstone. Interparticle porosity partially filled by void-rimming sparry calcite (1248.0-1252.0 m, I.m 0.80 m), +N, 50x. Upper Tithonian.

nja naviše. Ciklusi se pretežito sastoje od tri člana. To su: stilolitizirani madston, fenestralni madston i intra-klastično-bioklastični grejnston.

Krajem titona i početkom krede ovo područje intenzivno oplićava, a na kraju i okopnjava. Kopnena faza traje sve do pliocena (približno 125 milijuna godina) kada na čitavom području zbog opće ingresije dolazi do transgresivnog nalijeganja pliocenskih klastita na periplimne sedimente gornjega titona.

4. LITERATURA

- CATTI, A., SARTORIO, D. & VENTURINI, S. (1989): Carbonate platforms in the subsurface of the Northern Adriatic area.- Mem. Soc. Geol. It., 40, 296-308.
- MATIČEĆ, D., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1996): Eocene limestones overlying Lower Cretaceous Deposits of western Istria (Croatia): Did some parts of present Istria form land during the Cretaceous?- Geologia Croatica, 49/1, 117-127.
- FINETTI, I., BRICCHI, G., DEL BEN, A., PIPAN, M. & XUAN, Z. (1989): Geophysical study of the Adria plate.- Mem. Soc. Geol., 40, 336-344.
- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1973): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Rovinj (Geology of Rovinj sheet).- Inst. za geol. Istraž. Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd, 51 str.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow mari-

- ne and perireefal carbonate sediments of Istria.- U: Babić, Lj. & Jelaska, V. (ur.): Contributions to Sedimentology of Some Carbonate and Clastics Units of the Coastal Dinarides. 4th I.A.S Regional meeting, Split, 1983, Excursion Guide-book, 13-35, Zagreb.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratigrafske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre (Lithostratigraphic units in the Dogger and Malm of western Istria).- Geol. vjesnik, 41, 26-49.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and emersion in western Istria (Croatia, Yugoslavia).- Mem. Soc. Geol. It., 40, 209-218.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat-gornji alb) u zapadnoj Istri, ekskurzija A (Stratigraphic succession of Jurassic and Lower Cretaceous carbonates (Bathonian - Upper Albian) in western Istria, Excursion A).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Vodič ekskurzije (The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-book), 31-66, Zagreb.



Stratigrafske značajke gornjokrednih naslaga otoka Lokruma (južna Hrvatska)

Stratigraphy of the Upper Cretaceous Deposits of the Lokrum Island (Southern Croatia)

Igor VLAHOVIĆ, Dubravko MATIČEC & Ladislav FUČEK

Ključne riječi: litofacijes, biofacijes, senon, ?konijak, otok Lokrum.

Key words: Lithofacies, Biofacies, Senonian, ?Coniacian, Lokrum Island.

Sažetak

Otok Lokrum je izgrađen od plitkovodnih vapnenaca koji su nerijetko, osobito u tektonski poremećenim zonama, izrazito kasnodijagenetski dolomitizirani. Na temelju mikrofossilne zajednice, utvrđene u peritajdalnim vapnencima obilježenim izmjenom madstona s proslojcima peloidno-skeletnih vekstona/pekstona, rudistnih floutstona i laminita, može se pretpostaviti konijačka starost.

Abstract

The island of Lokrum is composed of shallow-water limestones which are frequently, especially in tectonically disturbed zones, intensely late-diagenetically dolomitized. On the basis of the microfossil assemblage found in peritidal limestones (alternation of mudstones with layers of peloid-skeletal wackestones/packstones, rudist floatstones and laminites), Coniacian age was determined.

1. UVOD

Otok Lokrum (sl. 1) je površinom razmjerno malen (približno 0,7 km²), a zbog svojih je prirodnih ljepota pod zaštitom UNESCO-a kao Posebni rezervat šumske vegetacije. Budući da je gotovo cijeli otok prekriven gustom vegetacijom tek su duž obale vidljivi veći izdanci gornjokrednih karbonatnih naslaga.

Temeljne značajke geologije širega područja Dubrovnika prikazane su na Osnovnoj geološkoj karti i tumaču lista Dubrovnik (MARKOVIĆ, 1971, 1975), a o geološkim značajkama okolice Dubrovnika s otokom Lokrumom pisao je POLŠAK (1989).

2. LITOLOŠKE ZNAČAJKE

Otok Lokrum je izgrađen od dobrouslojenih vapnenaca i dolomita. Zbog tektonske poremećenosti stijene su često raspucane i kasnodijagenetski izmijenjene (rekristalizirane i kasnodijagenetski dolomitizirane), pa je gotovo nemoguće pronaći kontinuirani stratigrafski slijed veće debljine. Izmjena vapnenaca i dolomita je prilično nepravilna: na južnome dijelu otoka pretežu vap-

nenci, a prema sjeveru sve više raste udio dolomita, posebice u područjima rasjednih zona.

Vapnenci su obilježeni izmjenom madstona, peloidno-foraminiferskih vekstona i pekstona, rudistnih floutstona i laminita (sl. 2), dok su sporadično utvrđeni i proslojci kalciferskih vekstona.

Madstoni su svijetlosmeđe boje, najčešće debljine slojeva od 50 do 100 cm. Mjestimice sadrže rijetke taumatoporele, colisakuse, bentosne foraminifere i gastropode (među kojima rjeđe ima i nerinejskih oblika). Rijetko su vidljive i sitne kalupno-skeletne šupljine. Unutar madstona se nalazi promjenljiv udio tanjih proslojaka peloidno-skeletnih vekstona i pekstona i ostrakodnih madstona/vekstona. U ponekim slojevima česte su bioturbacije (sl. 3)

Rudistni floutstoni se pojavljuju u obliku proslojaka i slojeva različite debljine i različitoga udjela cijelih, a rjeđe i fragmentiranih ljuštura u madstonskom ili peloidno-foraminiferskom matriksu. Pretežu sitniji radiolitični tanjih smeđih ljuštura (promjera obično do 20 mm, a dužine do 50 mm), koji se nerijetko nalaze i u obliku buketa promjera 20-ak cm očuvanih u primarnome položaju rasta (sl. 4), ali i kao floutstoni (sl. 5) u kojima su skeleti mjestimice tako brojni da imaju međusobnu pot-



Sl. 1 Položajna skica.

Fig. 1 Location map.

poru. Rjeđi su krupniji radiolitidi debljih, bijelih ljuštura, promjera do 40 mm, koji su obično zajedno s većom količinom biodetritusa nastalog njihovom dezintegracijom nabacani tijekom povremenih epizoda povišene energije vode.

Laminiti se sastoje od izmjene mikritnih proslojaka i obično 5-20 cm debelih cijanobakterijskih proslojaka koji mjestimice imaju i laminoidno-fenestralnu građu.

Dolomiti su najčešće debljeuslojeni (slojevi su debljine 70-120 cm), svijetlosmedkaste boje i masivne građe, a nerijetko sadrže sitne korozivne šupljine. Dolomitizacija je često selektivna, što je vidljivo kako po vertikalnoj izmjeni slojeva dolomita i potpuno očuvanih vapnenaca, tako i po različitim stupnjima dolomitizacije alokema unutar pojedinih slojeva. Unutar dolomita se u izmjeni nalaze i relikti kasnodijagenetski dolomitiziranih cijanobakterijskih laminata, a mjestimice su vidljive i bioturbacije, te horizonti s razmjerno slabo vidljivim desikacijskim poligonima (sl. 6). Vrlo rijetko se unutar slijeda kasnodijagenetskih dolomita nalaze i 2-6 cm debeli proslojci svijetlog sitnokristaliničnog dolomita



Sl. 3 Gornja slojna površina s brojnim bioturbacijama.

Fig. 3 Upper bedding surface with numerous bioturbations.



Sl. 2 Karakteristična izmjena radiolitidnog floatstona u nižem, tanje proslojka cijanobakterijskog laminata u središnjem i skeletnog madstona u gornjem dijelu sloja.

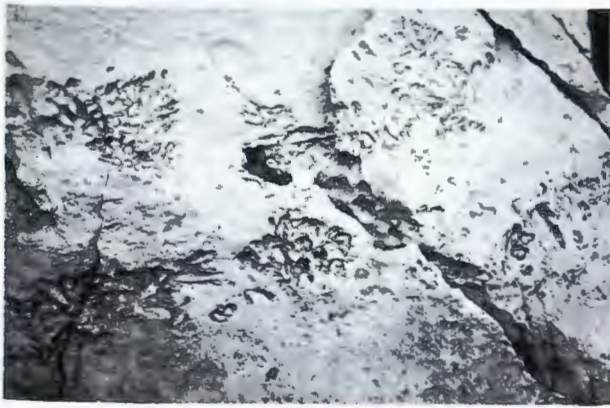
Fig. 2 Typical alternation of radiolitic floatstone (lower part), thin layer of cyanobacterial laminite (middle part) and skeletal mudstone (upper part).

koji po svojim značajkama ukazuje na ranodijagenetsko podrijetlo: u njemu su izuzetno dobro očuvani bioturbacijski kanali kao i presjeci gastropoda, a mjestimice se nalaze i ostaci raskinutih pločastih fragmenata u obliku peritajdalnih breča.

Na temelju utvrđenoga slijeda može se zaključiti da su stijene taložene u unutarnjem, razvedenom dijelu karbonatne platforme, u kojem su se bočno i vertikalno na malome prostoru izmjenjivali različiti okoliši. U subtajdalnim su okolišima prevladavali niskoenergijski uvjeti, koji su pogodovali razvoju rudistnih zajednica, a samo tijekom sporadičnih epizoda povišene energije vode dolazilo je do unosa bioklastičnoga materijala iz okolnih okoliša i mjestimičnog razaranja već djelomice litificiranih taloga. O povremenom utjecaju iz pučinskih okoliša svjedoče rijetki proslojci bogati pelagičkim česticama.

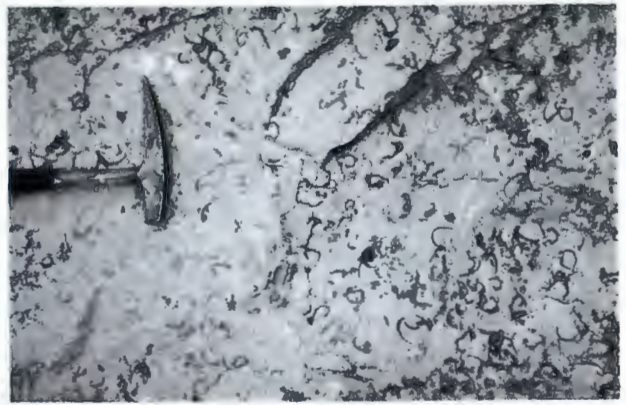
3. FOSILNI SADRŽAJ I STAROST NASLAGA

Iz prikupljenih uzoraka mikropaleontološkom analizom je utvrđena zajednica plitkomorskih organizama koja se sastoji od: *Thaumatoporella parvovesiculifera* (RAINERI), *Aeolisaccus kotori* RADOIČIĆ, *Moncharmontia apenninica* DE CASTRO, (?) *Scandonea samnitica* DE CASTRO, *Pseudonummoloculina heimi* (BONET), *Nezzazata simplex* OMARA, *Nezzazatinella picar-*



Sl. 4 Buketi radiolitidnih rudista u skeletnom madstonu.

Fig. 4 Radiolitic bouquets in skeletal mudstone.



Sl. 5 Gornja slojna površina rudistnog floutstona.

Fig. 5 Upper bedding surface of rudist floatstone.

di (HENSON), fragmenata jednostavnih, stratigrafski manje značajnih miliolida i presjeka drugih nedefiniranih malih bentosnih foraminifera među kojima je i rijetko kršje rotalida. Pri tome je važno naglasiti da su najzastupljeniji presjeci taumatoporela i eolizakusa (sl. 7), te razmjerno česti presjeci monšarmoncija (sl. 8a-c) i nešto rjeđi presjeci koji bi mogli pripadati *S. samnitica* (sl. 8d-e) i *N. simplex* (sl. 8f). Osim toga, u jednom izbrusku utvrđen je tanki laminirani horizont koji sadrži veću količinu kalcisferulida pitonelomorfnoga tipa od kojih su sigurno prisutne *Pithonella ovalis* (KAUFMANN) i *Pithonella sphaerica* (BONET) dok su ostale pelagičke čestice jako rekristalizirane ali i mehanički deformirane (sl. 9), što otežava njihovu precizniju odredbu. Česte taumatoporele i eolizakusi te utvrđena *M. apenninica* i fragmenti koji ukazuju na vrstu *S. samnitica* nedvojbeno upućuju na senonsku starost i to vjerojatno na stariji dio. Proučavajući geološku građu okoliše Dubrovnika i otoka Lokruma, analizom rudista POLŠAK (1989) određuje pripadnost ovih naslaga senonu, i to rasponu santon-mastriht. Međutim, vrlo slični litofacijesi s utvrđenim mikrofosilnim sadržajem utvrđeni su i u drugim područjima, gdje su opisani kao naslage

Gornji Humac formacije. To se prvenstveno odnosi na otok Brač, gdje su prvi puta i opisane (GUŠIĆ & JELASKA, 1990), te na jugoistočni dio Dugog otoka (FUČEK et al., 1990), gdje je formaciji utvrđen stratigrafski raspon od gornjega turona do gornjega santona. Ispod i iznad plitkomorskih vapnenaca Gornji Humac formacije.



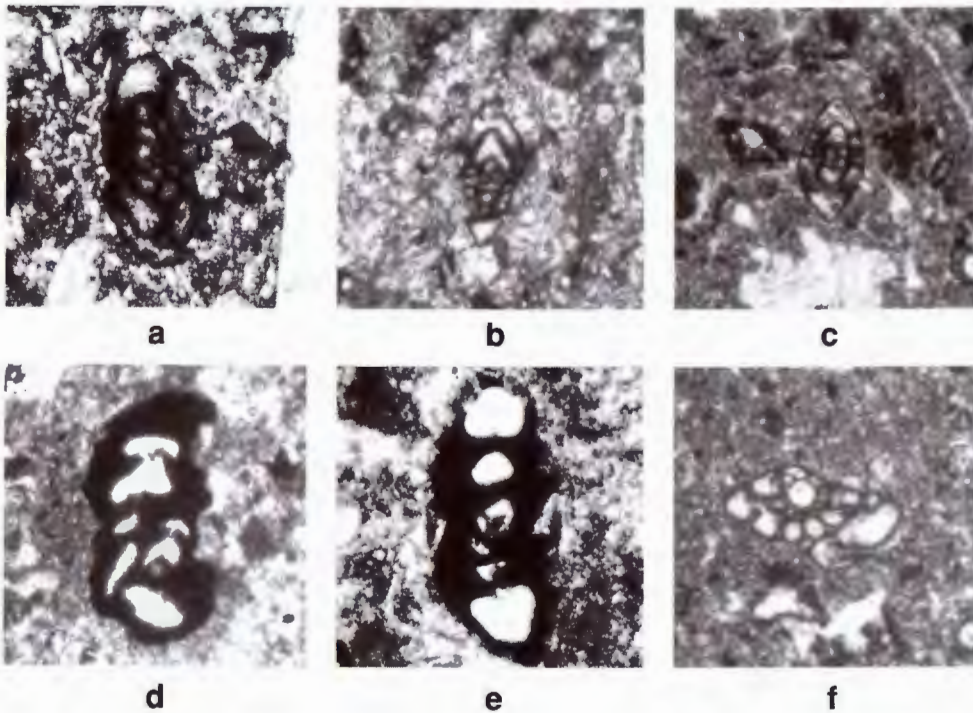
Sl. 6 Gornja slojna površina s poligonalnim desikacijskim pukotinama.

Fig. 6 Upper bedding surface with polygonal desiccation cracks.



Sl. 7 Tipični facijes s krupnim taumatoporelama i eolizakusima.

Fig. 7 Typical facies containing large thauatoporellas and aeolisaccus.



Sl. 8 Mikrofosilna zajednica (povećanje 54x): a-c) *Moncharmontia apenninica*; d-e) (?)*Scandonea samnitica*; f) *Nezzazata simplex*.

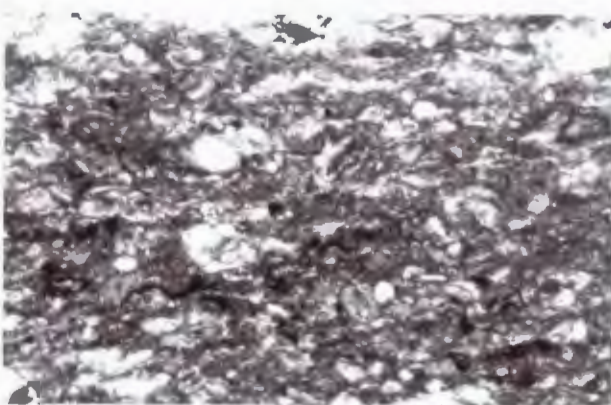
Fig. 8 Microfossil assemblage (54x): a-c) *Moncharmontia apenninica*; d-e) (?)*Scandonea samnitica*; f) *Nezzazata simplex*.

je nalaze se naslage Sv. Duh formacije (donji turon) i Dol formacije (g. santon - kampan) koje imaju pelagička obilježja. Istraživane naslage otoka Lokruma sadrže, uz radiolitidne rudiste taumatoporele i eolizakuse, malobrojne monšarmocije, rijetke presjeka vrste *S. samnitica* te čestice s pučinskim obilježjima. Budući da nisu zabilježeni karakteristični hipuritni ili vakcinitni oblici rudista, niti bogata i raznovrsna mikrofosilna zajednica tipična za mlađi dio naslaga formacije Gornji Humac (nedostaju dicikline, nema akordijela, krupnih skandoneja iz grupe *S. samnitica*, *S. mediterranea*, *M. lata*, keramosferina i drugih bentosnih foraminifera koje bi upućivale na santon), mogla bi se pretpostaviti najvjerojatnije gornjoturansko-konijačka starost.

Prema tome, sva obilježja promatranih naslaga na otoku Lokrumu možemo usporediti sa starijim dijelovima Gornji Humac formacije, možda i kao vremenski ekvivalent Gračišće člana sa "zaostalim" pučinskim elementima nakon taloženja Sv. Duh formacije.

4. LITERATURA

- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača u okviru geodinamske evolucije Jadranske karbonatne platforme.- Djela JAZU, 69, Zagreb, 160 str.
- FUČEK, L., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., KOROLIJA, B. & OŠTRIĆ, N. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga jugoistočnog dijela Dugog otoka i njihova korelacija s istovremenim naslagama otoka Brača.- Geol. vjesnik, 43, 23-33, Zagreb.
- MARKOVIĆ, B. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Dubrovnik K34-49.- Zavod za geol. geofiz. Istraž. Beograd (1966), Sav. geol. zavod Beograd.
- MARKOVIĆ, B. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Dubrovnik K34-49.- Zavod za geol. geofiz. Istraž. Beograd (1966), Sav. geol. zavod Beograd, 43 str.
- POLŠAK, A. (1989): Geološka obilježja okolice Dubrovnika s otokom Lokrumom.- Hrvatsko ekološko društvo, Ekološke monografije, 1, 5-25, Zagreb.



Sl. 9 Proslojak s pelagičkim utjecajem s calcisferulidama pitonellomorfog tipa (povećanje 54x).

Fig. 9 Layer with the open-marine influence containing calcisphaerulids of the pitonellomorphic type (54x).



Sjeverna Hrvatska tijekom gornjeg panona - plitkovodni ili dubljvodni taložni bazen?

Northern Croatia During the Upper Pannonian - Shallow or Deepwater Depositional Basin?

Boris VRBANAC¹, Jožef ŠIMON² & Zvonimir HERNITZ³

Ključne riječi: sjeverna Hrvatska, gornji panon, taložna sredina.

Key words: Northern Croatia, Upper Pannonian, Depositional environment.

Sažetak

Jedan od problema u hrvatskoj geološkoj literaturi odnosi se na suprotstavljena shvaćanja o taložnoj sredini dijela Panonskog bazena koji pripada Hrvatskoj tijekom gornjeg panona. Problem se odnosi na dubinu vode kojom je bazen bio prekriven. Prema jednoj koncepciji i savska i dravska potonina činile su plitkovodnu taložnu sredinu, dok je prema drugoj dubina vode iznosila preko 300 m. Različita tumačenja taložne sredine rezultiraju vrlo različitim interpretacijama mehanizama donosa i odlaganja detritusa, izvorišnim područjima, facijesima itd. Ovaj problem nije akademske naravi nego je jasno praktičnog značenja ima li se u vidu da su pješčenjaci gornjeg panona u savskoj potonini najvažniji nosioci ugljikovodika.

Abstract

There is an ongoing debate in the Croatian geological literature due to the confronted interpretations of the Upper Pannonian depositional environment in the Croatian part of the Pannonian basin. The problem lies in different opinions regarding the relative depth of water in the basin. According to one of the concepts, the Sava and Drava basins comprised a shallow depositional environment, while according to another one, the water depth exceeded 300 m. The differences in interpretation of depositional environment result in very differing conclusions regarding the transport and deposition mechanisms, sediment source areas, facies etc. This problem is not academic one, but has a practical importance because the Upper Pannonian sandstones are the most prolific hydrocarbon reservoirs in the Sava depression.

1. UVOD

Savska i dravska potonina čine jugozapadni dio panonskog bazenskog sustava. Oblikovanje tih bazena počelo je u otnangu, a naslage otnanga, karpata, badena i sarmata pripadaju sinekstenzijskim taložinama. Mlade naslage pripadaju postekstenzijskim sedimentima maksimalne debljine preko 4000 m. Dio tih klastičnih naslaga pripada genetičkoj jedinici GFS Ivanić Grad (ŠIMON, 1980), i vjerojatno su gornjopanonske starosti, premda granice prema starijim i mladim naslagama nisu točno utvrđene zbog pomanjkanja relevantnih fosilnih nalaza. Izgrađene su od slojeva sitnozrnih pješčenjaka, te silita i lapora u izmjeni. Pješčenjaci su zastupljeni samo u središnjim dijelovima potonina dok prema rubovima isklinjavaju. Debljina te formacije u najdubljim

dijelovima savske potonine iznosi preko 900 m (sl. 1), u dravskoj preko 1.600 m (sl. 2).

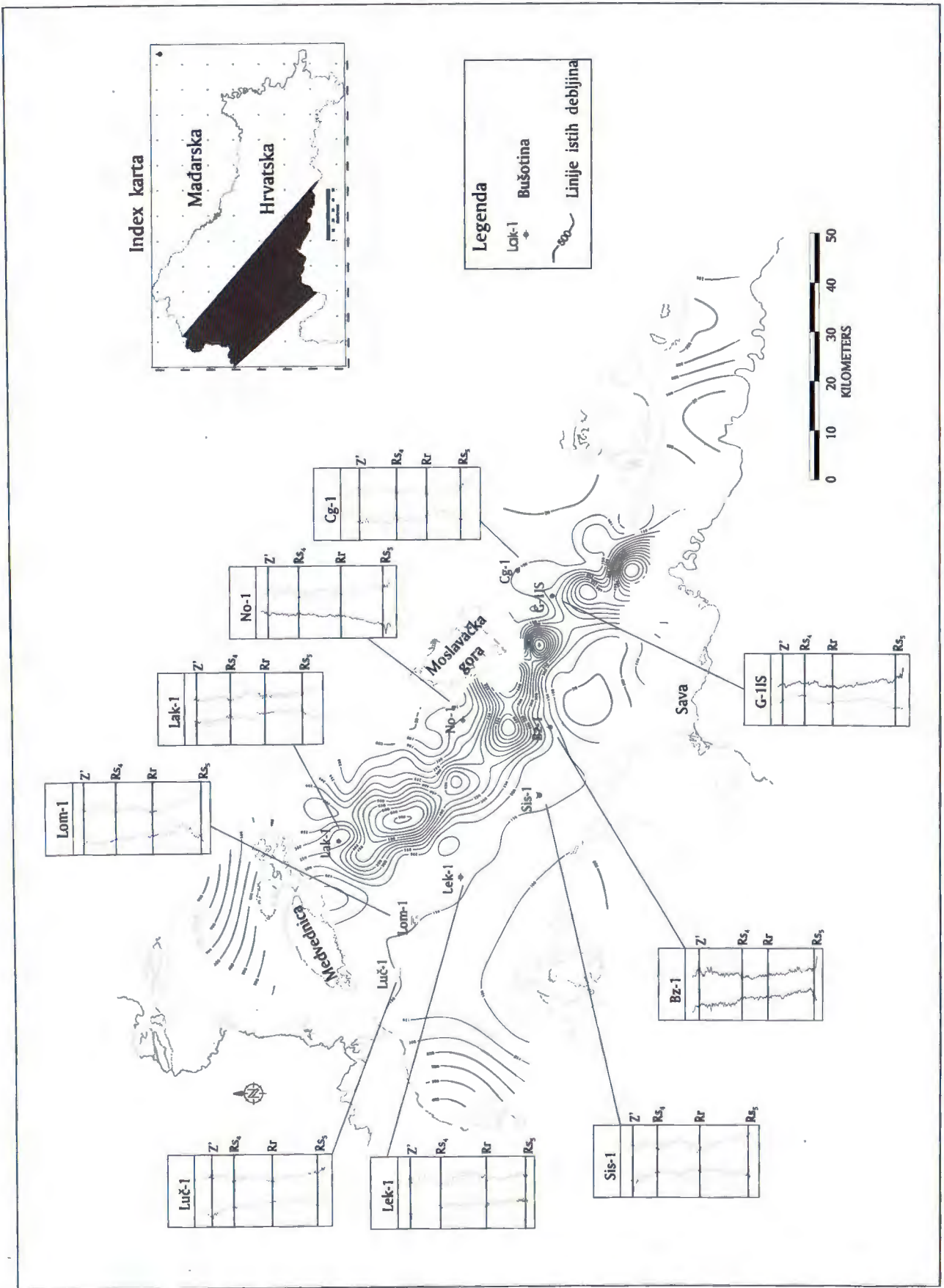
2. IZVORIŠTE DETRITUSA I FOSILNI NALAZI

Prema petrografskom sastavu pješčenjaka, osobito prema analizama teških minerala, utvrđeno je (ŠČAVNIČAR, 1977) da pješčenjaci gornjeg panona i ponta savske potonine spadaju u skupinu litoarenita niske zrelosti, te da su im izvorišno područje Alpe s metamorfnim stijenama epi i mezozone, te vapnencima i rožnjacima. Uspoređujući sastav pješčenjaka gornjeg panona iz savske potonine s onima iste starosti iz dravske iznijet je zaključak da "postoji podudarnost tipa ovih pješčenjaka, sastava detritusa, njihovih teških minerala,

¹Ina-industrija nafte d.d., Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Vojnovićeva 24, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Karta debljina naslaga formacije Ivanić Grad u Savskoj potonini, te prikaz krivulja SP-a i Ra odabranih bušotina u rubnim dijelovima potonine.

Fig. 1 Ivanić Grad formation in the Sava depression - thickness map and characteristic SP and Ra curves of the wells in the marginal parts of depression.

pa i strukturnih značajki, što upućuje na isto - Alpsko izvorišno područje, dok je doprinos lokalno izdignutih (?) kristaliničnih masiva bio usko lokalnog značaja" (ŠČAVNIČAR, 1977).

Najpouzdaniji pokazatelji dubine vode u bazenu i taložne sredine su fosilni ostaci karakteristični za pojedine životne sredine. Jezgre iz bušotina lociranih u dubljim dijelovima potonine u pravilu su bez ikakvih mikro i makrofosila, osim rijetkih krhotina ostrakoda koje nisu indikativne za određenu sredinu, tako da gotovo svi makropaleontološki i većina mikropaleontoloških nalaza potječe iz starih bušotina lociranih u rubnim dijelovima potonine. Nalazi su pridonijeli zaključku da se radilo o slatkovodnoj do brakičnoj vodi i relativno plitkoj sredini, te da su lapori na rubu potonine taloženi u močvarnoj sredini.

Neujednačeni su podaci o starosti naslaga formacije Ivanić Grad dobiveni palinološkim analizama jezgara brojnih bušotina, a koje su učinjene u laboratoriju Ina-Naftaplina. Iako su gotovo sve analize rađene iz jezgara nekoliko bušotina iz savske potonine, a koje (jezgre) pripadaju Iva-pješčenjacima, vremenska interpretacija upućuje na njihovu pripadnost donjem pontu, gornjem pontu ili je unutar Iva-pješčenjaka postavljena granica između panona i pontu. Također treba istaknuti da se radi o naslagama istih ili bliskih lokaliteta, te da ta starost nigdje nije potvrđena nalazom odgovarajućih makro i/ili mikrofosila u istom uzorku. Determinirana palinoasocijacija uključuje ekološki različite rodove fitoplanktona među kojima su zastupljeni i rodovi karakteristični za plitkovodne sredine, ali i oni za dubljevodne sredine. Iako se navodi mogućnost da ta asocijacija može upućivati na sedimentaciju u dubljevodnoj sredini u koju su plitkovodni organizmi bili doneseni pretaloživanjem, izražava se mišljenje da se radi o plitkovodnoj sredini u koju su dubljevodni organizmi bili doneseni strujama, tako da se zajedno mogu naći i u litoralu. Zaključak na temelju palinomorfa je da se radi o priobalnim sedimentima, sedimentima prudova i plaža, međuprudnih plićaka, lagunarnim sedimentima i sedimentima kanala plimske ravnice, te manjim dijelom naslagama dublje vode zastupanim turbiditima. Rijetki nalazi sporomorfa (pelud i spore) ukazuju na relativno veću udaljenost od kopna, dok ih određena zastupljenost lignohuminskih klasta, kerogena terestričkog porijekla, podupire u zaključku o relativnoj blizini obale.

3. KONCEPCIJA PLITKOVODNE TALOŽNE SREDINE

PLETIKAPIĆ (1965) je mišljenja da oblik i litološki sastav sedimentnog tijela odgovara modelu klastičnih klinova na području s linearnim tonjenjem dna i dopremom materijala iz vanjskih izvora. Vanjske izvore predstavljaju uzdignuti vijenci susjednih mobilnih pojaseva, dok je uloga Moslavačke gore kao izvorišta materijala bila mala. Radilo se o plitkovodnoj taložnoj sredi-

ni gdje se jedino u vrijeme ograničene dopreme materijala s izvorišnog područja, pri stalnom spuštanju blokova na obodu moslavačkog masiva, naročito duž aktivnih lomnih linija, dubina vode mogla izuzetno povećati u vrlo uskim kanalima. Vrlo strmim odsjecima kanala objašnjava pojave mutnih struja koje su pretpostavljene kao mehanizam taloženja pješčenjaka Ivanić Grad-formacije na području Volodera i Kloštra. U rubnom području prema Moslavačkoj gori pretpostavio je postojanje laguna i močvarišta u kojem su taloženi lapori. Taloženje pijesaka odvijalo se u obalnom području visoke energije gdje su se formirale pješčane barijere na velikim površinama, naročito u sjevernom dijelu.

MILJUŠ & VUGRINEC (1977) su model sedimentacije naslaga neogenskog kompleksa podijelili na transgresivne i regresivne faze. U regresivnoj fazi, kojoj pripadaju naslage formacije Ivanić Grad, u obalnim plitkovodnim zonama talože se pretežno peliti, dok su pješčenjaci taloženi u zonama s jačom energijom vode kao što su kanali.

MIKNIĆ (1998) je istraživao istočni dio Savske potonine i zaključio da gornjopanonske naslage pripadaju regresivnoj sekvenciji s dominirajućom progradacijom deltnih sedimentata, a progradacija se odvijala od istoka prema zapadu.

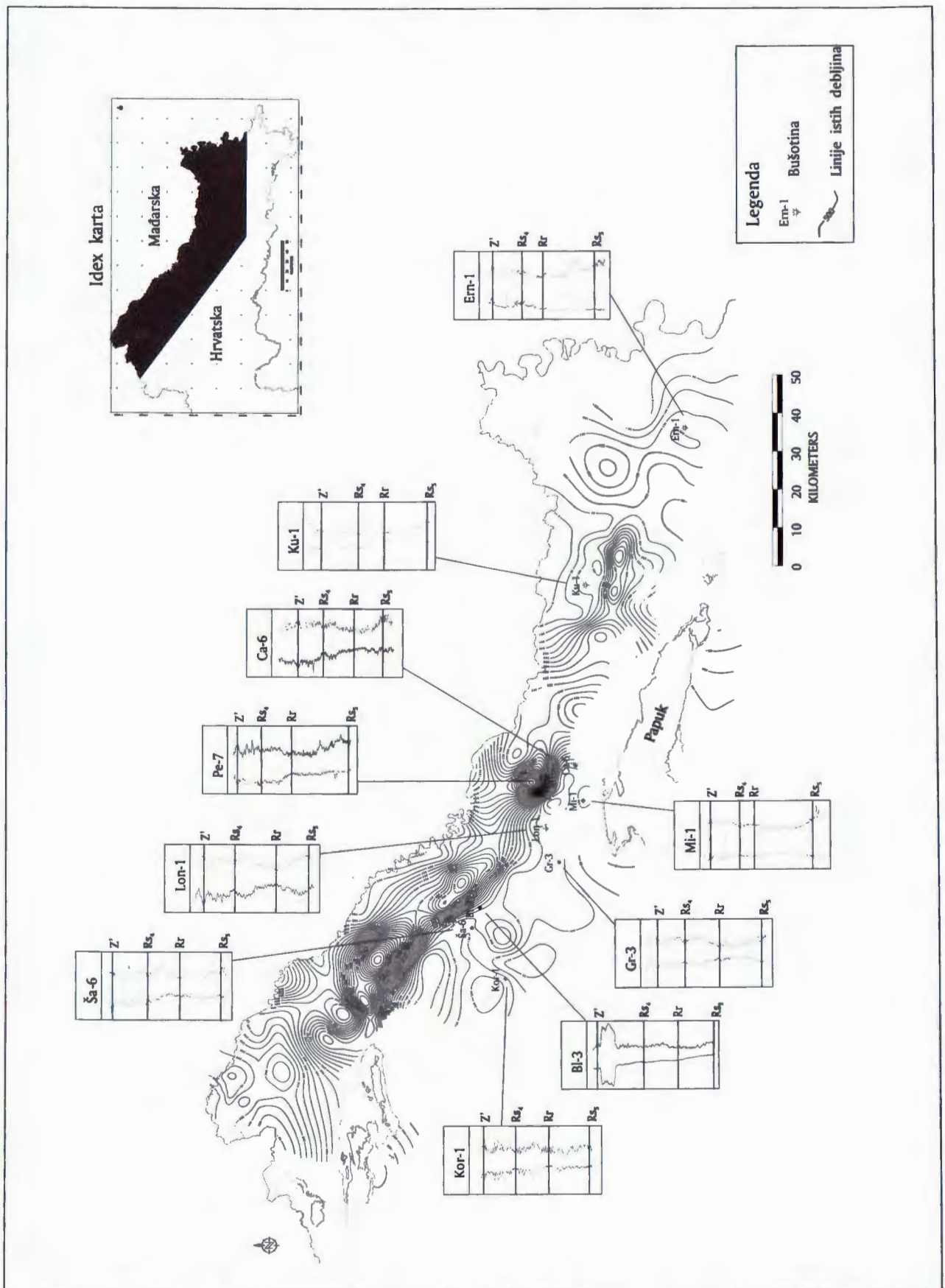
U današnje vrijeme izraziti su pobornici plitkovodne taložne sredine grupa sedimentologa i paleontologa Naftaplina. U nizu internih Naftaplinskih stručnih radova, te u dva objavljena rada (LUČIĆ, 1994; LUČIĆ et al., 1995) kojima su izloženi rezultati i interpretacije palinoloških i sedimentoloških analiza uzoraka jezgara uzetih unutar naslaga formacije Ivanić Grad, također se podržava mišljenje da se radi o priobalnim sedimentima, sedimentima plaža i prudova, međuprudnih plićaka, lagunskim sedimentima i sedimentima kanala plimne ravnice, te dijelom o naslagama dublje vode s razvijenim turbiditima.

4. KONCEPCIJA DUBLJEVODNE TALOŽNE SREDINE

ŠIMON (1980) je naslage ove formacije, osobito pješčenjačka tijela, na osnovi geometrijskih i litoloških svojstava uvrstio u "familiju pretaloženih krupnih klastita", te primijenio koncepciju "podmorsko-podjezerske lepeze" u tumačenju ustrojstva taložnog sustava. Također smatra da se taloženje odvijalo prema modelu "istodobnog taloženja" čiji se mehanizam sastoji u istodobnom taloženju pješčenanih zrnaca u središnjim dijelovima podvodnih kanala, siltinih duž pregibnih rubova, a muljevitihi preko nasipa i humaka prisutnih na topografski razvedenoj podmorskoj površini.

PIKIJA (1982) gornjopanonske naslage područja Mihovljan - Lobar ubraja u turbidite.

VRBANAC (1989, 1990) je mišljenja da je istraživani prostor (naftno polje Žutica) tijekom gornjeg panona pripadao kanaliziranom dijelu podvodne lepeze -



SI. 2 Karta debljina naslage formacije Ivanić Grad u Dravskoj potonini, te prikaz krivulja SP-a i Ra odabranih bušotina u rubnim dijelovima potonine.

Fig. 2 Ivanić Grad formation in the Drava depression - thickness map and characteristic SP and Ra curves of the wells in the marginal parts of depression.

njenom srednjem, proksimalnom dijelu. Detritus je bio nošen gravitacijskim tokovima koji se mogu usporediti s mutnim strujama. Kasnije, isti autor (VRBANAC, 1996) je na temelju sedimentoloških analiza uzoraka jezgara i karotažnih dijagrama rekonstruirao savski bazen kao dubljvodni bazen okružen sa svih strana podvodnim uzvišenjima, te dvostrukim mehanizmom unosa detritičnog materijala. Pješčenjački detritus je unašan mutnim strujama, a masivni lapori čine hemipelagičke taložine. Upravo identičnost krivulja sp. otpora u intervalima masivnih lapora (sl. 1 i 2), koja omogućava izvanrednu korelaciju tih lapora na cijelom prostoru savske i dravske potonine, uz provedene sedimentološke analize uzoraka jezgara, osnova je identifikacije taložne sredine kao dubljvodne.

ĐUREKOVIĆ (1995) je proučavao pješčenjačke rezervoare Iva-pješčenjaka naftnog polja Ivanić i na temelju oblika krivulje spontanog potencijala izdvojio četiri elektrofacijesa: facijes kanalske ispune, rubnih kanalskih sedimenata, taložne resice i međukanalskih lapora, ali se zbog površinski ograničenog prostora istraživanja nije mogao odlučiti da li se radi, kada su u pitanju pješčenjaci, o tempestitima ili turbiditima.

IVKOVIĆ (1998) je kod istraživanja istočnog dijela savske potonine primijenio seizmostratigrafsku metodu, te zaključio da se radi o prodeltno-turbiditnom facijesu, raspoznavajući progradacijsku sekvenciju s višestrukom progradacijom turbiditnog sustava.

Premda nisu neposredno istraživali hrvatski dio Panonskog bazena, HÁMOR & BÉRCZI (1999) u radu koji sintetizira shvaćanja mađarskih geologa o paleogeografskom modelu Panonskog bazena tijekom neogena, navode da se na području sjevernog dijela Hrvatske i jugozapadnog dijela Mađarske tijekom gornjeg panona nalazio dubokovodni bazen.

5. RASPRAVA

Rasprava o taložnoj sredini koja bi dovela do jednog opće prihvatljivog rješenja mora odgovoriti na nekoliko osnovnih pitanja: izvorišno područje, fosili kao pokazatelji životnog okoliša, transportni i taložni mehanizmi, geometrija pješčenjaka u vremenu, odnosi litoloških članova, manifestacije postojanja mogućeg utjecaja kopna i klime, seizmostratigrafske analize bazena, izazovi fizičke stratigrafije. Također treba imati u vidu da je kod ocjene rezultata pojedinih istraživanja vrlo važno znati koje su metode primijenjene kod istraživanja, opseg istraživanja, kvantitetu i kvalitetu temeljnih podataka na kojima se interpretacija i zaključci zasnivaju, odnosno na koje od postavljenih problema provedena istraživanja daju odgovore i stupanj pouzdanosti danih rješenja.

Prikupljeni podaci o fosilnom sadržaju sadržavaju elemente plitke i duboke vode. Osim unosa organizama podvodnim strujama iz jednog ambijenta u drugi, zagovornici plitkovodne sredine podržavaju postojanje dubljvodnih kanala, dok su prema zagovornicima dublj-

vodne sredine područja rubnih dijelova bazena bili morfološki izdignuti, te povremeno ili čak stalno činili dije-love bazena s relativno plićom vodom.

Provedenim petrografskim analizama utvrđeno je da detritični materijal potječe iz jednog izvorišnog područja - Alpa. Zagovornici dubljvodne sredine unos pješčenog detritusa povezuju s mutnim strujama, dok lapori predstavljaju "normalni" bazenski talog. Najdublji, središnji dijelovi obaju bazena, pružanja od SZ prema JI, činili su glavne distribucijske kanale kojima su se kretale mutne struje i u kojima se istaložila glavna masa detritičnog materijala. Ovo shvaćanje snažno potvrđuje geometrija pješčenjačkih tijela, njihov lepezni oblik, te, u savskoj depresiji, utvrđene faze progradacije lepeze prema JI i retrogradne faze s povlačenjem prema SZ. S druge strane, ako se radi o sedimentima plaža i sprudova donos detritičnog materijala nije mogao biti sa SZ, te ostaje sasvim otvoreno pitanje smjera njegova donosa i izvorišnog područja. To je tako, uzme li se u obzir da su pješčenjaci jedne i druge potonine okruženi laporima, a bez ikakve naznake postojanja distribucijskih kanala osim već utvrđenih sa SZ.

Premda izrazito suprotstavljene, izložene koncepcije imaju i nešto zajedničko - sedimentološkim analizama je utvrđena prisutnost turbidita, bez obzira na opseg te prisutnosti. Velike su teškoće kod identifikacije taložne sredine prema sedimentološkim analizama uzoraka jezgara iz bušotina, ne samo zbog malog broja odgovarajućih jezgara i njihovih malih fizičkih dimenzija, nego i stoga što nije utvrđen takav strukturni (teksturni) element koji bi bio isključiv za neku od taložnih sredina. Same jezgre predstavljaju točkasti izvor podataka bez mogućnosti povezivanja s podacima jezgara drugih bušotina, ali ako ih se poveže s facijesima izdvojenim na karotažnim dijagramima dobiva se alat za njihovo prostorno praćenje. Budući se jednaki oblici krivulja javljaju i u plitkovodnim i dubljvodnim sredinama zapravo je od presudne važnosti da se izdvojeni facijesi prate u prostoru, jer tek prostorni položaj nekog facijesa može upućivati na neku od mogućih taložnih sredina. Nažalost, zagovornici plitkovodne taložne sredine nisu do sada objavili prostorni prikaz izdvojenih facijesa, bez čega se ne može procijeniti uvjerljivost postavljenog modela.

Medusobni odnosi, vetrikalni i bočni, litoloških članova također mogu biti značajan pokazatelj taložne sredine. Detaljne sedimentološke analize pokazale su da u pravilu svaki sloj pješčenjaka prema gore positnjava i prelazi u siltit i lapor. Izuzetno i vrlo rijetko debeli kanalski slojevi pješčenjaka mogu biti prekriveni pokrovnim laporom bez positnjavanja prema gore. Postoji zadovoljavajuće tumačenje taložnih mehanizama i prema jednoj i prema drugoj koncepciji. Lateralni odnosi litoloških članova nisu vidljivi na uzorcima jezgara, ali se vrlo dobro mogu pratiti na krivulji SP-a. Veliki broj bušotina, odnosno krivulje iz tih bušotina, omogućavaju prostorno praćenje pojedinih pješčenjačkih tijela i njihov lateralni razvoj. Iz ovakve prostorne analize jasno

proizlazi da su pješčana tijela najveće debljine vezana za središnje dijelove potonine, a da lateralno, prema rubovima potonine istanjuju, prelaze u sve tanje slojeve silita i lapora, da bi bili zamijenjeni masivnim laporima koji su nastali sasvim drugim taložnim mehanizmom. Ovakav lateralni odnos litoloških članova sasvim se uklapa u koncepciju o dubljevodnoj taložnoj sredini.

Postojanje priobalnih sedimenata, sedimenata plaža i prudova, međuprudnih plićaka, lagunskih sedimenata, sedimenata kanala plimne ravnice ili močvarišta nužno podrazumijeva blizinu kopna, te je normalno očekivati manifestacije koje na njegovu blizinu nesumljivo upućuju, kao što su slojevi ugljena, korijeni biljaka, krupnozrnati detritus, erozijske pojave, slijed facijesa koji odgovara pomicanju obalne linije, odgovarajuće teksture (pukotine isušivanja) itd. Od svega nabrojenog u sedimentima, osobito u pješčenjacima, vidljivo je biljno trunje pa i veći karbonizirani komadići drveta, ali kako je jedna od značajki turbidita upravo obilje biljnog trunja ovaj podatak ne može služiti kao ambijentni podatak.

Seizmostratigrafska analiza istočnog dijela savske potonine također je rezultirala oprečnim interpretacijama. S jedne strane radi se o progradirajućim sedimentima delte, a s druge o progradirajućim prodeltno-turbiditnim naslagama. Smjerovi progradacije po jednom i drugom modelu su suprotni. Za pretpostaviti je da je prostor istraživanja premali, a da bi seizmostratigrafske interpretacije bile nedvosmisleno jednoznačne.

Na izazov fizičke stratigrafije, pod čime se podrazumijeva postojanje identičnih ocrta na krivuljama sp. otpora u intervalima masivnih lapora (sl. 1 i 2) zagovornici plitkovodne koncepcije čini se da nemaju rješenje.

6. ZAKLJUČAK

Definiranje modela taloženja i ambijentnih uvjeta vrlo je kompleksan i jedan od najdelikatnijih problema geologije uopće. Pokazatelji su brojni, ali je interpretacija gotovo u pravilu višeznačna. Ipak, uzimajući u obzir sve dostupne pokazatelje neophodno je razmatrati ih u prostoru, a njihove promjene u vremenu. Tek regionalno sagledavanje pojedinih pokazatelja, njihovih odnosa i promjena odnosa u prostoru i vremenu, uz uvažavanje geološke situacije u daleko većem prostoru od ovdje opisanog, omogućava takvu rekonstrukciju taložne sredine koja će moći zadovoljavajuće odgovoriti na većinu postavljenih pitanja. Veliku ulogu pri tome trebala bi imati seizmostratigrafska interpretacija naslaga u podzemlju, ali, nažalost, do danas nisu objavljeni radovi koji bi regionalno s tog aspekta razmatrali taložni sustav jedne i druge potonine.

7. LITERATURA

- DUREKOVIĆ, M. (1995): Taloženje i rezervoarska obilježja Iva-pješčenjaka na naftnom polju Ivanić.- Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 58 str.
- HÁMOR, G. & BÉRCZI, I. (1999): Common issues of Neogene paleogeographic models and petroleum systems.- 2nd Int. Symp. on Petroleum Geology (Probability Approach to Petroleum Exploration), 125-133, Zagreb.
- IVKOVIĆ, Ž. (1998): Razvitak savske depresije u široj okolici Gojla tijekom mladog miocena.- Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet i Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 69 str.
- LUČIĆ, D. (1994): Regressive and transgressive depositional systems and parasequences in the shallow shelf deposits (Sava depression, Pannonian basin, Croatia).- Liverpool sequence stratigraphy conference, Abstracts, 387-388, Liverpool.
- LUČIĆ, D., KRIZMANIĆ, K. & DALIĆ, N. (1995): Lithofacies and sequence stratigraphy of Upper Miocene siliciclastic deposits in Okoli region (Sava Depression, Croatia).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Abstracts, 57, Zagreb.
- MILJUŠ, P. & VUGRINEC, J. (1977): Neke osnovne crte geološke građe sjevernog dijela Hrvatske i karakteristike nakupljanja ugljikovodika.- Nafta, 2/7-8, 425-439, Zagreb.
- MIKNIĆ, S. (1998): Facijesni odnosi polja Janja Lipa, Gojlo, Jamariće i Lipovljani.- Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 44 str.
- PIKIJA, M. (1982): Turbiditne karakteristike dijela gornjopanonskih sedimenata u području Mihovljan-Lobor (sjeverozapadna Hrvatska).- Geol. vjesnik, 35, 59-63, Zagreb.
- PLETIKAPIĆ, Ž. (1965): Stratigrafija, paleogeografija i naftoplinonosnost Ivanić-Grad formacije na obodu Moslavačkog masiva.- Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 71 str.
- ŠČAVNIČAR, B. (1977): Pješčenjaci pliocena i miocena Savske potoline.- III god. znan. skup ZSN JAZU, Novi Sad, Zbornik radova, II, 351-382, Zagreb.
- ŠIMON, J. (1980): Prilog stratigrafiji i taložnom sustavu pješčenih rezervoara Sava-grupe naslaga mladog tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske.- Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 66 str.
- VRBANAC, B. (1989): Okoli pješčenjaci južnog dijela naftoplinonosne strukture Žutica.- Magistarski rad, Prirodoslovno-matematički fakultet i Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 105 str.
- VRBANAC, B. (1990): Neki rezultati istraživanja naslaga litostratigrafske jedinice pješčenjaci Okoli naftoplinonosne strukture Žutica.- Nafta, 41/11, 475-492, Zagreb.
- VRBANAC, B. (1996): Paleostrukturna i sedimentološka analiza gornjopanonskih naslaga formacije Ivanić Grad u Savskoj depresiji.- Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 125 str.

Evaluation of Metal Pollution in Coastal Sediment from Makirina Bay in the Central Adriatic

Polona VREČA¹, Tadej DOLENEC^{1,2} & Marko ŠPARICA³

Key words: Sediments, Heavy metals, Pollution, I_{geo} , Central Adriatic.

Abstract

Heavy metal pollution was studied in coastal sediment from Makirina Bay in the central Adriatic which represents an important source of healing marine mud, called peloid mud, that could, according to its organoleptic properties, be used for medical treatment. Twenty-nine sediment cores to a depth of about 30 cm were collected and concentrations of Co, Cu, Ni, Pb and Zn were determined by fusion ICP. The level of sediment contamination was determined by the calculated index of geoaccumulation (I_{geo}). The results show that the sediment is relatively unpolluted, but evaluation of contamination depends on the choice of background values.

INTRODUCTION

Geochemical investigations of coastal sediments have been extended in the last few decades due to a growing awareness of environmental pollution and its impact on the ecosystem (COVELLI & FONTOLAN, 1997; FÖRSTNER & WITTMANN, 1979; LORING & RANTALA, 1992; MÜLLER, 1969; PADMALAL et al., 1997). In coastal sediments, metals from natural and anthropogenic sources accumulate together and their concentrations vary with mineral composition and grain size. Coastal sediments are usually associated with the fine-grained fraction that acts as a geochemical trap for heavy metals bonded mainly to clay minerals. To estimate the degree of sediment contamination the so-called index of geoaccumulation (I_{geo}) proposed by MÜLLER (1969) can be calculated. This index is defined as $I_{geo} = \log_2 C_n / 1.5 B_n$ where C_n is the measured concentration of metal n in the sediment and B_n is the background concentration of the metal n either found in the literature or measured directly in uncontaminated sediment. As a result, evaluation of the degree of heavy metal contamination depends on the choice of an appro-

priate background value (LORING & RANTALA, 1992).

Makirina Bay with an area of 0.37 km² (1,250 m in length and 300 m in width) forms the southern part of Pirovac Bay and is located 18 kilometres north-west of the industrialized city of Šibenik in the Croatian central Adriatic (Fig. 1). The area around the Bay is cultivated and sparsely inhabited. Along the southwestern coast of the Bay is the main road that connects the mainland with the island of Murter, where tourism is the main activity. The hinterland of the Bay consists of Cretaceous limestones and dolomites and quaternary sediments (ŠPARICA et al., 1989). The depth of the sea rises in the seaward direction from 0.1 to 4.5 m. The bottom of the Bay is covered by up to 3 m of sandy silt that is partly overgrown with seagrass and benthic algae. This sediment is important because of its organoleptic properties, and represents one of the largest sources of healing mud (peloid) in the Adriatic Sea (ŠPARICA et al., 1989). Because of the potential use of this healing mud for medical treatment in the near future, investigations of heavy metals in the sediment are important. The aim of our research was to determine the level of heavy metals (Co, Cu, Ni, Pb and Zn) that in excess concentrations can cause undesirable health effects (e.g. discolouration or allergic reactions of skin) (ANGERER & HEINRICH, 1988; SARKAR, 1988; SUNDERMAN, 1988).

SAMPLING AND ANALYTICAL METHODS

Sediment core samples were collected down to a depth of about 30 cm from 29 sites (Fig. 2) located in the southern part of Makirina Bay using hand-driven Plexiglas core samplers (40 cm long and 3.5 cm inner diameter). Cores were sectioned into 5 cm slices and dried. Large rock debris, mollusc skeletons and organic debris were removed before sieving. The fraction smaller than 1 mm was ground to a fine powder (< 63 μm) in an agate mortar. The concentration of heavy metals

¹ Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SLO-1000 Ljubljana, Slovenia.

² Faculty of Natural Science and Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, SLO-1000 Ljubljana, Slovenia.

³ Institute of Geology, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

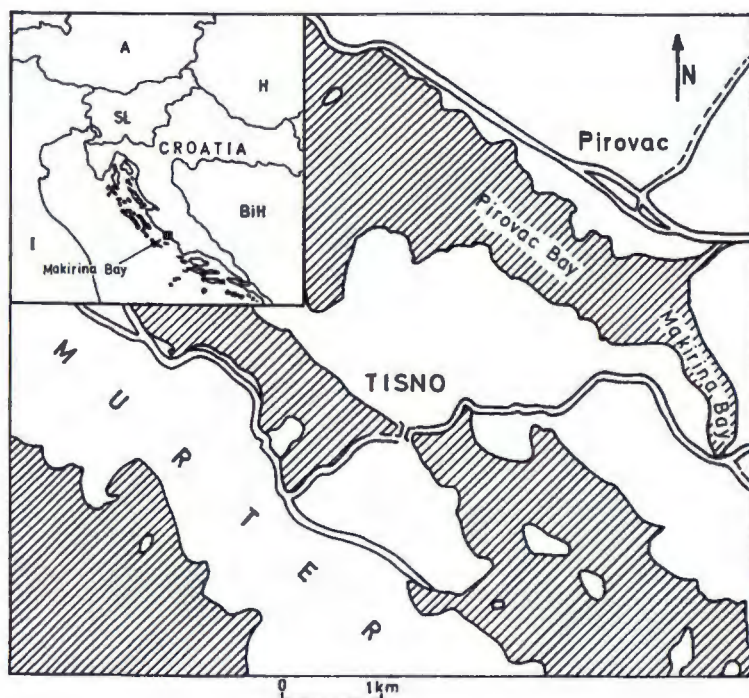


Fig. 1 Location map of Makirina Bay.

(Co, Cu, Ni, Pb and Zn) was determined in the surficial sediment (0-5 cm) and in three sediment cores to the depth of about 30 cm by fusion inductively coupled plasma emission spectrometry at the Activation Laboratories, Ontario, Canada. The analytical error of measurements was better than 6%.

RESULTS AND DISCUSSION

The concentration of heavy metals in surficial sediment (0-5 cm) of Makirina Bay increases in the seaward direction and is associated with a higher content of aluminium and fine-grained clay minerals. Lower concentrations are associated with coarser sediments containing more quartz and detrital dolomite in the coastal part (VREČA, 1998; VREČA et al., 1999a). In the eastern part of the Bay there are some submerged springs of fresh water that probably also influence the distribution of heavy metals, especially copper (VREČA et al., 1999b). The highest average concentrations

in surficial sediment were observed for Zn, followed by the concentrations of Cu, Ni, Pb and Co (Table 1).

To estimate the degree of sediment contamination the index of geoaccumulation (I_{geo}) was calculated. For background concentrations different values (Table 1) were taken into account: sediment from the central Adriatic (I_{geo} (central Adriatic)) (DOLENEC et al., 1998), sediment from the depth of 20-25 cm in Makirina Bay (I_{geo} (20-25 cm)) (VREČA, 1998), soil from the surroundings of the Bay (I_{geo} (soil)) (VREČA, 1998) and standard shale (I_{geo} (shale)) (TUREKIAN & WEDEPOHL, 1961). Results show that only I_{geo} (central Adriatic) for Cu and Pb (Table 2) and I_{geo} (20-25 cm) for Cu are > 0.00 and all other values are < 0.00 . This indicates that sediment from Makirina Bay is relatively unpolluted. Accumulation of copper in the central part of the Bay probably originates from agricultural activity in that region, especially from use of Bordeaux mixture in vineyards, while accumulation of lead is probably due to traffic around the Bay.

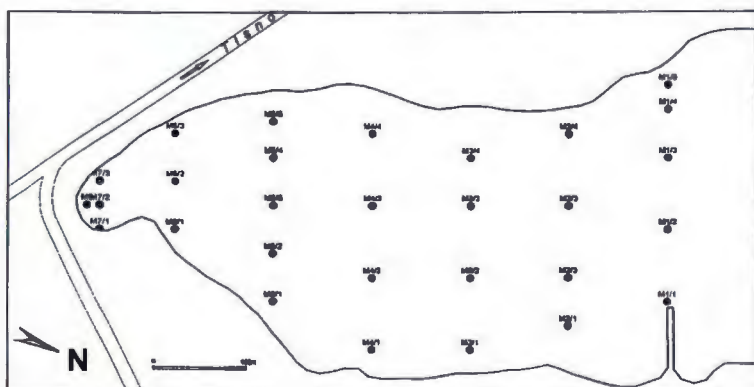


Fig. 2 Sampling points.

element	unit	\bar{x}	s	min	max	central Adriatic	depth 20-25cm	soil	standard shale
Co	mg/kg	11	3	6	16	16	12	18	19
Cu	mg/kg	35	12	12	63	25	18	68	45
Ni	mg/kg	29	9	15	45	111	38	42	68
Pb	mg/kg	26	8	13	42	11	25	36	20
Zn	mg/kg	51	15	25	73	73	52	78	95

Table 1 Heavy metal concentrations: \bar{x}) average; s) standard deviation; min) minimum and max) maximum concentration in surficial sediment; central Adriatic) concentration in surficial sediment from central Adriatic; depth 20-25 cm) average concentration at depth 20-25 cm; soil) concentration in soil; standard shale) concentration in standard shale; number of data n = 29.

Sampling point	Co (mg/kg)	I_{geo} Co	Cu (mg/kg)	I_{geo} Cu	Ni (mg/kg)	I_{geo} Ni	Pb (mg/kg)	I_{geo} Pb	Zn (mg/kg)	I_{geo} Zn
M1/1	14	< 0.00	20	< 0.00	42	< 0.00	30	0.86	72	< 0.00
M1/2	16	< 0.00	41	0.15	45	< 0.00	34	1.04	67	< 0.00
M1/3	15	< 0.00	49	0.40	41	< 0.00	33	1.00	64	< 0.00
M1/4	7	< 0.00	12	< 0.00	20	< 0.00	16	< 0.00	36	< 0.00
M1/5	11	< 0.00	38	0.04	35	< 0.00	27	0.71	55	< 0.00
M2/1	10	< 0.00	45	0.28	34	< 0.00	37	1.17	64	< 0.00
M2/2	13	< 0.00	51	0.46	40	< 0.00	42	1.35	73	< 0.00
M2/3	12	< 0.00	43	0.21	36	< 0.00	32	0.96	66	< 0.00
M2/4	13	< 0.00	37	< 0.00	34	< 0.00	32	0.96	66	< 0.00
M3/1	10	< 0.00	43	0.21	28	< 0.00	24	0.54	53	< 0.00
M3/2	14	< 0.00	39	0.07	32	< 0.00	34	1.04	62	< 0.00
M3/3	12	< 0.00	45	0.28	36	< 0.00	36	1.13	68	< 0.00
M3/4	12	< 0.00	38	0.04	31	< 0.00	26	0.66	58	< 0.00
M4/1	10	< 0.00	42	0.18	29	< 0.00	30	0.86	56	< 0.00
M4/2	12	< 0.00	43	0.21	34	< 0.00	29	0.81	58	< 0.00
M4/3	11	< 0.00	40	0.11	35	< 0.00	31	0.91	60	< 0.00
M4/4	13	< 0.00	41	0.15	34	< 0.00	26	0.66	57	< 0.00
M5/1	10	< 0.00	32	< 0.00	25	< 0.00	24	0.54	54	< 0.00
M5/2	10	< 0.00	29	< 0.00	22	< 0.00	21	0.35	40	< 0.00
M5/3	6	< 0.00	19	< 0.00	16	< 0.00	16	< 0.00	27	< 0.00
M5/4	8	< 0.00	26	< 0.00	20	< 0.00	18	0.13	38	< 0.00
M5/5	9	< 0.00	40	0.11	30	< 0.00	27	0.71	50	< 0.00
M6/1	7	< 0.00	23	< 0.00	15	< 0.00	13	< 0.00	29	< 0.00
M6/2	7	< 0.00	25	< 0.00	18	< 0.00	15	< 0.00	28	< 0.00
M6/3	8	< 0.00	25	< 0.00	18	< 0.00	15	< 0.00	29	< 0.00
M7/1	8	< 0.00	21	< 0.00	22	< 0.00	22	0.42	38	< 0.00
M7/2	8	< 0.00	25	< 0.00	17	< 0.00	20	0.28	28	< 0.00
M7/3	6	< 0.00	22	< 0.00	15	< 0.00	13	< 0.00	25	< 0.00
M9	16	< 0.00	63	0.77	36	< 0.00	26	0.66	55	< 0.00

Table 2 Indexes of geoaccumulation (I_{geo}).

REFERENCES

- ANGERER, J. & HEINRICH, R. (1988): Cobalt.- In: SEILER, H.G., SIGEL, H. & SIGEL, A. (eds.): Handbook of Toxicity of Inorganic Compounds. Marcel Dekker Inc., New York, 251-265.
- COVELLI, S. & FONTOLAN, G. (1997): Application of a normalization procedure in determining regional geochemical baselines.- *Environmental Geology*, 30, 34-45.
- DOLENEC, T., FAGANELI, J. & PIRC, S. (1998): Major, minor and trace elements in surficial sediments from the open Adriatic Sea: a regional geochemical study.- *Geologia Croatica*, 51, 59-73.
- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G.T.W. (1979): Metal pollution in aquatic environment.- Springer-Verlag, Heidelberg, 486 p.
- LORING, D.H. & RANTALA, R.T.T. (1992): Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter.- *Earth-Science Reviews*, 32, 235-283.
- MÜLLER, G. (1969): Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River.- *Geojournal*, 2, 108-118.
- PADMALAL, D., MAYA, K. & SERALATHAN, P. (1997): Geochemistry of Cu, Co, Ni, Zn, Cd and Cr in the surficial sediments of tropical estuary, southwest coast of India: a granulometric approach.- *Environmental Geology*, 31, 85-93.
- SARKAR, B. (1988): Copper.- In: SEILER, H.G., SIGEL, H. & SIGEL, A. (ed.): Handbook of Toxicity of Inorganic Compounds. Marcel Dekker Inc., New York, 265-272.
- SUNDERMAN, F.W.Jr. (1988): Nickel.- In: SEILER, H.G., SIGEL, H. & SIGEL, A. (ed.): Handbook of Toxicity of Inorganic Compounds. Marcel Dekker Inc., New York, 453-469.
- ŠPARICA, M., CRNKO, J. & BELAK, M. (1989): Peloid from Makirina Bay (Pirovac Bay).- Unpublished report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb.
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, K.H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust.- *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72, 175-192.
- VREČA, P. (1998): Isotopic and geochemical properties of the recent sediment from the Makirina Bay (Central Adriatic).- Unpublished M.Sc. Thesis, University of Ljubljana (in Slovene), 116 p.
- VREČA, P., DOLENEC, T., ŠPARICA, M. & MIŠIČ, M. (1999a): Geochemical investigations of healing mud from the Makirina Bay (central Adriatic).- *RMZ*, 46, 641-650, Ljubljana.
- VREČA, P., DOLENEC, T., ŠPARICA, M. & LAMBAŠA, Ž. (1999b): Distribution of copper in healing marine sediment (peloid) from Makirina Bay in central Adriatic.- *RMZ*, 46, 635-640, Ljubljana.



A Stable Isotope Study of Organic Carbon in Makirina Bay (Central Adriatic)

Polona VREČA¹, Tadej DOLENEC^{1,2}, Marko ŠPARICA³, Marija PANDŽA⁴, Sonja LOJEN¹,
Nives OGRINC¹ & Živana LAMBAŠA⁵

Key words: Makirina Bay, Peloid, Terrestrial plants,
Organic carbon stable isotopes, Mixing model.

Abstract

The isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) of sedimentary organic carbon in surficial sediment (peloid) from Makirina Bay varied from -13.10 to -24.90 ‰. The organic carbon isotopic composition of terrestrial plants from the coastal area showed $\delta^{13}\text{C}$ in the range between -12.04 to -30.68 ‰, while that of aquatic plants and algae ranged from -7.14 to 17.88 ‰. Using the differences in $\delta^{13}\text{C}$ values between marine and terrestrial organic matter and considering that the phytoplankton is relatively unimportant, the origin of sedimentary organic matter in surficial sediment was estimated. For determination of marine and terrestrial contributions to sedimentary organic matter a simple mixing model was used. The percentage of terrigenous organic matter in surficial sediment ranges from 4-69 %. The terrigenous isotopically light fraction is much higher (30-69 %) in the southern part and in the coastal area of Makirina Bay, while in the central part of the Bay, where the isotopically heavier aquatic plants and seagrass prevail, the percentage of terrigenous fraction is much lower (4-30 %).

1. INTRODUCTION

Organic carbon isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$) is commonly used to identify the origin of sedimentary organic matter and to study the organic matter flow in marine and freshwater environments (FRY & SHERR, 1984; FAGANELI et. al., 1994), as well as to characterise photosynthetic pathways (C_3 , C_4 and CAM), and to assess the importance of variables which affect photosynthesis. One of the most important processes affecting changes in the carbon isotopic composition in the geochemical cycle is the abstraction of carbon from the carbon dioxide reservoir of the atmosphere and surface waters by photosynthetic fixation in the form of complex organic molecules (DEINES, 1980). Carbon fixation may proceed by two pathways which are known as

the Calvin-Benson (C_3 or non-Krantz) and the Hatch-Slack (C_4 or Krantz) cycle. Thus in C_3 plants photosynthesis takes place via the enzyme ribulose - 1,5 diphosphate carboxylase, while photosynthesis in C_4 plants takes place via the enzyme phosphoenolpyruvate carboxylase (DEINES, 1980; SACKETT, 1989). In plants with a crassulacean acid metabolism (CAM) both carboxylases are present. The organic carbon isotopic composition of plant is correlated with the type of photosynthetic cycle followed by the organism. The $\delta^{13}\text{C}$ values of C_3 plants vary from -24 to -34 ‰, of C_4 plants from -6 to -19 ‰ while those of CAM plants cover the whole range of C_3 and C_4 plants (DEINES, 1980). The carbon isotopic composition of aquatic plants covers the same range as that of terrestrial plants. $\delta^{13}\text{C}$ values of terrestrial plants were generally found to range between -20 and -30 ‰ and marine plants between -6 and -20 ‰ (DEINES, 1980). Interestingly marine plankton has an isotopic composition which appears to be lighter than other marine plants. According to SACKETT (1989) the isotopic composition of marine plankton ranges between -20 and -30 ‰ and depends on isotopic fractionation between phytoplankton and dissolved inorganic carbon. The $\delta^{13}\text{C}$ of recent marine sediments vary from -10 to -30 ‰ (DEINES, 1980).

The aim of this study was to obtain new information on $\delta^{13}\text{C}$ data from recent sediment of Makirina Bay, previously studied by VREČA et al. (1999), as well as from various types of terrestrial and aquatic plants, and to make preliminary conclusions regarding the sources of organic matter in this sedimentary environment.

2. MATERIALS AND METHODS

Carbon isotopic composition of sedimentary organic matter, terrestrial plants, algae and aquatic plants was measured in carbonate-free samples on Europa 20-20 Stable Isotope Analyser (Europa Scientific Ltd.) with an ANCA-NT preparation module for on-line combus-

¹Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

²Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia.

³Institute of Geology, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

⁴Elementary school Murterski školi, HR-22243 Murter, Croatia.

⁵Major's office for Spatial Planning, Ulica Vladimira Nazora 1, HR-22000 Šibenik, Croatia.

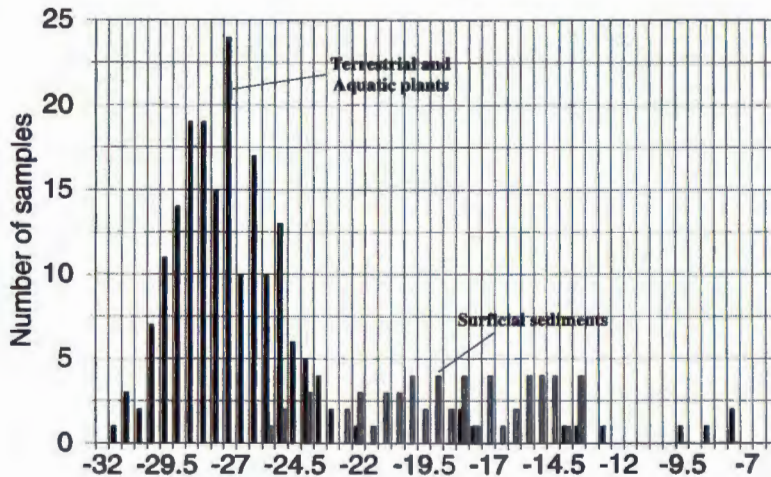


Fig. 1 Organic carbon isotopic composition of terrestrial and aquatic plants and of organic matter in peloid mud from Makirina Bay.

tion of bulk solid samples and chromatographic separation of the gases. The isotopic measurements were performed at the Jožef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia. The results of stable carbon isotopic composition are expressed in standard $\delta^{13}\text{C}$ notation in per mill (‰) relative to the VPDB (Vienna Pee Dee Belemnite) standard. The analytical reproducibility of duplicate samples for $\delta^{13}\text{C}$ was better than ± 0.1 ‰.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The $\delta^{13}\text{C}$ of terrestrial plants in the area surrounding the Bays of Makirina and Pirovac revealed values mostly in the range between -23.05 to -30.68 ‰ (Fig. 1). The only exception is *Camphorosoma monospeliacea* with $\delta^{13}\text{C}$ in the range from -12.04 to -13.22 ‰. Among aquatic plants the most abundant is seagrass which is considerably enriched in ^{13}C and shows $\delta^{13}\text{C}$ values between -7.36 and -8.24 ‰. Another important aquatic plant is the algae *Codium bursa* with $\delta^{13}\text{C}$ values ranging from -17.14 to -17.88 ‰.

Isotopic analyses of organic carbon in surficial sediment and sediment cores in Makirina Bay (Fig. 1) revealed high values (between -13.10 to -19.87 ‰) in the central and northern part of the Bay, and somewhat lower values (between -17.32 to -24.89 ‰) in the southern and coastal parts affected by allochthonous input (Fig. 2). These results clearly indicate the prevailing influence of terrestrial organic matter in the southern, as well as in the coastal parts of the Bay and marine derived organic compounds in the northern and central parts of the Bay. Variations in the carbon isotopic composition of sedimentary organic matter in surficial sediment thus have been noted as a function of distance from the shore.

The relative contribution of marine and terrestrial organic matter to sediment was evaluated from $\delta^{13}\text{C}$ values of the two end members with known and signifi-

cantly different carbon isotopic composition (DEINES, 1980) using the mixing equation proposed by CALDER & PARKER (1968). For $\delta^{13}\text{C}$ values of terrigenous (C_t) and marine (C_m) organic matter in the equations:

$$\delta^{13}\text{C} = F_m \delta^{13}\text{C}_m + F_t \delta^{13}\text{C}_t \quad (1), \text{ and}$$

$$F_m + F_t = 1 \quad (2)$$

the percentage of terrigenous (F_t) and marine (F_m) organic matter in surficial sedimentary organic matter was determined. For $\delta^{13}\text{C}_t$ the mean value for terrestrial plants (-26.44 ‰) was used, while for $\delta^{13}\text{C}_m$ a value of -12.68 ‰ was taken. This value considers the influence of aquatic plants, especially seagrass and *Codium bursa*, on the isotopic composition of marine organic matter. The percentage of terrigenous organic matter in sedimentary organic matter is relatively high in the southern and coastal parts of Makirina Bay (40-69 ‰). In the central part of the Bay the influence of marine organic matter predominates, and the percentage of terrigenous organic matter is less than 40 ‰.

Changes in $\delta^{13}\text{C}$ of organic carbon in sediment cores (Fig. 2) may be related to a varying influx of terrestrial carbon and/or a diagenetic effect. Because diagenetic processes in sediments result only in minor differences between the source and residual carbon, the observed decrease in ^{13}C content at -25 cm in the cores towards the shore undoubtedly reflects a dilution of endogenous marine organic compounds by an increased contribution of terrestrial organic debris in the past, when the sea level was to some extent lower.

4. CONCLUSIONS

The results of organic carbon stable isotopic analyses in surficial sediment and different plants and a simple mixing model showed that the organic matter in peloid mud from Makirina Bay is predominantly of ma-

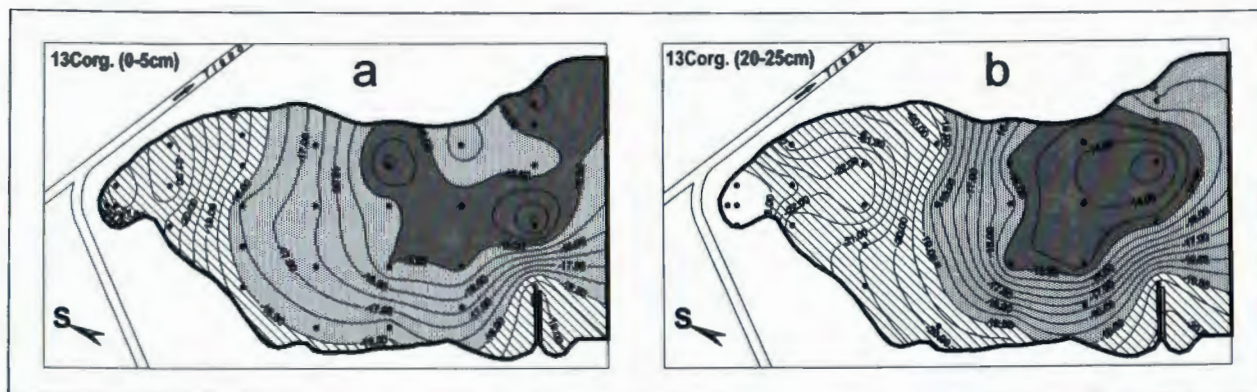


Fig. 2 Organic carbon isotopic composition of peloid mud from Makirina Bay.

rine origin and that the aquatic vegetation has a great influence on the sedimentary organic carbon isotopic composition. Only in the coastal part of the Bay is the percentage of terrigenous derived organic matter somewhat higher.

5. REFERENCES

- CALDER, J.A. & PARKER, P.L. (1968): Stable carbon isotope ratios of indices of petrochemical pollution of aquatic environments.- *Environmental Science and Technology*, 2, 535 - 539.
- DEINES, P. (1980): The isotopic composition of reduced organic carbon.- In: FRITZ, A. & FONTES, P. (eds.): *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Vol. 1: The terrestrial environment. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 329-406.
- FAGANELI, J., PEZDIČ, J., OGORELEC, B., MIŠIČ, M. & NAJDEK, H. (1994): The origin of sedimentary organic matter in the Adriatic.- *Continental Shelf Research*, 14, 365 - 384.
- FRY, B. & SHERR, E.B. (1984): $\delta^{13}\text{C}$ measurements as indicators of carbon flow in marine and fresh water ecosystems.- *Contribution to Marine Sciences*, 27, 13-47.
- SACKETT, W.M. (1989): Stable carbon isotope studies on organic matter in the marine environment.- In: FRITZ, A. & FONTES, P. (eds.): *Handbook of environmental isotope geochemistry*, Vol. 3: The marine environment. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 329-406.
- VREČA, P., DOLENEC, T., ŠPARICA, M., PANDŽA, M., LOJEN, S. & OGRINC, N. (1999): Origin of sedimentary organic matter in the surficial sediment of the Bay of Makirina (Croatia).- *RMZ - Materials and Geoenvironment*, 45/1-2, 202-206.





Some Source Rock Localities in Croatia Exploration Area Evaluated on the Basis of the Geochemical and Geophysical Correlation

Neki lokaliteti matičnih stijena istražnog prostora Republike Hrvatske na temelju korelacije geokemijskih i geofizičkih mjerenja

Ivica VULAMA

Key words: Pliocene source rocks, Miocene source rocks, Messinian unconformity, Wireline logging, Geochemical analysis, Overpressure zone, Middle Adriatic ridge, Drava, Mura and Sava depression, Croatia.

Ključne riječi: pliocenske matične stijene, miocenske matične stijene, mesinijanska diskordancija, geofizička mjerenja, geokemijske analize, nadpritisnute zone, Srednjojadranski prag, Dravska, Murska i Savska potolina, Hrvatska.

Abstract

This paper summarises several exploration results on different source rocks localities in Croatian part of the Pannonian basin and the Mid-Adriatic ridge. Well logging methods and interpretations were correlated with geochemical analyses and applied here to evaluate source rocks and their maturity. In Mura depression source rocks (Middle - Upper Miocene) was confirmed both Oil and Gas prone source rocks in the same well, giving total net pay of 740 m mature source interval. Beyond the Pannonian basin, source rocks have been evaluated in sediments younger than the Miocene, particularly in the Pliocene of the Mid-Adriatic ridge. Geochemical analysis of Pliocene deposits in the Mid-Adriatic ridge have confirmed them to be in the immature stage, with biogenic gas generating potential. Using interpretation of natural gamma ray spectralog in the middle part of the Sava depression, clay mineral content was defined. On Števkovica oil field source rocks fractured zone was defined and mapped as resistivity range map in permeable zones, as potential oil production zone.

Wireline logging have confirmed the existence of source rocks in the broader area of Croatia. In all this different cases was confirmed that source rocks were possible to be recognised, evaluated and defined their maturity and potential using wireline logging in correlation with geochemical analyses. For all locations same discriminant function which divides source from non source rocks ($D=0$, VULAMA, 1991) was used, confirming that statistical analysis is wide useful and successful.

Sažetak

Ovaj rad sažima nekoliko istraživanja na različitim matičnim stijenama hrvatskog dijela panonskog bazena i srednjojadranskog praga. Karotažna mjerenja i interpretacije su uspoředene sa geokemijskim analizama i primijenjene za procjenu matičnih stijena i njihove zrelosti. U srednjo - gornjomiocenskim matičnim stijenama Murske potoline utvrđena su oba - naftno i plinsko generativna potencijala u istoj bušotini s ukupno 740 m zrelog matičnog intervala. Izvan Panonskog bazena utvrđene su matične stijene mlade od miocena u pliocenu Srednjojadranskog praga. Geokemijske analize tih stijena su potvrdile njihovu nezrelost ali s mogućnošću proizvodnje biogenog plina. U srednjem dijelu Savske potoline interpretacijom spektraloga prirodne radioaktivnosti matičnih stijena utvrđen je sastav minerala glina. Na matičnim stijenama naftnog polja Števkovica utvrđena je raspucana zona koja je kartirana kao raspodjela specifične električne otpornosti u propusnim zonama, i time određena kao potencijalni naftni proizvodni objekt.

Karotažna mjerenja su potvrdila postojanje matičnih stijena na širokom području Hrvatske. Na svim ovim različitim primjerima potvrđeno je da se matične stijene mogu prepoznati, procijeniti i odrediti njihova zrelost primjenom karotažnih mjerenja u bušotinama u korelaciji sa geokemijskim analizama. Na svim istraživanim primjerima upotrijebljena je ista diskriminantna funkcija ($D=0$, VULAMA, 1991) koja razdvaja matične od nematičnih stijena, a koja je potvrdila da se ova statistička analiza pokazala uspješnom i primjenjivom na cijelom istražnom području Republike Hrvatske.

1. MIDDLE ADRIATIC RIDGE SOURCE ROCKS (IRMA GAS FIELD)

The Irma Oil field is located in the south-west part of the Middle Adriatic ridge along the border line between Croatia and Italy (Fig. 1). The whole area is represented by an anticline closure spreading southward over the international boundary line, onto the Barbara field in Italy. To the north, the structure is closed by a normal fault with 26 m throw.

The Pliocene source rocks of the Middle Adriatic ridge appeared to be thermally immature, according to the geophysical and the geochemical analyses, but they may have produced biogenic gas. Wireline logging confirmed their broad extent. Correlation between geophysical and geochemical data indicated their distinguishing parameters: $R = 1.5-4 \Omega m$, $GR = 55-125 \text{ API}$, $U^{238} = 5-25 \text{ ppm}$, $\Delta_1 = 75-170 \mu s/ft$ ($\times 0.306 \mu s/m$), $\rho_{sr} = 1.6-1.9 \text{ g/cm}^3$, $\phi_N = 33-39\%$, $SP = -44(-56) \text{ mV}$, $Corg. = 0.43-3.23\%$, $V_{or} (\%) = 0.47-0.66$, $K/Th = \text{Illite}$. This organic matter has been classified as a kerogen type III-II. Characteristic geophysical parameters of the Miocene reservoir rocks are: $\phi = 22\%$, $R_w = 0.18 \Omega m$, $m = 1.8$, $Fr = 15.3$, $R_o = 2.75 \Omega m$, $K_{avg.} = 21.4 \times 10^{-3} \mu m^2$ (VULAMA 1991, 1997). Favourable lithologic-tectonic conditions (overpressure zones, normal faulting) led to gas accumulation in Miocene calcarenites and sandstones. The Pliocene source rocks discordantly overlie Miocene reservoir rocks, separated by the Messinian unconformity. Statistical analyses show that, although the Pliocene shales are thermally immature, they regionally fit into the model of source rock recognition.

1.1. DISCUSSION AND INTERPRETATION OF THE PROBABLE GAS ACCUMULATION PROCESS IN THE IRMA FIELD

Previous work in this area indicated that the Irma gas accumulation originated by migration processes from deeper parts of the basin - from older Miocene and Mesozoic sediments (KADIJA et al. 1991). The origin and source of this gas was not clearly defined. Vertical migration processes, which led to gas accumulation in Miocene reservoir, were also involved. This paper summarise drilling, logging and geochemical analysis data which indicate very short downward migration pathways for biogenic gas produced by low maturity Pliocene source rocks overlying the Miocene reservoirs, which were result of overpressure (Fig. 2).

All the geophysical parameters proved that the basal part of the Pliocene shales is rich in organic matter. It is a source rock confirmed by geochemical analysis. Very low formation resistivity values ($1.5-4 \Omega m$) indicate the immaturity of this source rock (VULAMA, 1991, 1994).

In the Irma-1 well the overpressure zone ($\Sigma \log$) was confirmed in the overlying Pliocene shales. The basal section of these shales is the source rock (1445-1543 m). This Overpressure zone is also clearly visible on



Fig. 1 Location map of the source rocks.

Sl. 1 Položajna karta matičnih stijena.

the total transit time curve (Δ_1) and interval velocity curve (ITVI), according to the deviation from the normal compaction trend of the hydrostatic pressure, the Δ_1 increase is the result of water trapped within the shales. The overpressure zone is also clearly indicated on the ρ_b curve where the deviation from the normal compaction trend occurs. Curve Δ_1 (AC) and ρ_b (DEN) shows that the overpressure zone begins at about 1,260 m (Fig. 2).

In the Irma field there is direct contact between the source rock producing biogenic gas and the calcarenites and sandstones of Messinian unconformity as the favourable reservoir (Fig. 2) and there is an overpressure zone. The gas from those source rocks probably migrated downward - into the Miocene calcarenites and sandstones. It can also be assumed that partial fracturing of source rocks occurred in the contact zones and gas migrated through these fractures.

The results of geophysical, geochemical and geological investigations indicate the presence of source rocks of Pliocene age in the area of the Middle Adriatic ridge. These were immature for oil and gas generation by thermal degradation, but they were capable of producing biogenic gas. The geological conditions (organic rich overpressure shales/silty shales bearing the organic matter) and structural-tectonic setting (sealing normal fault) of the source rocks, indicate a short migration gas path way between the porous - fractured Pliocene source rocks and underlying Miocene calcarenites and sandstones reservoir.

The correlation of gas recovered during drilling from source rocks and from the gas of reservoir Irma ("A") and the laboratory results, also indicate the origin of the gas from the overlying Pliocene source rocks.

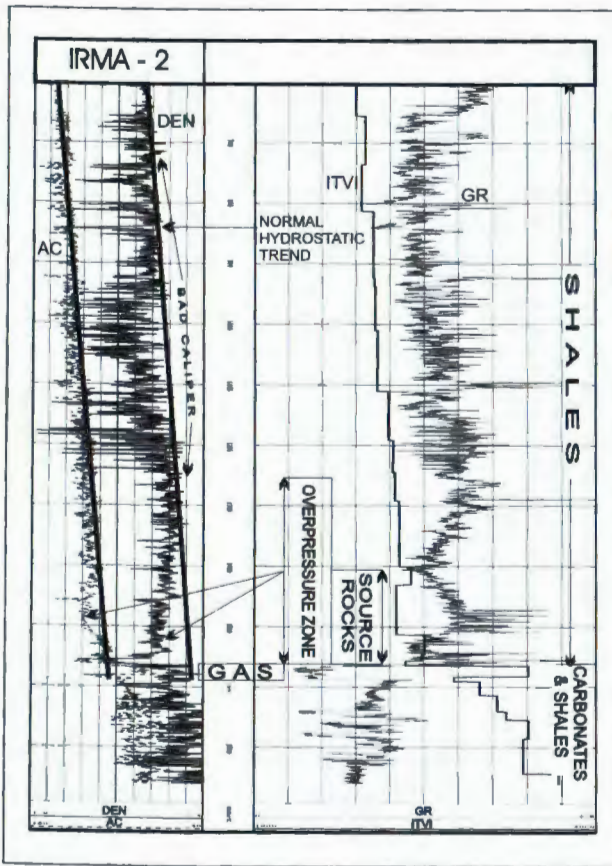


Fig. 2 Over pressured source rocks of the Middle Adriatic ridge.
Sl. 2 Nadpritisnute matične stijene Srednjojadranskog praga.

2. EASTERN DRAVA DEPRESSION SOURCE ROCKS (ŠTEVKOVICA OIL FIELD)

This paper refers to the Miocene limestone and shaly (marly) limestones source rocks of eastern part of the Drava depression. The eastern part of the Drava depression is an area with extensive source rock distribution in the Miocene formation. Števkovica oil field is on small part of that area. Source rock maturity has been determined from the formation resistivity. The formation resistivity of 32 Ωm is typical of the area and it represents the threshold value between immature and mature source rocks (VULAMA, 1991, 1994).

Correlation has been made, verified and calibrated on the Miocene limestones of the eastern part of the Drava depression. This research emphasise the following well-logging and geochemical indicators and parameters which are characteristic for the threshold values between mature and immature source rocks. Formation resistivity, $R = 32 \Omega m$, Vitrinite reflectance, $R_0 = 0.5-0.51\%$, "Rock Eval" analysis, $T_{max} = 435.5-436 \text{ }^\circ C$, Volatile hydrocarbons, $S1 = 0.32-0.36 \text{ mgHC/g rock}$, they were classified as type II kerogen, the increase of vitrinite reflectance is directly proportional with depth, a depth of 2050+m is indicative of hydrocarbon generation (VULAMA, 1991, 1994).

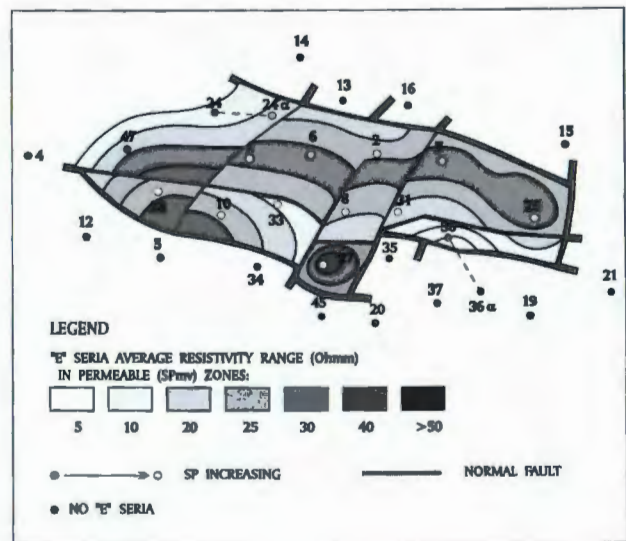


Fig. 3 Formation resistivity distribution on the fractured source rocks of the Števkovica oil field.

Sl. 3 Vrijednosti specifičnog otpora formacije u raspucanim matičnim stijenama naftnog polja Števkovica.

In Števkovica oil field source rocks ("E" series) increased formation resistivity corresponds to spontaneous potential (SP) and microlog (ML) permeability zones (Fig. 3).

The bottom part of "E" series is characterised by considerably high natural radioactivity. Spectralog analysis shows mostly chlorite to kaolinite and some montmorillonite clay mineral content of the source rocks. Spectralog analysis, regional geophysical, geochemical and geological correlation shows that high natural radioactivity correspond mostly to the U^{238} content. It is mature source rock with very high generating efficiency. Due to tectonics these source rocks are fractured and they are *in situ* reservoir rocks too, so there is practically no migration path ways for generated oil at all. Upper parts of "E" series are characterised with lower C_{org} content and consequently lower natural radioactivity, but they still shows source rock characteristics. They are also characterised by more developed fracture system (secondary porosity) and some sandstone intercalation's (primary porosity) than bottom part. The SP and ML curves show permeable intervals, which are also defined by core analysis in these fractured intervals. Very short (0-20 m...) oil migration pathways occurs in these zones. Geochemical analyses show that origin of "E" series oil is from same source rocks. But analyses of Štv-47 oil from "E" series also suggest two types of oils, one from source rocks and another, oxidised, from undefined source? What is important, geochemical analyses confirm that second oil is not from lower "An" reservoir. This also confirms that there is no communication through faults.

Fractured, SP/ML permeable zones, with resistivity range from approximately 20 to $>50 \Omega m$ of "E" series showed very interesting as possible oil producing inter-

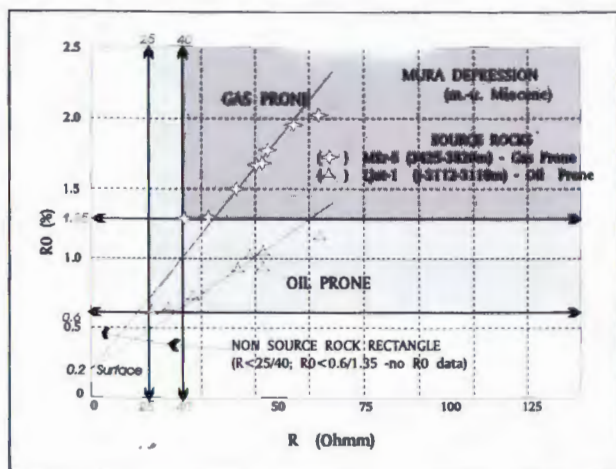


Fig. 4 Crossplot of formation resistivity vs. vitrinite reflectance.

Sl. 4 Križni dijagram specifičnog otpora formacije i vitrinitne refleksije.

vals (Fig. 3). Horizontal well(s) drilling, acidifying and/or fracturing in this zone will increase oil production from "E" series.

3. SOURCE ROCK POTENTIAL OF THE ČENTIBA MEMBER (MURA DEPRESSION)

This way interpretation summarise well logging and geochemical data from three wells (Ljut-1, MG-6 and MSr-5) which drilled Čentiba member of Mura depression in the Republic of Slovenia. Geochemical analyses proved oil prone (Ljut-1) and gas prone (MG-6 and MSr-5) source rocks in these wells. Geochemically tested intervals were correlated with logging data (GR, AC, CN, DEN and R). The results are plotted on existing AC/R and DEN/R cross plots with regional $D=0$ line - discriminant function, dividing source from non-source rocks (VULAMA, 1991, 1994, 1997). Geochemical data (R_0 , T_{max} , & S_1) are also correlated vs. resistivity (R) cross plots (Figs. 4, 5 and 6).

This correlation proved that same discriminant function ($D=0$), which separate source from non-source rocks, defined in Drava, Sava and Middle Adriatic ridge could be extend to Mura depression. Correlation with geochemical analyses (T_{max} , S_1 and R_0) pointed out $R = 25 \Omega m$ as resistivity threshold value above which oil prone source rocks are mature. This value correspond to geochemical data: $T_{max} = 438^\circ C$, $S_1 = 0.4 \text{ mgHC/g}$ and $R_0 = 0.6\%$, $TOC = 1.17-8.57 \text{ kg/T}$. Gas prone source rocks shows $R = 40 \Omega m$, $T_{max} = 444^\circ C$, $S_1 = 0.21 \text{ mgHC/g}$ and $R_0 = 1.35\%$ (Figs. 4 and 7).

Fulfilment of these methods and correlation enable defining net pay of the mature oil and gas prone source

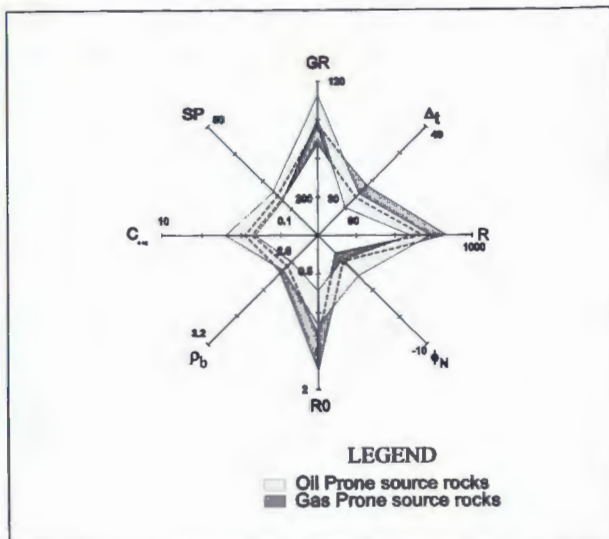


Fig. 5 Minimal and maximal measured values of geophysical and geochemical parameters of the Mura depression Miocene source rocks.

Sl. 5 Minimalne i maksimalne vrijednosti geofizičkih i geokemijskih parametara matičnih stijena Murske potoline.

rocks for well Ljut-1 giving ~740 m. Gas prone source rocks in MSr-5 well gives ~323 m and MG-6 ~72 m of net pay. The resistivity values of 25 (Oil prone) & 40 (Gas prone) Ωm divide mature from non-mature source rocks.

Potential reservoir rocks are fairly tectonically complex and fractured limestones and dolomites of Mesozoic age. They are located in the north-western part of the Republic of Croatia. The kitchen for this exploration area is in the south-west direction from these area in the Republic of Slovenia (Ljutomer-Ormož syncline). One of the major questions was, did kitchen produce enough hydrocarbons and where they migrate? Part of that study (Elaborate) was this source rock determination and evaluation. The base of carbonate complex consists of Palaeozoic deposits, while the top is made of Miocene deposits of Murska Sobota formation (limestone, dolomite, sandstone, marl and often andesite). Two types of source rocks were determined in the basin. Geochemically determined source rocks in the Mura depression are marls, limestones and marly limestones of the Murska Sobota formation.

The first kind with dominant type II kerogen consist of silty marls and marls of the Lower Pannonian (Sarmatian) (marine origin of precursors, max. $C_{org} = 1.13\%$). This type of source rock is mainly Oil prone maturing to the Gas prone at the deeper parts of basin (Fig. 7). Oil window vary from the depths of 1,700-2,500 m. The Ljut-1 well determined the above type of source rock (Fig. 4).

The second kind is of Badenian age with predominant type III kerogen (terrestrial origin of precursors, C_{org} varies from 0.5 to 1.0%). Rock types are dense silty marls or silty and sandy limy pellets. This source rocks

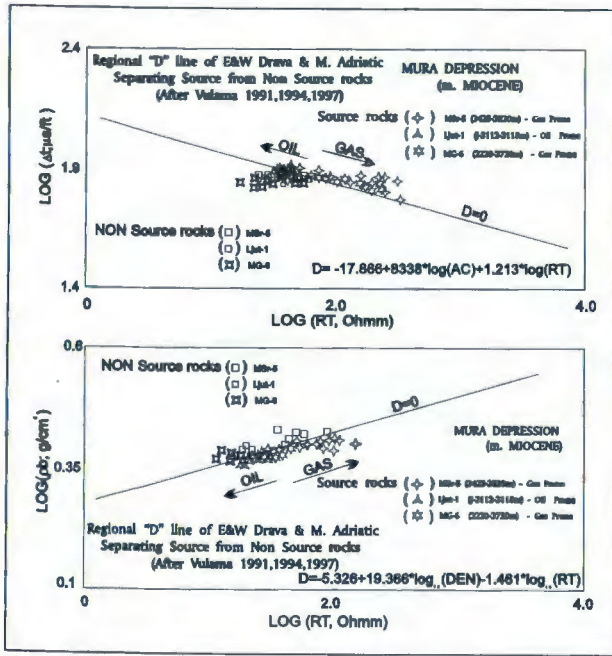


Fig. 6 Sonic transit times and Bulk density vs. resistivity crossplots of Mura depression plotted on the logarithmic scale.

Sl. 6 Logaritamski križni dijagram zvučnog vala, volumne gustoće stijene i specifičnog otpora.

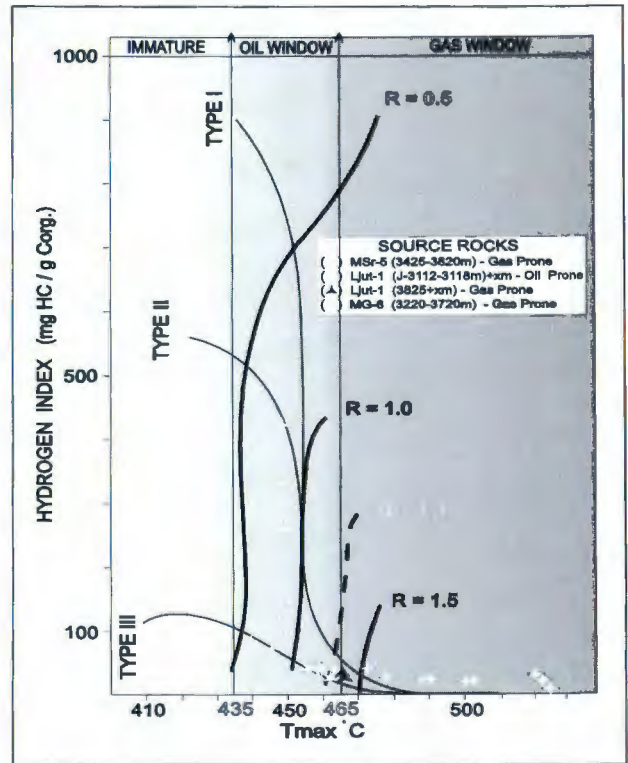


Fig. 7 Kerogen type and maturity definition of Miocene source rocks of Mura depression.

Sl. 7 Određivanje tip kerogena i zrelosti miocenskih matičnih stijena murske potoline.

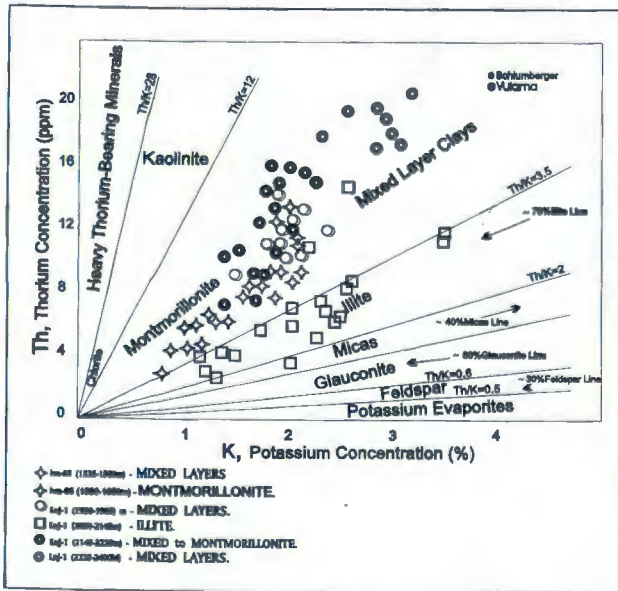


Fig. 8 Clay mineral content of the Sava Depression source rocks.

Sl. 8 Sastav minerala glina matičnih stijena savske potoline.

are Gas prone according to their type, quality and maturity (MSr-5 and MG-6, Figs. 4 and 7).

4. SOURCE ROCKS OF THE MIDDLE PART OF THE SAVA DEPRESSION

Total of seven wells were analysed in order to define clay mineral content and source rocks of the middle

part of the Sava depression (Fig. 8). Among the geological sense (source origin, transportation,...) these analysis are also very important in drilling planing (casing and mud type). We have a lot of wells as examples of bad hole conditions (caving, calliper rugosity) caused by chemical reaction between mud and shales, clays and marls. Defining clay mineral content will help to plan a well casing construction and mud type selection. These will reduce drilling cost and will give more quality well logging data. This source rocks also fits in regional "D" line crossplots (D=0, VULAMA, 1991, 1994) separating source from non source rocks (Fig. 9).

5. SUMMARY

Source rocks of Pliocene age in the area of the Middle Adriatic ridge were immature for oil and gas generation by thermal degradation, but they were capable of producing biogenic gas. The geological conditions of the source rocks, indicate a short migration gas path way between the porous - fractured Pliocene source rocks on the top and underlying Miocene calcarenites and sandstones reservoir due to overpressure.

On Števkovica oil field source rocks fractured zone was defined and mapped as resistivity range map in permeable zones, as potential oil production zone. Up to now two wells are in production.

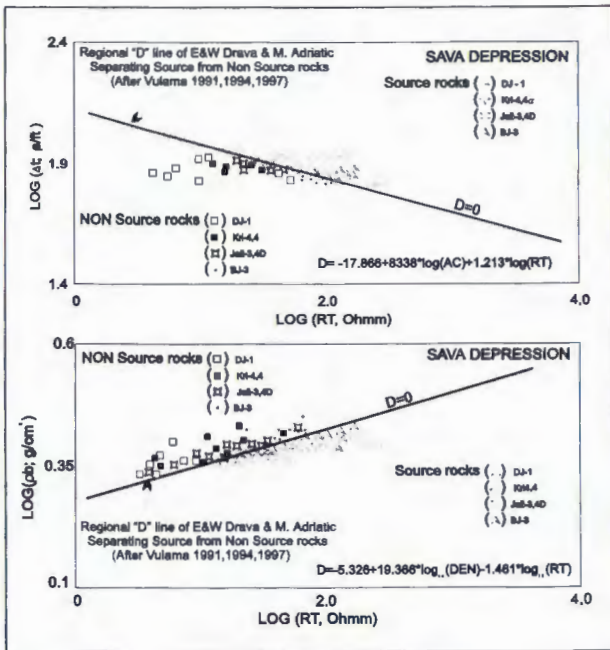


Fig. 9 Sonic transit times and Bulk density vs. resistivity crossplots of Sava depression plotted on the logarithmic scale.

Sl. 9 Logaritamski križni dijagram zvučnog vala, volumne gustoće stijene i specifičnog otpora Savske potoline.

Application of these geophysical methods and correlation with geochemical analyses enable defining net pay of the mature oil and gas prone source rocks of Mura depression.

Defining clay mineral content in Sava depression gives two goals - in geological definition and economical - drilling planing.

6. REFERENCES

- KADIJA, N., DURN, T., ŽUGEC, N. & TOMIĆ, B. (1991): Possibility of collecting hydrocarbons in carbonate sediments of the Irma-exploration area.- 2nd International Symposium on the Adriatic Carbonate Platform, Abstracts, 48, Zagreb.
- VULAMA, I. (1991): Source rock definition on the basis of well logging.- Unpublished M.Sc.Thesis, University of Zagreb, 131 p.
- VULAMA, I. (1994): Source rock potential of the Eastern Drava depression and some other source rock localities in Croatia as evaluated from well log data.- Geol. Croatica, 47/2, 205-214, Zagreb.
- VULAMA, I. (1997): Pliocene source rocks, Miocene reservoir rocks and origin of the gas accumulation of the Irma Field (Northern Adriatic, Croatia) based on wireline-logging.- Geol. Croatica, 50/1, 89-103, Zagreb.



Some Ideas About the Origin, Diagenesis and Time of Sedimentation of Clastic Sediments from the Karst Surface and Caves Around Divača, SW Slovenia

Nadja ZUPAN HAJNA

Key words: Karst, Cave, Clastic Sediments, Mineral Composition, Origin, Divača, Slovenia.

Abstract

During the motorway construction over the Kras plateau the works uncovered a large number of dolines and inactive cave passages filled up by fluvial sediments. The comparison of sediments from caves, un-roofed caves and dolines was possible. In almost all samples relatively equal mineral composition prevailed, indicating the main source from Eocene flysch sediments which were weathered in different degree. Yellow sediments have been in contact with percolating water from the surface and they have changed colour during diagenesis in oxidation zone to red. In sediments from caves and specially from now roofless caves we did not find minerals which are characteristic for material with loess origin; it looks like that caves have already been filled up by sediments when loess deposition in Istria started.

1. INTRODUCTION

The Divača Karst, SW Slovenia, is SE part of Kras carbonate plateau spread out above Trieste bay in "Dinaric" direction, NW-SE. The plateau consists of Cretaceous and Tertiary limestones and dolomites and it is surrounded by Eocene flysch sediments (JURKOVŠEK et al., 1996). That was also the last marine sedimentation on this area. In Divača Karst numerous caves are known but the biggest are Škocjanske Jame, Kačna Jama, Divaška Jama and Trhlovcva. At Škocjanske Jame the Reka river sinks, this is biggest water flow in the region. After the sink water flows about 250 m below the surface toward Kačna Jama and Labodnica cave in Italy and then to Timava springs N of Trieste. Smaller tributaries and the Reka river flow over Eocene flysch rocks before disappearing underground and they are loaded by weathered remains of them. We have no evidences of younger marine sedimentation and also we do not know exact time of deposition of clastic sediments in caves and over the karst surface.

Regarding studied literature, it can be concluded that the main topic of research was red soil overlying the Karst plateau, specially its composition and origin (HROVAT, 1953; GREGORIČ, 1967, 1969; GAMS et al., 1971). The origin of red soil was mostly contributed to insoluble remains of limestone but also the possibility of eolian origin was not excluded (GREGORIČ, 1967; ŠUŠTERŠIČ, 1978). Quartz pebbles and sands were found on the karst surface and they were contributed to fluvial transport of weathered remains of flysch rocks over karst in so-called pre-karstic phase (MELIK, 1961; RADINJA, 1986; HABIČ, 1992). HABIČ (1992) defined the colour of unconsolidated clastic sediments on Karst by climate; according to him the yellow colour reflects the sedimentation in cold climate, and red colour in tropical climate.

During the motorway construction over the Kras plateau the works uncovered a large number of dolines and inactive cave passages filled up by fluvial sediments. Some of the old caves still have some roof above them, but some of them are roofless because of chemical denudation processes (MIHEVC et al. 1998) and that gives a new aspect to karst developing. We do not know a lot about sediments and still less we know about the time of sedimentation in the caves and on the surface.

The work was done during the last five years in frame of different projects financed by Slovene Ministry of Science and Technology, Državna služba za ceste, Institute of Protection of Natural and Cultural Heritage Nova Gorica and Notranjski Muzej.

2. SEDIMENTS FROM CAVES AND SURFACE

With this work I tried to find out the origin of sediments on the surface and in the caves of Divača Karst. Mineral composition of clastic sediments from now active water cave, four inactive caves, one roofless cave and from eight dolines was defined (Fig. 1).

Clastic sediments were distinguished according to their granularity and colour. The sediment colours involve all the varieties from yellow to red. Mineralogical

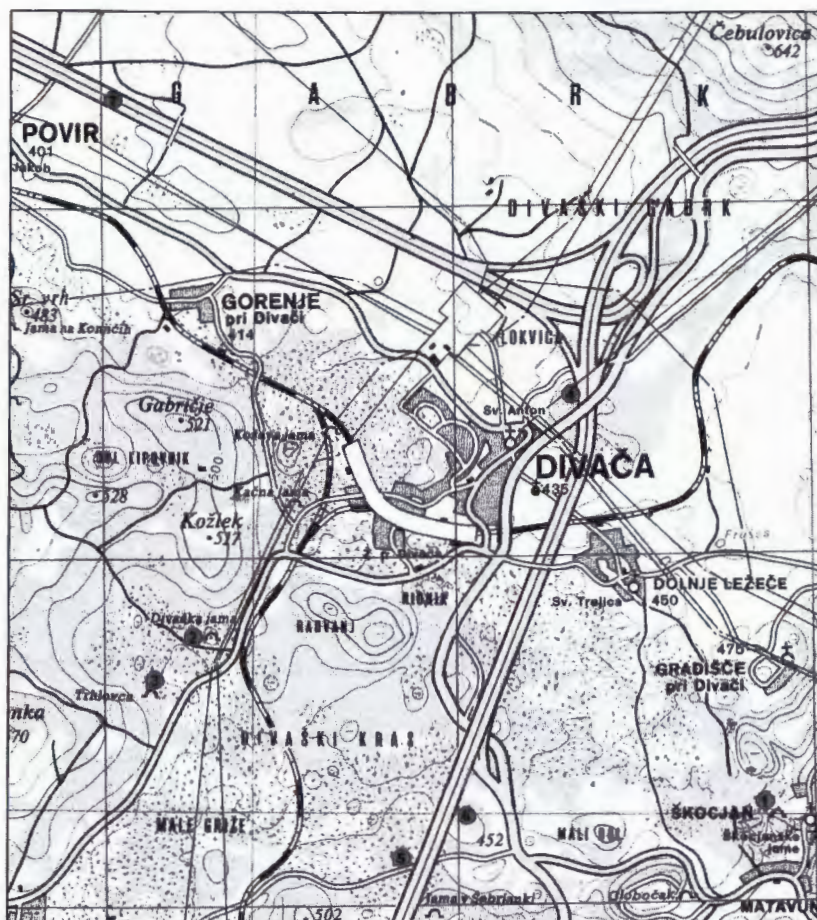


Fig. 1 Location of the samples. Legend: 1) Škocjanske Jame; 2) Divaška Jama; 3) Trhlovca; 4) Divaški Hrib cave; 5) Doline XII; 6) Divača Fossile cave; 7) Povir roofles cave.

analyses were made of sand, silt and clay, samples were grinding to powder of grain size 0.063 mm to be analysed by x-ray diffraction method. Samples were analysed at the Geological Institute of NTF, Ljubljana by Philips x-ray powder diffractometer. The mineral composition of selected samples is presented in Fig. 2. The quantity of the minerals in graphs is not absolute but it is given in respect to the height of the main peak of a particular mineral in the x-ray record.

Škocjanske Jame are caves with active water flow passages, the Reka river sinks at 317 m a.s.l. and the siphon in Martelova Dvorana lies at 214 m a.s.l. In the cave recent sediments from gravel to clay could be found (KRANJIC, 1986, 1989). From Škocjanske Jame (Fig. 2) recent grey flood loam mixed with organic material consists of 80% of quartz, 12% of plagioclase, 2% of calcite, illite, kaolinite and chlorite, and montmorillonite in traces (ZUPAN HAJNA, 1995). This mineral association represents the origin of flood loam from the Eocene flysch rocks.

Divaška Jama and Trhlovca are inactive caves in vicinity of Škocjanske Jame, water flows about 250 m below the surface. The entrance to Divaška Jama lies at 427 m a.s.l. and the bottom at 350 m a.s.l., Trhlovca represents the continuation of Divaška Jama and its entrance lies at 432 m a.s.l. (GOSPODARIČ, 1985). Two profiles of inner cave sediments were analysed.

In the profile from Divaška Jama (Fig. 2) yellow laminated clay alternates with sands samples containing quartz from 56 to 74%, chlorite from 13 to 28% and muscovite/illite group of minerals from 11 to 13%. Plagioclase was found only in two samples, less than 2%, hematite and goethite in one sample. In Trhlovca cave (Fig. 2) profile of complicated structure was analysed. Yellow clay and silt layers prevailed. All samples contain quartz, from 41% in one sample to 92% and muscovite/illite group of minerals from traces to 5%. Calcite is presented from 4 to 48%. Montmorillonite, chlorite, goethite and microcline were found in several samples. Gibbsite and hematite were represented just in one sample. Layer bearing gibbsite in red clasts indicate the decay of red soil on the surface at the time of the sedimentation in the cave.

Between Škocjanske Jame and Divaška Jama works uncovered filled-up fossil cave which has disintegrated roof on one side. The so called Divača Fossil cave (Fig. 2) lies in slope of bigger depression at 453 m a.s.l. It has approximate the same height above the sea level like Divaška Jama and Trhlovca. Yellow fluvial deposits, laminated clays, silt clays and sands, were strongly cemented in some places. All samples contain relatively high amount of quartz, from 62 to 93%, chlorite was also found in all samples, from 4 to 15% and muscovite/illite group of minerals from 4 to 11%. Microcline

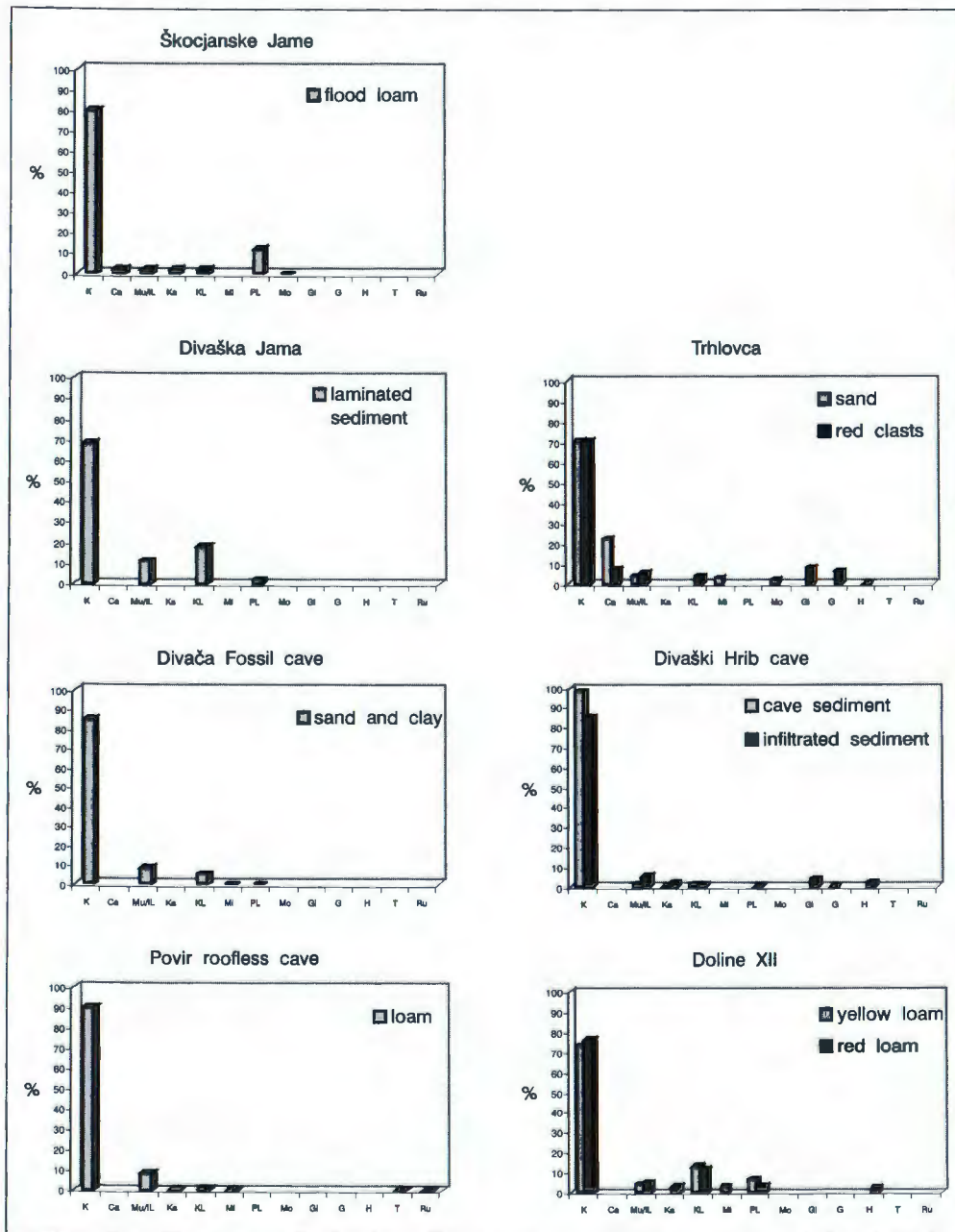


Fig. 2 Mineral composition of clastic sediments from same samples of Divača Karst. Legend: K) quartz; Ca) calcite; Mu/IL) muscovite/illite; Ka) kaolinite; KL) chlorite; Mi) microcline; PL) plagioclase; Mo) montmorillonite; Gi) gibbsite; G) goethite; H) hematite; T) turmaline; Ru) rutile.

was also detected, in one sample in relatively high amount of 10%. Plagioclase was represented just in traces. Goethite was found in two samples, about 5%. The mineral composition of yellow sand mixed with some clay is represented in this place.

North of Divača road cutting intersected a large cave in Divaški Hrib (Fig. 2) at 450 m a.s.l. About 2 m thick roof is preserved. The cave was filled almost to the top by laminated yellow sediment and in one part red loam was infiltrated by percolating water (MIHEVC & ZUPAN HAJNA, 1996). Yellow laminated sediment consists of 98% quartz, 1% illite, 1% chlorite and kaolinite, goethite is in traces. Red infiltrated loam contains 85% quartz, 5% illite, 4% gibbsite, 2% kaolinite, 2% hematite, 1% chlorite, 1% turmaline and plagioclase in traces.

Northwest of Divača, at Povir village, a big roofless cave was found (Fig. 2). About 300 m long and about 3 m deep channel was filled up by fluvial sediments (MIHEVC & ZUPAN HAJNA, 1996). Passage on the surface was at 400 m a.s.l. without any roof. In the cave gravel, sand, silt and clay material was found. Yellow sands contain up to 99% of quartz and some illite, chlorite and plagioclase in traces. Yellow loam consists of quartz 90%, illite 8%, chlorite 1% and in traces turmaline, kaolinite, microcline and rutile. Flowstone from the cave was analysed by $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ method to more than 350 Ka (MIHEVC, 1996).

In the frame of archaeological study of sediments in the bottom of dolines test trenches were dug in eight of them along a motorway south of Divača at 450 m to about 500 m a.s.l. Loams of different colours prevailed

in these dolines (ZUPAN HAJNA, 1998). We found red and yellow loams of different tints passing from one colour to another or even to brown. In case when the sediments, being now in a doline, had been in contact with surface for longer time they were affected by pedogenesis and diagenesis processes. In upper layers the soil started to be formed, it was probably cultivated by man and ploughed; this may be evidenced by smaller pieces of prehistoric ceramics. Later, fresh layers were deposited either by slope washing or man leveling the bottoms of dolines.

In all the analysed dolines, example is Doline XII (Fig. 2), yellow sediments were found at the bottom, sometimes slightly reddish and near them red loam of distinct red colour 2.5YR 4/6. Yellow to reddish yellow coloured samples contain the most of quartz, from 57 to 77%, a lot of chlorite, from 9 to 15%, muscovite/illite group of minerals from 4 to 16%, plagioclase from 4 to 7% and microcline from 2 to 5%. In some samples there were present in smaller quantities also calcite, dolomite, kaolinite and hematite. Red coloured samples contain the most of quartz, from 64 to 77%, a lot of chlorite, from 12 to 19%, muscovite/illite group of minerals from 3 to 10%, plagioclase from 3 to 5%, and in almost all samples hematite was presented. In two samples kaolinite and in one sample dolomite were recorded. We did not find any speleothem in the dolines or nearby. However we do not have enough evidence that yellow sediments at the bottom of here described dolines are also cave sediments but they could be, because a lot of times was detected that dolines developed above cave filled up by clastic sediments.

3. CONCLUSIONS

In all the cases relatively equal mineral composition prevailed, indicating the main source from Eocene flysch sediments which were weathered in different degree. The samples contained the minerals microcline, plagioclase, muscovite and heavy minerals (tourmaline, rutile) which are typical of Eocene flysch rocks. The process of flysch transport into the caves continues from very past to now, but the intensity varies during the time. Mineral composition of Eocene flysch sandstones of Brkini mountain SE of Divača, which is the catchment area of the Reka river, varies more in quantity of individual minerals than by presence of different minerals. For example flysch sandstone from Velike Loče consists of light minerals: quartz, muscovite, chlorite, microcline and plagioclase and heavy minerals: rutile, zircon, anatase, tourmaline, chromite and goethite. All these light and heavy minerals could be found in cave sediments along Kras. Mineral gibbsite in red loam indicates formation of red soil on the karst surface in some period of warm climate before re-deposition to the caves. Also mineral composition of sediments in roofless caves indicates the main source of them from Eocene flysch rocks which were weathered in different

degree. Only in the sample of yellow loam from roofless cave near Povir some of heavy minerals were detected. Tourmaline and rutile are also common minerals of Eocene flysch on Brkini mountains.

Large extent of sediments on Divača Karst having their origin in flysch rocks shows that in some period flysch rocks weathered intensively and they were transported over the karst surface and into the then existing caves and depressions. This process of flysch transport into the caves continues even now but is less intensive. The erosion of flysch rocks may be accelerated due to colder climate, increased amount of rainfall or due to tectonic uplifting of the landscape. In any case the sediments that had been re-deposited from flysch rocks were yellow in colour. Yellow colour is an indicator of cave sediments, but it could be also found at the bottom of depressions, where sediments are protected against atmospheric influences. On Divača Karst fluvial sediments from caves which roofs are already affected by denudation processes are an important source of superficial soils. Weathered flysch is yellow to yellow brown, where the re-deposited sediments were exposed to atmospheric influences the transformation of yellow to red colour is characteristic. That means that sediments remained on the surface, in the bottom of dolines and in the caves which have had contact with percolating water from the surface could become red and this process does not need the tropic climate.

Red soils on the surface may differ in respect of mineral composition and thus also by its origin and time of development; they have its origin in weathered remains of limestones rich in chert and eolian sediments, but also weathered remains of flysch may be found in them. On Divača Karst we found out that the main origin of red clays was in flysch rocks, microcline and plagioclase found in these sediments shows that they cannot be insoluble remains of limestone and analysed samples did not contain amphiboles that are typical of loess sediments in Istria (DURN & ALJINOVIĆ, 1995) and thus their eolian origin can be excluded. Some of red coloured sediments and red soil that passed through a period of tropical climate are shown by bauxite minerals. All red soils on the surface, in the dolines and in the caves are not the "real" terra rossa, they are just sediments which have had contact with percolating water from the surface and they were changed during diagenesis in oxidation zone.

The time of first filling of sediments into a cave is still unknown and also the formation of the caves but speculations could go to the Eocene when the last marine sedimentation in this area was finished. GOSPODARIĆ (1988) speculated that the first sedimentation in Trhlovca was about 350 Ka ago and that formation of surface terra rossa was going on during the Mindel-Riss Interglacial (about 250 Ka). By dating of speleothems and by paleomagnetic research of clastic cave sediments was found out that sediments are much older than it was thought before. $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ dating of

speleothems in Divaška Jama and flowstone from Povir roofless cave by Mihevc (MIHEVC, 1996; MIHEVC & LAURITZEN, 1996) showed that many of them are older than 350 Ka, and that sedimentation started earlier. Paleomagnetic research (BOSAK et al., 1998) of fluvial cave sediments in Divaška Jama found out that sediments were deposited between 1 Ma and 730 Ka. In the profile of fluvial deposits from Divača Fossil cave two narrow normal and one reverse magnetozones were detected, they probably correlate with Olduvial and Reunion polarity events (about 1.67 to 1.87 Ma) of reverse Matuyama epoch or they correlate with two of four normal magnetozones (about 3.8 to 5.0 Ma) within reverse Gilbert epoch. The point is that sedimentation in here present caves and specially in now roofless caves of Divača karst area was finished long before Pleistocene loess sediments were deposited in Istria. In here described sediments we did not find minerals which are characteristic for material with loess origin.

4. REFERENCES

- BOSAK, P., PRUNER, P. & ZUPAN HAJNA, N. (1998): Paleomagnetic research of cave sediments in SW Slovenia.- *Acta carsologica*, 28, 151-179, Ljubljana.
- DURN, G. & ALJINOVIĆ, D. (1995): Heavy mineral assemblage in terra rossas from the peninsula of Istria, Croatia.- *First Croatian Geological Congress, Abstracts*, 31, Zagreb.
- GAMS, I., LOVRENČAK, F. & INGOLIČ, B. (1971): Krajna vas. A study of the natural conditions and of agrarian land utilisation on the karst.- *Geografski zbornik*, 12, 210-261, Ljubljana.
- GOSPODARIČ, R. (1985): On the speleogenesis of Divaška Jama and Trhlova cave.- *Acta carsologica*, 13, 5-36, Ljubljana.
- GOSPODARIČ, R. (1988): Paleoclimatic record of cave sediments from Postojna Karst.- *Annales de la Société géologique de Belgique*, T.111, 91-95, Liege.
- GREGORIČ, V. (1967): Minerali glin v nekaterih talnih enotah Slovenskega primorja.- *Geologija*, 10, 247-270, Ljubljana.
- GREGORIČ, V. (1969): Nastanek tal na triadnih dolomitih.- *Geologija*, 12, 201-230, Ljubljana.
- HABIČ, P. (1992): Les Phenomenes Paleokarstiques du Karst Alpin et Dinarique en Slovenie. Karst et evolutions climatiques.- *Presses Universitaires de Bordeaux*, 411-428, Bordeaux.
- HROVAT, A. (1953): *Kraška ilovica*.- Ljubljana, 91 p.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, L. (1996): Geological map of the southern part of the Trieste - Komen plateau 1-50.000. Cretaceous and Paleogene carbonate rocks.- *Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko*, Ljubljana, 143 p.
- KRANJC, A. (1986): Underground fluvial sediments as an example from Škocjanske Jame (Kras, Slovenia).- *Acta carsologica*, 14 - 15, 109-116, Ljubljana.
- KRANJC, A. (1989): Recent fluvial cave sediments, their origin and role in speleogenesis.- *Opera 4. razreda, SAZU, ZRC, Karst Research Institute*, 27/1, Ljubljana, 167 p.
- MELIK, A. (1961): Fluvialni elementi v krasu.- *Geografski zbornik*, 6, 333-361, Ljubljana.
- MIHEVC, A., (1996): Brezstropa jama pri Povirju.- *Naše jame*, 38, 65-75, Ljubljana.
- MIHEVC, A. & LAURITZEN, S.E. (1996): Pleistocene and Holocene climatic record in speleothems on the SE edge of the Kras plateau in Slovenia.- In: *Climate change: the Karst record. Extended abstracts of a conference held at Department of geology University of Bergen, Norway (Special Publication, 2)*, 192-193, Charles Town.
- MIHEVC, A., SLABE, T. & ŠEBELA, S. (1998): Denuded caves - an inherited element in the karst morphology; the case from Kras.- *Acta carsologica*, 27, 167-174, Ljubljana.
- MIHEVC, A. & ZUPAN HAJNA, N. (1996): Clastic sediments from dolines and caves found during the construction of the motorway near Divača, on the classical Karst.- *Acta carsologica*, 25, 169-191, Ljubljana.
- RADINJA, D. (1986): The Karst in the light of fossilized fluvial deposition.- *Acta carsologica*, 14-15, 101-108, Ljubljana.
- ŠUŠTERŠIČ, F. (1978): Nekaj misli o zasutih brezni in njihovem polnilu.- *Naše Jame*, 19 (1977), 7-14, Ljubljana.
- ZUPAN HAJNA, N. (1995): A comparison of the mechanical cave sediments from the caves the Škocjanske jame, the Labodnica, the Prevala II and the Mejame.- *Annales for Istrian and Mediterranean Studies*, 7, 117-120, Koper.
- ZUPAN HAJNA, N. (1998): Mineral composition of clastic sediments in some dolines along the new motorway Divača-Kozina.- *Acta carsologica*, 27, 277-296, Ljubljana.



Geološke i geomorfološke značajke zavala polja u kršu Sungera, Mrkoplja i Matić poljane

Geologic and Geomorphologic Features of the Basin of the Polje in Karst of Sunger, Mrkopalj and Matić Poljana

Andrija BOGNAR¹ & Vladimir TOMIĆ²

Ključne riječi: zavala u kršu, okršavanje, Velika Kapela.

Key words: Basins of the polje in karst, Karstification, Velika Kapela, Croatia.

SAŽETAK

Istraživano područje predstavlja subgeomorfološku cjelinu unutar mezogeomorfološke regije gorske skupine Velike Kapele u Gorskom kotaru. Zavale polja u kršu Sungera, Mrkoplja i Matić poljane, koja se razmatraju u ovom radu, oblikovane su u naslagama jurske starosti različitih facijesnih karakteristika, što se odražava i na morfologiju ovog područja. Polja su tektonski predisponirana. Mogu se razlikovati tri mikrogeomorfološke jedinice i to zavale polja u kršu Sungera, Mrkoplja i Matić poljane. Dna zavala u polju akumulacijska su područja ispunjena pretežito taložinama deluvijalnog, koluvijalnog i proluvijalnog porijekla. Unatoč šumskom pokrovu, mogu se prepoznati procesi spiranja i jaruženja koji i dalje imaju važnu ulogu u egzo-geomorfološkom oblikovanju reljefnih jedinica. Intenzivan je i proces korozije, posebno subkutani. Prema odgovarajućim mjerenjima intenzitet okršavanja pokazuje vrijednosti od $5 \text{ m}^3/\text{km}^2\text{g}^{-1}$ (okvir zavala) i 3,60 do $6,12 \text{ m}^3/\text{km}^2\text{g}^{-1}$ (dno polja). Plošno gledajući okvir zona to obilježava tip pokrivenog krša.

ABSTRACT

The studied area represents a subgeomorphologic regional entity in the mesogeomorphologic region of the Velika Kapela mountain system in Gorski kotar. The basins of the karst poljes of Sunger, Mrkopalj and Matić poljana, considered in this work, are situated in the Jurassic sediments of various facies characteristics, which is reflected on the morphology of this area. Poljes are tectonically predisposed. Three microgeomorphologic units can be distinguished, the basins of the karst poljes of Sunger, Mrkopalj and Matić poljana. The bottoms of the basins are accumulative areas chiefly filled with sediments of deluvial, colluvial and proluvial origin. In spite of the forests, the processes of slope-weathering and gullying can be recognized. They continue to play an important role in recent exo-geomorphologic modelling of the relief units. The process of corrosion is also intensive, especially the subcutaneous one. According to the measurements, the karstification intensity shows the values of $5 \text{ m}^3/\text{km}^2\text{g}^{-1}$ (the frame of basins) and 3.6 to $6.12 \text{ m}^3/\text{km}^2\text{g}^{-1}$ (the bottom of polje). Observing the frame of the zones, this indicates the type of covered karst.

¹Department of Geography, Faculty of Science, University of Zagreb, Marulićev trg 19/II, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Department of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.



Coarsening-Upward Cycles - Sedimentary Signature of the Sea-Level Changes

Damir BUCKOVIĆ

ABSTRACT

During Mesozoic greenhouse periods (VEEVERS, 1990) amplitudes of the fourth-to-fifth-order sea-level changes were less than 10 meters (GROTZINGER, 1986; TUCKER, 1993). As the fair-weather wave-base on carbonate platforms in geological past was positioned at an average depth of five meters (TUCKER & WRIGHT, 1990), each fourth-to-fifth order sea level oscillation could lead to "emergence" of the sea bottom (with average depth of 10 m) above the fair-weather wave base. This way sedimentary conditions changed periodically from low energy subtidal to higher energy subtidal, what consecutively and periodically changed limestone structural types from muddy to more grainy ones.

Depending upon the third-order sea level changes, during periods of no local tectonic movements, in platform sedimentary environments, these sea level changes could produce successions of coarsening-upward cycles with grainy peloid-bioclastic or ooid upper member.

REFERENCES

- GROTZINGER, J.P. (1986): Cyclicality and paleoenvironmental dynamics, Rocknest Platform northwest Canada.- *Bull. Geol. Soc. Am.* 97, 1208-1231.
- TUCKER, M.E. (1993): Carbonate diagenesis and sequence stratigraphy.- In: WRIGHT, P.V. (ed.): *Sedimentology review*, 1, Blackwell Sci. Publ., London-Edinburgh-Boston, 51-71.
- TUCKER, M.E. & WRIGHT, P.V. (1990): Carbonate sedimentology.- Blackwell Sci. Publ., Oxford-London-Edinburgh-Boston-Melbourne, 1-482.
- VEEVERS, J.J. (1990): Tectonic-climatic supercycle in the billion-year plate-tectonic eon: Permian Pangean ice-house alternates with Cretaceous Dispersed-continents greenhouse.- *Sediment. Geol.*, 68, 1-16.

Lithostratigraphic Correlation of the Selected Jurassic Carbonate Successions in Western Croatia

Damir BUCKOVIĆ

ABSTRACT

Lithostratigraphic correlation of the Jurassic carbonate sedimentary successions from different localities of western Croatia showed that the platform sedimentary events, during the same time intervals of Jurassic period, were partially identical with and partially different from each other.

The existence of identical sedimentary events was a consequence of uniform sedimentary conditions that existed over the wide platform realm. Along with the changes of eustatic sea-level, sedimentary conditions in all environmentally identical parts of the platform were

simultaneously changed. In that way, on the various platform parts, sedimentary signatures of those changes were identical.

The existence of various sedimentary events on various parts of western Croatian area was a consequence of temporary environmental changes caused by local tectonic movements of varied intensity. These movements disturbed eustatic sedimentary signature that was simultaneously formed on adjacent tectonically undisturbed platform parts. In that way, either monotonous sedimentary successions or hiatuses were formed on the tectonically influenced platform parts.

Possibilities and Problems in Correlation of Quaternary Sediments of Drava-Basin (Hungary and Croatia)

Géza CHIKÁN

Key words: Quaternary sediments, Drava Basin, Correlation, Hungary, Croatia.

ABSTRACT

The rivers, arrived from Alps and Carpathians, played important role in the history of Quaternary development of the Pannonian Basin: they were greatest material-carriers to fill up the basin. One of them, the Drava, which is 720 km long is the national border between Hungary and Croatia. However, it is only a political boundary: impacts of climate, sedimentological and environmental factors are similar on the whole alluvial plain of lower section of Drava.

Geological mapping of the sediments of Drava was taken in the 1:100,000 scale both in Hungary and Croatia. The maps - as shown on the poster - are similar, but the thematic content of maps is not identical. The difference comes from partly using data from the boreholes and geophysics, importance of geomorphology

etc., and partly the target of the mapping: the target in Hungary was an integrated environmental mapping, but in Croatia first of all the Quaternary stratigraphy.

Construction of a common geological map on the two banks of the river has some problems: they are the state border, there is a difference in target of mapping, difference in density of data, difference in methodology and the different detailed Quaternary. But we can see the possibilities: we can elevate our mind over the boundary; we can find a common target: environment protection. We have to condense data, approach our methods and harmonize the interpretation. These problems we can solve in a common mapping project.

The author express special thanks to dr. Ivan Hećimović (Geological Institute of Croatia) to put the map of Đurđevac area at author's disposal.



Foraminifere iz fino-zrnatih sedimenata Velikog jezera i sedimenata otvorenog mora na rtu Lenga (Otok Mljet, Jadransko more)

Foraminifera from Fine-Grained Sediments of the Veliko Jezero Lake and from the Open Sea Sediments of the Lenga Cliff (Island of Mljet, Adriatic Sea)

Franc CIMERMAN¹, Bojan OGORELEC² & Katica DROBNE¹

Ključne riječi: Foraminifera, batijal, koraligen, Veliko Jezero, rt Lenga, otok Mljet, Jadransko more.

Key words: Foraminifera, Bathyal, "coralligene", Veliko Jezero, Cliff Lenga, Island of Mljet, Adriatic Sea.

SAŽETAK

Veliko jezero na otoku Mljetu je potopljena paleo-krška dolina u gornjojurskom i donjokrednom vapnencu. Njegova dubina doseže 42 do 44 metra. Veza sa otvorenim morem je slaba i to preko 4,5 m širokog i 1,6 m dubokog kanala. Za vrijeme istraživanja BULJAN & ŠPAN (1976) dubina kanala iznosila je tek 0,6 m. Kanal je umjetno povećan; plitki prag je produbljen što je omogućilo veći dotok vode iz otvorenog mora u jezero. Sedimenti jezera su do izobata 30 m pjeskoviti, dok se dublje odlažu različiti tipovi muljevitih karbonatnih sedimenata. Stijena rta Lenga leži na NW dijelu otoka i otvorena je prema moru. Uzorke sedimenata je prilikom ronjenja u listopadu 1985. uzeo Anton Praprotnik.

U foraminiferskoj asocijaciji nastupaju na dubini 42 m vrste koje se inače pojavljuju u batijalnoj sredini (*Technitella legumen* NORMAN, *Reophax scorpiurus* MONTFORT) kao i vrste rodova *Bolivina* i *Bulimina*. Na stijeni rta Lenga ove vrste i rodovi nisu nađeni. Na stijeni rta Lenga nastupaju između ostalih *Gaudryina pseudoturris* (CUSHMAN), *Connemarella rudis* (WRIGHT) te miliolide značajne za koraligeno dno (*Adelosina mediterraneensis* (LE CALVEZ, J. & Y.), *Quinqueloculina vulgaris* D'ORBIGNY, *Q. disparilis* D'ORBIGNY).

Položaj termokline je u Velikom jezeru relativno plitak i to između 15 i 20 metara. Količina kisika je, naročito na dnu Velikog jezera, niska i pada do 10% O₂, što ukazuje na približavanje anoksičnim uvjetima sedimentacije.

Smanjene prozračnosti morske vode, izmjerene sa Secci pločom, pojavljuju se u prosjeku već na 15 metara dubine. Podaci su preuzeti iz rada BULJAN & ŠPAN (1976), a predstavljaju rezultate njihovih mjerenja iz 1951. do 1955. godine.

Rezultati granulometrijskih analiza sedimenata iz Velikog jezera i stijena Legna pokazuju da na dubini 30 m (uzorak SrJ 019) prevladava grubozmat karbonatni pijesak (0,6-2,0 mm) a na dubini 42 m (uzorak SrJ 020) pjeskovit mulj frakcije ispod 0,2 mm. Udio glinovite frakcije se na dnu povećava na 15%. Sedimente izgrađuju skeleti morskih organizama: puževa, školjaka, foraminifera i ostrakoda. Udio karbonata je iznad 95%. U frakciji vapnenačkog mulja nastupaju također minerali glina i piritni framboidi. Tamnija boja sedimenata ukazuje na redukciju sredinu taloženja ispod granice voda/sediment. Izvanredno fino-zmat sediment je posljedica mirnog sedimentacijskog okoliša u srednjem dijelu Velikog jezera.

Na stijeni rta Lenga prevladava grubozmat karbonatni pijesak. S obzirom na različite dubine uzoraka i to iz 25 m (SrJ 023) i 65 m (SrJ 024), nisu opažene nikakve razlike u granulometrijskom sastavu sedimenata. Gline- na frakcija nedostaje u potpunosti.

LITERATURA

- BULJAN, M. & ŠPAN, J. (1976): Hydrographical properties of the sea water "lakes" on the island of Mljet and the adjoining sea in eastern south Adriatic sea.- Acta Adriatica, 6/12, 1-227, Split.

¹ Paleontološki inštitut Ivana Rakovca ZRC SAZU, Gosposka 13, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

² Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija.

Aptian-Albian Stratigraphic Succession: An Example from the Adriatic-Dinaridic Carbonate Platform (Lakovići, West Istria, Croatia)

Blanka CVETKO TEŠOVIĆ, Mladen KOIĆ & Ivan GUŠIĆ

Key words: Adriatic-Dinaridic carbonate platform, West Istria, Stratigraphic succession, Aptian-Albian, Microfossil assemblages.

ABSTRACT

Stratigraphic subdivision of Lower Cretaceous deposits of the Adriatic-Dinaridic carbonate platform is possible only on the basis of systematic research of microfossil assemblages. The microfossil assemblages are usually composed of two main microorganism groups: calcareous algae (Dasycladales) and benthic foraminifera (Orbitolinidae and others). The vicinity of Lakovići (Lakovići quarry) in West Istria is the part of the Adriatic-Dinaridic carbonate platform. Close to Lakovići quarry, in the vicinity of Heraki village, according to VELIĆ et al. (1989, 1995) the Albian deposits transgressively overlie the Lower Barremian limestones.

Rich foraminiferal, especially orbitolinid, assemblages, are very important for stratigraphic subdivision of Lower and Middle Cretaceous deposits, and have been determined within Aptian, Albian and Cenomanian limestones on the Adriatic-Dinaridic carbonate platform. The Lower Aptian is typically represented by *Palorbitolina* and *Praeorbitolina* limestone ("lower Orbitolina limestone" in VELIĆ & SOKAČ, 1978) and the Upper Aptian and basal Lower Albian by the *Mesorbitolina* limestone ("upper Orbitolina limestone" in VELIĆ & SOKAČ, 1978). The *Mesorbitolina* limestone is totally missing in West Istria (VELIĆ et al., 1989). The Lakovići Lower Cretaceous succession is one example in which both orbitolinid groups are totally absent. Stratigraphic subdivision of the Lakovići Lower Cretaceous succession is possible on the basis of the specific microfossil assemblages (rare calcareous algae-Dasycladales and abundant, but not very diversified foraminiferal, predominantly miliolid assemblages), different sedimentary environments and emersion features. According to those microfossil assemblages, the Lakovići succession is subdivided into two

stratigraphic levels: lower level (I) - Aptian; and upper level (II) - Albian. The boundary between this two levels is the emersion surface characterized by black breccia/conglomerates and yellow clay intercalations.

In the lower stratigraphic level (I, Aptian), three different facies types are present: (1) algal mudstone (with only two species, *Salpingoporela hasi* and *S. urladanasi*); (2) foraminiferal wackestone-packstone (with *Sabaudia minuta*, *Vercorsella scarsellai*, *Mayncina bulgarica*, *Glomospira urgoniana*, *Pseudonummoloculina aurigerica* and miliolids); and (3) peloidal-foraminiferal (miliolids) grainstone (*P. aurigerica*, *Rumanoloculina minima*, *R. cf. robusta*, *Istriloculina cf. granumtrici*, *Sigmoilina* sp., *Scandonea aff. phoenissa*, *G. urgoniana* and fragments of gastropods).

In the upper stratigraphic level (II, Albian), two different facies types are present: (4) skeletal-peloidal grainstone with mollusks and microfossils ("*Valdanchella*" *dercourtii*, *Salpingoporella turgida*); and (5) foraminiferal wackestone-packstone (*Cuneolina pavonia*, *C. parva*, *Nummoloculina heimi*, *V. scarsellai*, *Nezzatinella picardi*).

REFERENCES

- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (bat - gornji alb) u zapadnoj Istri (ekskurzija A).- In: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (eds.): 1st Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Excursion Guide-Book, 31-66, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978): Biostratigraphic analysis of the Jurassic and Lower Cretaceous in the wider region of Ogulin, central Croatia.- *Geol. vjesnik*, 30/1, 309-337, Zagreb.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and emersion in western Istria (Croatia, Yugoslavia).- *Mem. Soc. Geol. It.*, 40 (1987), 209-218, Roma.



Oligocene Shallow Benthic Foraminifera from Biševo Island (Croatia) in the Adriatic Sea

Katica DROBNE¹, Vlasta ČOSOVIĆ² & Lukas HOTTINGER³

Key words: *Praerhapydionina*, *Austrotrillina*, *Heterostegina*, *Operculina* s.str., *Cycloclypeus*, *Nummulites*, Oligocene, Biševo Island, Adriatic Sea.

ABSTRACT

Far out in the Adriatic Sea, the small island of Biševo (Croatia) supports a series of shallow water carbonate deposits transgressive over folded Cretaceous rudist limestones. Their isolated position representing the extreme northern margin of an Oligocene basin opening southwards raises questions about the faunal composition of K-strategist foraminifera and their biogeographic relation to the comparatively few other Oligocene shallow deposits known around the Mediterranean. In spite of several breaks in the sedimentary sequence marked by conglomeratic beds, the sequence is dated as Lower Oligocene from bottom to top. A shallower facies rich in miliolids yields *Praerhapydionina delicata* HENSON, *Austrotrillina paucialveolata* GRIMSDALE, as known from the prebetic realm in Southern Spain, while a somewhat deeper facies is characterized by the dominance of the nummulitids taxa *Operculina*

complanata (DEFRANCE), *Heterostegina assilinoidea* BLANCKENHORN emend. Henson, *Spiroclypeus*, *Cycloclypeus*, *Nummulites*, as well as of *Amphistegina* and *Neorotalia viennoti* (GREIG), a fauna similar to the one found near Ramleh in the coastal plain of Israel. The *Cycloclypeus* species from Biševo, however, is clearly more primitive than the one of Ramleh and consequently might be older. In contrast to Middle Eocene faunas (with for instance *Alveolina elliptica nuttalli* or *A. levantina*) on the Adriatic Carbonate Platform, Oligocene Middle Eastern faunal elements such as the "archaiaasinids" in the Asmari Limestone, reaching northwards as far as Turkey, have not been found on Biševo Island. This indicates a southeastward shift of the northwestern margin of the paleobiogeographic core area of high diversity in shallow waters in the period between Middle Eocene and Lower Oligocene. This shift is interpreted as reflecting the changes in paleogeography during the corresponding time period.

¹ Paleontološki inštitut Ivana Rakovca ZRC SAZU, Gosposka 13, SLO-1000 Ljubljana, Slovenija.

² Geološko-paleontološki zavod Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³ Naturhistorisches Museum, Augustinergasse 2, CH-4001 Basel, Schweiz.



Cretaceous and Tertiary Paleomagnetic Results from Istria and NW Dinarides

Emo MARTON¹, Katica DROBNE² & Vlasta ČOSOVIĆ³

Key words: Istrian Peninsula, Vipava Valley, Microplate, Counterclockwise Rotation.

ABSTRACT

It is generally accepted that Adria, as an indenter, played key role in the tectonic development of the Central Mediterranean. However, some define it as an African promontory, rigidly attached to the African plate, others are of the opinion that Adria is a microplate. In order to obtain more data relevant to this problem, a paleomagnetic study was undertaken on K/T boundary through Lutetian rocks, between the Idria fault, recognized as the zone of recent decoupling (accompanied by CCW rotation) of Adria and the southernmost promontory of Istrian peninsula. As a result, the following pattern of the paleodeclinations can be seen. In "autochthonous" Istria they are 320-330°, thus supporting the existence of an Adriatic microplate rotating counterclockwise with respect to both the African and European plates, in post mid-Eocene times. Rotation in the

same sense is slightly larger in the fold belt, at the neck of Istrian peninsula. Further to the N, the declinations change to 10-20°. In the Vipava valley, there is again indication for counterclockwise rotation. This situation suggests that, the paraautochthonous Dinaridic chain may consist of three parts: the southern thrust sheets must have rotated together with the Adriatic microplate, while north of the Udine-Divača fault (in the Komen plateau) in the opposite sense. The re-appearance of the counterclockwise rotation in the Vipava valley is difficult to explain. The timing of the rotations is not constrained by paleomagnetic data. Nevertheless, the style and vergency of the tectonic structures, combined with paleomagnetic indicators for Miocene large scale movements north of the Adriatic microplate suggest that the main phase of the counterclockwise rotation of the Adriatic microplate must have been of Miocene age.

¹ELGI, Paleomagnetic Laboratory, Columbus u. 17-23, H-1145 Budapest, Hungary.

²Ivan Rakovec Institute of Paleontology ZRC SAZU, Gospodska 13, SLO-1000 Ljubljana, Slovenia.

³Department of Geology and Paleontology, Faculty of Sciences, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.



Mineraloški, mikromorfološki i geokemijski pokazatelji pedogenetske prirode glina vezanih na regionalnu emerziju u mlađem aptu i starijem albu u Istri, Hrvatska

Mineralogical, Micromorphological and Geochemical Indicators of the Pedogenic Nature of Clays Associated with Late Aptian and Early Albian Regional Emersion in Istria, Croatia

Goran DURN¹, Franz OTTNER², Josip TIŠLJAR¹, Bernd SCHWAIGHOFER²,
Heinz FRÖSCHL³ & Marta ČOVIĆ¹

Ključne riječi: plitkomorske karbonatne stijene, regionalna aptsko-albska emerzija, gline, paleotlo, Istra.

Key words: Shallow-marine carbonate rocks, Regional Aptian-Albian emersion, clays, paleosols, Istria.

SAŽETAK

Zelenkastosive gline, lapori i vapnenačke breče često se nalaze kao tanki nepravilni slojevi unutar plitkovodnih karbonatnih sedimenata donje krede u Istri. U slučajevima kada postoje dokazi o površinskoj izloženosti i pedogenezi nazvane su paleotlima. Gline vezane na regionalnu emerziju u mlađem aptu i starijem albu imaju debljinu koja varira od nekoliko centimetara do više od jednog metra. Cilj ovog rada je prikaz pokazatelja pedogeneze na jednom od istraživanih profila (Seline) s obzirom na mineraloška, mikromorfološka i geokemijska istraživanja.

Debljina glina u profilu Seline iznosi 93 cm. Gline se nalaze na pradačno okršenom potplimnom onkoidnom floutstonu donjeg apta, a prekrivene su gornjoalbskim periplimnim vapnencima, često i vapnenačkim konglomeratima kao ispunom plimnih kanala. Duž profila za detaljnije analize odabrano je jedanaest uzoraka zelenkastosive gline (5BG 4/1 do 10BG 6/1 prema Munsellovom atlasu boja), kao i uzorak vapnenca (onkoidnog floutstona) koji se nalazi neposredno ispod gline.

Raspodjela minerala glina u profilu pokazuje jasni trend: glavni mineral glina u gornjem dijelu je illitični materijal s više od 78 tež. %. U donjem dijelu profila udio illita je niži od 50 tež. %. Uređeni i neuređeni miješanoslojni illit/smektiti druga su po važnosti skupina

ABSTRACT

Greenish-grey clays, marls and lime breccias often occur as thin irregular layers in Lower Cretaceous shallow-water carbonate sediments of Istria. When they show indication of subaerial exposure and pedogenesis they are considered paleosols. Clays associated with Late Aptian-Early Albian regional emersion ranges in thickness from several centimetres up to 1 meter. The aim of this paper is to present indicators of their pedogenesis in one of the investigated profiles (Seline) by means of mineralogical, micromorphological and geochemical investigations.

The Seline profile is 93 centimetres thick. It occurs on paleokarstified Lower Aptian subtidal oncooid floatstone and is overlain by Upper Albian intertidal and tidal channel limestone. Eleven samples of greenish-grey clay (5BG 4/1 to 10BG 6/1 after Munsell) were taken along profile for detailed analyses. Sample of limestone (oncooid floatstone) situated immediately below clay was also taken.

The clay mineral distribution along the profile shows a clear trend. The main clay mineral in the upper part is illitic material (up to 78 wt. %). In the lower part of the profile illite values are below 50 wt.%. The second main clay mineral group are ordered and irregularly oriented illite/smectite mixed layer minerals. Chlorite is subordinate and present only in the lower part of the

¹ University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia.

² University of Agricultural Sciences Vienna, Department of Applied Geology, Peter Jordan Strasse 70, A-1190 Vienna, Austria.

³ Arsenal Research, Environment Division, Faradaygasse 3, A-1030 Vienna, Austria.

minerala glina. Udio klorita je podređen i prisutan samo u donjem dijelu profila. Sastav minerala glina jasno ukazuje na utjecaj i pedogenetskih i dijagenetskih procesa.

Viši sadržaj ilitičnog materijala u gornjem dijelu profila dobro odgovara kemijskim podacima. Naime, sadržaj K_2O u gornjem dijelu je oko 5 tež. %, a smanjuje se na 4 tež. % u donjem dijelu profila. Mineraloški kao i kemijski podaci ukazuju da se morala dogoditi transformacija smektita (iz miješanoslojnih minerala) u ilit. To podupiru i pokusi vlaženja i sušenja, te mjerenja naboja sloja. Vežanje kalija potrebnog za ilitizaciju smektita moglo se ostvariti na paleopovršini opetovanim vlaženjem i sušenjem tijekom emerzije. Izvor kalija moglo je biti bilje, morska voda, vulkanska prašina i drugo.

Na temelju mikromorfološkog istraživanja može se zaključiti da su zelenkastosive gline iz Seline pedogenetski alterirane, tj. da su paleotla. Slijedeće činjenice idu u prilog tom zaključku: i) slabo razvijena tekstura tla, ii) prisutnost ostataka korijenja, iii) gnijezda fekalnih peleta u tlu, iv) nodularni pedooblici i v) mikrostruktura. Prema boji paleotla, prisutnosti ostataka korijenja samo u gornjem dijelu profila i velikom rasprostranju framboidalnog pirita može se zaključiti da su to vjerojatno bila sezonski močvarna tla (dijelom ili potpuno unutar zone fluktuacije razine temeljne vode) do permanentno potopljena tla (cijela ispod razine podzemne vode). Vrlo niske vrijednosti $\delta^{34}S$ u piritu profila Selina ($\delta^{34}S$ je -35% i -36%) mogu biti posljedica ponavljanih ciklusa oksidacije i redukcije, tj. fluktuacije razine vode u vlažnim močvarnim tlima.

Ukupni sadržaj REE u uzorcima profila Seline varira od 87,80 do 123,56 ppm. Odnos $(La/Yb)_{ch}$ varira od 4,51 do 6,82 i značajno je niži od ES ukazujući na obogaćenje HREE u odnosu na LREE. Ukupni sadržaj REE u netopljivom ostatku vapnenca je 148,04 ppm, a odnos $(La/Yb)_{ch}$ iznosi 15,67. Obogaćenje na HREE u glinama iz Seline moglo bi biti rezultat njihovog mineralnog sastava (npr. prisutnost akcesornih minerala s visokim sadržajem HREE) i/ili različitih procesa (npr. velike mobilnosti LREE u kiselom pedogenetskom okolišu). Daljnja istraživanja, koja su u tijeku, trebala bi dati više odgovora o podrijetlu i uvjetima postanka ovih glina.

profile. The clay mineral composition clearly indicates the influence of both pedogenic and diagenetic processes.

The higher content of illitic material in the upper part of the profile corresponds well with chemical data. Namely, the K_2O -content in the upper part is around 5 wt.% and decreases to 4 wt.% in the lower part of the profile. Mineralogical as well as chemical data point out that a transformation of smectite (from the mixed-layer minerals) to illite must have occurred. Wetting and drying experiments and layer charge measurements support this theory. K-fixation necessary for illitization of smectites could have been achieved during Cretaceous time on the paleolandscape by repeated wetting and drying. Potassium might have been provided by plants, marine waters, volcanic dust and other sources.

Based on micromorphological research one can conclude that greenish-grey clays from Seline, were pedogenetically altered i.e. they are paleosols. The following facts are in favour of this statement: i) weakly developed soil structure, ii) presence of root remains, burrows and channels (now mainly filled with pyrite framboids), iii) nest of excrements of soil dwelling fauna, iv) nodular pedofeatures and v) microfabric. The colour of paleosols, the presence of root remains only in the upper part of profile and high abundance of pyrite framboids may imply that they were probably seasonally marshy soils (partly or wholly within the zone of water-table fluctuation) to permanently waterlogged soil (entirely below the water-table). Very low values of $\delta^{34}S$ in pyrites from Selina ($\delta^{34}S$ is -35‰ and -36‰ respectively) may also result from repeated cycles of oxidation and reduction i.e. fluctuation of water-table in wetland marshy soils.

The total REE content in samples from the Selina profile ranges from 87.80 to 123.56 ppm. $(La/Yb)_{ch}$ ratios range from 4.51 to 6.82 and are significantly lower than that of ES indicating HREE enrichment relative to LREE. The total REE content in the insoluble residue of limestone is 148.04 ppm and $(La/Yb)_{ch}$ ratio is 15.67. Enrichment of HREE in clays from Seline can be the result of their mineralogical composition (eg. presence of accessory mineral with high HREE content) and/or various processes (eg. higher mobility of LREE in acidic pedogenic environment). Further studies which are in progress should give more answers to this topic.



Albian-Upper Cretaceous Lithostratigraphy of the Area East of the Cres City

Vladimir KALINSKI¹ & Ivan GUŠIĆ²

Key words: Albian, Upper Cretaceous, Lithostratigraphic units, Carbonate platform, Island of Cres, Croatia.

ABSTRACT

Three lithostratigraphic units of the Cretaceous age were separated on the area east of the Cres city (Island of Cres, Croatia), chronostratigraphically ranging from the Albian to the Cenomanian, in addition to the two units of Paleogene age (late Paleocene to middle Eocene).

The oldest Cretaceous formation is "Dragarski limestone". These deposits are among the oldest on the island of Cres. Found microfossils purport to Albian age and by superposition, we can possibly talk about Aptian age in the base. Albian limestone, which lacks macrofauna but is relatively rich of microfauna, generally consists of pelletal grainstone (sometimes with the presence of pelletal packstone-grainstone). Aptian limestone is mostly mudstone type ("dense" and dark micritic limestone). There is no rich fossil content, especially index fossils are not noticed. The sedimentary surroundings of "Dragarski limestone" is undoubtedly the environment of the carbonate platform (Adriatic-Dinaric carbonate platform), or more precisely the inner, more protected, and relatively shallower parts of the platform. It is continuously followed by "Sv. Ivan dolomite".

"Sv. Ivan dolomite" is almost completely late diagenetic dolomite (LDD). Only smaller parts are referred to "clean" early diagenetic origin. Early diagenetic dolomite (EDD) is produced by the process of dolomitisation in the evaporation conditions and/or by dolomitisation in the fresh and salty water mixing zone. LDD has typical grainy, flour-like texture and under microscope, big rhomboedric crystals can be easily noticed. Their genesis is epigenetic, that is, by the dolomitisation of already hardened limestone. Within "Sv. Ivan dolomite", there are zones with all the limestone types, from

mudstone-wackestone-packstone to grainstone. Limestone zones are sharpless, shapeless and so are hard to map. "Sv. Ivan dolomite" stratigraphically belongs partly to the Lower Cretaceous and partly to the Upper Cretaceous. Limestone zones within are integrated in the scheme and most probably represent a limestone that is not yet gripped by late diagenetic dolomitisation but is surrounded by one. Smaller mass of "Sv. Ivan dolomite" is a result of early diagenetic dolomitisation at shallow waters and/or at emerged parts of the carbonate platform. Nevertheless, the biggest mass of today's "Sv. Ivan dolomite" is the most likely product of the late diagenetic dolomitisation.

"Merag limestone" formation, just as the other formations, are spread out northwest-southeast (so called Dinaric strike). These are the youngest Cretaceous units on the mapping area and on the Island of Cres. The age of this formation is strictly Cenomanian. All rock types are presented, from mudstone to grainstone, and even *Chondrodonta*-boundstone (the uppermost part of the Cenomanian) and ooid grainstone (local shoals and tidal sandbanks with high-energy water agitation). However, two limestone types are the most recognizable: foraminiferal-pelletal wackestone-packstone (somewhere grainstone) and foraminiferal packstone-grainstone. Foraminiferal packstone-grainstone type is mostly a characteristic of upper parts of formation. Within foraminiferal packstone-grainstone limestone, shapeless fenestrae are seen macroscopically which lead us to shallowing oscillations. Facies belt, wherein sedimentation of such types of the limestone can be expected, is rather a belt of protected and isolated lagoons and near-shore pools with restricted water circulation, including tidal flats.

The younger Paleogene formations "Foraminiferal limestone", of late Paleocene to middle Eocene age (as proven by pollen analysis), and middle Eocene "Flysch formation" are transgressively overlaying the Cretaceous lithostratigraphic units. These are not discussed further for the reason that they are not the subject of research in this paper.

The age of units are determined by the index fossils and/or by correlation with identical units of the Adri-

¹Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Faculty of Science, University of Zagreb, HR-10000 Zagreb, Croatia.

atic-Dinaric carbonate platform. A rich development of the Cretaceous carbonate rocks signifies dominant shallow water carbonate sedimentation. Thickness of the same sediments refers to general platform drowning, without long-lasting oscillations. However, drowning movement was not uniform all over the platform and some of the areas, as this one, emerged (from the Cenomanian until the Paleogene) due to intensive tectonic.

In these upthrown parts, the weathering crust was marked by numerous bauxite sinkholes. This was partly the cause of the quick progress of late diagenetic dolomitisation.

For the unit distinction, the parameters of the North American Commission on Stratigraphic Nomenclature were used.

Rudistne zajednice i taložni okoliši duž rubnog područja između zaštićene platforme i unutarplatformnog bazena u cenomanu otoka Cresa *

Rudist Communities and Sedimentary Environments along Shallow-Platform to Intraplatform Basin Transition in the Cenomanian of the Island of Cres (Adriatic Sea, Croatia) *

Tvrtko KORBAR¹, Ladislav FUČEK¹ & Vladimir JELASKA²

Ključne riječi: Jadranska karbonatna platforma, otok Cres, cenoman, rudisti, taložni okoliši.

Key words: Adriatic carbonate platform, Island of Cres, Cenomanian, Rudists, Sedimentary environments.

SAŽETAK

Područje otoka Cresa predstavlja dio prostrane Jadranske karbonatne platforme (GUŠIĆ & JELASKA, 1990; TIŠLJAR & VELIĆ, 1991). Medudjelovanjem sinsedimentacijske tektonike (TIŠLJAR et al., 1998), eustatike (HAQ et al., 1987) i anoksičnog događaja tijekom gornjeg alba-donjeg cenomana (OAE 1C prema JENKYNS, 1991) na južnom dijelu otoka Cresa formirani su različiti taložni okoliši (KORBAR, 1999; HUSINEC et al., 2000). Opažane su dvije glavne litostratigrafske jedinice: "Kalciferski vapnenac", taložen u dubljem okolišu padine i/ili unutarplatformnog bazena i "Rudistni vapnenac", taložen u prijelaznom okolišu i okolišu zaštićene, plitke platforme. Tijekom donjeg-srednjeg cenomana "Rudistni vapnenac" je taložen duž visokoenergijske rubne zone smještene između spomenutog dubljeg okoliša i okoliša zaštićene platforme. U visokoenergijskom rubnom okolišu pretežito su obitali veliki rekumbenti (polegli morfortipovi rudista): ihtiosarkolitidi i kaprinidi (kompleks strmog ruba prema ROSS & SKELTON, 1993). Značajne količine bioklastičnog materijala nastale lomljenjem njihovih ljuštura težile su zatrpavanju unutarplatformnog bazena. Bazen je vjerojatno bio dovoljno duboko ili je relativni rast razine mora bio dovoljno brz da održi korak s velikom brzinom sedimentacije. "Kalciferski vapnenac"

ABSTRACT

The island of Cres represents a part of the extensive and long-lasting Adriatic Carbonate Platform (GUŠIĆ & JELASKA, 1990; TIŠLJAR & VELIĆ, 1991). Owing to interaction of synsedimentary tectonics (TIŠLJAR et al., 1998), eustatic changes (HAQ et al., 1987) and anoxic event (OAE 1C according to JENKYNS, 1991) during the Late Albian-Early Cenomanian, different sedimentary environments were established on the southern part of the island (KORBAR, 1999; HUSINEC et al., 2000). Two main lithostratigraphic units were recognized: "Calcsphaera limestone", deposited in deeper environment (probably slope and/or intraplatform basin), and "Rudist limestone", deposited in transitional and protected shallow-water environments (intraplatform basin margin and/or shallow platform). During the Early-Middle Cenomanian the "Rudist limestone" was deposited along high-energy marginal zone between deeper and protected shallow-water environments, where ichthyosarcollitid/caprinid (big recumbent morphotypes) communities flourished (steep margin complex according to ROSS & SKELTON, 1993). Significant amount of coarse bioclastic material tended to fill the intraplatform basin. It seems that the basin was deep enough and/or relative sea level rise was fast enough to keep pace with rapid sedimentation. During

* Ovaj poster je prikazan na 5. međunarodnom kongresu o rudistima (Erlangen, Njemačka, 1999).

* This poster was presented at the 5th International congress on rudists (Erlangen, Germany, 1999).

¹Institute of Geology, Sachsova 2, P.O. Box 268, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: korbar@magi.igi.hr.

²University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology and Palaeontology, Zvonimirova 8/II, HR-10000 Zagreb, Croatia.

taložen je istovremeno u području unutarplatformnog bazena. Značajni facijes unutar "Kalciferskog vapnenca" su "Baldarinske breče" zabilježene na geološkom stupu snimljenom duž plaže auto-kampa Baldarin. Litoklasti (do dimenzija blokova) ihtiosarkolitidno-kaprinidnog bioklastičnog "Rudistnog vapnenca" resedimentirani su u dublji okoliš zajedno sa rudistnim bioklastima (vjerojatno "base-of-slope" prostirka i rubni eskarp prema WRIGHT & BURCHETTE, 1996), vjerojatno tijekom pada razine mora. "Baldarin breče" mogle bi biti shvaćene kao ekvivalent niskorazinskog klina (prema HAQ, 1991), a njihova donja granica kao sekvencijska granica 3. reda (pad globalne razine mora u srednjem cenomanu prema HAQ et al., 1987), tip 1 (HAQ et al., 1991). Vjerojatno strma padina između plićeg, zaštićenijeg područja platforme i dubljeg, otvorenijeg područja unutarplatformnog bazena, koja je postojala u donjem - srednjem cenomanu, izmijenjena je u padinu tipa rampe u srednjem - gornjem cenomanu, kada je "Rudistni vapnenac" s buketima radiolitida-elevatora (uspravni morfotipovi rudista), taložen u zaštićenijem okolišu s umjerenijom energijom vode. Primarni stratigrafski odnosi među opisanim litostratigrafskim jedinicama zamaskirani su mladim tektonskim gibanjima.

the same time the "Calcisphaera limestone" was deposited laterally, in the intraplatform basin. An important facies inside the "Calcisphaera limestone" is the "Baldarin breccia" recorded in Baldarin stratigraphic section. Lithoclasts (up to boulder-size) of the ichthyosarkolitid/caprinid bioclastic "Rudist limestone" were shed into deeper-water environment along with rudist bioclasts (probably base-of-slope apron with possible marginal escarpment according to WRIGHT & BURCHETTE, 1996), probably during lowstand. The "Baldarin breccia" could be considered as an equivalent of a lowstand wedge (according to HAQ, 1991) and the underlying surface could represent a 3rd order (Middle Cenomanian sea level fall according to HAQ et al. 1987), type 1 sequence boundary (according to HAQ, 1991). A probably steep shallow-to-deeper-water transition that existed during the Early - Middle Cenomanian was changed to a more ramp-like geometry during the Middle - Late Cenomanian, when the "Rudist limestone" was deposited in more protected environments (with elevator-morphotype radiolitids in bouquets). The primary relationships between different Cenomanian deposits have been disguised by younger tectonic activity.

LITERATURA - REFERENCES

- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gornjokrednih naslaga otoka Brača (Upper Cretaceous stratigraphy of the Island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform).- Djela Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 69, Institut za geološka istraživanja, OOUR za geologiju, Zagreb, 160 p.
- HAQ, B.U. (1991): Sequence stratigraphy, sea-level change and significance for deep sea.- Spec. Publ. int. Ass. Sediment., 12, 3-39.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. (1987): Chronology of fluctuating sea-levels since the Triassic.- Science, 235, 1156-1167.
- HUSINEC, A., VELIĆ, I., FUČEK, L., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D., OŠTRIĆ, N. & KORBAR, T. (2000): Middle Cretaceous orbitolinid (Foraminifera) record from the islands of Cres and Lošinj (Croatia) and its regional stratigraphic correlation.- Cretaceous Research, 21/1, 155-171.
- JENKYNS, H.C. (1991): Impact of Cretaceous sea level rise and anoxic events on the Mesozoic carbonate platform of Yugoslavia.- Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 75, 1007-1017.
- KORBAR, T. (1999): Dinamika taložnih okoliša i razvoj rudistnih zajednica u cenomanu otoka Cresa (Dynamics of sedimentary environments and development of rudist communities in the Cenomanian of Cres Island - Adriatic Sea, Croatia).- Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zagreb, 74 p. (in Croatian with English summary).
- ROSS, D.J. & SKELTON, P.W. (1993): Rudist formations of the Cretaceous: a palaeoecological, sedimentological and stratigraphical review.- In: WRIGHT, V.P. (ed.): Sedimentology review, 1, 73-91, Oxford.
- TIŠLJAR, J. & VELIĆ, I. (1991): Carbonate facies and depositional environments of the Jurassic and Lower Cretaceous of the coastal Dinarides (Croatia).- Geol. vjesnik, 44, 215-234, Zagreb.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I., MATIČEC, D. & ROBSON, J. (1998): Carbonate facies evolution from the Late Albian to Middle Cenomanian in southern Istria (Croatia): Influence of synsedimentary tectonics and extensive organic carbonate production.- Facies, 38, 137-152.
- WRIGHT, V.P. & BURCHETTE, T.P. (1996): Shallow-water carbonate environments.- In: READING, H.G. (ed.): Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. Blackwell, Oxford, 325-394.



Oolitic Limestone and Dolomite in Mesozoic Beds of Slovenia

Preliminary Report

Bojan OGORELEC & Stevo DOZET

Key words: Oolitic facies, Carbonate rocks, Mesozoic, Outer Dinarides, Slovenia.

ABSTRACT

Oolitic beds are rather common in Mesozoic stratigraphic sequence, which on the territory of Slovenia attains a thickness of about 5,000 metres. They are characteristic facies of certain Mesozoic formations. It is particularly the case in shallow-marine sediments of the Dinaric and Julian carbonate platform, where oolitic rocks can be observed in differently thick horizons. During regional geological mapping and detailed profiling of Lower and Upper Triassic, Liassic, as well as Dogger, Malm and Cretaceous carbonate rocks, the following oolitic horizons have been found in various geotectonic units (fig. 1).

On the Permian/Triassic boundary (P/T) oolites occur locally in the form of an up to one metre thick horizon (Tessero horizon). Commonly, the limestone is dolomitized. In the Eastern Sava Folds (Sevnica, Trebelno, Bohor, Pleše) oolitic dolomite is locally mineralized with Pb-Zn sulphides.

Scythian succession in the considered area is characterized by some lenses and beds of reddish oosparitic limestone and dolomite, as well as bioosparitic limestone with numerous gastropods of the species *Halopella* sp. In the Idria mercury mine it frequently have a lens-like form (ČAR et al., 1980). The ooids in the Scythian beds attain up to 2 mm in diameter and hematite pigment imparts them characteristic reddish colour. Due to influence of meteoric water, oolitic limestone is enriched by the light $\delta^{13}\text{C}$ isotope (DOLENEC et al., 1981). However, oolitic beds are one of the most expressive characteristics of the Scythian beds in the whole Slovenian territory.

In Carnian beds oolites occur locally, most commonly together with oncoids (DOZET & SILVESTER, 1979). Rarely (Mežica - PUNGARTNIK et al., 1982), limestone of oosparitic rock type is strongly pyritized.

In the Norian-Rhaetian Dachstein limestone, ooids developed only locally (for example: Trnovski gozd - OGORELEC & ROTHE, 1992).

On the other hand, oolitic facies is abundant in Liassic and Dogger successions on the Dinaric carbonate platform reaching the thickness of several tens of metres, and locally even up to 200 metres (DOZET, 1980, 1989; STROHMENGER et al., 1987; STROHMENGER & DOZET, 1990; DOZET & ŠRIBAR, 1998).

Oolitic rocks are mostly pure oosparites (grainstone by texture). In several beds gradation and cross-lamination can be observed. In the Upper Liassic succession of the whole Notranjska and Dolenjska area, beds of dolomitized oolitic limestone with large oncoids occur. The dolomite is of late diagenetic origin, and the original limestone can be completely recrystallized into saccharoidal dolomite.

The oolitic beds also occur in the Liassic succession of the Julian platform, but they are not so widespread (JURKOVŠEK et al., 1990).

In the biocalcarenes, deposited in a deeper-marine environment of the Slovenian basin, oolites were floated from the carbonate platform into the basin by underwater turbidite currents (for example: Črna Prst above Bohinj).

To minor extent, oolites are a constituent part of the shallow-marine Malm limestone in the facies together with tintinninas and the algae *Clypeina jurassica* (for example: Trnovski gozd - OREHEK & OGORELEC, 1979).

Oolitic limestone is also recognized in the Lower Cretaceous stratigraphic sequence of the Dinaric carbonate platform (DOZET, 1989; OREHEK & OGORELEC, 1981; DOZET & ŠRIBAR, 1998), but in this interval of the Mesozoic succession their occurrence is not so common. In the Valanginian beds, several up to some metres thick intercalations of dark, stratified oo-

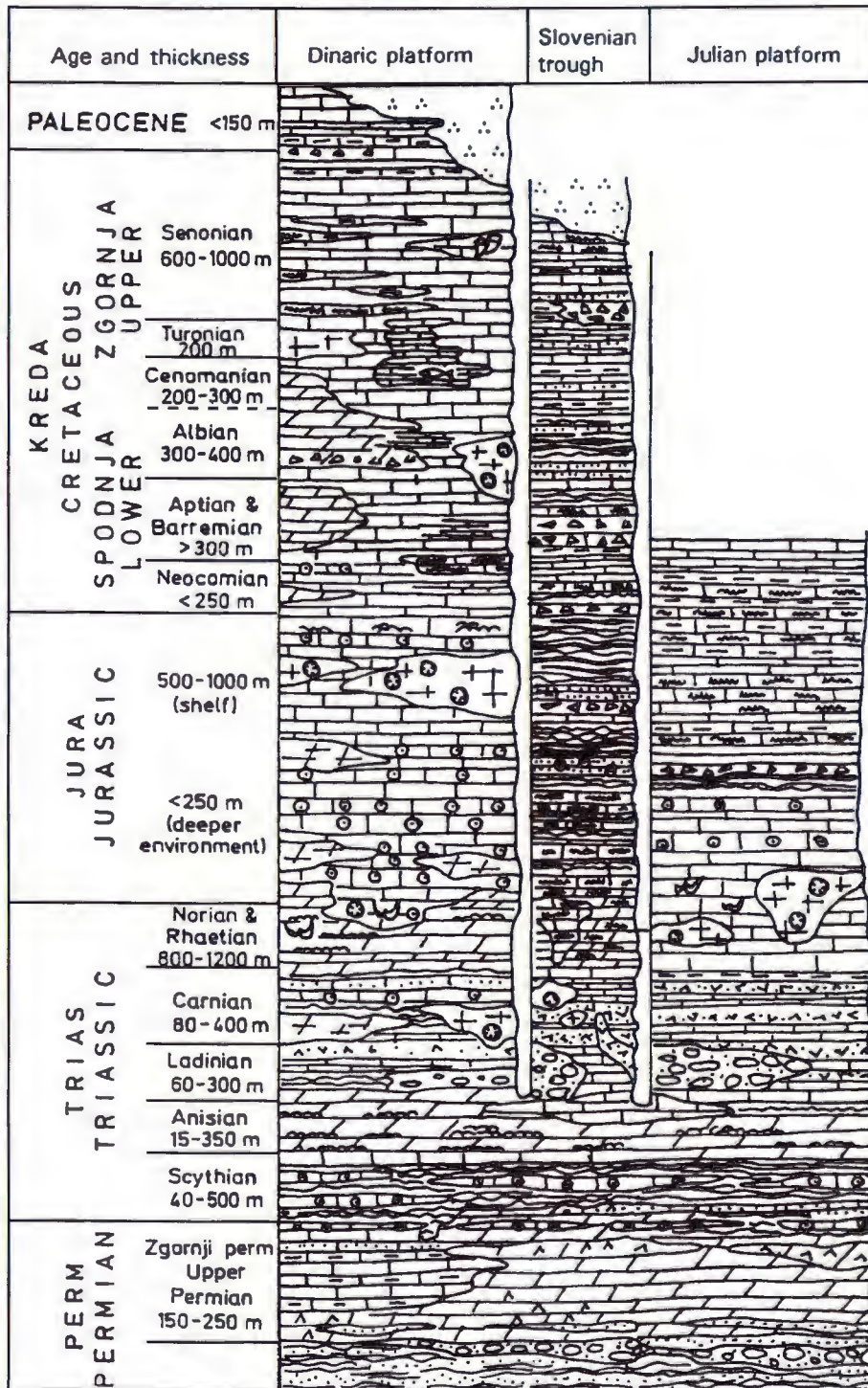


Fig. 1 Schematic lithologic column of Mesozoic rocks in Slovenia with oolitic facies presented.

sparitic and oomicritic limestone occur. Furthermore, in the Aptian carbonate succession light-coloured oosparritic limestone with oncoids, miliolids and salpingoporellas can be found, too.

The above mentioned oolitic horizons and facies are characterized by strong diversity in textural composition of ooids, their successive occurrence, and the stage of diagenesis. Recognized ooid types in Mesozoic stratigraphic sequence of the considered area indicate spe-

cific hydrodynamical and microbiological conditions, which are responsible for their formation and enable us to reconstruct their depositional sedimentary environment and paleogeographic conditions.

REFERENCES

- ČAR, J., GREGORIČ, V., OGORELEC, B. & OREHEK S. (1980): Sedimentological development of Scythian beds in the Idria mercury deposit.- Rud.-met. zbor., 27/1, 3-20, Ljubljana.

- DOLENEC, T., OGORELEC, B. & PEZDIČ, J. (1981): Upper Permian and Scythian beds in the Tržič area.- *Geologija*, 24/2, 217-238, Ljubljana.
- DOZET, S. (1980): Jurske plasti na Kočevskem in južnovzhodnem Notranjskem.- *Rud.-met. zbor.*, 4, 443-457, Ljubljana.
- DOZET, S. (1989): Razvoj mezozojskih plasti na Kočevskem in v okolici.- Unpublished PhD Thesis, Univ. of Ljubljana, 187 p.
- DOZET, S. & SILVESTER, M. (1979): Skitske in zgornjekarnijske kamenine na Kočevskem.- *Geologija*, 22/2, 327-336, Ljubljana.
- DOZET, S. & ŠRIBAR, LJ. (1998): Biostratigraphy of shallow-marine Jurassic beds in Southeastern Slovenia.- *Geologija*, 40, 187-221 (1997), Ljubljana.
- JURKOVŠEK, B., ŠRIBAR, L., OGORELEC, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (1990): Pelagic Jurassic and Cretaceous beds in the western part of the Julian Alps.- *Geologija*, 31/32, 285-328, Ljubljana.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. (1992): Mikrofazies, diagenese und geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomites in Süd-West-Slowenien.- *Geologija*, 35, 81-181, Ljubljana.
- OREHEK, S. & OGORELEC, B. (1979): Sedimentološke značilnosti jurskih in krednih karbonatnih kamenin na Trnovskem gozdu.- *Geol. vjesnik*, 32, 185-192, Zagreb.
- OREHEK, S. & OGORELEC, B. (1981): Correlation of microfacial and geochemical characteristics of Jurassic and Cretaceous rocks of the southern carbonate platform in Slovenia.- *Zav. geol. geof. istraž.*, Vestnik, A, 38/39, 171-185, Beograd.
- PUNGARTNIK, M., BRUMEN, S. & OGORELEC, B. (1982): Lithologic succession of Carnian beds in Mežica.- *Geologija*, 25/2, 237-250, Ljubljana.
- STROHMENGER, C. & DOZET, S. (1990): Stratigraphy and geochemistry of Jurassic carbonate rocks from Suha Krajina and Mala gora mountain (Southern Slovenia).- *Geologija*, 33, 315-351, Ljubljana.
- STROHMENGER, C., DOZET, S. & KOCH, R. (1987): Diagenese-muster-Stratigraphie: Oolith-Horizonte im Jura von SW Slowenien.- *Facies*, 17, 253-266, Erlangen.



Tekstura, struktura i mineralni sastav sedri sa Zrmanje i Krupe

Structure, Fabric and Mineralogical Composition of Calcareous Tufa from the Zrmanja and Krupa Rivers

Gordana PAVLOVIĆ, Esad PROHIĆ & Darko TIBLJAŠ

Ključne riječi: algalne laminirane sedre, mahovinske sedre, algalne sedrene kore.

Key words: Algal laminated crusts, Mossy deposits, Algal-coated grains.

SAŽETAK

ABSTRACT

Prikupljeni uzorci sedri sa Zrmanje i Krupe pripadaju morfološkom tipu sedrenih slapova ili kaskada (LOVE & CHAFETZ, 1988). Na temelju teksture sedre su svrstane u tri grupe organogenih naslaga: algalne laminirane sedre, mahovinske sedre i algalne sedrene kore na klastima (LOVE, 1985). Sedre prve grupe izgrađene su od mikritnih i sparitnih lamina koje se međusobno izmjenjuju. Druga grupa se odlikuje radijalnim rasporedom mikritnih i sparitnih inkrustacija stabljika mahovina, dok su sedre treće grupe izgrađene od međusobno paralelnih sparitnih lamina (LOVE, 1985). Sedre sve tri grupe su izgrađene od niskomagnezijskog kalcita u kojem mol. % $MgCO_3$ ne premašuje 2%. Metodom difrakcije rendgenskih zraka na praškastom netopivom ostatku, preostalom nakon otapanja karbonatnog matriksa uzorka prikupljenog nizvodno od Jankovića buka, određeni su sljedeći minerali: kremen, muskovit i klorit.

Premda je Hrvatska tipski lokalitet sedri, ovaj rad predstavlja prvo istraživanje građe i sastava sedri sa Zrmanje i Krupe pomoću petrografskih, mineraloških i geokemijskih metoda.

The collected samples of calcareous tufa from the Zrmanja and Krupa river belong to waterfall or cascade morphological type of tufa deposits (LOVE & CHAFETZ, 1988). According to structure the samples are classified into the three groups of organic deposits: algally-laminated crusts, mossy deposits and algally-coated grains (LOVE, 1985). Tufa of the first group is composed of the alternating micrite and spar laminae. The second group is characterized by radially-oriented micritic and spar crystals surrounding moss stalks, whereas tufa of the third group is built of the subparallel spar laminae (LOVE, 1985). Tufa of all three groups is composed of the low-magnesian calcite where mol. % $MgCO_3$ does not exceed 2%. In the insoluble residue, after dissolving the carbonate matrix of the sample collected downstream of Jankovića buk, quartz, muscovite and chlorite were determined by X-ray powder method.

Although Croatia is the typical locality of calcareous tufa, in this study fabric and composition of calcareous tufa from the Zrmanja and Krupa river are investigated for the first time by means of petrographic, mineralogical and geochemical methods.

LITERATURA - REFERENCES

LOVE, K. M. (1985): Petrology of Quaternary travertine deposits, Arbuckle Mountains, Oklahoma.- Unpubl. MSc Thesis, Univ. Houston, 240 p.

LOVE, K.M. & CHAFETZ, H.S. (1988): Diagenesis of laminated travertine crusts, Arbuckle Mountains, Oklahoma.- Jour. of Sed. Petrol., 58/3, 441- 445.



Prilog poznavanju vodonosnog sustava nizvodne Podravine (Pitomača - Vukovar)

New Data on Aquifer System in Downstream Part of the Drava River Valley (Pitomača - Vukovar)

Andrea BAČANI¹, Dario PERKOVIĆ¹ & Andrija CAPAR²

Ključne riječi: vodonosni sustav, sliv Drave.

Key words: Aquifer system, Drava river basin.

Sažetak

Regionalna hidrogeološka istraživanja sliva Drave rezultirala su izdvajanjem kvartarnog vodonosnog sustava kao najpovoljnijeg za eksploataciju podzemne vode. On obuhvaća propusne naslage saturirane pitkom vodom koje se nalaze između površine terena i elektrokarotaznog repera Q'. Novijom interpretacijom velikog broja podataka bušenja i geofizičkih mjereja, načinjenom u okviru projekta "Evidencija i gospodarenje zalihama podzemnih voda Hrvatske", zaključeno je da kvartarni vodonosni sustav nema iste hidrogeološke značajke po dubini, već da se unutar njega može izdvojiti plića, propusnija i hidrogeološki povoljnija vodonosna serija. U radu su prikazane njene osnovne hidrogeološke značajke i prostorni raspored njenih debljina na području između Pitomače i Vukovara.

Abstract

Regional hydrogeologic investigations of Drava river basin resulted in definition of the Quaternary aquifer system as the most convenient for the groundwater exploration. It contains the permeable sediments saturated with drinking water. It is situated between the surface and the conditional E-log marker Q'. Through the project "Recording of data and economy of groundwater resources of Croatia", we have made the new interpretation of numerous drilling and geophysical data and concluded that the Quaternary aquifer system is characterised by the vertical variations of hydrogeological characteristics. Its upper part is more permeable and hydrogeologically more favourable. The paper presents isopach maps of the more permeable upper part of the Quaternary aquifer system and of its low-permeable roof in the eastern part of the Drava river basin between Pitomača and Vukovar, as well as its basic hydrogeological characteristics.

1. UVOD

Sistematska hidrogeološka istraživanja sliva Drave započinju šezdesetih godina s ciljem vodoopskrbe većih naselja i formiranja crpilišta Naftaplina za potrebe sekundarne eksploatacije nafte. Na temelju podataka bušenja i geofizičkih mjerenja, kao najpovoljniji interval za eksploataciju podzemne vode, izdvojen je kvartarni vodonosni sustav (URUMOVIĆ et al., 1976, 1978), koji obuhvaća naslage od elektrokarotaznog repera Q' do površine terena. Reper Q' predstavlja regionalni sedimentacijski diskontinuitet iznad kojeg dominiraju propusne naslage, odnosno ispod kojeg prevladavaju slabopropusne do nepropusne naslage (HERNITZ, 1983). Po nastanku to su fluvijalni i jezersko-močvarni sedimenti taloženi tijekom srednjeg i gornjeg pleistocena, te holocena.

Debljina kvartarnog vodonosnog sustava na području između Pitomače i Vukovara kreće se od preko 150 m pa do 300 m (URUMOVIĆ et al., 1994).

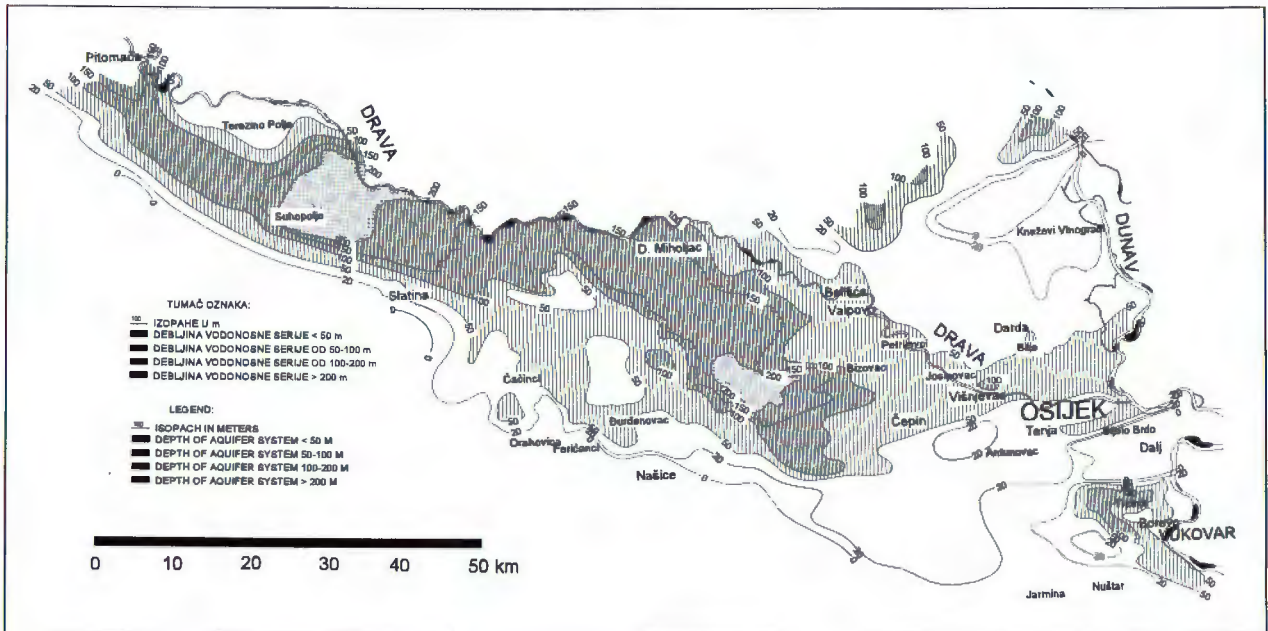
U okviru projekta "Evidencija i gospodarenje podzemnim vodama Hrvatske" koji već desetak godina za potrebe Hrvatskih voda izvodi Rudarsko-geološko-naftni fakultet, a čiji je zadatak sustavno prikupljanje podataka o vodonosnim sustavima Hrvatske i podizanje razine znanja o njima, obrađeno je i područje sliva Drave. Za istočni dio dravske potoline prikupljeno je 660 katastarskih listića, od kojih 655 sadrži podatke o litološkom sastavu, 338 podatke o pokusnom crpljenju, te 101 podatke o hidrogeološkim parametrima. Prikupljen je i velik broj rezultata geoelektričnih ispitivanja, te 162 analize o kvaliteti podzemne vode. Prikupljeni podaci su pohranjeni u bazi podataka, a njihova interpretacija u bazi znanja projekta.

2. REZULTATI

Na temelju podataka o litološkom sastavu probušenih naslaga koji su upotrijebljeni s podacima geoelektričnih

¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Geofizika, Savska 64, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Karta izopaha propusnijeg intervala kvartarnog vodonosnog sustava.

Fig. 1 Isopach map of more permeable upper part of Quaternary aquifer system.

ispitivanja izdvojena je vodonosna serija od prvenstvenog interesa za vodoopskrbu. Zbog razlika u razvoju naslaga područje je podijeljeno na četiri dijela: Pitomača - Slatina, Slatina - Vukovar, Našice - Vukovar i Baranja.

2.1. PITOMAČA - SLATINA

Na potezu između Pitomače i Slatine najveće debljine vodonosne serije od preko 200 m nalaze se u centralnom dijelu, između Suhopolja i Budakovca (sl. 1). Izolirane 100 i 150 m prate se između Drave i Bilogore u izduženom obliku pravcem SZ-JI. Debljine ispod 50 m nalaze se u širem području Terezinog polja, dok južno od Špišić Bukovice i Slatine vodonosni sustav isklinjuje. Ovakav raspored debljina uvjetovan je odlaganjem dravskog nanosa unutar paleodepresije između Pitomače na zapadu i poteza Bukovica - Čadavica na istoku, bez dotoka sa strane. Krupnoća zrna smanjuje se idući prema istoku i prema dubini. Debljina krovinskih naslaga kreće se od nekoliko metara, uglavnom uz Dravu, do preko 20 m na potezu od Virovitice do Slatine (sl. 2).

Vrijednosti koeficijenta hidrauličke provodljivosti su od 29,7 do 175 m/dan (prosjeak 141 m/dan), a usklađivanja od $2,36 \times 10^{-4}$ do $2,14 \times 10^{-3}$ (prosjeak $1,19 \times 10^{-3}$). Značajnija crpilišta na ovom dijelu područja su Bikana za vodoopskrbu Virovitice te Senkovec-Medinci za vodoopskrbu Slatine. Budući da je voda povoljne kvalitete i relativno lako dostupna, vodoopskrba se pretežitom zasniva na individualnim, relativno plitkim zdencima, no kvaliteta tako zahvaćene vode je ugrožena zbog male debljine krovinskih naslaga, nepostojanja kanalizacije i intenzivne poljoprivrede.

2.2. SLATINA - VUKOVAR

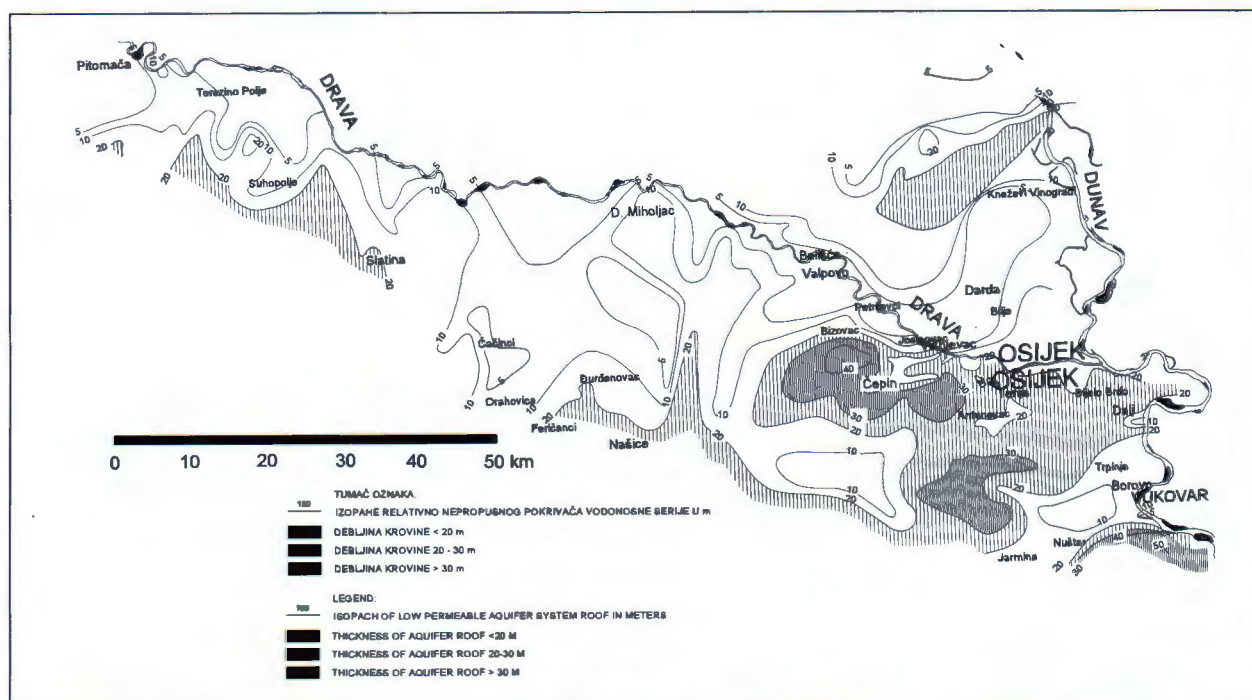
Prostorni raspored debljina na ovom dijelu područja je nešto složeniji, jer u formiranju vodonosnog sustava ne sudjeluje samo Drava odlažući svoj nanos na paleorelief, već i njene desne pritoke; Vojlovica, Orahovička i Našička rijeka, koje odlažu pjeskovito-šljunkoviti materijal stvarajući konuse na području Orahovice, Đurđenovca i Velimirovca (sl. 1). Najveće debljine prisutne su sjeverno od Koške (200 m), te zapadno od Osijeka i kod Trpinje (100 m). Debljina slabopropusnih naslaga u krovini je od nekoliko do preko 30 m (sl. 2).

Vrijednosti koeficijenta hidrauličke provodljivosti su od 0,5 do 69,1 m/dan (prosjeak 25,8 m/dan), a usklađivanja od $1,45 \times 10^{-4}$ do $8,78 \times 10^{-3}$ (prosjeak 9×10^{-4}). Značajnija crpilišta na ovom dijelu područja su Čačinci, Đurđenovac, Velimirovac, Donji Miholjac, Beničanci, Valpovo, Petrijevi, Vinogradi-Osijek i Trpinja. Prirodna kvaliteta vode je lošija, jer sadrži povišene koncentracije željeza, mangana, amonijaka, a mjestimice i arsena.

2.3. NAŠICE - VUKOVAR

Vodonosni sustav na ovom dijelu područja formira rijeka Vuka i njene pritoke s Krndije. Prijelaz prema nanosima Drave teško je odrediti zbog nedostatka mineraloško-petrografskih analiza. Minimalne debljine (izolinija 20 m) su na području Đakovačko-vinkovačkog ravnjaka. Debljina krovinskih naslaga je od ispod 10 pa do preko 30 m.

Vrijednosti koeficijenta hidrauličke provodljivosti su na ovom području od 0,9 do 14,9 m/dan (prosjeak



Sl. 2 Karta izopaha slabopropusne krovine vodonosnog sustava.

Fig. 2 Isopach map of low permeable aquifer system roof.

7,54 m/dan), a uskladištenja od $1,37 \times 10^{-4}$ do $2,3 \times 10^{-3}$ (prosjeak $1,6 \times 10^{-4}$). Značajnijih crpilišta nema. Vodoopskrba nije riješena na zadovoljavajući način.

2.4. BARANJA

Za područje Baranje karakteristično je odlaganje isključivo sitnozrnatog materijala i to dravskog nanosa u južnom dijelu, a dunavskog u sjevernom. Taloženje je predodređeno naslijeđenom strukturom Baranjske grede koju prati nulta izopaha (sl. 1). Maksimalne debljine od 100 m prisutne su u rubnim dijelovima područja. Debljina krovine ja najmanja uz Dravu te u inundacijskom području Kopačeva, a najveća (20 m) uz Baranjsku gredu (sl. 2).

Značajnijih crpilišta nema. Vodoopskrba nije riješena na zadovoljavajući način

3. ZAKLJUČAK

Na temelju podataka bušenja i geoelektričnih mjerenja izdvojen je gornji, propusniji dio kvartarnog vodonosnog sustava. Njegove najveće debljine registrirane su između Suhopolja i Budakovca, te sjeverno od Koške (izopaha 200 m), zatim zapadno od Osijeka i kod Trpinje (izopaha 100 m). Debljina se smanjuje od zapada prema istoku. U istom smjeru smanjuje se i krupnoća zrna. Tako u zapadnom dijelu uz pijesak znatno učešće ima i šljunak, dok se u istočnom dijelu šljunak nalazi samo lokalno i to u bazalnom dijelu debljih vodonosnih slojeva. Sukladno tome se i vrijednost koeficijenta hidrauličke vodljivosti smanjuje od prosječno 141 m/

dan u zapadnom dijelu do 25,8 m/dan u istočnom, odnosno 7,54 m/dan u južnom rubnom području. Za vodonosni sustav karakteristična je izrazita heterogenost i anizotropnost. Debljina krovinskih slabopropusnih naslaga raste od zapada prema istoku. Vrijednosti se kreću od nekoliko metara uz Dravu do preko 30 m na potezu Bizovac - Čepin, te sjeverno od Jarmina i južno od Vukovara.

Obnavljanje zaliha podzemnih voda moguće je infiltracijom padalina i podzemnim dotokom iz Drave, koja je najvećim dijelom svog toka u vlastitom nanosu. Manje prihranjivanje moguće je iz pritoka sa slavonskih planina. No, činjenica da je 50% površine zahvaćeno melioracijom i da Drava drenira zalede kod svih vodostaja, otežava obnavljanje eksploatacijskih zaliha podzemnih voda.

U kemijskom sastavu podzemnih voda kalcijjska komponenta je najjače izražena u uzvodnom dijelu područja i to u plićim slojevima. Prema dubini, naročito u nizvodnom dijelu raste zastupljenost natrijskih voda. Kvaliteta vode je ugrožena pogotovo u plićim vodonosnim slojevima zbog neriješene kanalizacije i intenzivne poljoprivrede. Dublji vodonosni slojevi imaju prirodno lošiju kvalitetu zbog povećanog sadržaja željeza, mangana, amonijaka, a lokalno i arsena.

Za optimalno i trajno rješenje vodoopskrbe ovog područja potrebno je izraditi varijantna idejna rješenja vodoopkrbnog sustava te na odabranim lokacijama provesti dodatna hidrogeološka istraživanja. Neke kemijske analize upućuju na mogućnost zahvata mineralnih i termalnih voda pa se i u tom cilju preporučuju daljnja istraživanja.

4. LITERATURA

- HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno-teklonski odnosi u području istočne Slavonije (Disertacija).- Jugosl. komitet svjet. kongr. za naftu, "Nafta", Zagreb, 221 str.
- URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. & VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih te gornjo i srednjopliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske.- Zbornik radova 4. jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, 1, 395-410, Skoplje.
- URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z. & ŠIMON, J. (1978): O kvartarnim naslagama istočne Posavine (SR Hrvatska).- Geološki vjesnik, 30/1, 297-308, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., TADIĆ, Z., HLEVNJAK, B. & PETROVIĆ, M. (1994): Groundwater budget of Quarternary deposits in Drava valley in Croatia.- XVIIth Conference of Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Proceedings, 1, 499-504, Budapest.



Klizište Grohovo - složeno klizanje u dolini Rječine

Landslide Grohovo - Complex Landsliding in the Valley of the Rječina River

Čedomir BENAC^{1,2}, Željko ARBANAS², Vladimir JURAK³, Saša KASAPOVIĆ⁴, Dinko DUJMIĆ⁴,
Branka JARDAS² & Ljiljana PAVLETIĆ⁵

Ključne riječi: stabilnost padine, klizište, fliš, Rijeka.

Key words: Slope stability, Landslide, Flysch, Rijeka.

Sažetak

U radu su prikazani rezultati istraživanja prve i druge faze složenog klizišta na sjeveroistočnoj padini doline Rječine između brane Valići i naselja Pašac. Bokovi doline oblikovani su u paleogenskom flišu i kvartarnim padinskim tvorevinama. Na vrhovima su zastupljene vapnenačke stijene tvoreći litice. Nastanak istražene kompleksne pojave klizišta predodređen je geološkom građom i morfogenezom doline Rječine. To je složeno retrogresivno klizište, koje se počelo razvijati od stope prema vrhu padine. Na padini je otkriveno 13 pojedinačnih kliznih tijela. Klizanjem je zahvaćen materijal padinskih tvorevina. Klizna ploha uglavnom je predisponirana morfologijom flišne podloge. Veći dio kliznog tijela saturiran je podzemnom vodom koja se procjeđuje kroz pokrivač po kontaktu s nepropusnom flišnom podlogom. Pokrenuti su i megablokovi vapnenačke stijene na vrhu padine, koji klize po flišnoj podlozi. To je posebna pojava, netipična za klizišta na flišnim padinama u široj okolici Rijeke. Vapnenci na litici jako su oštećeni i u njima su vidljive svježe pukotine.

Abstract

This paper presents the first and the second phase investigation results of the complex landslide situated on northeastern slope of the Rječina valley, between Valići dam and the village of Pašac. The valley slopes were formed in Paleogene flysch and Quaternary formations. The limestone rocks are present on the top sites, forming the scarps there. The complex landslide formation has been preconditioned by the geological structure and morphogenesis of the Rječina valley. This is the type of complex retrogressive landslide, starting with its development from toe to head. Thirteen individual landslide bodies were discovered on the slope. The material of slope formation is caught by the landsliding. The slide surface is predisposed from flysch bedrock. The larger part of landslide body is saturated by underground water penetrating through the covering zone in contact with flysch bedrock. The megablocks of the limestone rock have also been moved and, most probably, are sliding down the flysch bedrock. This is a special phenomenon, atypical of the flysch slope landslide type in the area of Rijeka. The limestone rock on a scarp is extremely disintegrated, with new visible fractures in it.

1. UVOD

Istraživano klizište nalazi se na sjeveroistočnoj padini doline Rječine između brane Valići i naselja Pašac (sl. 1). Posljednje veće pomicanje terena primijećeno je 5. prosinca 1996., a već slijedećeg dana klizanjem je, gotovo u cijelosti, pregrađeno korito Rječine. Nakon pomicanja inicijalnog kliznog tijela, došlo je do retrogresivnog napredovanja klizanja do vrha padine kao i stvaranja manjih bočnih klizišta. Na kraju procesa pokrenuti su izolirani vapnenački blokovi, a otvorile su se i

pukotine u megabloku na vrhu padine. Klizanja na padini događala su se etapno, a u potpunosti nisu završena niti tri godine nakon početka klizanja. I dalje se primjećuju manji pokreti masa, a pogotovo otvaranje novih pukotina u siparu kao i ispadanje blokova s vapnenačkih litica. U nožici klizišta provedeni su zemljani radovi kojima je uklonjen obrušeni materijal iz korita, a radi osiguranja potrebnog protoka Rječine. U ovom radu su prikazani rezultati nakon provedene druge faze istraživanja, a koje su predodredili rezultati prve faze (BENAC et al., 1999).

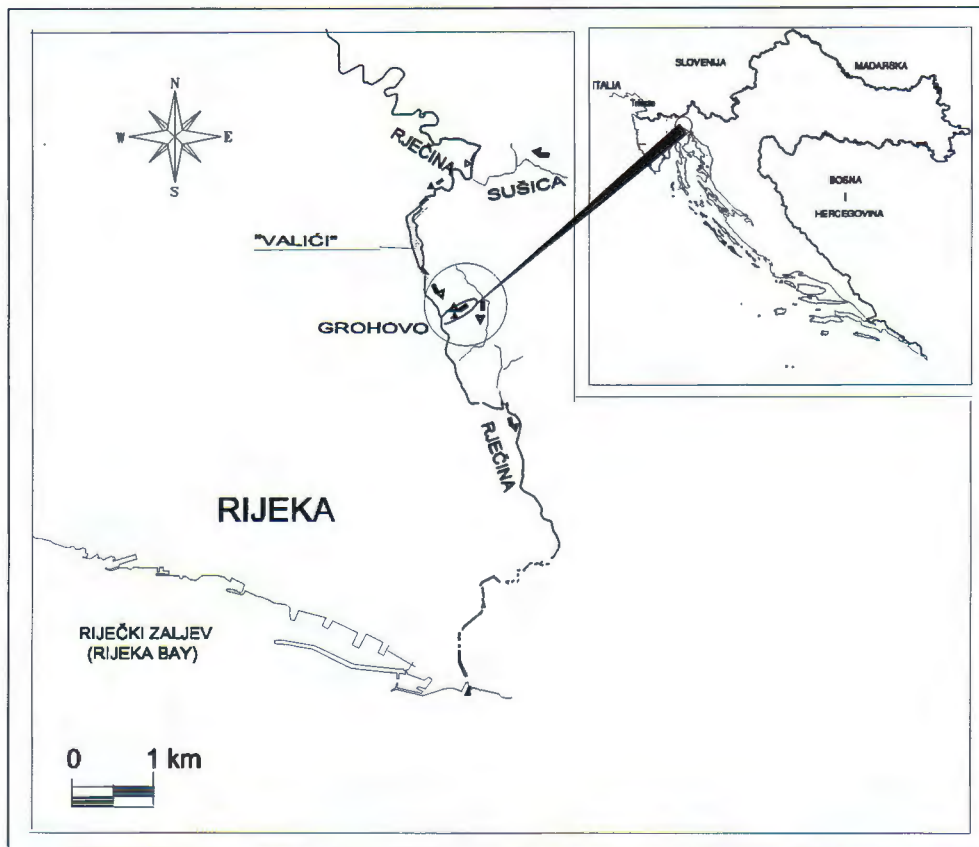
¹Gradevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, V.Cara-Emina 5, HR-51000 Rijeka, Hrvatska.

²Institut građevinarstva Hrvatske d.d. PC Rijeka, Vukovarska 10a, HR-51000 Rijeka, Hrvatska.

³Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

⁴MOHO d.o.o., Sv.Mateja 19, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

⁵Hrvatske vode VGO Rijeka, Ciottina 17b, HR-51000 Rijeka, Hrvatska.



Sl. 1 Karta šireg područja klizišta.

Fig. 1 Location map of the landslide.

2. GRAĐA I MORFOGENEZA PADINE

Struktura Lopača - Pašac - Orehovica, koja obuhvaća i istraženi dio doline Rječine dio je uklještena paleogenske sinklinale koja se proteže pravcem dolina Rječine - Sušačka draga - Bakarski zaljev - Vinodol (BIONDIĆ et al., 1975). Prema novijim interpretacijama tektonike, struktura Lopača - Pašac - Orehovica smatra se tektonskim oknom između navlake Rječina - Grobnik - Čavle sa sjeverozapadne i navlake Katarina - Trsat s jugoistočne strane (BIONDIĆ, 1988). Foraminiferski vapnenci navučeni su na fliš. Zato se na vrhu padine nalaze vapnenci, a fliš hipsometrijski niže, uključivo i dno doline. U skladu s tom interpretacijom, vapnenačke litice na sjeveroistočnoj strani doline su vjerojatno rub navlake. Položaj vapnenačkog megabloka, odvojenog od svojega korijena, vjerojatno je posljedica zbivanja u fazi relaksacije nakon navlačenja (sl. 2).

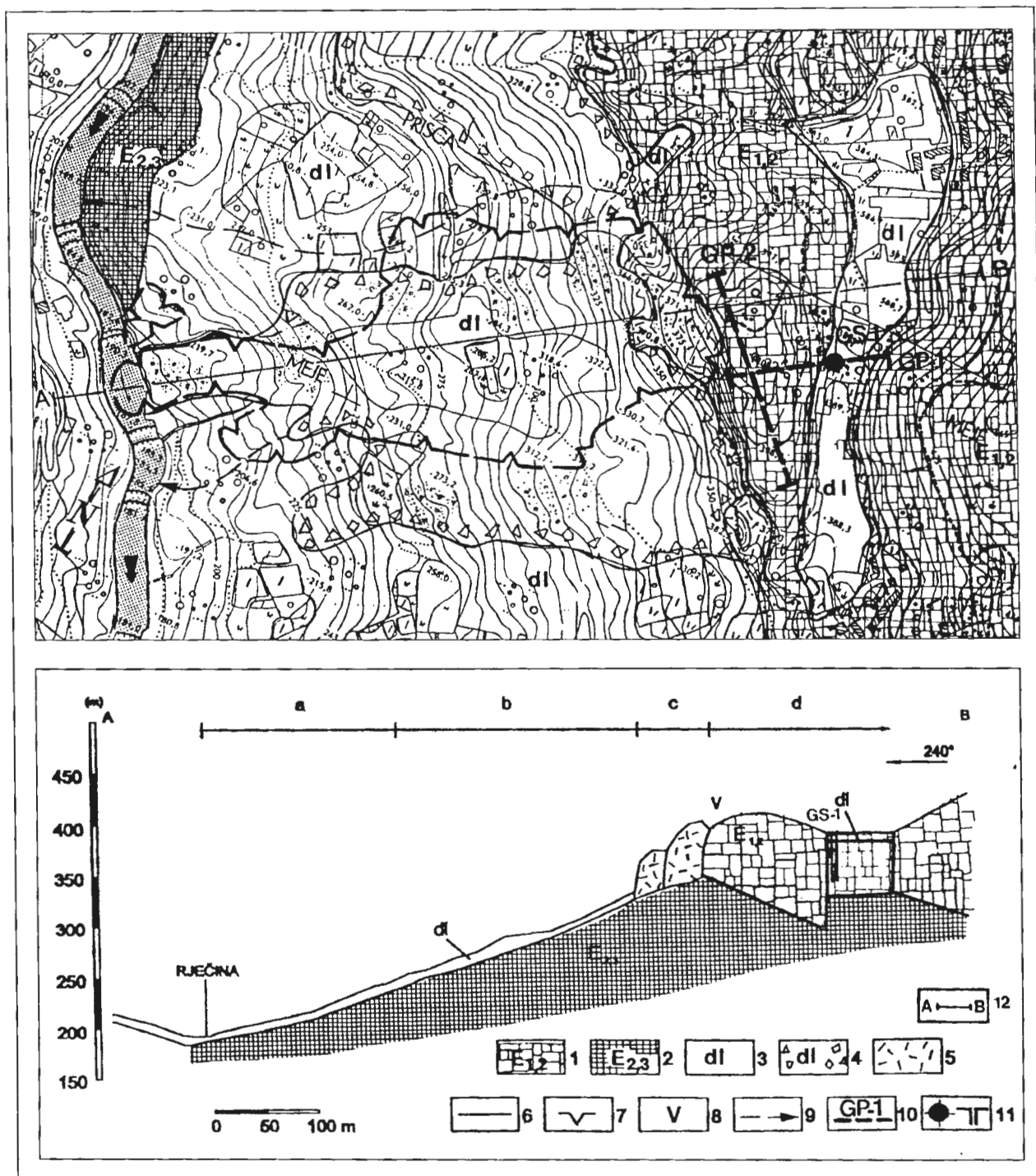
Flišni kompleks odlikuje velika litološka heterogenost zbog čestog vertikalnog i lateralnog izmjenjivanja pefitskih i psamitskih članova. To su pretežito siltozni lapori, laminirani siltiti i siltozni šejlovi s proslojcima do lećama sitnozrnastih pješčenjaka (litični areniti do grauvske). Flišne naslage znatno su podložnije kemijskom raspadanju od vapnenaca. S vremenom su se pomiješali krupnozrnasti fragmenti podrijetlom iz sipara i glinovito-prašinski materijal iz kore raspadanja fliša, pa su nastale koluvijalno-deluvijalne tvorevine višemetarskih debljina. Zbog osobito intenzivnog raz-

rahljavanja vapnenačke stijenske mase, na vrhu istražene padine stvorena je mlada generacija sipara. Oni uglavnom nisu izmiješani s glinovitim materijalom iz kore raspadanja fliša. Takav slijed događanja prouzročio je stvaranje potencijalno nestabilnih tvorevina na padini (BENAC et al., 1999).

Za razliku od drugih udolina oblikovanih u flišu, kao što su Sušačka draga i Vinodolska dolina, ovdje nisu rasprostranjene siparne breče kao trag starijih morfogenetskih etapa. Mogu se razlikovati pretežito nevezane padinske tvorevine (kameni odlomci do blokovi) od onih vezanih (blokovi do odlomci pomiješani s glinom) što je odraz različitih morfogenetskih stadija. Osim toga, u koluvijalno-deluvijalnom materijalu i nevezanom siparu vrlo su česti blokovi metarskih dimenzija, što je rijetkost na drugim padinama oblikovanim u flišu. To je potvrda da je geomorfološka evolucija padine bila znatno kraća nego na drugim lokacijama slične građe.

3. ISTRAŽIVAČKI RADovi

S obzirom na veličinu i složenost pojave istraživački radovi obavljali su se etapno. Prva faza istraživanja sastojala se od geodetskih mjerenja, geofizičkih i inženjerskegeoloških istraživanja. Terenski dio istraživanja obavljen je u razdoblju veljača-lipanj 1998. godine. S obzirom na konfiguraciju terena, geodetsko snimanje obavljeno je metodom terestičke fotogrametrije. Rezul-



Sl. 2 Pregledna geološka karta i profil područja klizišta. Legenda: 1) foraminiferski vapnenci: donji-srednji eocen (osnovna stijena); 2) fliš: srednji-gornji eocen (osnovna stijena); 3) padinske tvorevine: kvartar (pretežito vezano); 4) padinske tvorevine: kvartar (pretežito nevezano); 5) odvojeni vapnenački blokovi; 6) geološka granica; 7) granica klizišta; 8) vlačna pukotina; 9) povremeni vodotok; 10) trasa geoelektričkog profila; 11) bušotina; 12) trasa geološkog profila; a) inicijalno klizište; b) pokreti u siparu; c) pomaci blokova; d) razrahljivanje stijene.

Fig. 2 Generalized geological map of the landslide area. Legend: 1) foraminiferal limestones: Lower-Middle Eocene (bedrock); 2) flysch: Middle-Upper Eocene (bedrock); 3) slope formations: Quaternary (mostly cohesive); 4) slope formations: Quaternary (mostly uncohesive); 5) separated limestone blocks; 6) geological boundary; 7) margin of the landslide; 8) tensile fracture; 9) periodical stream; 10) trace of electromagnetic profile; 11) borehole; 12) trace of geological profile; a) initial landslide; b) talus movements; c) blocks movements; d) disintegration of the rock.

tati su uspoređeni s aerosnircima učinjenim 1981. godine. Tako su se mogle ustanoviti promjene morfologije padine u razdoblju od 1981. do 1997. godine. Fotoskice su korištene i za dopunu inženjerskogeološkog kartira-

nja. Rezultati analiza fotoskica i kartiranja prenešeni su pomoću analitičkog stereoinstrumenta na već izrađeni 2D model padine, pa je postignuta točnost istovjetna topografskom modelu. Geofizička mjerenja obavljena

su metodom plitkog seizmičko-refrakcijskog profiliranja. Tri profila položena su usporedno s izohipsama, a jedan profil okomito na njih, odnosno približno poprečno i uzdužno u odnosu na os klizišta (sl. 2). Provedeni istraživački radovi u prvoj fazi istraživanja ustanovili su geometriju klizišta, ukazali na genezu klizišta, na vjerojatne položaje kliznih ploha kao i na mehanizam klizanja (BENAC et al., 1999).

U drugoj fazi istraživanja su usmjerena na samo klizno tijelo. Terenski dio istraživanja obavljen je u razdoblju rujna-listopad 1999. godine. Istraživanja su se sastojala od geofizičkih, inženjerskogeoloških i geomehaničkih istraživanja kao i od laboratorijskog ispitivanja. Geofizička mjerenja obavljena su metodom plitkog seizmičko-refrakcijskog profiliranja. Tri profila položena su usporedno s izohipsama, a dva profila okomito na njih. Na taj način je progušćena mreža profila postavljena u prvoj fazi istraživanja. Izbušeno je 7 istražnih bušotina: u dvije središnje ugrađeni su inklinometri, a u ostalima piezometri (sl. 3). Nakon druge faze istraživanja dobiveni su precizniji podaci o mineraloško-petrografskim i fizičko-mehaničkim značajkama naslaga pokrivača i flišnog kompleksa, razini podzemne vode, kao i o položaju klizne plohe te mehanizmu klizanja.

U zoni blokovskog klizanja trebalo je ustanoviti leži li vapnenački megablok s vrha padine na flišnoj podlozi, što uzrokuje njegovo gravitacijsko spuštanje praćeno otvaranjem pukotina. Geoelektričko sondiranje provedeno je tako da je jedan profil položen uzdužno po grebenu megabloka, a drugi okomito na prethodni. Istražna bušotina dubine 40 m locirana u depresiji u zaledu megabloka nije doprla do fliša, ustanovljenog geoelektričkim mjerenjima u podini (sl. 2).

Nakon prve faze istraživanja postavljeno je 16 geodetskih repera za praćenje pomaka na padini. Reperi su postavljeni na megabloku i odvojenim vapnenačkim blokovima te na mjestima oko klizišta. Veličina i smjer pomaka unutar klizišta saznat će se praćenjem repera postavljenih na ušćima 7 bušotina smještenih unutar aktivnog kliznog tijela (sl. 3). Pomaci unutar samog kliznog tijela pratit će se mjerenjem deformacija osi bušotina inklinometara, a promjene razine podzemne vode praćenjem piezometara. Te spoznaje omogućiti će prognoze daljnjeg ponašanja klizišta, a imat će i značajnu ulogu u određivanju mjera sanacije klizišta.

4. OPIS KLIZIŠTA

Istraživačkim radovima ustanovljeno je da je nastalo kompleksno klizište s više kliznih tijela. Granice između njih većinom su dobro uočljive. U biti, radi se o nekoliko različitih tipova kliznih tijela (sl. 3). To su: inicijalno (primarno) klizište (I), klizišta u siparu (II), bočna klizišta u zemljanom materijalu (III), reaktivirano klizište (IV) i pomicanja vapnenačkih blokova (V).

Na temelju rezultata kartiranja i geofizičkih mjerenja mogla se zadovoljavajuće točno procijeniti debljina

pokrenute klizne mase i odrediti položaj kliznih ploha. Geometrijski elementi klizišta su navedeni prema preporukama Komisije za klizišta Međunarodnog udruženja za inženjersku geologiju (IAEG, 1990):

- ukupna dužina klizišta od čela do nožice $L = 425$ m;
- dužina pokrenute mase $L_d = 420$ m;
- najveća dužina klizne plohe $L_r = 405$ m;
- najveća širina pokrenute mase $W_d = 200$ m;
- najveća širina klizne plohe $W_r = 200$ m;
- debljina pokrenutog materijala $D_d = 6-20$ m;
- najveća dubina klizne plohe $D_r = 6-9$ (20) m;
- visinska razlika od čela do nožice klizišta $\Delta H = 165$ m.

U klizištu je evidentirano 13 pojedinačnih kliznih tijela. Navedenim pojavama na padini pridodaje se još i blokovsko klizište, kao i klizište u nastajanju (sl. 3 i 4).

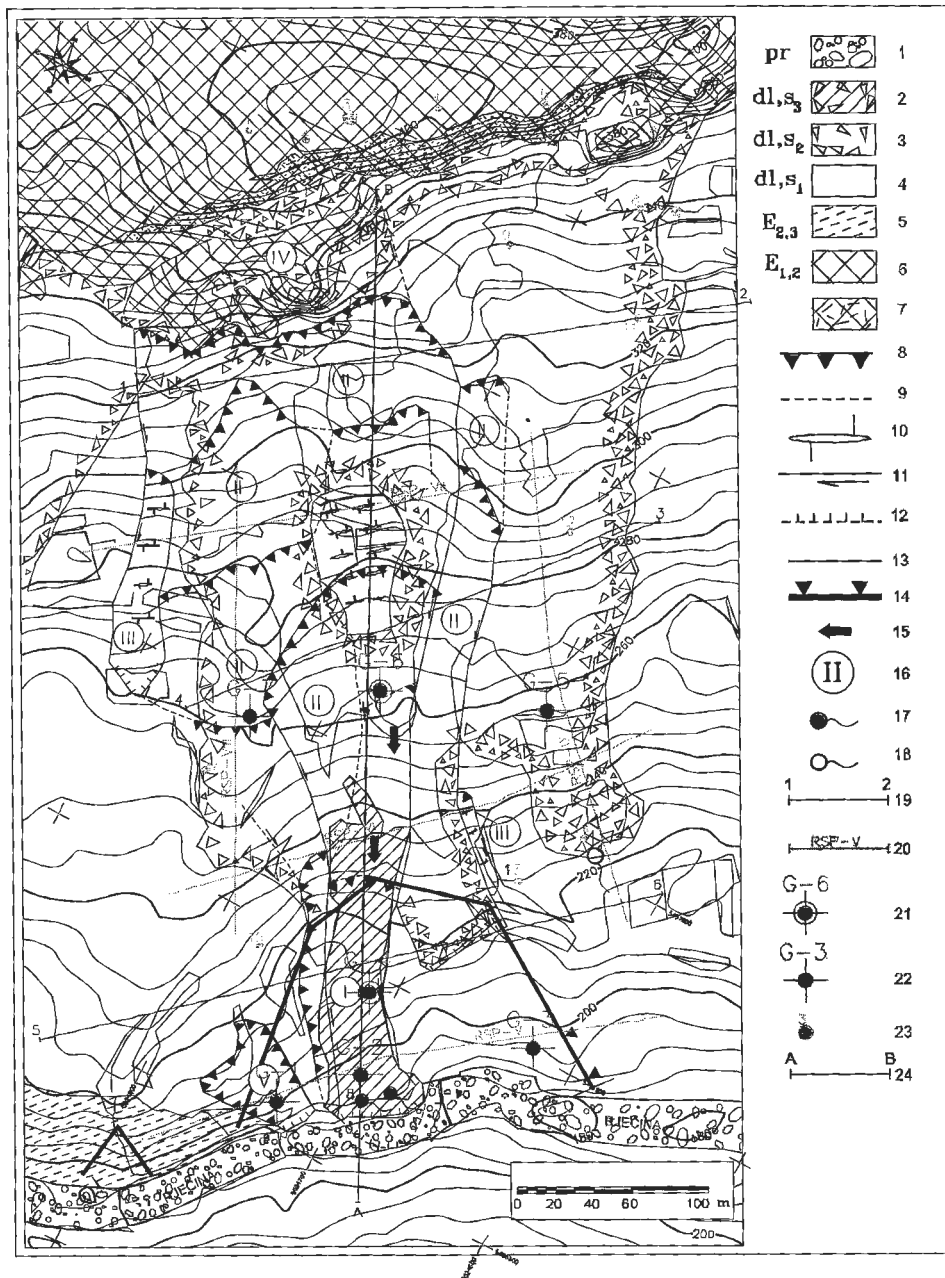
Inicijalno klizno tijelo najviše je pokrenuto, što je vidljivo po prijašnjem dosegu pokrenutog materijala u koritu Rječine, kao i poleglim stablima. Zbog veličine pomaka (do 20 m) potpuno je poremećen prijašnji odnos naslaga. Klizna ploha nastala je na kontaktu padinskih tvorevina i osnovne stijene - fliša, tj. na paleoreljevu. Materijal u kliznom tijelu pretežito je prašinasto-glinovit, iako se u različitom omjeru susreću odlomci vapnenačkog podrijetla pa čak i blokovi veći od 10 m³. Dosađajna opažanja su pokazala da je klizno tijelo gotovo potpuno saturirano vodom, čak i tijekom sušnih razdoblja.

Klizišta u siparu sežu sve do podnožja vapnenačkih megablokova pri vrhu padine. Materijal kliznog tijela čine pretežito nevezani do slabovezani odlomci do blokovi vapnenačkog podrijetla. Vidljivi su jasni ožiljci u čelu pojedinačnih kliznih tijela visine do 10 m (sl. 3 i 4). Pokreti masa u siparom materijalu nisu bili osobito veliki (horizontalna komponenta pomaka najčešće iznosi oko 1 m). Iznimka je hipsometrijski niži dio kao i jugoistočni rub gdje se nevezana masa naprosto obrušila oko 30 m niz padinu.

Bočna klizišta u glinovitom materijalu su nastala, vjerojatno, najkasnije. Po svom obliku i značajkama to su "tipična" klizišta na flišnim padinama. Pokret kliznog tijela je mali (< 1 m), unutar kliznog tijela su dobro vidljive vlačne pukotine širine do 0.3 m. U nožici je došlo do najahivanja materijala na nepokrenutu podlogu. Klizna ploha je, vjerojatno, samo djelomice predisponirana paleoreljevom.

Pomaci vapnenačkih blokova, odvojenih od stijenske mase, su posebna pojava, netipična za geodinamičke događaje na flišnim padinama u široj okolici Rijeke. Blokovi klize po flišnoj podlozi.

Prema prihvaćenim klasifikacijama radi se o složenoj pojavi klizanja: višestrukum retrogresivnom klizištu, koje se počelo razvijati od stope prema vrhu padine, kao i o blokovskom klizištu. S obzirom da je geološka grada uvjetovala položaj klizne plohe, to je ujedno i konsekvantno translacijsko klizište (NONVEILLER,

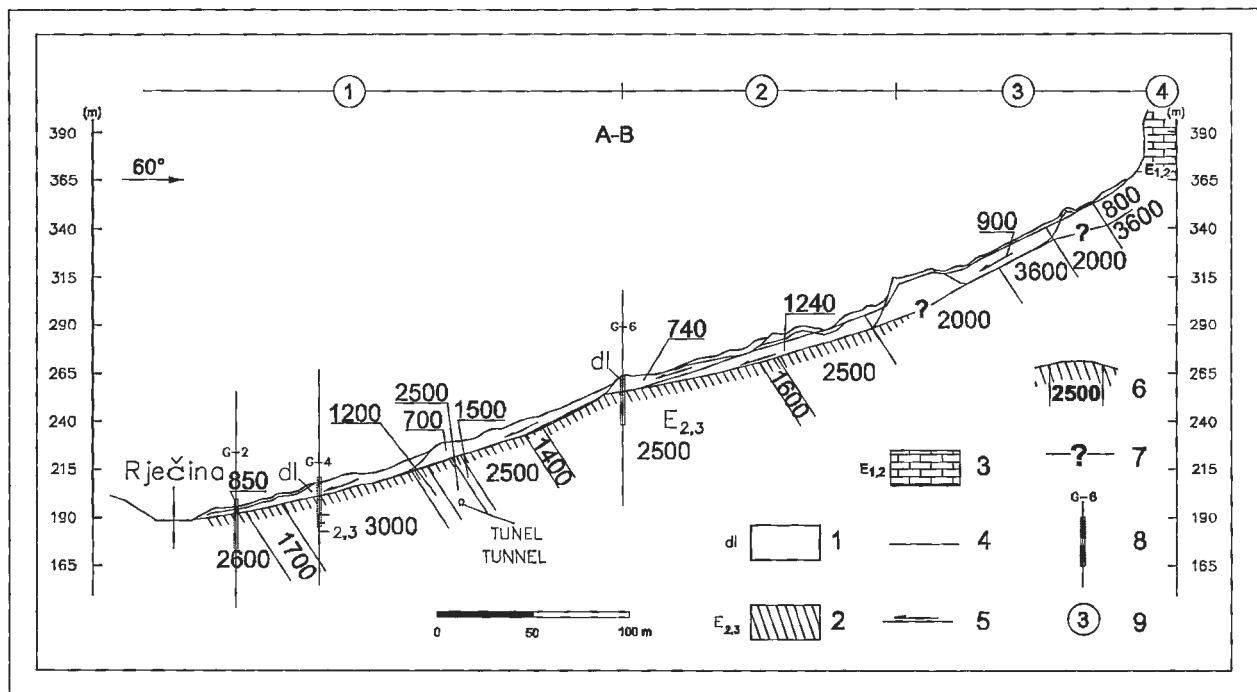


Sl. 3 Inženjerskogeološka karta klizišta. Legenda: 1) recentni nanos Rječine (šljunak i valutice); 2) stalno aktivno klizište (odlomci i glina); 3) nevezane padinske tvorevine - sipar (pretežito odlomci i blokovi); 4) vezane padinske tvorevine (glina i odlomci); 5) fliš (osnovna stijena); 6) foraminiferski vapnenci (osnovna stijena); 7) razrahljena stijenska masa; 8) čelo klizišta; 9) granica klizišta (približno postavljena ili pretpostavljena); 10) otvorena pukotina u tlu; 11) tangencijalna pukotina u tlu; 12) položaj nožice klizišta (prosinac 1996.); 13) otvorena pukotina u stijenskoj masi; 14) oštećena betonska obloga tunela; 15) recentni pomaci u klizištu; 16) tip klizišta (opisan u tekstu); 17) izvor, stalni; 18) izvor, povremeni; 19) trasa seizmičko-refrakcijskog profila (izvedeno 1998 g.); 20) trasa seizmičko-refrakcijskog profila (izvedeno 1999 g.); 21) bušotina (ugrađen inklinometar); 22) bušotina (ugrađen piezometar); 23) geodetski reper; 24) trasa inženjerskogeološkog profila (sl. 4).

Fig. 3 Engineering geological map of the landslide. Legend: 1) recent deposit of Rječina river (gravel and boulder); 2) constantly active landslide (fragments and clay); 3) uncohesive slope formation - tallus (mostly fragments and blocks); 4) cohesive slope formation (clay and fragments); 5) flysch (bedrock); 6) foraminiferous limestones (bedrock); 7) disintegrated rock mass; 8) head of the landslide; 9) margin of the landslide (approximately placed or supposed); 10) open fracture in soil; 11) shearing fracture in soil; 12) position of toe of the landslide (December 1996); 13) open fracture in rock mass; 14) damaged concrete tunnel support; 15) recent movements in the landslide; 16) type of the landslide (described in the paper); 17) spring, permanent; 18) spring, periodical; 19) trace of refraction seismic profile (from 1998); 20) trace of refraction seismic profile (from 1999); 21) borehole (installed inclinometer); 22) borehole (installed piezometer); 23) landmark; 24) trace of engineering geological profile (Fig. 4).

1987), odnosno blokovsko klizište tipa III b (ANTIONE & GIRAUD, 1995). S obzirom na aktivnost klizišta, isto pripada reaktiviranim klizanjima nestabilnih padina

tipa I b (CROZIER, 1984; KEATON & DEGRAFF, 1996).



Sl. 4 Profil uz inženjerskogeološku kartu. Legenda: 1) padinske tvorevine; 2) fliš (osnovna stijena); 3) vapnenačka litica; 4) litološka granica (određena na temelju seizmičkih mjerenja); 5) klizna ploha (približno postavljena); 6) brzina uzdužnih seizmičkih valova; 7) pretpostavljena geološka granica; 8) bušotina; 9) etapa razvoja klizišta.

Fig. 4 Profile with engineering geological map. Legend: 1) slope formations; 2) flysch (bedrock); 3) limestone scarp; 4) lithological boundary (defined by seismic survey); 5) slide surface (approximately placed); 6) velocity of longitudinal seismic waves; 7) supposed geological boundary; 8) borehole; 9) stage of the landslide development.

5. DISKUSIJA

Nastanak istraženog klizišta predodređen je geološkom građom i strukturnim sklopom kao i morfogene- zom dijela doline Rječine između Lopače i Pašca. Obje strane doline na granici su stabilnoga ravnotežnoga stanja, pa je zabilježeno nekoliko većih klizišta tijekom ovoga stoljeća. Istraživano klizište očito nije nova pojava budući da je još 1912. godine ispod njega iskopan hidrotehnički tunel, jer su ondašnji graditelji upravo na tom mjestu uočili pojave nestabilnosti. U tunelu nisu uočena veća oštećena prozročena klizanjima (sl. 3 i 4). Klizna masa je povremeno ulazila u korito Rječine odakle je bila odnešena.

Sadašnje klizanje dogodilo se nakon dugotrajnog kišnog razdoblja. Klizanje je započelo pomacima u inicijalnom klizištu u nožici padine, koje je svojom kolu- vijalnom masom gotovo pregradilo korito Rječine. U slijedećih nekoliko dana, proces klizanja razvijao se retrogresivno stvaranjem kliznih tijela uz padinu sve do vapnenačke litice na vrhu (sl. 3 i 4). Pomicanje kolu- vijalne mase prouzročilo je i bočna klizanja u zemljanom materijalu. Klizanje je zaustavljeno zauzimanjem novih stabilnih položaja pojedinih kliznih tijela.

Topografija padine također pogoduje pojavama nestabilnosti. Prosječni nagib padine do pod litice je 17° , a varira od od 15° do čak 24° . Vjerojatno se tu od- vija dugotrajno puzanje padinskih tvorevina po flišnoj podlozi koje, nakon prekoračenja čvrstoće materijala,

prelazi u klizanje. Na to ukazuje i vijuganje ocrti izo- hipsa i promjena nagiba padine.

Megablok foraminiferskih vapnenaca odvojen je od svojega korjena. Geoelektričkim sondiranjem dokazano je da leži na flišu (sl. 2). Međutim, dodir s flišem u pod- ini drugačiji je nego što se ranije pretpostavljalo (BEN- AC et al., 1999). Vapnenačke litice su gotovo vertikal- ne, a stijenska masa razrahljena, što pogoduje odvalji- vanju olabavljenih blokova. To se može smatrati kliziš- tem u nastajanju upravo zbog hipsometrijskog odnosa: kompetentna vapnenačka stijenska masa na inkompe- tentnoj flišnoj podlozi.

Analizom i usporedbom aero snimaka (1981. godi- ne) i terestičkih snimaka (1998. godine) vidljivi su po- maci i na dijelovima padine koji nisu zahvaćeni sadaš- njim klizanjem. Praćenjem geodetskih repa u razdob- lju od prosinca 1998. do prosinca 1999. godine ustanov- ljeni su pomaci ne samo na padini oko aktivnog kliziš- ta, već i između pojedinih dijelova vapnenačkog mega- bloka odvojenih vlačnim pukotinama.

Već su prva mjerenja pokazala da je klizno tijelo saturirano podzemnom vodom koja se procjeduje kroz pokrivač po dodiru s nepropusnom flišnom podlogom. Ta pojava ima značajan utjecaj na veličinu parametara čvrstoće materijala, kao i na veličinu efektivnih napre- zanja na plohi sloma. Morfologija podloge, a posebice udubljenje praćeno rasjednom zonom, otkrivenom geo- fizičkim istraživanjima, usmjerava podzemno otjecanje upravo kroz inicijalno klizno tijelo. Preljevne vode iz

akumulacije Valići mogu erodirati materijal u nožici inicijalnog klizišta, što također može utjecati na smanjenje stabilnosti padine i tako inicirati nova klizanja (POPESCU, 1994).

S obzirom da se dolina Rječine nalazi u sezmotektonski aktivnom području (PRELOGOVIĆ et al., 1995), neophodno je uzeti u obzir reakciju klizišta na seizmičku pobudu u slučaju pojave jačeg potresa. Moguć je progresivni razvoj totalnog sloma padine i pregradnja korita Rječine kliznom masom. Također su mogući veći pomaci odvojenih vapnenačkih blokova blokova, pa čak i njihovo prevrtanje. U megabloku na vrhu padine, može se dogoditi slom stijenske mase, a nakon toga odvajanje ili prevrtanje segmenta odvojenog vlačnom pukotinom.

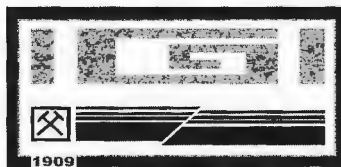
6. ZAKLJUČAK

Istraženo klizište je složena pojava klizanja. Klizište se počelo razvijati od stope prema vrhu padine. Klizanjem je zahvaćen kolvijalno-deluvijalni materijal u pokrivaču, a klizna ploha uglavnom je predisponirana morfologijom flišne podloge. Navedenim pojavama na padini treba još pridodati klizanje blokova kao i razrahljivanje stijenske mase u vapnenačkom megabloku, što se može smatrati klizištem u nastajanju.

Na temelju provedene dvije faze istraživanja dobivene su spoznaje o geološkoj građi, fizičko-mehaničkim značajkama pokrivača i podloge kao i o geometriji kliznog tijela. U slijedećem razdoblju potrebno je što dosljednije provesti mjerenja pomaka repera, deformacije osi bušotina inklinometara i promjene razine podzemne vode. Rezultati dosadašnjih istraživanja, kao i rezultati uspostavljenih sustava praćenja, omogućiti će određenje odgovarajućih mjera sanacije klizišta. S obzirom na veličinu pojave, već prve analize ukazuju na znatnu cijenu koštanja sanacijskih mjera. Nameće se sanacija klizišta na način da se prvenstveno u potpunosti osigura korito Rječine od daljnjih oštećenja s obzirom da je hazard uslijed mogućeg pregrađivanja korita Rječine klizanjem prevelik. U gornjem dijelu klizišta sanaciji će se pristupiti u kasnijim fazama ili u slučaju da rezultati monitoringa ukažu na moguće nove pokrete cjelokupnog klizišta sve do korita Rječine. Saznanja iz provedenog monitoringa bit će vrlo korisna za razumijevanje padinskih procesa ne samo u dolini Rječine već i na dodirnim zonama fliša i karbonatnih stijena šireg područja.

7. LITERATURA

- ANTIONE, P. & GIRAUD, A. (1995): Typologie des Mouvements de Versants dans un Contexte Operationnel.- Bulletin IAEG, 51, 57-62, Paris.
- BENAC, Č., ARBANAS, Ž., JARDAS, B., KASAPOVIĆ, S. & JURAK, V. (1999): Složeno klizište u dolini Rječine.- Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 11, 81-90, Zagreb.
- BIONDIĆ, B., CVIJANOVIĆ, D., SKOKO, D. & VULIĆ, Ž. (1975): Seizmotektonska karta područja Rijeke.- Zbornik radova Jugoslavenskog simpozija o seizmičkoj mikrorajonizaciji, 19, 1-5, Plitvička Jezera.
- BIONDIĆ, B. (1988): Tapping and protection of underground water in the Adriatic Karst Region related to the new conception of structure of Dinarides.- IAH 21st Congress, Guilin.
- CROZIER, M.J. (1984): Field assesment of slope instability.- U: BRUNSEN, D. & PRIOR, D.B. (ur.): Slope Instability. John Wiley & Sons, 103-142, New York.
- IAEG (1990): Suggested nomenclature for lanslides.- Bulletin IAEG, 41, 13-16.
- KEATON, J.R. & DEGRAFF, J.V. (1996): Surface observation and geologic mapping.- U: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (ur.): Landslides: Investigation and Mitigation. Special report 247, National Academy Press, Washington D.C, 195 p.
- NONVEILLER, E. (1987): Kliženje i stabilizacija kosina.- Školska knjiga, Zagreb, 204 p.
- POPESCU, M.E. (1994): A suggested method for reporting lanslide causes.- Bulletin IAEG, 50, 71-74.
- PRELOGOVIĆ, E., KUK, V., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B. & MARIĆ, K. (1995): Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 487-490.



Doprinos geofizičkih istraživanja pri lociranju gubitaka vode iz bazena Gusić polje

Contribution of Geophysical Exploration in Water Leakage Discovering from the Gusić Polje Reservoir

Davor **BENAMATIĆ**¹, Damir **PEŠT**¹ & Ante **PAVIČIĆ**²

Ključne riječi: akumulacija, krš, gubljenje vode, geofizička istraživanja.

Key words: Surface water reservoir, Karst, Water losses, Geophysical investigation.

Sažetak

Premda je bazen konstruiran na dijelu polja u kojem nisu registrirane pojave ponora ni sufozija, nakon probnog punjenja registrirani su gubici vode do 7,4 m³/s. Radi spriječavanja gubitaka dno bazena je naknadno pokriveno glinenim tepihom, no sanacija nije dala zadovoljavajuće rezultate. Nova geofizička istraživanja (geoelektrično profiliranje, geoelektrično sondiranje, vlastiti potencijal) provedena su radi determiniranja kvalitete glinenog tepiha, sastava kvartarnih naslaga i smjerova otjecanja vode.

Abstract

Although the reservoir is constructed where there was no ponors (swallow holes) nor suffosional forms, during its test filling water losses of up to 7.4 m³/s were recorded. To prevent it, the reservoir was covered by a clayey carpet, but the ponors opened again. Recent geophysical investigations (geoelectrical sounding and electrical tomography, spontaneous potential) were carried out in purpose of determining clayey carpet quality, composition of the Quaternary deposits and predominant groundwater flow.

1. UVOD

Kompenzacijski bazen Gusić polje dio je hidroenergetskog sistema HE Senj i služi za dnevno izravnanje (ELEKTROPROJEKT, 1983). Premda je bazen konstruiran na dijelu polja u kojem nisu registrirane pojave ponora ni sufozija, nakon probnog punjenja 1965. godine ustanovljeni su gubici vode do 7,4 m³/s. Zbog toga su unutar bazena izgrađeni popratni nasipi, te je izvedena sanacija bazena glinenim tepihom. Ponori se međutim i dalje otvaraju, saniraju se u vrijeme remonta postrojenja, a gubici se kreću između 0,5 i 1 m³/s, ovisno o stupnju sanacije.

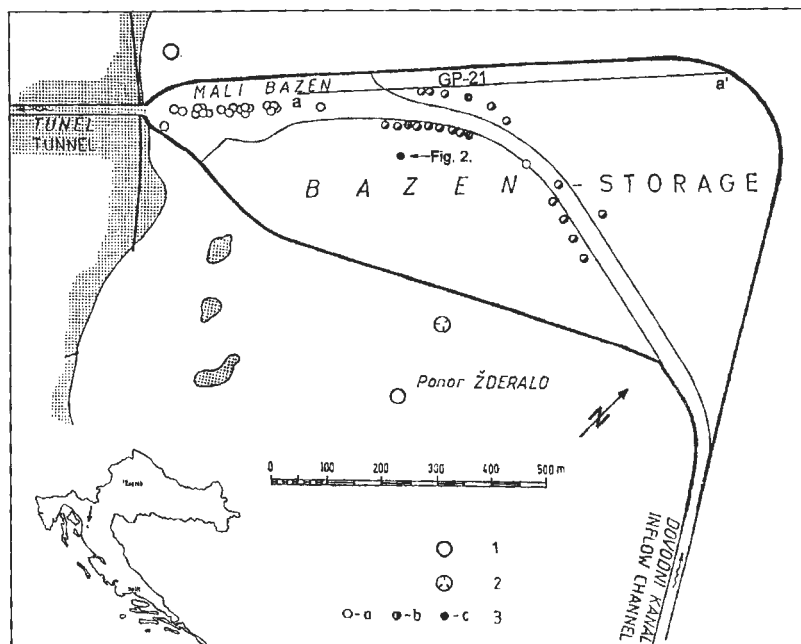
Kompenzacijski bazen izveden je na procjeni zadovoljavajuće vododrživosti kvartarnog pokrivača. Okršenoj vapnenačkoj podlozi nije posvećivana veća pažnja. Ostavljeno je da se pokusnim punjenjem ustanovi vododrživost kvartarnih taložina, što je učinjeno tek neposredno prije početka rada HE Senj. Uzroci ustanovljenih gubitaka (7,4 m³/s) nisu otkriveni. Za nove gubitke iznalazila su se tehnička rješenja saniranja lokaliteta gubitaka vode. Prva takva pojava bila je promjera 2 m i duboka preko 3 m, a kasnije su pojave dosezale promjer

oko 5 m i dubinu 6 m. Pretpostavljeno je nekoliko uzroka radi kojih se gubi voda - loše izveden glineni tepih ili nepostojanje tepiha u zoni kanala, postojanje ranijih ponora pod kvartarnim naslagama. Uz to nepovoljno na stabilnost kvartarnog pokrivača djeluje poveremeno vlaženje kvartarnih naslaga kroz karbonatnu podlogu.

U svrhu projektiranja optimalne sanacije, koju bi trebalo izvesti u što kraćem vremenu, izvedena su tijekom ispražnjenja bazena 1997. godine geofizička istraživanja (BENAMATIĆ et al., 1997) koja su se sastojala od geoelektričnog profiliranja i geoelektričnog sondiranja. Cilj istraživanja bio je odrediti debljinu i litološki sastav pokrivača, eventualne zone oštećenosti glinenog tepiha, te prostiranje i okršenost karbonatne podloge. Kako bi se odredili dominantni pravci procjeđivanja podzemnih voda i zone poniranja vode iz bazena predviđeno je mjerenje vlastitog potencijala (PEŠT, 1999) po čitavoj površini bazena. Izvođenje mjerenja vlastitog potencijala planirano je za vrijeme normalnog rada hidroelektrane i ispunjenosti bazena vodom tijekom ljeta 1999. godine. Geoelektrične metode odabrane su zbog brzine izvođenja i nedestruktivnih svojstava indirektnog (površinskog) načina istraživanja.

¹Moho d.o.o., Svetog Mateja 127, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Položaj hidrogeomorfoloških pojava. Legenda: 1) ponor; 2) sufozijska pojava; 3) sufozijski ponor, aktivan: a) jedamput, b) dva puta, c) više puta.

Fig. 1 Hydrogeomorphological phenomenon. Legend: 1) ponor (swallow hole); 2) suffosion phenomenon; 3) suffosion ponors, in action: a) once, b) twice, c) many times.

2. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Područje Gusić polja izgrađuju vapnenci jure s proslojcima i lećama dolomita. Na njima su istaložene gline debljine do nekoliko metara, ovisno o neravnom paleoreljefu polja. Gline su prekrivene mladim sedreno-prašinstim naslagama različitog stupnja litifikacije. Debljina im je prosječno 1-2 m.

Propusnost prašinate sedre je $k = 10^{-4}$ cm/s, a gline $k = 10^{-6}$ do 10^{-7} cm/s (PAVIČIĆ, 1992). Glinoviti lapori ocjenjuju se kao nepropusne stijene. Tijekom sanacija uočeno je da se unutar prašinate sedre mogu razviti kanalići, te da na granici s glinom može doći do koncentriranog tečenja podzemne vode u smjeru ponora (sufozija).

Novonastali ponori i sufozije javljaju se u dijelu polja gdje su kvartarne naslage najdeblje. Jednom sanirana pojava u tom dijelu polja najčešće se ponovo reaktivira (sl. 1).

Postojeći podaci o razini podzemne vode nedvojbeno pokazuju nagli pad vodnog lica u području debelih laporovitih gline, koje dosežu do oko 396 m n.m. (PAVIČIĆ & FRITZ, 1995). S uzvodne, sjeverne strane su vodostaji uvijek viši od te kote. S nizvodne strane je prije izvedbe bazena minimalna razina bila desetak i više metara ispod te kote, a maksimalna je dopirala do površine polja (oko 432 m n.m.). Danas su te razlike između minimalnih i maksimalnih razina nizvodno od najdubljih gline manje i kreću se između 386 i 413 m n.m. i iznimno uz južni rub polja, između 364 i 377 m n.m.

Geomorfološki procesi, koji su doveli do današnjih hidrogeoloških karakteristika područja Gusić polja, povezani su s okršavanjem šireg područja i usijecanjem rijeke Gacke. Prvi ponori u Gusić polju razvili su se u vrijeme modeliranja paleoreljefa (pleistocen), prije talo-

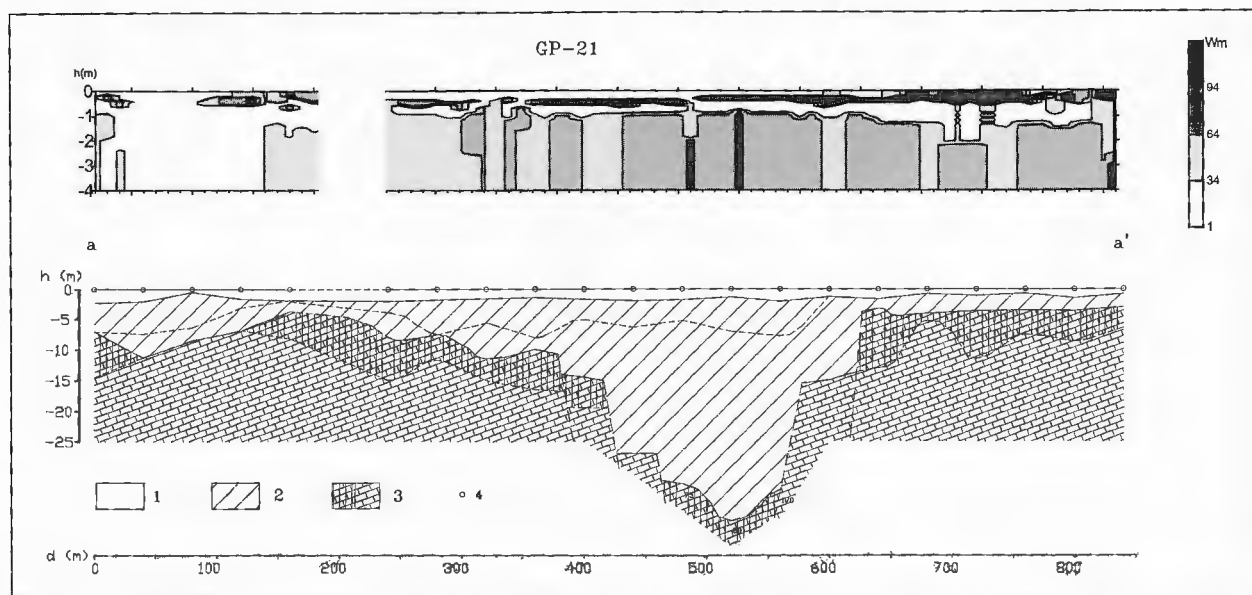
ženja kvartarnih naslaga. Tada se razvila osnovna podzemna drenažna mreža. Dubina okršavanja se postupno produbljivala, a u sušnom razdoblju se razina podzemne vode spuštala i preko 50 m ispod polja. Nastupili su uvjeti veće destabilizacije kvartarnih taložina, zbog odnošenja glinovitog materijala kroz kanale ponora u okršenoj stijeni.

Kod nagle promjene razine podzemne vode postoje i uvjeti za stvaranje tlaka i podtlaka. Oni su vjerojatno veći nakon izvedbe glinenog tepiha, što pospješuje ispiranje gline na kontaktu s paleoreljefom i stvaranje šupljina koje dovode do urušnih ponora.

Vododrživost bazena, temeljena na vododrživosti kvartarnih naslaga, nije se pokazala stvarnom. Naknadnom izvedbom glinenog tepiha gubici su smanjeni, a daljnji gubici se pripisuju neizvedbi glinenog tepiha ispod dovodnog kanala i popratnih nasipa, te mjestimice nepotpuno izvedenom glinovitom tepihu u bazenu.

Pliće sufozije uzduž kanala i popratnih nasipa nakon sanacije se najčešće ne ponavljaju. Glavnina ponora (sufozija), koji se pojavljuju, saniraju i zatim ponovo pojavljuju, je unutar kvartarnih naslaga debljih od 6-7 m, odnosno unutar depresija u paleoreljefu, što je povezano s reaktiviranjem starih ponora, koji su bili aktivni prije taloženja kvartarnih naslaga (sl. 2). To su ujedno i osnovne opasnosti za gubitke vode i stvaranje urušnih ponora.

Bez istražnih radova u području bazena ne može se sagledati način potpune sanacije bazena, a zbog kratkoročnog vremena kada je moguće držati bazen bez vode (godišnji remont) trebalo je naći geofizičku metodu istraživanja u uvjetima kada je bazen ispunjen vodom. Stoga je uz metode koje se izvode na suhom uspješno upotrijebljena metoda vlastitog potencijala.



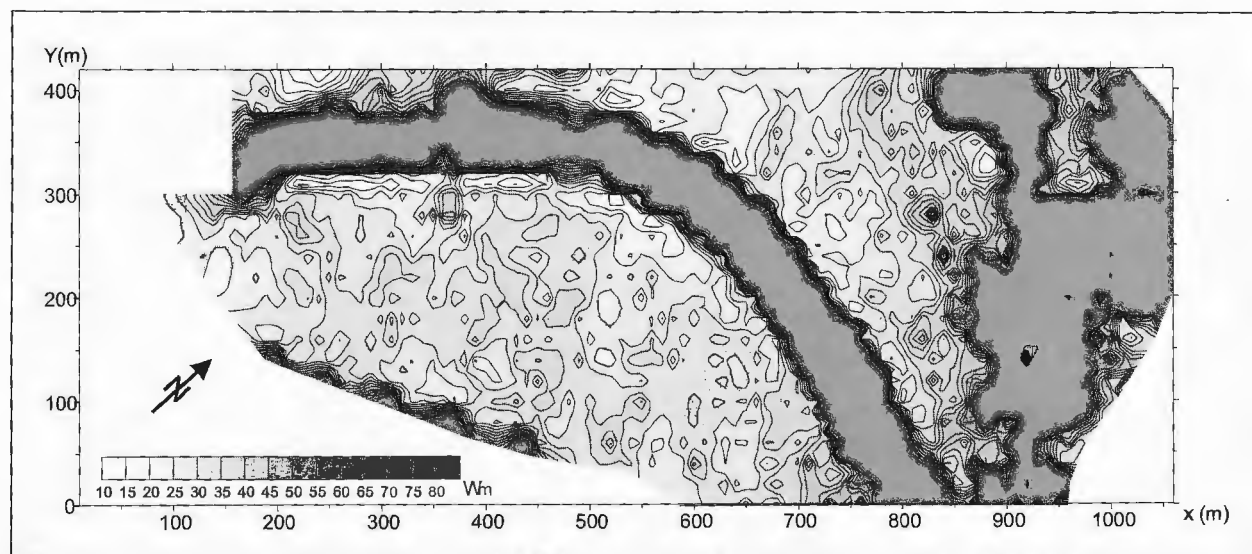
Sl. 3 Reprezentativan geoelektrični profil (GP-21) s rezultatima geoelektričnog profiliranja (gornji dio slike) i geoelektričnog sondiranja (donji dio slike). Legenda: 1) 20-1400 Ωm , površinski sloj; 2) 25-70 Ωm , kvartarni sedimenti; 3) 65-420 Ωm , vapnenci; 4) rasjed utvrđen geološkim i geofizičkim istraživanjima.

Fig. 3 The characteristic geoelectric profile (GP-21) with results of geoelectric profiling (upper part) and vertical electrical sounding (bottom). Legend: 1) 20-1400 Ωm , surface layer; 2) 25-70 Ωm , Quaternary deposits; 3) 65-420 Ωm , limestones; 4) fault determined by geological and geophysical investigations.

nasipa, te da su ti nasipi izgrađeni prije postavljanja glinenog tepiha po dnu bazena. No, gore navedene zaključke trebalo bi provjeriti direktnim istraživanjima.

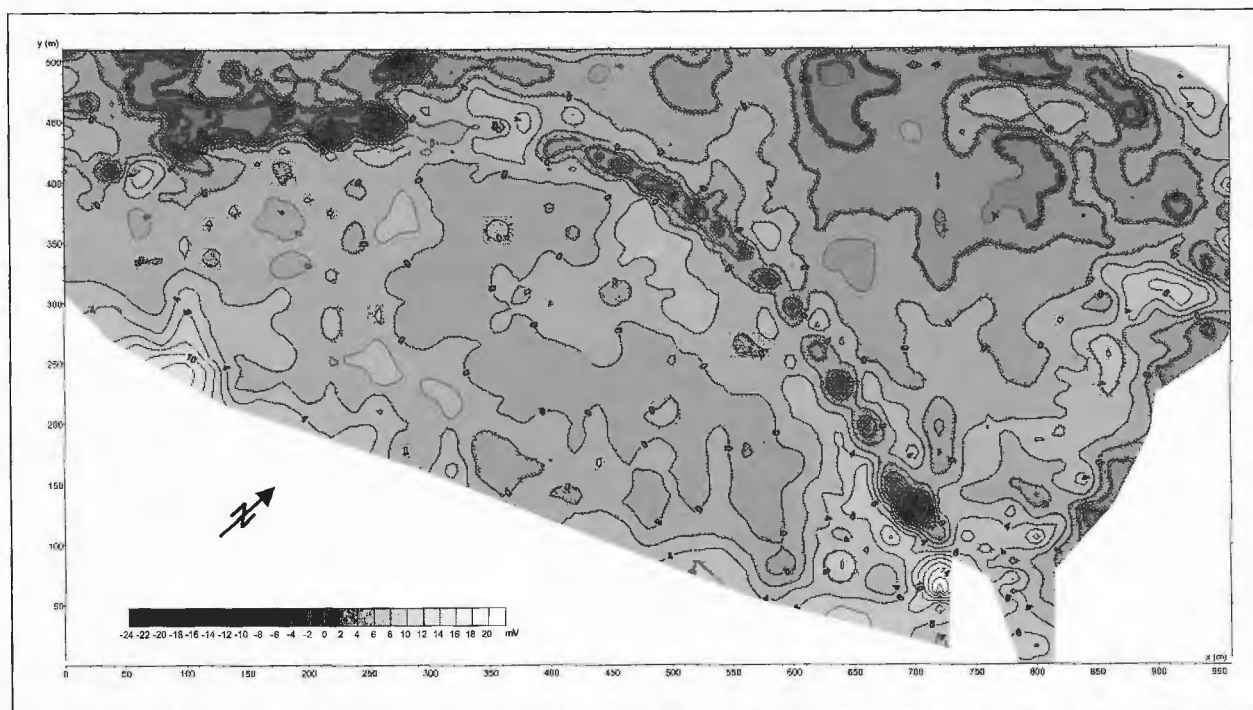
Kako bi što bolje utvrdili rasprostiranje pojedinih materijala u površinskom dijelu dna bazena rezultate mjerenja geoelektričnog profiliranja reinterpreterali smo kao male geoelektrične sonde. Pri tome smo se koristili pretpostavljenim modelom pružanja pojedinih materi-

jala, koji smo zatim varirali po debljini slojeva i otpornosti. Na taj način dobili smo prostorni raspored stvarnih otpornosti, čime su u obliku diskontinuiteta slojeva izdvojena moguća područja oštećenja zaštitnog pokrivača. Ovim postupkom nisu dobivena nova značajnija područja oštećenja, osim već prethodno izdvojenih, no omogućen je lakši uvid u rezultate mjerenja. Na sl. 3 (gore) možemo pratiti pružanje pojedinih naslaga ispod



Sl. 4 Rezultati geoelektrične tomografije za dubinski zahvat 0,5 m. Tamnom bojom označena su područja visoke električne otpornosti, koja odgovaraju mjestima gdje glineni tepih nedostaje ili je oštećen.

Fig. 4 The results of geoelectrical tomography for depth level of 0.5 m. The dark tone represents sector with high electrical resistivity, and therefore it belongs to the zone where clayey carpet is damaged or missing.



Sl. 5 Karta vlastitog potencijala. Pretpostavljeni tok vode u podzemlju je iz tamnih prema svijetlijim područjima.

Fig. 5 The spontaneous potential map. Supposed groundwater flow is from dark toward white areas.

zaštitnog sloja, razdvajajući područja niže otpornosti s glinovitim sedimentima, od područja više otpornosti gdje se sedrene naslage nalaze odmah ispod zaštitnog sloja.

4. VLASTITI POTENCIJAL

Kako bi se odredili dominantni pravci procjeđivanja podzemnih voda i zone poniranja vode iz bazena predviđeno je mjerenje vlastitog potencijala po čitavoj površini bazena. Izvođenje mjerenja planirano je za vrijeme normalnog rada hidroelektrane i ispunjenosti bazena vodom. Mjerenje vlastitog potencijala izvedeno je na 1680 mjernih mjesta raspoređenih u pravokutnu mrežu stranica 10 x 20 m prekrivajući čitavu površinu bazena. Pri tome je jedna elektroda služila kao referentna točka van bazena, dok smo drugu spuštali na dno bazena. Karakteristično za mjerenje bilo je slabo odstupanje mjernih vrijednosti tijekom mjerenja (mjerenja su bila "mirna" ili "stabilna") i maleno odstupanje mjerenih vrijednosti duž profila (nizak gradijent SP-a).

Izračunate vrijednosti SP-a prikazane su u obliku karte polja vlastitog potencijala (sl. 5). Na toj karti jasno se ističe kanal s nižim vrijednostima potencijala (tamno) i pojedinim anomalnim minimumima. Niske vrijednosti potencijala su zone iz kojih se voda procjeđuje u okolna područja. Budući se u ovom slučaju voda nalazi iznad tla, područja s minimumom potencijala bila bi zapravo mjesta mogućeg poniranja vode u tlo. Anomalije izrazito malih vrijednosti potencijala ne moraju

pri tom značiti da je na tim mjestima i poniranje proporcionalno izraženije. Nasuprot tome zanimljivo je zapaziti da je na popratnim nasipima većinom zabilježen viši potencijal u odnosu na ostala područja. To upućuje na procjeđivanje vode iz okolnih područja prema nasipima. Isto vrijedi i za vanjske nasipe prema kojima potencijal raste. Osim toga, na područjima popratnih bazena (sjevernog i južnog) nema anomalija u vrijednostima potencijala, već su registrirane vrijednosti ujednačenije. Iz toga se može zaključiti da na tim područjima nije došlo do nastanka novih ponora.

Ukoliko usporedimo rezultate geoelektričnog profiliranja i vlastitog potencijala možemo zaključiti da područje povišenih otpornosti (tamno) jako dobro prati područje povišenog potencijala, posebno uz sam sjeverni rub bazena. Tu se zona niskih otpornosti, pružajući se poput uskog zaljeva, identično poklapa s lokalnim minimumom vlastitog potencijala. Dakle mjesta povišenih otpornosti su zone prema kojima se procjeđuje voda, vjerojatno kroz površinski sloj. To potvrđuje pretpostavku da na tim mjestima glineni tepih nije izveden.

5. ZAKLJUČAK

Kod izvedbe površinske akumulacije u krškom polju, a čija se vododrživost bazira na nepropusnosti kvartarnih glinovito prašinih naslaga treba voditi računa o stabilnosti kvartarnog pokrivača. Zato je u fazi idejnog projekta neophodno provesti opsežna istraživanja radi upoznavanja geneze terena i hidroloških uvjeta koji

su vladali u fazi stvaranja polja, te nakon taloženja kvartarnog pokrivača. Osim istražnog bušenja i mjerenja nivoa podzemne vode neophodno je izvesti i geofizička istraživanja radi ocjene debljine i litološkog sastava pokrivača, te stanja i okruženosti karbonatne podloge. Kod rješavanja vododrživosti bazena i saniranja sufozijskih pojava poniranja kod već izgrađenih bazena, u uvjetima eksploatacije kada je istraživanje vremenski ograničeno, a dno bazena pokriveno mekim talogom, pogodnim su se pokazale geoelektrične metode istraživanja. Metodom vlastitog potencijala primjenjenom na bazenu ispunjenom vodom registrirani su pravci procjeđivanja i poniranja vode.

Rezultati mjerenja geoelektričnih metoda i metode vlastitog potencijala izdvojili su problematična područja. Prvenstveno bi to bila zona kanala i popratnih nasipa, gdje su zabilježene povišene vrijednosti otpornosti i anomalne vrijednosti potencijala. Pliće sufozije najčešće se i javljaju u zoni kanala i popratnih nasipa. Drugo registrirano je područje uz sjeveroistočni rub bazena. Tu se područje visokih otpornosti poklapa s područjem na kojem su izmjerene nešto više vrijednosti potencijala. To potvrđuje kako na tom mjestu nije u potpunosti izveden glineni tepih, te se voda procjeđuje prema tom području. U centralnim dijelovima popratnih bazena nisu zabilježene anomalije vlastitog potencijala koje bi sugerirale pojavu novih ponora, no prema geoelektričnim istraživanjima nisu registrirana značajnija oštećenja glinenog tepiha. Na kraju treba naglasiti da je najveći problem za ostvarenje vododrživosti površinskih akumulacija u krškim poljima stabilnost dna bazena, jer se vododrživost može riješiti umjetnim materijalima, ali bez stabilnosti podloge nema trajnog rješenja za nesmetano korištenje objekta.

6. LITERATURA

- BENAMATIĆ, D., DUJMIĆ, D., KASAPOVIĆ, S., PEŠT, D. & SALKOVIĆ, A. (1997): Kompenzacijski bazen Gusić polje, geofizička istraživanja.- Arh. struč. dok. Moho, Zagreb.
- ELEKTROPROJEKT (1983): Sanacija kompenzacijskog bazena Gusić polje - hidrogeološki radovi.- Fond. struč. dok. Inst. geol. istraž., 12/93, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. (1992): Sanacija kompenzacijskog bazena Gusić polje - hidrogeološki radovi.- Fond. struč. dok. Inst. geol. istraž., 80/92, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. & FRITZ, F. (1995): Vododrživost kompenzacijskog bazena Gusić polje.- I. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 2, 431-434, Zagreb.
- PEŠT, D. (1999): Kompenzacijski bazen Gusić polje, mjerenje vlastitog potencijala.- Arh. struč. dok. Moho, Zagreb.



Problem utjecaja mora na krške vodonosnike u Hrvatskoj

The Sea Water Influence on Karst Aquifers in Croatia

Božidar BIONDIĆ, Raško BIONDIĆ & Sanja KAPELJ

Ključne riječi: priobalni krški vodonosnici, odnos slane i slatke vode, preeksploatacija, hidrokemijsko modeliranje, metode istraživanja.

Key words: Coastal karst aquifers, Salt-fresh water relation, Overexploitation, Hydrochemical modeling, Research methods.

Sažetak

Problem zaslanjenja priobalnih krških vodonosnika u Hrvatskoj izaziva interes istraživača već više od pola stoljeća. Posebno je pojačan krajem 20. stoljeća, kada rastući gradovi i turizam traže sve više i više pitke vode i jedino rješenje postaje preeksploatacija. Istraživanja su ranije bila orijentirana na identifikaciju geometrije i promjene potencijala vodonosnika. Izvedeni sanacijski zahvati su zbog takovih pristupa uglavnom bili preplitki i nefunkcionalni. Nova istraživanja su u prvom redu daleko dublja, a sadržajno kompleksnija. Istražuje se dinamika miješanja slatke i slane vode u krškom podzemlju, a hidrokemijska modeliranja ulaze u prostor prognoza dinamičkih promjena. Na primjerima izvora Perilo u Bakarskom zaljevu, Martinšćice i Novljanske Žrnovnice želimo prikazati dio tih mogućnosti i način pristupa istraživanjima priobalnih krških vodonosnika.

Abstract

The problem of salinization of coastal karst aquifers in Croatia has been in the focus of investigators for almost half a century. It has multiplied towards the end of this century as the growth of the cities and the magnitude of tourism has caused a higher demand of potable water and the only solution is over-exploitation of springs. Earlier studies were focused on the geometry and the change of aquifer potential. The mitigation constructions due to such approaches were too shallow and nonfunctional. The new investigations penetrate much deeper and complex. The dynamics of saline and fresh water mixing in the karst aquifers are studied and the hydrogeochemical models are used to predict the dynamics of the changes. The cases of the Perilo spring in the Bakar bay, Martinšćica and Novljanska Žrnovnica are used to portray some of the methods and possibilities of such investigations in coastal karst aquifers.

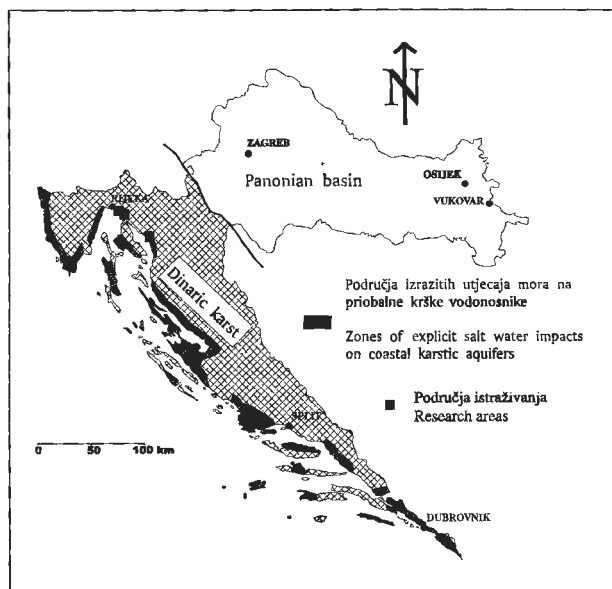
1. UVOD

Hrvatska je zemlja s više od tisuću otoka i nekoliko tisuća kilometara obalne linije, što je izuzetna prednost zemlje u planiranju razvitka, ali jednako tako veliki problem organizacije vodoopskrbe zbog utjecaja mora na priobalne slatkovodne sustave. Posebno je to istaknuto u ljetnim sušnim razdobljima, kada napajanje vodonosnika prestaje ponekad i tri ljetna mjeseca, a bitno se povećava potrošnja zbog velikog broja turista.

Obalno područje Hrvatske dio je megastrukturne jedinice Dinarida izgrađene pretežito od okršenih karbonatnih stijena. Krški vodonosnici su uglavnom otvoreni prema moru, čiji je utjecaj evidentan na brojnim lokalitetima duž obale. Gotovo svi gradovi na Jadranskoj obali koriste u cijelosti ili bar djelomično krška izvorišta, koja tijekom ljeta imaju povećani salinitet. Takovih pojava ima duž gotovo cijelog hrvatskog obal-

nog područja (sl. 1). Zaslanjivanje krških priobalnih vodonosnika nije problem novijeg datuma i nije samo problem hrvatskog priobalja već cijelog Mediterana i drugih priobalnih područja u svijetu. S tim problemima se hidrogeolozi bore već desetljećima i utrošena su ogromna financijska sredstva za izradu sanacijskih zahvata, koja uglavnom nisu dala odgovarajuće rezultate.

Upravo ti neodgovarajući rezultati natjerali su istraživače na razmišljanje i korištenje šireg raspona istraživačkih metoda nego što je to rađeno ranije, tim više što naglo raste potreba za pitkom vodom a procesi salinizacije su iz godine u godinu sve izraženiji. Kada se nešto ne odvija u skladu s uložnim sredstvima i trudom, pristupe treba radikalno mijenjati. Tako se to dogodilo i u problematici istraživanja priobalnih krških izvorišta. Nekadašnji sanacijski zahvati u relativno plitkim dijelovima vodonosnika danas su u svijetu praktički napušteni, odnosno izvode se tamo gdje imaju šanse dati povoljne rezultate. Danas je pažnja istraživača usmjerena na



Sl. 1 Zone izrazitih utjecaja mora na priobalne krške vodonosnike u Hrvatskoj.

Fig. 1 Zones of explicit salt water impacts on coastal karstic aquifers in Croatia.

dobro poznavanje dinamičkog modela priobalnih krških vodonosnika i odgovarajuće upravljanje prirodnim sustavima. Ne isključuje to sanacijske zahvate, gdje je to moguće i potrebno, ali pažnja je prvenstveno usmjerena na planiranje eksploatacije i zaštite krških vodonosnika u uvjetima labilne ravnoteže slatkovodnog i morskog hidrosustava.

Vrlo značajnu ulogu u razvoju problematike istraživanja i upravljanja priobalnim krškim vodonosnicima ima COST 621 projekt Europske Unije "Groundwater Management of Coastal Karstic Aquifers" pod predsjedanjem Italije uz veliku potporu Hrvatske. U projektu sudjeluje 10 europskih zemalja (Austrija, Francuska, Grčka, Hrvatska, Italija, Malta, Portugal, Slovenija, Španjolska i Turska). Konačni cilj projekta je obrada različitosti priobalnih krških vodonosnika, razvitak metoda istraživanja hidrogeokemijskih procesa u krškom podzemlju priobalnih vodonosnika, ocjena uspješnosti sanacijskih zahvata i konačno izrada preporuka za istraživanje i upravljanje priobalnim krškim vodonosnicima na razini Europske Unije. Preporuke će biti na raspolaganju svim našim istraživačima, koji će na taj način postepeno dopunjavati svoje pristupe istraživanjima.

Brojni istraživači u Hrvatskoj bavili su se problemom slatke i slane vode priobalnih vodonosnika i izvedeno je nekoliko injekcijskih zavjesa, koje su samo djelomično dale odgovarajuće rezultate. Prvenstveno treba spomenuti gosp. Borisa Pavlina (Novljanska Žrnovnica, Kotor), koji je u suradnji s geolozima veliki dio života posvetio rješavanju tog problema, i gosp. Domagoja Franića (Bokanjačko Blato, Gradačka Žrnovnica), koji je s poduzećem Geotehnika projektirao i izvodio veliki dio injekcijskih zavjesa u Hrvatskoj i teritoriju bivše Jugoslavije. Publicirani radovi vezani su uz grupu autora

koji se uglavnom zadržavaju na hidrauličkom funkcioniranju priobalnih krških vodonosnika i teoretski obrazlažu pojave zaslanjenja temeljem odnosa potencijala i razlika u specifičnim težinama fluida u dubokim priobalnim krškim kanalima koristeći različite modifikacije Ghyben-Herzbergovog zakona (GJURAŠIN, 1942, 1943; KUŠČER, 1950; BREZNIK, 1973; BONACCI, 1987). Prekretnicu u istraživanju priobalnih vodonosnika načinio je IAH organizirajući brojne SWIM (Salt Water Intrusion Meetings) konferencije, čiji su rezultati početkom devedesetih bitno izmijenili pristupe istraživanjima.

2. OPĆE HIDROGEOLOŠKE POSTAVKE

Razloge dubokog razvoja krških procesa i prodora zaslanjene vode u krško podzemlje treba tražiti u strukturno-tektonskoj građi i genezi pretežito karbonatnog masiva Dinarida. U vrlo kompleksnoj strukturno-tektonskoj građi Dinarida, nastaloj u području subdukcije dvaju kontinentalnih ploča, vrlo su česte pojave navlačnih struktura (HERAK, 1986, 1991), koje mogu uzrokovati pojave zarobljenih vodonosnika. Takove strukture omogućuju transfer slatke vode čak i ispod područja prekrivenih morem, ali i duboke prodore mora u kopno. Ipak, uzroke današnjih hidrogeoloških uvjeta u području priobalnih krških vodonosnika treba tražiti u genezi Dinarida u neposrednom predkvartarnom i kvartarnom razdoblju. Za razvoj dubokih krških procesa najznačajnije su promjene razine mora u tom razdoblju.

Kraj pliocena i početak pleistocena obilježen je razinom mora za više od 100 m nižom od današnje (ŠEGOTA, 1968). Bilo je to vrijeme pojava izoliranih jezera (Krbavsko polje, dolina rijeke Zrmanje, Grobničko polje, Vransko jezero na otoku Cresu i dr.) i vrlo jakih erozijskih procesa u Dinaridima, koji su u područje današnjeg sjevernog Jadrana donosili ogromne količine sitnozrnog materijala, ali i vrijeme vrlo jakih procesa okršavanja karbonatnog masiva Dinarida. Postepeno najveći dio vode s površine seli u podzemlje, a baza okršavanja se spušta negdje na tadašnju razinu mora. Treba naglasiti da je sjeverni Jadran bio prostrana delta rijeke Po i njenih pritoka s područja Dinarida. U vrijeme ledenjačkih doba u delti su zbog manjka vode vladali pustinjski uvjeti s vrlo jakim vjetrovima, koji su na rubno gorje nanosili pješćane sedimente (Susak, Unije, Lošinj i dr.). Meduledenjačka razdoblja su donosila povećane količine vode i ono što je za interpretaciju hidrogeologije priobalnih krških vodonosnika najvažnije, pojačane krške procese. Krški procesi su u cijelom Jadranskom području razgrađivali karbonatnu masu Dinarida do dubina koje su odgovarale tadašnjoj razini mora. Treba naglasiti da su duboke bušotine nabušile kavernoze prostore i na dubinama i preko 2.000 m, međutim, to su ostaci okršavanja iz ranijih razdoblja razvitka Dinarida, koja su se zbivala u više navrata tijekom paleozoika, trijasa, jure, krede i tercijara i uglav-

nom nisu vezana uz okršavanje tijekom kvartara. Za hidrogeologiju priobalnih krških vodonosnika značajno je okršavanje tijekom kvartara, ali i dijelovi fosilnog krša u plićim zonama, koji su reaktivirani tim okršavanjem. Iskustva istraživača u zemljama Mediterana govore o dubinama do 150 m ispod današnje razine mora, a to potvrđuju i nanosi rijeka, koji na ušćima prelaze dubine od 100 m. Svi slatkovodni sustavi bili su usmjereni prema tadašnjoj razini mora. Dizanje razine mora tijekom kvartara, a posebice nakon zadnjeg ledenjačkog doba uzrokuje i dizanje slatkovodne mase manje specifične težine od mora. Nije se to događalo samo u zonama izviranja, već je morska voda prodirala duboko u kopno i stvarala potpuno drugačije hidrauličke uvjete od ranijih. Stvorena je labilna ravnoteža slatkovodnog i morskog sustava ovisnog o dotocima slatke vode s kopna, ali i o promjenama razina mora.

Efekti labilne ravnoteže slatke i slane vode najizraženiji su upravo u priobalnim vodonosnicima otvorenim prema utjecaju mora, a posebice krškim, gdje su brzine podzemnih tokova, pa tako i promjene prirodne ravnoteže, brze. Kada se u taj labilni odnos uključi i utjecaj eksploatacije tada problem poprima vrlo kompleksne dimenzije.

Istraživanja priobalnih krških vodonosnika otvorenih prema utjecaju mora treba započeti regionalnom ocjenom evolucije krških procesa i definiranjem zona mogućih kontakata i načina miješanja slatke i slane vode. Vrlo su rijetki primjeri lokalizirane zone miješanja, koju je moguće efikasno umjetnim zahvatima razdvojiti. Uglavnom se radi o širokim zonama utjecaja i regionalnim sustavima utoka morske vode u duboko krško podzemlje. Hidrogeološka istraživanja u svim mediteranskim zemljama pokazuju da je u dijelovima priobalnih krških vodonosnika more stalno prisutno ispod slatkovodne mase i da promjene hidroloških uvjeta - sušna razdoblja u kombinaciji s precrpljivanjem - mogu izazvati konusno izdizanje zone miješanja prema eksploatacijskim objektima i zaslanjenje većeg dijela vodonosnika.

Što je novo u istraživanjima priobalnih krških vodonosnika u odnosu na ranija istraživanja? U prvom redu, istraživanja treba raditi puno dublje u krški vodonosnik, a to znači u istraživanja uključiti i promatranje zone miješanja slatke i slane vode. Važnu ulogu poprimaju hidrogeokemijska istraživanja i hidrogeokemijsko modeliranje, jer mogu biti dobar pokazatelj otvorenosti slatkovodnog sustava prema dubokoj zoni miješanja iako je analizirana voda potpuno slatka. Ne isključuje to korištenje klasičnih metoda istraživanja od geologije, geofizike, hidrologije, hidrogeologije do istražnog bušenja, ali nove metode daju dodatne vrijednosti, koje smanjuju visinu rizika u donošenju konačnih odluka.

U ovom radu ćemo na primjerima izvorišta Martinšćica, Perilo i Novljanska Žrnovnica prikazati svu različitost i kompleksnost odnosa slatke i slane vode u krškim vodonosnicima otvorenim prema utjecaju mora.

3. PRIMJERI RAZLIČITOG PONAŠANJA PRIOBALNIH KRŠKIH VODONOSNIKA

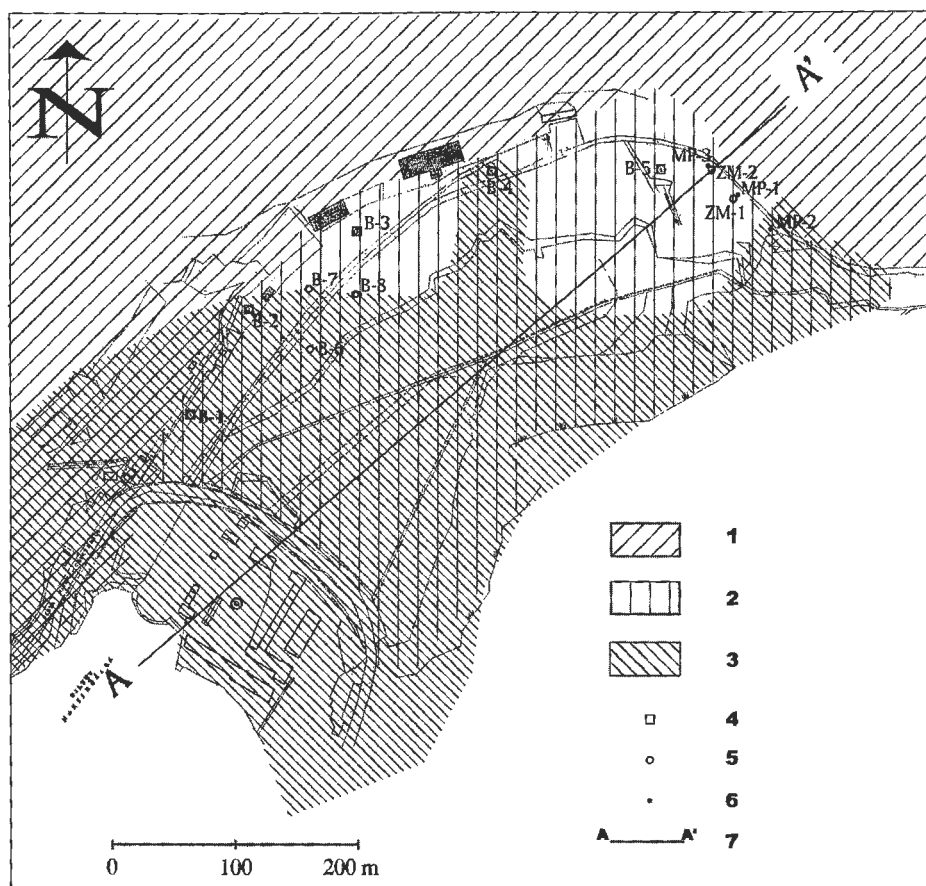
Izvorište Martinšćica

Izvorište Martinšćica je važno izvorište pitke vode grada Rijeke izdašnosti oko 400 l/s tijekom ljetnih sušnih razdoblja. Smješteno je u priobalnom području na južnom prilazu gradu Rijeci. Sastoji se od 8 zdenaca, od kojih su 5 kopanih (B-1 do B-5) i 3 bušena (B-6 do B-8). Ti bušeni zdeneci zbog povećanog saliniteta uslijed crpljenja nisu u funkciji. Dva kopana zdenca (B-1 i B-2) koji su najbliže obali mora tijekom ljeta su, uglavnom, također izvan pogona zbog porasta saliniteta. Zdenac B-3 koji se najčešće koristi za vodoopskrbu nalazi se u središnjem dijelu crpilišta neposredno ispod naselja Vežica. Iz sanitarnih razloga (utjecaj naselja Vežica) rađena su istraživanja za zahvat vode dublje u uvali izvan utjecaja naselja. Piezometarske bušotine i 2 nova bušena zdenca dali su vrlo interesantne rezultate za proučavanje odnosa slatke i slane vode u zonama istjecanja priobalnih krških vodonosnika. U prvom redu udaljavanjem od mora očekivali smo znatno smanjenje utjecaja morske vode, međutim istraživanja su pokazala da su zone potpuno slatke vode ograničene na mjesta glavnih dotoka, kao slatkovodni jastuci u pretežito zaslanjenoj sredini (sl. 2), čak vezani uz lokalne geološke uvjete. Tako npr. novo izvedeni zdeneci pokazuju izuzetno okršavanje i vodonosnost kroz proslojak vapnenaca unutar dolomita (sl. 3). Dolomit ima hidrogeološku funkciju izolatora, pa jače zaslanjena voda iz podloge (1.000-2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) nema utjecaja na dovod slatke vode (200-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), što je potvrđeno probnim crpljenjem tijekom ljetnog sušnog razdoblja 1999. godine. Jasno da se količinom crpljenja ne smiju preći dinamičke rezerve slatke vode, jer bi tada došlo do poremećaja prirodne ravnoteže i postepenog povećanja saliniteta. To je tipični primjer potrebe dobrog upravljanja priobalnim vodonosnikom.

Izvorište Perilo

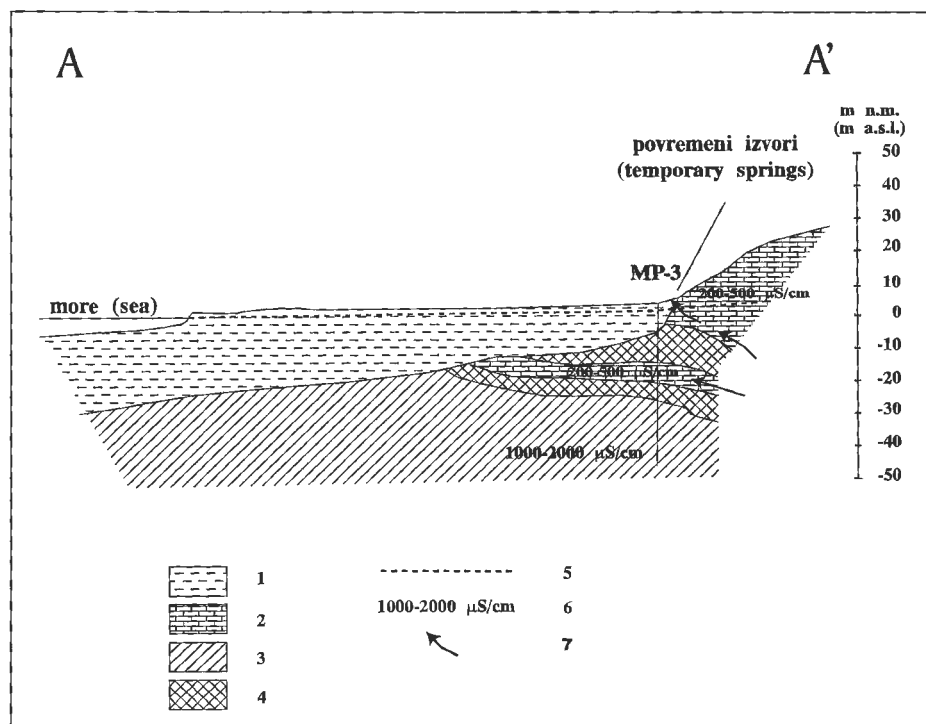
Izvorište Perilo u Bakarskom zaljevu značajan je vodni resurs vodoopskrbnog sustava šireg područja grada Rijeke. Sastoji se od prirodnog izvorišta na obali mora i kaptažnog zahvata vode u zaleđu. Kaptažni zahvat (VULIĆ, 1975, 1980) je kombinacija vertikalnog šahta (50,35 m) i horizontalne drenažne galerije (55,00 m). Izdašnost zahvata je 240 l/s utvrđena crpljenjima tijekom ljetnih sušnih razdoblja.

Geološka situacija u zoni istjecanja je dosta komplicirana zbog kontakta dvaju makrostrukturnih jedinica (Dinarik - Adriatik), gdje su česte pojave razbijenih tektonskih blokova i erozijskih ostataka navučenih stijena (BIONDIĆ et al., 1999a). Takav primjer je i zona istjecanja izvorišta Perilo, gdje jedan navučeni tektonski blok prekriva stvarnu geološku situaciju u krškom podzemlju. Dotoci podzemne vode na izvorište su vezani za jednu relativno usku ljsku dobro vodopropusnih



Sl. 2 Odnos slane i slatke vode u području crpilišta Martinšćica u Rijeci. Legenda: 1) okršene karbonatne stijene kredne starosti; 2) klastične naslage kvartarne starosti; 3) dio vodonosnika pod povremenim utjecajem mora; 4) kopani zdenac; 5) bušeni zdenac; 6) piezometarska bušotina; 7) presjek A-A'.

Fig. 2 Salt-fresh water relation in water-supply site Martinšćica in Rijeka. Legend: 1) Cretaceous karstified carbonate rocks; 2) Quaternary clastic deposits; 3) part of the aquifer with temporary salt water impact; 4) dug well; 5) drilled well; 6) piezometric borehole; 7) cross-section A-A'.



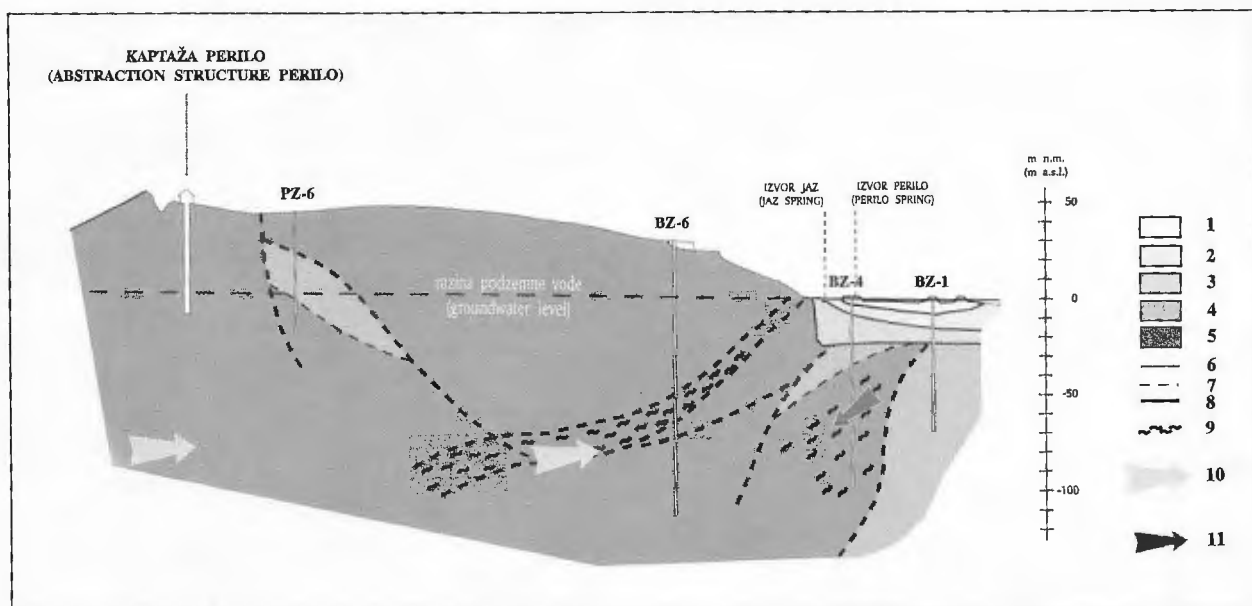
Sl. 3 Profil A-A'. Legenda: 1) naslage kvartarne starosti; 2) dobro vodopropusni kavernozni vapnenci; 3) srednje vodopropusni vapnenci; 4) slabo vodopropusni dolomiti; 5) razina podzemne vode; 6) elektrolitička vodljivost; 7) smjer tečenja podzemne vode.

Fig. 3 Cross-section A-A'. Legend: 1) Quaternary deposits; 2) high permeable cavernous limestones; 3) semipermeable limestones; 4) low permeable dolomites; 5) groundwater level; 6) conductivity (CND); 7) groundwater flow direction.

foraminiferskih vapnenaca unutar vodonepropusnih fliških stijena eocenske starosti, bočno otvorenu prema utjecaju mora.

U takovim geološkim uvjetima stvorena je labilna ravnoteža slatke i slane vode uz vidljive utjecaje morskih mijena. U najvećem dijelu kvartara izvorište je funk-

cioniralo kao tipični krški kontinentalni sustav, međutim dizanje razine mora iza zadnjeg ledenjačkog doba je ispunilo morem Bakarski zaljev i dijelom potopilo zone izviranja. Slatkovodni sustav je bio izdignut od specifički teže morske vode, a dio morske vode je prodro u dublje dijelove krškog vodonosnika. Prirodno



Sl. 4 Uzdužni hidrogeološki profil zone izviranja u Bakru. Legenda: 1) nabačaj; 2) marinski sediment; 3) izvorski sediment; 4) fliš; 5) foraminiferski vapnenac; 6) geološka granica; 7) pretpostavljena geološka granica; 8) rasjed; 9) rasjedna zona; 10) smjer toka podzemne vode; 11) smjer prodora mora.

Fig. 4 Longitudinal hydrogeological cross-section of discharge zone in Bakar. Legend: 1) deposited material; 2) marine sediment; 3) spring sediment; 4) flysch; 5) foraminiferous limestone; 6) geological boundary; 7) supposed geological boundary; 8) fault; 9) fault zone; 10) groundwater flow direction; 11) salt water intrusion direction.

izvorište je prema poznatim podacima uvijek funkcioniralo kao slatkovodni sustav, a zahvat vode u zaleđu je rađen zbog visokog zagađenja izvorske vode lošim kanalizacijskim sustavom grada Bakra. Međutim, upravo su taj zahvat vode i povećana eksploatacija vode tijekom ljetnih sušnih razdoblja izazvali visoko zaslaničenje vode već tijekom puštanja u rad crpilišta 1985. godine ($>2.500 \text{ mg/l}$) i to se ponavljalo u nekoliko navrata.

Istraživanja iz 1992. i kasnije bila su usmjerena na identifikaciju zbivanja u relativno uskoj zoni istjecanja na obali mora. U prvom redu bilo je potrebno odrediti prostorni i dubinski položaj vodonosnika i vodonepropusnih stijena, a zatim dinamičku izmjenu slatke i slane vode u tom uskom prostoru (oko 200 m). Geometriju sustava je bilo relativno lako odrediti kombinacijom detaljnog površinskog geološkog kartiranja, geofizičkih ispitivanja i istražnih bušotina. Za odredbu dinamičkog modela trebalo je daleko više vremena i strpljenja, jer su tek višegodišnja opažanja dala potpunu sliku. Najviše podataka pružila je piezometarska bušotina BZ-4 na obali mora dubine 100 m ispod razine mora (sl. 4).

Cijeli sustav opažan je od mjeseca srpnja do rujna 1993. godine. Prvi znakovi zaslaničenja pokazali su se na najdubljem dijelu bušotine PZ-4 već na početku mjeseca kolovoza, ali jaka kiša u slivu je potisnula zonu zaslaničene vode dublje u podzemlje. Zaslaničenje se dogodilo noću između 27. i 28. kolovoza uz maksimalnu eksploataciju crpilišta (240 l/s). Precrpljivanje vodonosnika prvo je izazvalo konusno izdizanje zone miješanja prema kapatažnom zahvatu, stvaranje podtlaka u krškom podzemlju i konačno intruziju morske vode kroz

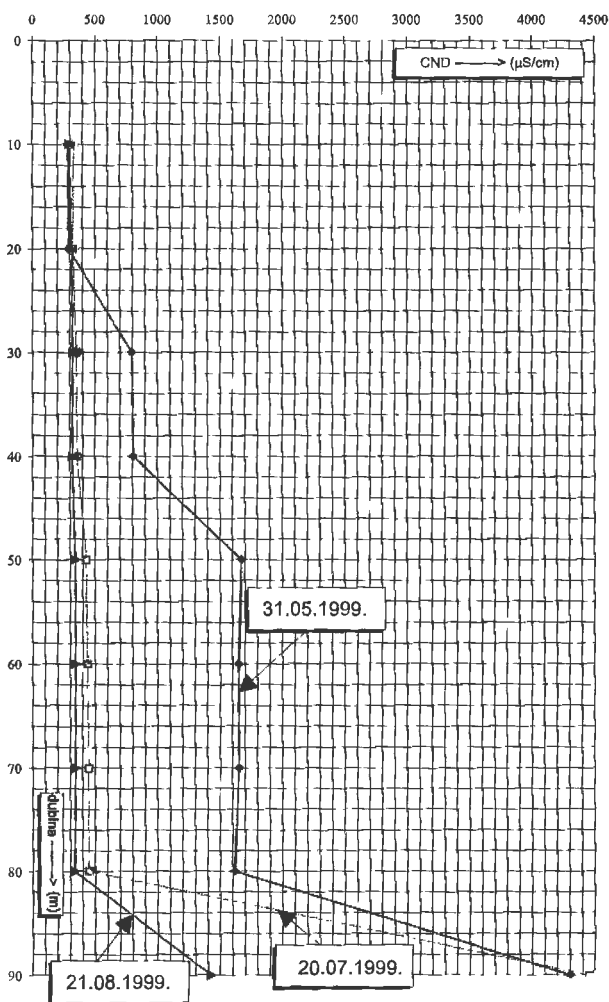
zonu istjecanja uz istovremeni porast vodostaja na prirodnom izvoru (BIONDIĆ, 1994).

Istraživanja su obnovljena 1999. godine s uključivanjem geohidrokemijske analitike i modeliranja. Tijekom proljetnog kišnog razdoblja zapaženo je istiskivanje morske vode iz vodonosnika (sl. 5) koje se manifestiralo povećanim salinitetom duž bušotine u uvjetima relativno visokih voda, a hidrogeokemijsko modeliranje u stanju potpune slatkovodnosti izvorišnog sustava pokazuje otvorenost vodonosnika prema utjecaju mora i udio morske vode od svega 0,2 do 0,3%. Zbog prestanka eksploatacije tijekom 1999. godine, koja je rezultat spajanja bakarskog vodoopskrbnog sustava sa riječkim, nije bilo zaslaničenja vodonosnika na izvoru tijekom ljeta, međutim i u takovim uvjetima praćeno je ponašanje zone miješanja u najdubljem dijelu bušotine PZ-4.

Ovaj primjer priobalnog vodonosnika otvara mogućnosti drugačijeg pristupa od izvorišta Martinšćica. Osim dobrog upravljanja sustavom ovdje su zbog poznatih graničnih uvjeta kontakta mogući i tehnički zahvati odvajanja međusobnog utjecaja. To su vrlo skupi zahvati, ali u ovom slučaju omogućuju trajno rješenje. Momentalno rješenje je upravljanje sustavom u kojem kontrolirana eksploatacija u kombinaciji s opažanjem dinamike vode u zoni miješanja u dubokom krškom podzemlju može biti dobro rješenje.

Izvorište Novljanska Žrnovnica

Izvorište Novljanska Žrnovnica pitkom vodom opskrbljuje područje Novljansko-crikveničke rivijere. Eksploatira se do 230 l/s, međutim utvrđene mogućnosti



Sl. 5 Elektrolitička vodljivost na bušotini PZ-4 u Bakru.
Fig. 5 Conductivity (CND) on borehole PZ-4 in Bakar.

sežu i do 400 l/s bez većih zahvata na crpilištu. Nalazi se u dubokoj morskoj uvali koja otvara mogućnost direktnog kontakta slatkovodnog sustava s morem. Sliv izvorišta se lepezasto širi prema Gorskom kotaru (Lič polje) i Lici (dolina rijeke Gacke), a različitost dotoka utvrđena je geohidrokemijskim istraživanjima (stabilni izotopi) (BIONDIĆ et al., 1999b).

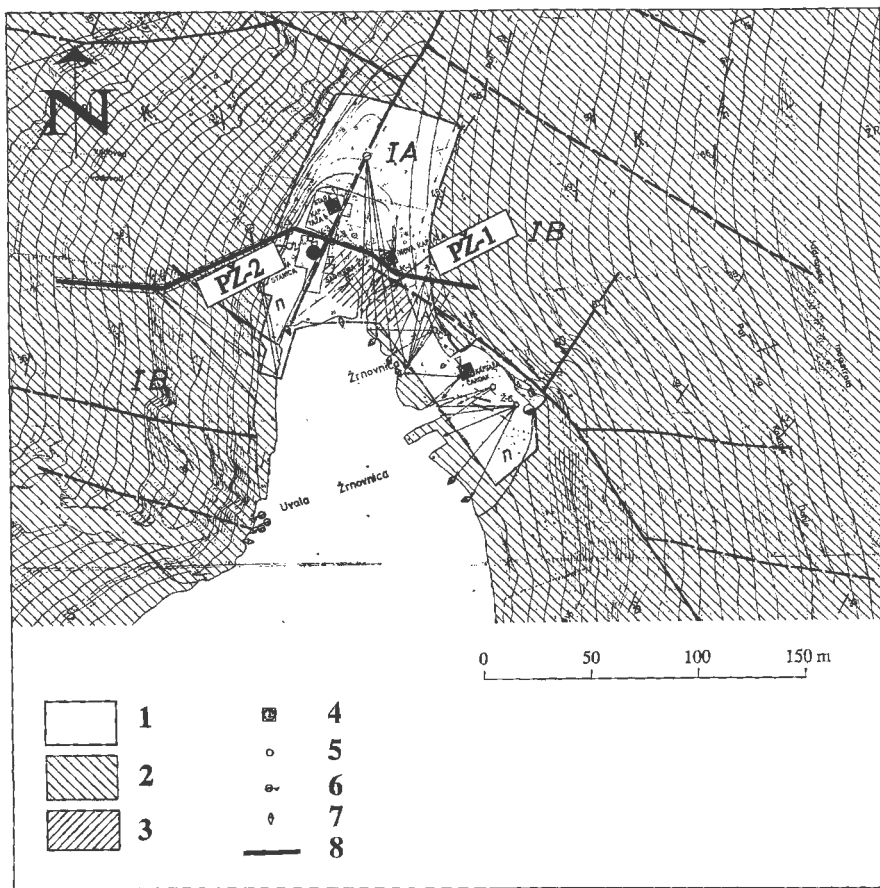
Razvoj turizma imao je za posljedicu porast potrebe za pitkom vodom, pa je na izvorištu od kaptiranja 1935. godine stalno povećavana količina crpljenja i rađeni dodatni zahvati vode. Sredinom sedamdesetih počeli su i prvi problemi sa zaslanjivanjem, pa je načinjen projekt odvajanja slatkovodne mase od mora (PAVLIN, 1973) i započelo je fazno izvođenje projekta injekcijske zavjese (sl. 6 i 7). Prva faza je bila uspješna, jer je čepljena pri-površinska rastrošena zona između mora i jednog od kaptajnih zahvata (Stara kaptaja). Efekti su bili dobri i to je bio poticaj za dalje. Dio druge faze je također bio izveden, ali tada bez nekih značajnijih rezultata, jer je sve bilo preplitko za duboke tokove u krškom podzemlju.

Problemi s količinom vode u crpilištu ponovo su se pojavili u ljetnom sušnom razdoblju 1994. godine i trebalo je novim zahvatima doći do povećane količine pitke vode. Prekinuta su razmišljanja o nastavku izgradnje injekcijske zavjese, a pažnja je usmjerena na hidrogeološka zbivanja u dubljem dijelu zone izviranja i određene preinake u samom dovodu vode prema centralnom crnom bazenu. U sklopu prve faze aktivnosti izbušene su dvije bušotine dubine 110 m (PŽ-1 i PŽ-2) između crpilišta i mora (sl. 6). Bušotina PŽ-1 od početka do dna je rađena unutar vapnenačkih breča, koje su na području izvorišta Novljanska Žrnovnica molasnog porijekla u odnosu na okršene vapnence donjokredne starosti koji su glavni vodonosnik izvorišta. Breče su vrlo slabo vodopropusne i izgrađuju barijeru između slatkovodne mase i mora. Međutim, bušotina PŽ-2 dala je potpuno drugačije rezultate iako je svega pedesetak metara udaljena od bušotine PŽ-1. U prvom redu bušeno je u vodopropusnim vapnencima, a što je daleko interesantnije na dubini 90 m ispod površine terena nabušen je dobro vodopropusni horizont s arteškim pritiskom i voda je proključala iz bušotine. Kontinuiranim mjerenjem utvrdili smo postojanje uzlaznog toka u zoni miješanja slatke i slane vode (sl. 7). Tijekom probnog crpljenja kaptaje ljeti 1999. godine utvrđena je mogućnost crpljenja vode iz crpilišta od oko 400 l/s bez povećanja saliniteta u bušotini PŽ-1, ali i bez promjena u bušotini PŽ-2, što potvrđuje stabilnost utvrđenog odnosa slatke i slane vode na crpilištu (BIONDIĆ et al., 1999b).

Izvorište Novljanska Žrnovnica je dobar primjer uspješne kombinacije tehničkog zahvata i upravljanja vodnim sustavom.

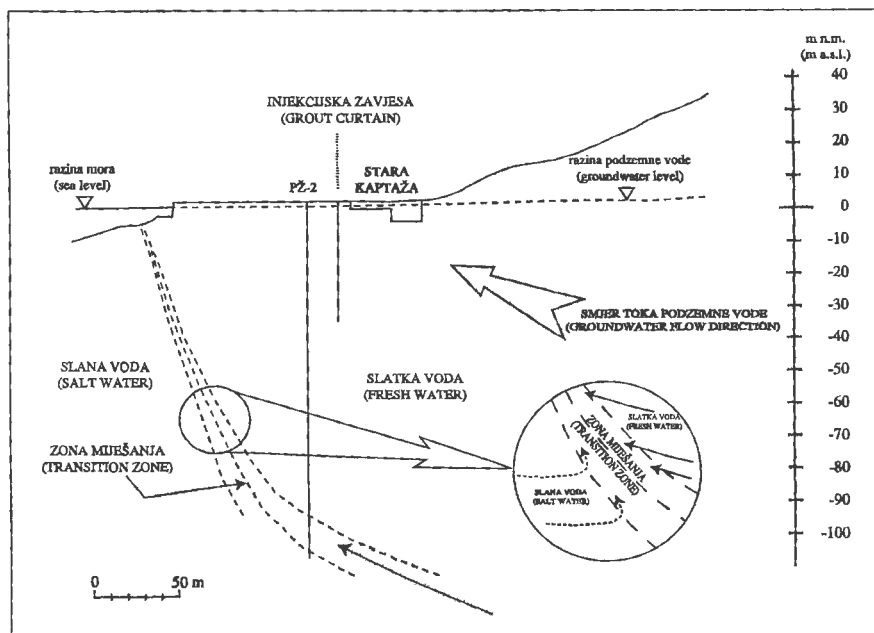
4. ZAKLJUČAK

Problemu zaslanjivanja priobalnih izvorišta u Hrvatskoj treba posvetiti posebnu pažnju, jer potrebe za vodom u turistički razvijenom priobalju rastu, a eksploatacija je već danas negdje u graničnom području ravnotežnog stanja. S druge strane očekivane globalne klimatske promjene mogu samo povećati već postojeće probleme. Nije to samo problem Hrvatske već i svih ostalih Mediteranskih zemalja, pa uključanje u zajedničko rješavanje te problematike može osigurati i bolje rezultate. Dosadašnji sanacijski zahvati s injekcijskim zavjesama nisu dali previše dobre rezultate, pa je očito da je na tom području trebalo nešto promijeniti. U prvom redu probleme treba promatrati regionalno u sklopu geneze cjelokupnog Jadranskog prostora, a tek potom ulaziti u rješavanje problema pojedinog izvorišta. U drugom redu svi dosadašnji zahvati, pa i istraživanja su bili daleko preplitki i na prejednostavan način preslikavali hidrostatičke formule u dinamički sustav krških vodonosnika. Hidrokemijska istraživanja su bila uglavnom usmjerena na definiranje saliniteta i kakvoće vode, što je nedostavno za kompleksnu prognozu zbivanja u priobalnim krškim vodonosnicima.



Sl. 6 Karta zaštitnih zona izvorišta Novljanska Žrnovnica. Legenda: 1) IA zona sanitarne zaštite; 2) IB zona sanitarne zaštite; 3) zona vapnenačkih breča; 4) kaptazni objekt; 5) piezometarska bušotina; 6) vrućlja; 7) povremeni priobalni izvor; 8) položaj injekcijske zavjese.

Fig. 6 Protection zones map of water-supply site Novljanska Žrnovnica. Legend: 1) IA protection zone; 2) IB protection zone; 3) zone of calcareous breccias; 4) intake structure; 5) piezometric borehole; 6) vrulja; 7) temporary coastal spring; 8) grout curtain position.



Sl. 7 Položaj zone miješanja na crpilištu Novljanska Žrnovnica.

Fig. 7 Position of transition zone on water-supply site Novljanska Žrnovnica.

Kratko opisani primjeri samo potvrđuju kompleksnost problema odnosa slatke i slane vode u krškim vodonosnicima i moguća vrlo različita rješenja za vrlo promjenljive prirodne uvjete.

Predložemo daleko kompleksnija geološka istraživanja s posebnom pažnjom na razlomljenost pojedinih blokova krškog vodonosnika, zatim pažljivo korištenje geofizičkih metoda istraživanja ne samo radi definira-

nja geometrije sustava, već i postojanja stare morske vode u dubokom krškom podzemlju i izvođenje piezometarskih bušotina daleko dublje od ranije izvođenih. Bušotine moraju biti toliko duboke da barem tijekom ljetnih sušnih razdoblja omoguće mjerenja ispod granice kontakta slane i slatke vode i time omoguće mjerenja dinamičkih promjena po dubini vodonosnika. Mjerenja su također daleko kompleksnija. Osim ranije mjerenih

razina treba mjeriti promjene električne provodljivosti, temperature vode i pH. Hidrokemijska istraživanja su doživjela najveće promjene. Od samog naziva (Geohidrokemija) do sadržaja. Osim klasične hidrokemijske analize analiziraju se mikroelementi, stabilni izotopi i cijeli niz drugih parametara, koji mogu ukazati na nadmorsku visinu infiltracije vode u podzemlje (srednju nadmorsku visinu sliva), dužinu zadržavanja vode u podzemlju, udio morske vode i dr. Sva ta mjerenja rade se u trodimenzionalnom modelu uz korištenje GIS tehnologije i hidrokemijskog modeliranja.

Ovim radom želimo usmjeriti pažnju istraživača na mogućnosti istraživanja priobalnih krških vodonosnika novim tehnologijama, čime se znatno smanjuju rizici odluka, koji su u prošlosti zasigurno bili veliki. Rezultati takovih istraživanja od izuzetne su vrijednosti za upravljanje priobalnim vodonosnicima, jer omogućuju racionalnu eksploataciju u uvjetima labilne ravnoteže slatke i slane vode.

5. LITERATURA

- BIONDIĆ, B. (1994): Zaštita kaptaze Perilo od prodora mora.- Arhiv IGI, 4/94, 36 str., Zagreb.
- BIONDIĆ, B., DUKARIĆ, F. & BIONDIĆ, R. (1999a): Impact of the sea on the Perilo abstraction site in Bakar Bay - Croatia.- U: DREW, D. & HOTZL, H. (ur.): Karst Hydrogeology and Human Activities. Balkema, Rotterdam, 244-251.
- BIONDIĆ, R., BIONDIĆ, B. & KAPELJ, S. (1999b): Izvorište Novljanska Žrnovnica. Hidrogeološka istraživanja.- Arhiv IGI, 125/99, 24 str., Zagreb.
- BONACCI, O. (1987): Karst hydrology.- Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg, 184 str.
- BREZNIK, M. (1973): Nastanke zaslanjenih kraških izvirova i njihova sanacija (The origin of brackish karstic springs and their development).- Razprave in Poročila, 16, 83-186, Ljubljana.
- GJURAŠIN, K. (1942): Prilog hidrografiji primorskog krša.- Tehnički Vjesnik, 59, 107-112, Zagreb.
- GJURAŠIN, K. (1943): Prilog hidrografiji primorskog krša.- Tehnički Vjesnik, 60, 1-17, Zagreb.
- KUŠČER, I. (1950): Kraški izviri ob morski obali.- Razprave SAZU, 99-137, Ljubljana.
- HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides.- Acta geologica, 16, 1-42, Zagreb.
- HERAK, M. (1991): Dinarides - mobilistic view of the genesis and structure.- Acta geologica, 21, 35-83, Zagreb.
- PAVLIN, B. (1973): Izvorište Žrnovnica. Uplivno područje Stare Kaptaze. Zaštita protiv gubitka izvorske vode i zaslanjujućeg upliva mora. Idejni projekt.- Arhiv Elektroprojekt, Zagreb.
- ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mladem Würmu.- Geografski glasnik, 30, 15-39, Zagreb.
- VULIĆ, Ž. (1975): Kaptaza Perilo, Bakar - Hidrogeološki radovi.- Arhiv IGI, Zagreb.
- VULIĆ, Ž. (1980): Kaptaza Perilo, Bakar - Hidrogeološki radovi 1975-1980.- Arhiv IGI, Zagreb.



Erozija korita Save kod Zagreba

Erosion of the Sava Riverbed Near Zagreb

Danko BIONDIĆ

Ključne riječi: Sava kod Zagreba, erozija riječnog korita, regulacije, prekomjerne eksploatacije šljunka iz riječnog korita.

Key words: The Sava River near Zagreb, Riverbed erosion, River training works, Excessive gravel extractions from riverbed.

Sažetak

Opisuje se pojava erozije korita Save kod Zagreba koja izravno utječe na sniženje razina podzemne vode u zaobaljima. Raščlambom povijesnih činjenica utvrđeno je da su je uglavnom izazvale regulacije, te prekomjerne eksploatacije šljunka iz riječnog korita. Najpovoljnije rješenje problema je gradnje planiranoga višenamjenskog sustava pribranskih hidroelektrana.

Abstract

The phenomenon of the Sava riverbed erosion near Zagreb, which is directly related to ground water lowering in the lowlands, is described. The analysis of historic data shows that this erosion mainly results from river training works and excessive gravel extractions from riverbed. The most favorable solution to this problem is construction of the planned multipurpose system of hydroelectric power plants.

1. UVOD

Od izvorišne zone u podnožju Julijskih Alpi i Karavanki pa do ušća u Dunav, Sava protječe kroz Sloveniju, Hrvatsku, Bosnu i Hercegovinu i Jugoslaviju. Ukupne je duljine oko 950 km, a sliv joj obuhvaća područje od oko 95.500 km² od čega oko 25,5 % pripada Republici Hrvatskoj. Prosječna godišnja visina padalina na slivu iznosi oko 1.085 mm, s tim da su najveće padaline u alpskom dijelu sliva, a prema istoku postupno opadaju. Srednji protoci Save u Hrvatskoj kreću se od 300 m³/s na granici sa Slovenijom pa do 1.200 m³/s na granici s Jugoslavijom. Srednji protok Save kod Zagreba iznosi 314 m³/s.

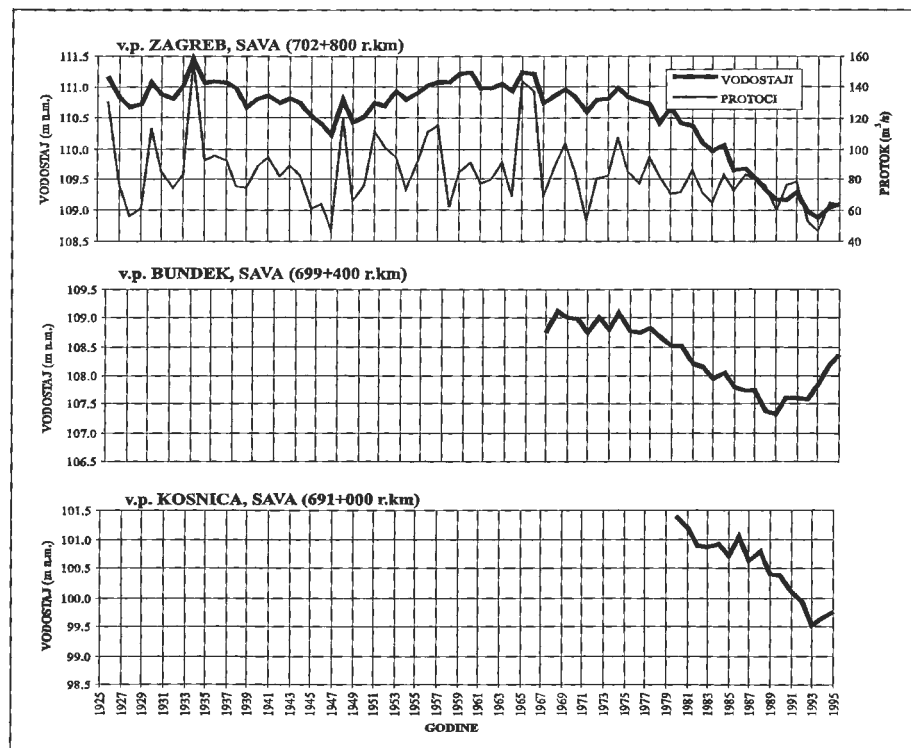
Izlazom iz kanjonskog toka među Zasuavskim planinama i prijelazom u široku aluvijalnu dolinu kod Krškog, savsko korito postaje podložno značajnim morfološkim promjenama. Zavisno o pojavama velikih voda, o stabilnosti obala, te o hidrauličkim značajkama korita na pojedinim dionicama, Sava je stoljećima pomicala svoje vlastito korito stvarajući široke meandre i rukavce. Uslijed potreba za uređenjem zemljišta u zaobaljima poradi ubranog demografskog i gospodarskog razvika, na slivu i koritu Save su tijekom čitavog dvadesetog stoljeća s manjim ili većim intenzitetom obavljana različita antropogena djelovanja. Ona su poticala erozijski proces u riječnom koritu kod Zagreba (sl. 1) koji je krajem sedamdesetih značajno intenziviran i koji izravno utječe na snižavanje razina podzemne vode u zaobalji-

ma (BONACCI & TRNINIĆ, 1986). Cilj ovog rada je opisati problem, ukazati na njegove uzroke i štetne posljedice, te predložiti najpovoljnije rješenje.

2. MOGUĆI UZROCI EROZIJE KORITA ALUVIJALNOG VODOTOKA

Nepoželjne posljedice različitih antropogenih djelovanja na slivu i vodotoku koje utječu na eroziju korita aluvijalnog vodotoka su povećane vučne sile na dnu, smanjen donos nanosnog materijala sa sliva u vodotok i/ili devastirano korito na pojedinim lokacijama uslijed prekomjerne eksploatacije riječnog nanosa.

Povećanjem vučnih sila iznad njihovih kritičnih vrijednosti za pojedine veličine zrna dolazi do pokretanja zrnatog materijala na dnu vodotoka, a time i do usijecanja korita. Takva pojava u prirodnom vodotoku nastaje uslijed povećanja uzdužnog pada dna i/ili uslijed povećanja hidrauličkih polumjera poprečnih presjeka. Uzdužni nagibi dna vodotoka na pojedinim dionicama povećavaju se prokapanjima meandara, a hidraulički polumjeri suženjima protočnih presjeka regulacijskim gradvinama za male i srednje vode, te obrambenim nasipima za velike vode. Sustavnim gradnjem obrambenih nasipa duž vodotoka onemogućuje se zadržavanje dijela volumena velikih vodnih valova u zaobaljima čime se povećavaju maksimalni protoci što također utječe na povećanje hidrauličkih polumjera.



Sl. 2 Vremenski nizovi minimalnih godišnjih vodostaja Save kod Zagreba.

Fig. 2 Time series of minimum annual water levels on the Sava River near Zagreb.

cama. Do danas je ukupno realizirano oko 40% planiranih radova čime je grad Zagreb učinkovito zaštićen od 1.000-godišnje velike vode, a potpunim dovršenjem planiranoga sustava osigurati će se adekvatna obrana od poplava i na svim ostalim područjima uz Savu do Stare Gradiške, te uz Kupu od karlovačke regije do ušća u Savu. Regulacijski radovi na Savi danas su u potpunosti dovršeni na dionici od Podsuseda do Ivanje Reke, a na ostalim dionicama uzvodno i nizvodno od Zagreba izvedeni su samo djelomično. Obrambeni nasipi danas su izgrađeni duž čitavog toka Save nizvodno od Krškog, osim na dionici između hrvatsko-slovenske granice i Podsuseda na kojoj je njihova izgradnja planirana u okviru realizacije višenamjenskog sustava HE Podsused. Na mnogim dionicama nizvodno od Zagreba izgrađeni nasipi ne omogućuju adekvatnu zaštitu od poplavlivanja, pa ih je potrebno nadvisiti.

Eksploatacije šljunka iz savskog korita na širem zagrebačkom području obavljane su tijekom čitavog dvadesetog stoljeća, a posebno su bile intenzivne tijekom razdoblja od 1977. do 1980. godine zbog potreba cestogradnje. Uslijed njihovog značajnog utjecaja na erozijski proces u riječnom koritu, u drugoj su polovici devedesetih uglavnom obustavljene. Šljunak se eksploatira i na uzvodnim dionicama Save u Sloveniji, ali precizniji podaci o tome nisu raspoloživi.

Tijekom posljednjih tridesetak godina na Savi u Sloveniji je izgrađeno nekoliko hidroelektrana s manjim akumulacijskim jezerima (HE Moste, HE Mavčiče, HE Medvode i HE Vrhovo), a u blizini NE Krško

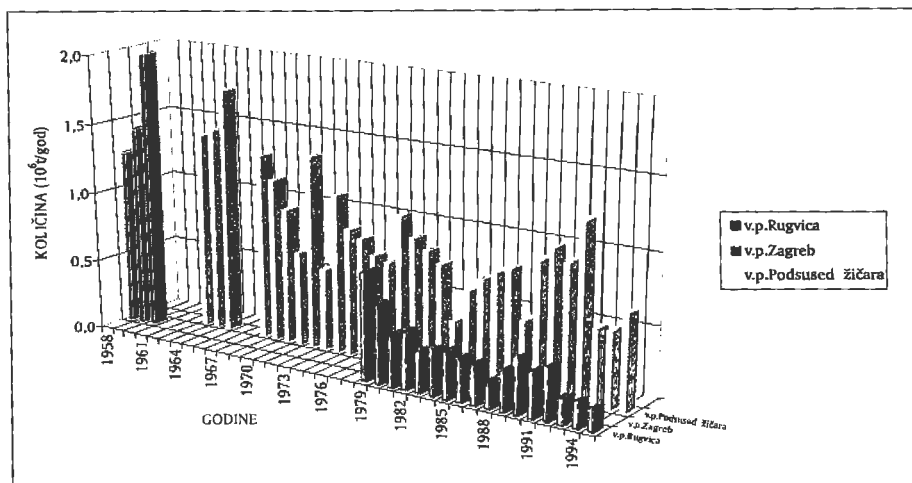
izgrađena je brana za potrebe osiguranja dovoljnih količina rashladne vode. Na savskom slivu vršeni su mnogobrojni protuerozijski radovi, a izgrađeno je i nekoliko manjih akumulacijskih jezera na pritocima Save.

Erozijski proces u savskom koritu na području Zagreba izazvao je poremećaje u nesmetanoj opskrbi Termoelektrane - toplane Zagreb (TE - TO) rashladnom vodom, pa je stoga tijekom osamdesetih postupno izgrađen sustav podvodnih regulacijskih pragova kojima su ti poremećaji otklonjeni (BIONDIĆ et al., 1999).

4. ZNAČAJKE EROZIJSKOG PROCESA U SAVSKOM KORITU KOD ZAGREBA

Tijek erozijskog procesa u savskom koritu na užem gradskom području jasno je uočljiv na vremenskom nizu minimalnih godišnjih vodostaja zabilježenih na lokaciji vodomjerne postaje Zagreb (sl. 2).

U razdoblju između 1899. i 1915. godine na Savi kod Zagreba obavljani su brojni regulacijski radovi koji su potaknuli erozijski proces u riječnom koritu. Podaci o vodostajima iz tog razdoblja nisu raspoloživi u Banci hidroloških podataka Državnog hidrometeorološkog zavoda, ali je prema starijim zapisima utvrđeno da su minimalni godišnji vodostaji Save na lokaciji v.p. Zagreb između 1900. i 1905. godine sniženi za oko 0,5 m (VUJASINOVIĆ, 1999). Nakon 1915. pa sve do 1937. godine nije se gotovo ništa gradilo, a postojeće regulacijske i zaštitne vodne građevine slabo su održavane pa ih



Sl. 3 Vremenski nizovi ukupnih godišnjih pronosa lebdećeg nanosa na Savi kod Zagreba.

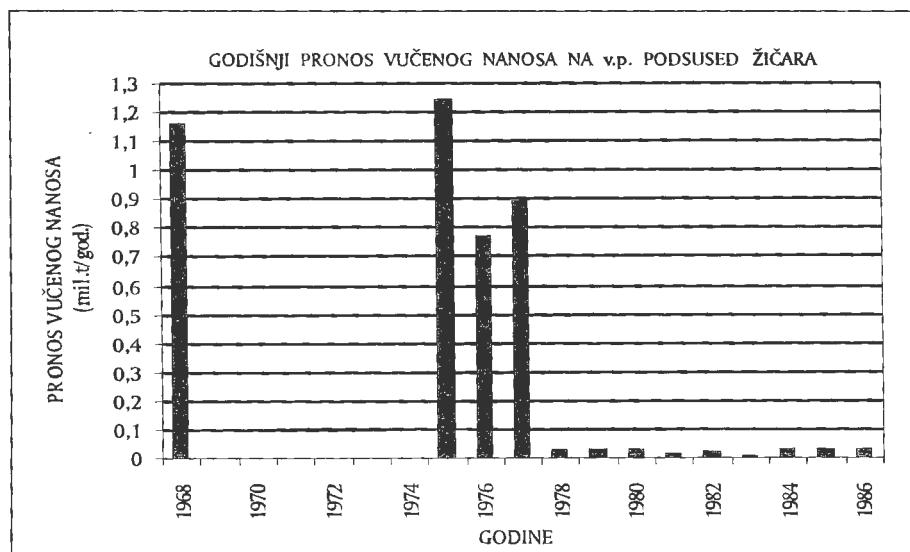
Fig. 3 Time series of annual suspended sediment loads on the Sava River near Zagreb.

je Sava znatno oštećivala. Vremenski niz minimalnih godišnjih vodostaja zabilježenih na v.p. Zagreb stoga je u tom razdoblju imao blagi pozitivni trend. Ponovnim intenziviranjem regulacijskih radova u razdoblju od 1937. do 1941. godine i početkom značajnijih eksploatacija šljunka iz riječnog korita nakon 1938., savsko se dno nakon 1937. godine ponovno počelo usijecati, što je trajalo sve do 1947. godine. Potpuni prestanak regulacijskih radova nakon 1941. godine, slabo održavanje ranije izvedenih regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina, te eksploatacije šljunka iz korita u manjim količinama od donosa vučenog nanosa sa uzvodnih dijelova sliva razlog su ponovnom pozitivnom trendu vremenskog niza minimalnih godišnjih vodostaja na v.p. Zagreb u razdoblju od 1947. do 1965. godine. Obnavljanjem regulacijskih radova nakon 1965. godine riječno se dno ponovno počelo postupno usijecati, a intenzitet eroziji-

skog procesa naglo se povećao 1977. godine kao posljedica prekomjernih eksploatacija šljunka iz riječnog korita zbog potreba cestogradnje. Krajem sedamdesetih započela su značajna snižavanja minimalnih godišnjih vodostaja i na ostalim vodomjernim postajama Save kod Zagreba.

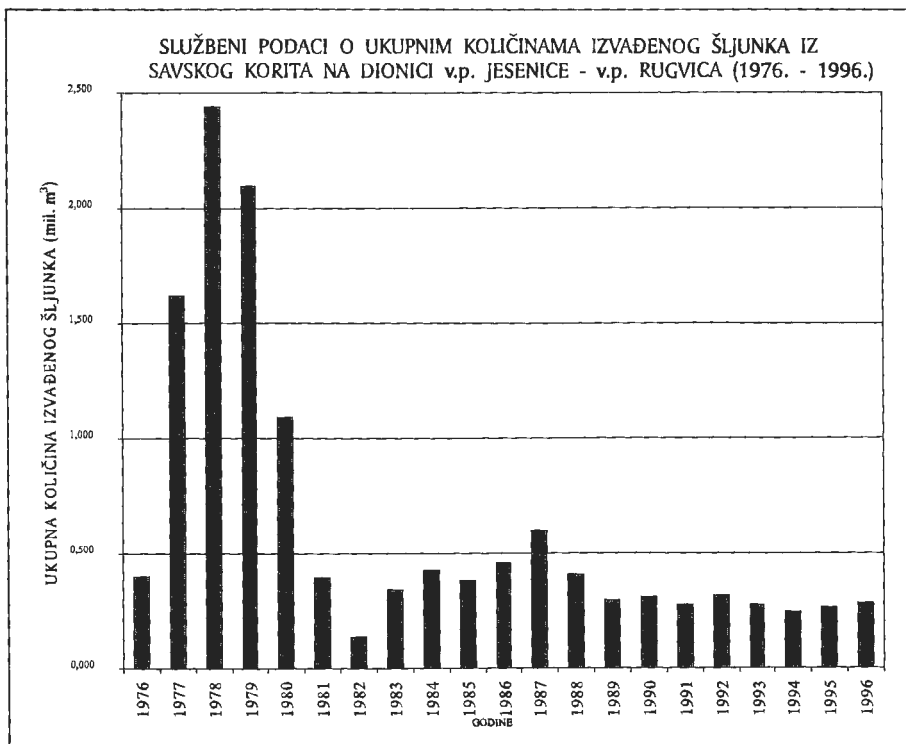
Analize trendova su pokazale da su prosječna godišnja snižavanja minimalnih godišnjih vodostaja u razdoblju od 1980. do 1995. godine iznosila 11,2 cm na lokaciji v.p. Podsused - Žičara, 10,2 cm na lokaciji v.p. Zagreb, 11,3 cm na lokaciji v.p. Kosnica (sl. 2) i 6,6 cm na lokaciji v.p. Rugvica. Na lokaciji v.p. Bundek vremenski niz minimalnih godišnjih vodostaja nakon 1989. godine ima pozitivan trend (sl. 2) uslijed uspornih utjecaja pragova kod TE - TO Zagreb.

Svakodnevna mjerenja pronosa lebdećeg nanosa na Savi kod Zagreba obavljaju se kod Podsuseda od 1963.



Sl. 4 Vremenski niz ukupnih godišnjih pronosa vučenog nanosa na Savi kod Podsuseda.

Fig. 4 Time series of annual bed load transports on the Sava River in Podsused.



Sl. 5 Vremenski niz ukupnih godišnjih količina izvađenog šljunka iz savskog korita.

Fig. 5 Time series of total annual quantities of gravel exploitations from the Sava riverbed.

i kod Rugvice od 1979. godine, a u razdoblju od 1958. do 1960. obavljana su i na lokaciji v.p. Zagreb (sl. 3). Analize raspoloživih vremenskih nizova ukupnih godišnjih pronosa jasno ukazuju na postupno smanjenje donosa lebdećeg nanosa s uzvodnih dijelova sliva.

Mjerenja pronosa vučenog nanosa na Savi obavljana su samo kod Podsuseda i to tijekom razdoblja od 1968. do 1986. godine (sl. 4). Izmjereni podaci pokazuju da su prosječni ukupni godišnji pronosi vučenog nanosa u razdoblju od 1978. do 1986. godine bili za oko 40 puta manji nego ranije. Usprikoš svim teškoćama i nepouzdanostima u mjerenjima, jasno je da su se značajne i nagle promjene u pronosu vučenog nanosa u Savi kod Podsuseda ipak dogodile i to iste godine kada su započele enormne eksploatacije šljunka iz riječnog korita. Temeļjem navedenih činjenica nameće se zaključak da je pojava značajnog i naglog smanjenja pronosa vučenog nanosa u Podsusedu izravno povezana s prekomjernim eksploatacijama šljunka iz uzvodnog korita. Vučeni nanos kojeg je rijeka donosila s uzvodnih dijelova sliva postupno se taložio u iskopanim jamama na riječnom dnu, pa su se nizvodno od tih jama mogle pronositi samo one količine nanosa koje su nastajale uslijed lokalnog izjedanja korita. Ostale antropogene aktivnosti kao što su građenja brana i akumulacijskih jezera, te protuerozijski radovi na uzvodnim dijelovima sliva također su utjecale na smanjenje donosa vučenog nanosa, ali nisu mogle izazvati tako nagle i drastične promjene.

Tijekom razdoblja od 1977. do 1980. godine ukupno je prema službenim podacima iz savskog korita na dionici između slovenske granice i Rugvice (sl. 5) izvađeno oko 7,249.000 m³ šljunka (KRATOFIL, 1996), što

znači da bi i uz najvjerojatnije precijenjenu pretpostavku o prosječnom godišnjem donosu vučenog nanosa Savom od oko 500.000 m³ (SREBRENOVIĆ, 1984) bilo potrebno gotovo petnaestak godina da se sve iskopane jame u riječnom koritu na širem području Zagreba ponovno zapune šljunkom, i to uz uvjet da su daljnje eksploatacije šljunka iz riječnog korita odmah bile potpuno obustavljene. Nažalost nakon devastiranja riječnog korita početkom osamdesetih, eksploatacije nisu prestale nego se do 1996. godine i dalje prema službenim podacima prosječno eksploatiralo oko 350.000 m³ šljunka godišnje, a stvarne količine izvađenog materijala najvjerojatnije su bile još i veće.

5. ZAKLJUČAK

Usporedbe vremenskog slijeda različitih antropogenih djelovanja na koritu i slivu Save s vremenskim nizovima minimalnih godišnjih vodostaja izmjerenih na vodomjernim postajama na Savi kod Zagreba jasno pokazuju da su intenzivni morfološki procesi u savskom koritu kod Zagreba sve do kraja sedamdesetih isključivo nastajali kao posljedica lokalnih regulacijskih radova. U razdobljima kada su takvi radovi bili vrlo intenzivni riječno se korito spuštalo, a u razdobljima kada se nisu obavljali i kada se izvedene vodne građevine nisu adekvatno održavale ono se izdizalo. Eksploatacije šljunka iz riječnog korita u tom su razdoblju uglavnom bile manje od donosa riječnog nanosa s uzvodnih dijelova sliva.

U razdoblju između 1977. i 1980. godine iz savskog su korita na dionici između slovenske granice i Rugvice

izvađene enormne količine šljunka za potrebe cestogradnje. Takve prekomjerne eksploatacije značajno su intenzivirale ranije započeti erozijski proces u riječnom koritu potaknut opsežnim regulacijskim radovima obavljanim nakon poplave iz 1964. godine.

Osim lokalnih regulacija i prekomjernih eksploatacija šljunka iz riječnog korita na širem zagrebačkom području, na erozijski proces u savskom koritu kod Zagreba u znatno su manjoj mjeri utjecala i ostala antropogena djelovanja na uzvodnim dijelovima savskog sliva, kao što su građenja akumulacijskih jezera, protuerozijski radovi, eksploatacije šljunka iz riječnog korita, regulacije korita i građenja obrambenih nasipa. Utjecaj tih djelovanja evidentan je kroz postupno smanjenje pronosa lebdećeg nanosa. Iako su različita antropogena djelovanja na uzvodnim dijelovima savskog sliva sasvim sigurno utjecala i na smanjenje donosa vučenog nanosa, drastično smanjenje pronosa vučenog nanosa kod Podsuseda nakon 1978. godine jedino se može povezati s prekomjernim eksploatacijama šljunka iz riječnog korita koje su obavljane tijekom razdoblja između 1977. i 1980. godine.

Obustavom prekomjernih eksploatacija šljunka iz savskog korita u drugoj polovici devedesetih i potpunim završetkom regulacijskih radova na području Zagreba opravdano se može očekivati da će se intenzitet usjecanja riječnog korita postupno smanjivati. Najpovoljnije rješenje za trajno zaustavljanje tog procesa je građenje planiranoga višenamjenskog sustava pribranskih hidroelektrana s dovoljno širokim otvorima na branama i niskim preljevnim pragovima, a kojeg bi po mogućnosti trebalo graditi od najnižvodnije prema najuzvodnijoj lokaciji. U tom bi se slučaju čitav tok Save kod Zagreba našao pod usporom i time bi se u potpunosti stabiliziralo riječno dno.

6. LITERATURA

- BIONDIĆ, D., PETRIČEC, M. & HATIĆ, Đ. (1999): Regulacijski pragovi u Savi kod TE-TO, Zagreb.- U: GEREŠ, D. (ur.): Zbornik radova 2. Hrvatske konferencije o vodama, 653-659, Dubrovnik.
- BONACCI, O. & TRNINIĆ, D. (1986): Analiza uzroka i prognoza promjena vodostaja Save i nivoa podzemnih voda u okolici Zagreba.- *Vodoprivreda*, 18/2-3, 95-101, Beograd.
- KRATOFIL, L. (1996): Analiza utjecaja morfoloških promjena u koritu Save na stanje vodnih nivoa i kapacitiranje distribucijskih objekata.- Neobjavljeno, Fond stručne dokumentacije Hrvatske vode, Zagreb.
- PILAR, M., BRAUN, M. & BRUNDIĆ, D. (1994): Poplava Zagreba pri pojavi velike vode Save u listopadu 1964. godine i stanje izgrađenosti zaštitnog sustava danas.- *Hrvatske vode*, 2/7, 443-453, Zagreb.
- SREBRENOVIĆ, D. (1984): Zagreb i njegova savska problematika.- *Hrvatske vode*, 2/7, 495-501, Zagreb.
- VUJASINOVIĆ, B. (1999): 100. obljetnica početka radova na izvedbi regulacije Save na području Zagreba.- *Hrvatske vode*, 7/28, 323-338, Zagreb.



Litostratigrafski sastav ležišta Bukova Glava i Vranović tvornice cementa Našicecement d.d.

Lithostratigraphic System of Bukova Glava and Vranović,
Cement Factory Beds of Našicecement d.d.

Željko BORTEK & Božidar PODUNAVAC

Ključne riječi: litostratigrafija, vapnenac-lapor, glinoviti pijesak.

Key words: Lithostratigraphy, Limestone-marl, Clayey sand.

Sažetak

Prigrorska krndijska ležišta sirovina za cementnu industriju uvjetovana su pojavom klastičnih i vapnenačkih naslaga srednjemiocenske starosti i glinovitim pijeskom pleistocenske starosti koji se u obliku vijenca naslanja na osnovno paleozojsko gorje Krndije. U ovom izlaganju ukratko će se prikazati geološka građa sjeveroistočnog pobočja Krndije, podaci o geološkom istraživanju površinskih kopova Bukova Glava i Vranović i osvrnuti na potencijalne rezerve mineralnih sirovina kao osnovice za intenzivno korištenje raspoloživih resursa u proizvodnji klinkera i cementa.

Abstract

Raw material beds from the foothill region of the Krndija mountain are stipulated by appearance of Miocene clastic and limestone beds, and Pleistocene clayish sand, and leans like a wreath against the basic Paleozoic Krndija mountain. During this exposition we will briefly present the geological structure of the north-eastern side of the Krndija mountain, some facts about researches of strip-mining of Bukova Glava and Vranović, and retrospection on some accumulative raw material potentials as a base for active use of disposable resources in producing clinker and cement.

1. UVOD

Područje koje u geološkom smislu uvjetuje pojavljivanja sirovina nalazi se na krajnjim sjeveroistočnim padinama Krndije (BORTEK, 1997). Izgrađuju ga različite stijene prekambrijske i neogenske starosti.

Paleozoik - prekambrij (temeljno gorje), Pz pripada metamorfnom kompleksu. U razmatranom području najzastupljeniji su različiti varijeteti gnajseva s lećama amfibolita i granitoidnih stijena. Izgrađuju najveći dio razmatranog područja, a zanimljivi su u hidrogeološkom smislu.

Varijetei gnajsa međusobno se razlikuju po stupnju škrljavosti, boranosti, krupnoći zrna i količinskim odnosom pojedinih petrogenih minerala. Boje su uglavnom svijetlosive, tamnosive do zelenkaste. Najčešće su škrljave teksture koja je ponekad lamelarna ili okcasta. Glavni mineralni sastojci gnajseva su kvarc, kiseli plagioklas i biotit.

Amfiboliti, odnosno amfibolski škrljavci se pojavljuju kao leće debljine 10-20 m uložene u opisane gnaj-

seve. Generalno im je pružanje istok-zapad. Tamnozelene su boje, slabo izražene folijacije. Glavni je mineral amfibol te plagioklas i granat.

Granitoidne stijene se pojavljuju kao manje mase, leće ili žile. To su uglavnom kataklazirani i retrogradno izmijenjeni granitoidi svijetlosive boje. Uglavnom su u okolne gnajseve utisnuti diskordantno s folijacijom, a više ili manje su kataklazirane. Glavni mineralni sastojci su kvarc i kiseli plagioklas. Generalno pružanje leća je istok-zapad.

Regionalno gledano, opisane stijene koje čine podlogu neogenskom kompleksu (temeljno gorje), predstavljaju nepropusnu podinu vodonosnika badenske starosti koji leži preko njih transgresivno i diskordantno. Ipak, u hidrogeološkim razmatranjima treba istaknuti površinski dijelom razvijeni grusificirani pokrivač i pripovršinsku ispucalu zonu. U njima je nazočna cirkulacija pripovršinskih voda, koje gravitacijski teku prema rubnim, odnosno bazalnim dijelovima badenskog vodonosnika, te tako mogu kroz dulje vrijeme doprinostiti njegovom napajanju.

Naslage **badena**, M_2^2 predstavljene su konglomeratima, vapnencima, pješčenjacima i laporima. Nalazimo ih razvijene južno i jugozapadno od tvornice, gdje se protežu kao kontinuirani pojas. Transgresivno i diskordantno leže preko naprijed opisanog metamornog kompleksa.

Konglomerati, a ponekad i brečokonglomerati predstavljaju polimiktne taložine najbolje razvijene u bazalnom dijelu badena. Dominiraju često dobro zaobljene valutice škriljavih varijeteta metamornog niza povezano nerijetko bogatim kalcitnim vezivom ili usitnjenim biogenim detritusom. Osim često dobro razvijene primarne poroznosti u njima se susreće i sekundarna poroznost nastala disolucijskim procesima tj. otapanjem karbonatnog veziva. Ona je naročito dobro razvijena na samom kontaktu bazalnog dijela i grusificirane, često razlomljene metamorfne podloge.

Vapnenci, koji imaju značajan udio u badenskim sedimentima, predstavljeni su najčešće fosiliferim bioklastičnim vapnencima u izmjeni sa vapnovitim pješčenjacima. Sekundarna i primarna poroznost je također razvijena procesima otapanja uz brojne pukotine, dok je dominantna primarna poroznost u vapnovitim pješčenjacima. Na prijelazu u sarmat prevladavaju dobro uslojeni pjeskoviti i vapnoviti lapori.

Naslage badena u ovom području predstavljaju u hidrogeološkom smislu značajan vodonosnik iz kojega vode istječu prirodnim putem na više izvora ili su zahvaćene zdencima (kod lovačke kuće). Debljina prema geološkom zemljovidu list Našice iznosi 200-300 m, ali je u rubnom području znatno manja.

Naslage **sarmata**, M_1^1 u razmatranom su području zastupljene laporima i laporovitim vapnencima površinskog kopa Bukova Glava i zapadnoga dijela Vranovića. Nalaze se redovito uz naslage badena, na kojima slijede kontinuirano.

Lapori i laporoviti vapnenci su uvijek dobro uslojeni. Debljina im iznosi između 20 i 40 m. Treba istaknuti da u hidrogeološkom smislu predstavljaju nepropusnu krovinu badenskom vodonosniku.

Donji panon, $1M_3^2$ zastupljen je laporovitim vapnencima i pjeskovitim laporima, a slijedi konkordantno na naslagama sarmatske starosti. Ima veliko rasprostranjenje, a prati sarmatske naslage. Naslage donjeg panona su veoma dobro uslojene. Debljina im na površini doseže do 150 m. U hidrogeološkom smislu su vodonepropusne.

Naslage **gornjeg panona**, $2M_3^2$ predstavljene su svijetlim, skoro bijelim laporima (Vranović), a kontinuirano leže na donjem panonu. Široko su rasprostranjene u sjevernom i istočnom dijelu područja. Redovito su dobro uslojene, a u hidrogeološkom pogledu su nepropusne. Debljina im se procjenjuje na 100-150 m.

Pliocen, $Pl_{2,3}$ je predstavljen pijescima i glinama (Vranović, Zoljan-Grbavica). Dobro su uslojeni, a leže transgresivno i diskordantno preko starijih naslaga.

Kvartar, Q_{al} je zastupljen proluvijalnim i aluvijalnim nanosom koji je taložen u koritima vodotoka. Sastoji se od leća pijeska i šljunka uloženi u pjeskovito-glinoviti silt. Debljina ovih taložina ne prelazi nekoliko metara.

2. LEŽIŠTE BUKOVA GLAVA

Na površinskom kopu i ležištu Bukova Glava, zastupljeni su sedimenti badenske i sarmatske starosti. Razdvajanje sedimenta na osnovi starosti nije pouzdano određeno, tako da su granice određene temeljem litološkog sastava.

Stijenske mase se odlikuju velikom raznovršnošću i promjenjivošću u pogledu kemijskog i litološkog sastava, tako da su izdvojeni slijedeći litološki kompleksi:

- laporovite gline i lapori,
- laporovite gline i lapori u proslojavanju sa vapnencima,
- vapnenci (kalkruditi, kalkareniti i litotamnijski).

Laporovite gline i lapori su promjenljive debljine, od 5 do 10 m. Dominiraju laporovite gline, srednje do visoko plastične, po pravilu degradirane i mekane (hidroskopne). Boje su žute i žutomrke. Na jezgri istražnih bušotina kao i na otvorenim profilima konstatirani su mehanički diskontinuiteti sa tragovima tektonskog kretanja. Ovi lapori su uglavnom masivne teksture, rjeđe tankoslojeviti.

Laporovite gline i lapori u proslojavanju sa vapnencima su promjenljive debljine, maksimalno do 28 m. Kontakti laporovitih gline i vapnenca predstavljaju mehaničke diskontinuitete, često i sa tragovima smicanja.

Vapnenci su u pogledu litološke zastupljenosti u ležištu najdominantniji. Uglavnom su to kalkruditi, kalkareniti i litotamnijski vapnenci, maksimalne debljine 50-60 m. U sjeveroistočnom dijelu kopa debljina im je 45 m. U središnjem dijelu kopa debljina im je 20 m do 30 m, a na zapadnom dijelu do 19 m. Najzastupljeniji su litotamnijski vapnenci koji se nalaze u dubljim dijelovima ležišta, a rjeđe manji proslojci i leće kalkrudita i vapnenca koji prate zone rasjeda. Vapnenci su masivne teksture, rjeđe slojevite.

Generalni položaj slojeva je prema jugu (200 do 230° sa kutom nagiba do 25°). Vapnenci su ispucali, s čestim pukotinama ispunjenim kristaliziranim kalcitom i limonitom kao posljedicom kretanja površinskih i podzemnih voda. Česte su pukotine ravnih i glatkih zidova sa tragovima smicanja. Uglavnom su to čvrste i kompaktne stijene.

Tektonski sklop ležišta je složen, što znatno otežava eksploataciju. Osnovna je karakteristika postojanje longitudinalnih i transverzalnih rasjeda s obzirom na njihov položaj prema glavnom rasjedu u dolini Crnog Potoka. Duž tih rasjeda dolazilo je do gravitacijskog spuštanja blokova, pri čemu su skokovi bili u granicama od 5 do 30 m.

3. LEŽIŠTE VRANOVIĆ

Na površinskom kopu i ležištu Vranović, izdvojeni su glinovito-pjeskoviti sedimenti u krovini ležišta i sedimenti laporovitih vapnenaca.

Naslage pliocenske starosti zastupljene su u sjevernom i zapadnom dijelu lokaliteta. Uglavnom su izgrađene od glinovitog pijeska i siltoznih tinjčastih pijesaka.

Slabo zaglinjeni pijesci su sitnozmatni, tinjčasti, siltozni, crvenkastožute boje (*Croatica naslage*), slabo stratiificirani. Promjenljive su debljine, najveće u istočnom dijelu ležišta (od 6 do 16 m). U srednjem dijelu ležišta pijesci se pojavljuju u obliku leća i manjih proslojaka, a na krajnjem zapadu pijesci potpuno izostaju. Unutar ovih naslaga pojavljuju se proslojci slaboveznog pješčenjaka i pjeskovitih lapora.

Pjeskovite gline najčešće se pojavljuju u vidu leća ili proslojaka. Heterogenog su sastava, a ovisno o sadržaju silicija javlja se niz varijanti među kojima dominiraju glinoviti pijesci. Boje su promjenljive, u površinskom dijelu ležišta žutomrke (uslijed procesa kemijskih izmjena), a u dubljim dijelovima smeđe boje. Debljina sloja varira od par milimetara do 27 m. Takove promjene rezultat su uvjeta sedimentacije u priobalnom području bazena.

Gornji miocen je sastavljen od kompleksa lapora, laporovitih glina, laporovitih vapnenaca i vapnenaca.

Laporovite gline se nalaze u čitavom ležištu Vranović. Slojevi su nagnuti prema sjeveroistoku, pod kutem od 20°. Debljina sloja je promjenljiva u intervalu od 10 m do 20 m. Masivne je teksture. U krovinskom dijelu ležišta, a na kontaktu s glinovitim pijeskom uslijed djelovanja voda mijenjaju se u smeđe lapore sa skramama limonita. U ovoj litološkoj sredini konstatirani su rijetki mehanički diskontinuiteti (tenzijske pukotine).

Laporoviti vapnenci se međusobno proslojavaju sa laporovitim glinama. Uglavnom dominiraju sivi laporoviti vapnenci masivne teksture. Činjenica je da su glinoviti lapori hidroskopski sa vlagom i iznad 25%. Slojevi su debljine od 40 cm do 3 m.

Utvrđena su četiri rasjeda sa skokom od 3 do 10 m. Rasjedi su transverzalni u odnosu na glavni rasjed duž Crnog Potoka. Najznačajnije je da su svi ti rasjedi nosioci podzemnih voda, što bi trebalo biti predmet izučavanja u budućnosti.

4. JALOVINA

Jalovinski pokrivač je glinovito-pjeskoviti sediment debljine od 0.3 do 10 m, koji se prostire preko cijelog ležišta Bukova Glava-Vranović. Jalovina je sivo-crne boje, jako zaglinjena, primjećuju se ostaci bilja i korijenja, masna je opipa i hidroskopska, a zbog povišenog sadržaja štetnih spojeva (Na_2O , K_2O , SO_3) se ne koristi u tehnološkoj proizvodnji klinkera.

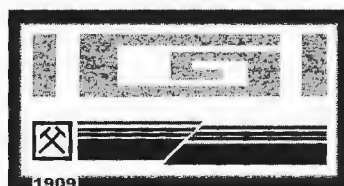
5. ZAKLJUČAK

Geološki i genetski čimbenik obuhvaća sve direktne i indirektno elemente koji definiraju zakonomjernost geološkog pojavljivanja ležišta određenih fizičko-mehaničkih svojstava, kemijsko-mineraloškog sastava, morfoloških karakteristika i prostornog položaja u određenoj mineralogenetskoj jedinici.

U ležištu Bukova Glava i Vranović su izdvojeni slijedeći litološki kompleksi: laporovite gline i lapori, lapori sa proslojcima vapnenaca, vapnenci (kalkruditi, kalkareniti i litotamnijski) i u ležištu Vranović slabo zaglinjeni pijesci, pjeskovite gline, mineralne sirovine koje se koriste u proizvodnji klinkera - cementa.

6. LITERATURA

- BORTEK, Ž. (1997): Elaborat o obnovi rezervi mineralnih sirovina za proizvodnju cementa u eksploatacijskom polju Bukova Glava i Vranović.- Fond stručne dokumentacije Našicecement d.d., Našice.





Hidrogeološki uvjeti aluvijalnog vodonosnika u dolini Orljave

Hydrogeological Conditions of the Alluvial Aquifer in the Orljava Valley

Željka BRKIĆ & Ozren LARVA

Ključne riječi: aluvijalni vodonosnik, hidraulička vodljivost, rubni uvjeti, kakvoća podzemne vode.

Key words: Alluvial aquifer, Hydraulic conductivity, Boundary conditions, Groundwater quality.

Sažetak

Aluvijalni vodonosnik rijeke Orljave na području Požege predstavlja jedan od glavnih izvora vodoopskrbe, jer se iz nje osigurava oko 60% opskrbe vodom. Za potrebe javne vodoopskrbe zahvaćen je na dva crpilišta, dok ostala još uvijek nisu u pogonu iako je jedno od njih priključeno na vodoopskrbni sustav. Razlog tome je što u podzemnoj vodi postoji visoka koncentracija željeza i mangana. Crpljenjem je ustanovljeno da je željezo moguće prirodno ukloniti iz vode, no mangan pokazuje znatnu promjenljivost koncentracija koje će u budućoj eksploataciji varirati ovisno o režimu rada pojedinih zdenaca i cijelog crpilišta.

Iako je vodonosnik izrazito propustan, vrijednosti hidrauličke vodljivosti koje su procijenjene prilikom izvedbe zdenaca u Lukama su precijenjene. Kalibracija pokusnog crpljenja pokazala je da one iznose 1.7×10^{-3} - 3.5×10^{-3} m/s, kao i na crpilištu Zapadno polje. U svakom slučaju, istraživanja pokazuju da on predstavlja značajan izvor vodoopskrbe. Međutim, veći problem predstavlja njegova zaštita jer se zdenaci nalaze na lokacijama koje je teško štititi od brojnih potencijalnih onečišćivača.

Abstract

The Orljava river alluvial aquifer in the Požega region represents one of the major sources for public water supply, because 60% of water supply is covered by extraction from this aquifer. For public supply, the water is extracted at two pumping sites, while others are still out of function. One of these has already been connected to public water supply system. The reason for this is that the increased concentrations of Fe and Mn occur in the water. The feasibility of Fe removal by water extraction has been proven. Manganese, on the other hand, has shown a great amount of variability in concentration which, in the future exploitation period, will vary depending on the pumping rate of each well and whole pumping site.

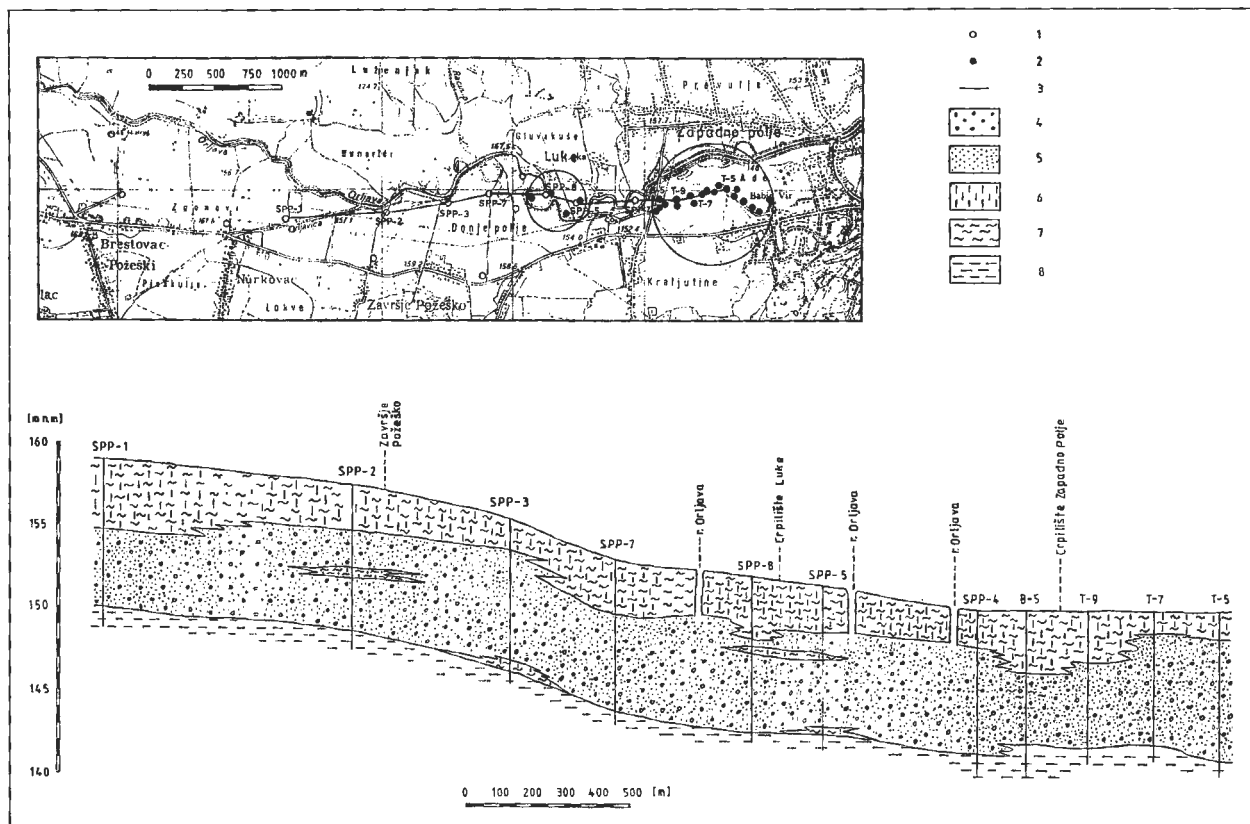
Despite high permeability of the aquifer, hydraulic conductivity values assessed, during the construction of wells at the pumping site Luke, are overestimated. Pumping test calibration hydraulic conductivity values range from 1.7×10^{-3} - 3.5×10^{-3} m/s, which corresponds with the values obtained at pumping site Zapadno polje. Nevertheless, exploration has shown that the aquifer represents significant water supply source. However, the protection of the pumping sites is a problem, because of their location in the vicinity of numerous potential pollution sources.

UVOD

Požeška kotlina predstavlja morfološku cjelinu u kojoj je podzemna voda akumulirana u različitim vrstama stijena: aluvijalnom nanosu rijeke Orljave, trijaskim dolomitima, miocenskim pijescima, vapnencima, pješčenjacima i konglomeratima, te proluvijalnim pjeskovito-šljunkovitim naslagama. Za potrebe javne vodoopskrbe ovog područja zahvaćeni su izvori u trijaskim dolomitima i aluvijalni vodonosnik u dolini Orljave. Vodne zalihe u njima ovise o hidrološkim prilikama, tako da se obiljem vode odlikuju kišna razdoblja godine, dok se u sušnim dijelovima godine osjeća nestašica vode. Međutim, svi istraživači zaključuju da su u vodo-

nosnicima ipak akumulirane značajne količine podzemne vode, koje su po svom položaju, količini i kakvoći pogodne za zahvat (URUMOVIĆ et al., 1982, 1994; MRAZ & BRKIĆ, 1996).

U skladu s prirodnim vodnim režimom i režim opskrbe vodom s postojećih crpilišta/izvorišta uvjetovan je hidrološkim prilikama. U kišnom razdoblju godine, najveća količina vode dobiva se iz izvora Veličanke i Stražemanke iz trijaskog karbonatnog vodonosnika na Papuku, čije ukupne izdašnosti padnu s oko 150 l/s u kišnom dijelu godine na oko 70 l/s u sušnom razdoblju. U takvim uvjetima, najveća količina podzemne vode tijekom ljetnih mjeseci crpi se sa crpilišta Zapadno polje iz aluvijalnog vodonosnika, a doseže oko 75 l/s. S



Sl. 1 Litološki profil aluvijalnog vodonosnika. Tumač oznaka: 1) strukturno-piezometarska bušotina; 2) zdenac; 3) linija profila; 4) šljunak; 5) pijesak; 6) prah; 7) glina; 8) lapor.

Fig. 1 The lithological cross-section of the alluvial aquifer. Legend: 1) observation borehole; 2) well; 3) line of cross-section; 4) gravel; 5) sand; 6) silt; 7) clay; 8) marl.

ciljem povećanja crpnih količina u sušnim dijelovima godine, u aluvijalnom vodonosniku izvedena su hidrogeološka istraživanja na još dvije lokacije: u Lukama, zapadno od crpilišta Zapadno polje, ali na lijevoj obali Orpljeve, te u Veseloj kod Pleternice. Provedenim istraživanjima polučeni su rezultati koji upućuju da se radi o količinama podzemne vode koje imaju značajnu ulogu za razvitak vodoopskrbnog sustava. Međutim, veći problem predstavlja povećana koncentracija mangana u prirodnoj vodi, te ugroženost od mogućeg onečišćenja.

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Aluvijalni vodonosnik rijeke Orpljeve formiran je unutar njezine doline širine 1 do 1,5 km. Zahvaćen je na pet lokacija na širem području grada Požege i Pleternice. Od toga se na dva crpilišta, Zapadno polje i Vidovci, oba na desnoj obali Orpljeve, crpljenje podzemne vode odvija već više desetaka godina, dok se u Lukama, uzvodno od postojećeg Zapadnog polja na lijevoj obali Orpljeve, i u Veseloj kod Pleternice podzemna voda još uvijek ne crpi.

Vodonosnik se sastoji od sitno do krupnozrnatog šljunka s primjesama pijeska. Efektivni promjer zrna (d_{10}) uglavnom varira između 0,18 i 0,3 mm, a doseže i 0,6 mm. Prema vrijednostima koeficijentata sortiranosti

ovih nevezanih sedimenata oni pripadaju naslagama prilično loše sortiranosti. Debljina vodonosnika je između 4 i 6 m (sl. 1). Uzvodno od zapadnog crpilišta vodonosnik je nagnut i slijedi nagib korita Orpljeve, a nizvodno od Požege, taj je nagib znatno manji. Iznad vodonosnika nalazi se glinovito-prašnasti sloj debljine od 2 do oko 5 m u području crpilišta, dok su nešto veći iznosi uz rubove aluviona. Uz rijeku Orpljevu debljine pokrovnog sloja smanjuju se ispod 2 m. Podina vodonosnika je sastavljena od miocenskih lapora i laporovitih glina.

Vrijednosti hidrogeoloških parametara vodonosnika određivane su temeljem pokusnih crpljenja na lokacijama spomenutih crpilišta. U tablici 1 prikazane su vrijednosti hidrauličke vodljivosti, K , vodonosnika prema ranije načinjenim vodoistražnim radovima. Kao što se zapaža, utvrđene vrijednosti hidrauličke vodljivosti nalaze se u vrlo širokom rasponu. Naime, prema interpretaciji pokusnih crpljenja zdenaca Z-2 i Z-4 na Lukama, K je određen u iznosima od 0,0104 i 0,0114 m/s. Međutim, prema reinterpetiranim vrijednostima na temelju provedene kalibracije pokusnih crpljenja pomoću matematičkog modela zaključuje se da su ove vrijednosti K znatno precijenjene, te da se one nalaze u rasponu 1.7×10^{-3} - 3.5×10^{-3} m/s, kao i na Zapadnom polju (BRKIĆ & LARVA, 1999) (sl. 2). Idući prema rubovima aluviona hidraulička vodljivost vodonosnika je i manja

Crpilište	Prosječna hidraulička vodljivost K (m/s)
Zapadno polje	$1,85 \times 10^{-3} - 3,36 \times 10^{-3}$
Vidovci	4×10^{-3}
Luke	$1,16 \times 10^{-3} - 1,14 \times 10^{-2}$
Vesela (d.o. Orłjave)	$1,5 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3}$
Vesela (l.o. Orłjave)	$5,1 \times 10^{-4} - 1,3 \times 10^{-3}$

Tablica 1 Vrijednosti prosječne hidrauličke vodljivosti vodonosnika dobivene pri izvedbi zdenaca.

Table 1 The average hydraulic conductivity values of the aquifer obtained during the wells construction.

zbog većeg sadržaja glinovito-prašiniastih materijala. Specifična izdašnost vodonosnika iznosi 0,1-0,15.

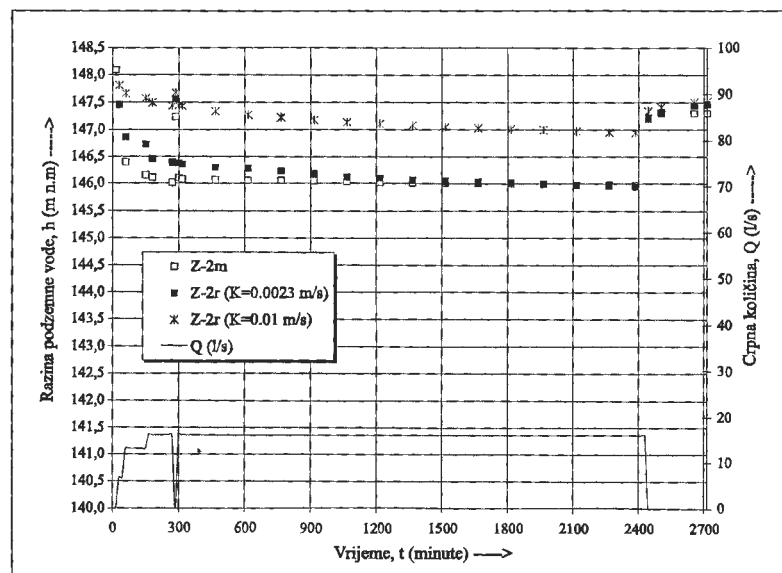
U zapadnom dijelu vodonosnik je sa slobodnom površinom jer se razina podzemne vode nalazi ispod pokrovnih naslaga pa je samo dio vodonosnika zasićen podzemnom vodom. Kod Pleternice vodonosnik je pod tlakom. Zasićenost vodonosnika ovisi o hidrološkim uvjetima, ali i o stvaranju konusa depresije prigodom crpljenja zdenaca. Smanjenjem saturirane debljine vodonosnika kod stvaranja konusa depresije pri crpljenju zdenaca dolazi i do smanjenja transmisivnosti vodonosnika, što izravno utječe na crpne količine.

Za hidrauličke uvjete značajno je da je korito rijeke Orłjave najvećim dijelom usječeno u vodonosnik. Napajanje vodonosnika odvija se procjeđivanjem iz Orłjave, a ono je posebno izraženo na crpilištu Zapadno polje, gdje crpljenje izaziva inducirano procjeđivanje.

Aluvijalni vodonosnik rijeke Orłjave predstavlja jedan od osnovnih izvora vodoopskrbe ovog područja, jer se iz njega osigurava oko 60% opskrbe vodom tijekom sušnog dijela godine. Provedenim istraživanjima polučena je srazmjerno dobra istraženost vodonosnika, međutim tek unazad dvije godine postoji kontinuirano praćenje režima rada crpilišta Zapadno polje, koje daje naj-

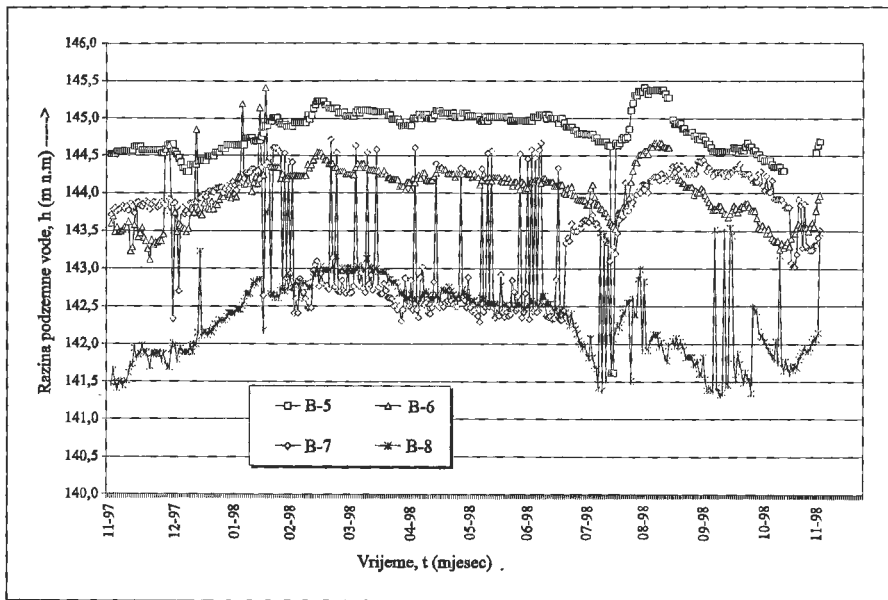
važnije podatke o eksploatabilnim mogućnostima vodonosnika. Razine podzemne vode na crpilištu pod utjecajem su crpnih količina i prirodne zasićenosti podzemlja vodom. Najveće količine vode crpe se u sušnom dijelu godine (70-75 l/s), u kojemu se bilježe i najniže crpne razine podzemne vode. Kada se crpke u zdencima iskopčaju, razine vode vrlo brzo rastu vraćajući se u početno stanje (sl. 3). Iako je ograničavajući uvjet crpnim količinama mala debljina vodonosnika, dotok iz Orłjave je važan element koji osigurava crpne količine.

Uzvodno od crpilišta Zapadno polje, ali na lijevoj obali rijeke Orłjave izgrađeno je crpilište Luke. Sastoji se od četiri zdenca u koje je ugrađena cijev i filter \varnothing 400 mm. Zdenci Z-2 i Z-4 su od Orłjave udaljeni oko 20 m, a zdenci Z-1 i Z-3 oko 50 m. Pokusna crpljenja zdenaca provedena su tijekom lipnja i srpnja 1995. godine (TUSIĆ, 1995). Na koncu pokusnog crpljenja sa stalnim crpnim količinama od 13,5 (Z-1), 16 (Z-2), 14,6 (Z-3) i 15 l/s (Z-4) sniženja razina podzemne vode iznosila su 2,13, 1,29, 1,78 i 0,99 m. Tom su prigodom izračunate i maksimalne dopuštene eksploatacijske izdašnosti zdenaca, Q_{max} . Pri tome su se kod proračuna dozvoljenih (kritičnih) ulaznih brzina u filter koristile izrazito visoke vrijednosti hidrauličke vodljivosti vodonosnika na zdencima Z-2 i Z-4 ($K = 0,01$ m/s), zbog čega su dobivene i visoke vrijednosti Q_{max} (31,9 i 33,4 l/s). Budući da su ovakve vrijednosti K precijenjene, zaključuje se da su vjerojatno precijenjene i ovakve crpne količine. U svakom slučaju crpilište Luke predstavlja značajan izvor vodoopskrbe Požege. Crpne količine ovisiti će o hidrološkim uvjetima, a tijekom crpljenja ostvarivati će se dotok iz Orłjave. Do koje će se mjere crpljenje u Lukama, u sušnom razdoblju godine odraziti na nizvodno crpilište Zapadno polje u konačnici će pokazati eksploatacija, budući da podaci neophodni za pouzdanu ocjenu (razine podzemne vode izvan neposrednog područja oba crpilišta, vodostaji Orłjave) nedostaju.



Sl. 2 Kalibracija pokusnog crpljenja zdenca Z-2 u Lukama. Tumač oznaka: m) mjereno; r) računato.

Fig. 2 Calibration of the pumping test for the well Z-2 at Luke. Legend: m) observed; r) calculated.



Sl. 3 Dnevne razine podzemne vode na crpilištu Zapadno polje.

Fig. 3 Daily groundwater levels at the Zapadno polje pumping site.

KAKVOĆA PODZEMNE VODE

U okviru proučavanja podzemne vode, njena je kakvoća od gotovo istog značaja kao i količine. Podzemna voda u aluvijalnom vodonosniku Orljave pripada CaHCO_3 tipu s pH 7-7,5. Na crpilištu Zapadno polje, na kojemu se crpljenje provodi već dugi niz godina, voda zadovoljava uvjete za piće. Kakvoća vode redovito se prati u laboratoriju, a voda se samo klorira prije upuštanja u vodoopskrbni sustav.

Međutim, tijekom izvedbe pokusno-eksploatacijskih zdenaca na lokacijama Luke i Vesela kod Pleternice, zapaženo je da u prirodnoj podzemnoj vodi postoje visoke koncentracije otopljenog željeza i mangana. Na crpilištu Luke željeza u podzemnoj vodi nema, međutim u vodi postoje visoke koncentracije otopljenog mangana. Crpilište je sredinom 1997. godine priključeno na vodoopskrbni sustav Požege, no prije puštanja u pogon ponovo je analizirana prirodna kakvoća podzemne vode i to samo na sumarnom uzorku vode, u kojemu je zabilježena izrazito visoka koncentracija mangana (tablica 2). Kemijska analiza vode ponovljena je nakon mjesec dana i tada se pokazala znatno niža koncentracija mangana, koja je bila tek nešto viša od maksimalno dozvoljene koncentracije za pitku vodu (MDK = 50 $\mu\text{g/l}$). Međutim, kod ponovljenih uzorkovanja ponovo su zabilježene visoke koncentracije mangana. Nakon toga je provedeno određivanje koncentracija mangana u podzemnoj vodi iz pojedinačnih zdenaca, koji su prije uzimanja uzoraka vode crpljeni od nekoliko sati do 4 dana. Rezultati kemijskih analiza pokazali su da se najveće koncentracije mangana nalaze u zdenacima Z-2 i Z-4. Nakon četverodnevnog kontinuiranog crpljenja zdenaca (03.11.1998.) zabilježene su znatno niže koncentracije mangana. Na zdenca Z-2 koncentracija mangana bila je gotovo dvostruko niža, no na zdenca Z-4, gdje je inače koncentracija mangana najveća, ovaj put je zabi-

lježena oko 20 puta manja, što u pitanje dovodi vjerodostojnost kemijskih analiza.

Na lokaciji Vesela kod Pleternice, na desnoj obali Orljave, crpljenje zdenaca je također ponovljeno, a trajalo je više od 80 sati, nakon čega su uzeti uzorci za kemijske analize. Zanimljivo je da su se koncentracije željeza znatno smanjile na sva tri zdenca Z-1, Z-2 i Z-3 i ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija u pitkoj vodi (MDK = 300 $\mu\text{g/l}$), dok koncentracije mangana i ovdje pokazuju znatnu promjenljivost (tablica 3).

Visoke koncentracije otopljenog željeza i mangana u podzemnoj vodi otkrivene su i na lijevoj obali rijeke Orljave u Veseloj kod Pleternice (TUSIĆ, 1999). Željezo uglavnom varira od 4500 do 6200 $\mu\text{g/l}$, dok se koncentracije mangana nalaze u rasponu 350-770 $\mu\text{g/l}$.

Temeljem provedenih analiza može se zaključiti da su visoke koncentracije željeza i mangana u prirodnoj podzemnoj vodi posljedica uvjeta taloženja. Međutim, važan utjecaj na promjene koncentracija ima dinamika podzemne vode, što znači da će u budućoj eksploataciji njihove koncentracije varirati ovisno o režimu rada pojedinih zdenaca i cijelog crpilišta. Budući da će se tijekom crpljenja ostvarivati dotok vode obogaćene kisikom, koncentracije željeza će se znatno smanjiti jer su za njegovo taloženje potrebne manje količine kisika nego za taloženje mangana, što pokazuju i ponovljena crpljenja u Veseloj na desnoj obali Orljave. Naime, da bi se ostvarila oksidacija mangana iz stanja Mn^{2+} , u kojemu se mangan nalazi otopljen u vodi, u stanje Mn^{4+} , u kojemu se taloži iz vode, u podzemnoj vodi s pH 7 potreban je redoks potencijal (Eh) od 0,6 volta, dok se oksidacija željeza iz stanja Fe^{2+} u stanje Fe^{3+} ostvaruje već kod Eh -0,1 volt (KRAUSKOPF, 1982).

Znatno veći problem predstavlja zaštita podzemne vode, budući da se crpilišta nalaze u naseljenim područjima okružena brojnim potencijalnim onečišćivačima: odvodnja otpadnih voda, prometnice, poljoprivredne

ZDENAC	Datum uzimanja uzorka podzemne vode						
	1995.	28.07.98.	18.08.98.	07.09.98.	23.09.98.	28.10.98.	03.11.98
Z-1	150,0	-	-	-	87,6	172,0	79,5
Z-2	550,0	-	-	-	439,0	440,0	254,8
Z-3	-	-	-	-	19,4	75,0	13,7
Z-4	1250,0	-	-	-	765,0	770,0	36,0
SUMARNO		438,9	53,2	223,2	395,0	256,0	20,7

Tablica 2 Koncentracije Mn ($\mu\text{g/l}$) u podzemnoj vodi na crpilištu Luke.Table 2 The concentration of Mn ($\mu\text{g/l}$) in groundwater at the pumping site Luke.

Zdenac	Vrijeme Crpljenja (sati)	1995		Vrijeme crpljenja (sati)	1997	
		Mangan ($\mu\text{g/l}$)	Željezo ($\mu\text{g/l}$)		Mangan ($\mu\text{g/l}$)	Željezo ($\mu\text{g/l}$)
Z-1	43	13	260	83	332.8	178.1
Z-2	40	330	610	112	196.8	52.8
Z-3	41	427	1140	84	<10	52.5

Tablica 3 Koncentracija mangana i željeza pri pokusnom crpljenju 1995. godine i ponovljenom crpljenju 1997. godine na crpilištu Vesela kod Pleternice.

Table 3 The concentration of manganese and iron during the pumping test in 1995. and repeated pumping in 1997. at the pumping site Vesela near Pleternica.

površine, industrija. Primjer je onečišćenje podzemne vode na crpilištu Vidovci, koje se nalazi istočno od grada Požege i nizvodno od industrijske zone, a koje je zbog visokih koncentracija ugljikovodika iz vodoopskrbe iskopčano već dvije godine. Iako se pokazalo da se radilo o akcidentnom onečišćenju, a ne o nekom trajnom zagađenju podzemne vode, zbog nepovoljnog položaja crpilišta ovakva bi se onečišćenja mogla događati i u budućnosti.

ZAKLJUČAK

Iako se područje Požeške kotline odlikuje obiljem vode u kišnom razdoblju kada dolazi i do velikih poplava, u sušnim dijelovima godine postoji nestašica vode. Zbog toga su se tijekom proteklih godina provodila sustavna istraživanja mogućnosti povećanja crpnih količina koja su rezultirala zaključkom da su u različitim tipovima vodonosnika, koji se ovdje pojavljuju, akumulirane vrijedne količine podzemne vode. Jedan od glavnih izvora vodoopskrbe je vodonosnik u aluvijalnom nanosu rijeke Orjave iz kojega se već danas u sušnom razdoblju godine osigurava oko 60% opskrbe vodom. Novijim istraživanjima aluvijalnog vodonosnika polučeni su rezultati koji upućuju da se radi o količinama podzemne vode koje imaju značajnu ulogu za razvitak vodoopskrbnog sustava Požege. Veći problem predstavljaju visoke koncentracije mangana u vodi, te naseľjenost, zbog čega je vodonosnik ugrožen od mogućeg onečišćenja. Uvažavajući ove činjenice, već izgrađene

vodne objekte potrebno je staviti u funkciju, a nova izvorišta potrebno je tražiti dalje od naselja gdje je zaštitu daleko lakše provoditi.

LITERATURA

- BRKIĆ, Ž. & LARVA, O. (1999): Hidrogeološka studija aluvijalnog vodonosnika Orjave.- Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.
- KRAUSKOPF, K. (1982): Introduction to geochemistry.- McGraw-Hill Book Company, Singapore, 616 str.
- MRAZ, V. & BRKIĆ, Ž. (1996): Prethodna hidrogeološka studija vodoopskrbnog sustava Požege.- Fond stručne dokumentacije IGI, Zagreb.
- TUSIĆ, V. (1995): Vodoistražni i vodozahvatni radovi na lokalitetu "Luke - Požege". Izvješće o izvedenim radovima.- Fond stručne dokumentacije "FIL.B.IS" d.o.o, Zagreb.
- TUSIĆ, V. (1999): Vodoistražni radovi na području crpilišta "Vesela-Pleternica" - lijeva obala r. Orjave.- Fond stručne dokumentacije IGH, Osijek.
- URUMOVIĆ, K., MAĐARAC, A. & TRELEC, D. (1982): Prethodna hidrogeološka istraživanja mogućnosti proširenja crpilišta u aluvijalnim naslagama Orjave za potrebe vodoopskrbe Sl. Požege.- Fond stručne dokumentacije RGN fakulteta, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., DRAGIČEVIĆ, I., HLEVNJAK, B. & MIHELČIĆ, D. (1994): Akumulacije podzemnih voda u prigrorskim vodonosnicima Požeške kotline.- Znanstveni skup "Poljoprivreda i gospodarenje vodama", Bizovačke toplice, 435-448.





Izvorište Ombla

The Spring Area of Ombla

Renato BULJAN¹, Eduard PRELOGOVIĆ² & Tomislav PAVIŠA³

Ključne riječi: Ombla, hidrogeologija, strukturni sklop, podzemna hidroelektrana, Dubrovnik.

Key words: Ombla, Hydrogeology, Structural fabric, Underground hydroelectric power plant, Dubrovnik.

Sažetak

U neposrednom zaleđu krškog izvora Ombla, važnog za vodoopskrbu Dubrovnika i okolice, zbog pogodnih litoloških, hidrogeoloških i hidroloških značajki planira se izgradnja specifične podzemne hidroelektrane. Strukturnim istraživanjima slijeva uočena je zona rasjeda između sela Hum i Omble koja u čitavoj svojoj širini predstavlja glavni drenažni prostor u koji se slijevaju vode iz zaleda i otječu temeljnim privilegiranim tokom kroz krške kanale, koncentrirano prema izvorištu. Povoljna orijentacija regionalnog stresa (12-192°) omogućava stalno širenje te zone rasjeda, kontrakciju prostora i usijedanje pojedinih segmenata uglavnom duž snopova rasjeda suprotnog nagiba koji čine dvostruku ekstenzijsku strukturu. U neposrednom zaleđu Omble, unutar te zone izdvajaju se tri važna rasjeda koji su granični strukturnim podblokovima. Sva tri podbloka pokazuju različite dinamičke odlike. Najznačajniji je rasjed Pločice, duž čije zone su formirana četiri nivoa šupljina. Dva donja predstavljaju aktivan dovod vode na izvorište Ombla. Položaj aktivnih zona rasjeda u zaleđu izvorišta i tektonska dinamika izdvojenih strukturnih blokova imaju direktan utjecaj na projektiranje vitalnih objekata HE Ombla u podzemlju. Strukturni podaci su, između ostalih, potvrdili mogućnost izgradnje podzemne brane i akumulacije u neposrednom zaleđu Omble.

Abstract

In the immediate hinterland of the important karst spring of Ombla near Dubrovnik, due to the favourable lithological, hydrogeological and hydrological properties a construction of specific underground electrical plant has been planned. Implementation of this project is dependent principally on the possibility of building the underground accumulation of water. The detailed structural and tectonic investigation of the origin's background area helped identification of the marked fault-zone between the villages of Hum and Ombla. Favourable orientation of the regional stress enables the permanent extension of this zone, contraction of the area, and subsidence of the separate blocks mostly along the band of faults of dipping contrarywise which creates double extensional structure. The fault-zone of Hum-Ombla in its entire expanse represents the main drainage area catching the waters from hinterland which further run off along the privileged base flow through the karst channels, in a concentrated mode and under the pressure towards the source area. Investigations proved the possibility of construction of the underground dam and water accumulation in the close background of Ombla. Use of the single-row injection hang with accompanying cut-off of all active and fossilized underground channels by specific concrete corks the retention of water will be accomplished in the hinterland up to the level of 100-130 m which will ensure the pressure needed for operation of the electrical plant. Thus, rational management over considerable quantities of water will be rendered possible together with better supply of potable water for the city of Dubrovnik and surroundings.

1. UVOD

Izvorište Ombla (sl. 1) je najveći krški vodni objekt južnog Jadrana, čije vode neposredno nakon izviranja tvore Rijeku Dubrovačku. To je tipično krško izvorište nastalo na kontaktu mezozojskih karbonatnih naslaga navučenih na debeli kompleks eocenskih flišnih naslaga. Fliš se u zoni izvorišta nalazi na razini mora s Ombлом u najnižoj točki, dok se bočno na istok i na zapad

hipsometrijski izdiže i preko 150 m. Naslage fliša predstavljaju potpunu hidrogeološku barijeru za vode iz zaleda. Debljina tih naslaga ispred izvorišta Ombla veća je od 350 m (RENIĆ, 1993). Seizmičkim refleksijskim profiliranjem, 1 km zapadno od Omble (ANDRIĆ, 1995), konstatirana je debljina flišnih naslaga preko 500 m. Izvorište Omble čine tri koncentrirane zone istjecanja: Glavni izvor, Baba i Crkvice, s tim da na Glavnom izvoru istječe preko 80% vode izvorišta. Pri nis-

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Picottieva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³Hrvatska elektroprivreda, Hidroelektrana "Dubrovnik", A. Starčevića 51, HR-20000 Dubrovnik, Hrvatska.



Sl. 1 Čelo navlake Dinarika iznad izvorišta Ombla.

Fig. 1 Front of the overthrust of Dinaricum above Ombla spring.

kim vodostajima pojedini izvori Omble funkcioniraju nezavisno, s tim da voda istječe na različitim razinama.

Prostor slijeva Omble ističe se zbog tri bitne odlike: znatne akumulacije podzemne vode i koncentrirane usmjerenosti dotoka te vode do izvorišta, reversno navlačnih pripovršinskih strukturnih odnosa karbonatnih i klastičnih naslaga, te izražene recentne tektonske aktivnosti. Zbog tih odlika uočena je mogućnost kontroliranog korištenja podzemne vode izgradnjom podzemne brane u zoni izvorišta Ombla. Tako zamišljen građevinski pothvat zahtjeva detaljna istraživanja i premještanje vodocrpne postaje uzvodno od podzemne brane. Osobita je pozornost usmjerena u rješavanje geoloških i hidrogeoloških odnosa zaleda izvorišta Ombla. Jedan od najvažnijih dijelova odnosi se na značajke strukturnog sklopa i recentne tektonske aktivnosti. Naglasak na tim značajkama osniva se na činjenici o stalno prisutnoj seizmotektonskoj aktivnosti i pojavama potresa koji mogu doseći magnitudu od X° MCS (1667., 1979. god.). Posebna pozornost posvećena je određivanju geodinamičkih odlika strukturnih blokova i podblokova, te osobito nastanku i postojanju šupljina u podzemlju. To je dalo podatke koji su doprinjeli poznavanju tokova podzemne vode i tektonske dinamike zaleda izvorišta, važne za projektiranje podzemne hidroelektrane. U ovom radu ukratko se prikazuju rezultati tih istraživanja.

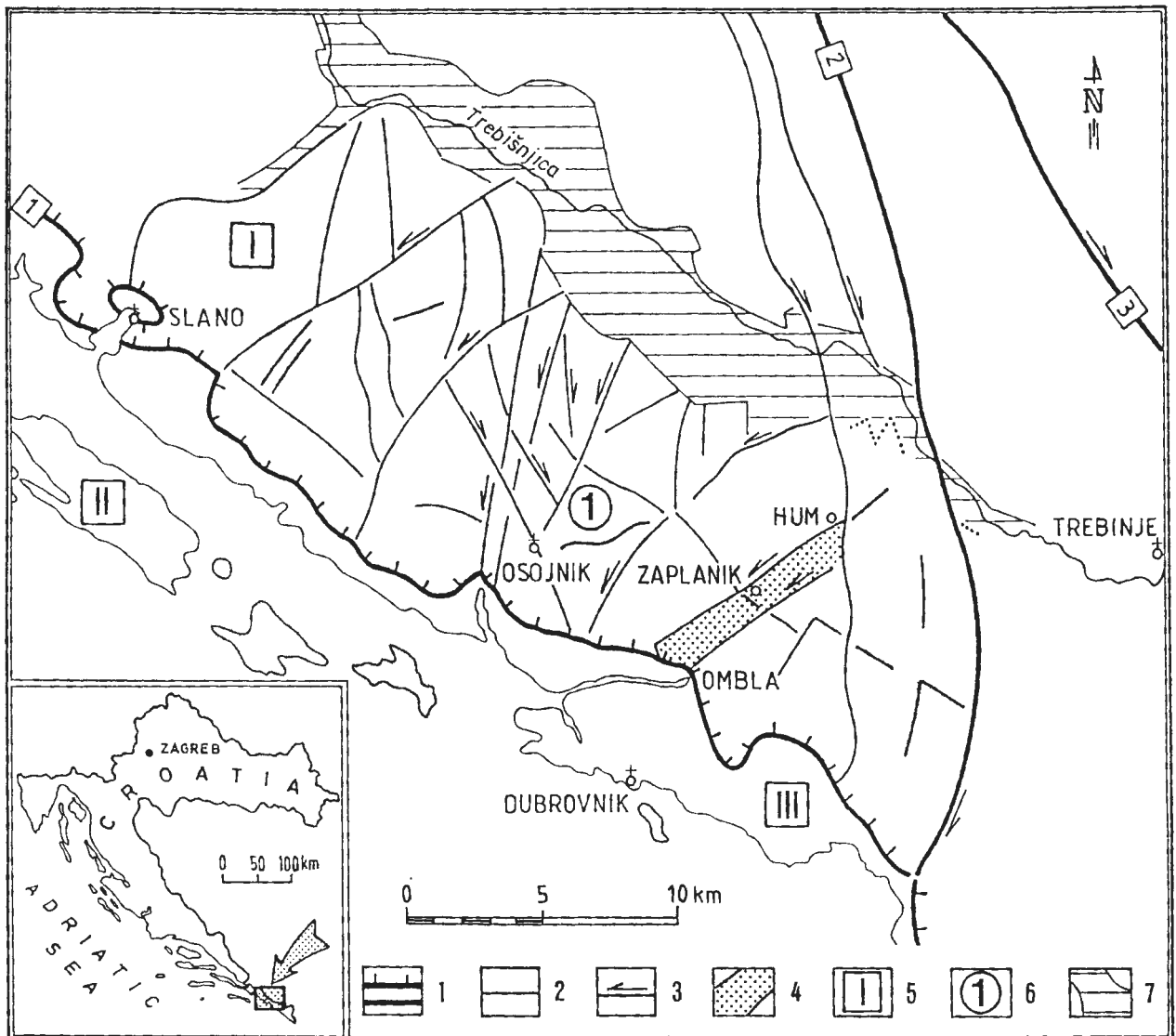
2. RECENTNI STRUKTURNI ODNOSI

Jedan od glavnih hidrogeoloških problema bila je odredba smjerova dotoka podzemne vode iz unutarnjosti do izvorišta Ombla. Kako tektonska aktivnost i strukturni sklop u litološki jednoličnoj sredini imaju dominantnu i presudnu ulogu na formiranje mreže podzemnih kanala u kršu, rješavanju hidrogeoloških odnosa pristupilo se nakon detaljne strukturne razrade.

Strukture regionalnog strukturnog sklopa su pružanja SSZ-JJI do SZ-JI. Odnosi naslaga i ocrta rasjeda na površini ukazuju na reversno-navlačne pripovršinske strukturne odnose. U strukturnom sklopu dominantan je

navlačni kontakt regionalne strukturne jedinice Dinarik na Epiadriatik (HERAK, 1991). Iza čela navlake konkordantni slijed i pretežito monoklinalni nagib slojeva prema SI izdvajaju strukturnu jedinicu Hutovo - Slano - Brgat (PRELOGOVIĆ et al., 1994; sl. 2). Veći dio slijeva Omble nalazi se unutar nje. Ključna je činjenica znatno rasjedanje jedinice. Pri tom se osim nizova reversnih rasjeda, od kojih najveći dijele pojedine strukture, ističu rasjedi smicanja s desnim tektonskim pomacima prema JI duž zona Slivničkog i Zubačkog rasjeda i relativno široka zona rasjeda pružanja SI-JZ na potezu Hum-Ombla, koja se naslanja na zonu Slivničkog rasjeda. Zamjetan je njezin lijevi tektonski transport. Zona rasjeda Hum-Ombla sastoji se od više paralelnih rasjeda i ogranaka, generalnog pružanja $50-230^{\circ}$, strmog i često suprotnog (antitetik) nagiba rasjednih ploha $70-85^{\circ}$. Ona siječe reversne rasjede i dopire do čela navlake Dinarika. Takva tektonska kinematika, uz povoljnu orijentaciju prema regionalnom stresu (pružanja $12-192^{\circ}$) i dominantno lijevi tektonski pomak, omogućava stalno širenje zone rasjeda Hum-Ombla, kontrakciju prostora i usjedanje pojedinih segmenata uglavnom duž snopova rasjeda suprotnog nagiba koji čine dvostruku ekstenzijsku strukturu (ekstenzijski duplex; DAVIS, 1984). Svi hidrogeološki, geofizički i hidrološki pokazatelji ukazali su da se najveći dio podzemnih voda iz unutarnjosti najprije slijeva u zonu rasjeda Hum-Ombla. Ta zona u čitavoj svojoj širini predstavlja glavni drenažni prostor promatranog hidrogeološkog sustava (BULJAN, 1999).

Lokacija izvorišta Ombla je strukturno uvjetovana. Nastala je na sjecištu zone rasjeda Hum-Ombla i čela navlake karbonatnih i flišnih naslaga. Nakon formiranja zone istjecanja, uslijed permanentnog neotektonskog izdizanja karbonatnih naslaga u zoni čela navlake Dinarika i erodiranja naslaga fliša, došlo je do spuštavanja zone istjecanja na razinu mora. Zbog toga su zone paleoistjecanja Omble danas izdignute. U neposrednom zaleđu izvorišta izdvojena su, unutar zone rasjeda Hum-Ombla, tri važna rasjeda koji su granični strukturnim podblokovima. Sva tri podbloka pokazuju različite dinamičke odlike: smjer pomaka, promjenu orijentacije



Sl. 2 Regionalna strukturalna skica. Legenda: 1) najvažniji rasjedi regionalnog strukturalnog sklopa: rasjed čela navlake Dinarika (1), Slivnički rasjed (2), Zubački rasjed (3); 2) ostali važniji rasjedi; 3) rasjedi s naznakom pomaka krila; 4) zona rasjeda Hum-Ombla; 5) regionalne strukturalne jedinice: Dinarikum (I), Adriaticum (II), Epiadriaticum (III); 6) strukturalna jedinica Hutovo-Slano-Brgat; 7) zona ekstenzije.

Fig. 2 Regional structural sketch. Legend: 1) the most important faults of the regional structural fabric: fault of the front of the overthrust of the Dinaricum (1), Slivnica fault (2), Zubak fault (3); 2) other more important faults; 3) faults with marked displacement; 4) zone Hum-Ombla; 5) Dinaricum (I), Adriaticum (II), Epiadriaticum (III); 6) structural unit Hutovo-Slano-Brgat; 7) extension zone

lokalnog stresa, te aktivnost graničnih zona podblokova (PRELOGOVIĆ & BULJAN, 1995). Posebno se ističe zona rasjeda nazvanog Pločice, na površini markiranog siparištem duljine preko 150 m (sl. 1). Podaci su pokazali da se dva strukturalna podblokova s istočne strane rasjeda Pločice pomiču u prostoru duž normalnih rasjeda pod kutom zakosa 20 do 30° lijevo, dolje. Strukturalni podblok sa zapadne strane pomiče se duž rasjeda Pločice reversno pod kutom zakosa 100 do 130° lijevo, gore (BULJAN & PRELOGOVIĆ, 1997). Zapažene deformacije i vrste pomaka strukturalnih blokova važne su zbog mogućeg utjecaja tektonske dinamike na vitalne objekte hidroelektrane.

3 HIDROGEOLOŠKE ODLIKE SLIJEVA OMBLE

Na temelju današnjih spoznaja, površina slijeva Omble nakon izgradnje hidrosustava Trebišnjice obuhvaća oko 600 km² (MILANOVIĆ, 1977). Jedini stalan tok unutar slijeva je rijeka Trebišnjica. Veći dio slijeva sadrži mnoštvo plitkih ponikava i relikte brojnih ponora, jama i pukotina, uslijed čega je moguća direktna dispergirana infiltracija padalina u karbonatno podzemlje. Slijev Omble prema zapadu graniči sa slijevom izvora Palata u Malom Zatonu, a s istočne strane sa slijevom izvora Zavrelje u Mlinima. Srednja godišnja protoka

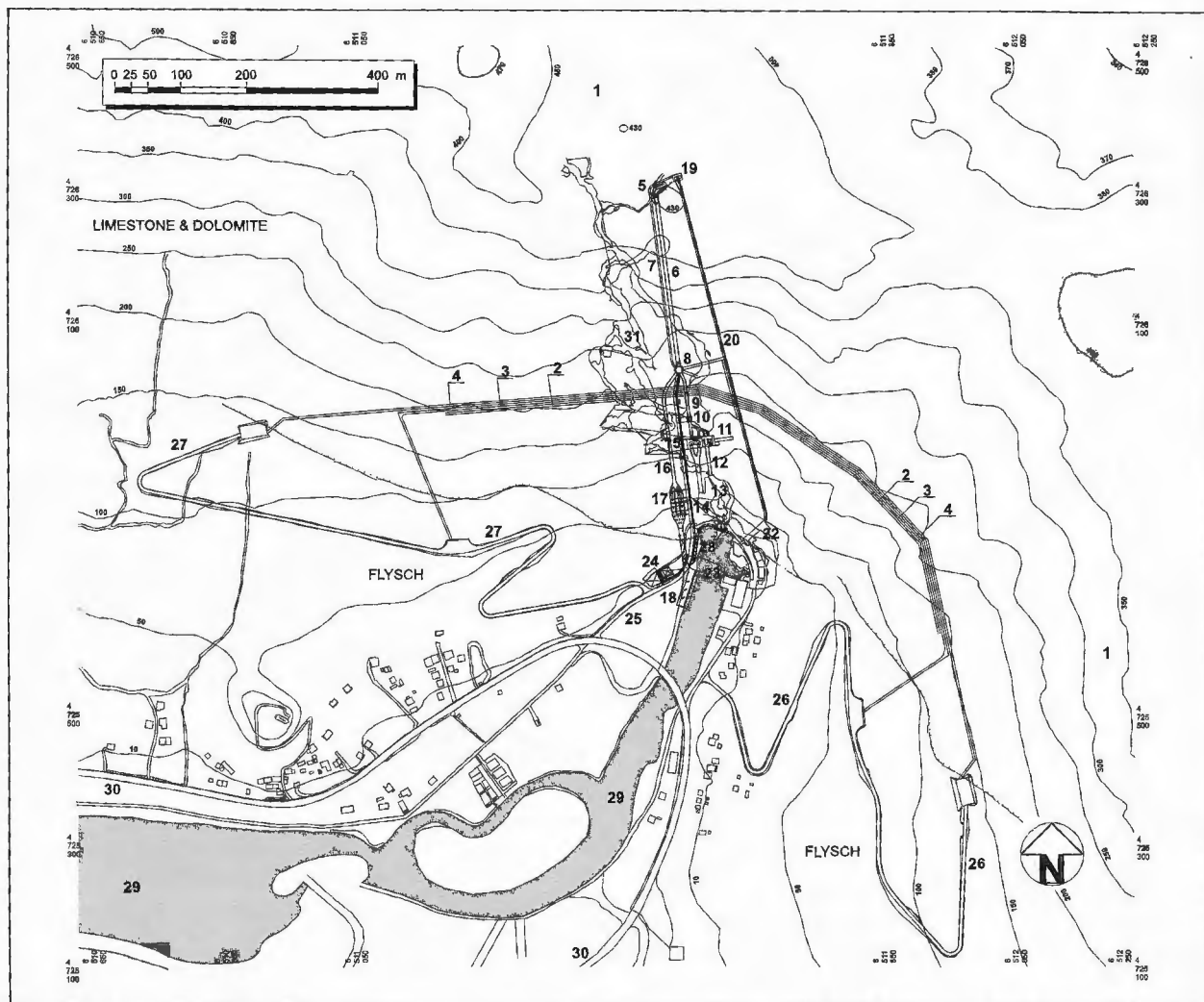
Omble iznosi $Q_{sr} = 24,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimalna izmjerena izdašnost Omble je $Q_{min} = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$, a maksimalna $Q_{max} = 138,0 \text{ m}^3/\text{s}$ (ŽUGAJ & BONACCI, 1994). Dugogodišnja meteorološka motrenja (podaci Energoinvesta, Sarajevo) pokazuju da je područje slijeva bogato padalinama. Prosječno godišnje ovdje padne od 1.400 mm padalina u priobalju do preko 2.200 mm u planinskom dijelu slijevnog područja. Potpuno sušno razdoblje može potrajati i preko 90 dana. Dubrovački vodovod se od 1926. godine vodom opskrbljuje iz Omble. Crpna postaja vodovoda, kapaciteta 500 l/s, smještena je neposredno iznad Glavnog izvora.

Na području slijeva Omble izdvojene su karbonatne naslage gornjotrijaske, jurske, kredne i eocenske starosti, eocenske flišne naslage i različite naslage kvartara (MARKOVIĆ, 1971, 1975). Karbonatne naslage apsolutno dominiraju u građi područja slijeva. Dinaridskog su pružanja sa smjerom nagiba slojeva prema SI, najčešće pod kutovima 20-50°. U hidrogeološkom smislu razlikuje se kompleks dobro propusnih naslaga vapnenaca s pukotinsko disolucijskom poroznošću, koje sadrže slabije vodopropusne zone dolomita, od klastičnih flišnih naslaga koje imaju hidrogeološku funkciju potpune barijere. Tip poroznosti dominantno zastupljenih vapnenaca uvjetuje dobru permeabilnost koja rezultira znatnim kolektorskim mogućnostima karbonatnih naslaga slijeva Omble. Dio jedinstvenog karbonatnog kompleksa naslaga predstavljaju i leće, proslojci i zone dolomita koji su zbog litoloških značajki slabije okršeni. Zbog slabije vodopropusnosti, zone dolomita značajne su za usmjeravanje tokova podzemne vode unutar dobro vodopropusnih vapnenaca. Uska priobalna zona klastičnih flišnih naslaga proteže se izvan slijevnog područja Omble kao i sljevova susjednih izvora Palate i Zavrelja. Zbog svog postojanog prostiranja i znatne debljine ona ima presudnu ulogu u formiranju spomenutih sljevova, jer odvajaju kompleks naslaga s akumulacijskim i permeabilnim odlikama od zone istjecanja za vode iz zaleđa na razini mora. Neposredno na nju navučeni su dolomiti trijasa iz čela navlake karbonatnog kompleksa naslaga koji dodatno potvrđuju njezinu funkciju barijere. Vode iz zaleđa, do Jadranskog mora, mogu se prazniti jedino preljevanjem preko ove barijere. U ovom dijelu dubrovačkog priobalja i u Rijeci Dubrovačkoj nema vrulja, jer nije moguća izravna hidrogeološka komunikacija kroz flišne naslage do mora. Ovakva kontinuirana flišna zona onemogućava dispergirano istjecanje podzemne vode iz okršanih naslaga zaleđa, već uvjetuje koncentrirano pražnjenje zaleđa preko nekoliko izvora. Flišne naslage s funkcijom potpune hidrogeološke barijere pružaju se od Slanog do Konavoske Ljute, a na njihovom kontaktu s karbonatnim kompleksom naslaga nalazi se niz izvora poput onih u Slanom, Trstenu, Orašcu, Zatonu (Palata), Komolcu (Ombla i Slavjan), Mlinima (Zavrelje), kod Duboke Ljute (Robinzon), u Konavlima (Ljuta) i veći broj manjih. Najveću izdašnost imaju oni izvori koji su smješteni hipsometrijski najniže.

Prigodom proučavanja prostora zaleđa izvorišta važno je bilo prostorno odrediti krške kanalske provodnike vode do zone istjecanja. Glavni dovodni kanal vode izvorišta je sifonskog oblika. To je uzlazni izvor. Speleološki je istražen do -35 m dubine (KRAŠOVAC, 1985). Iza izvora je velika izvorišna špilja (duljine preko 80 m, širine 40 m i visine 8 m) koja predstavlja neposredno zaleđe izvorišta. U zaleđu izvorišta aktivni kanalski provodnici vode prostorno su smješteni ispod zone istjecanja na razini mora i dosežu dubinu od -150 m. Speleološkim istraživanjima (KRAŠOVAC, 1989) otkriveno je tzv. Veliko jezero, proširena šupljina na 520 m od izvorišta Ombla. Razina vode u Velikom jezeru je približno na istoj razini kao i izvorište. U njega se planira premjestiti crpna postaja Dubrovačkog vodovoda. Iz njega se strmo spušta kanal do dubine od -54 m i dalje prema Ombli spaja se s većim dovodnim kanalom iz zaleđa koji se nastavlja na veliku šupljinu iza Glavnog izvora. Dimenzije kanala na dubini od -54 m su manje od šupljine iza Glavnog izvora, što ukazuje da se vjerojatno radi o tek jednom od kanala drenažnog toka. Pretpostavlja se da su sve šupljine neposrednog zaleđa izvorišta međusobno povezane. To nije do kraja dokazano, no značajno je da se kroz sve otkrivene šupljine osjeća jako strujanje zraka. Strukturnim istraživanjima je utvrđeno da se četiri glavna nivoa šupljina u čelu navlake Dinarika (Viline pećine i aktivnih provodnika vode) prostorno po vertikali pružaju duž zone rasjeda Pločice. Šupljine su po vertikali pomaknute, što odgovara valovitom svijanju rasjeda Pločice u prostoru. Hidrološke analize hidrograma istjecanja na Ombli u odnosu na razinu vode unutar slijeva (PAVIŠA, 1993) ukazale su na tri zone jače okršnosti u vertikalnom smislu i unutar slijeva između Omble i Popovog polja.

4. PROJEKTNO RJEŠENJE PODZEMNE HIDROELEKTRANE OMBLA

Ideja o podzemnoj brani i akumulaciji u zaleđu Omble pojavila se spoznajom o srednjoj godišnjoj izdašnosti Omble i o poroznosti i propusnosti karbonatnog kompleksa naslaga. Ključno je pri tom postojanje nepropusne flišne barijere koja se bočno od izvorišta izdiže iznad predviđene kote uspora, što je važno zbog vodorzivosti bokova akumulacije. Izgradnjom brane predviđa se podizanje razine podzemne vode. Akumulacijski prostor obuhvaća podzemne šupljine i kanale vezane za sustave rasjeda, pukotina i okršnost karbonatnih naslaga. Pregradni profil projektiran je približno 200 m unutar karbonatne stijenske mase do visine 130 m n.m., odnosno maksimalne visine 410 m od donjeg kontakta karbonatnih i flišnih naslaga do vrha brane i duljine preko 1000 m. Njezini bokovi će se naslanjati na flišne naslage, koje se istočno i zapadno od izvorišta nalaze na visinama do 300 m. Svi vitalni objekti hidroelektrane također su projektirani u podzemlju. Time bi strmace iznad izvorišta Ombla i okolni krajobraz ostali maksimalno očuvani.



Sl. 3 Pregledna skica objekata HE Ombla. Legenda: 1) podzemna akumulacija; 2) injekcijska zavjesa - galerija br. 1; 3) injekcijska zavjesa - galerija br. 2; 4) injekcijska zavjesa - galerija br. 3; 5) zahvat vode za hidroelektranu u Velikoj špilji; 6) dovodni tlačni tunel; 7) pristupni tunel do vodozahvata; 8) vertikalno okno; 9) tlačni cjevovod; 10) zatvarač tlačnog cjevovoda; 11) strojarnica; 12) odvodni tunel; 13) slapište strojarnice u Izvorišnoj špilji; 14) pristupni tunel; 15) rasklopno postrojenje i transformatori; 16) tunel temeljnog ispusta; 17) zatvaračnica temeljnog ispusta sa slapišnim komorama; 18) preljevna komora temeljnog ispusta; 19) zahvat za vodovod u Velikoj špilji; 20) vodovodni tunel; 21) tunel zahvata za vodovod u fosilnoj špilji; 22) crpna postaja; 23) Izvorsko jezerce; 24) zgrada komande; 25) pristupna cesta do hidroelektrane; 26) pristupna cesta na lijevom boku; 27) pristupna cesta na desnom boku; 28) parkiralište i pristupni plato; 29) Rijeka Dubrovačka; 30) Jadranska magistrala; 31) fosilne špilje.

Fig. 3 Review sketch of the Ombla power plant facilities. Legend: 1) underground reservoir; 2) grout curtain and gallery no. 1; 3) grout curtain and gallery no. 2; 4) grout curtain and gallery no. 3; 5) intake structure (for HPP) in Large cave; 6) headrace tunnel; 7) intake structure access tunnel; 8) vertical shaft; 9) penstock; 10) penstock gate house; 11) power house; 12) tailrace tunnels; 13) powerhouse spillway in Spring cave; 14) access tunnel; 15) switchyard and transformers; 16) bottom outlet tunnel; 17) bottom outlet gate house with dissipations chambers; 18) bottom outlet spillway chamber; 19) water supply intake structure in Large cave; 20) water supply tunnel; 21) water supply intake tunnel in fossil cave; 22) pumping station; 23) Spring pond; 24) control building; 25) access road to the HPP; 26) left flank access road; 27) right flank access road; 28) parking lot and access platform; 29) Rijeka Dubrovačka; 30) Adriatic highway; 31) fossil cave.

Projektno rješenje Hidroelektrane Ombla (SEVER, 1998; sl. 3) osniva se na povećanju tlaka podzemne vode uslijed umjetno stvorenog uspora u podzemlju. Uspor se predviđa ostvariti jednoreznom injekcijskom zavjesom radenom iz tri injekcijske galerije na kotama 5, 65 i 134 m n.m. Osim toga, u svim aktivnim i fosilnim podzemnim kanalima projektirani su posebni betonski čepovi. Uzvodno od brane doći će do izdizanja razine vode iznad današnjeg prirodnog stanja. Takav koncept osiguranja vododrživosti zasnovan je na mjerenim podacima vodopropusnosti stijenske mase i protoka u

glavnom dovodnom kanalu, koji pokazuju da je stijenska masa duž profila zavjese slabo propusna i da više od 90% vode do izvorišta teče glavnim drenažnim kanalom. Razina vode u akumulaciji najvećim dijelom godine održavat će se na 130 m n.m. U tijeku razdoblja suše, kad minimalna protoka padne ispod $4 \text{ m}^3/\text{s}$, numerički hidrološki model (JOVIĆ, 1997) upućuje da će minimalna kota uspora iznositi oko 70 m n.m.

Specifičnost te hidroelektrane jest da se dovodni tlačni tunel vode hidroelektrane spaja na glavni dovodni kanal vode Omble u Velikom jezeru, oko 300 m uzvod-

no od profila injekcijske zavjese (sl. 3). Evakuacija velikih voda vršit će se kroz temeljni ispuš s dva konusna zatvarača od kojih svaki može propustiti maksimalni stogodišnji protok, a voda iz turbina ispuštat će se u veliku izvorišnu špilju. Svi ostali objekti imaju određene posebnosti, ali zadržavaju osnovne karakteristike klasičnih podzemnih hidroenergetskih objekata. Hidroelektrana Ombla imat će četiri proizvodne jedinice s pratećom opremom: dvije s Francis turbinama za nazivni protok $Q_1 = 24 \text{ m}^3/\text{s}$ i sinkronim generatorima po 30 MVA, te dvije za protok $Q_2 = 6 \text{ m}^3/\text{s}$ i generatorima po 8 MVA. U prosječnoj hidrološkoj godini ostvarit će se proizvodnja od 223 GWh električne energije.

5. ZAKLJUČAK

Prikupljeni strukturni podaci pokazuju stalnu i izraženu recentnu tektonsku aktivnost područja slijeva Omble. Nju ističu kompresija prostora, tangencijalni reverzno-navlačni pripovršinski odnosi i lijevi transkurentni pomaci duž zone rasjeda Hum-Ombla. Takva tektonska kinematika omogućila je da ta zona rasjeda predstavlja glavni drenažni prostor područja u koji se prikupljaju vode slijeva i dalje otječu temeljnim privilegiranom tokom kroz krške kanale, koncentrirano pod pritiskom prema izvorištu.

U lokalnom prostoru izvorišta, unutar zone rasjeda Hum-Ombla, duž istaknutih rasjeda izdvojena su tri strukturna podblokova. Podblokovi istočno od rasjeda Pločice pomiču se duž normalnih rasjeda 20 do 30° lijevo, dolje. Podblok zapadno pomiče se reversno duž rasjeda Pločice 100 do 130° lijevo, gore. Granični rasjedi strukturnim podblokovima i podblokovi s prostornim pomakom prema dolje pogodni su za formiranje šupljina. Unutar njih se nalaze aktivni kanalski provodnici vode do izvorišta. Podblok izložen lokalnoj kompresiji i reversnom istiskivanju u prostoru ne sadrži šupljine veličine i značaja već otkrivenih šupljina u zaleđu Omble. Definiranje tektonske aktivnosti zaleđa izvorišta uvaženo je prigodom određivanja prostornog položaja vitalnih objekata hidroelektrane njihovim lociranjem u kompaktnije dijelove strukturnih podblokova.

Rezultati istraživanja potvrdili su mogućnost izgradnje podzemne brane i akumulacije u neposrednom zaleđu Omble. Ukazali su i na Veliku šupljinu u koju će se premjestiti crpna postaja Dubrovačkog vodovoda, uzv odno od podzemne brane.

Izgradnjom podzemne akumulacije, osim proizvodnje električne energije, očekuje se ekonomičnija i kvalitetnija opskrba pitkom vodom grada Dubrovnika i okolice, bez uporabe crpki i sa smanjenim problemom vezanim uz povećanu mutnoću vode u vrijeme obilnih padalina.

6. LITERATURA

- ANDRIĆ, M. (1995): Izvještaj o plitkim refleksijskim mjerenjima područja Rožat-Dračevo selo kraj Dubrovnika.- Fond stručne dokumentacije Hrvatske elektroprivrede, Dubrovnik.
- BULJAN, R. & PRELOGOVIĆ, E. (1997): The significance of structural and geological relationship assessment in the construction of the Ombla underground hydroelectric power plant.- Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 9, 17-22, Zagreb.
- BULJAN, R. (1999): Značenje strukturnog modela u razradi zahvata i zaštite podzemnih voda izvorišnog područja Ombla kraj Dubrovnika.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 176 str.
- DAVIS, H.G. (1984): Structural geology of rocks and regions.- John Wiley & Sons, New York, 776 str.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi i mobilistički osvrt na genezu i strukturu.- Acta geologica, 21/2, 35-117, Zagreb.
- JOVIĆ, V. (1997): HE Ombla, numerički model ponašanja podzemne akumulacije u prirodnim i projektom definiranim uvjetima.- Fond stručne dokumentacije, Aquarius Engineering, Split.
- KRAŠOVAC, M. (1985): Speleoroničko istraživanje Rijeke Dubrovačke-Omble.- Fond stručne dokumentacije, Geološki zavod, Ljubljana.
- KRAŠOVAC, M. (1989): Hidrogeološka istraživanja zaleda izvorišta Ombla kod Dubrovnika.- Fond stručne dokumentacije, Geološki zavod, Ljubljana.
- MARKOVIĆ, B. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Dubrovnik K34-49.- Zavod za geol. geofiz. Istraž. Beograd (1966), Sav. geol. zavod Beograd.
- MARKOVIĆ, B. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Dubrovnik K34-49.- Zavod za geol. geofiz. Istraž. Beograd (1966), Sav. geol. zavod Beograd, 43 str.
- MILANOVIĆ, P. (1977): Hidrogeologija karsne izdani Ombla.- Geološki glasnik, 22, 187-255, Sarajevo.
- PAVIŠA, T. (1993): Analiza ponašanja podzemne akumulacije Ombla u prirodnim uvjetima.- Fond stručne dokumentacije Elektroprivrede Hrvatske, Dubrovnik.
- PRELOGOVIĆ, E. & BULJAN, R. (1995): HE Ombla, lokacija pregrade i objekata, strukturni model.- Fond stručne dokumentacije Instituta za geol. istraž., br. 113/95, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., BULJAN, R. & FRITZ, F. (1994): HE Ombla, strukturna istraživanja.- Fond stručne dokumentacije Instituta za geol. istraž., br. 111/94, Zagreb.
- RENIĆ, A. (1993): HE Ombla, geološka odredba jezgre istražne bušotine OF-1 i ocjena vodopropusnosti flišne barijere u području izvora Ombla.- Fond stručne dokumentacije Instituta za geol. istraž., br. 87/93, Zagreb.
- SEVER, Z. (1998): HE Ombla, Idejni projekt.- Fond stručne dokumentacije Hrvatske elektroprivrede, Elektroprojekt, Zagreb.
- ŽUGAJ, R. & BONACCI, O. (1994): HE Ombla, hidrološka obrada.- Fond stručne dokumentacije Hrvatske elektroprivrede - Direkcija za razvoj i inženjering, Zagreb.

Landslide Stabilisation by a Drainage Tunnel on the Low Radioactive Mill-Tailings Disposal

Igor BUSER

Key words: Landslide, Low radioactive mill-tailings, Drainage tunnel, Disposal site, Stabilisation.

Abstract

Slovenian territory is one of the most landslide threatened regions in Europe, due to its geological and geomorphological conditions. Unstable areas cover over 60% of territory. In the phases of planning different constructions, there is not enough attention on geological and stability problems.

The paper illustrates the design and work carried out near Uranium ore mine in Žirovski vrh, Slovenia, during an attempt to stabilise the low radioactive mill-tailings disposal site, which had become unstable and begun to slide. Further sliding could cause great environmental pollution. The elementary planning and geotechnical investigations for the disposal site were carried out too quickly, due to financial, time and other constraints.

A drainage tunnel seemed to be the best solution to stop sliding, due to complex geological, tectonics and hydrogeological conditions. After construction the ground movements rapidly decreased.

1. INTRODUCTION

Žirovski vrh, the only uranium mine in Slovenia, is situated in a hilly area some 40 km west of the state capital Ljubljana.

Underground exploitation of the orefields began in 1985 with the extraction of 120,000 t of low grade (1kg U_3O_8 /t) sedimentary ore per year. Uranium was leached by the acid process, the by products of which are sandy dry mill-tailings. After primary investigation for its disposal the hill slope 2.5 km east from the extraction plant seemed to be the most suitable location. Although hydrogeological, tectonics, geological and geomorphological conditions were not encouraging, the location was selected due to corresponding environmental requirement to lay above temperature inversion level. In periods when inversion occurs, radioactive gas radon releasing from disposal could cause exceeding pollution.

Therefore site is placed between heights 530-570 m, 50 m above bottom of the valley with continuously wind blowing. The plan of the hill slope and disposal site is presented in Fig. 1 and the orthographic projection in Fig. 2.

2. GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONDITIONS

Ore exploitation occurred in Middle Permian sediments (Gröden formation), overthrusting younger Triassic clastic and carbonate rocks. Most of Slovenia, including this region, is affected by faults and overthrusts, with a high potential for landslides.

Disposal site is placed on Upper Triassic (Carian stage) bedrock of different coloured clastic rocks (siltstone, sandstone, mixed with silty clay, conglomerates and tuffite) which rest on carbonatic rocks of the same age.

The hydrogeological regime depends on high amounts of precipitation (2000 mm/year) and of alteration of different waterpermeable rocks. On one side there are low to impermeable siltstone and tuffite and on the other side well permeable sandstones, conglomerate and Karstic carbonates. On contact between low and high permeable layers numbers of springs are found. Ground water is generally channelled along structural discontinuities in the rocks, having no uniform flow pattern.

The cross section along the projected drainage tunnel presented on Fig. 3, expresses the typical geological and structural relationships in the examined areas.

3. CONSTRUCTION OF THE DISPOSAL-SITE

Construction of the disposal site began in 1984 with the removal of the sub-surface soils and the construction of a front barrier with water collection facilities. Drainage plastic stripes were placed on prepared ground to lead the collected water back into mill process. The material was deposited in 2 m thick layers and dra-

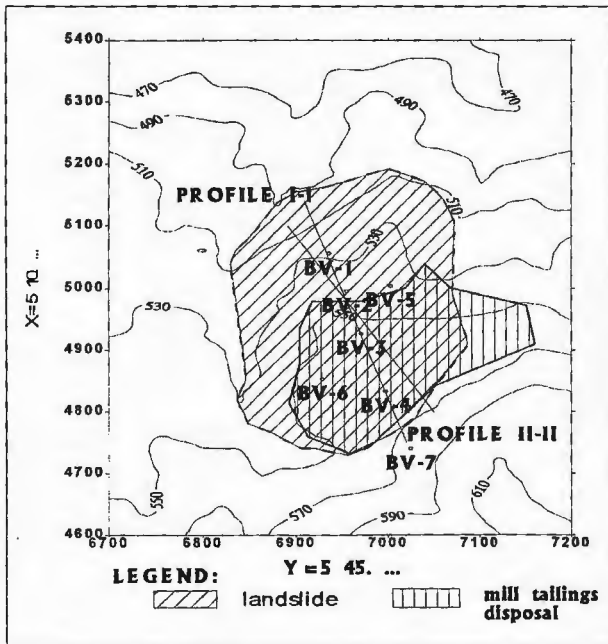


Fig. 1 Plan of the sliding area.

ined with drainage plastic stripes. The front was shaped to a 20° angle and grassed over. During its lifetime 720,000 t of low radioactive material including 70,000 t of mine waste for construction transport roads over the disposal site, was deposited.

The disposal site was examined with up to 15 m long piezometer and inclinometer boreholes.

The surveying observation net was installed in 1989. The whole area was also supervised by technical stuff and no significant changes were seen until 1990, when disposal stopped.

4. NOVEMBER RAIN IN 1990

Seasonal autumn rainfall occurs almost every year in this region. In autumn 1990 the levels the precipitation were extremely high (Fig. 4).

The highest rainfall occurred on the 1st of November 1990 (89.5 mm/m²) and caused catastrophic flood in the whole country. In the local county of Škofja Loka, where the mine is situated, numerous landslides were registered which caused great damage.

The regular checks detected some tension cracks at the back of the disposal body. Regular survey measurements in 1991 showed a displacement of 0.5 m and confirmed suspicions about the sliding of the greater part of the disposal body as well as the bedrock. Further results from the survey-observation net revealed daily movements of 1.2 mm.

All surface waters were collected in the upper part of the area and diverted from the sliding area.

5. GEOTECHNICAL AND GEOLOGICAL INVESTIGATIONS AFTER SLIDING

To determine the mechanisms of slide and the shape of the landslide, seven new vertical boreholes were

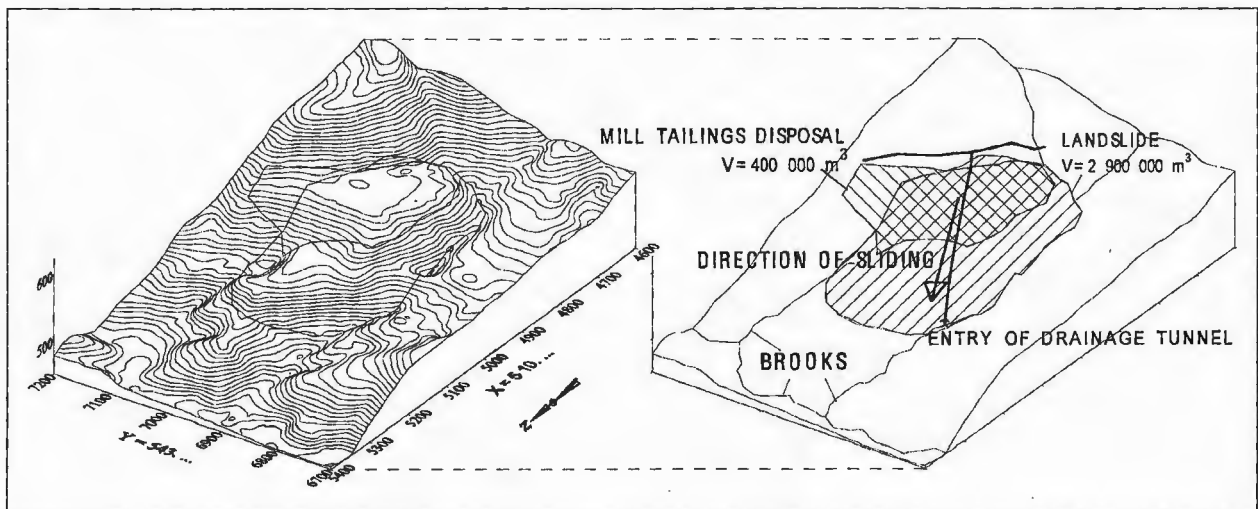


Fig. 2 Orthographic projection of the landslide.

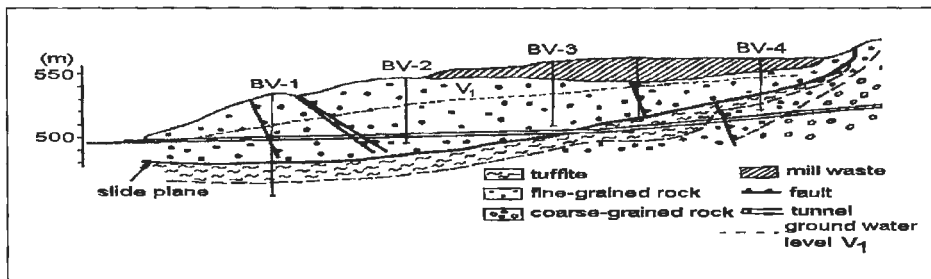


Fig. 3 Cross section of the tunnel.

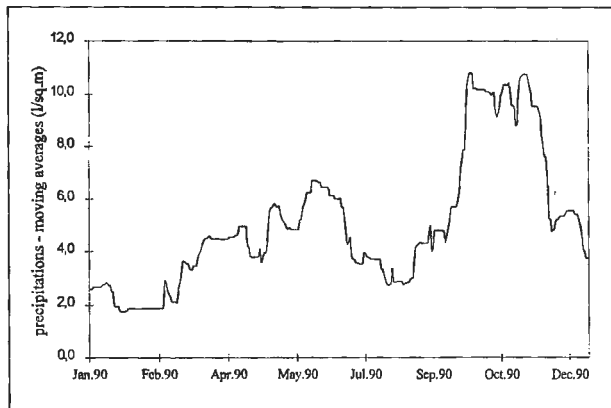


Fig. 4 Precipitation in examined area in year 1990, moving averages.

Total volume of the landslide	2,900,000 m ³
Approx. dimensions (l x w x t)	400 x 200 x 36 m
Percentage of tailing disposal volume in the total volume of landslide	11%

Table 1 Magnitude of the landslide.

drilled along the direction of the slide (BV-1 to BV-7 shown on Fig. 1). In these boreholes inclinometers and piezometers were built in.

Several investigations took place, e.g. mapping, ortho-photo prospection, monitoring systems (inclinometers and piezometers) in-situ and laboratory tests. The displacement of boreholes were measured with inclinometers OYO 4467 QTILT. The results of the inclinometer and other measurements showed the largest displacement about 40 m below the surface at the contact between fragmented water-permeable sandstones and impermeable tuffite. The depth of the boreholes was between 50 and 70 m.

A net of 39 surveying points was extended over a wider area to determine the dimensions of the sliding area. The orthographic view of this area showing contours of the landslide and disposal and surveying points is shown in Fig. 5. Due to precise measuring techniques, which was applied (Kern E2 for horizontal and vertical angles and Kern Mekometer ME5000 for lengths), the general direction of the movements, surface extension of landslide and areas of rising and lowering of sliding masses was determined. Seasonal changes in movement rates according to precipitation were also significant.

On the basis of these measurement and the following investigations the physical dimensions of the landslide were determined (Table 1).

6. THE MECHANISM OF SLIDING

The sliding surface was determined by the measurements of relative displacements between sliding masses

and bedrock (grey tuffites) by means of the inclinometers.

The upper edge was clearly visible and has been recorded by survey measurements. The lateral sides represent two creeks, forming deep erosion gullies.

Groundwater levels in the bedrock were continuously measured in all boreholes. The level of the ground water was rising up at an average for 12 m before stabilising. Further change of this level is largely dependent on meteorological conditions.

Geological results determined the sliding area, on the contact of the weathered bedrock with compact grey tuffite.

7. TECHNICAL SOLUTION - A DRAINAGE TUNNEL

The geological studies and stability analyses showed the possibility of stabilising the hill slope and disposal site, by effective drainage of the weathered bedrock. The construction of the drainage tunnel, which would closely follow the contact area of the grey tuffite with the weathered bedrock, was suggested. Taking into account the residual shearing strength with $\phi_{res} = 14^\circ$ and calculated depression of the ground water level, according to the suggested bottom level of the tunnel, the safety factors give values of $1.19 < F < 1.26$. Configuration of terrain, position of impermeable layers of tuffite and rock mass properties demands a permanent solution for the stabilising of the mill tailing disposal site. Construction of the drainage tunnel would be from the "toe" of landslide dividing into two branches. Drai-

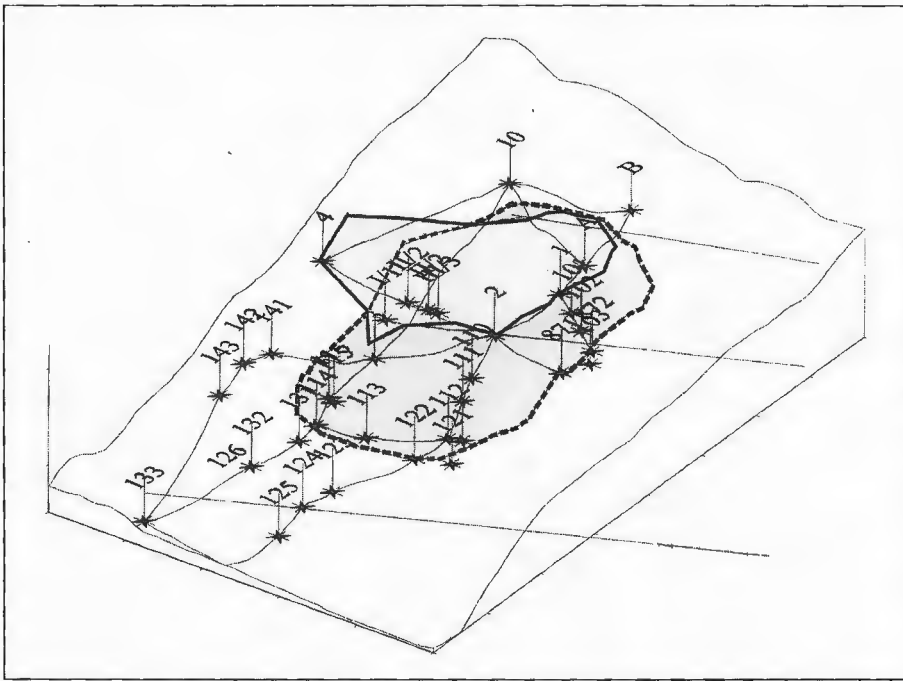


Fig. 5 Position of the survey points.

nage boreholes would be drilled vertically from the surface of the hill to the top of the tunnel.

Excavation began in August 1994 and was finished in January 1996 m (Table 2). By mapping of the tunnel we have confirmed previously supposed geological structure. The fine-grained clastic rocks appear in the first part of the tunnel, while in the final part and in both branches the coarser grained rocks prevail (Fig. 3). The fine grained rocks are folded and strained intensively. Tuffite beds, dipping downwards the slope and laying near to the contact surfaces of two different rocks types, had an important role as a preferable plane for sliding. The almost impermeable tuffite beds contain over 50% of clay minerals, which tend to accumulate along interstices. Because of capillary water presence their mechanical characteristics were made worse. On the other

hand its impermeability creates a separate underground water table, which could rise to the surface.

In a length of 200 m from the tunnel entry, the tunnel passed the sliding plane. The contact between weathered reddish yellow sandstones to siltstones and grey tuffite was highly visible. Several steel measuring rods were placed in the tunnel and weekly observation determined its exact site and movement rate.

We found that the actual sliding zone was an older renewed thrust-plane or an ancient landslide. Beside strained and crushed rock along the contact surface, there is also a 35 m long displacement of a subvertical fault along (Fig. 3).

Different properties are known in coarse grained beds, where open cracks and fissures are usual. As a consequence, the permeability of these rocks is signifi-

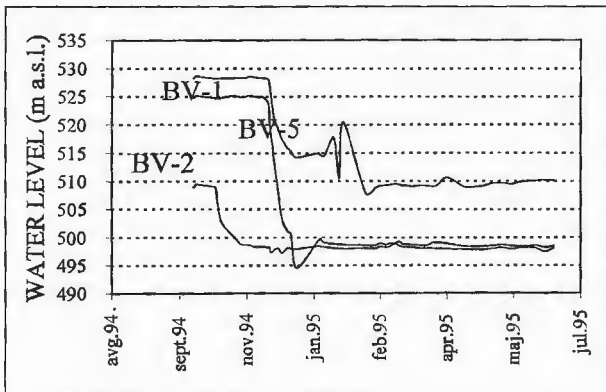


Fig. 6 Piezometer-level measurements during the excavation of the tunnel.

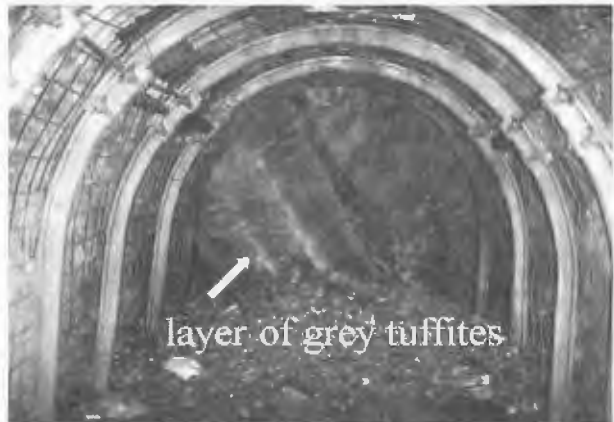


Fig. 7 View on the layer of grey tuffites.

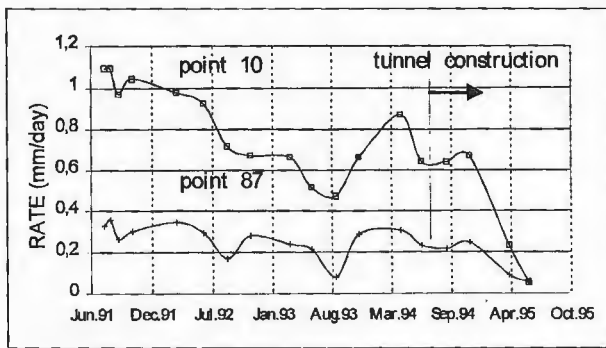


Fig. 8 Movement of two surveying points as dependent on time.

Longitudinal tunnel	Total length 354 m 218 m in 3%, 136 m in 17% slope
Two drainage galleries	183 m and 116 m in 3%
Support used	Steel TH support, wire mesh

Table 2 Technical characteristics of the tunnel.

cantly enhanced. In some boreholes pumping tests were made and we determined coefficient of permeability to be $k = 10^{-6}$ to 10^{-7} cm/s.

The outflow and water levels have been changing considerably. During the tunnel construction in fine-grained rocks the quantity reached 1-2 l/s when aquifers were cut along fault zones, but later fell below 0.3 l/s. In the coarse-grained rocks oscillating considerably exceeding 12 l/s in rainy periods.

During construction works water inflows in the tunnel, position of the watertable in the boreholes BV-1 to BV-7 and movements of survey point were measured. Figure 6 shows the lowering of the ground water level at the moment when the face of the tunnel reached the vicinity of the piezometers.

The decreasing speed of two survey points (102 and 872) is given in Fig. 8. Rate of displacement was obviously reduced when tunnel construction started.

8. CONCLUSIONS

Landslide stabilisation by drainage tunnel seems to be a successful solution to complex geological, tectonic and hydrological conditions regarding permanent site stability.

Due to financial, time and other constraints the elementary planning and investigations were carried out too quickly. Inadequate consideration was given to important details regarding the instability of the hill slopes. Elementary mistakes made on investigations were as follows:



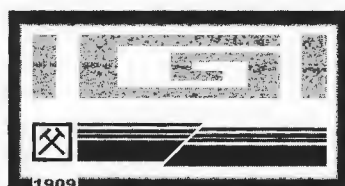
Fig. 9 View on the entrance of the tunnel.

- insufficient geological surface mapping was carried out (with no consideration to water impermeable surroundings),
- no ortho-photogeology had been carried out (later study on ortho-photo images and geomorphological surveying revealed the ancient landslide),
- test boreholes were drilled to 20 m (the impermeable bedrock is at 40 m),
- the safety factor failed to include the worst ground water conditions (extremely high precipitation).

These shortfalls demonstrate the importance of preparing geo-environmental attributes and using these as the basis of planning similar projects.

9. SELECTED REFERENCES

- BUSER, I. & VIDMAR, S. (1997): Landslide stabilisation by a drainage tunnel.- Int. conference on ground improvement techniques, Macau, 87-92.
- RIBIČIČ, M. BUSER, I. & HOBLAJ, R. (1994): Field data acquisition for digital attribute database of landslides in Slovenia.- 1st Slovenian conference on landslides, Idrija, Proceedings, 180-185.
- VARNES, D.J. (1995): Landslide hazard zonation.- UNESCO, 5-60.





Macro Scale Experimental Study of Agricultural Pollution in Karst

Barbara ČENČUR CURK¹, Marina PINTAR² & Miran VESELIČ^{1,3}

Key words: Carbonate rock, Karst, Karstic soil, Karstified rock, Agricultural pollution, Nitrates.

Abstract

More than 40% of carbonate area in Slovenia and development of human activities, which cause the pollution, lead to more frequent researches of solute transport in fractured and karstified rocks. The purpose of the research was to study nitrate transport in the unsaturated zone of fractured rock.

In-situ experiments were done on the experimental field site at Sinji Vrh in Slovenia. An agrometeorological station and suction tubes were installed on the surface. A special construction for collecting water seeping from the ceiling of a research tunnel was developed. Manuring area was located on the basis of a precise cartography of discontinuities on the surface outcrops and within the research tunnel.

Simulation of fertilization on meadow at this experimental field site was performed in order to determine agricultural influence with simulation of migration processes and to find out a possibility of agriculture intensifying on karst (production increasing by manuring).

1. INTRODUCTION

Over 40% of the Slovenian territory is composed of carbonate rocks, therefore aquifers in it are very important. The development of agriculture and extensive production leads to potential pollution of precious water sources with fertilizers and pesticides.

The main goal of the research was to study the behavior of nitrates and their percolation through karstic soil and underlying unsaturated zone of karstified rock.

Processes of flow and solute transport in fractured and karstified rock are very complex due to heterogeneities and anisotropy of the rock. Therefore experimental field sites are a very important tool for detailed (macro scale) studies of flow and solute transport in karstified rocks. Such experimental field site was planned and equipped for purposes of studying flow and solute transport through karstic soil and rock (ČENČUR CURK, 1997).

2. EXPERIMENTAL DESIGN

The experimental field site Sinji Vrh is located in the western part of Slovenia at the edge of the Trnovski Gozd plateau, which is an overthrust of carbonate rock over Eocene (E_{1,2}) flysch. This area is composed of Jurassic (J_{1,2}) oolitic limestone and massive (compact) limestone, which passes laterally into crystalline dolomite. This territory is crossed by the Avče fault with a Dinaric direction (NW-SE) where the rock is crushed and fractured. The experimental field site at Sinji Vrh is located above the Hubelj spring in the region of the Avče fault.

The experimental field site is composed of surface exposures and an artificial research tunnel, 10 to 12 metres below the surface (Fig. 1). The tunnel direction is nearly constant running south-west - north-east (N 66°E). In the research area there is a fault zone at the crossing of the tunnels. The main fracture and fault strike of the surface rocks and within the tunnel (Fig. 2) is NNE-SSW (dip direction and dip angle: 295/80 and 115/85), the subordinate dips are 85/80-90, 185/85, and 140/80. Jurassic limestone has a south-westerly (230°) dip direction and a gentle dip (5 to 30°).

A special construction for collecting water percolating through the rock was developed (Fig. 3). The construction enables the sampling of the water seeping from the ceiling of the research tunnel in segments along the tunnel (VESELIČ & ČENČUR CURK, 1999). The length of each segment is 1.5 m and the total number of segments is 28.

An agrometeorological station (Fig. 4) has been installed on the surface, where precipitation, evaporation, air temperature, air moisture, wind speed and direction (both in two levels) are continuously measured.

A simulation of fertilization was performed on the meadow at this experimental field site (Figs. 1 and 4). The synthetic fertilizer KAN (calcium ammonium nitrate) was used in standard measures (ČENČUR CURK, 1998). Suction cups in two levels (depth of 15 and 45 cm; Fig. 3) were installed in the karstic soil above the research tunnel. Electrical conductivity, temperature and pH were measured *in situ* in water samples during

¹IRGO - Institute for Mining, Geotechnology and Environment, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: barbara.cencur@i-rgo.si, miran.veselic@i-rgo.si.

²VGI - Water management Institute, Hajdrihova 28, 1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: marina.pintar@guest.arnes.si.

³University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department for Geology, Aškerčeva 20, 1000 Ljubljana, Slovenia.

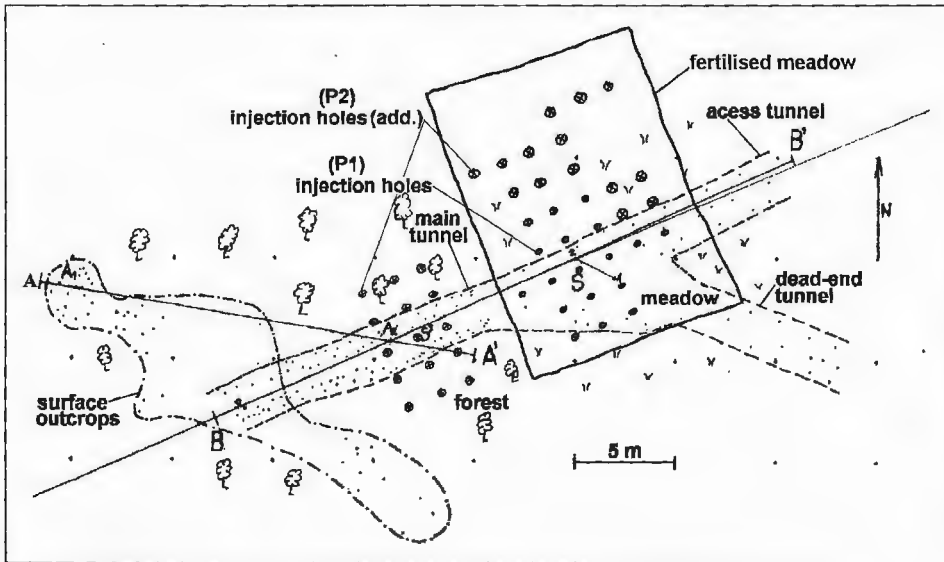


Fig. 1 The experimental field site - the position of surface outcrops area, research tunnel and fertilize meadow.

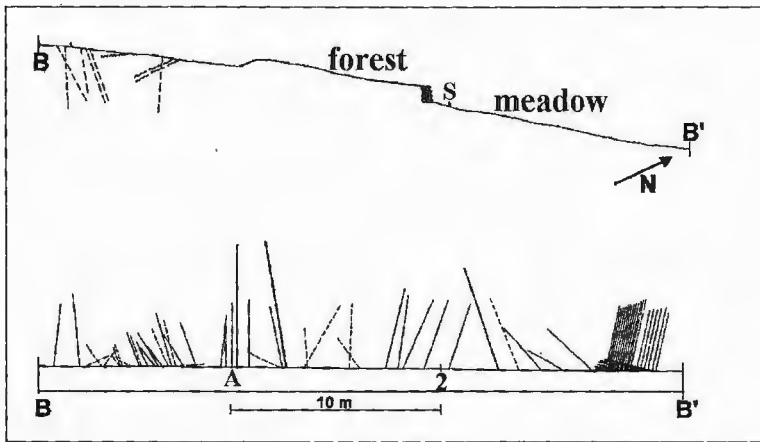


Fig. 2 Vertical longitudinal section of measured planar structures with regard to Fig. 1.

the experiment. The water samples were also examined in the laboratory for nitrate ion and nitrite ion concentrations (IRGO) and nitrogen isotope ¹⁵N (IJS).

3. RESULTS

In the fertilization experiment the nitrate ion appeared in water samples of almost all segments after approximately 30-40 days (Fig. 5), which was a few days after the first heavy rain, followed by more or less constant rain (ČENČUR CURK & VESELIČ, 1998). The highest concentration (15.1 mg/l) was at the measuring point No. 5, where one fast channel with strong fluxes exists and was confirmed also in former tracer experiments and by mapping of discontinuities. Concentrations of NO₃ ion were smaller than a natural background in spring time (concentration before 8-June), when a mineralization in soil proceeds and is rinsed by precipitation water in spring (PINTAR, 1998).

Plants consumed a major part of the nitrate and only a small portion was retained in the soil cover, which is very thin (40-80 cm) at the research site. The results have shown, that thin autochthonous soil cover on karstic rock is not enough to retain the nitrate and prevent pollution of karstic groundwater. Further detailed studies with this respect are needed within the frame of the research on karstic aquifer vulnerability.



Fig. 3 Construction for collecting water samples.



Fig. 4 The experimental field site at Sinji Vrh - surface installations (agro-meteorological station, fertilized surface with suction cups).

4. CONCLUSIONS

In spite of the fact, that meadow have not been manured for 15 years, nitrate ion appeared after 30-45 days in almost all measurement points. Thin autochthonous soil cover on karstic rock is not enough to retain the nitrate and prevent agricultural pollution of karstic aquifer. However, the nitrate concentrations were smaller than the natural background and limits for drinking water, therefore the usage of allowed fertilizers in standards measures have to be forced and realized in agricultural practice.

Aknowledgement

Financial support by the Ministry of Science and Technology and Ministry for Physical Planning of the Republic of Slovenia, under the research grant No. V2-8575-96 is gratefully acknowledged.

5. REFERENCES

ČENČUR CURK, B. (1997): Terenski eksperimentalni poligoni kot osnova pri študiju prenosa snovi v nezasičeni kraško-rzopoklinski kamnini (Experimental field sites as a basis for the study of solute transport in the vadose zone of karstified rock).- Acta Hydrotecnica, 15/20, 111 p., Ljubljana.

ČENČUR CURK, B. & VESELIČ, M. (1998): Experimental study of solute transport in the vadose zone of fractured and karstified rock at the experimental field site Sinji Vrh.- In: KRANJC, A., KOGOVSĚK, J. & ČENČUR CURK, B. (eds.): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (Karst) aquifers: excursion material. Saturday, 17 October 1998. Inštitut za raziskovanje Krasa ZRC SAZU, 9 p.

ČENČUR CURK, B. (1998): Terenski steditni poskus na notranjskem kraškem terenskem eksperimentalnem poligonu.- In: VESELIČ, M. (ed.): Zaključno poročilo o rezultatih projekta ciljnega raziskovalnega programa "Varstvo okolja". Razvoj sistema za obvladovanje ogroženosti podtalnice zaradi točkovnih in razpršenih industrijskih in urbanih ter kmetijskih izvorov onesaženja. Poročilo V2-8575, MZT, Ljubljana.

PINTAR, M. (1998): Vpliv namakanja na kvaliteto podtalnice.- In: Letno poročilo o rezultatih projekta ciljnega raziskovalnega programa "Zemlja". Nitratni ion v pridelovanju in predelovanju hmelja. Poročilo V4-6938, MZT, Ljubljana.

VESELIČ, M. & ČENČUR CURK, B. (1999): Študij prenosa snovi v razpoklinskih in zakraselih kamninah z laboratorijskimi in terenskimi poskusi (Laboratory and experimental study of contaminant transport in fractured and karstified rock).- Rud.-met. zbornik, 46/3, 425-442, Ljubljana.

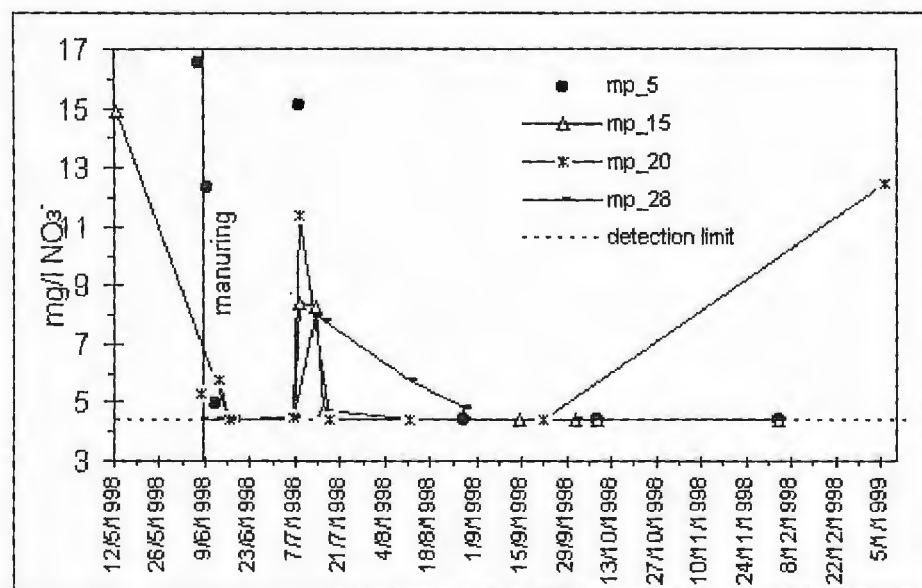


Fig. 5 Concentration of NO₃⁻ ions in sampling points mp_5, 15, 20 and 28.





Field Study of Flow and Transport from Soil to Unsaturated Fractured Rock

Barbara ČENČUR CURK¹ & Kai WITTHÜSER²

Key words: Tracer, Fractured rock, Unsaturated zone, Karst, Slovenia.

Abstract

Field scale tracer tests with different tracers (uranine and salts) and a potential pollutant as a reactive tracer (nitrate) are performed at the IRGO field research facility Sinji Vrh (SI). Injection points are located on the surface, in the soil, at the soil-rock interface and in the fractured rock. Water is sampled in an underground tunnel with the help of two subhorizontal boreholes equipped with sampling devices and a special construction for collecting water seeping from the ceiling. Goal of these experiments is to identify the flow paths of solutes to the underground tunnel and to estimate their residence time in dependence on the injection point. So far only some conclusions regarding the water flux into the tunnel could be drawn.

1. INTRODUCTION

Many recent studies deal with contaminant transport in unsaturated and saturated fractured rocks (e.g. MORENO et al., 1997; NATIV et al., 1995; ABELIN et al., 1991; GUIMERA, 1997), most of them are motivated by risk assessments for radionuclide repositories. Investigations of the contaminant transport in soil and underlying groundwater focus mostly on agricultural pollution (e.g. pesticides or fertilisers). The mechanisms of flow and contaminant transport in the unsaturated fractured rock and soil are relatively well understood, but usually treated separately since the coupling of both systems introduces more complex processes. A thin layer of silt or clay on the bedrock surfaces, for example, can build an effective barrier to infiltration or a fracture filling (SOLL & BIRDSELL, 1998) and prevent water entering the fast transport channel. Only a few studies deal with the infiltration and contaminant transport from soil to underlying fractured rock (e.g. OLOFSSON, 1994). Therefore a remarkable deficit exists in understanding transport processes at the soil-bedrock boundary.

Based on a broad variety of existing experiments like tracer tests (ČENČUR CURK & VESELIČ, 1998) and lysimeter measurements at the IRGO field research facility at Sinji Vrh, additional work is performed in order to understand the transport processes of contaminants at the boundary of soil and underlying fractured rock.

2. EXPERIMENTAL DESIGN

Field scale tracer tests with different tracers (uranine and salts) and a potential pollutant (nitrate) are performed at the research facility Sinji Vrh (SI). The unsaturated fractured and karstified limestone has negligible matrix porosity and a very high fracture density with some greater conduits.

The injection area and points of the tracer are on the surface (fertilised meadow: nitrate), in the soil (0.1 meter below surface (mbs): $MnCl_2$), at the soil-rock interface (0.23 mbs: $NiSO_4$) and in the fractured rock (0.65 mbs: uranine) above the tunnel (Fig. 1). Water is sampled in the underground tunnel (12 mbs) with the help of two subhorizontal boreholes (approx. 1.2 m length and 55 mm diameter), equipped with special sampling device (Fig. 2) and a construction for collecting water seeping from the ceiling in 1.5 m long segments along the tunnel (MP 5, ČENČUR CURK et al., 2000). The boreholes were drilled on both sides perpendicular to the tunnel axis in an area (MP 5), where one fast conduit (short travel time and high tracer recovery) have already been proved in previous tracer experiments.

The sampling devices in the boreholes are built of one half of plastic pipe (\varnothing 40 mm) separated into several sampling chambers with separate outlets (Fig. 2). The separator positions were chosen by visual inspection of the boreholes (televviewer) and the cores to divide the supposed flowing fracture networks. The system is pressed by a tube against the top of the boreholes to ensure a correct position and to avoid bypassing of water.

¹ Irgo - Institute for Mining, Geotechnology and Environment, Slovenčeva 93, 1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: Barbara.Cencur@i-rgo.si.

² AGK - Department of Applied Geology, University of Karlsruhe, Kaiserstr. 12, 76128 Karlsruhe, Germany; e-mail: kai.witthueser@bio-geo.uni-karlsruhe.de.

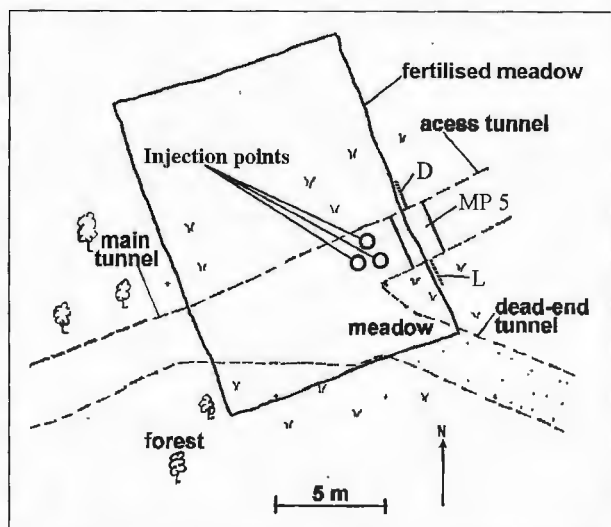


Fig. 1 Experimental field site at Sinji Vrh (SI) with injection points and location of sampling devices (boreholes D and L, segment MP 5).

3. FIRST RESULTS

First sampling results showed the heterogeneous flow conditions in the fracture network. In the NW-directed borehole D only two of three chambers gathered water, even though we expected the other chamber to intersect and gather water from a dominant fracture with surface coating. The SE-directed borehole L, which intersects only a few vertical fractures, is still dry. Since a lot of trickle points exist in the direct vicinity of this borehole, it might be that the intersected fractures are filled with clay.

The plot (Fig. 3) of the flux q into the sampling segment MP 5 (in l/d; 2.2 sqm sampling area) against time shows the hydraulic characteristics of the system. Except for the magnitude of flux the graph for the borehole chamber D2 (in ml/d; 0.021 sqm sampling area) is very similar. At this point we have to stress that the flux from the 26th of November (question mark below data point) is only a minimum flux, since the sampling bottle was too small and overflowed. For this reason we can

not discuss the delay in the maximum fluxes of measuring points MP5 and D2.

Two weeks after the rain events in the beginning of October the water was still draining from small fractures in the unsaturated zone into the tunnel. Just a few days after the next precipitation period, starting on the 21st of October and with the maximum of 38.8 mm on the 23rd, the discharge raised up to 4.3 l/day and the recession could be followed for about 10 dry days.

Due to heavy snowfall in mid of November some measurements were cancelled. With the snowmelt at the end of November and beginning of December the discharge raised again to nearly 3 l/day.

So far no tracers have been analysed, but we can draw some preliminary conclusions from the electric conductivity data. The response of electric conductivity to the precipitation is even faster than the response of the discharge. One day after the precipitation event from the 21st of October we observed an increased electric conductivity, while the discharge was still pretty low. The fast reaction in electric conductivity could also be observed in the following precipitation events. Every period of precipitation events or one event with a high initial saturation of the unsaturated zone causes the next flush out of the tracers within 1 day.

4. OUTLOOK

Sampling for tracer analysis as well as the sample volume measurements will proceed. The analysis of the tracers, above all chloride and uranine, will give more detailed residence times with respect to the injection points for the 12 m thick unsaturated zone. The determination of transport parameters will enable us to build up a physical model of the test site.

Acknowledgement

Financial supports by the European Science Foundation under the GPoll research grant No. V2-8575-96 is gratefully acknowledged.

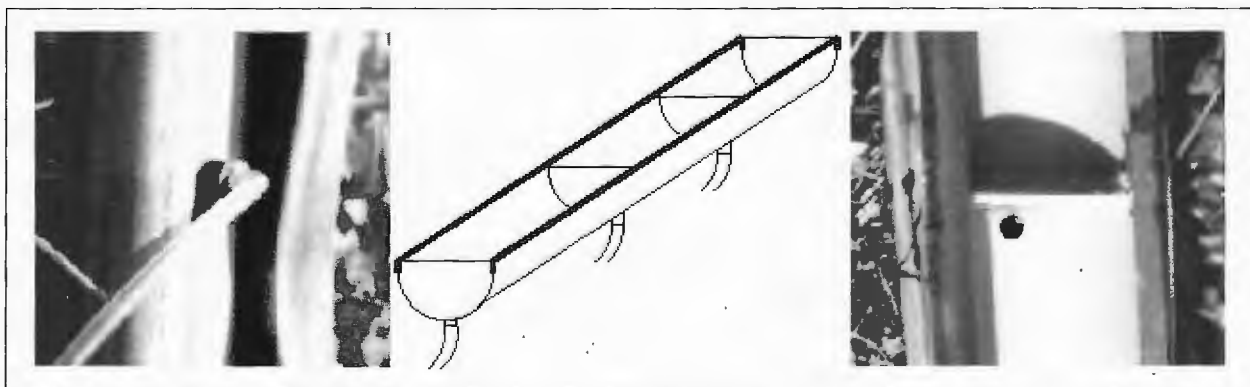


Fig. 2 Sampling system for horizontal boreholes with detail pictures of the chamber outlets.

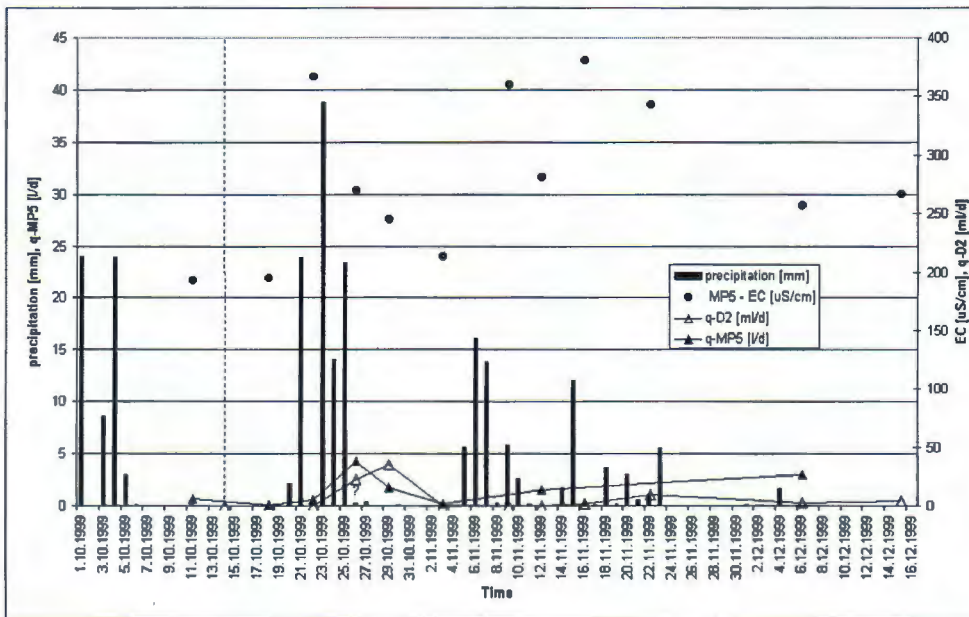


Fig. 3 Electric conductivity and discharges for observation points (borehole chamber D2 and sampling segment MP 5) with precipitation data (the dashed line indicates the tracer injection).

5. REFERENCES

ABELIN, H., BIRGERSSON, L.L., MORENO, L., WIDÉN, H., ÅGRÉN, T., GIDLUND, J. & NERETNIEKS, I. (1991): A large-scale flow and tracer experiment in granite.- *Water Resour. Res.*, 27, 3107-3135.

ČENČUR CURK, B. & VESELIČ, M. (1998): Experimental study of solute transport in the vadose zone of fractured rock.- 8th V.M. Goldschmidt Conference 1998, Extended Abstracts. Mineralogical Magazine, 62A, 292-293.

ČENČUR CURK, B., PINTAR, M. & VESELIČ, M. (2000): Macro scale experimental study of agricultural pollution in karst.- 2nd Croatian Geological Congress, Cavtat-Dubrovnik, Proceedings (this Vol.), 567-569, Zagreb.

GUIMERA, J., MARTINEZ, L. & GOMEZ, P. (1997): Analysis of fracture-induced water mixing by natural tracers at a granitic pluton (El Berrocal, Spain).- *Tracer Hydrology*, 97, 245-253.

MORENO, L., GYLLING, B. & NERETNIEKS, I. (1997): Solute transport in fractured media - the important mechanisms for performance assessment.- *J. of Contaminant Hydrology*, 25, 283-298.

NATIV, R., ADAR, E., DAHAN, O. & GEYH, M. (1995): Water recharge and solute transport through the vadose zone of fractured chalk under desert conditions.- *Water Resour. Res.*, 31, 253-261.

OLOFSSON, B. (1994): Flow of groundwater from soil to crystalline rock.- *Applied Hydrogeology*, 2, 71-83.

SOLL, W. & BIRSELL, K. (1998): The influence of coatings and fills on flow in fractured, unsaturated tuff porous media systems.- *Water Resour. Res.*, 34, 193-202.





Geofizička istraživanja za projektiranje tunela

Geophysical Investigations for Tunnel Design

Dinko DUJMIĆ, Saša KASAPOVIĆ & Damir PEŠT

Ključne riječi: program, geofizičke metode, tunel, geotehničke sredine.

Key words: Program, Geophysical methods, Tunnel, Geotechnical media.

Sažetak

Geofizička istraživanja za projektiranje tunela u pravilu se izvode u sklopu složenih geotehničkih istraživanja. Konfiguracija terena uzduž trasa tunela, te prethodne litološke, strukturne i seizmotektonske spoznaje, najviše utječu na izbor metoda geofizičkih istraživanja. One se odlikuju svojom jednostavnom i brzom terenskom izvedbom, pa je udio geofizičkih istraživanja u sklopu složenih geotehničkih istraživanja značajan, jer je zadani rok njihove izvedbe najčešće kratak. Interpretacijom obrađenih mjernih podataka svih primijenjenih metoda dobiva se geofizički model koji omogućuje povezivanje točkastih podataka geološke rekognoscije i istražnog bušenja radi definiranja istraživanog geotehničkog modela. U prezentiranome radu preko različitih primjera iz prakse prikazuju se rezultati geofizičkih istraživanja kao prilog u interpretaciji istraživanog geotehničkog modela. Tako definirani model kvalitetna je podloga za izradu optimalne projektne dokumentacije u istraživanoj zoni trase tunela.

Abstract

As a rule, the geophysical investigations for tunnel design are conducted within the framework of complex geotechnical investigations. The ground configuration along the tunnel route and earlier lithologic, structural and seismotectonic data predominantly influence the selection of the geophysical investigation methods. They are characterized by their simple and fast field implementation so the contribution of geophysical investigations to the complex geotechnical investigations is important, particularly with respect to usually short deadlines. Interpretation of analyzed measurement results of all applied methods gives a geophysical model which enables connecting of point data on geological recognition and investigation drilling necessary for definition of the investigated geotechnical model. The paper describes several hands-on examples in order to present the results of geophysical investigations as the contribution to interpretation of investigated geotechnical model. The model defined in this way is a quality background for preparation of optimum design documentation for the investigated zone of the tunnel route.

1. UVOD

U tunelogradnji su za izradu projektne dokumentacije svih nivoa potrebni pouzdani rezultati geotehničkih istraživanja. Danas se oni mogu znatno lakše ostvariti, za razliku od prije dvadesetak i više godina. To treba zahvaliti današnjim modernim i vrlo osjetljivim mjernim instrumentima, te moćnim računarskim sistemima. I pokraj tako moćne tehnike, u interdisciplinarnim geotehničkim istraživanjima najvažniji je ljudski faktor. U postojećim prirodnim uvjetima najiskusniji stručnjaci različitih disciplina timski trebaju napraviti optimalan program kompletnih geotehničkih istraživanja. Jednako važni su redosljed istraživanja i neposredna, što češća, suradnja svih stručnjaka koji rade na postojećoj geoteh-

ničkoj problematici pri interpretaciji dobivenih rezultata.

Naše dosadašnje iskustvo pokazalo je da naručitelji geotehničkih istraživanja traže kratki rok njihove izvedbe, pa je u takvim uvjetima udio primijenjenih geofizičkih istraživanja iznimno velik zbog jednostavnih i brzih terenskih mjerenja, te jednostavne obrade podataka. Interpretacijom prethodnih geoloških i geofizičkih podataka određuju se najinteresantnije lokacije geotehničkih istražnih bušotina. U istražnim bušotinama s definiranom dubinom bušenja izvode se geofizička kartažna i seizmička mjerenja. U laboratoriju se izvode ultrazvučna mjerenja na odabranim uzorcima nabušene jezgre. Tek nakon ovih mjerenja, korelacijom svih geofizičkih terenskih "in situ" mjerenja s laboratorijskim

podacima, dobiva se geofizički model istraživane zone trase tunela. Uz sve ostale rezultate istraživanja on je osnova za određivanje geotehničkog modela kao kvalitetne podloge projektiranju racionalnog rješenja izvedbe tunela.

2. IZBOR METODA GEOFIZIČKIH ISTRAŽIVANJA

Projektirane trase uglavnom dužih tunela najčešće prolaze uzduž izrazite konfiguracije, te kroz terene složene litološke, strukturne, inženjerskogeološke, hidrogeološke, seizmotektonske i inženjerskoseizmološke građe. Uz to je poznata činjenica da područje Hrvatske i većina njenih susjednih zemalja predstavljaju izrazito aktivnu seizmičku regiju u Europi. Iz toga proizlazi da se kod nas tuneli, kao značajni objekti, moraju projektirati i za aseizmičku izgradnju. U takvim okolnostima interpretirani rezultati geofizičkih istraživanja, posebno brzine poprečnih (posmičnih) elastičnih valova i definirana (usvojena) dubina do seizmičke podine - osnovne stijene, osnova su za proračun projektnih seizmičkih parametara. Pod pojmom seizmičke podine - osnovne stijene podrazumijeva se stijenski masiv s brzinom posmičnih valova (V_s) većom od 750 m/s. Prema tome, interpretirani geofizički model sadrži višenamjenske rezultate. Da bi ti rezultati bili na nužnom kvalitetnom nivou, potrebno je odabrati adekvatne geofizičke metode prema postojećim prirodnim uvjetima na istraživanoj trasi tunela. Na izbor geofizičkih metoda najviše utječu litološki, strukturni i seizmotektonski odnosi u određenoj geotehničkoj makrozoni. Danas se u pravilu primjenjuje više geofizičkih metoda, jer se zbog svojih nedostataka njihovi rezultati međusobno nadopunjuju, te kao takvi, koreliraju s rezultatima ostalih geotehničkih istraživanja.

Za određivanje litološkog sastava zastupljenih stijena, te strukturnih i tektonskih odnosa na istraživanim trasama tunela, posebno mjesto među geofizičkim metodama zauzimaju geoelektrične metode. Baziraju se na razlikama u električnoj provodljivosti zastupljenih litoloških članova. Tako se u glinama, laporima, filitima ili škriljancima mjere znatno niže vrijednosti električne otpornosti (najčešće niže od 100 Ωm) u odnosu na karbonatne stijene, pješčenjake i eruptive, u kojima se mjere električne otpornosti s vrijednostima od više tisuća Ωm .

Za određivanje, pak, dinamičkih elastičnih karakteristika zastupljenih stijena koristi se refrakcijsko-seizmička metoda, uz pretpostavku da se brzine elastičnih valova povećavaju s dubinom. Ako bi, na primjer, ispod krovinskih karbonatnih stijena s većim brzinama elastičnih valova bili, na niveletu tunela, stratificirani podinski škriljanci s manjim brzinama, onda se umjesto refrakcijske seizmike primjenjuje refleksivna seizmika, te mjerenja georadarom na portalima tunela ili na mjestima s tanjim nadslajem. U takvim slučajevima izvodi se

nešto veći broj bušotina za karotažna i seizmička mjerenja (*down-hole* ili *cross-hole*) kako bi se mogli konačno odrediti projektni geotehnički parametri.

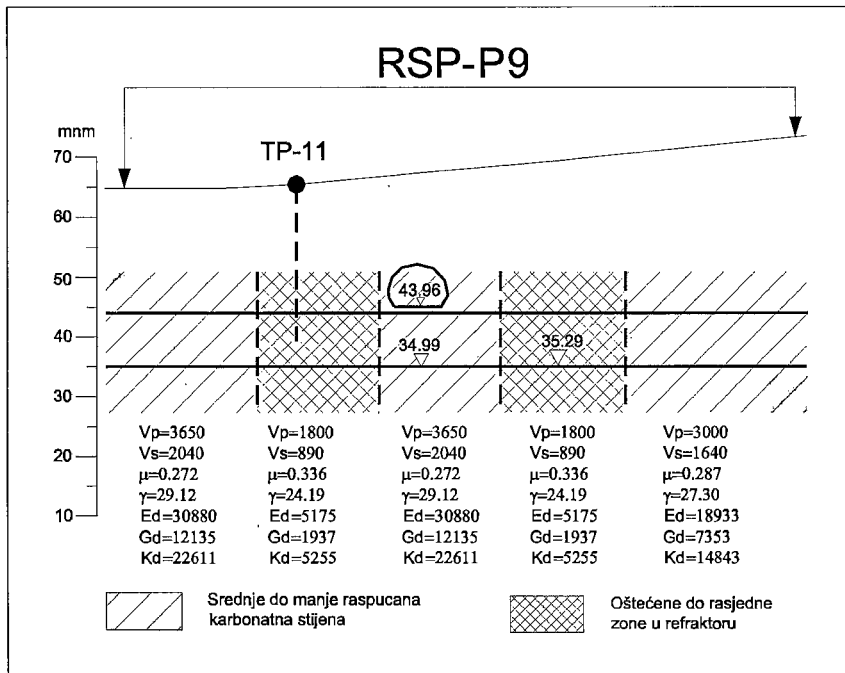
Georadarskim mjerenjima mogu se detaljno pratiti dubinsko prostiranje naslaga, strukturne karakteristike, položaj i pružanje oslabljenih i oštećenih zona, te se mogu detektirati geološki fenomeni (npr. kaverne) koje metoda refrakcijske seizmike ne izdvaja.

Preko nekoliko primjera iz prakse želimo ukazati na rješavanje geotehničke problematike u slijedu: geološka prospekcija terena, inženjerskogeološke cjeline, geofizički model stijenske mase, izdvajanje geotehničkih sredina (RMR), te seizmotektonska i inženjerskoseizmološka studija.

3. HIDROTEHNIČKI TUNEL "VELA LUKA"

U zoni trase hidrotehničkog tunela "Vela Luka" na otoku Korčuli opseg geofizičkih istraživanja (BENAMATIĆ & DUJMIĆ, 1997), određen je na osnovi inženjerskogeoloških spoznaja u sklopu idejnog rješenja. Prema tim spoznajama radi se o jednostavnom geotehničkom modelu. U zoni cijele trase tunela projektirane dužine 924,00 m (HYDROART, 1998), zastupljeni su uslojeni gornjokredni vapnenci s dvije izdvojene oštećene do rasjedne zone. Geofizička istraživanja su, uz određivanje dinamičkih elastičnih svojstava stijenskog masiva, trebala utvrditi presijecaju li oštećene do rasjedne zone i niveletu tunela. Osim toga, trebalo je odrediti dubinski doseg kore trošenja, te na sjevernom izlaznom portalu tunela provjeriti je li plitka i uska jaruga zapadno od projektirane osi tunela rezultat možebitne rasjedne zone.

Za rješavanje ove problematike primijenjena je metoda refrakcijske seizmike kojom se određuju dinamičke elastične karakteristike zastupljenih stijena. Uzduž trase tunela izmjereno je 9 refrakcijskih profila duljine 55-230 m radi dubine interpretacije 20-90 m (ovisno o kotama terena), a što je dublje od zadane nivelete tunela. Poprečni profil RSP-10 izmjeren je na sjevernom izlaznom portalu radi provjere možebitne rasjedne zone. Na refrakcijskim seizmičkim profilima, na odgovarajućim mjestima, bili su postavljeni površinski trokomponentni geofoni za mjerenje brzina elastičnih valova (posebno poprečnih) u osnovnom stijenskom masivu. Uzduž cijele trase tunela uzimani su uzorci stijenskog masiva za geotehnička laboratorijska ispitivanja. Ovim ispitivanjima na uzorcima vapnene stijene određene su različite vrijednosti zapreminskih težina. Određivanjem različitih dinamičkih elastičnih zona u osnovnom stijenskom masivu s pripadajućim brzinama P i S valova i izmjerenim zapreminskim težinama, izračunati su osnovni dinamički parametri (E_d , K_d i G_d), a zatim, preko poznatih relacija (KUJUNDŽIĆ, 1974), statički parametri (E, K i G). Na odabranom dijelu interpretiranog uzdužnog refrakcijskog profila od stacionaže 0+300 do 0+450, te na poprečnom profilu RSP-10 (sl. 1), lako se zapaža da je



Sl. 2 Interpretirani rezultati geofizičkih istraživanja u projektiranoj zoni nivelete tunela "Pećine" u Rijeci.

Fig. 2 Interpreted geophysical investigation results for the designed "Pećine" tunnel level line zone (Rijeka).

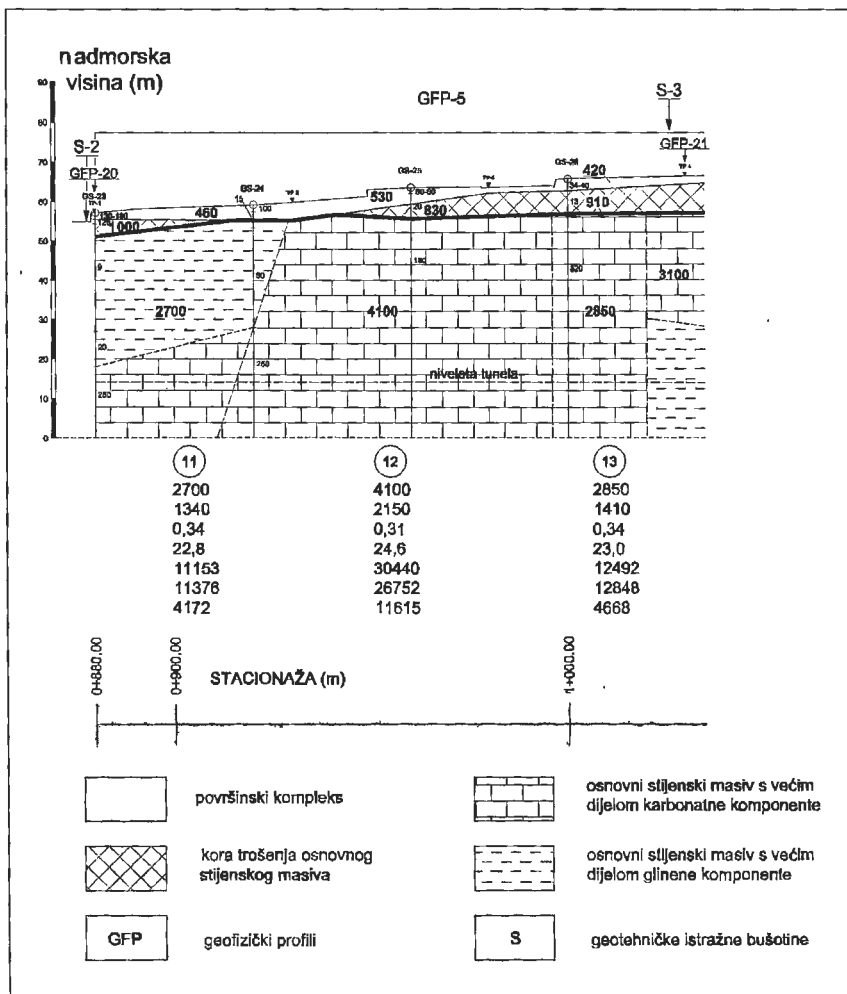
valova 1.000-2.000 m/s, nešto je boljih geotehničkih karakteristika. Uglavnom je to dobro zbijena crvenica s odlomcima matične stijene ili jače raspucana i oštećena stijena zahvaćena procesom trošenja. Važna je spoznaja da ni na jednoj dionici projektirane trase tunela kora trošenja ne seže u zonu nivelete tunela. U osnovnom stijenskom masivu registrirane su brzine P valova 1.000-5.000 m/s. Brzine 2.500-5.000 m/s interpretirane su kao srednje do manje raspucane karbonatne stijene najboljih geotehničkih osobina. Registrirane zone smanjenih brzina P valova 1.000-1.900 m/s ukazale su na jako raspucanu i oštećenu stijenu s mogućom pojavom nekih krških fenomena. Ove zone u većini slučajeva presijecaju niveletu tunela, a sumarno su zastupljene na oko 15-20% ukupne dužine tunela. Seizmička *down-hole* mjerenja u bušotinama omogućila su mjerenje uzdužnih (P) i poprečnih (S) elastičnih valova. Ova mjerenja globalno su potvrdila interpretaciju refrakcijske seizmike i kompatibilna su sa inženjerskogeološkom klasifikacijom nabušene jezgre. Valja naglasiti da se kod većine bušotina na dubini većoj od 12 m povećavaju brzine elastičnih valova, što ukazuje na poboljšanje geotehničkih osobina osnovnog stijenskog masiva. Karotažnim mjerenjima gama-gama dobiveni dijagrami pokazuju raznolike vrijednosti, od 42 do 195 cps. Općenito, mjerena vrijednost povećava se u stijenama manje prosječne zapreminske težine. U konkretnom slučaju, bile su to oštećene zone u osnovnom stijenskom masivu. I laboratorijska ispitivanja na uzorcima karbonatnih stijena potvrdila su različite vrijednosti zapreminskih težina, od 25,8 do 29,2 kN/m³. Uspostavljeni odnosi između brzina P i S elastičnih valova, te zapreminskih težina i P valova, omogućili su preko rezultata refrakcijske seizmike proračun dinamičkih elastičnih parametara. Finalni rezultat ovih proračuna su refrakcijski

seizmički profili s vrijednostima Poissonovih koeficijenta, E_d , K_d i G_d u zoni projektirane nivelete tunela "Pećine" i "Bobova" na magistralnoj cesti GMC-105 u Rijeci (slika 2).

5. HIDROTEHNIČKI TUNEL "STUPE"

Složena geotehnička istraživanja u zoni projektirane trase hidrotehničkog tunela "Stupe" (IGH, 1999), izvedena su za glavni projekt Kanalizacijskog sustava Split-Solin I etapa. Na istraživanom području zastupljeni su eocenski sedimenti fliša s korom trošenja u plitkom krovinskom dijelu, i uslojenim, strmo nagnutim litološkim članovima u osnovnom stijenskom masivu. Najčešće su to lapori sive boje s većim ili manjim udjelom glinovite komponente, dok su karbonatni članovi fliša zastupljeni foraminiferskim mikrobrecama i brečama, vapnenačkim pješčenjacima i foraminiferskim vapnencima žuto-bijele boje.

Prema navedenim složenim inženjerskogeološkim odnosima načinjen je program geofizičkih istraživanja kojim je predviđeno kontinuirano pokrivanje trase tunela profilima refrakcijske seizmike. Osim toga, uzduž trase tunela predviđeni su i poprečni seizmički profili s ciljem definiranja prostornog geotehničkog modela. Duljina refrakcijskih profila bila je 50-200 m, jer je zadana dubina interpretacije 20-80 m. Za praćenje promjena u litološkom sastavu duž refrakcijskih profila izvedeno je geoelektrično sondiranje Schlumbergerovim rasporedom elektroda (AB/2 do 150 m) s međurazmakom sonde do 40 m. Nakon obrade rezultata refrakcijske seizmike locirane su istražne bušotine, pri čemu su u nekima izvršena *down-hole* mjerenja, dok su na monolitnim uzorcima iz tih bušotina izvedena mjerenja prostorne težine i dinamička mjerenja brzine P i S valova.



Sl. 3 Karakteristični dio interpretiranog geofizičkog profila po projektiranoj osi tunela "Stupe" u Splitu s vrijednostima električne otpornosti i pripadajućih dinamičkih elastičnih parametara osnovnog stijenskog masiva.

Fig. 3 Characteristic part of interpreted geophysical profile of the designed "Stupe" tunnel centerline (Split) with electric resistances and corresponding dynamic elastic parameters of the bedrock massiv.

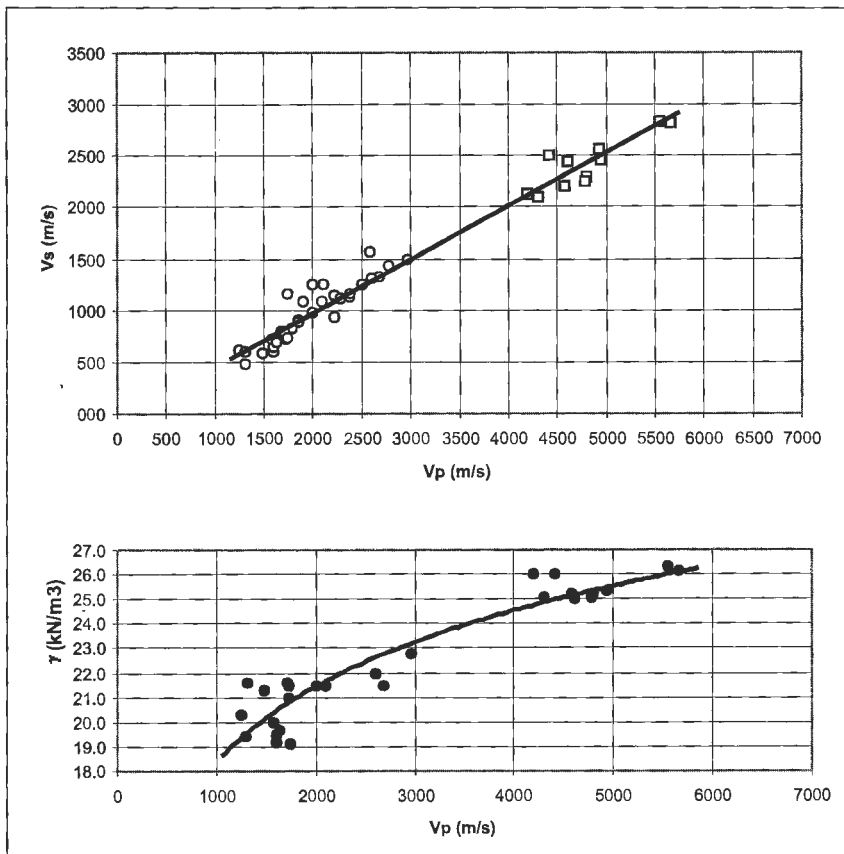
Interpretacijom rezultata refrakcijske seizmike i geoelektričnog sondiranja (DUJMIĆ et al., 1998), uz nužno korištenje prognoznih inženjerskeoloških presjeka, izdvojene su tri elastične sredine. Prva, s najmanjom brzinom P vala 260-750 m/s, predstavlja plitki površinski kompleks najslabijih geotehničkih karakteristika. Druga, s brzinom P vala od 750 do 2.000 m/s, predstavlja raspucane i oštećene sedimente fliša zahvaćene procesom trošenja. Treća elastična sredina najboljih geotehničkih karakteristika, s najvećom brzinom P vala 1.700-5.000 m/s, predstavlja čvrsti osnovni stijenski masiv - sedimente fliša. Unutar treće elastične sredine razdvojeni su glinoviti članovi (nižih vrijednosti električne otpornosti) od pretežno karbonatnih članova flišne stijene (viših vrijednosti električne otpornosti), te zasebno zone srednje do jače raspucane stijene karakterizirane nešto manjim brzinama P valova (1.700-2.800 m/s) (sl. 3). Strukturni odnosi među različitim članovima flišne stijene određeni su prema prividnim električnim otpornostima i geološkoj prospekiji terena. *Down-hole* mjerenjima P i S valova, te laboratorijskim mjerenjima prostorne težine i brzine P i S valova utvrđen je odnos među brzinama P i S valova, te međuovisnost prostorne težine i brzine P valova (sl. 4). Kako su metodom refrakcijske seizmike određene različite zone brzina P valova u flišu, bez obzira na njegov litološki sas-

tav, utvrđene relacije omogućile su određivanje pripadajućih brzina S valova i prostornih težina za proračun dinamičkih parametara (E_d , K_d i G_d).

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom pokušali smo ukazati na mogućnosti primijenjenih geofizičkih istraživanja kod rješavanja geotehničkih problema uzduž projektiranih trasa tunela. U sklopu složenih geotehničkih istraživanja ne treba favorizirati niti jednu istraživačku djelatnost. Posebno smo ukazali na nužnu interdisciplinarnost u istraživanju jer je to bitan preduvjet definiranju cjelovitog geotehničkog modela kao kvalitetne podloge projektiranju racionalnih rješenja izvedbe geostatički stabilnih i na seizmički udar otpornih tunela.

Na osnovi odabranih primjera iz naše novije prakse (poglavlja 3, 4 i 5) može se zaključiti da ne postoji optimalni univerzalni program geofizičkih istraživanja za projektiranje tunela. On isključivo ovisi o prirodnim geotehničkim karakteristikama pripadajuće makrozone, te o konfiguraciji terena uzduž trase tunela. U svakom slučaju, potrebno je primijeniti više odgovarajućih geofizičkih metoda čiji se rezultati međusobno nadopunjuju, a zatim koreliraju s rezultatima ostalih istraživanja



Sl. 4 Gornji dio slike predstavlja ovisnost P i S valova određenih dinamičkim mjerenjem na uzorcima jezgre bušotina S-2 i S-4, te *down-hole* opažanjima u istim bušotinama ($V_s = 0.5192 \times V_p - 61.897$). Donji dio slike prezentira ovisnost prostorne težine o brzini P valova određenih na istim uzorcima jezgre ($\gamma = 4.4414 \times \ln(V_p) - 12.297$).

Fig. 4 Upper part represents interrelation of P and S waves determined by dynamic measurements on boreholes (S-2 and S-4) core samples and down-hole monitoring on the same boreholes ($V_s = 0.5192 \times V_p - 61.897$). Lower part represents dependence of bulk density of P waves velocities determined on the same core samples ($\gamma = 4.4414 \times \ln(V_p) - 12.297$).

radi konačne interpretacije geotehničkog modela. Prema našem dosadašnjem iskustvu, ako to omogućava konfiguracija terena, najprije treba izvesti kontinuirani uzdužni geofizički profil s potrebnom gustoćom podataka po projektiranoj osi tunela. Obradeni mjerni podaci uzdužnog profila uvjetuju raspored poprečnih profila, uz važnu napomenu da njihova duljina omogućava interpretaciju geofizičkog modela dublje od projektirane nivelete tunela. Isto tako, na portalima tunela te na dionicama s tanjim nadslojem svakako treba primijeniti geofizičke metode s velikom gustoćom podataka na malim dužinama, te metode kojima se mogu registrirati navlačne zone ili krški fenomeni (npr. georadar, geoelektrično profiliranje).

7. LITERATURA

- BENAMATIĆ, D. & DUJMIĆ, D. (1997): Hidrotehnički tunel "Vela Luka", geofizička istraživanja.- Arh. struč. dok. Moho, Zagreb.
- DUJMIĆ, D., JAGATIĆ, I., SALKOVIĆ, A. & PEŠT, D. (1995): Magistralna cesta GMC-105 Rijeka, geofizička istraživanja.- Arh. struč. dok. Moho, Zagreb.
- DUJMIĆ, D., KASAPOVIĆ, S. & PEŠT, D. (1998): Hidrotehnički tunel Stupe, geofizička istraživanja.- Arh. struč. dok. Moho, Zagreb.
- IGH (1999): Izvještaj o geološkim i geotehničkim istražnim radovima na lokaciji hidrotehničkog tunela Stupe u Splitu.- Arh. struč. dok. IGH, PC Split, Split.
- HYDROART (1998): Hidrotehnički-kanalizacijski tunel "Vela Luka", izvedbeni projekt.- Arh. struč. dok. Hydroart, Split.
- KUJUNDŽIĆ, B. (1974): Građevinski priručnik.- Tehnička knjiga, Beograd.

Geološka interpretacija novih ležišta nafte polja Privlaka

Geological Interpretation of New Oil Reservoirs of the Privlaka Field

Niko FILIPOVIĆ & Tomislav ILIJAŠ

Ključne riječi: Slavonsko-srijemska depresija, Naftno-plinsko polje Privlaka, Ležišta A₁, A₂, A₃.

Key words: Slavonsko-srijemska depression, Oil-gas field Privlaka, Reservoirs A₁, A₂, A₃.

Sažetak

Geološkom reinterpetacijom polja Privlaka, na temelju novih podataka i novih pristupa razradi, definirana su nova naftna ležišta A₁, A₂ i A₃. Strukturni i tektonski odnosi točnije su definirani interpretacijom 2D seizmičkih profila na Landmark radnoj stanici. Određena je stratigrafska pripadnost ležišnih stijena i opisan litološki sastav. Na temelju petrofizikalnih karakteristika stijena i ležišta izračunate su i kategorizirane nove rezerve nafte i otopljenog plina u nafti na polju Privlaka. Rezultati interpretacije inicirali su ekonomski prihvatljive projekte koji su u međuvremenu i potvrđeni.

Abstract

On the basis of new information and new approaches to the development, through the geological reinterpretation, new oil reservoirs A₁, A₂ and A₃ have been determined. The structural and tectonic framework relations have been defined with more precision through the interpretation of the 2D seismic profiles on the Landmark workstation in the Privlaka field. The stratigraphic age of the reservoir rocks was determined, and their lithological composition was described. On the basis of the petrophysical characteristics of the rocks and reservoirs, new reserves of oil-in-place and the associated gas in the Privlaka field have been estimated and categorized. The results of the interpretation have initialised economically (financially) acceptable projects, which have been confirmed in the meantime.

1. UVOD

Naftno-plinsko polje Privlaka drugo je eksploatacijsko polje po veličini Pogona Vinkovci, kojem pripadaju još i polja Đeletovci i Ilača. Nalazi se 12 km jugoistočno od Vinkovaca. Polje je otkriveno 1983. god. (dubokom istražnom bušotinom Pri-1), a pušteno u rad 05. 10. 1985. god. Na širem području polja provedena su gravimetrijska, magnetometrijska i seizmička mjerenja. Analizom svih podataka indicirana je povoljna strukturalna forma - antiklinala na kojoj je 1983. godine, dubokom istražnom bušotinom Pri-1 otkriveno naftno-plinsko polje Privlaka. Proizvodnja nafte započela je 1984. godine. Do danas su izrađena 22 kanala bušotina. Nafta i plin se proizvode iz ležišta "Privlaka", A₄ i "a".

Naftno polje Privlaka otkriveno je nakon opsežnih geološko-geofizičkih radova provedenih na širem području Slavonsko-srijemske depresije u razdoblju od 1956-1980. godine. U disertaciji HERNITZ (1983) daje stratigrafski pregled te definira dubinske strukturalno-tektonske odnose u području istočne Slavonije. Cjelovit pregled istražnih radova u Slavonsko-srijemskoj potoli-

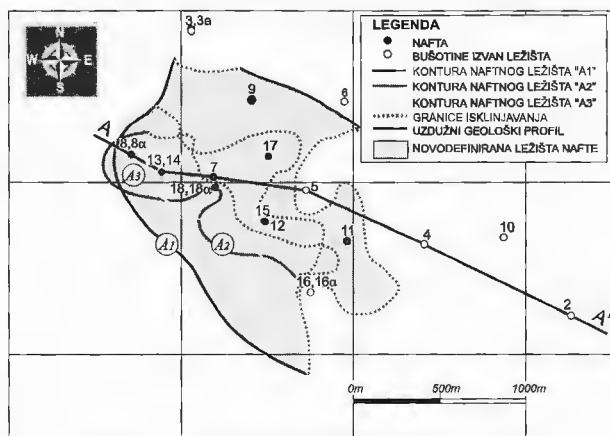
ni iznosi URBIHA (1985). Osnovne stratigrafske, strukturalno-tektonske i naftnogeološke karakteristike ležišta Privlaka deteminiraju MATELJAK & JUNGWIRTH (1985).

Ovim radom definirana su prvi puta i plića naftna ležišta A₁, A₂ i A₃ (sl. 1 i 3) koja do sada nisu elaborirana. Rezultat ovog rada su nove utvrđene rezerve nafte (B kategorije). Rezerve nafte polja Privlaka povećane su za 27% u minimalnoj varijanti.

2. GEOLOŠKA INTERPRETACIJA LEŽIŠTA

Geološki opis ležišta temeljio se na rezultatima interpretacije bušotinskih podataka (geološko praćenje, analizirani uzorci jezgara i krhotina stijena, analiza karotažnih dijagrama, interpretacija seizmičkih profila, ispitivanje ležišta).

Stratigrafska pripadnost i prostorna rasprostranjenost stijena na polju Privlaka utvrđena je geološkim podacima iz dubokih bušotina (analizom mineraloško-petrografskog sastava i fosilnog sadržaja, interpretaci-



Sl. 1 Pregledna karta novih ležišta nafte A₁, A₂, A₃.

Fig. 1 Overview map of new oil reservoirs A₁, A₂, A₃.

jom, korelacijom snimljenih karotažnih dijagrama bušotina i analogijom sa susjednim područjima). Naslage ležišta A₁ pripadaju gornjem pontu, a A₂ i A₃ donjem pontu.

Šupljikavost, početno zasićenje vodom i litološki sastav procijenjeni su na temelju analiza karotažnih dijagrama iz programa Express (CRA - Complex Reservoir Analysis) (sl. 7).

Srednje vrijednosti šupljikavosti, koje su ušle u račun zaliha, izračunate su otežavanjem s pripadajućim efektivnim debljinama. Laboratorijskih analiza nema.

Efektivne debljine ležišta procijenjene su pomoću Epilog analize i mikrofokusirajućih dijagrama. Srednje vrijednosti početnog zasićenja vodom određene su otežavanjem s debljinama analiziranih intervala. Vrijednosti zasićenja naftom, dobivene su iz odnosa $S_0 = 1 - S_w$.

Srednja apsolutna propusnost ležišta dobivena je iz rezultata DST-ispitivanja. Za ležište A₁ iznosi 244 mD, a za ležišta A₂ i A₃ za sada ne raspolažemo mjerenjima.

2.1. LEŽIŠTE A₁

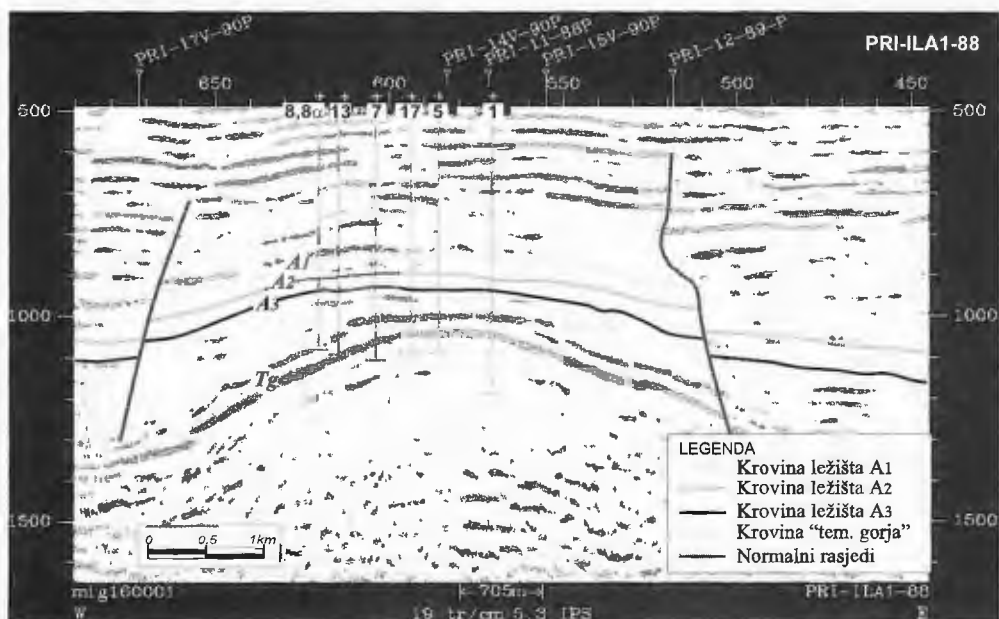
Ležište nafte A₁ formirano je u zamci koja pripada tipu slojevitih ležišta s litološkim ekranom. Istočnu i djelomično sjevernu granicu ležišta čini litološki ekran, odnosno gubljenje kolektorskih svojstava - zalaporenje pješčenjaka, dok na jugozapadu i djelomično sjeveru ima rubnu vodu (sl. 4).

Naftonosnici ležišta A₁ su sitnozrni, slabovezani pješčenjaci gornjeg pontu koji se izmjenjuju s proslojci- ma glinovitih lapora i laporovitih glina. Slojevi ležišta su tanki i nekontinuirani. Najveća debljina ležišta u zasićenju naftom prema bušotinskim podacima je na bušotini Pri-16α (21,98 m). Pri geološkom praćenju uočena je pozitivnost na naftu u uzorcima iz bušotina Pri-14, 15, 16α, 17 i 18α. Testiranjem iz bušotine Pri-14 dobivena je nafta i gorivi plin. Interpretacijom DST potvrđena je litološka barijera ovog ležišta. Na temelju testiranja utvrđena je dobra propusnost pješčenjaka. Prosječna šupljikavost naftonosnika je primarnog karaktera i iznosi 29,5 %, a prosječno početno zasićenje naftom 59,0 %. Kontakt nafta/voda određen je na temelju rezultata analize karotažnih dijagrama na apsolutnoj dubini 687 m.

2.2. LEŽIŠTE A₂

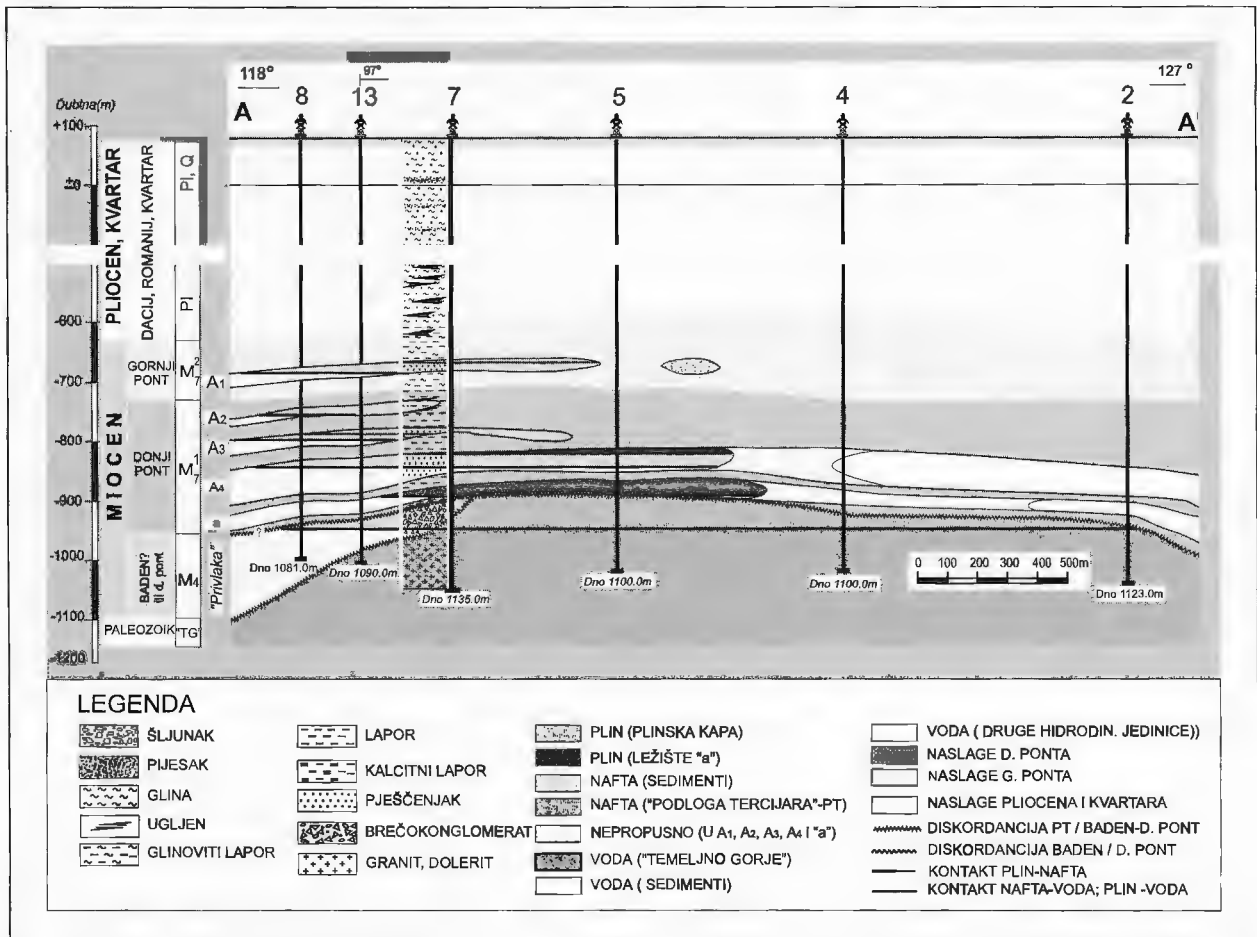
Ležište nafte A₂ formirano je također u zamci koja pripada tipu slojevitih ležišta s litološkim ekranom. Po veličini je najmanje. Smješteno je na jugozapadu polja. Sjeveroistočnu granicu ležišta čini litološki ekran, odnosno gubljenje kolektorskih svojstava (zalaporenje - zaglinjenje), dok na jugozapadu ima rubnu vodu (sl. 5).

Naftonosnici ležišta A₂ su sitnozrni, slabovezani pješčenjaci donjeg pontu koji se izmjenjuju s proslojci- ma glinovitih lapora i laporovitih glina. Slojevi ležišta su tanki i nekontinuirani. Nema petrografskih i sedime-

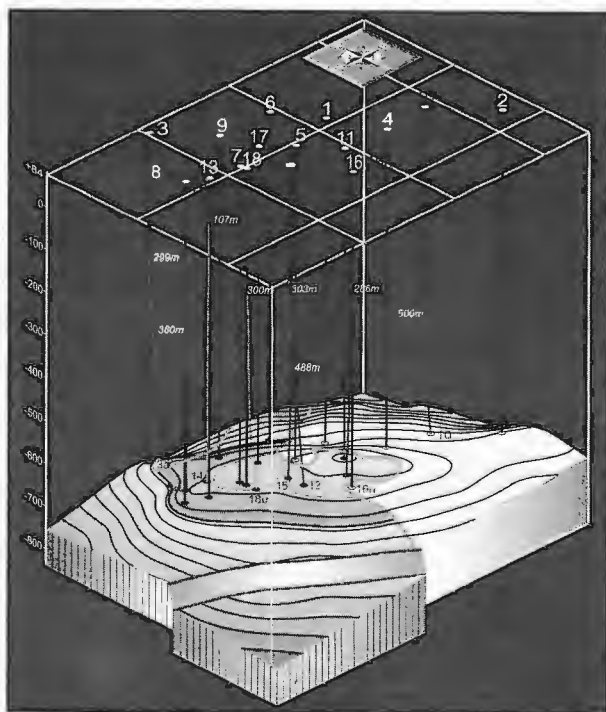


Sl. 2 Interpretirani seizmički profil na radnoj stanici Landmark.

Fig. 2 Interpreted seismic profile on workstation Landmark.



Sl. 3 Uzdužni geološki profil polja Privlaka A-A'.
 Fig. 3 Longitudinal cross section of Privlaka field.



Sl. 4 3-D model ležišta A₁.
 Fig. 4 3-D model of reservoir A₁.

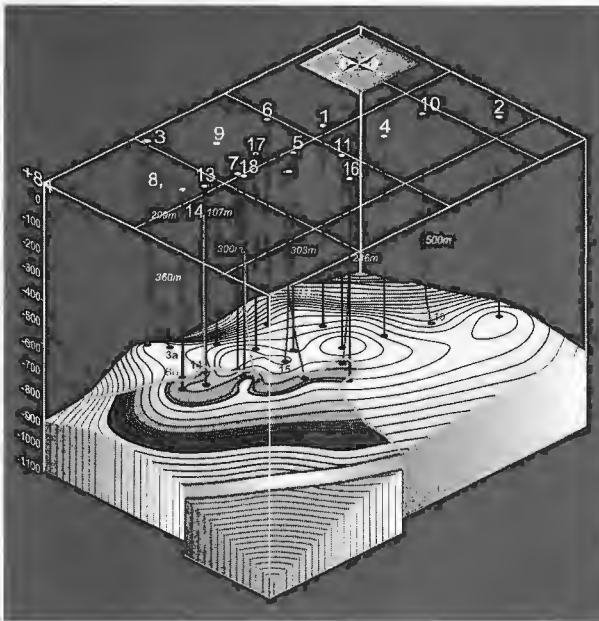
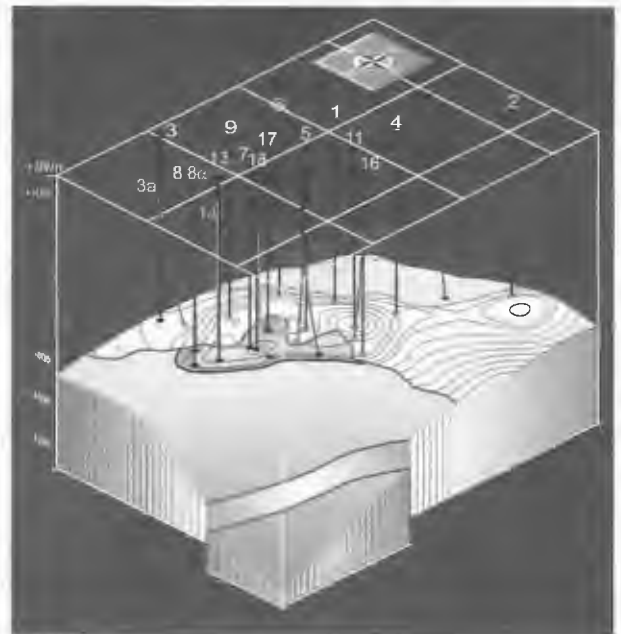
ntoloških laboratorijskih analiza. Najveća debljina ležišta u zasićenju naftom prema bušotinskim podacima je na bušotini Pri-13 (14,0 m). Pri geološkom praćenju uočena je pozitivnost na naftu u uzorcima iz bušotine Pri-14. Prema analizama karotažnih dijagrama ležište je u zasićenju naftom.

Prosječna šupljikavost naftonosnika ovog ležišta je primarnog karaktera i iznosi 22,3 %, a prosječno početno zasićenje naftom 58,0 %. Kontakt nafta/voda određen je na temelju rezultata analize karotažnih dijagrama na apsolutnoj dubini 753 m.

2.3. LEŽIŠTE A₃

Ležište nafte A₃ pripada tipu slojevitih ležišta s lito-loškim ekranom. Sjeveroistočnu granicu ležišta čini lito-loški ekran, odnosno gubljenje kolektorskih svojstava (zalaporenje - zaglinjenje) naslaga ležišta, dok na jugozapadu ima rubnu vodu (sl. 6). Karakteristično je zonalno zalaporenje-zaglinjenje središnjeg dijela polja gdje se na sjeveroistoku ponovno javljaju pješčenjaci, ali u zasićenju vodom.

Prema odredbi jedine jezgre J-1 iz bušotine Pri-13, geološkom praćenju i interpretaciji karotažnih dijagra-

Sl. 5 3-D model ležišta A₂.Fig. 5 3-D model of reservoir A₂.Sl. 6 3-D model ležišta A₃.Fig. 6 3-D model of reservoir A₃.

ma, utvrđeno je da su naftonosnici ležišta A₃ sitnozmi, slabovezani, pješčenjaci donjeg ponta koji se izmjenjuju s proslojcima glinovitih lapora i laporovitih glina. Determinacija iz jezgre je siltit i sitnozmi litoarenit (sastava kvarc, feldspati, muskovit, manje biotit, klorit, čestice stijene dolomita, rožnjaka, vapnenca, akcesorno dolaze glaukonit i cirkon). Vezivo je kalcitni cement. Slojevi ležišta su tanki i nekontinuirani. Rezultati palinoloških analiza ukazuju na transport i taloženje naslaga u sredini intezivnog donosa terestričkog materijala, što upućuje na zaključak da se radi o priobalno-kopenom sedimentu.

Najveća debljina ležišta u zasićenju naftom prema bušotinskim podacima je na bušotini Pri-13 (17,64 m). Pri geološkom praćenju uočena je pozitivnost na naftu u uzorcima iz bušotine Pri-13. Testiranjem bušotine Pri-13 dobivena je nafta, voda i gorivi plin. Rezultati ukazuju na kolektor vrlo dobre propusnosti. Salinitet ležišne vode iznosi 4,359 g/l NaCl. Prosječna šupljikavo-

st naftonosnika ovog ležišta je primarnog karaktera i iznosi 31,5 %, a prosječno početno zasićenje naftom 60,3 %. Kontakt nafta/voda određen je na temelju rezultata analize karotažnih dijagrama na apsolutnoj dubini 796 m.

Osnovni parametri novodefiniranih ležišta nalaze se u tablici 1.

3. STRUKTURNI I TEKTONSKI ODNOSI.

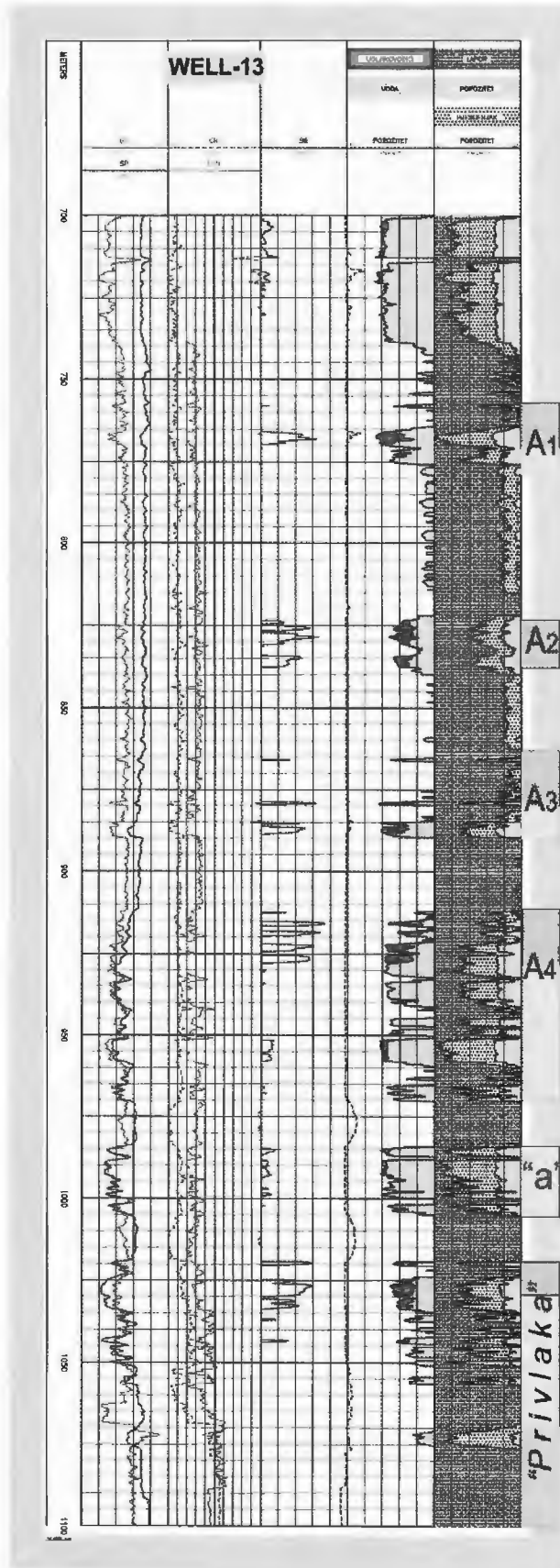
Najnovijom geološkom reinterpetacijom detaljno su analizirani i reinterpetirani seizmički podaci (sl. 2). Lokalni strukturni i tektonski odnosi definirani su uglavnom interpretacijom 2D seizmičkih profila na radnoj stanici Landmark, te sintezom bušotinskih podataka prikupljenih tijekom dosadašnje razrade polja. Definirani strukturni elementi prikazani su 3-D modelima ležišta

Ležište	A ₁	A ₂	A ₃
Tip ležišta	slojevito s litološkim ekranom		
Naftonosnik	slabovezani pješčenjak		
Pokrovna stijena	lapor		
Stratigrafska pripadnost	gornji pont	donji pont	
Formacija	Vera formacija	Vinkovačka formacija	
Propusnost	244 mD	nema podataka	nema podataka
Porozitet	29,5%	22,3%	31,5%
Početno zasićenje naftom	59,0%	58,0%	60,3%
Najveća debljina ležišta	21,98 m	14,00 m	17,64 m
Kontakt nafta/voda	-687 m	-753 m	-787 m

Tablica 1 Osnovni podaci novih ležišta.

Table 1 Reservoir data summary of the new reservoirs.

A₁ (sl. 4), A₂ (sl. 5) i A₃ (sl. 6) i geološkim profilom (sl. 3).



Sl. 7 Kompleksna analiza kolektora na bušotini Pri-13.
Fig. 7 Complex reservoir analysis on well Pri-13

Strukturalni sklop Privlaka u širem smislu je dio razvedene, tipične “buried hill” strukture “Vinkovci”, koja je plitko smještena na sjevernom rubu Slavonsko-srijemske depresije, a dubokim je sinklinalama odijeljena od sličnih, plićih struktura. Struktura (brahiantiklinala) “Vinkovci” predstavlja u podlozi tercijara uski greben timorske (horstovske) antiklinala, a proteže se od Vinkovaca do Tovarnika i dalje prema jugoistoku.

Promatrajući šire područje polja Privlaka na seizmičkim profilima se uočavaju dva glavna, normalna, “mlada”, neotektonska rasjeda južno i sjeverno od polja Privlaka i Đeletovci. Strukturalni oblik polja Privlaka definirani je izraženim paleomorfološkim uzdignućem podloge tercijara. Navedene osnovne značajke strukture zadržavaju mladi neogeni sedimenti kroz cijelu neotektonsku etapu do danas.

4. PRORAČUN UTVRĐENIH REZERV I OTOPLJENOG PLINA

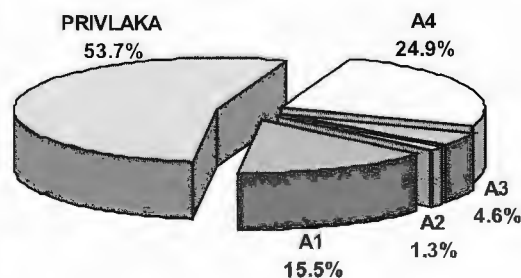
Površine ležišta A₁, A₂ i A₃ dobivene su pojedinačnim točnim očitanjem površina segmenata između graničnih vrijednosti izopaha na kartama efektivnih debljina, pomoću programa AutoCad. Srednje efektivne debljine ležišta određene su kao omjer obujma i površine ležišta ($h=V/A$). Obujmi kolektora ležišta su izračunati postupkom planimetriranja karata efektivnih debljina. Prema obujamskim parametrima kolektora i fluida izračunate su utvrđene rezerve nafte i plina otopljenog u nafti po obujamskoj metodi.

Nove rezerve nafte prikazane su usporednim grafom (sl. 8).

5. ZAKLJUČAK

Na temelju geološke interpretacije novih ležišta nafte A₁, A₂ i A₃ polja Privlaka moguće je zaključiti slijedeće:

- Primjena novih tehnologija i mogućnost interpretacije snimljene 2D seizmike na radnoj stanici Landmark



Sl. 8 Usporedni prikaz novih rezervi nafte.
Fig. 8 Comparison of new oil reserves.

dali su realnije geološko rješenje i točniju geometriju ležišta.

- Geološka interpretacija je provedena sintezom svih raspoloživih podataka iz postojećih bušotina. Ponudena strukturna rješenja proizašla su iz interperatacije 2D seizmike u programu Seis Works na radnoj stanici Landmark, nakon čega su sintetizirani i ostali geološki podaci te petrofizički i fizikalni parametri ležišta.
- Ovim radom definirana su prvi puta i plića naftna ležišta A₁, A₂ i A₃.
- Rezerve nafte polja Privlaka povećane su za 27 % u minimalnoj varijanti.

6. LITERATURA

- HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području Istočne Slavonije.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 221 str.
- MATELJAK, M. & JUNGWIRTH, M. (1985): Geološki prikaz polja: Deletovci, Privlaka i Ilača.- DIT, 16, 9-12, Zagreb.
- URBIHA, H. (1985): Istraživanje ležišta ugljikovodika u Slavonsko-srijemskoj potolini na području SR Hrvatske.- DIT, 16, 5-8, Zagreb.



Speleohidrogeološka istraživanja Crvenog jezera kraj Imotskoga u Dinarskom kršu (Hrvatska)

Speleohydrogeological Research of Crveno jezero (Red Lake) near Imotski in Dinaric Karst Area (Croatia)

Mladen GARAŠIĆ

Ključne riječi: krš, krška jezera, speleologija, hidrogeologija krša, speleoronjenje, speleogeneza, Dinarski krš, Hrvatska.

Key words: Karst, Karstic Lakes, Speleology, Karst Hydrogeology, Speleo-diving, Speleogenesis, Dinaric Karst, Croatia.

Sažetak

Novija speleohidrogeološka istraživanja u Crvenom jezeru dala su vrijedne podatke o dubini, zapremini i morfologiji tog krškog fenomena. Riječ je o mnogo većem speleološkom sustavu nego što se to moglo znati iz prijašnjih istraživanja, sa zapreminom vodenog dijela od prosječno cca 16 milijuna m³ vode. Ukupna visinska razlika između najviše i do sada registrirane najniže točke iznosi 528 metara i 6 je metara ispod razine mora. Najveća dubina vode u jezeru u vrijeme istraživanja (jesen 1998.) iznosila je 281 metara. Istraženo je i više stotina speleoloških objekata unutar samog jezera. Daje se prikaz speleogeneze Crvenog jezera, jer je zapravo riječ o speleološkom objektu (jami).

Abstract

The newest speleohydrogeological explorations and research have shown new data about depth, volume and morphology of this karst phenomena. The new data gives volume of ca 16 millions m³ of water. Depth (difference between the lowest and highest point) is 528 meters, and it is about 6 meter under the sea level. The deepest point in the lake (measured in September 1998) is 281 meters. Several hundreds of caves in the lake (below and above lake level) have also been surveyed and explored. Speleogenesis of Crveno jezero (Red Lake) shows that it is a speleological feature (big shaft, collapse doline) with reverse processes of karstification.

1. UVOD

Crveno jezero je krški fenomen koji je zbog svojih dimenzija i posebnosti poznat u cijelome svijetu. Tijekom pedesetih godina obavljana su neka hidrološka mjerenja na njegovoj površini, a izmjerena je i dubina u 39 točaka (akademik M. Petrik i suradnici). Tada se navodi podatak za najveću dubinu jezera od 254 metra (PETRIK, 1960). Ta je dubina godinama "privlačila" geologe, hidrogeologe i speleologe. Brojni su se ljudi spuštali do površine jezera, ali se nije nikada prije pokušalo zaroniti i dokumentirati njegove dubine niti nekim drugim metodama ispitati unutrašnjost jezera i dati znanstvenu valorizaciju tog krškog fenomena sa speleohidrogeološkog stajališta, do speleohidrogeoloških istraživanja tijekom 1998. godine.

Crveno jezero, smješteno kilometar zapadno od Imotskoga, najveće je između svih (18 većih ili manjih suhih ili vodom ispunjenih depresija) jezera okolice i po vidljivom (površinskom) i po nevidljivom dijelu

(potopljenom). Zbog crvenih stijena na liticama dubokim više od 250 metara dobilo je naziv Crveno. Boja jezera je tamno modra, jezero je veličine oko 150 x 180 metara, ovisno o razini vode tj. godišnjem dobu. Do jezera se najlakše može (ali uz pomoć užeta) prići s istočne strane. Tu je vertikalna litica oko 60 metara, zatim slijedi oko 300 metara vrlo strmog sipara, te opet vertikalna litica od najmanje desetak metara (ovisno o razini jezera).

Jednostavnim jezikom rečeno niti do jedne točke na obodu jezera ne može se u ljetnim mjesecima prići bez upotrebe posebne tehnike. Vertikalne i prevjesne litice koje su iznad površine jezera visoke su između 160 i 250 metara. No, još više fascinira njegova dubina koja je više puta mjerena.

Ovaj rad prikazuje preliminarne rezultate novijih istraživanja u Crvenom jezeru (1997. i 1998. godine) koja su obavljena s ciljem detaljnijeg upoznavanja njegove morfologije, hidrogeološke funkcije i speleogeneze, jer je zapravo riječ o speleološkom objektu. Uočeno



Sl. 1 Pogled s istočne strane na jezero s istraživačkom platformom.

Fig. 1 View from the eastern side of the lake with research platform at the lake surface.

je da je riječ o vertikalnom speleološkom objektu koji je nastao inverznim (regresivnim) procesima karstifikacije, te da je površinski vidljivi dio ovog fenomena samo manji dio podzemnog speleološkog sustava čije su dimenzije fascinirajuće.

O Crvenom jezeru s raznih su znanstvenih stajališta pisali Ph. Ballif, A. Gavazzi, J. Daneš, O. Opitz, A. Ujević, J. Roglić, M. Petrik, S. Božičević, L. Bojanić, D. Ivičić, V. Batić, S. Bahun i drugi (KOVAČEVIĆ, 1999). Prva sustavna istraživanja morfologije jezera daje dr. Josip Roglić 1937. godine, ali podaci koji su tada dobijeni mjerenjima nisu najprecizniji (ROGLIĆ, 1938). Kasniji precizniji podaci dobijeni su hidrološkim mjerenjima akademika Milivoja Petrika od 1955. do 1958. godine. Dok je kod Roglića dno jezera na 19 metara nad morem, kod Petrika je ono na 4 metra nad morem (PETRIK, 1960).

O morfološkom karakteru Crvenog jezera piše BOŽIČEVIĆ (1971). O hidrogeologiji Imotskog polja te područja Crvenog jezera pišu BOJANIĆ et al. (1981). Najznačajniji rad o nastanku Crvenoga jezera iznosi pretpostavku da je riječ o ponoru koji je uslijed neotektonskih uzdizanja ostao bez vode (BAHUN, 1991).

Nije objavljen niti jedan prijašnji rad o speleološkim objektima unutar "kratera" Crvenog jezera iako je znano da je više speleoloških ekipa bilo na površini jezera, no nije istraživalo speleološke objekte iznad ili ispod razine vode.

Vrijedni i zanimljivi podaci o dubini jezera koje je podastro akademik Milivoj Petrik još 1955. godine, pokazivali su da je jezero duboko oko 250 metara, što je ulijevalo "strah" i pri samoj pomisli o pokušaju zaronjavanja.

Na 5. svjetskom speleološkom kongresu u Stuttgartu u Njemačkoj, hrvatski su speleolozi pokušali u ljestvicu najdubljih jama na svijetu pridodati i Crveno jezero, jer je njegova prava dubina tada iznosila 518 metara. No, odgovor tadašnjeg povjerenstva za dokumentaciju bio je da dubina nije pravovaljano dokumentirana, da čovjek nije bio na toj dubini i slično, iako je u

stvarnosti bila riječ o pravoj jami koja je do svoje polovice ispunjena vodom.

Speleoronjenje u svijetu postiglo je nagli razvitak koncem sedamdesetih i početkom osamdesetih kada su najdublja ronjenja ostvarena u izvoru Fontaine de Vaucluse. Tada je posebna ronilica "Speleonaut" (bez posade) dosegla dubinu od 315 metra. Slična ronilica "Hyball" je u Češkoj u Hranickoj propasti dosegla dubinu od 165 metara. Ti su speleološki objekti time dovoljno dokumentirani i uvršteni na svjetske popise najdubljih vodenih objekata svijeta.

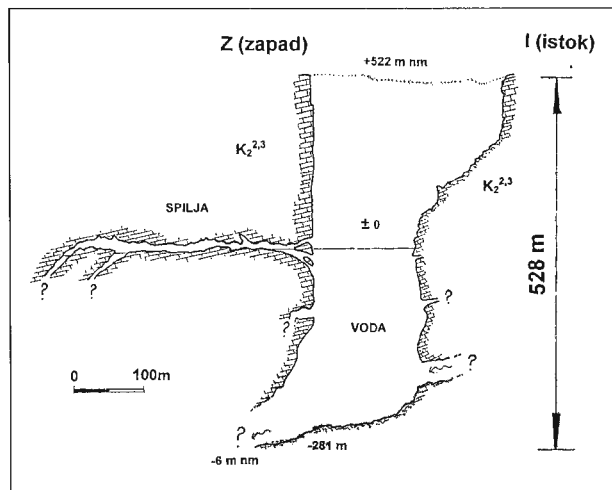
Budući da je speleoronjenje u Hrvatskoj osamdesetih godina počelo zauzimati sve značajnije mjesto u istraživanjima, odlučilo se kontaktirati najbolje svjetske speleoroniocce koji bi mogli doći roniti na Crveno jezero.

Nakon brojnih pokušaja od 1981. godine uspjeli smo tijekom 1997. godine oformiti međunarodnu ekipu vrsnih speleoronioca, koja je bila u stanju ući u tako kompleksan objekt kao što je Crveno jezero (zbog svoje dubine i morfologije). Ekipa je brojila 43 člana iz Njemačke, Austrije, Švicarske i Hrvatske, a voditelj projekta bio je autor ovog prikaza.

Tijekom 1997. i 1998. godine istraživanja su obavljena u više navrata, kada se ponovno mjerilo dubine jezera (echosonarom i preciznim dubinomjerima), na ukupno 454 točaka, dok su prijašnja mjerenja 1955. godine bila obavljena na samo 39 točaka. Novija su mjerenja pokazala veće dubine od prijašnjih što je dodatno potenciralo izradu što preciznije karte dna Crvenoga jezera. Napravljena je posebna žičara i platforma za istraživanje (sl. 1).

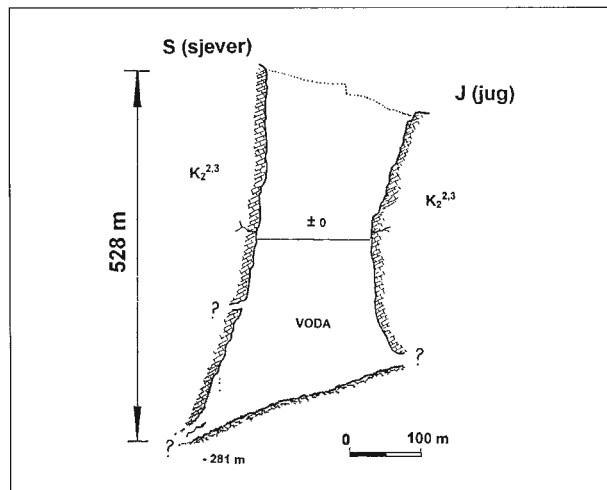
2. REZULTATI

Osnovni ciljevi ekspedicije "Crveno jezero '98" bili su sticanje novih spoznaja o speleogenezi objekta, te njegove morfologije, hidrogeologije, tektonike i biospeleologije, te izrada dokumentacije (video zapisi, struk-



Sl. 2. Presjek kroz Crveno jezero (pravac zapad-istok), sa speleološkim sustavom na zapadnoj strani i najdubljom točkom (-6 m ispod mora). Voda u jezero pristize s istočne i sjeverne strane, a otječe kroz veliki spiljski kanal na jugozapadnoj i zapadnoj strani.

Fig. 2 Cross section (west-east) of Crveno jezero with cave on the western side and the deepest point (6 meters below the sea level). The water in the lake incomes from the eastern and northern side, and comes out through the cave channel on the western side of the lake.



Sl. 3. Presjek kroz Crveno jezero (pravac sjever-jug) s najdubljom točkom jezera (-281 m).

Fig. 3 Cross section (north-south) of Crveno jezero with the deepest point of the lake (-281 m).

turnotektonski i speleološki zemljovidu). To je bila hrvatska speleoronilačka ekspedicija s međunarodnim sudjelovanjem pod okriljem članica UIS-a Njemačke, Austrije i Švicarske (GARAŠIĆ, 1999). Sedimentološka ispitivanja obavljena su u suradnji s kolegama iz Max Planck Instituta iz Tübingena i Tehničkog fakulteta iz Münchena, a biospeleološka s kolegama iz Salzburga. Precizne geodetske instrumente posudilo je Sveučilište u Zürichu.

Razvitkom speleoloških, speleohidrogeoloških i speleoronilačkih metoda omogućena su daljnja novija istraživanja u Crvenom jezeru tijekom ljeta 1998. godine. Izmjerena je dubina jezera u 454 točaka, izrađena je geodetska snimka podvodnih dijelova jezera, istraženo je nekoliko stotina metara spiljskih kanala (suhih i potopljenih) koji se nalaze unutar vertikalnih litica jezera. Izmjerena je i snimljena posebnom autonomnom ronilicom najveća dubina jezera (-281 metar), ustanovljen je dotok vode u jezero kroz spiljski kanal, izračunata je zapremina vode u jezeru od cca 16 mil. m³ (sl. 2 i 3). Novija istraživanja dala su i podatke za bolju spoznaju speleogeneze ovog krškog fenomena. Inversna karstifikacija bila je dominantna u genezi, dok je gravitacijska karstifikacija imala samo akcesornu ulogu (GARAŠIĆ & KOVAČEVIĆ, 2000). Dno jezera je nagnuto prema zapadu, a najniža točka je 6 metara ispod razine mora. U vrijeme istraživanja primjećeno je snažno strujanje vode u smjeru jugozapada, na dubinama od -206 do -281 metar. Ukupna visinska razlika je 528 metara (od najviše točke na obodu jezera do najniže snimljene točke na dnu jezera). Dno jezera nastavlja se dalje u dubinu, ali zbog tehničkih poteškoća nije se uspjelo proći

kamerom dalje. Riječ je zapravo o spiljskom kanalu velikih dimenzija koji se koso nastavlja prema jugozapadu.

Međunarodna speleoronilačka ekspedicija "Crveno jezero '98" polučila je mnogo novih rezultata od kojih spominjemo neke (GARAŠIĆ & KOVAČEVIĆ, 2000):

- izrada kompletne dokumentacije (foto, geodetske, video) o nepoznatim dijelovima jezera,
- pronađen dovodni spiljski kanal (dimenzije 30 x 30 metara) u istočnom dijelu jezera na dubini od cca 175 metara,
- nove pretpostavke o kretanju podzemnih voda u ovom području,
- zaključak da se glavni procesi okršavanja stijena razvijaju iz unutrašnjosti prema površini, tj. tu je prisutna tzv. inversna karstifikacija; u unutrašnjosti je bila stvorena prostorija veličine 400 x 300 x 500 metara, što je fascinirajuće,
- pronađene su i determinirane neke nove vrste spiljskih riba i račića, te žaba i kukaca unutar jezera, odnosno speleoloških objekata,
- snimanje svih speleohidrogeoloških i najznačajnijih tektonskih elemenata do dubine od 90 metara,
- obavljena sedimentološka, petrološka ispitivanja dna (4 lokacije),
- pronađeno i istraženo više od 800 metara spiljskih kanala unutar "kratera" jezera (sl. 4),
- snimljeno više od 22 sata video zapisa,



Sl. 4 Unutrašnjost i završni sifon spilje na zapadnoj strani jezera. Uočljivi su slojevi krednih vapnenaca.

Fig. 4 The final sump in the cave on the western side of the lake. Cretaceous limestone beds are visible in the cave.

- snimljena najdublja točka ROV-om 236 metara,
- izmjerena najdublja točka jezera na 281 metara, tj. 6 metara ispod razine mora,
- izmjerena konstantna temperatura vode +7,9°C (ispod 50 metara dubine),
- ustanovljeno kretanje podzemne vode na dnu jezera (prema zapadu),
- izmjereno ukupno 454 točke,
- ronjenje uz pomoć helioxa do dubine od 181 metar, što je jedno od najdubljih zaronjavanja u spiljama u svijetu (ASPACHER & BEHREND, 1999),
- ustanovljena vertikalna razlika od najviše do najniže točke jezera - 528 metara,
- ustanovljena veličina dna jezera oko 300 x 300 metara, a površine oko 180 x 200 metara,
- sudjelovanje čak 43 člana ekspedicije,
- transport više od 20 tona opreme i materijala, itd.

Budući da je Crveno jezero geološki spomenik prirode, a svojom morfologijom to svakako i zaslužuje, poduzete su posebne mjere zaštite okoliša tijekom ekspedicije. Nakon ekspedicije sva se oprema zajednom sa smećem kojega je bilo dolje i prije ekspedicije izvukla žičarom na površinu.

Ova ekspedicija približila je još više Hrvatsku i hrvatski krš svijetu, a Crveno jezero je dobilo svoje pravo mjesto svjetskog fenomena na svim popisima najdubljih speleoronilačkih pothvata današnjice.

Crveno jezero je jedno od najdubljih krških jezera na svijetu s dubinom od -281 metar, što još nije i najdublja točka, ali i vodospremnik s najmanje 16,000.000 m³ vode.

Pri planiranim budućim istraživanjima predviđa se koristiti batiskaf i cijeli niz drugih tehničkih sredstava za konačno definiranje dimenzija ove jedinstvene krške pojave.

Proučavanje speleogeneze Crvenog jezera omogućilo je bolje shvaćanje nastanka većeg broja sličnih pojava u okolici, a potvrdilo je pretpostavku o postojanju velikog recentnog i još većeg paleo speleološkog sustava, koji se sada nalazi u formiranju između glavne (II) i fosilne (III) faze speleogeneze. Inversna ili regresivna karstifikacija daleko je zastupljenija u speleogenezi u ovom dijelu Dinarskog krša nego što se to smatralo prije izvedenih istraživanja.

3. LITERATURA

- ASPACHER, B. & BEHREND, T. (1999): Umbekannte Tiefe.- Tauchen, 45/5, 81-85, Hamburg.
- BAHUN, S. (1991): O postanku Crvenog i Modrog jezera.- Geol. vjesnik, 44, 275-280, Zagreb.
- BOJANIĆ, L., IVIČIĆ, D. & BATIĆ, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu.- Geol. vjesnik, 34, 127-135, Zagreb.
- BOŽIČEVIĆ, S. (1971): Da li je Crveno jezero kod Imotskoga naša najdublja jama?- Priroda, 58/6, 188, Zagreb.
- GARAŠIĆ, M. (1999): Međunarodna speleološka ekspedicija u Crvenom jezeru kraj Imotskoga.- Hrvatska vodoprivreda, 7/78, 40-42, Zagreb.
- GARAŠIĆ, M. & KOVAČEVIĆ, T. (2000): Crveno jezero.- Monografija (u tisku).
- KOVAČEVIĆ, T. (1999): Crveno jezero - Imotski.- Hrvatska vodoprivreda, 7/78, 43-46, Zagreb.
- PETRIK, M. (1960): Hidrografska mjerenja u okolici Imotskog.- Ljetopis JAZU, 64, 266-286, Zagreb.
- ROGLIĆ, J. (1938): Imotsko polje (Fizičko geografske osobine).- Posebna izdanja Geogr. društva, 21, 1-125, Beograd.



Primjena geoelektričnog mjerenja Lund Imaging System tehnikom pri geotehničkim istraživanjima klastičnih naslaga

Application of Geoelectrical Measuring Using Lund Imaging System in Geotechnical Survey of Clastic Layers

Damir GRGEC & Tomo NOVOSSEL

Ključne riječi: klastične naslage, geoelektrična istraživanja, LUND sustav, pojasevi trošenja, rasjedi, klizišta, litološka obilježja.

Key words: Clastic layers, Geoelectrical survey, LUND Imaging System, Weathering zones, Faults, Landslides, Lithology.

Sažetak

Geoelektrično profiliranje LIS (Lund Imaging System) tehnikom korišteno u istražnim radovima pokazalo se kao veoma pogodna i uspješna geofizička metoda u istraživanju klastičnih naslaga nazvanih "Maceljske naslage". Dobiveni rezultati mjerenja geoelektrične otpornosti našli su svoju primjenu i pridonijeli rješavanju nepoznatih geoloških odnosa i inženjerskogeoloških obilježja istraživanog terena. Rezultati su korišteni u izradi inženjerskogeoloških podloga u sklopu geotehničkog projekta dionice Krapina - Macelj buduće autoceste Zagreb - Macelj.

Abstract

Electrical resistivity profiling and sounding using LUND Imaging System applied in investigation surveys has proved itself as a very useful and successful geophysical method in investigation of clastic layers called "Maceljske naslage". The obtained measuring results of geoelectrical resistivity have found their application and contributed to solving unknown geological relations and engineering geological characteristics of the investigated area. The results are used in elaboration of engineering geological documents as a part of geotechnical design of the section Krapina - Macelj of the future motorway Zagreb - Macelj.

1. UVOD

Za potrebe projektiranja trase autoceste Zagreb - Macelj, dionica Krapina - Macelj izvedeni su opsežni geotehnički istražni radovi za izradu geotehničkih podloga. U sklopu istražnih radova bilo je potrebno istražiti tzv. Maceljske naslage preko kojih je jednim dijelom prelazila trasa projektirane autoceste. Na dijelu trase na kojoj se nalaze Maceljske naslage izvedeni su geofizički istražni radovi. Geofizičkim metodama trebalo je utvrditi:

- geološki sastav i građu stijena u podzemlju;
- rasjedne kontakte;
- pojaseve trošenja;
- potencijalno nestabilne dijelove padina i njihovu geometriju.

Za geofizičke istražne radove primijenjena je metoda geoelektričnog profiliranja LIS tehnikom, a korištena je oprema švedskog proizvođača ABEM.

2. INŽENJERSKOGEOLOŠKA OBILJEŽJA MACELJSKIH NASLAGA

Područje u kojem su izvedena istraživanja građeno je od klastičnih naslaga miocenske starosti (M_1^2 - burdigal). Navedene naslage su zbog svojih posebnih obilježja nazvane "Maceljski pješčenjak". Zastupljene su srednje i sitnozrnim pješčenjacima, rjeđe krupnozrnim pješčenjacima i konglomeratima, te prahovnjacima i glinjacima. Uglavnom su slabo vezane do srednje dobro vezane stijene. Zrna su većim dijelom silicijska, vezivo vapnenačko ili silicijsko. Krupnozrnatiji pješčenjaci i konglomerati uglavnom su dobro vezani. Promjene zrnatosti javljaju se kako u vertikalnom smjeru tako i lateralno (ANIČIĆ & JURIŠA, 1985a, b).

Karakteristične strukture formirane su kao posljedica aktivnog naprezanja u pravcu sjever-jug uzduž graničnih rasjeda koji su pod kutom 50-60° u odnosu na os djelovanja naprezanja. Javljaju se romboidalne strukture s pružanjem istok-zapad. Istražni radovi obavljani su

unutar lokalne strukture Maceljske Gore. Kao posebno izraženi javljaju se veliki transkurentni rasjedi s horizontalnim desnim transportom. Kao posljedica opisane tektonike javljaju se snopovi rasjeda reversnog i rjeđe normalnog tipa s obilježjima smicanja. Morfološka obilježja u graničnim dijelovima klastičnih naslaga, te u pojasevima građenim od dobro vezanih klastita ukazuju na recentnu aktivnost pojedinih rasjeda (PRELOGOVIĆ & KUK, 1998). U slabo vezanim klastitima pojava rasjeda pri terenskom snimanju teško je uočljiva ili je potpuno zamaskirana produktima trošenja ili erozionih procesa.

Proces trošenja posebno je intenzivan, a dosizanje procesa u dubinu jako varira u ovisnosti o osnovnim geološkim elementima. Granice među različitim pojasevima trošenja vrlo su slabo izražene i karakteriziraju ih postepene kontinuirane promjene. Uglavnom se mogu izdvojiti 3 pojasa trošenja: pokrovni, površinski i gornji. Pokrovni pojas trošenja čine eluvijalne, deluvijalne i iluvijalne naslage uglavnom niskoplastičnih pjeskovitih glina i prahova. Površinski pojas obilježen je izrazitom promjenom boje osnovnih litoloških elemenata od kojih je građena podloga. Gornji pojas trošenja moguće je izdvojiti evidentiranjem vertikalnog penetrirajućeg znakovlja (pojava zapunjenih pukotina, mineralizacije ocjedina, vlaženja pri procjeđivanju i sl.; ANTOLIŠ, 1998). Navedene pojave moguće je izdvojiti u bušotinama, vertikalnim strmicama zasjeka ili usjeka, te na jakim odronima. Veći dio istraživog terena bio je pri snimanju za geologa nedostupan za utvrđivanje pojaseva trošenja.

U pokrovnom pojasu trošenja na padinama česte su pojave puzanja i klizanja. Klizanja su uzrokovana pojavom intenzivnog vlaženja, te čestih dinamičkih oscilacija pri naizmjeničnom sušenju i vlaženju. Pri navedenim pojavama smanjuje se čvrstoća materijala u pokrovnom pojasu i padine postaju nestabilne.

3. IZBOR GEOFIZIČKE METODE I TEHNIKE MJERENJA

U cilju rješavanja navedenih problema za definiranje nepoznatih detalja na trasi buduće ceste korištena su geofizička istraživanja. Kao geofizička metoda odabrano je geoelektrično profiliranje LIS (Lund Imaging System) tehnikom.

Lund Imaging System je višeelektrodni sustav namijenjen za prikupljanje podataka, obradu i interpretaciju podataka dobivenih mjerenjem električne otpornosti na terenu. Razlozi zbog kojih je LIS tehnika odabrana kao najpovoljnija geofizička metoda su:

- automatski proces mjerenja kontroliran programima za prikupljanje podataka;
- kontinuirano mjerenje otpornosti s konstantnim dubinskim zahvatom duž mjenog presjeka što omogućava utvrđivanje lateralnih promjena otpornosti;

- povećanjem razmaka između elektroda povećava se i dubinski zahvat pa se tako dobiju i promjene otpornosti po dubini;
- unaprijed određena geometrija mjernog sustava;
- mogućnost mjerenja s diferentnim rasporedom elektroda na mjenim presjecima (Wenner, dipolni, dvoelektrodni, kvadratni, raspored elektroda za 3D mjerenje);
- dobivanje kontinuiranog presjeka većih duljina istog dubinskog zahvata pomicanjem istog rasporeda elektroda u pravcu mjerenja;
- brza kontrola kvalitete mjerenja i mogućnost intervencije u procesu mjerenja osobnim računalom na terenu;
- mogućnost prikaza rezultata mjerenja neposredno nakon mjerenja;
- velika mogućnost diferenciranja praktički istih litoloških naslaga u ovisnosti o stupnju vlažnosti;
- mogućnost diferenciranja različitih litoloških naslaga vrlo malih razlika električnih otpornosti;
- otkrivanje materijala manje gustoće ispod naslaga veće gustoće (za refrakcijsku seizmiku tzv. "slijepi pojas") i određivanje geometrije naslaga manje gustoće.

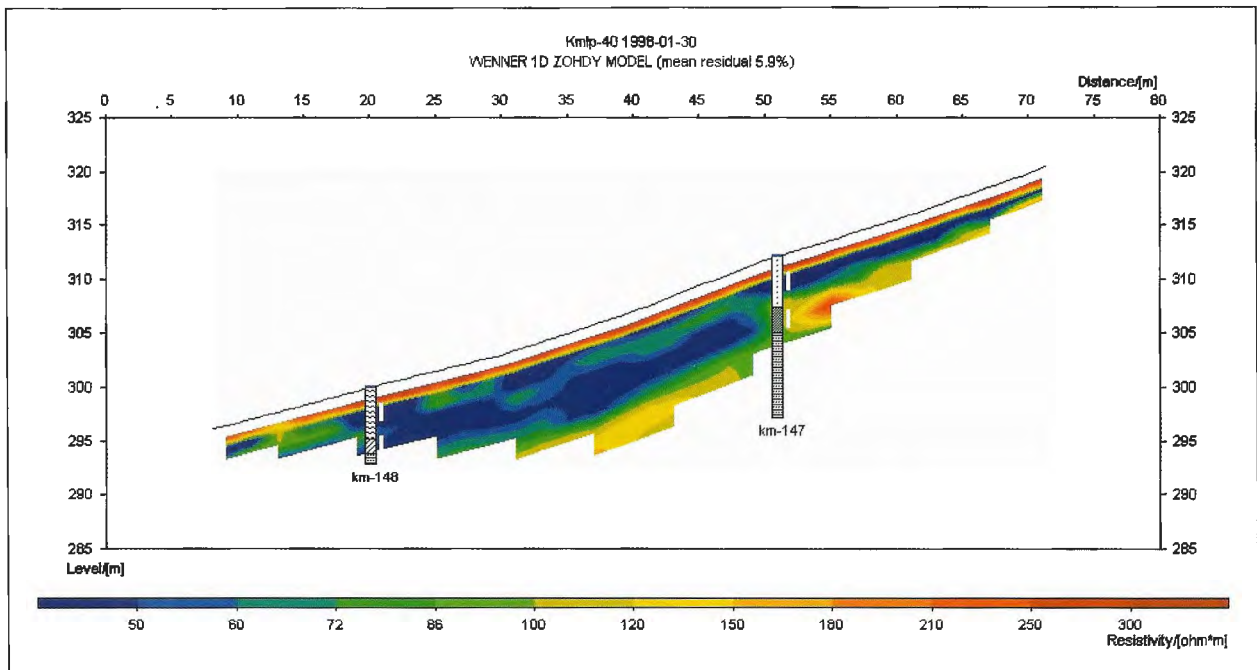
Za mjerenje na terenu Lund Imaging Systemom korištena je oprema koja se sastoji od standardnog uređaja za mjerenje otpora u tlu (ABEM Terrameter SAS 300C), selektora elektroda (ABEM Electrode Selector ES464), 4 kabla za elektrode od kojih svaki ima 21 izlaz za elektrode i konstantnim razmakom od 2 metra između svakog izlaza za elektrode, 64 elektrode od nehrđajućeg čelika sa spojnicama do kabla i prijenosnog računala. Prilikom mjerenja korišten je Wennerov raspored elektroda kod kojeg je udaljenost između strujnih i potencijalnih elektroda jednaka. Prikaz rezultata mjerenja na terenu je dvodimenzionalni presjek prividnih otpornosti.

Obrada i interpretacija rezultata geoelektričnog ispitivanja Lund Imaging Systemom urađena je pomoću osobnog računala a mjeni podaci interpretirani su modelom koji je prikazao i razradio ZOHDY (ZOHDY 1D MODEL).

Rezultati interpretacije prikazani su dvodimenzionalnim presjecima rasporeda otpornosti materijala gdje je na apscisi nanesena udaljenost u metrima na mjerenom presjeku, a na ordinati nadmorska visina. Prikazane se kvalitativne promjene materijala po dubini i lateralno na ispitivanim presjecima. Vrijednosti otpornosti na prikazanim presjecima dane su u logaritamskoj ljestvici s 12 različitih vrijednosti.

4. PRIMJERI PRIMJENE

Mjerenje električne otpornosti LIS tehnikom omogućilo je definiranje nepoznatih detalja i stvaranje kom-



Sl. 1 Pojasevi trošenja u sitnozrnim klastičnim naslagama (plavo, zeleno) koje leže na pješčenjacima (žuto-crveno).

Fig. 1 Weathering zones in fine clastic layers (blue, green) which lie on sandstones (reddish yellow).

pletne geološke slike o klastičnim naslagama i procesima koji se odvijaju na istraživanom području. Na nekoliko slijedećih primjera prikazani su rezultati dobiveni mjerenjem i njihov značaj i mogućnost primjene u vrednovanju geoloških procesa i veličina koje su kasnije bile upotrebljene prilikom izrade inženjerskogeoloških podloga za potrebe geotehničkog projekta.

Shematizirana slika grade podzemlja dobivena mjerenjem električne otpornosti i analizom rezultata omogućila je utvrđivanje ili procjenu:

- prostornog rasporeda litoloških članova i njihovih granica;
- pokrovnim naslagama zamaskiranih rasjeda i rasjednih zona;
- prividnih smjerova pružanja i nagiba slojeva;
- prostiranja i debljine pojaseva trošenja;
- suhih i vlažnih dijelova unutar litoloških članova ili pojaseva trošenja;
- potencijalno nestabilnih dijelova padine i geometrije kliznih tijela koja se mogu formirati pri antropogenim aktivnostima na trasi buduće autoceste;
- oblika aktivnih kliznih tijela na prirodno nestabilnoj padini.

U nastavku je dano nekoliko karakterističnih presjeka kao primjer korištenja prezentiranih istraživanja.

Na sl. 1 evidentirane su sitnozrne klastične naslage - prahovnjaci i glinjaci (zeleno i plavo) s pokrovnim naslagama gline te gornjim pojasom trošenja (gornji pojas zelenkasto plave boje). Sitnozrne klastične stijene leže na pješčenjacima (crvenkasto-žuta boja). Posebno je

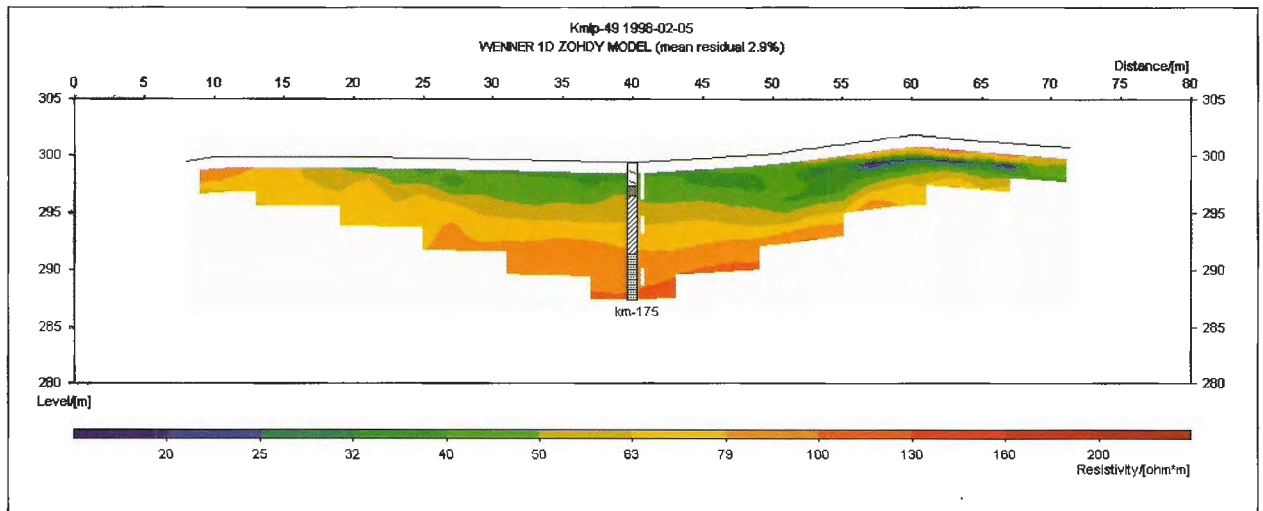
uočena razina povećane vlažnosti (plava boja) ispod tankog površinskog suhog pojasa (crvena boja) s tenzionim pukotinama nastalim sušenjem, unutar pokrovnog pojasa. Uočljive su granice tri stupnja trošenja: pokrovni pojas, gornji pojas i osnovna stijena.

Slikom 2 dan je presjek terena građenog od sitnozrnih pješčenjaka (crvena boja) s pokrovnim pojasom (plavozeleno) i gornjim pojasom (svijetlozeleno i žuto-zeleno) trošenja.

Presjek na sl. 3 primjer je identifikacije rasjeda zamaskiranog ispod pokrovnog pojasa trošenja, a unutar klastičnih naslaga karakterističnih po izmjenama glinjaka, prahovnjaka i pješčenjaka sa slojevima blago nagnutim niz padinu.

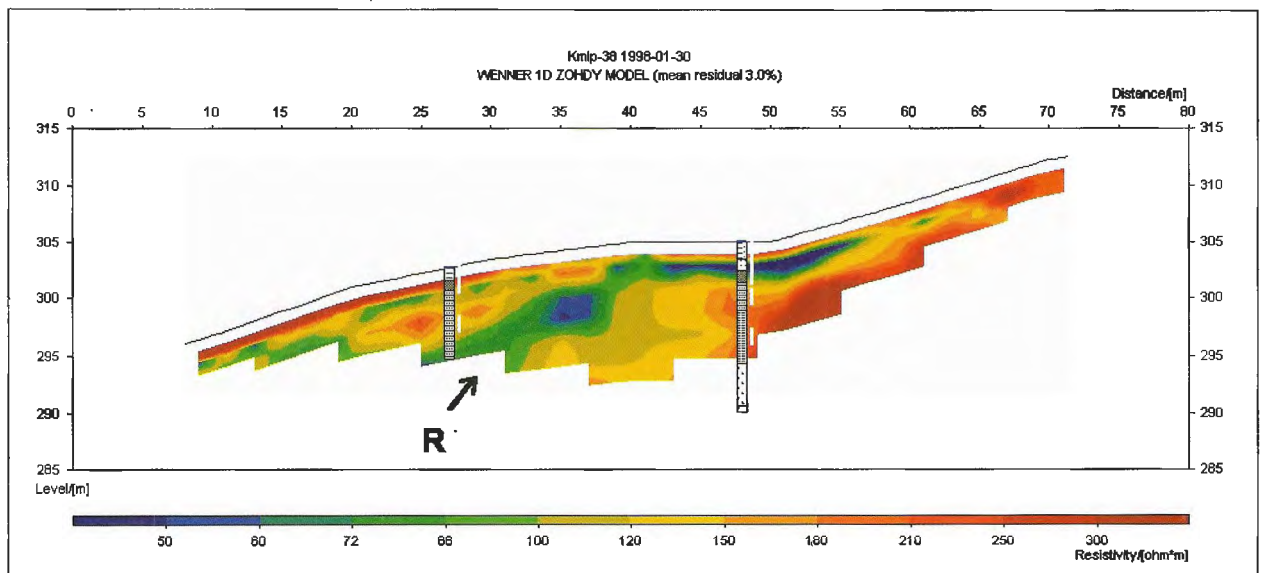
Slika 4 zoran je primjer kako je primjenom LIS tehnike moguće determinirati niz inženjerskogeoloških obilježja neuočljivih pri inženjerskogeološkom kartiranju. Teren je građen od blago nagnutih klastičnih naslaga obilježenih izmjenom glinjaka i prahovnjaka (zeleno, zelenoplavo) i pješčenjaka (crveno i žuto). Moguće je izdvojiti pokrovni pojas trošenja, to jest tanki suhi pokrovni pojas s tenzionim pukotinama (crvena boja), ispod kojeg slijedi gornji pojas trošenja (zeleno i plavo) te klastiti slabo zahvaćeni trošenjem. U desnom dijelu kosine unutar pokrovnog i gornjeg pojasa trošenja uočava se izrazito povećana vlažnost (tamnoplavo) čije ocjeđivanje je blokirano rasjedom (R) koji je zamaskiran pokrovnim naslagama. Taj dio kosine okvalificiran je kao potencijalno klizište (PK) koje bi se moglo aktivirati kao prirodni fenomen ili pri antropogenim zahvatima na padini.

Na sl. 5 prikazan je slučaj postojanja nepropusnog sloja glinjaka velikog poroziteta i male gustoće, koji bi



Sl. 2 Pojasevi trošenja u naslagama pješčenjaka s približno horizontalnim slojevima.

Fig. 2 Weathering zones in sandstone layers with approximately horizontal layers.



Sl. 3 Rasjedna zona zamaskirana pokrovnim pojasom trošenja.

Fig. 3 Fault zone masked by cover layers.

se vrlo teško determinirao klasičnom refrakcijskom seizmikom (tzv. slijepi pojas). Jasno se uočavaju pojasevi trošenja, te klizno tijelo aktivnog klizišta u fazi puzanja (AK).

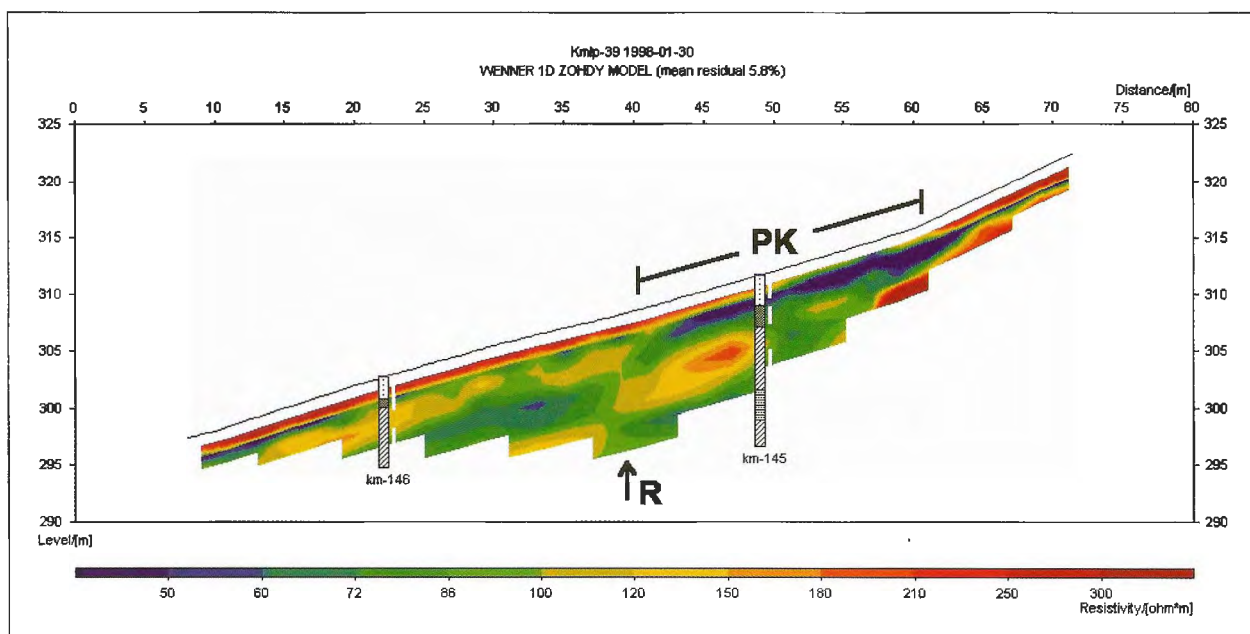
Slikom 6 prezentiran je primjer gotovo horizontalnih naslaga gdje pješčenjaci koji su veće gustoće (crveno-žuto) leže na glinjacima. Vidljive su čak i varijacije nastale u procesu sedimentacije te priroda prijelaza sedimentacionih ciklusa.

5. ZAKLJUČAK

Geoelektrično profiliranje LIS tehnikom pokazalo se vrlo primjenjivom i pogodnom metodom kod istraž-

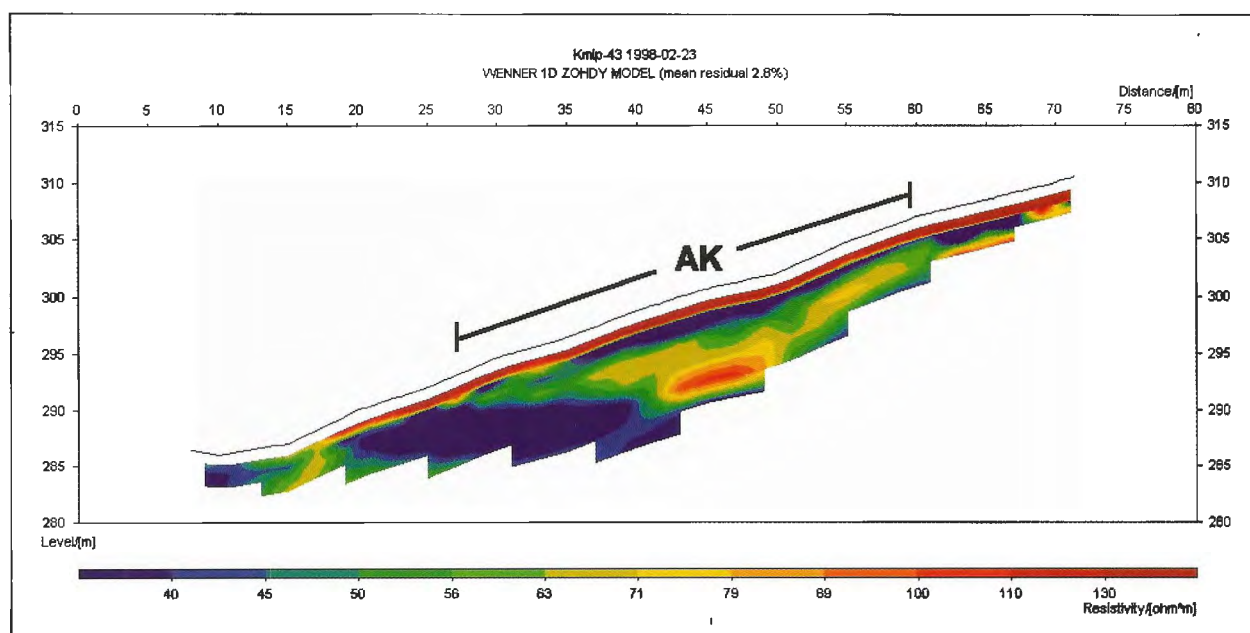
nih radova za izradu geotehničkih podloga. Rezultati dobiveni mjerenjem, a prikazani na nekoliko primjera te nadopunjeni podacima dobivenim geološkim kartiranjem i podacima iz istražnih bušotina, ukazuju da metoda daje veliki broj podataka koji su pridonijeli rješavanju niza geoloških nepoznanica te tako doprinijeli kvalitetnoj izradi geotehničkog projekta.

LIS tehnika je našla svoju primjenu u rješavanju niza inženjerskogeoloških, hidrogeoloških i geomehničkih problema. U kombinaciji s ostalim geofizičkim metodama poput plitke refrakcijske seizmike i georadara daje odličnu sliku građe podzemlja te fizikalnih i kemijskih procesa pri površini.



Sl. 4 Prikaz determinacije više inženjerskogeoloških obilježja - pojasevi trošenja, rasjed (R), litološka građa (glinjaci - zelenoplavo, pješčenjaci - žuto crveno), potencijalno klizište (PK).

Fig. 4 Review of determination of several engineering geological characteristics - weathering zones, fault (R), lithology (claystones - green blue, sandstones - yellow red), potential landslide (PK).



Sl. 5 Aktivno klizište (AK) u pokrovnom i gornjem pojasu trošenja.

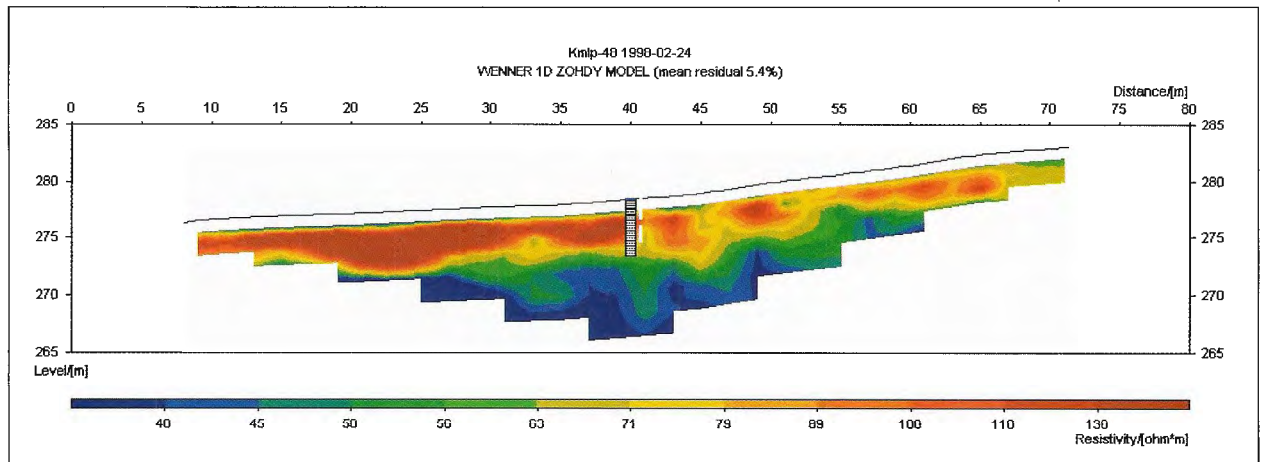
Fig. 5 Active landslide (AK) in cover layers and the upper weathering zone.

6. LITERATURA

- ANIČIĆ, B & JURIŠA, M. (1985a): Osnovna geološka karta 1:100 000. List Rogatec L33-68.- Geol. zavod Ljubljana i Geol. zavod Zagreb, Sav. Geol. zavod Beograd.
- ANIČIĆ, B & JURIŠA, M. (1985b): Osnovna geološka karta 1:100 000. Tumač za list Rogatec L33-68.- Geol. zavod Ljubljana i Geol. zavod Zagreb, Sav. Geol. zavod Beograd.

ANTOLIŠ, S. (1998): Autocesta Zagreb-Macelj, dionica Krapina-Macelj, Geotehnički projekt, Knjiga 4.2 Inženjerskogeološki istražni radovi.- Fond stručne dokumentacije IGH, Zagreb.

PRELOGOVIĆ, E. & KUK, V. (1998): Autocesta Zagreb-Macelj, dionica Krapina-Macelj, Geotehnički projekt, Knjiga 6.3 Seizmološka i seizmotektonska studija.- Fond stručne dokumentacije IGH, Zagreb.



Sl. 6 Kontakt pješčenjaka (crveno, žuto) i glinjaka (plavo).

Fig. 6 Contact of sandstone (red, yellow) and claystone (blue).



Nove stratigrafsko-strukturne spoznaje i naftnoplinski potencijal Požeške kotline

New Stratigraphic-Structural Knowledge and Oil/Gas Potential of the Požega Valley

Novana HRABAK & Željko UDJBINAC

Ključne riječi: strukturno-stratigrafska interpretacija, geokemijska ispitivanja, Požeška kotlina, Hrvatska.

Key words: Structural-stratigraphic interpretation, Geochemical analyses, Požega valley, Croatia.

Sažetak

Na području Požeške kotline izbušena je do sada samo jedna istražna bušotina Tekić-1 (Tek-1), i snimljeno 7 seizmičkih profila 2D seizmike ukupne dužine 93 km. Geokemijskim ispitivanjima uzoraka stijena bušotine u vapnenačkim laporima miocenske starosti ustanovljeno je značajno povećanje organske tvari. Od površinskih uzoraka stijena interesantniji su lokaliteti Poljanska i Pavlovci. Prema dubinskim strukturnim kartama, izrađenim po krovini srednjeg miocena, te mezozoik/paleozoik izdvojeno je više potencijalnih objekata, a za lokalitet "Mihaljevci" izvršena je i valorizacija područja.

Abstract

In the Požega valley area, only one exploration well (Tek-1) has been drilled so far, and 7 2D seismic profiles shot in the total length of 93 km. Geochemical analyses of the well rock samples in calcite marls of Miocene age have revealed a considerable increase of the organic substance. In terms of surface rock samples, the "Poljanska" and "Pavlovci" locations have proven to be of interest. According to deep structural maps, made along the Middle Miocene cap, and the Mesozoic/Paleozoic, several potential facilities have been isolated, while area evaluation was performed for the "Mihaljevci" location.

1. UVOD

Istražni prostor "Požeška kotlina" nalazi se u zapadnoj Slavoniji, u području Požeško-slavonske županije, manjim dijelom u Osječko-baranjskoj, a samo vrlo mali dio južnog dijela pripada Brodsko-posavskoj županiji.

Površina bloka iznosi 684 km², a ima oblik poligona.

Istražni radovi izvršeni do 1997. g.

Prvi detaljniji opisi nafte na našem tlu potječu iz ovih krajeva - sela Eminovci kod Požege, gdje je nafta 1779. g. neprekidno gorjela mjesecima, te Bačindola, gdje je bio i prvi početak prerade nafte (tvornica kolomaza, 1858. g.).

Rezultati geoloških istraživanja ovog područja datiraju od brojnih autora još od prošlog stoljeća, a zbog svoje interesantne građe Slavonsko gorje privlači brojne istraživače geoznanosti, tako da u posljednjih 40-tak godina postoje brojni znanstveni i stručni radovi iz ovog prostora.

Geoelektrično ispitivanje izvedeno je 1964. g., gravimetrijsko profiliranje 1966. i 1973. g., a magnetome-

trijsko snimanje 1969. g. Seizmički profili snimani su 1977., 1980. i 1984. g. (ukupno sedam 2D seizmičkih profila, sl.1).

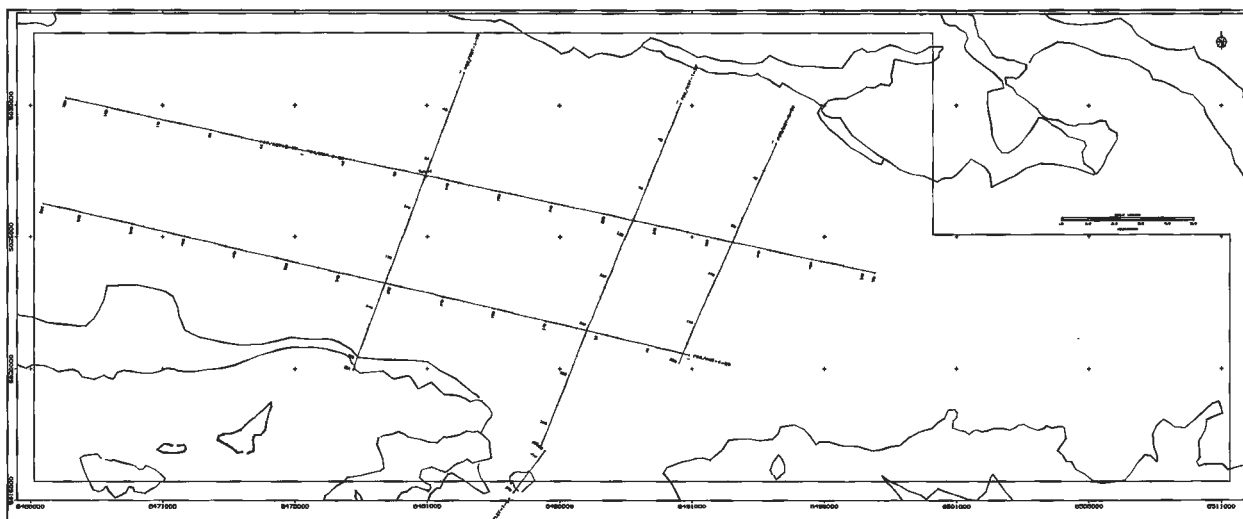
Blok se nalazi na 4 lista Osnovne geološke karte (Nova Kapela, Našice, Orahovica i Slavonski Brod), te se osnovne značajke geoloških i petroloških radova nalaze u Tumačima navedenih listova (ŠPARICA et al., 1980; KOROLIJA & JAMIČIĆ, 1989; JAMIČIĆ et al., 1986; ŠPARICA et al., 1987).

Prvo izvješće o dubinsko-strukturno-geološkim odnosima Požeške kotline za utvrđivanje postojanja ležišta ugljikovodika izrađeno je 1980. g. (NAJDENOVSKI & UDJBINAC, 1980) na temelju kojeg je iste godine locirana i izbušena bušotina Tek-1.

Istražni radovi izvršeni od 1997. do 1999. g.

Dosadašnjim istraživanjima nisu bila obuhvaćena geokemijska ispitivanja. Sada je u bušotini Tek-1 (ŠPANIĆ, 1997) ustanovljena prisutnost matičnih stijena u više intervala, a površinski uzorci stijena ukazuju na ranodijagenetsku fazu termičke izmjene.

Analizom bušotinskih podataka, novom interpretacijom seizmičkih profila, spoznajom geokemijskih par-



Sl.1 Mreža snimljenih 2D seizmičkih profila na bloku.

Fig.1 The network of 2D seismic profiles shot on the block.

ametara, a analogno prema susjednim istražnim područjima, izvršena je procjena preostalog naftnoplinskog potencijala iz još neotkrivenih strukturnih i stratigrafsko-strukturnih zamki. Izdvojeno je 6 novih objekata, a za lokalitet Mihaljevci izvršena je valorizacija prostora.

2. PREGLED GEOLOŠKE GRAĐE

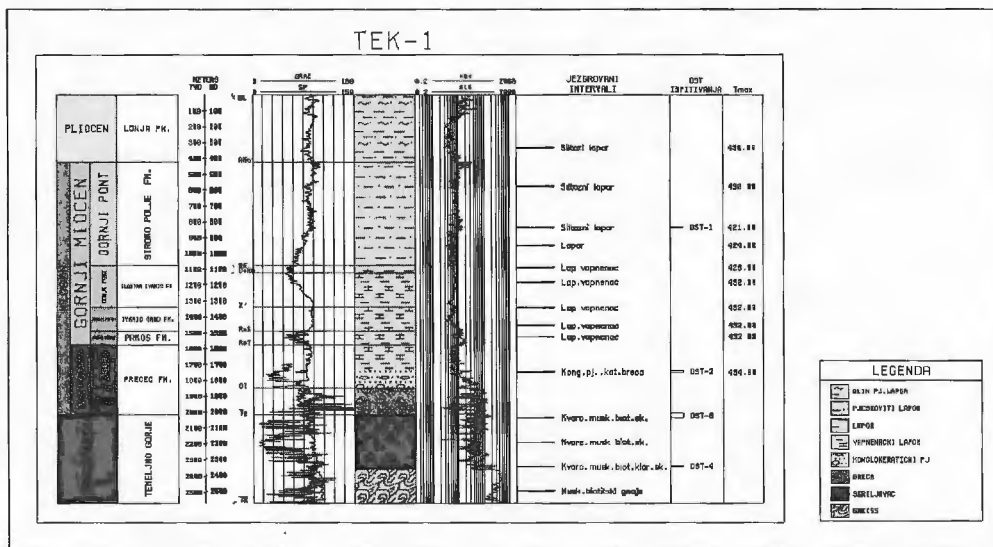
Geološku gradu čine dva, u stratigrafskom i litološkom smislu potpuno različita kompleksa stijena. Starije su magmatsko-metamorfne stijene, a mlade mezozojske i terciarne sedimentne stijene.

Najstarije stijene pripadaju Temeljnog gorju, a nabušene su i u bušotinama Tek-1 i ĐB-1 (Đakovačka Breznica). Radiometrijskim podacima (PAMIĆ et al., 1990) ustanovljeno je da ove stijene pripadaju paleozojskim formacijama, nastale su za vrijeme variscijske (hercinske) orogeneze, a prema istim autorima ovaj dio Panonskog bazena uvršten je u južnotisijski megablock. U petrološkom pogledu razlikuju se stijene regionalno-metamorfnog niskog i srednjeg stupnja metamorfizma (paragnajsevi i tinjčevi škriljci), te stijene vrlo niskog stupnja metamorfizma (slejtovi, kvarciti, filiti Radlovačke formacije). Granitoidne stijene nalaze se u dubljim dijelovima bušotina, kao i na dijelovima Psunja i Papuka, a na Krndiji granodioriti. Na granitima i riolitima Požeške gore PAMIĆ et al. (1990) određuju senonsku starost.

Na okolnim planinama Požeške kotline utvrđeni su mezozojski sedimenti i efuzivi, dok u samoj kotlini nedostaju, te je za pretpostaviti da je u to vrijeme kotlina bila kopno. Zastupljene su naslage srednjeg i gornjeg trijasa (vapnenci i dolomiti), jure (krinoidni vapnenci i vapnenci s rožnjacima), gornje krede (vapnenci, lapori, pješčenjaci i konglomerati). Kredne su starosti (senon) i vulkaniti Požeške gore.

Istaknuti masivi Slavonskih planina u donjem miocenu (otnangu) bili su izvorište klastičnog materijala. Njihovom erozijom odlažu se velike količine materijala, prvenstveno konglomerati i brečokonglomerati u slatkovodnim okolišima. Njihova je karakteristika bočna i vertikalna gradacija i smanjenje veličine valutica od istaknutih masiva prema bazenu. U karpatu se talože srednje do sitnozrni klastiti u marinskom okolišu. Daljnjim razvojem taložnog prostora slijede badenski konglomeratni pješčenjaci, konglomerati, lapori i vapnenci. Krajem srednjeg miocena izražene su regresivne tendencije uz postupan pad saliniteta taložne sredine, intenzitet tektonskih aktivnosti slabi, te na laporovite vapnence i vapnenačke lapore sarmatske i donjopanonske starosti naliježu siltovi i masivni lapori ponta odlagani u vrlo mrimoj sredini kaspibrakičnog jezerskog okoliša, te pliocenske i kvartarne slatkovodne i eolske naslage.

Izdizanje Slavonskih planina, izgrađenih većim dijelom od hercinskih granitno-metamorfnih stijena započelo je već u ranim miocenskim fazama evolucije Panonskog bazena, no najveće amplitude izdizanja bile su krajem pliocena i u kvartaru. Za postanak kotline presudnu ulogu imali su tektonski, pretežno neotektonski pokreti. Kotlina je mlada, njezin postanak je posljedica Savske orogeneze (gornji oligocen - donji miocen). Karakteristično je da tijekom miocena intenzivnije tone zapadni dio kotline, a u pliocenu istočni (NAJDENOVSKI & DEUR-GJURA, 1986). Na strukturnim kartama prikazani su oblici paleoreljefa (karta po regionalnom EK markeru Pt/Tg, podina neogenskih sedimenata) i strukturni oblici mladih naslaga (strukturna karta po regionalnom EK markeru Rs₇, krovina badenskih i sarmatskih naslaga). Požeška kotlina omeđena je regionalnim rasjedima koji se nalaze u podnožju Slavonskih planina. Pravac pružanja tih rasjeda je približno istok-zapad ili su blago povijeni prema jugu. Duž ovih rasjeda za vrijeme donjeg miocena (otnanga) taloženje se



Sl. 2 Geološki profil bušotine Tek-1.

Fig. 2 Geological profiles of the Tek-1 well.

zbivalo paralelno s tektonskom aktivnošću. Unutar kotline veći dio dubinskih rasjeda ima smjer pružanja sjever-sjeveroistok-jug jugozapad. Izuzetak čini rasjed Bertelovci-Ovčara (jugoistočno od Tekića) koji ima konkavan, lučni oblik smjera pružanja sjeveroistok-jugozapad.

Prema sadašnjem strukturnom rješenju najdublje sinklinale miocenskih sedimenata nalaze se u području Ješevice (zapadno od Vetova), s dubinom većom od 2.500 metara, te Grabovca (jugozapadno od Kule) s dubinom do 2.100 m. Ove sinklinale ekranizirane su na sjeveru potolinskim rasjedom. Možda se interesantno uleknuce nalazi u području Oljaša (jugoistočno od Kutjeva), međutim nalazi se na samom početku seizmičkog profila Pož-Kot-5-80, a u neposrednoj blizini obronaka Krndije, te je detaljnije strukturno kartiranje problematično.

Na strukturnoj karti po krovini badenskih i sarmatskih naslaga uočeno je više antiklinalnih struktura: Orčan, Grabarje, Mihaljevci, Šumanovac i Lipovica. Lokaliteti Grabarje i Mihaljevci su antiklinale bez ekranizacija rasjeda, a nalaze se između seizmičkih profila, dok je antiklinala Lipovica smještena na seizmičkom profilu i na lokaciji određenoj za snimanje nove seizmike, te bi nakon snimanja istih vjerojatno postala atraktivnija za naftno-geološko razmatranje.

3. NAFTNO-GEOLOŠKA INTERPRETACIJA

Na istražnom bloku "Požeška kotlina" izbušena je samo jedna istražna bušotina (Tek-1, sl. 2). Ova bušotina je likvidirana kao negativna. Na zahtjev Službe razvoja postavljen je cementni čep i sačuvana je za eventualna naknadna ispitivanja. Za naftno-hidrogeološku i geokemijsku interpretaciju korišteni su i rezultati bušotine ĐB-1.

Na istražnom bloku izdvojeno je više potencijalnih strukturnih zamka, ali je samo za lokalitet "Mihaljevci" izvršena valorizacija prostora, jer je bez dodatne seiz-

mike (na 1 km² površine snimljeno je 0,13 km seizmičkih profila), svako daljnje okonturenje diskutabilno.

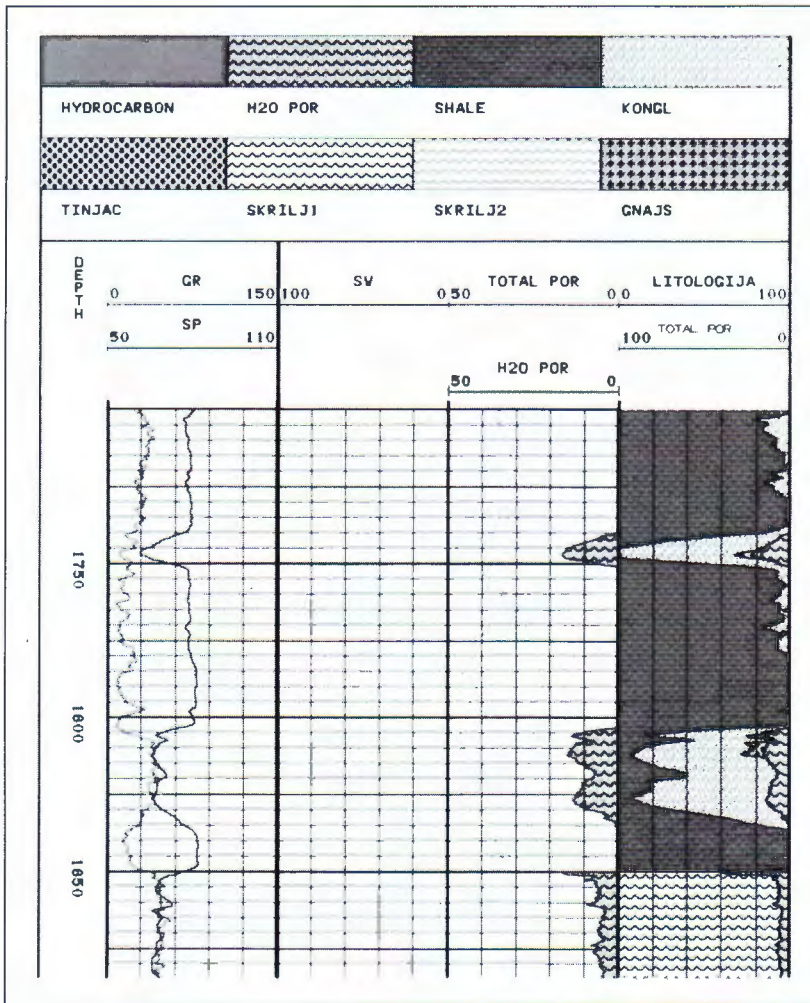
Potencijalna zamka (ležište nafte) "Mihaljevci" nalazi se u središnjem južnom dijelu bazena, zapadno od bušotine Tek-1. Ležište je formirano u zamci strukturnog tipa, a predstavlja antiklinalnu formu na strukturnoj karti po krovini konglomeratičnih pješčenjaka badena. Uvjetna granica nafta-voda je na apsolutnoj dubini od -850 m.

Kolektor stijena je konglomeratičan pješčenjak, a izolator u krovini je lapor i vapnenački lapor miocenske starosti. Srednji je porozitet konglomeratičnih pješčenjaka $\Phi = 15\%$, a propusnost $k = 0,02 \mu\text{m}^2$ i zasićenje vodom $S_w = 45\%$. Slojni tlak je hidrostatski.

Na sl. 3 prikazani su rezultati analiza u dijagramskom obliku tipa EPILOG za konglomeratične pješčenjake miocena prema elektrokarotaznim dijagramima za bušotinu Tekić-1 (od 1.700 do 1.900 m dubine), gdje je srednji porozitet 11,3%, a efektivna debljina 36 m.

Za sada nisu interpretirani sedimenti mlađi od badena i sarmata, međutim povoljan sekundarni porozitet badenskih vapnenačkih lapora i laporovitih vapnanaca, koji su ustanovljeni analizama jezgara bušotina Tek-1 i ĐB-1, pretpostavka je za dobre kolektorske osobine ovih stijena u području Požeške kotline. Te se stijene nalaze u većem obimu u jugoistočnom dijelu promatranog prostora. Analizirani pontski sedimenti iz jezgara bušotine Tek-1 nisu dobrih kolektorskih osobina, te je za očekivati sličan ili identičan razvoj i u ostalim dijelovima uleknine.

Na lokalitetu Bačindol do nedavno je lokalno pučanstvo sakupljalo naftu koja je izlazila na površinu na više mjesta u okolini. Tvornica kolomasti u Bačindolu koja je započela raditi 21. prosinca 1858. bila je prva takve vrste u Hrvatskoj, a vjerojatno je prestala raditi u godinama uoči Prvog svjetskog rata. Njen je vlasnik bila ugarskohrvatska obitelj Erdödy. Nažalost, naša ekipa pronašla je ove lokalitete, ali ne i naftu, da bi je analizirali.



Sl. 3 Epilog miocenskih konglomeratičnih pješčenjaka.

Fig. 3 Epilogue of the Miocene conglomerate sandstones.

4. GEOKEMIJSKA INTERPRETACIJA

Dosadašnjim geokemijskim ispitivanjima podvrgnuti su uzorci jezgara iz bušotina Tek-1 i ĐB-1. Za potrebe projekta "Požeška kotlina" napravljene su geokemijske analize i interpretacija rezultata uzoraka iz bušotina, kao i 15 površinskih uzoraka stijena.

Geokemijskim analizama uzoraka jezgara iz bušotine Tek-1 utvrđena je prisutnost **matičnih stijena** u više intervala. Analiza uzoraka jezgara gornjeg panona i donjeg ponta pokazuje karakteristike termički nezrelih matičnih stijena manjeg generativnog potencijala, dok uzorak stijene iz pliocena predstavlja matičnu stijenu izuzetno velikih mogućnosti za generiranje ugljikovodika, koja se nalazi u stadiju rane dijagenoze (ŠPANIĆ, 1997). Najinteresantniji je uzorak jezgre iz donjeg panona koji predstavlja vrlo dobru matičnu stijenu (povećana količina organske tvari - 1,28% C_{org}). Vodikov indeks pokazuje tipičan kerogen tipa II, što je rezultiralo povećanim generativnim potencijalom, dok su optička ispitivanja pokazala isključivi kvartičan organski facijes povoljan za generiranje ugljikovodika. Pretpostavlja se da bi u slučaju dubljeg zalijeganja (> 2000 m) ove naslage mogle doseći "naftni prozor".

Geokemijskim analizama jezgara bušotine ĐB-1 u uzorku gornjeg panona ustanovljena je loša matična stijena. To je lapor sa skromnom količinom organske tvari ($C_{org} = 0,68\%$), a prema Rock-Eval pirolizi ustanovljen je nezreli kerogen tipa II-III.

Od površinskih uzoraka stijena s naftnogeokemijskog gledišta najinteresantniji su uzorci iz kamenoloma Poljanska (sivi šejl, otnang) i Pavlovaca (lapor, pont). Šejl ima nešto povećanu količinu organskog ugljika ($C_{org} = 0,85\%$). Rock-Eval piroliza ukazuje na kerogen tipa II-III, što je rezultiralo povećanim generativnim potencijalom. Najvažniji maturacijski parametri (%Ro, Tmax, TAI) ukazuju na ranodijagenetsku fazu termičke izmjene. Lapor lokaliteta Pavlovaca (donji pont) može se smatrati matičnom stijenom niskog generativnog potencijala (količina organskog ugljika 0,91%).

Kolektorske stijene istražnog bloka Mihaljevci su konglomeratični pješčenjaci badenske starosti s prosječnom šupljikavosti od 15% i prosječnom efektivnom propusnosti od $0,02 \mu m^2$. Na Bloku su prepoznate i stijene rezervoari unutar donjeg panona (vapnenački lapori i laporoviti vapnenci), a postoji mogućnost akumuliranja ugljikovodika u krednim klastičnim i karbonatnim stijenama.

Pokrovne stijene su lapori, vapnenački lapori i laporoviti vapnenci badena i donjeg panona. Za izdvojene lokalitete "Mihaljevci" i "Grabarje" pokrovne stijene su lapori i vapnenački lapori badena, a za vapnence badena lokaliteta Lipovica lapori i vapnenački lapori donjeg panona.

Po izvršenim planiranim predviđenim seizmičkim snimanjima potrebno bi bilo izdvojiti nova područja gdje je dubina zalijeganja ovih sedimenata veća od 2.000 m, da se ekvivalentne naslage nađu unutar "naftnog prozora" i dostignu katagenetski stupanj termičke izmjene.

Vrlo maleni broj snimljenih seizmičkih profila, kao i izrada svega jedne istražne bušotine, govori o prostoru koji do sada nije bio dovoljno istraživani, gdje je prvenstveno potrebno izvršiti snimanje dodatne seizmike.

5. LITERATURA

- JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J. & VRAGOVIĆ, M. (1986): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Orahovica L33-96.- Geološki zavod Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd, 72 str.
- KOROLIJA, B. & JAMIČIĆ, D. (1989): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Našice L34-85.- Geološki zavod Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd, 40 str.
- NAJDENOVSKI, J. & UDJBINAC, Ž. (1980): O tektonici, osobito o dubinskim strukturnim odnosima Požeške kotline, s osvrtom na naftoplinosnost.- Nafta, 5, 223-233, Zagreb.
- NAJDENOVSKI, J. & DEUR-GJURA, I. (1986): Geološka-ekonomska osnova projekta istraživanja i otkrivanja ležišta nafte i plina na području Požeške kotline.- Fond struč. dok. Naftaplin, Zagreb.
- PAMIĆ, J., INJUK, J. & JAKŠIĆ, M. (1990): Prilog geokemijskom poznavanju gornjokredne bimodalne vulkanske asocijacije Požeške gore u Slavoniji (Sjeverna Hrvatska).- Geologija, 31-32, 415-435, Ljubljana.
- ŠPANIĆ, D. (1997): Geokemijska ispitivanja uzoraka stijena iz bušotina Tek-1 i ĐB-1, te površinskih izdanaka stijena s područja Požeške kotline.- Fond struč. dok. Naftaplin, Zagreb.
- ŠPARICA, M., JURISA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, Č. & ŽIVANOVIĆ, D. (1980): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Nova Kapela L33-108.- Geološki zavod Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd, 55 str.
- ŠPARICA, M., BUZALJKO, R. & PAVELIĆ, D. (1987): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Slavonski Brod L34-97.- Geološki zavod Zagreb i Geoinženjering OOUR Inst. Geol. Sarajevo, Sav. geol. zavod Beograd, 56 str.





Erozija kišom u slivu bujičnog vodotoka u središnjoj Istri

Torrential Catchment Raindrop Erosion in the Central Istria

Vladimir JURAK¹ & Zdenko FABIĆ²

Ključne riječi: erozija, erozija kišom, produkcija nanosa, karta erozije, fliš, središnja Istra.

Key words: Erosion, Raindrop erosion, Sediment delivery ratio, Erodibility map, Flysch, Central Istria.

Sažetak

Razmatra se erozija prouzročena kišom u mediteranskom podneblju i njezine posljedice iskazane produkcijom nanosa. Za primjer je odabran sliv bujičnog vodotoka Posert u središnjoj Istri, koji je cijelim obuhvatom u području izgrađenom od eocenskog fliša.

Fenomen produkcije nanosa ovdje se nameće kao inženjerski problem zbog skraćivanja vijeka trajanja planirane akumulacije "Grobnik". Za razliku od parametarske metode, koja je još standardno u uporabi, u radu su iskorišteni rezultati mjerenja na licu mjesta na pokusnoj plohi Abrami kod Buzeta. S tim se kvantitativnim pokazateljima pokušalo napraviti kartu erozije inženjerskogeološkim kartiranjem. Ona je kartografski prikaz razvijenosti erozijskih procesa u odnosnom slivu.

Godišnju produkciju nanosa od 10.000 m³ i specifičnu od 450 m³/km²/god s 90% površine sliva uspoređuje se s vrijednostima koje su dobivene raznim metodama u istovjetnim terenima neposrednog okruženja.

Abstract

The raindrop erosion in the Mediterranean climate and its effects expressed by the sediment delivery ratio are considered. The catchment of the Posert torrential in the central Istria that is situated on the whole in the Eocene flysch has been chosen as an example.

The phenomenon of the sediment delivery ratio is important here as an engineering problem because of shortening the life of the planned Grobnik storage reservoir. In the paper the measurement results from the spot in the Abrami test area next to Buzet have been used rather than the parametric method conventionally in use. With the mentioned quantitative parameters the erodibility map was made by means of engineering-geological mapping. The map is a cartographic presentation of the development level of the erosion processes in the respective catchment.

The annual sediment delivery ratio of 10,000 cu.m. and the specific one of 450 cu.m./sq.km/year from 90 per cent of the catchment area is compared to the values obtained by various methods in the identical grounds of the immediate surroundings.

1. UVOD

Flišno područje središnje Istre ima sve fiziogenetske predispozicije za razvoj vodne erozije, koja je na mnogim mjestima u rangu ekscesivne (pretjerane). Vodna se erozija ovdje iskazuje različitim pojavnim oblicima pluvijalne erozije (spiranje), posebice na ogoljelim plohama, zatim kroz bujični režim vodotoka, te kroz, posljedno tomu, produkciju i pronos nanosa.

Intenzitet spiranja stijena i tla kišom mjeren je stanovito vrijeme na parcelama pokusne plohe Abrami kraj Buzeta. Rezultati tih mjerenja relevantni su i za procjene o mogućoj specifičnoj godišnjoj produkciji nanosa u slivovima pojedinih bujičnih vodotoka. Jedan od njih je i Posert, koji zajedno sa susjednim potokom

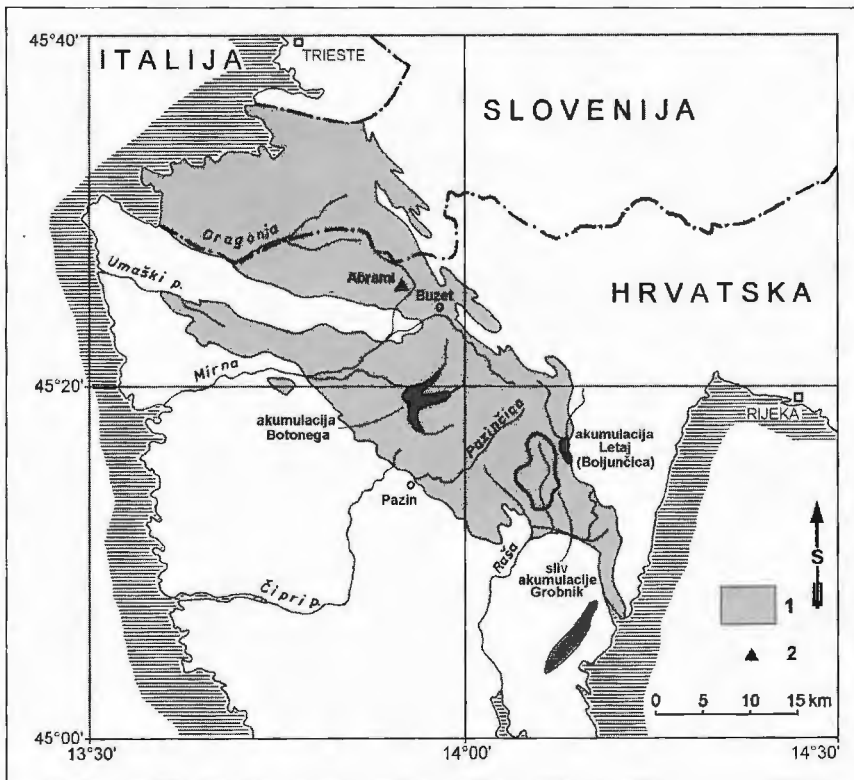
Karbuna (Gologorički potok) tvori izvorište rijeke Raše. Osnovna značajka obaju vodotoka je izrazita bujičnost i enormna erozija pojedinih dijelova sliva kao skup različitih fizičko-geoloških procesa denudacije.

Praktični smisao stanja erozije u nekom bujičnom slivu iskazuje se kroz erozijsko opterećenje akumulacija i retencija koje skraćuje njihov vijek trajanja, odnosno remeti funkcioniranje. Njima prijeti zatrpavanje pluvijalnim nanosom, a upravo su one jedna od mjera uređenja bujica. Takva bi trebala biti i buduća akumulacija "Grobnik", radi koje se pokušalo procijeniti stanje erozije u slivu bujičnog potoka Posert odgovarajućim inženjerskogeološkim istraživanjima.

Erozijsko opterećenje akumulacije kao inženjerski problem pokušalo se razmatrati u svjetlu novijih spoj-

¹ Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Zagrebačka županija, Ured za gospodarstvo, Ul. grada Vukovara 72, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Razmještaj objekata u Istarskom području: 1) rasprostriranje flišnih naslaga; 2) pokusna ploha i klimatološka postaja.

Fig. 1 Disposition of the structures on the Istrian hills: 1) extent of flysch deposits; 2) test area and meteorological station.

naja, a na temelju kvantitativnih pokazatelja spiranja s reprezentativnih erozijskih parcela pokusne plohe Abrami kod Buzeta.

Premda je stanje erozije u slivu Poserta detaljno obrađeno u dokumentaciji pod 1, smatralo se da je uputno obnoviti neke proračune, imajući na umu i navode TOMIĆA (1983) o neiskorištenosti rezultata s pokusne plohe Abrami. Translacija tih mjerenih podataka moguća je zbog istovjetnih geoloških prilika i relativne blizine (25 km zračne udaljenosti) što osigurava i podudarnost klimatskih značajki (sl. 1).

Za izradu ovoga rada poslužila je slijedeća dokumentacija:

1. Čulinović, N. i sur. (1964): Akumulacija "Posert". Osnovni projekt.- Arhiv Hrvatske vode, VGO Rijeka;
2. Rula, B. i sur. (Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi" Beograd) (1977): Rezultati istraživanja površinskog oticanja i spiranja sa oglada "Abrami" - period 1970-1977. godine.- Arhiv Hrvatske vode, VGO Rijeka;
3. Jurak, V., Barić, R. i Fabić, Z. (1989): Inženjersko-geološka istraživanja za ostvarenje akumulacije "Grobnik".- Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Dugogodišnje bavljenje poznatih stručnjaka za eroziju diplomiranih inženjera šumarstva I. Gropuzza, M. Bakote i G. Mičetića problemima erozije u Istri rezultiralo je izvještajem br. 4: Mičetić G. (1997): Erozijska u Istri - pripremljeno za prezentaciju sustava akumulacije Letaj, pohranjenom u Arhivu Hrvatskih voda, VGO Ri-

jeka, u kojemu su sadržani vrijedni podaci o produkciji nanosa u slivovima istarskih vodotoka. Zahvalni smo gospodinu G. Mičetiću na mogućnosti korištenja ovih, nadasve vrijednih, podataka.

Na znanstvenom simpoziju "Dostignuća i perspektive rudarstva, geologije, naftnog rudarstva i geotehnike" (Zagreb, 16. i 17. XI 1989.) održano je predavanje: Jurak, V., Barić, R. i Fabić, Z.: O intenzitetu erozije flišnih naslaga na jednom primjeru u središnjoj Istri.

Ovaj rad je napravljen u sklopu znanstvenog projekta "Dubinskogeološka i geohazardna istraživanja u Hrvatskoj", kojega podupire Ministarstvo znanosti i tehnologije RH.

Na obradi teksta i crteža trudili su se g-da Anica Mihelj, tehn. crtač i Vladimir Belošević, dipl. inž. geol., na čemu im zahvaljujemo.

2. METODOLOGIJA

U izvještaju pod 1 priložena je "Pregledna karta erozijskih procesa u slivu Posert" M 1:25.000 i izvršena je procjena produkcije nanosa. Ona se temelji na klasifikaciji erozijskih procesa GAVRILOVIĆA (1972), koja je kasnije dorađena po LAZAREVIĆU (1985).

Bez obzira na prigovore u pogledu kvalitete pojedinih parcela i tako dobivenih rezultata s pokusne plohe Abrami kod Buzeta (BAKOTA et al., 1983; LAZAREVIĆ & MILIĆEVIĆ, 1983) ipak se smatralo uputnim sagledati kvantitativni izraz erozije spiranjem u svjetlu egzaktnih podataka s Abrama (izvještaji 2 i 3; RULA, 1972; RULA & STEFANOVIĆ, 1977). To je iz razloga

Produkcija nanosa na pokusnim parcelama površine "Abrami" (dokum. 2)							Može se poistovjetiti s kategorizacijom u Osnovnom projektu (dokum. 1)			
Parcela	Geološke, pedološke, odnosno vegetacijske značajke	Stanje	Reducirana površina (m ²)	Nagib (°)	1971 – 1976*		Stupanj razvijenosti erozijskih procesa			Iskustvena godišnja produkcija nanosa (m ³ /km ²)
					Prosječna godišnja produkcija nanosa (m ³ /km ²)	Indeks	Kategorija	Opis	Koeficijent erozije (Z)	
1	Isječak vododerine; potpuno ogoljena matična stijena – filiš, slojevi vodoravni.	prirodni okoliš	15,08	60	5 380	8 677	I	Područje ekcesivne mješovite erozije – ogoline i ogoljeni bokovi vododerina.	1,20	10 000
2	Plitko tlo s mjestimičnim ogolinama; vegetacijski pokrivač potpuno degradiran, sveden na busenje trave.		84,75	31	590	951	II	Područje jake mješovite erozije – strme padine bez vegetacije s plitkim degradiranim tlom.	0,80	3 500
3	Degradirana šuma bijelog graba i hrasta na dubokom tlu.		93,25	24	0,62	1	V	Područje veoma slabe erozije ili bez nje – poljoprivredne i šumske površine na ravnim terenima (terase, hrptovi) i livade s bujnom travom.	0,10	0 - 50
4	Pedološki sloj poremećen gradonima; posađeni borovi, zasijana brnista i trava.	102,40	30	0,62	1					
5	Vrlo plitko i degradirano tlo s mjestimice otkrivenom podlogom; zakržljali borovi.	protuerozijski uređene	98,57	17	41,6	67	III	Područje srednje površinske erozije – površine djelomice obrasle njetkim grmljem.	0,40	1 250
6	Plitko tlo poremećeno izvedbom gradona i sadnjom borova.		122,70	15	1,4	2,2	IV	Područje slabe površinske erozije – sačuvaniji ostaci šuma i šikara, spiranje mjestimice.	0,20	500

* Na temelju 158 kiša, koje su reprezentanti u računu produkcije nanosa za svaku parcelu (u vegetacijskom periodu).

Tablica 1 Podaci za izradu karte erozije.

Table 1 Data for the erodibility map elaboration.

što su rezultati dobiveni u sredini po svemu sličnoj slivu Poserta, pa se podaci s pokusnih parcela mogu smatrati reprezentativnima i za terene navedenog sliva.

Otjecanje i spiranje jedinstveni su erozijski proces izazvan pluvijalnim agensom, koji je izrazito sezonskog karaktera. Visoka produkcija nanosa spiranjem događa se ljeti za vrijeme pljuskova s jakim kišnim intenzitetom (srpanj i kolovoz), što posebno vrijedi za ogoljelu stijenu. Hod događaja kroz godinu pokazuje da 60-80% od ukupno producirano nanosa nastaje kroz vegetacijski period (IV-IX).

Praćenje pluvijalne erozije na šest pokusnih parcela s različitim geološko-pedološko-vegetacijskim značajkama trajalo je šest godina za koje su rezultati osrednjeni (1971-1976). Raspolagalo se s ukupno 948 uzoraka. Osnovni elementi pojedinih reprezentativnih parcela prikazani su tablicom 1. Upada u oči enormno visok indeks erodibilnosti parcele 1, tj. predstavnika erozijskih žarišta spiranjem. Ona predstavlja područja ekstremno ekcesivne erozije, koja za preko 8.000 puta nadmašuje produkciju s parcela 3 i 4, predstavnika površina pod vegetacijom i s debljom pedosferom. To je i za očekivati, budući da na matičnu stijenu parcele 1 odnosnih svojstava najizravnije djeluju dva čimbenika - pluvijalni i termodinamički. Proces raspadanja stijene traje tijekom cijele godine s i bez utjecaja padalina (RULA, 1972).

Iz navedenoga postaje očigledno da su glavni producenti nanosa upravo ogoline, pa se kontrolom količine nanosa s njih (pluvijalnom erozijom i osipavanjem)

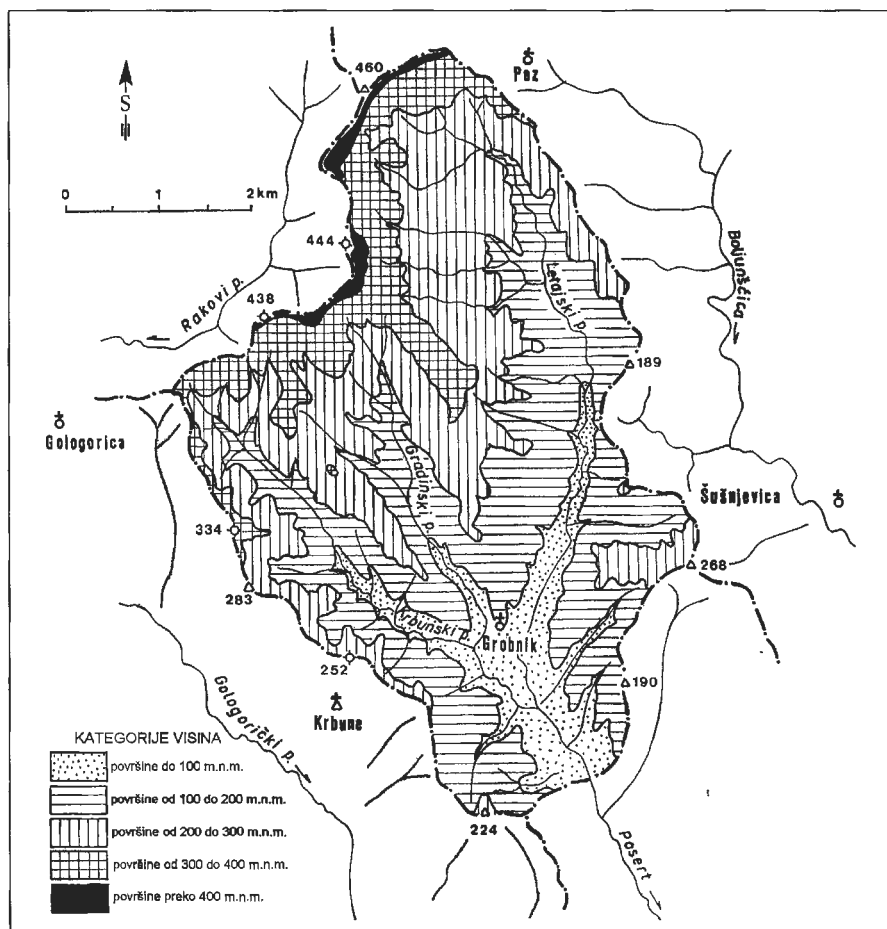
steže visoki kvantum informacije o fenomenu erozije u nekom slivu.

3. FIZIOGRAFIJA SLIVA

Slivno područje bujičnog potoka Posert nalazi se u istočnom dijelu Istarskog pobrđa, točnije u Gradinjsko-Grobničkoj mikromorfostrukturnoj jedinici (MIHLJEVIĆ, 1996). Isti autor naglašava pojavu prekomjerne (ekscesivne) denudacije kao obilježje središnjeg dijela Istre, odnosno Istarskog pobrđa. Ona je izražena prosječnim godišnjim denudacijskim snižavanjem reljefa Istarskog pobrđa od približno 0,64 mm. Isti autor piše o klimamorfološkom mehanizmu svojstvenom Istarskom pobrđu, a kojega smatra temeljnim klimamorfološkim čimbenikom razvoja reljefa, analizirajući podatke klimatološke postaje Abrami za period 1981-91.

Cijeli je sliv potoka Posert oblikovan u nepropusnim flišnim naslagama, tako da je kretanje vode površinsko i pripovršinsko, te je reljef najvećim dijelom oblikovan fluvioveno. Oblik slivnog područja je izdužen smjerom sjever-jug, ali je u osnovi to sliv tipa lepeze. U razmatranje ulazi slivna površina akumulacije "Grobnik" veličine $F=24,7 \text{ km}^2$. Hipsografska raščlanjenost prikazana je slikom 2, a hipsometrijska krivulja sl. 3.

Za ilustraciju prilaže se isječak karte nagiba (izvorno mjerilo 1:5.000) (sl. 4). Kategorija najvećih nagiba vezana je za pojavu strmih ogolina, koje su morfogenetska posebnost flišnih terena Istre. Bez sumnje da se mo-



Sl. 2 Hipsografska razvedenost sliva akumulacije "Grobnik".

Fig. 2 Hypsographic indentation of the catchment area of the Grobnik storage reservoir.

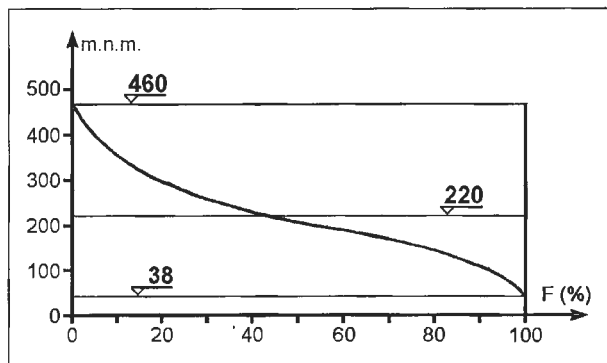
gu pripisati oblicima pluviodenudacijskog reljefa koji su poznati pod skupnim nazivom "badlands" (loše zemlje). Postoje tri vrste ogolina: linijske, koje predstavljaju vododerine - jaruge strmih strana i izrazitog "V" profila, oblikovane u geološkom supstratu; plošne, koje mogu biti ili tipa strmih zaszjeka ili plošno rasprostranjen rebrasti reljef blaže položenih strana. Pregled uzročnika i oblika erozije u slivu daje se tablicom 2.

4. LITOLOŠKI SASTAV I DENUACIJSKI PROCESI

Slivno područje Poserta cijelim je prostornim obuhvatom smješteno unutar klastičnih naslaga srednjeg i gornjeg eocena ($E_{2,3}$) Pazinskog paleogenskog bazena (ŠIKIĆ et al., 1969; ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973). One su detaljno sedimentološki istražene i opisane (MAGDALENIĆ, 1972). Ustanovljeno je da klastične paleogenske naslage središnje Istre imaju sve značajke fliša. Većim ih dijelom izgrađuju turbiditne sekvencije, a u manjoj mjeri fluksoturbiditi i normalni pelagički sedimenti.

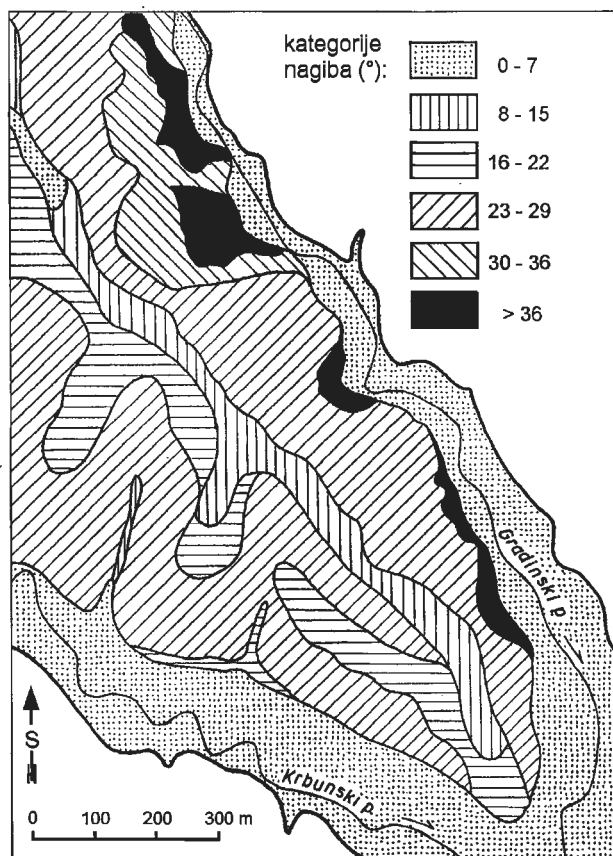
Litološki stup vršnoga dijela flišnog kompleksa prikazan je slikom 5. Uočljiva je raščlamba na siliciklastične turbidite (arenitski i pelitski interval) i karbonatne turbidite (mikrobreča). Svaki se od litoloških članova

odlikuje vlastitim geomorfološkim obilježjima koja proizlaze iz njihova svojstva erodibilnosti. U tom pogledu se masivne lapore homogenog sastava i bez vidljivih teksturnih elemenata (član 3) može svrstati u kategoriju mekih/slabih stijena u geotehničkom spektru (JOHNSTON & NOVELLO, 1993). Odlikuju se najvećom erodibilnošću, tj. najpodatljiviji su eroziji spiranjem, brazdanjem i jaružanjem. Prema MAGDALENIĆ (1972) ti su sedimenti zastupljeni u gornjem dijelu flišnih sekvencija (interval e).



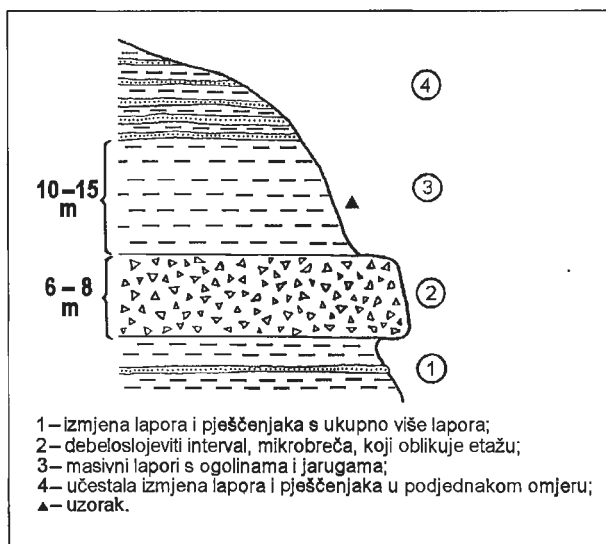
Sl. 3 Hipsometrijska krivulja sliva akumulacije "Grobnik".

Fig. 3 Hypsometric curve of the catchment area of the Grobnik storage reservoir.



Sl. 4 Isječak karte nagiba.
Fig. 4 Slope map, detail.

Uzorak iz toga litološkog člana (uzet kod Blažića), određen po J. Tišljaru, bio bi glinovito-siltozni mikritni vapnenac na prijelazu prema kalcitom bogatom laporu. Semikvantitativna analiza primjenom rendgenske difrakcije na prahu istoga uzorka (približni udjeli u mas. %):



Sl. 5 Litološki stup vršnog dijela flišnoga kompleksa.

Fig. 5 Lithological column of the top part of flysch complex.

kalcit ~70, tinjčasti minerali (ilit + muskovit) ~10, kvarc ~8, klorit...malo, plagioklas ~2, kalijski feldspat...vrlo malo, neuređeni miješanoslojni minerali + amorfna tvar ~10 (odredio D. Slovenec).

Geomorfološke posebnosti bujičnog sliva Poserta iskazuju se, zahvaljujući geološkoj građi, tipičnim reljefom bujičnih područja, obilježja kojega su prikupišne lepeze strmih padina i duboko usječenih vododerina, ogoline kojima je otkrivena matična stijena, uski stršeci hrptovi između paralelnih tokova i rijetke zaravni u etažnom rasporedu, u suglasju s odnosom između litologije, strukture i morfogeneze.

U članu učestale izmjene arenita i pelita, primjerice 4 na slici 5, svi oblici erozije djeluju selektivno. U taj

Uzročnici i oblici erozije		Zastupljenost u slivu bujičnog toka Posert
kišna.....	površinska plošna.....	} mješovita } ogoline matičnog supstrata (stijene)
	brazdasta } dubinska } jaružasta } (linijska)	
bujična.....	dubinska i podlokavanje	} rebrasti reljef; stvaranje drenažne mreže nižih redova odljevnih jaraka u prikupišnoj lepezi
fluvijalna.....	podlokavanje i odroni.....	
termohidrodinamička...	osipavanje.....	svugdje na ogolinama, posebice na strmima
klizišna.....	kretanje masa klizanjem.....	beznačajno, gotovo da i nema klizišta; tek mjestimična plitka otkidanja pokrivača (tla)

Tablica 2 Zastupljenost fizičko-geoloških procesa denudacije u slivu akumulacije "Grobnik".

Table 2 Representation of physical-geological denudation processes in the catchment area of the Grobnik storage reservoir

dio litološkog stupa moglo bi se smjestiti i parcelu 1 iz Abrama. Općenito, prevladavajući litofacies i položaj slojeva diktiraju razvoj drenažne mreže i usmjeravaju sve oblike erozije.

Ogoline, taj najuočljiviji element krajobraza, javljaju se kao podsječene strme padine u bokovima triju glavnih potoka, predstavljaju bokove vododerina izrazitog "V" profila, a dijelom su i na padinama blažeg nagiba, pa čak i na brdskim bilima. Upravo su one mjesta ekscesivne erozije (pretjerane, ubrzane), odnosno erozijska žarišta s najvećom produkcijom nanosa. Ogoljavanjem je matična stijena izravno izložena režimu temperature i vlažnosti, udaru kišnih kapi (pluvijalna erozija) i odnosu čestica mlazevima vode - spiranju. Ogoline na vjetrometini nisu pošteđene niti učinka vjetera, izložene su i eolskoj eroziji (deflaciji), pogotovo kad je riječ o masivnim laporima, koji daju obilje sitne mrvičaste i iveraste raspadine. Spontano osipavanje, uglavnom lapora, nezavisno je o padalinama i događa se zbog dnevne promjene temperature i vlažnosti u tankom pripovršinskom sloju stvarajući stožaste nakupine u podnožju ogolina.

Prema podjeli GAVRILOVIĆA (1972), moguće je razlikovati površine s isključivo površinskom erozijom, zatim one gdje prevladava dubinska erozija (odnosno linijska), te one s mješovitom erozijom, kao i mjesta gdje je proces usmjeren bočno i više manje prostorno ograničeno. Tako ogoljeli bokovi derazijskih dolina izrazitog "V" profila prate proces dubinske erozije, odnosno linijske, koja je više izražena u prikupišnim lepezama i uz razvodnice. Poznato je da su vododerine početni stadij u razvoju bujičnih tokova. Na strmim ogolinama je posebno izražen efekt selektivne erozije obilježen stršećim slojevima pješčenjaka.

U glavnim potočnim dolinama, inače područjima akumulacije i retencije nanosa, izražena je erozija podsijecanjem padina, podlokavanjem, tj. destruktivski proces je usmjeren bočno, čime nastaju ujedno i najveće ogoline, visine i do 90 metara. Nagibi takvih su između 60° i 80°, a mogući su i konkavni profili.

Kako je na ogolinama prisutna kategorija čak i ekstremno ekscesivne erozije geološkog supstrata, zbog ubrzane pluviodenudacije matične stijene nema dovoljno vremena za stvaranje eluvija sa svim stupnjevima degradacije, pa je proces zahvatio gotovo svježju stijenu (F).

Deluvijalne tvorevine - padinski nanos, sastavljene od gline i praha pomješanih s drobinom, gotovo da nigdje ne predstavljaju značajniju pojavu. Stoga su i uvjeti za postanak klizišta u slivu nepovoljni, izuzevši mjesta s povećanom količinom padinskog nanosa. Moguća su jedino mjestimična plitka otkidanja pokrivača busenasnog tipa.

Najmlade su naslage zastupljene potočnim - pruluvijalnim nanosom, trajnije nataloženim u proširenim potočnim dolinama. Širokoga su granulometrijskog raspona, sve od čestica koje pripadaju suspendiranom nanosu do blokova volumena i preko 1 m³. Selektivnost

erozijskih procesa odražava se i na diferencijaciju nanosa, pa su peliti poglavito ishodište suspendiranog nanosa, a areniti vučenog. Zato se u petrografskom spektru vučenog nanosa primjećuje tek poneka valutica lapora, najčešće u stanju mehaničkog raspadanja, dok sve ostalo čine plosnati komadi pješčenjaka. Zapažaju se i faze taloženja nanosa.

Transport počinje u prikupišnim lepezama kroz uske i duboko usječene jaruge "V" profila, koje ih brazdaju poput žljebova i kojima on brzo dospijeva do sutoka više takvih odljernih jaraka. Proširenjem potočnih dolina počinje nakupljanje nanosa, koji ovdje biva nataložen uglavnom privremeno, zavisno o svojstvima korita i hidrološkom režimu. Zapaža se diferencijacija nanosa na onoga koji je već u određenom stupnju konsolidiran i onoga koji je u fazi pronosa. Nizvodno, u recipijentima, dolazi i do meandriranja kroz nanos, koji se tu duže zadržava, tako da su to prostori gdje prevladava akumulacija nad pronosom detritusa.

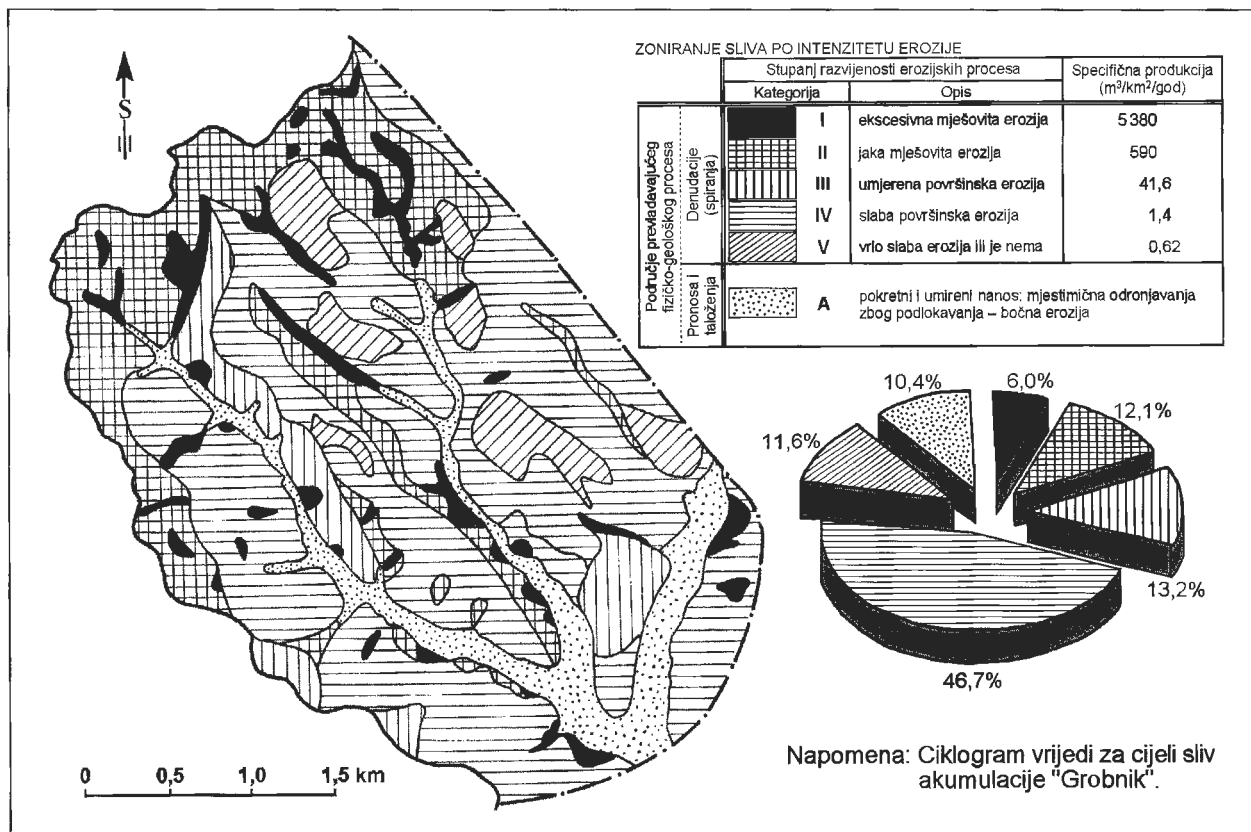
5. KARTIRANJE EROZIJE I PRODUKCIJA NANOSA

Na temelju zapažanja stupnja razvijenosti erozijskih procesa prigodom rekognosciranja terena i služeći se "Preglednom kartom intenziteta erozije" (dokumentacija 1), uz uvažavanje odnosnih kategorija (tablica 1), napravljena je karta erozije (sl. 6). Usporedljivost navedenih kategorija (I do V) s parcelama plohe Abrami prikazana je u tablici 1. LAZAREVIĆ & MILIĆEVIĆ (1983) smatraju da su s eksperimentalne plohe Abrami za usporedbu tolerantni upravo podaci za I i II kategoriju, a to pružaju parcele 1 i 2.

Područja zahvaćena erozijom moguće je razlučiti prema prevladavajućem erozijskom procesu, odnosno prema učincima erozije, koja može biti dubinskoga, površinskoga, odnosno mješovitog tipa. U tablici 1 provedeno je poistovjećivanje kategorija iz dokumentacije 1 s pokusnim parcelama plohe Abrami i odnosnom produkcijom nanosa. Preko Karte erozije, koja pokazuje "mosaičnu rasprostranjenost" pojedinih kategorija, došlo se i do njihove zastupljenosti u slivu prikazane ciklogramom (sl. 6). Pri tomu je iznos produkcije nanosa s parcele 1 opravdano prenesen na potpuno ogoljele bokove vododerina, jer je u dokumentaciji 1 i navedeno kako ona reprezentira isječak vododerine. Mreža odljernih jaraka diktira rasporedom žarišta mješovite erozije (I) dok doline triju potoka fiksiraju prostore nakupljanja nanosa (A). Kategoriji I pridružena je kategorija II, dok su ostale kategorije raspoređene u funkciji nagiba padina i pokrivenosti vegetacijom.

Ukupna i specifična godišnja produkcija nanosa u bujičnom slivu Poserta, izračunata na osnovi šestgodišnjeg prosjeka spirnjačke erozije po parcelama eksperimentalne stanice Abrami (1971-1976), prikazana je tablicom 3.

Naglašeni nesrazmjer u činjenici da 18% površine sliva (kategorije I i II) proizvodi preko 98% nanosa



Sl. 6 Karta erozije, isječak.

Fig. 6 Erodibility map, detail.

potencira značenje ogolina u produkciji nanosa, odnosno njih kao nosioce ekscesivne, pa čak i ekstremno ekscesivne erozije. Dobivene vrijednosti $W_{god} = 10\ 000\ m^3$ i $W_{godsp} = 450\ m^3/km^2$ čine se dosta niskima, posebice u usporedbi s onima za sliv akumulacije "Botonega". Valja, međutim, naglasiti da se ovdje poglavito radi o samo jednom obliku erozije, koji je isključivo plošno raspoređen, a to je erozija kišom, čiji se učinak iskazuje spiranjem. Naime, nanos s pokusnih parcela nastao je

upravo pluvijalnim i, donekle, termodinamičkim agensom.

6. RASPRAVA

O erodibilnosti pojedinih litoloških komponenti flišnoga kompleksa podosta je znano. Primjerice, poznata je nepostojanost zasjeka prometnica u flišu srednjeg do

Kategorija razvijenosti erozijskih procesa	Površina		Prosječna godišnja produkcija nanosa		
	(km ²)	(%)	(m ³ /km ²)	(m ³)	(%)
I	1,48	6,0	5 380	7 960	80,5
II	3,00	12,1	590	1 770	17,9
III	3,26	13,2	41,6	135	1,4
IV	11,53	46,7	1,4	16	0,16
V	2,85	11,6	0,62	2	0,02
Σ	22,12	89,6	/	9 883	100
A	2,58	10,4	Usvaja se prosječna godišnja produkcija nanosa od 10 000 m ³ s 90% sliva, odnosno specifična 450 m ³ /km ² .		
Σ	24,70	100			

Po Čulinoviću i sur. (dokum. 1) to iznosi 34 000 m³, odnosno 1 400 m³/km²/god.

Tablica 3 Ukupna i specifična godišnja produkcija nanosa u slivu akumulacije "Grobnik".

Table 3 Total and specific sediment delivery ratio in the catchment area of the Grobnik storage reservoir.

Izvor	Lokacija, metoda, vrijeme		Specifična godišnja produkcija nanosa (m ³ /km ² /god)	Napomena
A – mjerenja na licu mjesta				
dokum. 2, Rula & Stefanović (1977)	pokusna parcela 1 u Abramima	hvatanje nanosa 1971 - 1976	5 380	isključivo erozija kišom (pluvijalna)
Petraš et al. (1999)	pokusna parcela 1 u Abramima	terestrička fotogrametrija 1995 - 1997 (30 mjeseci)	20 000 48 108	izložena površina reducirana (tlocrtna) površina
Jurak et al. (1982)	Bila glavica (Trilj)	terestrička fotogrametrija 1971 - 1981	10 840	deficit mase s izložene ogoljele površine (za usporedbu)
B – parametarska metoda (kartiranje sliva po iskustvenim kategorijama razvijenosti erozijskih procesa)				
dokum. 1	sliv akumulacije "Grobnik"	metoda Gavrilovića (1972)	1 400	/
dokum. 3	sliv akumulacije "Grobnik"	po podacima iz dokum. 2	450	isključivo erozija kišom
Lazarević & Miličević (1983)	sliv akumulacije "Botonega"	metoda Gavrilovića (1972)	2 108	/
Barbalić et al. (1999)	sliv akumulacije "Botonega"	GIS - tehnologija	1 716	polazeći od karte erozije po metodi Gavrilovića (1972)
C – procjena iz taloga deponiranog u zaplavnom prostoru akumulacija (donos nanosa)				
Rubinić et al. (1999)	akumulacija "Boljunčica" ("Letaj")	1972 – ljeto 1993	20 500 m ³ /god	prosječni donos nanosa
dokum. 4	akumulacija "Boljunčica" ("Letaj")	1972 - 1988	~930	gruba procjena donosa nanosa iz flišnog dijela sliva
dokum. 4	sliv Raše		520	/
dokum. 4	sliv Boljunčice		590	/

Tablica 4 Usporedba produkcije nanosa.

Table 4 Comparison of the sediment delivery ratios.

gornjeg eocena u mediteranskom podneblju (MAGDA-LENIC et al., 1980). Pogotovo to vrijedi za pelitske intervale fliša, koji pripadaju kategoriji mekih/slabih stijena, a koje se degradiraju tijekom inženjerskog vremena (MIŠČEVIĆ, 1994). Rezultat toga je erozijska nestabilnost kosina zasjeka kao posljedica spiranja i osipavanja.

Prikazani postupak treba shvatiti kao pokušaj da se egzaktni podaci s pokusne plohe Abrami iskoriste za izračun produkcije nanosa u slivu koju izaziva samo jedan od čimbenika erozije, čiji je učinak plošno rasprostranjen. Dakle, u specifičnoj godišnjoj produkciji nanosa sa sliva akumulacije "Grobnik" od 450 m³/km²/god sadržani su učinci erozije kišom i to onih kiša koje su najveće erozivnosti (obično kiše kratkog trajanja i velikog intenziteta). Tako je dio spirnjačke erozije, a posebice drugih oblika denudacije, ostao nezabilježen, pa se mora biti svjestan težine rezultata pri usporedbi s onima u tablici 4. Također, ogoline su izložene gubitku mase zbog osipavanja, koje traje kroz suhi period što posebice vrijedi za strme ogoline. Svakako da podlokavanja mogu pojedinačno izazvati daleko veću produkciju na-

nosa od onoga spiranjem. Taj učinak bočno usmjerene erozije posebice bi morao biti značajan u vrijeme velikih voda, odnosno, za bujičnog režima otjecanja, kada vodotoci imaju veću moć razaranja.

Mogao bi se uputiti i prigovor da je temeljna fotografija o odnosnom fenomenu dobivena na relativno malim površinama, a rezultat monitoringa se kvantitativno iskazuje za daleko veću površinu preko specifične produkcije nanosa (m³/km²/god). Zato, ne bez razloga, RACZ (1997) upozorava, da uza svu prednost koju imaju mjerenja na licu mjesta, valja imati na umu i mogućnost pogrešaka kad se podaci lokalnih mjerenja prenose automatski na razinu cijeloga sliva. To bi se posebno moglo reći za parcelu 1 (ogoljela ploha) koja reprezentira događaj ekstremno ekscesivne erozije. No, to je standardni način iskazivanja produkcije nanosa u bujičarskoj i agropedološkoj praksi (RACZ, 1997). Međutim, prikazani pokušaj kvantificiranja jednog od fizičko-geoloških procesa denudacije nije daleko od onoga koji je preporučan u publikaciji CRA/PPA (1998).

Rezultate mjerenja na licu mjesta neophodno je vrednovati kritičkim sagledavanjem i usporedbom s rezul-

tatima s okolnih istovjetnih područja i dobivenim drugim metodama. Tablica 4 upravo je namijenjena tomu.

Upada u oči veliki rasap rezultata, što nije neočekivano, budući da je fenomen produkcije nanosa u nekom slivu teško držati pod kontrolom. Osim toga, taj stohastički proces zahtijeva i duži period motrenja za osrednjavanje rezultata.

Zbog ubrzanog zatrpavanja akumulacije "Botonega" u okviru znanstveno-istraživačkog projekta "Protuerozijska zaštita tla i voda u Istri (u sklopu šire ekološke zaštite Jadrana)" uspostavljen je monitoring produkcije nanosa metodom terestričke fotogrametrije s triju ogolina među kojima je i jedna od najvećih u Istri (kod Sv. Donata) (PETRAŠ et al., 1999). Neka usput bude napomenuto da je zagovornik te, nadasve egzaktna, metode mjerenja deficita stijenske mase i sudionik u odabiru motiva bio prvi koautor ovoga rada. Za očekivati je vjerodostojnije rezultate tog monitoringa, posebice s dužom vremenskom bazom.

Kako je denudacija sumarni učinak više stohastičkih procesa, logično bi bilo fenomen produkcije nanosa razmatrati kroz multivarijantni pristup, što se i pokušalo uporabom GIS-tehnologije za bujični sliv akumulacije "Botonega" (BARBALIĆ et al., 1999).

Najvjerodostojniji rezultat predstavljao bi iskaz kroz specifičnu produkciju iz donosa nanosa u taložni prostor, odnosno zaplavni prostor akumulacije, premda niti to nije konačna mjera produkcije nanosa zbog retencije nanosa u slivu (MIČETIĆ, 1993).

7. ZAKLJUČAK

Dominantni fizičko-geološki proces u slivu bujičnog toka Posert u Istri je vodna erozija izražena kao spirnjačka (erozija kišom), brazdasta, jaružasta, bujična i fluvijalna (podlokavanje padina).

Razmatran je fenomen produkcije nanosa u sklopu skupnog procesa denudacije kao geohazardni događaj. On se iskazuje kao inženjerski problem - zatrpavanje akumulacija tempom bržim od prognoziranoga. Vrijednost specifične godišnje produkcije nanosa izazvane kišnom erozijom od samo 450 m³/km²/god može se smatrati parcijalnom, budući da bi joj trebalo dodati učinke drugih oblika erozije. Posebice se misli na jaružastu eroziju kroz mrežu odljernih jaraka nižih redova. Vjerojatno nije zanemariva niti produkcija nanosa osipavanjem s ogolina.

Rezultat treba sagledati i u svjetlu specifične godišnje produkcije nanosa s terena u okruženju u istovjetnim okolnostima i istom podneblju, a do kojih se došlo različitim metodama. Erozijom različitog intenziteta i mozaičnog rasporeda, čiji je konačni učinak denudacija, zahvaćeno je gotovo 90% površine sliva, dok 10% predstavlja prostore akumulacije/retencije i transporta nanosa. Erozija kišom i jaružanjem s ogoljelih površina producira 80% nanosa spiranjem. Kako one u slivu zauzimaju tek 6% površine logično je mjere sanacije usmjeriti na ta žarišta erozije.

Tablica 4 ukazuje na to da još nema jedinstvene metodologije za izračun produkcije nanosa na razini nekoga sliva.

8. LITERATURA

- BAKOTA, M., ŠTAJDUHAR, R. & MIČETIĆ, G. (1983): Opis puta II. susreta bujičara Jugoslavije.- Erozija - stručno-informativni bilten, 11, 67-85, Beograd.
- BARBALIĆ, D., BAGIĆ, A. & PETRAŠ, J. (1999): Analiza bujičnog sliva akumulacije Botonega korištenjem GIS-a.- 2. hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, 711-718, Dubrovnik.
- CRA/PPA (1998): Smjernice za kartiranje i mjerenje procesa erozije tla prouzročenih kišom u mediteranskim obalnim područjima. PAP-8/PP/GL. 1. Split.- Centar za regionalne aktivnosti Programa prioritetnih akcija (MAP/UNEP) u suradnji s FAO, Split, X+68 str.
- GAVRILOVIĆ, S. (1972): Inženjering o bujičnim tokovima i eroziji.- Izgradnja, specijalno izdanje, Beograd, 297 str.
- JOHNSTON, I.W. & NOVELLO, E.A. (1993): Soft rocks in the geotechnical spectrum. Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks.- U: ANAGNOSTOPOULOS et al. (ur.): Proc. of an Intern. Symp., 1, 177-183, A.A. Balkema.
- JURAK, V., KANAJET, B. & GOLJANIN, G. (1982): Fotogrametrijsko dokazivanje erozije u neogenskim naslagama Sinjskog polja.- VII. jugosl. simp. o hidrogeol. i inž. geol., Zbornik referata, 2, 205-212, Novi Sad.
- LAZAREVIĆ, R. (1985): Novi postupak za određivanje koeficijenta erozije (Z).- Erozija - stručno-informativni bilten, 13, 53-61, Beograd.
- LAZAREVIĆ, R. & MILIČEVIĆ, S. (1983): Erozija u slivu Botonege.- Erozija - stručno-informativni bilten, 11, 51-65, Beograd.
- MAGDALENIĆ, A., CRNKOVIĆ, B. & JAŠAREVIĆ, I. (1980): Problemi vezani uz radove u flišu.- 5. simp. JDMSPR, Split '80, 2, 93-109, Split.
- MAGDALENIĆ, Z. (1972): Sedimentologija fliških naslaga srednje Istre.- Acta geologica, 7/2, 71-100, Zagreb.
- MIČETIĆ, G. (1993): Erozija u slivovima akumulacija srednje Istre.- Hrvatska vodoprivreda, 2/7, 22-23, Zagreb.
- MIHLJEVIĆ, D. (1996): Procesi prekomjerne denudacije i njihove posljedice u Istarskom pobrđu.- 1. hrv. geogr. kongresa, Zbornik radova, 8-203, Zagreb.
- MIŠČEVIĆ, P. (1994): Erozija površinske plohe u naslazi fliša.- Geotekhnika prometnih građevina, Znanstvenostručno savjetovanje (Novigrad), Saopćenja, 1, 339-346, Zagreb.
- PETRAŠ, J., KUNŠTEK, D. & GAJSKI, D. (1999): Primjena terestričke fotogrametrije u istraživanju ekscesivnih erozijskih procesa.- 2. hrv. konf. o vodama, Zbornik radova, 1029-1036, Dubrovnik.
- RACZ, Z. (1997): Pregled novijih istraživanja erozije tla u Mediteranu i mogućnosti njihove primjene u Hrvatskoj.- Hrvatske vode, 5/20, 245-259, Zagreb.
- RUBINIĆ, J., BUŠELIĆ, G., KUKULJAN, I. & KOSVIĆ, M. (1999): Hidrološka analiza suspendiranog nanosa u istarskim vodama.- Hrvatske vode, 7/27, 127-137, Zagreb.
- RULA, B. (1972): Prilog istraživanju intenziteta erozije na demonstracionoj površini "Abrami" kod Buzeta u Istri.- Vodoprivreda, 4/15-16, 880-884, Beograd.
- RULA, B. & STEFANOVIĆ, P. (1977): Prikaz istraživačkog rada iz oblasti erozije i razvoj delatnosti u Odseku za zaštitu slivova.- Saopštenja Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi", 60-63, 225-230, Beograd.
- ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1973): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Labin.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. & MAGAŠ, N. (1969): Osnovna geološka karta 1:100000. List Labin.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

TOMIĆ, A. (1983): Erozioni procesi u prostoru Istre.- Erozijska - stručno-informativni bilten, 11, 31-49, Beograd.



Nov koncept sistematizacije primarnih rudnih pojava genetski vezanih za lercolitski pojas ofiolita Dinarida

A New Concept of Systematics of Primary Mineral Ore Deposits Bounded Genetically to the Lherzolite Belt of the Dinarides

Ivan JURKOVIĆ

Ključne riječi: Dinaridi, ofioliti, lercolitski pojas, rudne pojave, formiranje u plaštu, u toku "emplacement", u kumulatima, u nekumulatima, usporedba s harzburgitskim pojasom.

Key words: Dinarides, Ophiolites, Lherzolite belt, Ore occurrences, Formation: in upper mantle, during emplacement, in cumulate rocks, in non-cumulate rocks, Comparison with harzburgite belt.

Sažetak

U radu su prikazane petrokemijske i metalogenetske karakteristike lercolitskog pojasa ofiolita središnjih i sjeverozapadnih Dinarida te usporedba s harzburgitskim pojasom ofiolita jugoistočnih Dinarida. Izložen je nov koncept sistematizacije primarnih mineralnih pojava i ležišta genetski vezanih na lercolite. U plašnim tektonitima i/ili u metamorfoziranim kumulatima formirani su 1) forsteritski duniti; 2) granati; 3) korundi; 4) akcesorni spineli; 5) minerali kontaktne metasomatoze. Genetski vezana za likvidno-magmatske i magmatsko-hidrotermalne procese u kumulatima formirana su 1) podiformna alpinotipna kromitska ležišta; 2) titanomagnetiti; 3) platinski minerali; 4) krom-nikalni magnetiti; 5) pirotinsko-nikalna bakarna ležišta; 6) gabropegmatiti. Za nekumulate su genetski vezana 1) hidrotermalna ležišta pirita, halkopirita, 2) vulkano-sedimentna ležišta manganskih oksida i hidroksida te 3) željezno-manganske nodule. Prslinske i pukotinske žice ispunjene zeolitima, prehnitom, epidotom, kloritom odraz su metamorfizma zeolitnog i "green schist" facijesa.

Abstract

Paper concerns with petrochemical and metallogenic characteristics of lherzolite ophiolite belt in central and north-western parts of Dinarides and gives a comparison with harzburgite ophiolite belt of southeastern Dinarides. Author presents a new concept of systematics of primary mineral occurrences and ore deposits bounded genetically to the lherzolite belt. In the upper mantle tectonites and/or in the metamorphosed cumulate rocks were formed 1) forsterite dunitites; 2) garnets; 3) corundum; 4) accessory spinels and 5) contact-metasomatic minerals. Genetically bounded on liquid-magmatic and hydrothermal processes during crystallization of the cumulate rocks were formed 1) podiform alpine-type chromite deposits; 2) titanomagnetites; 3) platinum group of minerals; 4) chrome-nickel magnetites; 5) pyrrhotite-nickel-copper deposits, and 6) gabbropegmatites. Bounded on non-cumulate rocks are 1) hydrothermal pyrite-chalcopyrite occurrences, 2) volcano-sedimentary manganese deposits; and 3) iron-manganese nodules. Fissure veins filled with zeolites, prehnite, epidote, chlorite are products of a metamorphism of the zeolite and "green schist" facies.

UVOD

Ofioliti Dinarida svrstavaju se u najveće ofiolitske asocijacije u svijetu. Javljuju se u dva pojasa: 1) središnji i sjeverozapadni pojas Dinarida u kojem su plašni tektoniti dominantno spinelski lercoliti subkontinentalnog tipa i 2) istočni pojas Vardarske zone s harzburgitskim plašnim tektonitima, dijelom enstatit dunitima i dunitima suboceanskog tipa.

Lercolitski pojas pripada po svojim petrokemijskim karakteristikama ofiolitskom pojasu zapadnog Mediterana,

a harzburgitski pojas posjeduje petrološke karakteristike ofiolita sjeveroistočnog Mediterana.

Lercolitski pojas Dinarida sastoji se od slijedećih kompleksa (sl. 1): Banovina, Kozara, Čelinac-Snjegotina, planine Ljubić, Čavka, Borja s Mahnjačom, Ozren s Vijencem, Konjuh-Krivaja, Varda-Zlatibor, te sjenički Ozren. Harzburgitski pojas se sastoji na SZ od kompleksa Maljen s Povlenom i Suvoborom, a na JI od kompleksa Ibar-Kopaonik (Jelica, Troglav, Stolovi, Kopaonik, zapadni Ibar). Kompleks Kosova (Goleš, Drenica, Orahovac, Đakovica) te kompleksi Brezovica, Raduša,



Sl. 1 Ofiolitski pojasevi Dinarida (izradeno i nadopunjeno prema skicama PAMIĆ & JURKOVIĆ, 1997a i JANKOVIĆ, 1990).

Fig. 1 Ophiolite belts in Dinarides (partly modified after PAMIĆ & JURKOVIĆ, 1997a and JANKOVIĆ, 1990).

Dren-Boula, Rabrovo tvore harzburgitsko-dunitski pojas.

Lercolitski pojas je razdvojen od harzburgitskog paleozojskim kompleksima istočnog dijela Unutarnjih Dinarida i zapadnog ruba Vardarske zone. Pojasevi se dodiruju u području Zvornika. Oba se pojasa razlikuju veličinom, tektonizacijom i po učešću pojedinih članova ili sekcija ofiolitne sekvence.

Pojedini ofiolitski kompleksi odnosno "ofiolitski melanž" su heterogene, alohtone, kaotične geološke formacije, jako tektonizirane. U njima dominiraju pješčenjaci i šejlovi kontinentalnog šelfa i "slope" sedimenti, podređeni su radiolarijski rožnaci, lokalno blokovi vapnenaca te različite stijene od paleozojske do kredne starosti. U toj masi nalaze se olistoliti ofiolita, naročito u krovini melanža. U podini peridotita ima listova metapelita i metabazita (KIŠPATIĆ, 1897; JANKOVIĆ, 1990; PAMIĆ & JURKOVIĆ, 1997a; MAJER, 1999). Starost ofiolitske serije i metamorfita je 170 do 160 Ma (LANPHERE et al., 1975).

Po mišljenju LUGOVIĆ et al. (1991) ofioliti Dinarida su nastali unutar "back-arc spreading centre". Drugačijeg stava su TRUBELJA et al. (1995) koji su na osnovi kemijskih diskriminatorskih dijagrama, naročito Ta/Th, zaključili da su ofioliti Bosne tipa "mid-oceanic-ridge" i da su formirani bez udjela procesa subdukcije.

Izostanak "sheeted dyke complex-a", te jaki tektonski poremećaji unutar kumulatne i nekumulatne sekvence povezani s izrazitom amfibolitizacijom upućuju da se taj proces odigrao na tankoj oceanskoj kori na presjeku riftne zone sa transformnim rasjedom. Iz odnosa La/Lu, Ce/Yb i Ce/Zr isti autori tumače prisutnost E-MORB uz N-MORB u nekumulatima mogućim porijeklom iz dva magmatska ognjišta. HOFMANN (1999) je na primjeru "plume" Havaja dokazao da je lava mješavina visoko heterogenih primarnih taljevina brojnih lokalnih ognjišta.

NOV KONCEPT SISTEMATIZACIJE RUDNIH LEŽIŠTA LERCOLITSKOG POJASA DINARIDA

U dosadašnjoj znanstvenoj literaturi o Dinaridima izradena je genetska klasifikacija primarnih ofiolitskih ležišta harzburgitskog pojasa Dinarida publicirana u monografiji JANKOVIĆ (1990). Sistematizirana su kao 1) magmatska (podiformna ležišta kromita, pojave titanomagnetita i rijetka ležišta olivinita); 2) magmatsko-hidrotermalna (rijetke pojave magnetita sa sulfidima bakra i nikla, sulfidna ležišta bakra i nikla); 3) vulkanogeno-sedimentna i vulkanogeno-hidrotermalna ležišta bakra i mangana.

Podjelu najznačajnijih ofiolitskih primarnih ležišta u lercolitskom pojasu Dinarida predložili su PAMIĆ & JURKOVIĆ (1997b). Ležišta su svrstana u 1) **podiformne kromite**, 2) **magmatska i hidrotermalna bakar-no-nikaljna ležišta**, 3) pojave **granata i korunda** u amfibolitima te 4) **marinska vulkansko-sedimentna ležišta** manganskih oksida i hidroksida.

U ovom radu primarna rudna ležišta lercolitskog pojasa su po prvi puta detaljno razrađena i sistematizirana te uspoređena s ležištima harburgitskog pojasa. Ležišta su podijeljena na:

A) Formirana u plaštnim tektonitima i/ili metamorfoziranim kumulatima

- A-1 forsteritski duniti
- A-2 granati
- A-3 korundi
- A-4 akcesorni spineli
- A-5 kontaktno-metasomatski minerali

B) U kumulatima

- B-1 podiformni kromiti
- B-2 titanomagnetiti
- B-3 platinski minerali
- B-4 krom-nikalni magnetiti
- B-5 pirotinska Ni-Cu ležišta
- B-6 gabropegmatiti

C) U nekumulatima

- C-1 ležišta pirita i halkopirita
- C-2 manganski oksidi i hidroksidi
- C-3 dubokomorske Fe-Mn nodule

D) Minerali zeolitskog facijesa

- D-1 zeoliti, prehnit, epidot, klorit

A) LEŽIŠTA FORMIRANA U PLAŠTNIM TEKTONITIMA I/ILI METAMORFOZIRANIM KUMULATIMA

O postanku granatskih amfibolita, granat-piroksenitih amfibolita, granat-piroksenita (eklogita) i hornblendita postoje u našoj znanstvenoj literaturi suprotni stavovi.

PAMIĆ & KAPELER (1970), DŽEPINA (1970), PAMIĆ & MAJER (1973), POPEVIĆ & PAMIĆ (1973), POPEVIĆ (1976), MILOVANOVIĆ (1988) i MAJER (1999) smatraju da su te stijene kogenetski asociirane s plaštnim tektonitima. Stvarane su u uvjetima visokog amfibolskog, granulitskog i eklogitskog facijesa uz pritisak od 10-20 kbara na dubinama od nekoliko desetina km. Formirane su prije "emplacement" u jurski ofiolitski melanz, a pri izdizanju su milonizirane i kataklazirane. PAMIĆ et al. (1973) smatraju da su visokometamorfni amfiboliti nastali metamorfomom pod uvjetima granulitskog ili višeg facijesa u velikim dubinama iz "layered" gabrova i peridotita ispod "mid-oceanic" grebena. Niže metamorfozirani amfiboliti nastali su pri izdizanju ili širenju oceanskog dna. Ne isključuju mogućnost nastanka amfibolita u gornjem

plaštu kristalizacijom iz bazaltne taljevine obogaćene vodom, ali i termalnim i dinamskim učincima peridotit-skih masa u velikoj dubini koje su se kretale duž abisalnih rasjeda.

TRUBELJA et al. (1995) smatraju da je amfibolitizacija zahvatila samo lokalno, duž jake tektonski poremećene zone, kumulatnu i nekumulatnu seriju magmatskih stijena. "Bulk" kemijski sastav, REE "pattern", pozitivna Eu anomalija genetski ih diskriminira od plaštnih tektonita. Autori smatraju da se kumulatni ultramafiti razlikuju od plaštnih i po odnosu Ni/Cr.

PAMIĆ & TOMLJENOVIĆ (usmena obavijest) dijele amfibolite u ofilitima Dinarida u dvije grupe: amfibolite nastale iz kumulata te amfibolite nižeg metamorfizma nastale iz dijabaz-dolerita koji su lokalno asociirani s metasedimentnim sekvencama.

A-1 Forsteritski vatrostalni duniti

Te stijene se javljaju kao duge (do 3 km) i stotinjak metara široke zone na sjevernim padinama Ozren planine, na lokacijama Sočkovac i Kakmuž. Sadrže 45-47% MgO, <1% CaO te 5-7% FeO i <1-2% konstitutivne vode te su pogodne kao vatrostalni materijali (SUNARIĆ-PAMIĆ & OLUJIĆ, 1976).

A-2 Granati

Najbrojnije pojave granata u granatskim piroksenitima (eklogitima), granatsko-piroksenitim amfibolitima i granatskim amfibolitima javljaju se u ofiolitskim kompleksima planina Čavke, Borje, Mahnjače, Ozrena, Krivaje-Konjuha te Zlatibora. U manjoj mjeri ima granata i u drugim kompleksima, izuzev Kozare.

Parageneza granatskih amfibolita sadrži: **amfibol** (u varijacijama od kaersutita, pargazita, edenita do tipova obogaćenih čermakitskom i "općom" hornblendom), **plagioklas** (od anortita do Na-plagioklasa), **granat** (s py, alm i gr komponentama), **hedenbergitski diopsid** (sa 10-20% jadeita), **hipersten** (40% Fs) ± **korund**. Minerali su optički anomalni i jako tektonizirani.

Eklogitske stijene u Dinaridima javljaju se po obodima peridotit-skih masiva uz amfibolitske zone, ali ih ima i unutar peridotita. Leće eklogita nisu dulje od 1-2 m i tanje su od 10 cm. Ima ih na planinama Čavki, Krivaje-Konjuh i Zlatibor. U paragenezi su: crveni **granat** (kelifitiziran), **Fe-diopsid** (sa jadeit komp.), **amfibol** (bogat sa CaO i Al₂O₃, promjenljivog sadržaja FeO, Fe₂O₃, MgO), **plagioklas** (an = 60-71%), ali ima i neooligoklasa i neoandezina s reliktima labradora).

Granat je akcesoran mineral ili bitan petrogeni sastojak. U području Skatavice stijene sadrže od 3-50% granata, u planinama Borji i Mahnjači, Krivaji-Konjuh te Banovini ima mjestimice do 90% granata. Eklogitske žice Bistrice sadrže 30% granata.

Izrađeno je 23 analiza granata s područja Skatavice, Čavke, Borje i Zlatibora (DŽEPINA, 1970; PAMIĆ et al., 1973; POPEVIĆ, 1976; MILOVANOVIĆ, 1988). Svi uzorci granata sadrže od 60 do 83% (pretežno od 70 do 75%) komponente piropa i almandina, komponentu

grosulara od 13 do 25%, komponentu andradita od 3 do 10%, te spesartina od 0,4 do 1,8%.

MILOVANOVIĆ (1988) je izračunao temperature postanka pojedinih minerala u granat-piroksen-amfibolitskom škriljavcu Bistrice. Uklopici piroksena u granatu formirani su kod +1009°C do +1013°C, kontakti između piroksena i granata kod +899°C do +965°C; asocijacija granat-hornblenda od +828 do +876°C ili od +800 do +840°C.

A-3 Pojave korunda

Najznačajnije pojave korunda vezane su za velike mase amfibolita južnog oboda ofiolitskih masiva Krivaja-Konjuh (PAMIĆ & KAPELER, 1970). U amfibolitima sela Vijaka (Vareš) nalazi se 800 m duga, 200 m debela konkordantno uložena leća serpentiniziranih peridotita. Unutar nje postoje zone; duge 300-500 m, široke 10-20 m korundonosnih amfibolita izgrađenih od zelene **titanonosne pargazitske hornblende**, **anortita** (90-96% an) sa ili bez **korunda** veličine zrna od 0,2-1 mm (rijetko do 5 cm). Prosječan sadržaj korunda je 5-10%, rijetko do 25%, ali mjestimice izostaje.

Značajne su pojave korunda kod Bistrice na južnom obodu ofiolitskog masiva planine Zlatibor, i to u amfibolitu na kontaktu s peridotitom. Amfibolit se sastoji od dominirajućeg **anortita** (92-100% an), **pargazita**, sporednog **diopsida** (s podređenom jadeitskom komponentom sa ili bez korunda - POPEVIĆ & PAMIĆ, 1973; PAMIĆ et al., 1973; POPEVIĆ, 1976). Autori smatraju da su korundi Konjuha i Zlatibora nastali u PT uvjetima granulitskog facijesa, odnosno visokoamfibolitskog facijesa.

A-4 Akcesorni spineli

Do sada su identificirani **pikotit**, **pleonast** i **hercinit**, a detaljno su proučeni **Cr-Mg spinel** u vebsteritu Čelince (Banja Luka) (MAJER & JURKOVIĆ, 1963) i **Mg-Fe spinel** u vebsteritu Donje Snjegotine (PAMIĆ & ANTIĆ, 1968). U pargazitskim korundskim amfibolitima Banovine MAJER (1975) je utvrdio **cejlonske spinelle** i grosular.

Lokalna obogaćenja ilmenitom sa 7-10% nađena su u dijabazu planine Kozare, u gabrodioritu Rastika, dijabazu planine Čavke (OLUJIĆ et al., 1971; BARIĆ & TRUBELJA, 1984).

Anomalije titana s više od 5% Ti utvrdili su u pargazitskim škriljcima sa ili bez korunda PAMIĆ & KAPELER (1970) i PAMIĆ & MAJER (1973). U piroksenom amfibolitu planine Ozren anormalno učešće ilmenita našli su TRUBELJA & PAMIĆ (1965).

A-5 Kontaktno-metasomatski minerali

Do sada su identificirani **solanit** s **tobermoritom** u Kulašima (Banja Luka); **ksonotlit** s **hidrogranatom**, **vezuvijanom**, **epidotom** i **coisitom** u rodingitiziranoj stijeni planine Borje; **ksonotlit** u prehnitiziranoj dijabazu kod Višegrada (MAJER & BARIĆ, 1971; TRUBELJA, 1972/1973). U Banovini (Hrvatska) MAJER (1975) je našao **kalcijeve hornfelsove** bogate titanom.

B) LIKVIDNO-MAGMATSKA I MAGMATSKO-HIDROTERMALNA LEŽIŠTA U KUMULATIMA

Kumulatni magmatiti su peridotiti i pirokseniti te "layered" gabroidne stijene. Gabrovi su u pravilu bez ortopiroksena, ali često sadrže amfibol i bitovnit. Kumulatne stijene u odnosu na plaštne tektonite imaju povišene sadržaje SiO₂, CaO, Al₂O₃, TiO₂ i V, a snižene MgO, Ni, Co i Cr.

B-1 Podiformna alpinotipna ležišta kromita

Kromitske šlire ("stratiformne strukture") kromita s piroksenom planine Borje našao je HIESSELEITNER (1951/1952). Ritmičke izmjene proslojaka (šlira) dunita s kromitom kod Male Ostrovice na Ozren planini opisuju TRUBELJA & PAMIĆ (1965). SUNARIĆ-PAMIĆ & OLUJIĆ (1976) nailaze na mm-cm debele trake kromita u izmjeni sa vebsteritom u stratificiranim lercolitima. Pojave imaju isključivo mineraloški i genetski značaj.

Podiformna ležišta kromita u vidu malih nepravilnih lećastih tijela debelih 2-3 m nalaze se u dunitskim i piroksenitskim lećama unutar lercolita, a kao tanka pločasta kromitska tijela u dubljim dijelovima mafitskih kumulata. Diskordantna kromitska tijela i zone diseminacije su rijetke pojave, a izuzetno su rijetke kromitske cijevi (Zlatibor).

Najveće rudne pojave nalaze se u području Duboštica-Tribija, sjeverno od Vareša s nekadašnjim rudnicima Rakovac, Meki Do, Meda, Šabanluk i Berak. Ruda se nalazi u alternaciji s dunitom i vebsteritom. Kod Teslića ruda se javlja u piroksenitima, a u piroksenitima i harcburgitima kod Mravinaca i Male Ostrovice na Ozren planini (POPEVIĆ, 1972; GRAFENAUER, 1977; SUNARIĆ-PAMIĆ & OLUJIĆ, 1976; PAMIĆ & JURKOVIĆ, 1997b). Leće i gnijezda kromita nalaze se na lijevoj obali Jablanice na planini Zlatibor s obje strane granice BiH-Srbija (JANKOVIĆ, 1990).

Kromit (ksenomorfan, kataklaziran, 0,1-0,5 mm promjera) je glavni rudni mineral a prate ga zelenožuti enstatit, svijetložuti diopsid, dok su zelena edenitska **hornblenda**, te **krom-amfibol + krom diopsid** rjeđi sastojci. Ležišta kromita se odlikuju visokim FeO i niskim MgO.

O formiranju podiformnih kromitskih ležišta postoji više hipoteza. THAYER (1964) smatra da nastaju kristalizacijskom diferencijacijom plaštne taljevine u kristalnom ognjištu, BROWN (1980) iz objedinjene taljevine više "mini" ognjišta, GASS (1980) u toku ascenzijske plaštne taljevine, JANKOVIĆ & KARAMATA (1986) iz dijabire kristalne kromitske kaše separirane u gornjem plaštu.

B-2 Titanomagnetiti

Pojave titanomagnetita nađene su na lokalitetima Mandići-Vasilići u gabrovima Zlatibora. Sadrže 5-10% TiO₂. Malih su razmjera (JANKOVIĆ, 1990).

B-3 Platinski minerali

Jedini nalaz **platinskih minerala** u Iercolitskom pojasu registrirao je GOLUB (1961) u Iercolitu planine Kozare, uz hezlevudit (Ni_3S_2), pirotin (s izdvajanjima pentlandita), halkopirit, lineit i milerit.

B-4 Krom-nikalni magnetiti

To su ležišta koja su nastala transformacijom Fe-Cr (Mn, Mg, Al) spinela u magnetit a sadrže do 3% Cr, 1-2% Ni i do 0,2% Co s malo Cu, Fe, Ni sulfida. U Iercolitskom pojasu nisu do sada nadena. U harcburgitskom pojasu nadeno je jedno veliko, za sada vanbilansno, ležište sa 10^7 t rudnih rezervi kod Lipovca (planina Venčac) i jedno manje kod Kolarevića (JANKOVIĆ, 1990).

B-5 Magmatsko-hidrotermalna pirotinska nikalno-bakarna sulfidna ležišta

U srednjem toku rijeke Borovice na planini Čavki, duž kontakta dijabaza sa serpentiniziranim peridotitom i dijelom unutar dijabaza nalazi se izdužena rudna žica sa dominantnim **pirotinom** (95-97% rudne mase) u kojem se vide izdvajanja **petlandita** (dijelom rastrošenog u **bravoit** i **milerit**), zatim malo **halkopirita** s izdvajanjima **halkopirotina** i **kubanita**, pa **pirita**, te **ilmenita** s izdvajanjima **hematita**. U epigenetskim žilicama javlja se **halkopirit II**. U hipergenoj fazi pirotin je dijelom prešao u **pirit II** i **markazit**. Rovna ruda sadrži 0,63% Cu, 0,28% Ni, 0,003% Co, 0,05% TiO_2 , 0,43% As_2O_3 i 0,43% P_2O_5 (ĐURIĆ & KUBAT, 1962).

B-6 Gabropegmatiti

Pojave gabropegmatita su rijetke i malih su dimenzija: a) gabropegmatit sa **augitom**, **aktinolitom**, **hornblendom**, **tremolitom** i **labradorom** (55% an) na Kozari planini (GOLUB, 1961); b) pegmatit s uraliziranim **dijalagom** i **labradorom** (50-58% an) kod Olova (BRAJDIĆ, 1964); c) oligoklasit (debeo 3 m, dug 8 m) sa **oligoklasom** (13% an) i niskotemperaturnim **albitom** u serpentinitu kod Zavidovića (ĐORĐEVIĆ & MIJATOVIĆ, 1966); d) pegmatit s **krupnokristalastim dij-alagom** na Konjuh planini; e) pegmatit sa **bitovnitom**, **anortitom** (90-100% an) i **dijalagom** u harcburgitu kod Dobruna (Višegrad) (TRUBELJA, 1960), f) pegmatit sa **labradorom** (57,5-62% an) i podređenim **albitom**, **dij-alagom**, **prehnitom**, **kloritom**, **epidotom** i **amfibolom** kod Višegradske Banje (TRUBELJA, 1960); g) male pojave gabropegmatita na Zlatibor planini sadrže Fe-Ti okside sa 5-10% TiO_2 (JANKOVIĆ, 1990).

C) LEŽIŠTA GENETSKI VEZANA ZA NEKUMULATE (GABRO, DIJABAZ, SPILIT)

Nekumulatni članovi u vidu dajkova i silova su masivni gabrovi, doleriti, dijabazi, rijetki plagiograniti te izmijenjeni (spilitizirani) efuzivni bazalti. Nedostaje "sheeted dyke complex".

C-1 Hidrotermalna ležišta pirita i halkopirita

Bakar je mobiliziran hidrotermalnim otopinama (značajan je udio oceanske vode) iz peridotita i njima prenošen u okviru konvekcijskog sistema duž rasjednih zona. Nije se razvio tip masivnih sulfida koji se formira na oceanskom dnu već samo stokerkni i impregnacijski tipovi nastali u rasjednim zonama (dovodnim kanalima). Najveći broj bakarnih pojava otkriven je na planini Čavki. Glavni rudni mineral je **halkopirit** uz kojeg ima **pirita** dok su **pirotin** i **arsenopirit** oskudni. **Kvarc** je glavni mineral jalovine. Od hipergenih minerala su utvrđeni **malahit**, **azurit**, **hrizokola**, **elementarni bakar**, **kuprit**, **neodigenit**, **smedecrveni "limonit"**, a **azurit** je podređen (ĐURIĆ & KUBAT, 1962). U rudi ima od 4 do 10 g/t **Ag** i 0,1 do 0,3 g/t **Au**.

Od ostalih bakarnih pojava navodimo zonu impregnacije **halkopirita** u Crnoj rijeci na Kozari planini, kvarcne žice, debele 0,1 do 1 m sa **halkopiritom**, **piritom**, **kvarcom** ± **sideritom**, **pirotinom** (Ni) u Ribnici na Krivaji planini. Žice debele do 0,3 m s **piritom** i **halkopiritom**, lokalno od **pirotina** s **petlanditom** javljaju se kod Vožuća (ĐURIĆ & KUBAT, 1962).

C-2 Vulkanogeno-sedimentna ležišta manganskih oksida i hidroksida

Ležišta su nastala na oceanskom dnu blizu oceanskog grebena hidrotermalnim putem termama vezanim na dijabaze. Djelomice su mogla nastati i izluživanjem mangana iz submarinskih izljeva lava. Kolomorfnih su ili mikrokristalastih struktura. Ležišta su locirana u rožnacima i radiolaritima ofiolitskog pojasa. Javljaju se pretežno kao rudni slojevi u jednom ili više horizonata, zatim kao leće, infiltracije, u pravilu s ostrim kontaktima s okolnim stijenama. Rijetke su pojave sekundarnih sekrecionih pojava u vapnencima. Pojave su malene, sadrže par stotina tona do nekoliko tisuća tona. Najveća su Bajinac na Kozari planini i Rupna šuma te Bjelobor kod Uzlomca sa 20-50.000 t rude. Najznačajnije manganske pojave su na Kozari planini, kod Uzlomca (Kotor Varoš) i Rudog kraj Višegrada. Manje pojave su nadene kod Teslića, Zavidovića, Olova i Kladnja.

Rudni slojevi su proslojeni s crvenim, rjeđe žutim rožnacima u količini od 10-50% ukupne rudne mase. O broju i debljini proslojaka ovisi i kvalitet rude. Primarna ruda je niskokvalitetna (5-20% Mn), rjeđe do 30% Mn. Kvalitetnija ruda sa 35-45% MnO i 1-9% FeO nalazi se u dijelovima ležišta gdje je došlo do sekundarnog obogaćenja.

Parageneza se sastoji od **braunita**, iznimno **hausmanita**, a sekundarni minerali su **piroluzit (polijanit)**, **romanešit**, **manganit**, **psilomelan**. Jalovina je od **kvarca**, **kalcita**, **pirita**, **getita**, **lepidokrokita**, **minerala glina** (VUJANOVIĆ, 1968; ČELEBIĆ et al., 1979; PAMIĆ & JURKOVIĆ, 1997b).

C-3 Dubokomorske Fe-Mn i Fe nodule

U Iercolitskom pojasu Dinarida do sada nisu nadene pojave tog tipa mineralizacije. U harcburgitskom poja-

Tipovi ležišta	L	H	Tipovi ležišta	L	H	Tipovi ležišta	L	H
A-1 Duniti	■	●	B-1 Kromiti	●	●●●	B-6 Pegmatiti	++	+
A-2 Granati	■ ■	X	B-2 Titanomagnetiti	+	■	C-1 FeS ₂ + CuFeS ₂	++	●
A-3 Korundi	■	-	B-3 Platina	+	+	C-2 Mn-oksidi	●	●●
A-4 Akc. Spineli	XX	-	B-4 Cr-Ni magnetit	-	■ ■	C-3 Fe-Mn nodule	-	■
A-5 Kont. metasom.	+	-	B-5 Fe, Ni, Cu sulfidi	+	●	D-1 Zeoliti	++	-

Tabela 1 Usporedba intenziteta mineralizacije lercolitskog i harzburgitskog pojasa. **Legenda:** L - lercolitski, H - harzburgitski ofiolitski pojas. Rudna ležišta formirana u: A - plašnim tektonitima i/ili metamorfoziranim kumulatima; B - kumulatima; C - nekumulatima; D - zeolitski facijes. **Intenzitet pojavljivanja:** geokemijske anomalije X (rijetke), XX (učestale); mineralne pojave + (rijetke), ++ (veći broj); rudna ležišta ●, ■ (mala), ●●, ■■ (srednje velika), ●●● (velika). Krug označava eksploatabilna ležišta, - nema publiciranih podataka.

Table 1 Comparison of the mineralization intensity between lherzolite and harzburgite belt. **Legend:** L - lherzolite, H - harzburgite ophiolite belt. **Ore deposits formed in:** A - upper mantle and/or metamorphosed cumulate rocks; B - cumulate rocks; C - non-cumulate rocks; D - zeolite facies. **Intensity of occurrence:** geochemical anomalies X (rare), XX (common); mineral occurrences + (rare), ++ (more frequent); ore deposits ●, ■ (small), ●●, ■■ (medium), ●●● (large). Circle represents exploitable deposits, - no published data.

su, u Šumadiji, otkrivene su nodule izgrađene pretežno od manganskih oksida, izrazitih kolomornih struktura u dubokomorskim donjokrednim sedimentima.

D) METAMORFIZAM ZEOLITSKOG I "GREEN SCHIST" FACIJESA

Najveći dio kumulata i nekumulata zahvaćen je niskim stupnjem metamorfizma zeolitskog i "green schist" facijesa.

a) U gabru, dijabazu, spilitu česte su mm-cm-dm debele žilice i žice ili porni prostori ispunjeni zeolitima te čestim prehnitom (TRUBELJA et al., 1974). Naročito ih ima u području Višegrada, zatim na Ozrenu, Konjuhu, Kozari. Pojave su monomineralne ili polimineralne.

Do sada su utvrđeni slijedeći zeoliti: a) natrijski natrolit i analcim, b) natrijsko-kalcijski-tomsonit, c) kalcijski-skolecit, stilbit-desmin-lomontit, te od kalcijsko-bornih datolit. U asocijaciji zeolita čest je prehnit. Prateći minerali su albit, epidot, klinocoisit, kalcit, serpentin.

b) Od ostalih minerala navodimo: epidot u doleritu na Konjuhu i u ultrabazitu Dubošćice (Vareš), ružičasti pistacit i žutozeleni epidot s klinocoisitom kod Višegrada te klorit u gabru kod Višegradske banje (TRUBELJA & BARIĆ, 1979).

USPOREDBA PETROKEMIJSKIH I METALOGENETSKIH KARAKTERISTIKA LERCOLITSKOG I HARCBURGITSKOG POJASA DINARIDA

Lercolitski ofioliti Dinarida su dominantno spinelski, s relativno povišenim sadržajem kalcija i aluminija (bliskim hondritima) i nižim sadržajem magnezija od harzburgita. Pirokseni imaju visok sadržaj kroma i aluminija, a akcesorni spineli su siromašni kromom, ali obogaćeni aluminijem. Lercolitski ofioliti su stvarani uz

višu temperaturu i naročito viši pritisak u odnosu na harzburgitske ofiolite (MAJER, 1999).

Harzburgitski ofioliti su karakterizirani manjim učešćem kalcija i aluminija od lercolita sa značajno povišenim sadržajem magnezija. Pirokseni imaju snižene sadržaje kalcija i aluminija, a akcesorni spineli se odlikuju povišenjem kroma i niskim sadržajem aluminija.

Razlike petrogeokemijskih karakteristika oba ofiolitska pojasa odražavaju se i u njihovim metalogenetskim svojstvima vidljivim iz tabele 1.

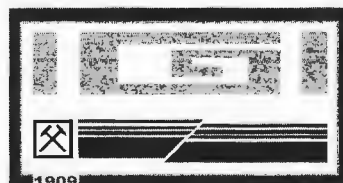
Lercolitski pojas je karakteriziran malim ležištima kromita i malim do osrednjim ležištima mangana kao jedinim eksploatabilnim ležištima. Značajan potencijal je u za sada vanbilansnim pojavama granata, korunda i vatrostalnih dunita. Pojave pegmatita, pukotinskih minerala, pirita s halkopiritom koje su vrlo brojne nemaju ekonomsku vrijednost. Likvidni segregati titanomagnetita i platine, te niklonosnih bakrenih sulfida imaju karakter mineralnih pojava. Krom-nikal magnetiti kao i Fe-Mn nodule u potpunosti.

Harzburgitski pojas se odlikuje eksploatabilnim srednjim i velikim ležištima kromita, malim ležištima mangana, forsteritskim dunitima, Cr-Ni magnetitom te likvidno-magmatskim i magmatsko-hidrotermalnim niklonosnim ležištima bakra. Nađena je i pojava titanomagnetita. Karakterističan je u tom pojasu izostanak granata i korunda. Za zeolite i spinele nema podataka.

LITERATURA

- BARIĆ, Lj. & TRUBELJA, F. (1984): Minerali Bosne i Hercegovine, 2. Nesilikati.- Svjetlost, Sarajevo, 571 str.
- BRAJDIĆ, V. (1964): Gabropegmatit iz okolice Olova u sjeveroistočnoj Bosni.- Geol. Vjesnik, 17, 113-117.
- BROWN, M. (1980): Textural and geochemical evidence for the origin of some chromite deposits in the Oman ophiolite.- U: PANAYIOTOU, A. (ur.): Ophiolites. The Proceed. Int. Symp., Cyprus 1979, Geol. surv., 714-721, Nicosia.

- ČELEBIĆ, Đ., KUBAT, I., KULENOVIĆ, E. & MIJATOVIĆ, V. (1979): Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine, 2. Ležišta mangana.- Geoinženjering, Sarajevo, 351-402.
- DŽEPINA, D. (1970): Rezultati mineraloško-petroloških ispitivanja regionalno metamorfisanih bazičnih stena južnog dela planine Borje u Bosni.- Glasnik Prirodnjačkog muzeja u Beogradu, Ser. A, 25, 129-144, Beograd.
- DORĐEVIĆ, D. & MIJATOVIĆ, V. (1966): Oligoklazitna žica u serpentinitima područja Zavidovića.- Geol. Glasnik, 11, 485-487, Sarajevo.
- ĐURIĆ, S. & KUBAT, I. (1962): Pojave bakarne rude u predjelu planine Čavka (Bosna).- Geol. Glasnik, 6, 197-218, Sarajevo.
- GASS, I.G. (1980): The Troodos massif: Its role in unravelling of the ophiolite problem and its significance in the understanding of constructive plate margin processes.- U: PANAYIOTOU, A. (ur.): Ophiolites. The Proceed. Int. Symp., Cyprus 1979, 23-35.
- GOLUB, Lj. (1961): Petrografija i petrogeneza eruptivnih stijena južnog pobočja planine Kozara.- Acta geologica, 3, 253-312, Zagreb.
- GRAFENAUER, S. (1977): Genesis of chromite in Yugoslavian peridotite in time and strata bound ore deposits.- Springer Verlag, Berlin, Heidelberg-New York, 327-357.
- HIESSELEITNER, G. (1951/1952): Serpentin- und Chromerz-Geologie der Balkanhalbinsel und eines Teiles von Kleinasien.- Jahrb. der geol. Bundesanst., Sonderband 1 (in 2 Teilen), 1-683, Wien.
- HOFMANN, W.A. (1999): Speculations about the Hawaiian mantle plume.- Presidential lecture on the Tenth Biennial Meeting of the EUG, Strasbourg, France. Jour. of conf., 4/1, 22, Cambridge.
- JANKOVIĆ, S. (1990): Rudna ležišta Srbije. Regionalni metalogenetski položaj, sredine stvaranja i tipovi ležišta.- Beograd, 760 str.
- JANKOVIĆ, S. & KARAMATA, S. (1986): The chromite deposits of the NE Mediterranean. Principal morphostructural features and genetic implications.- Chromites, UNESCO-IGCP project 197, 45-66, Theophrastus Publ., Athens.
- KIŠPATIĆ, M. (1897): Kristalinsko kamenje serpentinske zone u Bosni.- Rad JAZU, 139, 44-73, Zagreb.
- LANPHERE, M. A., COLEMAN, R. G., KARAMATA, S. & PAMIĆ, J. (1975): Age of amphibolites associated with alpine peridotites in the Dinaride ophiolite zone, Yugoslavia.- Earth Planet. Sci Lett., 26, 271-276.
- LUGOVIĆ, B., ALTHERR, R., RACZEK, I., HOFMANN, A. & MAJER, V. (1991): Geochemistry of peridotites and mafic igneous rocks from the Central Dinaric Ophiolite belt, Yugoslavia.- Contrib. Mineral Petrol., 106, 201-216.
- MAJER, V. (1975): Ultramafitski kompleks u području Prokuplja i Banije u Hrvatskoj i Pastireva u sjeverozapadnoj Bosni.- Acta geologica, 8, 149-202, Zagreb.
- MAJER, V. (1999): Ofioliti Dinarida.- U: Magmatizam, metamorfizam i mineralna ležišta Dinarida. Projekat No 195004 financiran od Minist. znanosti i tehnologije Rep. Hrvatske, 44, Zagreb (rukopis).
- MAJER, V. & JURKOVIĆ, I. (1963): Bilješka o nalazu krom-spinela kod Čelince u Bosni.- Geološki vjesnik, 15/2, 337-340.
- MAJER, V. & BARIĆ, Lj. (1971): Xenolith und Pektolith aus basischen Gesteinen des Peridotitgabbrokomplexes im Zlatibor-Gebirge.- Tschermak's Min. Petr. Mitl., 15, 43-55, Wien.
- MILOVANOVIĆ, D. (1988): Garnet-pyroxene amphibolites near Bistrica, southern part of Zlatibor ultramafic massif.- Vesnik (Bulletin), 44, 197-213, Beograd.
- OLUJIĆ, J., VULETIĆ, N. & PAMIĆ, J. (1971): Preliminarni podaci o pojavama titana u ofiolitskoj zoni u Bosni.- Geol. Glasnik, 15, 99-107, Sarajevo.
- PAMIĆ, J. & ANTIĆ, R. (1968): Serpentinveberit s magnezijским spinelom s planine Čavke u Bosni.- Geol. Glasnik, 12, 139-144, Sarajevo.
- PAMIĆ, J. & KAPELER, I. (1970): Korundski amfiboliti na južnom obodu krivajsko-konjuškog ultramafitskog masiva.- Geol. anali Balk. poluostrva, 35, 399-408, Beograd.
- PAMIĆ, J. & MAJER, V. (1973): Eklogiti i amfiboliti Crnog potoka na južnom obodu ultramafitskog masiva planine Borje u Bosni.- Geol. glasnik, 17, 119-132, Sarajevo.
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (1997a): Bosnia and Hercegovina.- U: MOORES, E.M. & FAIRBRIDGE, R.W. (ur.): Encyclopedia of European and Asian Regional Geology. Chapman & Hall, London, 86-93.
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (1997b): Alpine magmatic-metallogenic formations of the northwestern and central Dinarides.- Rud.-geol.-naftni zbornik, 9, 1-9, Zagreb.
- PAMIĆ, J., ŠČAVNIČAR, S. & MEDIMOREC, S. (1973): Mineral assemblages of amphibolites associated with Alpine-type ultramafites in the Dinaride Ophiolite Zone (Yugoslavia).- Journal of Petrology, 14/1, 133-157, Oxford.
- POPEVIĆ, A. (1972): Način pojavljivanja i kemijske karakteristike hromita južnog Zlatibora i njihovo upoređenje sa hromitima Dubošćice, Troglava, Trnave, Koriš-Muštišta i Brezovice.- Zbornik radova Rud.-geol. fak., 14, 41-48, Beograd.
- POPEVIĆ, A. (1976): Žični eklogit Bistrice. Južni deo zlatiborskog masiva.- 8. Jug. geol. kongres, 1, 245-260, Ljubljana.
- POPEVIĆ, A. & PAMIĆ, J. (1973): Korund amfibolitski škriljci u amfibolitima Bistrice na južnom obodu zlatiborskog ultramafitskog masiva.- Glasnik prirodnjačkog muzeja, serija A, 28, 31-39, Beograd.
- SUNARIĆ-PAMIĆ, O. & OLUJIĆ, J. (1976): Refraktorski hromit.- U: Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine. II. Ležišta nemetala. Geoinženjering, Sarajevo, 314-321.
- THAYER, T. (1964): Principle features and origin of podiform chromite deposits, and some observations on the Guleman-Soridag district. Turkey.- Econ. Geology, 59, 1525-1547.
- TRUBELJA, F. (1960): Petrografija i petrogeneza magmatskih stijena okolice Višegrada u istočnoj Bosni.- Acta geologica, 2, 5-65, Zagreb.
- TRUBELJA, F. (1972/1973): Ksonotlit iz pukotine bazičnih stijena okolice Višegrada u istočnoj Bosni.- Glasnik Zem. muzeja BiH, 11-12, 43-51, Sarajevo.
- TRUBELJA, F. & PAMIĆ, J. (1965): Petrološka studija planine Ozrena.- Acta geologica, 4, 265-314, Zagreb.
- TRUBELJA, F. & BARIĆ, Lj. (1979): Minerali Bosne i Hercegovine. I. Silikati.- Zemaljski muzej BiH, Odjeljenje za prirodne nauke, Sarajevo, 452 str.
- TRUBELJA, F., ŠIBENIK-STUDEN, M., SIJARIĆ, G., ŠLUJKIĆ, M. (1974): Investigations of zeolite in Bosnia and Herzegovina.- Izvještaj Centra za kristalografiju, 9, 73, Zagreb.
- TRUBELJA, F., MARCHIG, V., BURGATH, P.K. & VUJOVIĆ, Ž. (1995): Origin of the Jurassic Tethyan ophiolites in Bosnia: A geochemical approach to tectonic setting.- Geol. Croatica, 48/1, 49-66, Zagreb.
- VUJANOVIĆ, V. (1968): Mineralogija, geokemija i geneza sedimentnih manganskih ležišta Jugoslavije.- Radovi. Posebno izdanje, 2, 7-92, Geoinstitut, Beograd.





Hidrogeološke i hidrogeokemijske značajke podzemnih voda otoka Raba

Hydrogeological and Hydrogeochemical Characteristics of the Groundwaters on the Rab Island

Janislav KAPELJ, Sanja KAPELJ & Tamara MARKOVIĆ

Ključne riječi: hidrogeologija, krš, hidrogeokemija, otok Rab.

Key words: Hydrogeology, Karst, Hydrogeochemistry, Rab Island.

Sažetak

Tijekom rada na projektu Osnovne hidrogeološke karte Republike Hrvatske M 1:100.000, na listu Rab, prikupljen je znatan broj novih podataka o vodnim pojavama na otoku Rabu. Jedanaest izvora, odabranih s obzirom na njihov kapacitet i položaj, koji su reprezentativni za pojedinu hidrogeološku sredinu, dva puta su uzorkovani za kemijske analize u različitim sezonskim i hidrološkim uvjetima. Ovaj rad predstavlja doprinos boljem razumijevanju hidrogeoloških odnosa na otoku Rabu i zajedno sa hidrogeokemijskom interpretacijom dobivenih rezultata omogućava odvajanje tri hidrogeološke i hidrogeokemijske sredine: vodonosnici u krednim vapnencima, vodonosnici u fliškim naslagama i vodonosnici u kvartarnim brečama.

Abstract

During studies for the project "Basic hydrogeological map of Republic of Croatia, scale 1:100.000 - Sheet Rab", a considerable amount of new data was collected concerning the water objects on the Rab Island. Eleven springs, selected according to their capacity and position, which are representative for the particular hydrogeological environments were sampled for chemical analyses. The sampling was performed in two different seasonal and hydrological conditions. Together with the hydrogeochemical interpretation it was possible to separate three hydrogeological and hydrogeochemical environments: aquifers in the Cretaceous limestones, aquifers in the flysch deposits and aquifers situated within the Quaternary breccias.

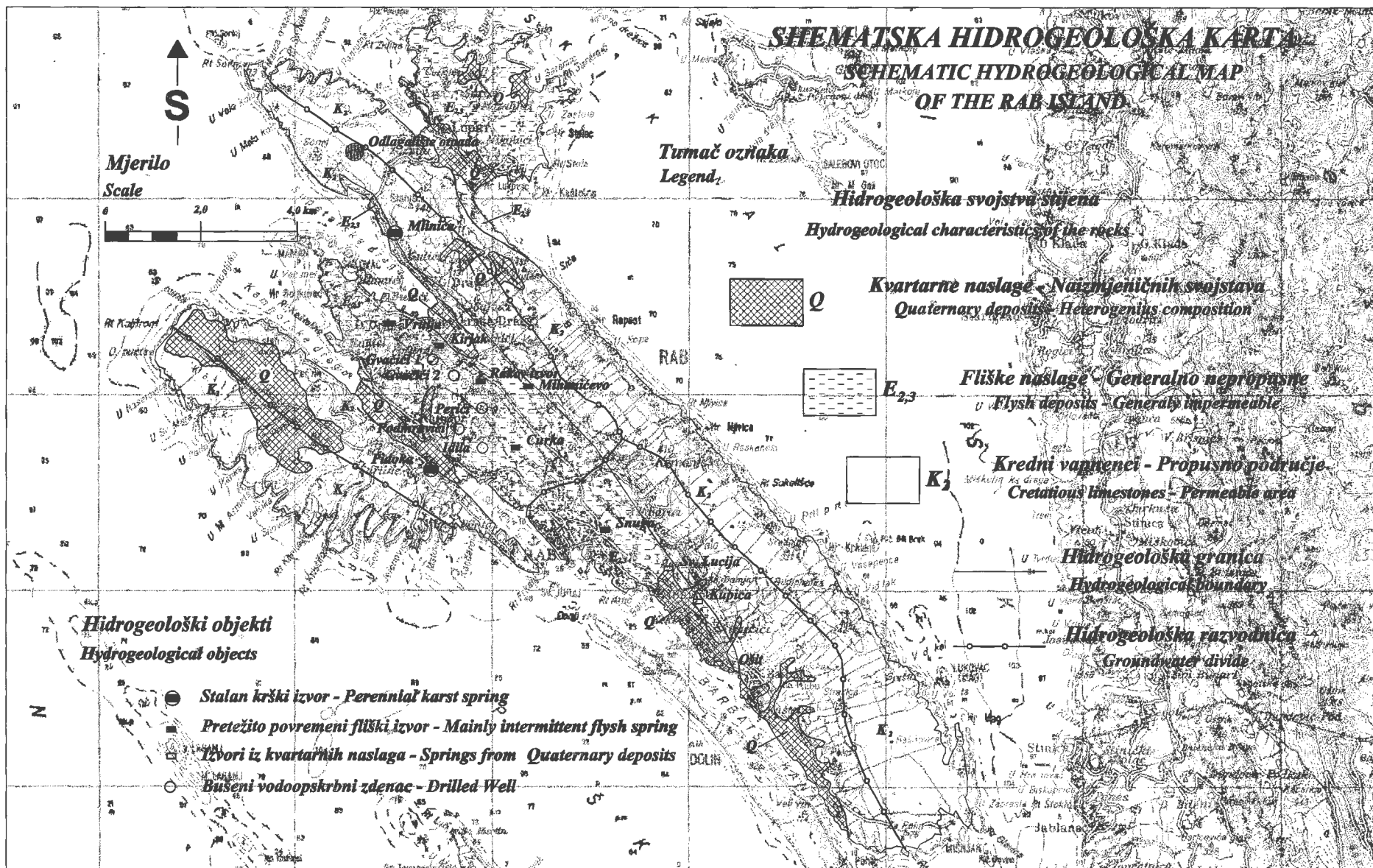
1. UVOD

Otok Rab pripada skupini sjevernojadranskih otoka. Površina mu je 90,84 km². Obalna linija ima ukupnu dužinu od 103,20 km, dok je najveći vrh otoka Kamenjak (410 m). Morfološka i općenito geološka građa otoka je tipična i uobičajena za prostor Vanjskih Dinara. Orografske osi se pružaju pravcem sjeverozapad-jugoistok. Građa terena je zonarna, gdje se izmjenjuju karbonatne stijene mezozoika (gornja kreda), s pretežito klastičnim tercijarnim (eocenskim) naslagama. Pored spomenutih, izdvojene su i kvartarne taložine raznih genetskih tipova. Područje Lopara u krajnjem sjeveroistočnom dijelu otoka izgrađuju naslage eocenskog fliša. Između Lopara i Supetarske drage smješten je morfološki najistaknutiji vapnenački greben (gornja kreda) na otoku, koji se pruža cijelom dužinom do uvale Mišnjak. Centralni dio otoka između Supetarske i Kamporske drage izgrađuju naslage fliša, a zona se ovih naslaga pruža prema jugoistoku do Barbata. Ovaj

dio terena je također morfološki vrlo razveden, a dominiraju duboko usječene doline i istaknuti grebeni, često vrlo strmih padina. Dio otoka Raba jugozapadno od linije Kamporska draga - rt Fumija također izgrađuju vapnenačke stijene gornje krede (sl. 1).

Cjeloviti prikaz dotadašnjih spoznaja o litološkim, stratigrafskim i tektonskim značajkama otoka Raba, kao i šireg područja nalazimo u OGK 1:100.000 list Rab (MAMUŽIĆ et al., 1969). U tom se radu osim rezultata novih istraživanja, koriste rezultati i saznanja prethodnih istraživača, budući da su geološka istraživanja na ovom području započeta krajem devetnaestog (STACHE, 1867; HAUER, 1868; RADIMSKY, 1880), a nastavljena u dvadesetom stoljeću (WAAGEN, 1913; SCHUBERT, 1905; MATOUŠEK, 1925; POLJAK, 1933; MAMUŽIĆ, 1962).

U hidrogeološkom smislu, otok Rab je specifičan utoliko što su u fliškom kompleksu centralnog dijela otoka pronađene eksploabilne količine podzemnih voda. U posljednjih su četrdeset godina na otoku izvedeni brojni vodoistražni radovi (BROZ, 1961; PRVA-



Sl. 1 Shematska hidrogeološka karta otoka Raba.

Fig. 1 Schematic hydrogeological map of the Rab Island.

NOVIĆ & POLAK, 1965). Sedamdesetih godina su intenzivirani i u više faza provedeni vodoistražni i geotehnički radovi, u spomenutom centralnom dijelu otoka, između Supetarske i Kamporske drage (TUŠAK et al., 1973, 1976, 1985; TUŠAK, 1995). U fliškom kompleksu nabušeni su vodonosni konglomerati i pješčenjaci. Izbušeno je ukupno pet vodoopskrbnih zdenaca, koji su uz dva zahvaćena krška silazna izvora (Mlinica i Pido-ka) bili osnova vodoopskrbe otoka Raba, sve dok otok nije priključen na dovod pitke vode s kopna.

Gore spomenuti radovi i izvori predstavljaju osnovu za izradu Osnovne hidrogeološke karte 1:100.000 Republike Hrvatske - list Rab. Tijekom izvedbe pripremnih radova temeljito je proučena postojeća geološka i hidrogeološka literatura i dokumentacija. U fazi glavnih radova provedena su terenska istraživanja, koja su uključivala hidrogeološko rekognosciranje terena, obilazak vodnih objekata, zatim terenska mjerenja fizikalnih i kemijskih pokazatelja, i u dva navrata uzimanje uzoraka vode za laboratorijska hidrogeokemijska istraživanja na ukupno jedanaest vodnih objekata. U ovom se radu iznose rezultati provedenih istraživanja.

2. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Uvodno i u kratkim crtama opisana morfologija, kao i geološka i strukturna grada uvjetovala je specifične hidrogeološke odnose u pojedinim djelovima istraživanog područja.

U području Lopara, kojeg izgrađuju eocenski lapori i pješčenjaci u plitkoj i blago položenoj sinklinalnoj formi, nema značajnijih vodnih objekata. Registrirano je više povremenih fliških izvora male izdašnosti i lokalnog značenja. Na ovim se izvorima dreniraju ograničene količine podzemnih voda koje se tijekom kišnog razdoblja akumuliraju u vodopropusnim pješčenjacima i laporovitim vapnencima unutar kompleksa fliških naslaga. Pojave povremenih izvora uglavnom nalazimo u duboko usječenim jarcima na kontaktu s nepropusnim laporima, kao i tamo gdje su vodonosnici u kontaktu s morskom površinom, pa istječu kao priobalni bočati izvori. Spomenuti vodni objekti su zapušteni i nisu opažani u sklopu ovih istraživanja.

Između Loparskog zaljeva i Supetarske drage, pa prema jugoistoku do uvale Mišnjak, nalazi se antiklinalna strukturna forma, koju izgrađuju dominantno vapnenci s proslojcima dolomita gornjokredne starosti. Krila ove strukture su znatno ustrmljena, dok je tjeme u jugoistočnom dijelu sekundarno borano. Ova struktura predstavlja u cjelini propusno područje, odnosno vodonosnik u kojem se može akumulirati podzemna voda. Ove podzemne vode teku generalno prema jugozapadu, gdje istječu na crpilištu Mlinica, kao i na više izvora na kontaktu karbonata i nepropusnih fliških naslaga (sl. 1). U vrijeme velikih voda, tečenje se odvija i prema sjeverozapadu, kada je aktivan i cijeli niz povremenih priobalnih bočatih izvora.

Centralni dio otoka, između Supetarske i Kamporske drage, pa na jugoistok prema Barbatu izgrađuju naslage eocenskog fliša. Ova sredina je vrlo dobro hidrogeološki istražena (TUŠAK et al., 1973, 1976, 1985). Unutar kompleksa fliških naslaga, koje imaju formu sekundarno borane sinklinalne (MAMUŽIĆ, 1962), nabušeni su vodopropusni pješčenjaci i konglomeratični pješčenjaci, debljine do 20 m. Ovi vodopropusni dijelovi fliškog kompleksa, uz pomoć ukupno pet dubokih eksploatacijskih zdenaca, koriste se za vodoopskrbu otoka Raba. Prema postojećim saznanjima ovi vodonosnici imaju sporo i ograničeno prirodno prihranjivanje, a u sušnom razdoblju, u slučajevima pojačane eksploatacije i precrcpljivanja dolazilo je do prodora slane morske vode. Pored bušenih zdenaca, u ovom dijelu terena registrirano je također više izvora, od kojih su u ova istraživanja uključeni Vrulja, Kirjak, Rakov izvor, Mihanićevo, Snuga, Sv. Lucija, Kupica i Ošit (sl. 1). Od navedenih vodnih objekata, Sv. Lucija, Kupica i Ošit istječu iz djelomično uslojenih i litificiranih siparišnih breča kvartarne starosti, dok su ostali tipični fliški izvori. U ovom se dijelu terena, u području Mundanija - Palit, može postaviti površinska razvodnica između podsliva u kojem se tečenje odvija prema sjeverozapadu, odnosno Supetarskoj dragi, od onog prema jugoistoku odnosno Barbatu.

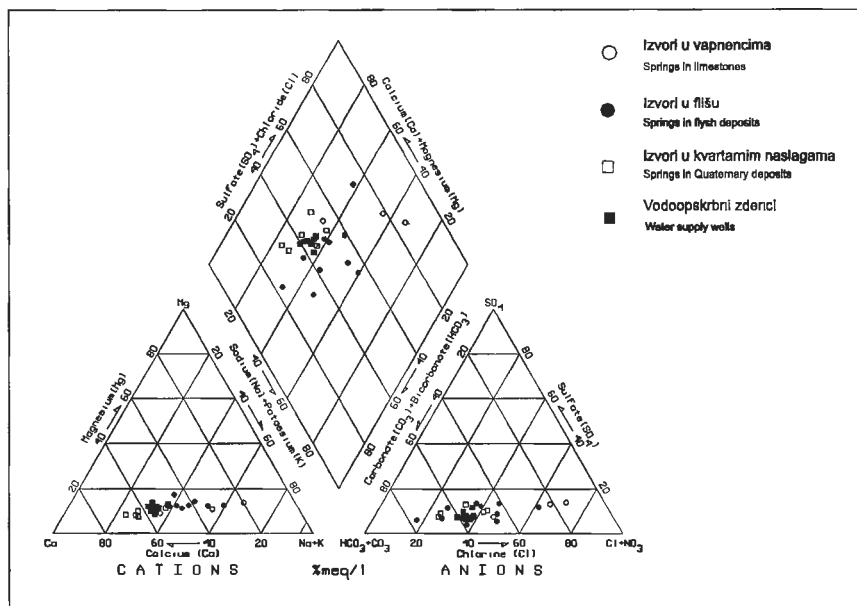
Krajnji jugozapadni dio otoka Raba izgrađuju karbonatne stijene gornje krede, u strukturnoj formi antiklinalne Kalifront - Frkanj, koja je u odnosu na antiklinalu u sjeveroistočnom dijelu otoka znatno kraća i šira. Jugozapadno krilo je reducirano jer nedostaju naslage paleogena. Sjeveroistočno krilo je ustrmljeno, tjeme je široko i pokriveno kvartarnim pjescima i humusom (MAMUŽIĆ, 1962). Na kontaktu ove strukture sa ranije opisanom, uz jugozapadni rub Kamporskog polja registrirana su dva krška preljevna izvora, Vruljica i Pido-ka, koji su zahvaćeni za vodoopskrbu. Treba pretpostaviti da dio podzemnih voda iz ovog vodonosnika također difuzno istječe, u formi priobalnih bočatih izvora u duboko usječenim uvalama u južnom i jugozapadnom dijelu opisane hidrogeološke odnosno strukturne cje-line.

3. HIDROGEOKEMIJSKA ISTRAŽIVANJA

Hidrogeokemijski facijes

Prema hidrogeokemijskom tipu podzemne vode otoka Raba pripadaju tzv. miješanom $\text{CaNa-HCO}_3\text{Cl}$ do NaCaClHCO_3 tipu (sl. 2). Taj tip vode karakterističan je za padalinske, površinske i podzemne vode pod utjecajem mora ili tzv. marinskim utjecajem (HEM, 1985).

Zbog boljeg uvida u raspodjelu i međusobne odnose analiziranih elemenata na temelju njihove međusobne korelacije načinjena je R-klasterna analiza (STATISTICA, 1993) čiji rezultat je dendrogram geokemijske povezanosti varijabli sličnog geokemijskog ponašanja ili posljedica sličnih utjecaja (sl. 3). Na dobivenom den-



Sl. 2 Piper-ov dijagram osnovnog ionskog sastava podzemnih voda na otoku Rabu.

Fig. 2 Piper's plot of the main ionic composition of Rab Island groundwaters.

drogramu izdvojena su dva osnovna klastera (skupine): litogeokemijski i marinski. Varijable grupirane u litogeokemijski klaster odražavaju njihovu raspodjelu u podzemnim vodama kao posljedicu utjecaja sezonskih vegetacijskih uvjeta na procese razgradnje organske materije i respiracije bilja, dakle na produkciju CO_2 u tlu, te konačno na otapanje stijenske podloge, vapnenaca i naslaga fliša. Drugi klaster, tzv. marinski povezuje pokazatelje čija je raspodjela u izvorskim vodama rezultat utjecaja blizine mora i zone miješanja slatke i slane vode.

Hidrogeokemijske sredine

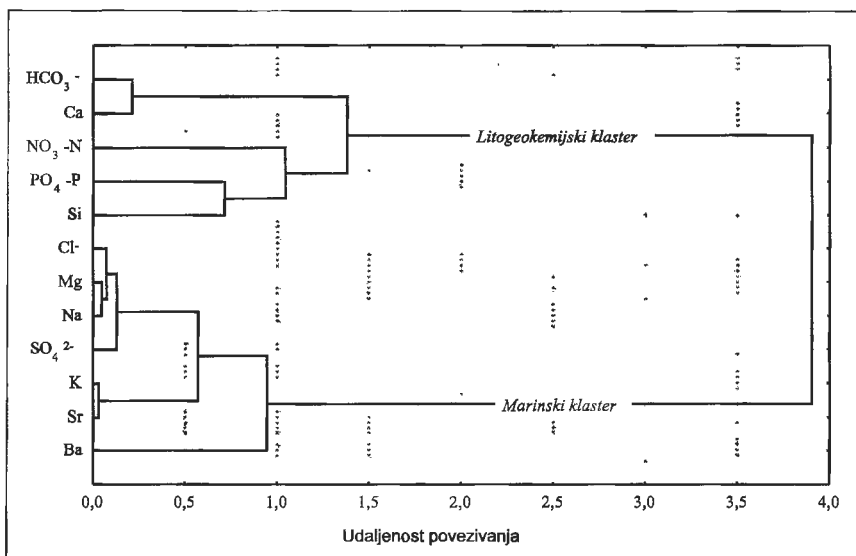
Na temelju provedenih hidrogeokemijskih istraživanja na području otoka Raba mogu se izdvojiti tri karakteristične hidrogeokemijske sredine:

- vodonosnici u krednim vapnencima;

- vodonosnici u fliškim naslagama;

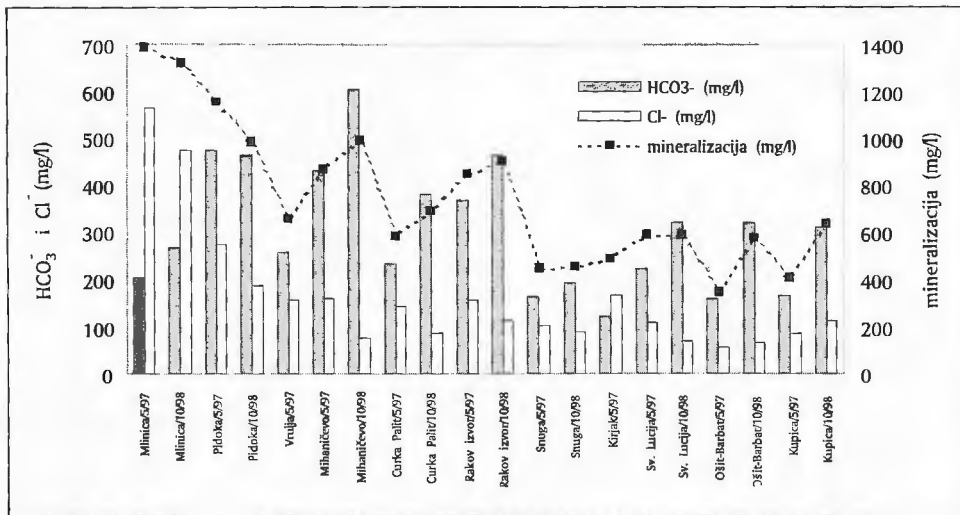
- vodonosnici u kvartarnim brečama.

Izvori na kojima istječe podzemna voda iz vodonosnika u krednim vapnencima (Mlinica i Pidoka) pod najvećim su utjecajem mora. Izvorske vode odlikuje visoka ukupna mineralizacija i povišeni sadržaj klorida, često iznad maksimalno dopuštenih koncentracija za pitku vodu. Zona miješanja slane i slatke vode u okršnim stijenama vrlo je oštra, a njena širina i položaj tijekom godine promjenljivi (KAPELJ et al., 1995, 1997). Stoga su uočene varijacije saliniteta u spomenutim izvorskim vodama odraz pomicanja zone miješanja u različitim hidrološkim uvjetima. Ukupnoj mineralizaciji izvorskih voda iz vodonosnika u fliškim eocenskim naslagama u većoj mjeri doprinose otopljeni hidrogenkarbonati nego kloridi (Vrulja, Mihaničević, Cur-



Sl. 3 Dendrogram geokemijske povezanosti hidrogeokemijskih pokazatelja.

Fig. 3 Dendrogram of the geochemical links of hydrochemical parameters.



Sl. 4 Raspodjela hidrogenkarbonata i klorida u izvorskim vodama otoka Raba.

Fig. 4 Distribution of the hydrogencarbonates and chlorides in the spring waters of Rab Island.

ka-Palit, Rakov izvor, Snuga i Kirjak). Izvorske vode koje dreniraju konsolidirane siparišne breče kvartarne starosti, općenito imaju najnižu mineralizaciju te stoga i najmanji alkalinitet i sadržaj klorida (Sv. Lucija, Ošit-Barbat, Kupica) (sl. 4).

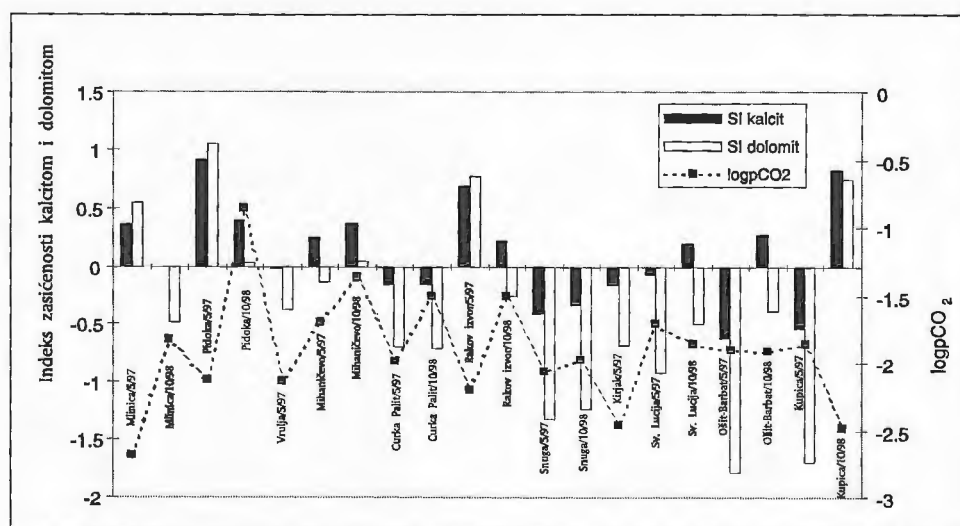
Uvjeti zasićenosti kalcitom i dolomitom

U hidrogeokemiji podzemnih voda vrlo često se kao pokazatelj vladajućih hidrogeokemijskih i hidrodinamičkih uvjeta koriste promjene ravnotežnih uvjeta između krute i tekuće faze, a kao njihova mjera služe indeksi zasićenosti vode s obzirom na pojedinu mineralnu fazu.

Stanje ravnoteže između podzemne vode i karbonatnih minerala koji izgrađuju krške vodonosnike (kalcit, dolomit) i parcijalni pritisak CO₂ izračunati su pomoću geokemijskog modela NETPATH (PLUMMER et al., 1994). Indeks zasićenosti za određenu mineralnu fazu (SI - saturation index) izračunava se iz izraza $SI_{\text{mineral}} = \log(IAP/K_{sp})$. IAP je produkt ionskog aktiviteta (IAP - ion activity product), a K_{sp} je produkt topljivosti. Ako je

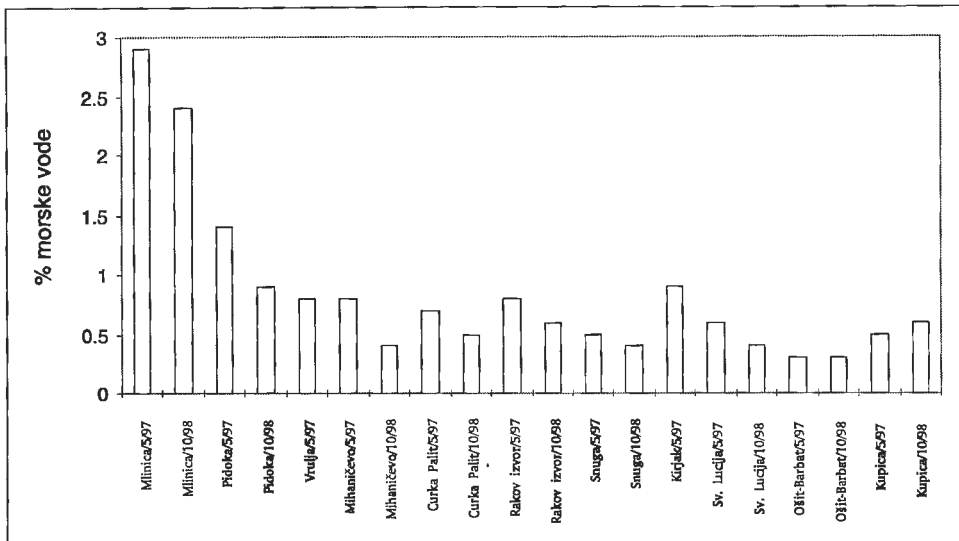
indeks zasićenosti 0,0, znači da postoji termodinamička ravnoteža između vodene i krute faze, a pozitivne ili negativne vrijednosti ukazuju na zasićenost ili na nezasićenost određenom mineralnom fazom.

S obzirom na varijacije vrijednosti izračunatih ravnotežnih uvjeta i pCO₂ može se reći da je za vodonosnike koji nisu pod izravnim utjecajem mora i gdje je ustanovljena njihova velika promjenljivost s obzirom na vladajuće hidrološke i sezonske vegetacijske uvjete karakteristično da se svaki novi doprinos svježije infiltrirane vode ne homogenizira s već postojećom podzemnom vodom, a gdje postoji ujednačenost postoji dobro miješanje svakog novog doprinosa infiltrirane vode u vodonosniku. Većina izvorskih voda na otoku Rabu pokazuje porast parcijalnog pritiska CO₂ krajem vegetacijskog perioda i tijekom hidrološki viših voda, kada se prolaskom kroz tlo voda obogaćuje s CO₂ nastalim raspadom organske materije i respiracijom bilja. Na taj način podstaknuto je i otapanje karbonatnih minerala čime u vodama raste koncentracija kalcija i hidrogenkarbonata (sl. 5).



Sl. 5 Usporedba logpCO₂, zasićenosti izvorskih voda kalcitom i dolomitom u različitim hidrološkim i vegetacijskim uvjetima.

Fig. 5 Comparison of logpCO₂ and saturation of spring waters with calcite and dolomite in different hydrological and vegetation conditions.



Sl. 6 Udjeli morske vode u izvorskim vodama otoka Raba.

Fig. 6 Share of seawater in spring waters of Rab Island.

Ocjena utjecaja mora

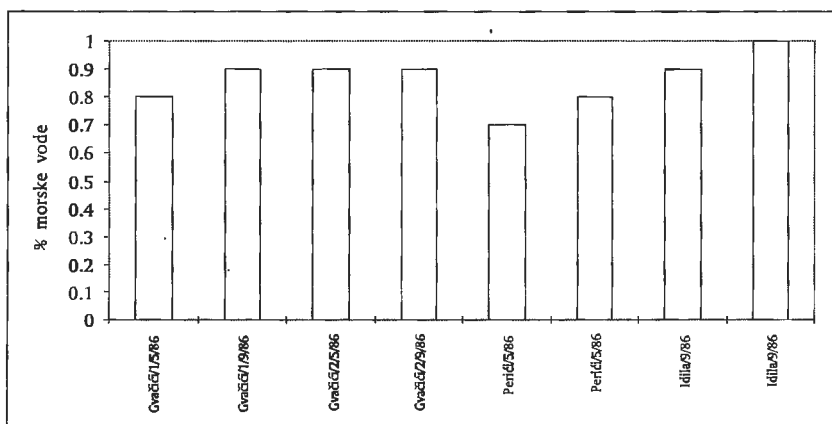
Modelom konzervativnog miješanja (APPELO & POSTMA, 1994) izračunat je doprinos morske vode saliniteta 35‰ u izvorskim vodama. Najmanji udio morske vode izračunat je u uzorcima podzemne vode iz kvartarnih siparišnih breča, a nešto je viši u izvorskim vodama koje dreniraju fliške naslage. Najveći udio morske vode izračunat je u izvorima Mlinica i Pidoka na kojima se dreniraju podzemne vode iz krednih vapnenaca (sl. 6). Usporedimo li udjele morske vode u izvorskim vodama iz fliških naslaga s udjelima izračunatim na temelju analiza uzoraka podzemnih voda iz eksploatacijskih zdenaca unutar sličnog razdoblja (TUŠAK, 1995), očito je da je udjel morske vode u podzemnim vodama iz zdenaca nešto viši, a to je vjerojatno posljedica blizine zone miješanja slatke i slane vode u dubljim dijelovima fliških vodonosnika (sl. 7).

4. ZAKLJUČAK

Otok Rab u hidrogeološkom i hidrogeokemijskom smislu predstavlja zanimljivo područje zbog raznolikosti tipova vodonosnika koji su svi pod posrednim ili

neposrednim utjecajem mora. U ovom radu izdvojene su tri sredine koje se međusobno razlikuju u hidrogeološkom i hidrogeokemijskom smislu.

Pokazalo se da za potrebu izrade hidrogeoloških karata korisnu nadopunu predstavljaju rezultati hidrogeokemijskih istraživanja. Tako na primjer poznavanje hidrogeokemijskog facijesa ne pomaže samo određivanju područja prihranjivanja pojedinih izvora i općenito slivnim odredbama, već olakšava izdvajanje pojedinih utjecaja na sastav podzemnih voda bez obzira o njihovom porijeklu - prirodnom ili antropogenom. Nadalje, praćenje kemijskog sastava podzemnih voda i uvjeta zasićenosti s obzirom na pojedine mineralne faze u različitim hidrološkim i sezonskim uvjetima omogućava određivanje uvjeta napajanja i hidrodinamičkih obilježja pojedinih krških vodonosnika. Optimalno je u budućim istraživanjima hidrogeoloških sustava otoka Raba ali i drugih krških vodonosnika, uz praćenje hidrogeokemijskih pokazatelja pratiti i sadržaj stabilnih izotopa kisika ($\delta^{18}\text{O}$), vodika ($\delta^2\text{H}$) i ugljika ($\delta^{13}\text{C}$) u podzemnim vodama, jer njihove vrijednosti olakšavaju verifikaciju i kvantifikaciju postavki o porijeklu voda, miješanju voda različitog porijekla (more, padaline, podzemna voda) i obnavljanju krških vodonosnika.

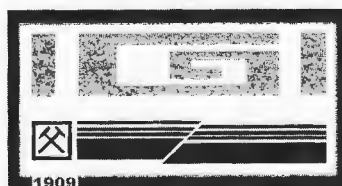


Sl. 7 Udjeli morske vode u podzemnim vodama iz eksploatacijskih zdenaca.

Fig. 7 Share of seawater in groundwaters from exploitation wells.

5. LITERATURA

- APPELO, C.A.J. & POSTMA, D. (1994): *Geochemistry, groundwater and pollution*.- Balkema, Rotterdam, 536 p.
- BROZ, R. (1961): *Idejni projekt vodoopskrbe otoka Raba*.- Fond str. dok. JVP "Hrvatske vode" - Rijeka.
- HAUER, F. (1868): *Geologische Übersichtskarte der Österreichischen Monarchie, Blatt X, Dalmatien*.- Jahrb. Geol. R. A., Wien.
- HEM, J.D. (1985): *Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water*.- U.S.G.S. Water Supply Paper 2254, 3rd ed., 263 p.
- KAPELJ, J., KAPELJ, S. & BIONDIĆ, B. (1995): *Hidrogeološka istraživanja za izgradnju zamjenskih crpilišta na području Biograda*.- Fond IGI, br.123/95, Zagreb.
- KAPELJ, J., KAPELJ, S. & BIONDIĆ, B. (1997): *Spatial variations of the fresh-salt water interface of a Croatian coastal aquifer in the town of Biograd area*.- 24th Hydrology and Water Resources Symposium - 1997, Auckland, New Zealand.
- MAMUŽIĆ, P. (1962): *Novija geološka istraživanja otoka Raba*.- Geološki vjesnik, 15/1, 121-141, Zagreb.
- MAMUŽIĆ, P. (1969): *Osnovna geološka karta 1:100 000*. List Rab.- Inst. Za geol. Istraž. Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- MATOUŠEK, O. (1925): *Nové geologické studie v Jugoslavii. Doplnek k publikaciji "Geologické studie v severni Adrii"*.- Spisy vydávané přírodovědeckou fakultetou Karlovy university, II, Číslo 36, Praha.
- PRVANOVIĆ, M. & POLAK, K. (1965): *Vodoistražni radovi na otoku Rabu*.- Fond str. dok. JVP "Hrvatske vode"- Rijeka.
- POLJAK, J. (1933): *Prilog poznavanju geomorfologije poluotoka Lopara*.- Vesnik geol. inst., 2, Beograd.
- RADIMSKY, O. (1880): *Über den geologischen Bau der Insel Arbe in Dalmatien*.- Jahrb. Geol. R. A., 30, Wien.
- PLUMMER, L.N., PRESTEMON, E.C. & PARKHURST, D.L. (1994): *An interactive code (NETPATH) for modeling net geochemical reactions along flow path, Version 2.0*.- USGS Water-Resources Investigation Report 94-4169, Reston, Virginia.
- SCHUBERT, R. (1905): *Zur Stratigraphie des istrich-norddalmatinischen Miteleocäns*.- Jahrb. Geol. R. A., 30, Wien.
- STACHE, A. (1867): *Die Eocängebiete im Innerkrain und Istrien. VIII. Die Eocänstriche der Quarnerischen Inseln*.- Jahrb. Geol. R. A., 17, Wien.
- STATISTICA (1993): *Statistica 4.3*.- StatSoft Corporation, Tulsa, USA.
- TUŠAK, B., HANICH, M. & RIZEN, V. (1973): *Vodoistražni radovi na otoku Rabu - I faza*.- Fond str. dok. JVP "Hrvatske vode"- Rijeka.
- TUŠAK, B., HANICH, M. & RIZEN, V. (1976): *Vodoistražni radovi na otoku Rabu - II faza*.- Fond str. dok. JVP "Hrvatske vode"- Rijeka.
- TUŠAK, B., HANICH, M. & VUČAKOVIĆ, J. (1985): *Hidrogeološki istraživački radovi za izradu bilance i određivanje zona sanitarne zaštite na otoku Rabu*.- Fond str. dok. JVP "Hrvatske vode"- Rijeka.
- TUŠAK, B. (1995): *Uloga eocenskog fliša u rješavanju lokalne vodoopskrbe u kršu*.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 631-634.
- WAAGEN, L. (1913): *Erläuterungen zur geologischen Karte Cherso und Arbe*.- Jahrb. Geol. Wien.





Underground Water Velocities in Slovene Karst (Tracing Experiments)

Janja KOGOVŠEK

Key words: Kartstology, Water tracing, Water velocities, Slovenia.

Abstract

We present the velocities of underground water flow in the Slovene Karst as found in tracing experiments. Tracings dated after 1965 were relatively well conducted and the results obtained are comparable with the results of later and even more recent tracings. By injecting into the water flow during high water levels the highest velocities found were up to 5 cm/sec. Velocities are generally lower in tracings where water must pass into the vadose zone before reaching karstic springs. Water flow velocities through the vadose zone itself can be even lower, between 0.1 to 0.00015 cm/sec. In the event of spillage of larger amounts of fluid during accidents, a velocity exceeding even 2 cm/sec may be expected.

1. INTRODUCTION

Ensuring sufficient amounts of drinking water is now in some areas a difficult and demanding task. It will become more so in the future. Widespread development brings about an increase of water use and at the same time intensifies pollution. Industrial development generates waste, including dangerous and toxic waste. Pesticides and fertiliser application in agriculture is increasing, as is pollution from the growing transport sector. In addition to this, large amounts of waste and wastewater are produced in households. All of this endangers the quality of water, especially in the Karst.

Appropriate waste treatment, methods of waste disposal and knowledge concerning water flow and connections between flows are necessary, as this is the foundation for recognising the process of pollution expansion in the Karst. This knowledge is necessary for formulating an effective water protection strategy.

Data on flow directions, velocities and portions of water flowing in particular directions can be obtained by natural tracing, by detailed monitoring of natural parameters with dataloggers as well as by tracer experi-

ments using artificial tracers during varying water levels.

The first successful tracer experiments in Slovenia were carried out nearly a hundred years ago and their results can partially still be used.

2. WATER FLOW VELOCITIES FROM TRACER EXPERIMENTS

2.1. OLDER TRACINGS (UNTIL 1988)

Alfred ŠERKO (1946) collected and critically assessed the execution and results of tracing experiments performed before World War II. He collected injection times, types of tracer used and water levels on injection, observed springs, springs in which the tracer emerged, distance and height differences between the injection point and springs, calculated gradient and apparent speed. Singular parameters are missing in some tracings, as are data on sample taking frequencies, and sometimes sample taking was not carried out in all of the important springs. Methods of tracer detection are not described, the occurrence of "colour" is frequently mentioned, and this could be ascribed to determination by sight. Apparent velocity calculation methods are also missing. This draws attention to the fact that these results should be used with caution, although they are of use for tracer experiment planning. The results of these first 54 experiments showed the values of apparent velocities to be between 0.7 to 37 and/or 57 cm/sec, the mean velocity of all mentioned tracings was 7 cm/sec; and 4 cm/sec when some extremely high velocities, which should be verified, are omitted.

Tracings following this period up to the beginning of the 1960's were gathered by GAMS (1965). Calculated apparent velocities were in the interval of 0.02 to 6.4 cm/sec, the mean value (of 84 values) was 3.2 cm/sec.

More important tracings carried out up to the 1990's was gathered and published by NOVAK (1991). The most frequently used tracers were uranin, rodamin, eosin, and bacteriophages. Calculations of velocities were based on the first appearance of the tracer, meaning that they indicate maximum apparent velocities.

No.	Point of injection	Apperance of uranin	Date of injection	V_{max} (cm/sec)	V_{dom} (cm/sec)	Recovery (%)
1	Vrčice	Krupa	10.5.1989	2.3		
2	Ponikve - Mirna g.	K. Poljane	"	1.6		
3	Ponikve - Mirna g.	Krupa	"	0.3		
4	Miklerjev studenec	Dobljče	"	0.6		
5	Miklerjev studenec	Krupa	"	0.8		
6	Rožni dol	Krupa	27.6.1990	0.6		
7	Rožni dol	Sušica	"	0.2		
8	Bajer	Krupa	15.10.1991	3.9		
9	Maline	Krupa	23.10.1991	0.3		
10	Maline	Metl. Obrh	"	1.5		
11	Ponikve - Gorjanci	Metl. Obrh	15.10.1991	3.2	2.10	
12	Ponikve - Gorjanci	Krupa	"	4.0	2.40	
13	Ponikve - Gorjanci	Težka voda	"	1.9	1.20	
14	Belo brezno	Mrzlek	14.10.1993	2.6	2.57	40.00
15	Belo brezno	Hubelj	"	0.98	0.82	2.14
16	Belo brezno	Lijak	"	1.75	1.57	10.10
17	Belo brezno	Hotešk	"	1.9	1.90	
18	Belo brezno	Hubelj	16.4.1994	2.7	0.46	0.02
19	Belo brezno	Mrzlek	"	3.3	1.74	59.60
20	Mrzli log	Podroteja	"	0.69	0.56	
21	Mrzli log	Divje jezero	"	0.26	0.26	
22	Lokva - Predjama	Vipava	"	5.2	3.50	73.50
23	Belo brezno	Hubelj	1.8.1995	1.33	1.06	0.01
24	Belo brezno	Mrzlek	"	0.68	0.62	66.00
25	Malo polje	Podroteja	"	0.4	0.40	
26	Malo polje	Divje jezero	"	0.4	0.36	
27	Slapenski ledenik	Vipava	26.10.1995	0.55	0.44	32.90
28	Poček - Javorniki	Malenščica	10.6.1997	1.0	0.72	55.00
29	Poček - Javorniki	Vipava	"	0.8	0.70	26.00
30	Poček - Javorniki	Stara vas - Zajetje	"	0.67	0.29	
31	Poček - Javorniki	Rak - R.Škocjan	"	0.65	0.56	
32	Poček - Javorniki	Prunkovec	"	0.92		
33	Poček - Javorniki	Kotličiči	"	0.91	0.67	
34	Poček - Javorniki	Pivka - Pl. jama	"	0.89	0.54	
35	Poček - Javorniki	Škratovka	"	1.13	0.76	

Table 1 Calculated maximal (v_{max}) and dominant (v_{dom}) velocities and recovery of tracers of most recent tracing experiments.

The calculated maximum apparent water flow velocities ranged from 0.06 to 10 cm/sec; the mean velocity was 3.4 cm/sec. The frequency of sample taking and method of tracer detection are very important for velocity calculation. Thus it would have been beneficial to verify the highest velocity of water flow from Križna Cave to Kittlov Brezno (35 cm/sec). Tracings in 1975 (3rd SWT) from Cerknica and Planina poljes (HABIČ, 1976) and in 1988 (injection into Željnski Stream, Kačji Stream, Rinža and on Koprivnik) were performed with

detailed sampling, tracing curves were obtained and water flow velocities relatively accurately calculated.

2.2. RECENT TRACINGS (AFTER 1988)

The following tracing experiments are not included in the review by Novak. In 1989 injection was performed in Vrčice, Ponikve on Mirna Gora and into Miklerjev Stream (HABIČ et al., 1990); in 1990 an injection into Rožni Dol and into a hollow in Bajer; and in 1991 injection into Ponikve on Gorjanci and into Mal-

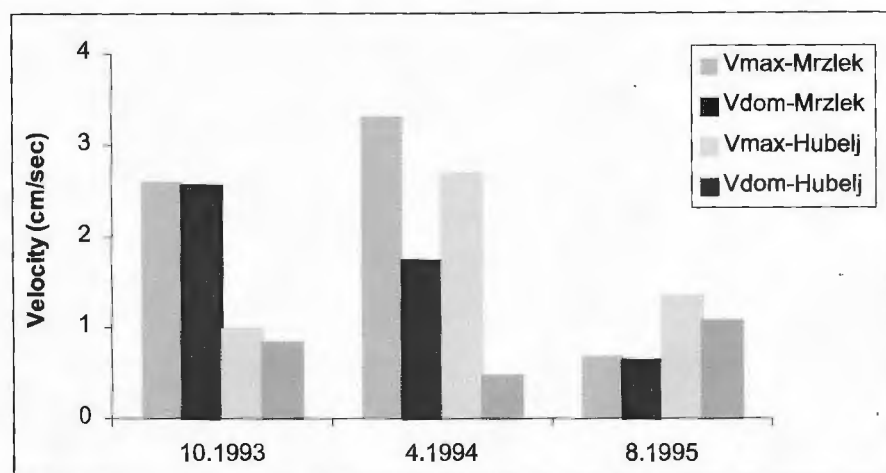


Fig. 1 Calculated velocities from Belo Brezno to Mrzlek and Hubelj springs at varying water levels in October 1993, April 1994 and August 1995.

inska Draga (HABIČ & KOGOVIŠEK, 1992). A large amount of samples was taken during these tracings, tracing curves were drawn and relatively accurate water velocities calculated. Calculated values are presented under number 1 to 13 in Table 1. Tracing experiments in the region of Kamnik and Savinja Alps (NOVAK, 1996) gave water velocities from 0.2 to 5.3 cm/sec.

As a part of the international project for research of Trnovsko-Banjška Plateau, from 1993 to 1995 tracer experiments were performed from the same injection points at varying water levels. In some points two parallel tracers were used (KRANJC et al., 1997). Accurate monitoring of tracer outflow was performed until tracer concentration dropped below the threshold of detection and/or sampling took place after heavy rainfall. Obtained results enabled accurate determination of first tracer emergence, maximum concentrations and/or complete tracing curves. Returned amounts of tracer were also calculated for individual springs (ZUPAN & REICHERT, 1997). The values are presented in Table 1 under number 14 to 27.

In 1997 a tracing experiment was carried out in Poček - the northern part of Javorniki. Complex sampling on Malenščica took nearly a year and gave the tracing curves for 9 of the 12 observed points. This enabled us to calculate water velocities to the directions where the tracer emerged. We were able to determine the amount of returned tracer for two most important springs, Malenščica and Vipava (KOGOVIŠEK, 1999).

3. COMPARISON BETWEEN WATER FLOW VELOCITIES IN TERMS OF VARYING HYDROLOGICAL CONDITIONS

3.1. BELO BREZNO TRACING SERIES

As a part of the international research of Trnovsko-Banjška Plateau, we performed three tracings from Belo Brezno in three successive years. Injections were always into the same point, with the same tracer always washed with 5 to 6 m³ of water, but hydrological conditions were different each time. This allowed us to com-

pare water flow velocities with the fluorescent tracer uranin from Belo Brezno into Hubelj and Mrzlek springs. Only hydrological data for Hubelj were available.

At the injection of the tracer on October 14, 1993, the initial discharge of Hubelj (2.786 m³/s) was only one half of the average mean discharge in the time of tracing experiment. The highest discharge of 29.13 m³/sec followed on October 22. At the injection on April 16, 1994, the initial discharge of 5.409 m³/sec was higher by 5-times than the mean discharge in the time of tracing experiment. In the days that followed the injection, the discharge increased to 16.3 m³/sec. On May 20, followed the high-water wave with the highest discharge of 31.6 m³/sec. At the injection on August 1, 1995 the initial discharge of 0.514 was lower by 6-times than the mean discharge in the time of the tracing experiment. Towards the end of August, the discharge increased to 17.5 m³/sec, and in September, the discharge increased five times more (TRIŠIČ & POLAJNAR, 1997).

Calculated velocities are presented in Table 1 and Fig. 1 (ZUPAN & REICHERT, 1997). The tracer flowed fastest to the direction of the Mrzlek spring, located 19.8 km from the injection point, in spring of 1994 while the aquifer was full. The largest difference between v_{max} and v_{dom} was noted in this period. Lower velocities were noted in October of 1993, when uranin appeared only following heavy precipitation. The rapid increase of uranin concentrations to the maximum value was reflected in the small difference between v_{max} and v_{dom} . In August, during dry conditions, the emergence of uranin was modified by heavy precipitation, which occurred already after a month. The calculated water flow velocity was relatively lower than in the first two tracings. It would have probably been lower if the dry period had lasted longer and precipitation had occurred later in fall.

Water flow velocities to the Hubelj spring, which is 6.88 km away and lies 960 m lower, were lower than in Mrzlek. The fastest flow was observed in April of 1994. The dynamics of flow to this spring are different, as the lowest values were recorded in October of 1993 and not in August of 1995.

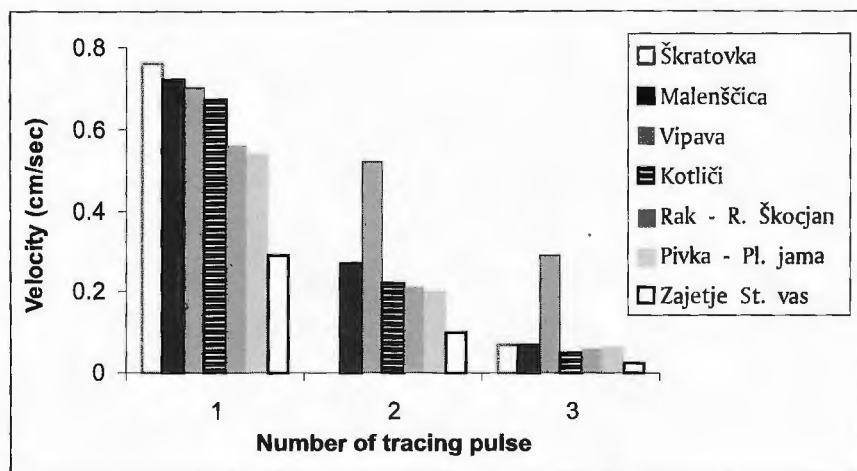


Fig. 2 Water velocities from Javorniki massif (Poček) to the springs during three tracing pulses at the end of June, end of July and in beginning of November.

3.2. SUCCESSIVE TRACING PULSES FOLLOWING INJECTION ON POČEK - JAVORNIKI

Tracer was injected into a sinkhole on Poček - on the northern part of Javorniki Mts. during relatively low hydrological conditions and washed with 11 m³ of water. Figure 2 presents flow velocities of water containing tracer from the injection point into separate springs following heavy precipitation at the end of June (first tracing pulse), end of July (second tracing pulse) and in the beginning of November (third tracing pulse). A gradual decrease of velocities in successive pulses in the direction of all the springs is evident. The exception is Vipava, which showed a slightly slower decline of velocity. On the nearly 25 km-long course (19% gradient) there is an inflow of significant amounts of water from the carbonate massif of Nanos, from runoff water from this area which probably has a significant impact on water flow velocities (Kogovšek, 1999).

4. CONCLUSION

The resulting maximum and dominant velocities of significant tracings in Slovenia performed later than 1998 and published in literature are presented in Table 1. The calculated apparent flow velocities (v_{max}) of the above tracings are in the interval of 0.2 to 5.2 cm/sec. These values reflect only a general picture of water flow velocities at the observed areas as hydrological conditions during the experiment are, among other factors, very important. In the case of 15 tracings, injection was performed into the water flow, in others directly onto karstic relief and/or sinkholes or vertical shafts with no water flow. It is evident that highest velocities were recorded in tracing experiments by injection into the water flow and in conditions of a well-filled aquifer, although other factors also have significant roles. Water flowed into Vipava with the velocity of 5.2 cm/sec during a high water level in April of 1994. Tracings after 1965 gave comparable results. These injections were mainly directly into the water flow.

Water flow and with it transport of substances through the vadose zone is slower. Studies of the up to 150 m thick vadose zone (limestone) showed that water flow velocities through the most permeable conduits are 0.12 cm/sec and 0.02 cm/sec through poorly permeable conduits. The slowest flow was found in dry months without heavy precipitation. In such conditions the tracer is "stalled" in the vadose zone for even a few months and emerges at the observation points after heavy and abundant rainfall. The water flow velocity is thus only 0.0015 cm/sec (KNEZ et al., 1995).

In the case of a larger spillage caused by traffic or other accidents, soluble substances rapidly penetrate the karstic core through the most permeable material (KOGOVŠEK & HABIČ, 1981), faster even than 2 cm/sec.

Knowledge of water flow velocities in the Karst will assist us in understanding the transport of soluble substances through submerged water flows and from the karstic surface into the core and supplies of drinking water in it. This understanding is directly applicable for planning protection of water resources and is at present of partial assistance in understanding the transport of insoluble substances such as oil products, as parallel tracing experiments involving soluble and insoluble tracers have not yet been performed.

5. REFERENCES

- GAMS, I. (1965): Aperçu sur l'hydrologie du Karst slovène et sur ses communications souterraines.- *Naše jame*, 7, 51-60, Ljubljana.
- HABIČ, P. (1976): Karst hydrographic evaluation.- *Underground Water Tracing. Investigations in Slovenia 1972-1975*, 197-213, Ljubljana.
- HABIČ, P., KOGOVŠEK, J., BRICELJ, M. & ZUPAN, M. (1990): Izviri Dobljčice in njihovo širše kraško zaledje.- *Acta carsologica*, 19, Ljubljana
- HABIČ, P. & KOGOVŠEK, J. (1992): Sledenje voda v kraškem zaledju Krube v JV Sloveniji.- *Acta carsologica*, 21, Ljubljana
- KNEZ, M., KOGOVŠEK, J., KRANJC, A., MIHEVC, A., ŠEBELA, S. & ZUPAN-HAJNA, N. (1995): National Report for Slovenia.- COST Action 65. Hydrogeological aspects of groundwater protection in karstic areas, Final Report, European Commission, 247-260, Luxembourg.

- KOGOVSŠEK, J. & HABIČ, P. (1981): Preučevanje vertikalnega prenikanja vode na primerih Planinske in Postojnske jame.- *Acta carsologica*, 9 (1980), 129-148, Ljubljana.
- KOGOVSŠEK, J. (1999): Nova spoznanja o podzemnem pretakanju vode v severnem delu Javornikov (visoki kras).- *Acta carsologica*, 28/1, 161-200, Ljubljana.
- KRANJC, A., KOGOVSŠEK, J., BENISCHKE, R., REICHERT, B., ZUPAN, M. & HEINZ-ARVAND, M. (1997): Organisation, injection and sampling.- *Karst Hydrogeological Investigations in South-western Slovenia*, *Acta carsologica*, 26/1, 260-274, Ljubljana.
- NOVAK, D. (1991): Novejša sledenja kraških voda po letu 1965.- *Geologija*, 33, 461-478, Ljubljana.
- NOVAK, D. (1996): Podzemeljske vode v Kamniških in Savinjskih Alpah.- *Geologija*, 37-38, 415-435, Ljubljana.
- ŠERKO, A. (1946): Barvanje ponikalnic v Sloveniji.- *Geografski vestnik*, 18, 125-139, Ljubljana.
- TRIŠIČ, N. & POLAJNAR, J. (1997): Description of the Hydrological Situations during the Tracing Experiments.- *Karst Hydrogeological Investigations in South-western Slovenia*, *Acta carsologica*, 26/1, 274-279, Ljubljana.
- ZUPAN, M. & REICHERT, B. (1997): Results of the Hubelj - Mrzlek - Podroteja Area.- *Karst Hydrogeological Investigations in South-western Slovenia*, *Acta carsologica*, 26/1, 283-294, Ljubljana.





Integralni pristup naftnom istraživanju na slabo istraženim prostorima JZ Save

The Integral Approach to the Oil Exploration in the Frontier SW Sava Area

Slobodan KOLBAH¹, Sanjin GRANDIĆ², Nevenka ROMANIĆ-KRISTENSEN¹ & Jurica NOVAK³

Ključne riječi: naftno istraživanje, mjerenja u bušotinama, daljinska istraživanja, strukturni model.

Key words: Oil exploration, Well-logging, Hydrodynamics, Remote Sensing, Structural model.

Sažetak

Ovaj rad predstavlja rezultat primjene integralnog pristupa u naftno-geološkim istraživanju, prostora JZ Sava/Sava-2. Pored ostalog on uključuje sintezu informacija s drugih naftno istraživačkih lokaliteta Panonskog bazena i Dinarida. Na taj je način unaprijeđeno poimanje naftnogeološkog potencijala navedenih prostora unutar kojeg unatoč niza pojava ugljikovodika nije postignuta proizvodnja. Unatoč nedostatnim i nepovoljno raspoređenim podacima integralnim pristupom potvrđen je potencijal koji se temelji na dokazanoj naftogenosti kredno-eocenskih sekvenci. U cilju smanjenja istražnog rizika, integrirane su i korelirane brojne informacije s dislociranih lokacija s visokim stupnjem istraženosti. Posebna pažnja posvećena je i definiranju orijentacija aktualnog regionalnog tektonskog naprezanja, kao predznaka hidrodinamičkih procesa u tijeku migracije, stvaranja i eventualnog uništenja ležišta. Integracija navedenih raznorodnih parametara od terenskih opažanja, bušotinskih informacija do podataka interpretacije satelitskih snimaka, pridonijela je boljem utvrđivanju naftnogeološkog modela bloka JZ Sava/Sava-2 i dijela SI pregibne zone Vanjskih Dinarida kao novih istražnih prostora.

Abstract

This work represents results of the integral approach to the oil exploration, in the SW Sava/Sava-2 area. It includes dislocated information from intensive explored Pannonian oil provinces and Peri-Adriatic Dinarides. As yet there was no oil production here despite oil shows. Very poor and scattered data in integral approach already strongly suggest potential in the Cretaceous-Eocene play. To further decrease of geological/financial risk of shutting 2D seismic and defining best drillable targets, beside others we have integrated several critical informations from dislocated reference localities. Here was discussed actual regional stress, as a key element of the oil migration hydrodynamic, accumulation and possible dissemination processes. Integration of the simultaneous well logging, data with remote sensing information, and field data has contributed to better understanding of the SW Sava/Sava-2 and the bordering NE Slope zone of the External Dinarides as new frontier regions.

1. UVOD

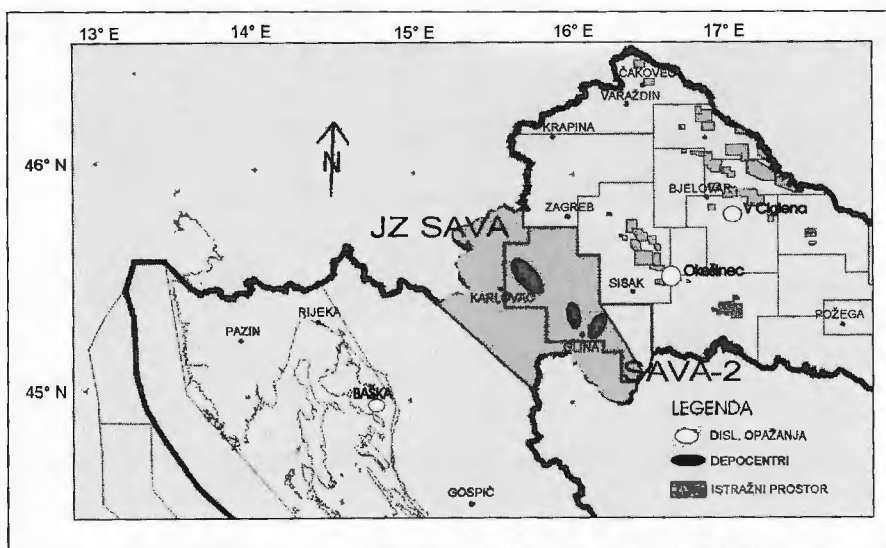
Istražni prostor JZ Sava/blok Sava-2 nalazi se u jugozapadnom dijelu Panonskog bazena. Površina istražnog prostora je 4.780 km², a bloka je 2.576 km² (sl. 1). Do sada je tu pored regionalnih gravimetrijskih, geomagnetskih i geoelektričnih mjerenja snimljeno 694 km 2D seizmičkih profila i izbušeno 11 dubokih bušotina. Posljednja interpretacija započeta 1997. godine potvrdila je mogući naftni potencijal od 69,38 mil. m³ OE (uvjetne nafte; KOLBAH, 1999). On se očekuje u gornjokredno-paleogenskoj sekvenci na osnovi pojava ugljikovodika i matičnih stijena pogodnih za generira-

nje nafte u depocentrima kod Karlovca i Gline (sl. 1). Rizik otkrivanja ležišta u razmatranom području uspoređen s drugim prostorima Hrvatske, pokazuje da očekivani potencijal bloka još uvijek možemo cijeniti na 8,21 mil. m³ OE. Uz cijenu nafte od 19 \$/bbl obećava vrlo povoljnu ekonomičnost i neto sadašnju vrijednost dobiti od 101,13 mil. US\$. U nastavku istraživanja, prethodno bušenju vrijednom više miliona US\$, predloženo je snimanje 300 km 2D seizmičkih profila, procijenjenih na 1,3 mil. US\$. Pored ostalog, elementi ovog rada trebaju pomoći optimiziranju snimanja i interpretaciji predložene 2D seizmike i radi prepoznavanja i definiranja ključnih strukturnih elemenata vezanih uz formiranje i sačuvanje naftnih ležišta.

¹INA d.d. Zagreb, Naftaplin, Služba za istraživanje, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Viktora Kovačića 14, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³INA d.d. Zagreb, Naftaplin, Služba za razradu, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Situaciona karta. Legenda: dislocirana opažanja (Velika Ciglena, Okešinec i Baška), depocentri kod Karlovca i Gline, istražni prostori JZ Sava/ Sava-2 prema drugim istražnim i proizvodnim prostorima u Republici Hrvatskoj.

Fig. 1 Location map. Legend: dislocated observation (Velika Ciglena, Okešinec i Baška), Karlovac and Gline depo centres, exploratory area SW Sava/Sava-2 in respect to the other E & P areas in the Republic of Croatia.

2. OSNOVE STRUKTURNOG MODELA I TEKTONO-STRATIGRAFIJE

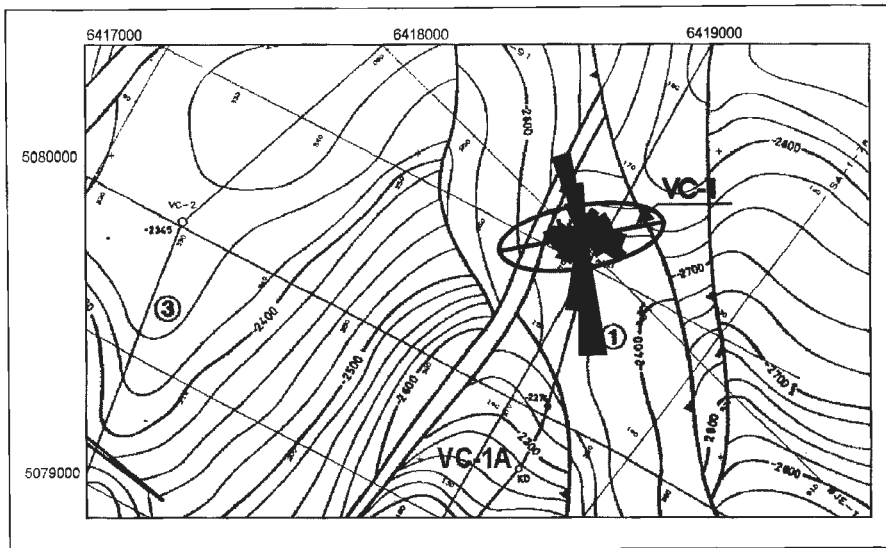
Opisane i ilustrirane informacije iz bolje istraženih dislociranih objekata unatoč svojoj raznorodnosti objedinjene su u uspostavljanje održivih regionalnih pretpostavki i konstrukciju pojedinih modela. Ovdje su između ostalog uključeni geodinamički elementi tektonike ploča promatranog prostora (ROYDEN et al., 1982) i rezultati suvremene regionalne revizije Panona i Dinariada prema naftaplinskim i stranim ekspertima (BANKS et al., 1990a, b). Uključeni su podaci mjerenja i interpretacije tektonskih naprezanja u globalnom planu, a posebno onih vezanih na neotektoniku Karpata i Panonskog prostora (BECKER, 1993). Geodinamski model slijedi koncepciju nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1995). Sa stanovišta odnosa spomenutih regionalnih strukturnih elemenata i neposrednih naftogeoloških modela pojedinih geoloških jedinica uključena su između ostalog rješenja kakova su definirana u našoj novijoj stručnoj literaturi (GRANDIĆ et al., 1997a, b, 1999). I konačno, ovaj se rad konceptualno i prostorno nastavlja na iskustva istraživanja Istre i Kvarnera (KOLBAH et al., 1995).

U razmatranom prostoru ističe se sedam tektono-stratigrafskih sekvenci (KOLBAH, 1999). Dosad je samo gornjokredno-paleogena sekvenca prema utvrđenom sadržaju ukupne organske tvari, povoljnih uvjeta za generiranje nafte u depocentrima kod Karlovca i Gline (sl. 1) uz ostale preduvjete za formiranje ležišta potencijalni objekt istraživanja - "Play". Pored ostalog elementima iz ovog rada nastojimo što pouzdanije pretpostaviti okolnosti pod kojima su se dešavala zbivanja nakon ekspulzije nafte. Dosadašnjim bazenskim modeliranjima za njih je bio presudan završni dio posljednje sekvence. Izdvojene sekvence formirane su uz sljedeća strukturno tektonska zbivanja: 1) permska i starije stvarane su tijekom kaledonske i varističke konsolidacije. 2, 3, 4) trijasko-donjokredna započinje razlamanjem kon-

tinentalne kore i širenjem oceanskog dna a završetak ove sekvence podudara se sa inicijalnim kolizijama tijekom kimeridža u gornjoj juri. 5) Gornjokredno-paleogena sekvenca nastala je u fazi vrlo jasno izražene kompresije u Dinaridima praćene stvaranjem paleogenskog fliša. Naknadnim "wrench" ekstenzijama stvarani su "pull apart" depocentri u kojima se talože sedimenti tipa molase. Matičnost naslaga ove sekvence utvrđena je na karlovačkom prostoru i sjevernoj Bosni a potencijalno je i glinsko područje. 6) Donji-srednji miocen karakteriziran je nastavkom razvoja pull apart bazena iz prethodne sekvence s lokalnim izvorom materijala erodiranog s uzdignutih dijelova. 7) Gornji miocen karakterizira regionalni geotermalni uplift i kolaps/progibanje (SAG) depresija bazena te njihovo zapunjavanje. Krajem ove sekvence ponovo prevladava "wrench" tektonika, ali s promjenom smjera kompresije. Česte su inverzije i uzdizanja čak i cijelih središnjih dijelova depocentara, kao što je to slučaj sa SI dijelom bloka Sava-2. Uz ova posljednja zbivanja vezana su i ovdašnja naftna ležišta.

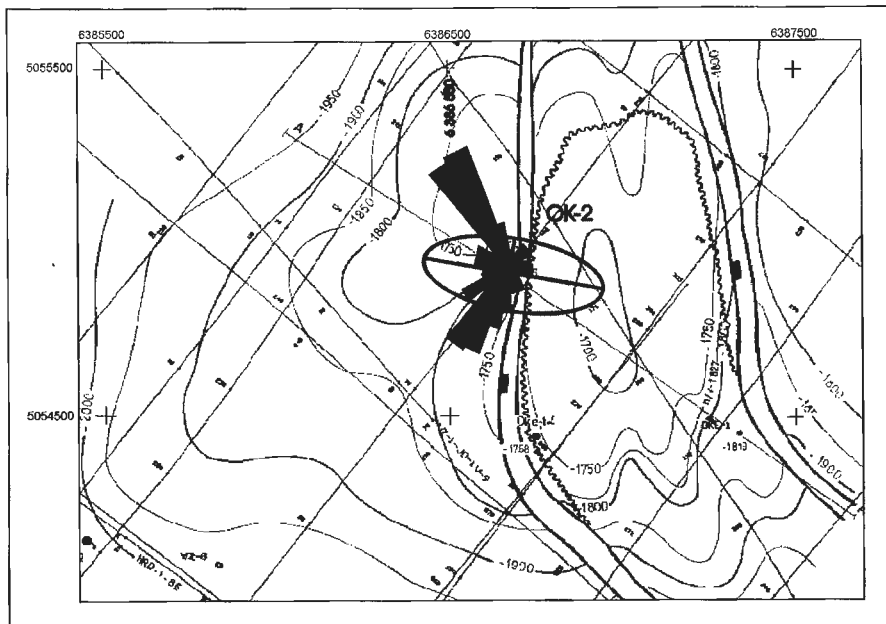
3. OPAŽANJA I REZULTATI

Korištena detaljna suvremena mjerenja u bušotinama na lokacijama Velika Ciglena kod Bjelovara (sl. 2) i Okešince kod Križa (sl. 3) izvedena su četverokrakom sondom za mjerenja nagiba slojeva HRDIP (High Resolution Dipmeter Tool). Obrada podataka mjerenja analizirana je programom Diplog. Mjerenja omogućavaju pored odredbe nagiba slojeva u bušotini i kontinuirano mjerenje dva međusobno okomita promjera kanala bušotine koja leže u ravnini okomitij na os instrumenta. Budući da se prilikom mjerenja određuje položaj instrumenta u prostoru, određena je i orijentacija odnosno prostorni položaj izmjerenih promjera kanala bušotine. Statistička obrada međusobno okomitih promjera upućuje na prostorni položaj elipsoida deformacije, odnos-



Sl. 2 Detalj strukturne karta po krovini Podloge tercijara s indicacijom ukupnog aktualnog napreznja mjereno u bušotini VC-1, koji je uzrokovao inverziju na reverzним rasjedima, ključnim za geotermalnu proizvodnju.

Fig. 2 Detail of structural map on the Base of Tertiary with the indication of the total actual stress indicated by well logging in VC-1 well. It has produced inversion of the faults original reverse character, which are now important for high production of geothermal water.



Sl. 3 Strukturna karta po krovini sarmata, s rezultatima indiciranog ukupnog aktualnog napreznja na osnovi mjerenja u bušotini Oke-2. On je normalan na maksimalno pružanje strukture i sukladan s orijentacijom rasjednih zona visoke propusnosti.

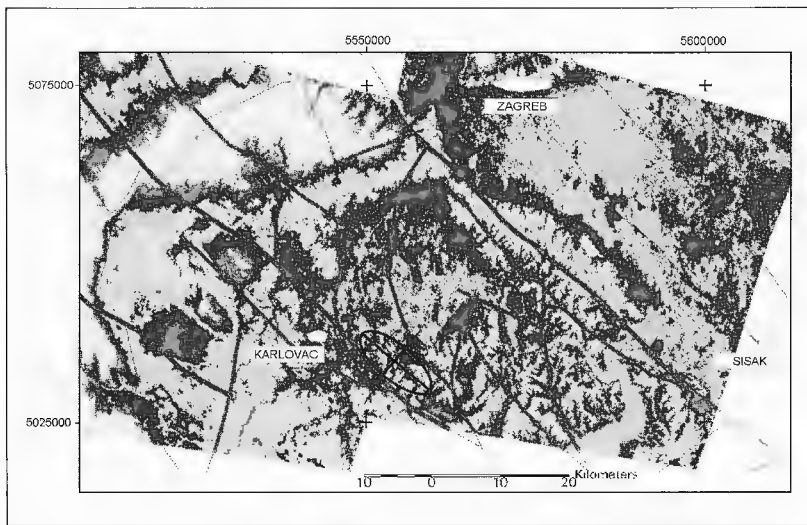
Fig. 3 Detail of structural map on the Top of Sarmatian with the indication of the cumulated actual stress on the basis of well logging in Oke-2 well. Structure is developed normally on the maximal stress that goes nearly along fault zones with high permeability.

no smjerove napreznja na lokacijama VC-1 i Oke-2. Nakon kritičnog sučeljavanja s integralnim rješenjima (KOLBAH et al., 1993; KOLBAH, 1995) određeni su elementi korelacije s objektom istraživanja JZ Sava/Sava-2 (sl. 4). Složena terenska geološko-hidrodinamska analiza šireg prostora Baške na Krku (sl. 5) uz bitnu potporu satelitskih opažanja i njihova strojna analiza, omogućila je provjeru hidrodinamskih i strukturnih modela. Obrada prikaza-scena udaljenih opažanja (ROMANIĆ-KRISTENSEN et al., 1999) izvedena je programskim proizvodom ERDAS Imagine koji kao prostornu podršku koristi Geografski Informacijski Sistem (GIS) a kao platformu Silicon Graphic Indy 2 workstation. Ova obrada u pojedinim slučajevima ovisi o raspoloživim elementima digitalne baze podataka satelitskih snimaka (Landsat TM scene, SPOT stereo parovi s pankromatskim informacijama), interpretiranih i integriranih sa ostalim dostupnim geološkim podacima - generaliziranim i geokodiranim geološkim kartama, semi

regionalnim geomagnetskim i gravimetrijskim mjerenjima, 2D seizmičkim profilima, dubinskim podacima dubokih bušotina i podacima površinskog uzorkovanja.

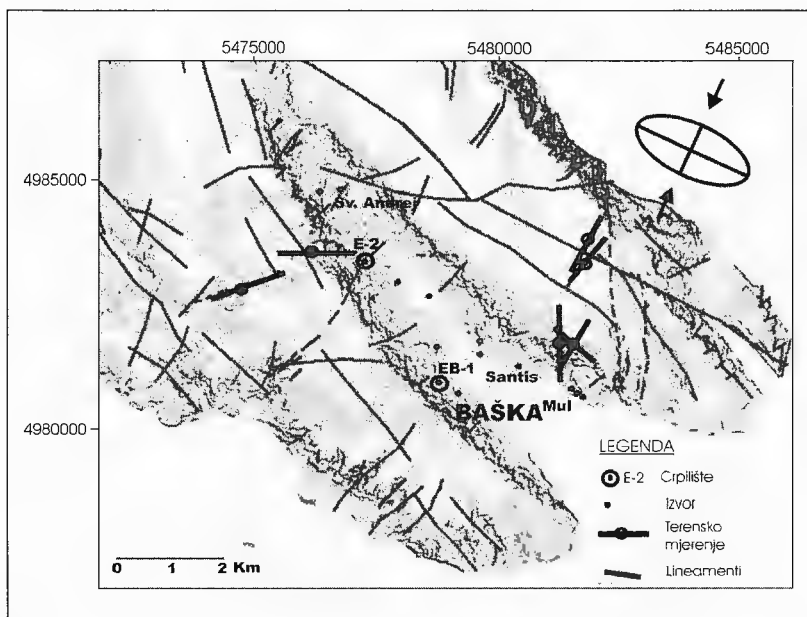
Integracija u cjelinu ovih vrlo raznorodnih i često samih po sebi složenih opažanja, bilo je moguće preko prepoznavanja ključnog zajedničkog obilježja definiranih elipsoida aktualnih napreznja a kao vezna i korektivna podloga korištene su regionalne predodžbe i elementi modela aktualne geodinamike (sl. 6). S ciljem smanjenja ključnih rizika geološke interpretacije povećavanjem vjerojatnosti pouzdanog razumijevanja mehanizama migracije, akumulacije i sačuvanja ležišta nafte na objektu istraživanja. Pored mjerodavnijeg kvantificiranja rizika budućeg geološkog rješenja, ovakav pristup treba pomoći pri definiranju ciljeva programa interpretacije.

Prema tome na objektu istraživanja JZ Sava/Sava-2, formiranje, punjenje, i eventualno uništenje zamki naftnih ležišta vezano je uz najmlađa i još aktivna tek-



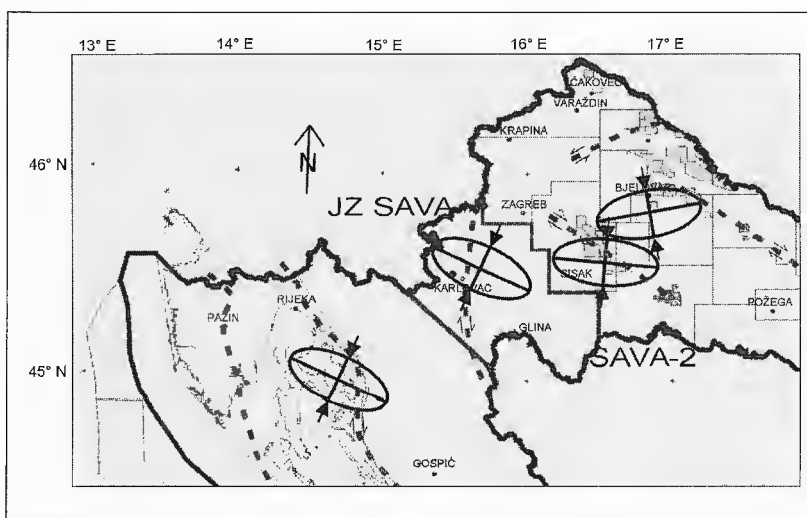
SI. 4 Sedam područja različite boje označavaju različite razrede nagiba terena izdvojenih iz sive skale DEM-a sa interpretiranim lineamentima i gradskim prostorima (u tonovima sive boje opažaju se tek prelazi između razreda) na širem prostoru JZ Sava/Sava-2. Aktualno naprezanje najjasnije je izraženo na strukturi Vukomeričkih Gorica, rasjedima "dinarskog" pružanja i duž zona smicanja.

Fig. 4 Nine colour classes extracted from the Gary scale DEM showing areas of different slopes, that are overlapped with linear elements, and urban area around the SW Sava/Sava-2 (in the Gary scale only transition between classes are marked). Stress is best represented with structure Vukomeričke Gorice, fault systems of "Dinarides" strike, and shear zones.



SI. 5 Četiri područja različite boje označavaju različite nagiba terena izdvojenih iz sive skale DEM-a sa interpretiranim lineamentima, strukturalnim i hidrološkim elementima (u tonovima sive boje opažaju se tek prelazi između razreda) na širem prostoru JI Krka. Dobro je vidljiva jedna od osnovnih zona smicanja (S od Baške) i niz u ešalone poredanih rasjeda pod vlačnim naprezanjem, vezanih uz najpovoljnije hidrotehničke zahvate: crpilište E-2 i izvore: Sv. Andrej, Santis i Mul.

Fig. 5 Fore colour classes extracted from the Gary scale DEM showing areas of different slopes of Baška (legend: water-wells, springs, field measurements, lineaments; in the Gary scale only transition between classes are marked). Beside well documented zones under the compressive stress, there are clearly visible conjugate shear zones (N from Baška). Best water-well: E-2 and springs: Sv. Andrej, Santis i Mul are clearly connected to the en echelon normal faults of the dilatation character.



SI. 6 Regionalni prikaz orijentacije elipsoida aktualnog naprezanja dislociranih opažanja i prostora JZ Sava/Sava-2 kreće se od SSZ-JJI do SSI-JJZ. Opažanja kod Bjelovara i Siska (VC-1 i Oke-2) ukazuju da naznačeni glavni potolinski rasjedni sistemi imaju složeniji karakter, dok su preostala opažanja kod Karlovca i Rijeke jasno vezana uz prioritete zone smicanja u Dinaridima.

Fig. 6 Exploratory area SW Sava/Sava-2 and dislocated sensing areas gradually changing orientation of stress ellipsoids from NNW-SSE to NNE-SSW direction. Stress at Bjelovar and Sisak (VC-1 and Oke-2) indicate much more complex character of the marked faults, while stress referent points at Karlovac and Rijeka are clearly connected to primary shear character zones in Dinarides area.

tonska naprezanja. Od tri osnovna smjera naprezanja ističe se "dinaridski" koji u hidrodinamskom smislu stvara rasjedne barijere i koji je pretežito pod tlačnim naprezanjem. Često su to sistemi duž kojih su zbog povlačenja razvijeni osnovni depocentri "pull apart" tipa a sada su u inverznom položaju. Duž njihovog pružanja u središnjim dijelovima depocentara javljaju se strukturni oblici, od lokalnih povijanja do regionalnih "uplift-a". Diagonalno na njih posebno su uočljiva transkurentna smicanja, a okomito na njih pružaju se reaktivirani i novi lomovi duž kojih se ovisno o drugim geološkim značajkama otvaraju hidrodinamske komunikacije.

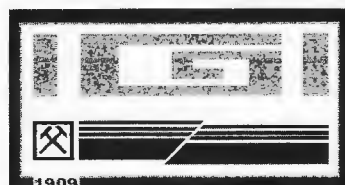
Ovim smo radom željeli pružiti primjer korisnosti integracije dislociranih opažanja za slabo i nekonzistentno istražene - "Frontier" prostore kao što je to JZ Sava / Sava-2. Pored ostalog navedenim se zaključcima pokušava poduprijeti i druge ključne geološke pretpostavke koje se odnose na razmatrani prostor i druge naftno-geološke istražne revire.

Zahvala

Autori su zahvalni INA Naftaplina što je omogućio ovo publiciranje, a mnogim kolegama na savjetima i priložima.

4. LITERATURA

- BANKS, N.L., CORNFORD, C. & TUBB, S. (1990a): Pannonian Phase II Studies Final Report for INA Naftaplin.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplina, Zagreb.
- BANKS, N.L., CORNFORD, C., LAWRENCE, S.R.C., TUBB, S., STOCKS, A., CATLIN, T., JENKINS, H. & FARRINGTON, P. (1990b): A study of the petroleum potential of the Dinarides.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplina, Zagreb.
- BECKER, A. (1993): Contemporary state of stress and neotectonic deformation in the Carpath-Pannonian region.- Terra Nova, 5, 375-388.
- GRANDIĆ, S., BOROMISA-BALAŠ, E. & ŠUŠTERČIĆ, M. (1997a): Exploration concept and characteristics of the Dinarides stratigraphic and structural model in the Croatian offshore area (Part I).- Nafta, 48/4, 117-128, Zagreb.
- GRANDIĆ, S., BOROMISA-BALAŠ, E. & ŠUŠTERČIĆ, M. (1997b): Exploration concept and characteristics of the stratigraphic and structural models of the Dinarides Croatian offshore area (Part II): Hydrocarbon consideration.- Nafta, 48/8-9, 249-266, Zagreb.
- GRANDIĆ, S., BOROMISA-BALAŠ, E., ŠUŠTERČIĆ, M. & KOLBAH, S. (1999): Hydrocarbon possibilities in the Eastern Adriatic Slope zone of Croatian offshore area.- Nafta, 50/2, 51-73, Zagreb.
- KOLBAH, S. (1995): Geološka osnova za duboku istražnu bušotinu Okešinec-2.- Fond stručne dokumentacije SI. za istraživanje, INA-Naftaplin, Zagreb.
- KOLBAH, S. (1999): Prijedlog istražnog projekta Sava-2.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, SI. za istraživanje, Zagreb.
- KOLBAH, S., KARAN D., FORŠEK, G., BOBIĆ, D. & KEDMENEK, A. (1993): Velika Ciglena - šire područje.- Fond stručne dokumentacije SI. za istraživanje, INA-Naftaplin, Zagreb.
- KOLBAH, S., ROMANIĆ-KRISTENSEN, N., & ŠUŠTARČIĆ, M. (1995): Prilog geofizičkih mjerenja poznavanju geologije SI Istre i Kvarnera s osvrtom na geotermalne odnose.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 1, 297-302, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ J., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 481-486, Zagreb.
- ROMANIĆ-KRISTENSEN, N., KOLBAH, S. & GRANDIĆ, S. (1999): Remote sensing used to increase the accuracy of geological interpretation.- 2nd International Symposium on petroleum Geology, Zagreb.
- ROYDEN, L., HORVÁTH, F. & BURCFIELD, B.C. (1982): Transform faulting, extension and subduction in the Carpathian-Pannonian Region.- Geol. Soc. Am. Bull., 73, 717-725.





Osvrt na geotermijska istraživanja u Hrvatskoj

Review of Geothermal Exploration in Croatia

Miron KOVAČIĆ

Ključne riječi: Geotermijska istraživanja, energija, Geotermalna karta, Hrvatska.

Key words: Geothermal exploration, Energy, Geothermal map, Croatia.

Sažetak

Republika Hrvatska ima značajan geotermijski energetski potencijal koji je za razliku od većine drugih "geoloških" resursa u Hrvatskoj nedovoljno istražen i iskorišten. Energetska strategija u svijetu je povećanje korištenja "alternativnih", obnovljivih energetskih izvora, pa se može očekivati da će u budućnosti interes za korištenje geotermalne energije u Hrvatskoj biti veći od današnjeg. U radovima koji su objavljeni o geotermijskim istraživanjima u Hrvatskoj obuhvaćene su mnoge teme kojima se bavi i geotermija u svijetu što je dobar temelj uspješnog razvoja takvih istraživanja kod nas. Većina spomenutih radova rezultat je entuzijazma autora, a ne sustavnog, financiranog istraživanja. Na temelju analize nekoliko stotina znanstvenih i stručnih radova objavljenih u svijetu i u Hrvatskoj u posljednjih 25 godina može se zaključiti da je Hrvatska po primjeni suvremenih istraživačkih metoda i po razini spoznaje o geotermijskim značajkama svog prostora ispod razine većine zemalja koje su joj geografski blizu. Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske financira fundamentalan znanstveno-istraživački projekt Geotermalna karta Republike Hrvatske. Ostvarenjem tog projekta Hrvatska će se približiti razini razvoja geotermijskih istraživanja na kojoj su druge europske zemlje.

Abstract

The Republic of Croatia has significant energetical potential which is, in contradiction to the most of other "geological" resources in the country, insufficiently investigated and utilized. Energetical strategy in the world is marked by increasing employment of "alternative", renewable energy resources. For this reason the increased attention will be paid to the use of the geothermal energy in Croatia in the near future. The papers published on geothermal investigations in Croatia deal with many topics of the worldwide interest. Thus, a good foundation is laid for successful progress of the same researches back here. However, most of these papers rest on the author's enthusiasm, having little to do with methodical, sponsored studies. Based on analysis of a few hundred scientific and professional papers published in the world and in Croatia in the last 25 years an unfortunate conclusion can be inferred. It shows that Croatia is currently below the level of the most of the neighboring countries as regards both the application of modern research methods and cognizance of geothermal characteristics of its own area. Geothermal map of the Republic of Croatia offers the possibility to attain the same stage of development of these investigations as that achieved in other European countries. The more so as this being a fundamental project sponsored by the Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia.

1. UVOD

Prema dosadašnjim spoznajama Hrvatska ima značajan geotermijski potencijal koji je smješten u njenom sjevernom, panonskom prostoru. U tom prostoru gustoća toplinskog toka koji iz zemljine unutrašnjosti dolazi na površinu iznosi od 60 do 100 mWm² (JELIĆ et al., 1995). Vrijednosti gustoće toplinskog toka koje su veće od 80 mW/m² u Europi predstavljaju pozitivnu anomaliju površinske gustoće toplinskog toka (ČERMAK & RYBACH, 1979; HURTIG et al., 1992; KOVAČIĆ, 1995). Prema tom kriteriju, u sjevernom dijelu Hrvatske postoje veliki prostori koji se mogu okarakterizirati kao pozitivne geotermijske anomalije. Istraživanjem korištenja geotermalnih voda utvrđeno je da je geotermijski potencijal u Republici Hrvatskoj samo djelomično istra-

žen i iskorišten (KOVAČIĆ & PERICA, 1998). S obzirom na različite temperature i kemizam geotermalnih voda one bi se u Hrvatskoj mogle koristiti na mnogo različitih načina: za proizvodnju električne energije, za zagrijavanje i hlađenje, u sportu, turizmu i rekreaciji te u medicini i različitim industrijskim procesima (KOVAČIĆ & JELIĆ, 1999). Sukladno svjetskom trendu da se poveća korištenje "alternativnih", obnovljivih energetskih izvora i u Republici Hrvatskoj se može u budućnosti očekivati veći interes za korištenje njenog geotermijskog potencijala. Cilj ovog rada je opisati dosadašnja geotermijska istraživanja kod nas i analizom utvrditi postojeće stanje. Zbog preglednosti prikaza i različite prirode pojedinih geotermijskih istraživanja ona su ovdje prikazana u dvije grupe. Obje te grupe istraživanja neraskidivo su povezane i međusobno ovisne, ali su

im ciljevi i način financiranja drugačiji. Fundamentalna istraživanja su usmjerena na spoznavanje općih geotermijskih zakonitosti i činjenica i financiraju se iz državnih proračuna ili iz posebnih fondacija, a primijenjena istraživanja poduzimaju se s ciljem pridobivanja geotermalne energije ili vode, odnosno zbog stjecanja profita i financiraju ih profitne organizacije ili eventualno država kao razvojne projekte.

2. TEME GEOTERMIJSKIH ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ

Za vrijeme dok je Hrvatska bila u sklopu Austro-ugarske na njenom području obavljala su se geotermijska istraživanja sličnog sadržaja i obujma kao i u drugim dijelovima monarhije i Europe. Za vrijeme Kraljevine Jugoslavije i socijalističke Jugoslavije intenzitet istraživanja se smanjio i Hrvatska je poprilično zaostala za Europom, kako po primjeni suvremenih istraživačkih metoda tako i po razini spoznaje o geotermijskim značajkama svog prostora. Najbolji pregled objavljenih radova u svezi s geotermijskim istraživanjima u Hrvatskoj od prvih pisanih radova do 1975. godine može se naći u bibliografiji pod naslovom Mineralne i geotermalne vode SR Hrvatske (IVEKOVIĆ & PEROŠ, 1981). O geotermijskim istraživanjima u Hrvatskoj u posljednjih dvadeset i pet godina objavljeno je relativno malo radova. Najveći broj tih radova su pregledni i stručni radovi, dok originalnih znanstvenih radova koji sadrže sve potrebne dijelove od primijenjenih istraživačkih metoda, rezultata istraživanja, analiza, diskusije do zaključaka ima vrlo malo. U nastavku se kao ilustracija pojedinih tema geotermijskih istraživanja spominju najnoviji i najznačajniji od tih radova, bez obzira na njihovu kategorizaciju. Ne spominju se disertacije i magistarski radovi, jer su njihovi dijelovi većinom objavljeni kasnije u časopisima. Istraživanja koja su opisivana u radovima često nisu bila financirana, već su plod znanstvene znatiželje i entuzijazma autora koji su iskoristili podatke proizašle iz drugih istraživanja. Zato je ovdje nemoguće potpuno korektno načiniti podjelu na fundamentalna i primijenjena istraživanja.

Usporedno s geotermijskim istraživanjima razvija se i zakonodavstvo u istraživanju i iskorištavanju geotermalnih voda i geotermalne energije (MATIŠA, 1998; FILIPAN, 1998; KOVAČIĆ, 1998a).

2.1. FUNDAMETALNA GEOTERMIJSKA ISTRAŽIVANJA

Objavljeni radovi prikazuju vrlo širok spektar struka i različitih interesa vezanih za geotermijska istraživanja. Radovi obuhvaćaju sljedeće teme:

- Gustoća zemljinog toplinskog toka i njena ovisnost o geološkoj građi (JELIĆ, 1982; KOVAČIĆ, 1995).
- Temperature i toplinski kapaciteti stijena i stacionarna geotermijska energija (JELIĆ, 1987a, b).

- Geotermijske značajke cjelokupnog ili dijelova prostora Hrvatske (JELIĆ et al., 1995; ČUBRIĆ, 1993).
- Geotermijski potencijal Hrvatske ili pojedinih njenih dijelova (KOLBAH et al. 1995; KOVAČIĆ & PERICA, 1998; KOVAČIĆ & JELIĆ, 1999).
- Temperaturni uvjeti u plitkom podzemlju (JELIĆ & KEVRIĆ, 1997; KOVAČIĆ, 1986, 1987).
- Geološka uvjetovanost pojava izvora geotermalnih voda (CRNKO et al., 1998; DRAGIČEVIĆ et al., 1998; ŠIMUNIĆ & HEĆIMOVIĆ, 1998).
- Kemizam geotermalnih voda (ĐUROKOVIĆ et al., 1998; KOVAČIĆ et al., 1998; MAROVIĆ & SENČAR, 1998).
- Prostorno planiranje s obzirom na geotermijske resurse (KOLBAH & RADIĆ, 1984; TURNŠEK, 1998).
- Medicinski i tehnološki aspekti iskorištavanja geotermalnih voda i dr.

Sada se u Hrvatskoj radi na dva znanstveno-istraživačka projekta koji se u potpunosti ili jednim dijelom bave fundamentalnom geotermijskom problematikom. Oba projekta financira Ministarstvo za znanost i tehnologiju RH.

Znanstveno-istraživački projekt "Geotermijska karta Republike Hrvatske" bavi se isključivo geotermijskom problematikom. Temeljni cilj tog projekta je utvrditi sve značajke zemljinog toplinskog polja na području Hrvatske te ga prikazati na kartama i opisati u tumaču. Da bi se postigao zacrtani cilj provodi se niz istraživačkih aktivnosti kojima se istražuju:

- izvori geotermalne vode te geološko-strukturalna, hidrogeološka i geotermijska uvjetovanost njenog pojavljivanja na površini;
- kemizam geotermalnih voda, makro- i mikro-elementi te izotopni sastav;
- temperature formacija i promjena temperatura s dubinom - geotermijski gradijenti;
- toplinska provodljivost stijena i formacija;
- načini prijenosa topline kroz formacije - kondukcija i konvekcija topline;
- gustoća kondukcijskog i konvekcijskog toplinskog toka kroz formacije;
- gustoća toplinskog toka koji iz unutrašnjosti Zemlje dotječe na njenu površinu u području Hrvatske - gustoća zemljinog toplinskog toka;
- geološko-strukturalna, hidrogeološka, litološka i geotermijska uvjetovanost zemljinog toplinskog polja na području Hrvatske.

Na znanstveno-istraživačkom projektu "Geotermijska karta Republike Hrvatske" angažirana su dva istraživača, što je za tako sveobuhvatan i ambiciozan projekt premalo. U svezi projekta u protekle četiri godine objavljeno je 13 radova (INTERNET).

Znanstveno-istraživački projekt "Geofizička istraživanja u geologiji i rudarstvu" također financira Ministar-

rstvo za znanost i tehnologiju RH. U tom projektu se između ostalih geofizičkih istraživanja spominje i istraživanje geotermalnih voda geofizičkim metodama. U sklopu projekta u zadnje četiri godine objavljena su tri rada s geotermijskom problematikom.

2.2. PRIMIJENJENA GEOTERMIJSKA ISTRAŽIVANJA

Što je sve predmet i koji su rezultati primijenjenih geotermijskih istraživanja u Hrvatskoj nije moguće točno utvrditi i to zbog toga što je o njima objavljeno relativno malo radova. Brojni podaci o tim istraživanjima pohranjeni su u fondovima dokumentacije istraživačkih organizacija i nikad nisu znanstveno obradeni i objavljeni. U radovima koji su objavljeni, sadržaj primijenjenih geotermijskih istraživanja je sljedeći:

- Istraživanja i proizvodnja geotermijske energije (ČUBRIĆ, 1987; BOŠNJAK, 1998).
- Procjena geotermijskih potencijala pojedinih ležišta (ČUBRIĆ, 1984).
- Tehnologija proizvodnje geotermalne energije (ČUBRIĆ et al., 1984; NOVAK 1998).
- Metode istraživanja geotermalnih vodonosnika (KOVACIĆ, 1998b, 1999a; KOVAČIĆ et al., 1998).

3. ANALIZA STANJA GEOTERMIJSKIH ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ

Iako je Hrvatska u području koje je bogato prirodnim uvjetima za korištenje geotermijske energije, ne možemo se pohvaliti brojnošću radova o geotermijskim istraživanjima. Na temelju usporedbe nekoliko stotina znanstvenih i stručnih radova objavljenih u svijetu i kod nas u posljednjih 25 godina može se zaključiti da su geotermijska istraživanja u Hrvatskoj i po količini i po kakvoći ispod razine većine zemalja koje su nam geografski blizu. Pokazatelj toga je primjerice nedostatak geotermijskih podataka s naših područja u računalnoj bazi podataka *A New Global Heat Flow Compilation* (POLLACK et al., 1991). Broj podataka u bazi iz nekoliko nama geografski bliskih zemalja je sljedeći: Albanija 0, Austrija 58, Bugarska 97, Češka i Slovačka 245, Mađarska 28, Italija 108 i Rumunjska 257, zemlje s područja bivše Jugoslavije 0 podataka (KOVAČIĆ, 1999b). Također dobar primjer je sudjelovanje na World Geothermal Congress 2000 u Japanu, gdje su naravno, najzastupljeniji domaćini s 169 radova, a slijede druge razvijene zemlje (USA 86, N. Zeland 57 itd.). Iz nama geografski bliskih zemalja također su prijavljeni radovi: iz Austrije 1, Bugarske 4, Italije 13, Makedonije 8, Rumunjske 11, Slovačke 3, Slovenije 1 i iz Jugoslavije 3 rada. Iz Hrvatske nije prijavljen niti jedan rad iako ima ljudi koji bi mogli i željeli prezentirati našu geotermiju na skupu. Jedinu razlog za neprisutnost Hrvatske na skupu je nedostatak novca.

Postoji više uzroka zbog kojih je Hrvatska u Europi po količini i kakvoći geotermijskih istraživanja na sam-

om dnu iako bi po geotermijskom potencijalu trebala biti pri vrhu. Najvažniji uzroci tog stanja su:

- nepostojanje zakonske regulative u području geološke djelatnosti zbog čega se ne prikupljaju potrebni podaci za geotermijska istraživanja na način kako se to radi u drugim zemljama (KOVAČIĆ, 1998a);
- vrlo niska razina znanja o geotermiji unutar geološke struke, a i općenito (nekada studenti geologije o geotermiji na studiju nisu uopće bili informirani, a danas dobivaju nedovoljno informacija);
- nepoštivanje znanosti i znanja općenito, a u okviru toga i nepoštivanje geotermije kao geološke discipline (primjerice geotermijskim istraživanjima bave se specijalisti drugih disciplina, a ne geotermičari - posljedica takvih nestručnih istraživanja su nekvalitetni rezultati istraživanja);
- nedostupnost rezultata geotermijskih istraživanja (iz gore navedenih razloga mnogi istraživači vjerojatno i nemaju što objaviti);
- vrlo mala sredstva koja se ulažu u fundamentalna istraživanja (u 1999 g. za materijalne troškove na jednom geotermijskom projektu kojeg financira Ministarstvo znanosti i tehnologije RH nije utrošena niti jedna kuna);
- stručnjaka i znanstvenika sposobnih za izvođenje geotermijskih istraživanja ima vrlo malo što je posljedica svega gore navedenog.

4. ZAKLJUČCI

Na temelju iznesnih podataka i njihove analize o stanju geotermijskih istraživanja u Republici Hrvatskoj mogu se donijeti sljedeći zaključci:

- Republika Hrvatska ima značajan geotermijski energetski potencijal.
- Za razliku od većine drugih "geoloških" resursa u Hrvatskoj, geotermijska energija nije dovoljno istražena i iskorištena.
- Geotermijska energija bi se u Hrvatskoj mogla koristiti na mnogo različitih načina (proizvodnja električne energije, zagrijavanje i hlađenje, u sportu, turizmu i rekreaciji, u medicini i različitim industrijskim procesima).
- U radovima koji su objavljeni o geotermijskim istraživanjima u Hrvatskoj obuhvaćene su mnoge teme kojima se bavi i geotermija u svijetu, što je dobar temelj uspješnog razvoja takvih istraživanja kod nas.
- Većina radova koji su objavljeni o geotermijskim istraživanjima u Hrvatskoj su rezultat entuzijazma autora, a ne sustavnog, financiranog istraživanja.
- Fundamentalna geotermijska istraživanja u Hrvatskoj nekad su se slabo financirala, a danas se gotovo uopće ne financiraju.
- Zbog neodgovarajućeg financiranja fundamentalnih geotermijskih istraživanja Hrvatska je po primjeni

suvremenih istraživačkih metoda i po razini spoznaje o geotermijskim značajkama svog prostora ispod razine većine zemalja koje su joj geografski blizu.

- Fundamentalna istraživački projekt Geotermalna karta Republike Hrvatske otvara mogućnost dostizanja stupnja razvoja geotermijskih istraživanja koji je dosegnut u drugim europskim zemljama.
- Hrvatski fundamentalni geotermijski znanstveno-istraživački projekti nude mogućnost da se Hrvatska u dogledno vrijeme približi stupnju razvoja takvih istraživanja u drugim Europskim zemljama.

5. LITERATURA

- BOŠNJAK, R. (Ur.) (1998): Geoen, program korištenja geotermalne energije, prethodni rezultati i buduće aktivnosti.- Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb.
- CRNKO, J., JAMIČIĆ, D. & MRAZ, V. (1998): Geološki uvjeti za pojavu termalne vode u Daruvaru.- Hrvatske vode, 25, 401-410, Zagreb.
- ČERMAK, V. & RYBACH, L. (1979): Terrestrial Heat Flow in Europe.- Springer Verlag, Berlin.
- ČUBRIĆ, S. (1984): Procjena rezervi geotermalne energije u dijelu Zagrebačkoga geotermalnog ležišta.- Energija, 33/2, 131-135, Zagreb.
- ČUBRIĆ, S. (1987): Istraživanja i proizvodnja geotermijske energije.- Nafta, 11-12, 675-677, Zagreb.
- ČUBRIĆ, S. (1993): Power and energy of geothermal reservoirs in the Republic of Croatia.- Nafta, 44/9, 459-470, Zagreb.
- ČUBRIĆ, S., BABIĆ, D., SINOVČEVIĆ, Ž. & ŠAIĆ, Z. (1984): Kako uspoređivati kretanje hladnog fronta u geotermalnom ležištu.- Nafta, 1, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I., MIOŠIĆ, N. & GEREŠ, D. (1998): Mineralne i termalne vode područja Žepča (BiH).- Hrvatske vode, 25, 383-395, Zagreb.
- ĐUROKOVIĆ, Z., HANIČAR, D. & PETROVIĆ, M. (1998): Utjecaj korištenja geotermalnih voda Bizovačkih toplica na okoliš.- Hrvatske vode, 25, 417-421, Zagreb.
- FILIPAN, K. (1998): Mineralne i termalne vode i zakon o vodama.- Hrvatske vode, 25, 331-338, Zagreb.
- HURTIG, E., ČERMAK, V., HAENEL, R. & ZUI, V., (Ur.) (1992): Geothermal atlas of Europe.- GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- INTERNET: <http://www.mzt.hr/mzthrv/znanost/ptojekti/podr.htm#GEOZKANOSTI>.
- IVEKOVIĆ, H. & PEROŠ, R. (1981): Mineralne i termalne vode SR Hrvatske.- Jugosl. akad. znan i umjet 190 p., Zagreb.
- JELIĆ, K. (1982): Toplinski tok i Mohorovičićev diskontinuitet na profilu Sušac-Valpovo.- Savjetovanje o dosadašnjim rezultatima geofiz. ispitivanja raznih fenomena vezanih za proučavanje građe zemljine kore i gornjeg omotača na teritoriju Jugoslavije, Zbornik radova, 39-48, Skopje.
- JELIĆ, K. (1987a): Stacionarna geotermijska energija u Savskoj i Dravskoj potolini Panonskog bazena SR Hrvatske.- Nafta, 38, 330-340, Zagreb.
- JELIĆ, K. (1987b): Odnos temperature i toplinskog kapaciteta stijena u Panonskom bazenu SR Hrvatske.- Zbornik radova savjetovanja "Problematika istraživanja resursa geotermalne energije sa posebnim osvrtom na mjesto i ulogu geofizičkih metoda istraživanja", 191-204, Niška Banja.
- JELIĆ, K. & KEVRIĆ, I. (1997): "Plitka" geotermalna energija u Hrvatskoj.- 6. Forum - Dan energije u Hrvatskoj, Hrvatsko ener-
- getsko društvo i Ministarstvo znanosti i tehnologije, Zbornik radova, 181-190, Zagreb.
- JELIĆ, K., KEVRIĆ, I. & KRASIĆ, O. (1995): Temperature i toplinski tok u tlu Hrvatske.- 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 1, 245-249, Zagreb.
- KOLBAH, S & RADIĆ, J (1984): Poznavanje geotermičkih rezervoara i njihova uloga za prostorno i urbanističko planiranje.- Zbornik radova 8. Jug. simpozija o hidrogeol. i inženjerskoj geol., Budva.
- KOLBAH, S., ČUBRIĆ, S., ŠČURIC, S. & ŠEGO, B. (1995): Prilog za upotrebu hidrogeotermalnih resursa Hrvatske.- 1. Hrvatska konferencija o vodama, 2, 115-124, Dubrovnik.
- KOVAČIĆ, M. (1986): Godišnje oscilacije temperature tla i njihov značaj u plitkoj geotermometriji.- 9. kongres geologa Jugoslavije, 5, 193-200, Tara.
- KOVAČIĆ, M. (1987): Utjecaj kretanja podzemne vode na termičke karakteristike na dubini 4 m u području Bizovca kraj Osijeka (Hrvatska).- 9. Jugoslavenski simpozij o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, 1, 127-131, Priština.
- KOVAČIĆ, M. (1995): Prilog poznavanju gustoće površinskog toplinskog toka u širem području Zagreba.- 1. Hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 1, 303-306, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. (1998a): Geotermijska dopuna prijedlozima Zakona o geološkim djelatnostima.- Vijesti Hrvatskog geološkog društva, 35/2, 54-55, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. (1998b): Detekcija geotermalnih vodonosnika na temelju gustoća toplinskog toka.- Hrvatske vode, 25, 371-373, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. (1999a): Positioning the fluid collector on the ground of borehole geothermal analysis.- 2nd International Symposium on Petroleum Geology, Working materials, 38-42, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. (1999b): Zastupljenost Hrvatske u svjetskim bazama podataka Zemljinog toplinskog toka.- Vijesti Hrvatskog geološkog društva, 36/2, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M. & JELIĆ, K. (1999): Mogućnosti korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj.- 2. hrvatska konferencija o vodama, Zbornik radova, 883-886, Dubrovnik.
- KOVAČIĆ, M. & PERICA, R. (1998): Stupanj korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj.- Hrvatske vode, 25, 355-361, Zagreb.
- KOVAČIĆ, M., KAPELJ, S., PERICA, R. & HORVATINČIĆ, N. (1998): Exploration of geothermal waters in the area of Zagreb by hydrogeochemical methods.- International symposium on water management and hydraulic engineering, Proceedings, 1, 451-460, Dubrovnik.
- MAROVIĆ, G. & SENČAR, J. (1998): Ra 226 u termalnim i mineralnim izvorima u Republici Hrvatskoj.- Hrvatske vode, 25, 397-400, Zagreb.
- MATIŠA, Ž. (1998): Hrvatsko zakonodavstvo na području istraživanja i iskorištavanja mineralnih i geotermalnih voda.- Hrvatske vode, 25, 327-330, Zagreb.
- NOVAK, K. (1998): Tehničko-ekonomska analiza isplativosti korištenja geotermalne vode i dizalica topline u kompleksu Daruvarskih toplica.- Hrvatske vode, 25, 451-461, Zagreb.
- POLLACK, H.N., HURTER, S.J., & JOHNSON, J.R. (1991): A New Global Heat Flow Compilation.- <http://www.bgr.de/n114/dp/globalq/globhea.htm>
- ŠIMUNIĆ, A. & HEĆIMOVIĆ, I. (1998): Geološki vidovi pojave termalnih i mineralnih voda u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.- Hrvatske vode, 25, 345-353, Zagreb.
- TURNŠEK, M. (1998): Strategijsko planiranje i mogućnost prilagodbe korištenja i zaštite mineralnih i geotermalnih izvora.- Hrvatske vode, 25, 339-347, Zagreb.



Karst Research in the Last Decade (1990-1999) in Slovenia

Andrej KRANJC

Key words: Karst, Karst geology, Karst geomorphology, Slovenia.

Abstract

The paper is based on 104 works of karst geology and geomorphology published between 1991-1999. In these years many general works (encyclopaedia, geography atlas) including mentioned topics were published. There are special monographs (for example tectonics of Postojnska jama) also. The contents of the research can be grouped into geological and geomorphological research, study of karst underground and sediments in karst. The most of these studies are focused on Dinaric karst, less on the Alpine and the least on isolated karst. Majority of results were published in form of papers in Slovene magazines (77, in *Acta carsologica* 48 of them), others in monographs, proceedings of scientific meetings and in foreign magazines. About 40% of them are in Slovene language, others are English with one French exception.

INTRODUCTION

Since Slovenia and Croatia are independent states they have good relations related to scientific research. But all the same it is more difficult to follow what is going on in each country, it is more difficult to get acquainted with new scientific literature due to the fact that this is "foreign" literature. Therefore I decided to present to the Croatian colleagues recent karst research in Slovenia. Of course not all, but focused on geomorphological and geological research. To make the matter not too large and therefore unclear I only considered the researches directly linked to karst. For example geochemical research of carbonate rock can be very interesting but if not connected to some karst region they are not taken into consideration in my paper.

The base of my paper are published works, this means a bibliography, although in fact no such a bibli-

ography exists. I have taken into account published results and not the basic or applied researches realised through the projects which are not published or which are still in course. To prepare this paper 104 bibliographical units published between 1991-1999 were taken into account.

THE TOPIC

At the beginning I have to mention that in this period some basic, general and comprehensive works have been published, including important parts on karst, as result of karst research. As the first I have to mention *Enciklopedija Slovenije* (being published since 1987) where important entries on karst and karst phenomena are included, written by eminent specialists (ŠUŠTER-ŠIČ et al., 1991).

In 1998 "Nacionalni atlas Slovenije" (National Atlas of Slovenia) (FRIDL et al., 1998) was published, containing general maps (of carbonate rocks, of karst morphology, hydrology) and descriptions. Nearly in the same time two comprehensive geographical works about Slovenia appeared, "Slovenija. Pokrajine in ljudje" (PERKO & OROŽEN ADAMIČ, 1998) and "Geografija Slovenije" (GAMS & VRIŠER, 1998), both containing chapters on karst geology and geomorphology.

I have to mention that Scientific Research Centre (ZRC) SAZU founded its own publishing department primarily to publish important achievements of ZRC SAZU members. There are three important karstological works that have been published already: *Cave Rocky relief* (SLABE, 1993), *The bedding-plane impact on development of karst caves (an example of Velika dolina, Škocjanske jame caves)* (KNEZ, 1994) and *Tectonic Structure of Postojnska jama Cave System* (ŠEBELA, 1995b). Some monographs on smaller karst regions were published, for example *Slovene Classical Karst - Kras* (KRANJC, 1997) and *Water richness of the High Karst* (JANEŽ et al., 1997), including detailed geological and geomorphological sections.

To be more clear I divided the researches in the following groups: geological and geomorphological research, study of karst underground and study of sediments on karst.

In the frame of geological researches there are structural geological and macrotectonical studies related to Idrija and Sava faults (PLACER, 1997a, 1999), to speleogenesis due to tectonics (ŠEBELA, 1997) and specially due to bedding planes (inception theory) (KNEZ, 1997), researches dealing with impact of lithology on morphology (GAMS, 1997), the influence of geological factors on the distribution of karst phenomena (JANEŽ, 1994), photo-interpretation of tectonical elements (ŠEBELA, 1995a), and palaeokarst studies (OTONIČAR, 1997).

In the frame of geomorphological research besides basic studies the geomorphological classification was done (HABIČ, 1991), relief research regarding palaeoseismicity (GAMS, 1995), Quaternary surface evolution research (GAMS, 1992), research of collapsing (on the surface and underground) (PAVŠEK 1996), contact karst research (MIHEVC, 1994), theoretical study of karst development (ŠUŠTERŠIČ, 1999), karst poljes research (typology, origin, connection with caves, human impact on poljes' morphology) (KRANJC, 1995), and research of smaller karst forms (dolines, collapsed dolines).

Important part of the treated research is represented by study of karst underground, as are speleomorphological researches, research of interaction between the climate and karst underground development, speleogenetical research, roofless caves research (GERŠL et al., 1999), research of caves without natural entrance, research of phreatic channels (KNEZ, 1994), rocky relief in the caves, scallops in particular (SLABE, 1993).

The research of sediments in karst mostly dealt with non-consolidated sediments (ZUPAN-HAJNA, 1992), speleothems (deposition, fall-down, climatic impact on speleothems, absolute dating) (GAMS & KOGOVIŠEK 1998; KRANJC et al., 1992; KRANJC, 1999b; ZUPAN, 1991), and palaeomagnetism.

REGIONAL DISTRIBUTION OF THE RESEARCH

During the last ten years the karst research took place practically in the whole Slovenia, this means Alpine, Dinaric and isolated karst. Of course, some regions were studied much more intensively than the others. Some studies took for the object karst in whole Slovenia, comprehensive overview of the Slovene karst (PERKO, 1994), while the others were regionally more restricted.

Research of the Alpine karst was focused on Julian Alps. From Karavanke Mts. only few researches were done in the eastern part, these are Peca Mt. (PLACER, 1997b) and Ljubija headwater (NOVAK, 1991). Research in Julian Alps are more scattered, from the Upper Sava valley (Vršič pass) (KUNAVER, 1991) to Soča valley (Zadlaška jama) (KNEZ & SLABE, 1999), from Jelovica plateau (ZUPAN HAJNA, 1995) in the east to Mangart Mt. (PAVŠEK, 1996) in the west. The researches

were the most intensive on the western side of the Soča river, on high plateau of Kanin (GABROVŠEK, 1997) and in the catchment areas of the Moznica (ČAR & JANEŽ, 1992) and the Učja streams (ČAR & PIŠLJAR, 1993).

Much more researches were done in Dinaric karst, which is understandable. Some studies were carried on for this part of Slovene karst as a whole (general overview, karst poljes study) (GAMS, 1994), while the most of them treated smaller regions. In the frame of Visoki kras (High Karst) the most intensive research took place on the plateau of Trnovsko-Banjška planota (PETRIČ, 1997). On the karst of Notranjsko the study included larger regions (Notranjsko podolje, Javorniki and Snežnik Mts.) (ZUPAN HAJNA, 1997) as well as single phenomena in the vicinity of Postojna (Postojnska jama and Planinska jama, Jama pri Predjami) (ŠEBELA & SASOWSKY, 1999; ŠEBELA, 1996) and on Logaški ravnik corrosion plain. I have to mention that 14 bibliographical units are focused on Postojnska jama cave system. Karst of Dolenjsko was less studied, researches included the land of Kočevsko and Županova jama (GAMS & KOGOVIŠEK, 1998). A lot of researches were dedicated to the country called Kras. The results were published in two monographs (KRANJC, 1997, 1999a). Applied researches were connected to motorway construction over Kras (SLABE, 1996). Other researches were done in the quarries of Črnotiče (BOSAK et al., 1999), on Kraški rob, Podgrajsko podolje and in Škocjanske jame and its close surrounding (KRANJC, 1994). Researches related to Škocjanske jame are published in 17 articles and out of them 8 are treating the influence of the bedding-planes on the development of cave passages.

The least of the research work was dedicated to isolated karst, there is only one detailed study of Kozjansko region (POLŠAK, 1994).

PUBLICATIONS

As a conclusion I would like to mention in which publications the mentioned researches were published. 14 of them make part of monographs (books, including 5 entries in "Enciklopedija Slovenije") from which 13 have been published in Slovenia and one abroad. 9 papers have been published in the proceedings (non-serial publication) of Slovene and international scientific meetings. Out of remaining papers 77 have been published in Slovene magazines and only 5 of them in others (Cave & Karst Science, IGCP Newsletter, Environmental Geology, Kras i speleologia). Among Slovene magazines the most important is Acta carsologica - Krasoslovni zbornik (48 papers), Annales and Geografski zbornik have published 5 papers each, and others 9 magazines (Geografski obzornik, Geografski vestnik, Geologija, Kras, Naše jame, Proteus, Rudarsko metalurški zbornik, Ujma). However, this does not mean that

most part of papers have been published in Slovene language; such are 44 while all the others are in English language with one exception in French.

REFERENCES

- BOSAK, P., MIHEVC, A., PRUNER, P., MELKA, K., VENHODOVA, D. & LANGROVA, A. (1999): Cave fill in the Črnotiče quarry, SW Slovenia: palaeomagnetic, mineralogical and geochemical study.- *Acta carsologica*, 28/2, 15-39, Ljubljana.
- ČAR, J. & JANEŽ, J. (1992): Strukturno-geološke in hidrogeološke razmere izvirov Možnice.- *Acta carsologica*, 21, 81-96, Ljubljana.
- ČAR, J. & PIŠLJAR, M. (1993): Presek idrijskega preloma in potek doline Učje glede na prelomne strukture.- *Rudarsko-metalurški zbornik*, 40, 80-91, Ljubljana.
- FRIDL, J., KLADNIK, D., OROŽEN ADAMIČ, M. & PERKO, D. (eds.) (1998): Geografski atlas Slovenije: država v prostoru in času.- *DZS*, Ljubljana, 360 p.
- GABROVŠEK, F. (1997): The shaft Brezno pod Velbom.- *Acta carsologica*, 26, 315-320, Ljubljana.
- GAMS, I. (1992): Prispevek k mladokvartarni geomorfologiji v Zgor-njesavski dolini.- *Geografski zbornik*, 32, 8-49, Ljubljana.
- GAMS, I. (1994): Types of the poljes in Slovenia, their inundations and land use.- *Acta carsologica*, 23, 286-302, Ljubljana.
- GAMS, I. (1995): Relief kot vir rekonstrukcije paleoseizmičnosti na Slovenskem.- *Ujma*, 9, 160-162, Ljubljana.
- GAMS, I. (1997): Climatic and lithological influence on cave depth development.- *Acta carsologica*, 26, 321-336, Ljubljana.
- GAMS, I. & KOGOVŠEK, J. (1998): The dynamics of flowstone deposition in the caves Postojnska, Planinska, Taborska and Škocjanske, Slovenia.- *Acta carsologica*, 27/1, 299-324, Ljubljana.
- GAMS, I. & VRIŠER, I. (1998): Geografija Slovenije.- *Slovenska matica*, Ljubljana, 501 p.
- GERŠL, M., STEPIŠNIK, U. & ŠUŠTERŠIČ, S. (1999): The "unroofed cave" near the Bunker (Laški Ravnik).- *Acta carsologica*, 28, 77-90, Ljubljana.
- HABIČ, P. (1991): Geomorphological classification of NW Dinaric Karst.- *Acta carsologica*, 20, 135-164, Ljubljana.
- JANEŽ, J. (1994): Geological structure and hydrogeological position of the Hubelj spring.- *Reports 7. SWT*, 2, 1-4, Postojna.
- JANEŽ, J., ČAR, J., HABIČ, P. & PODOBNIK, R. (1997): Vodno bogastvo Visokega krasa.- *Geologija d.o.o., Idrija*, 167 p.
- KNEZ, M. (1994): Phreatic channels in Velika dolina, Škocjanske jame (Škocjanske jame caves, Slovenia).- *Acta carsologica*, 23, 64-72, Ljubljana.
- KNEZ, M. (1997): Karst cave development from the bedding-plane Point of View (Škocjanske jame Caves, Slovenia).- *Environmental Geology*, 24, 86-105, Utrecht.
- KNEZ, M. & SLABE, T. (1999): Origin and development of an old Alpine cave (Zadlaška jama, Julian Alps).- *Acta carsologica*, 28/1, 127-137, Ljubljana.
- KRANJC, A. (1994): Typical karst area - Škocjanske jame (Slovenia) and karst of Trnovski gozd.- In: YUAN, D. (ed.): *Newsletter, Geology: Climate, Hydrology and Karst Formation*. 36-40.
- KRANJC, A. (1995): Anthropogenic impacts on karst polje morphology in Slovenia.- *Cave and Karst Science*, 21, 51-53.
- KRANJC, A. (ed.) (1997): *Slovene Classical Karst - Kras*.- Založba ZRC, Ljubljana, 254 p.
- KRANJC, A. (ed.) (1999a): *Kras: pokrajina, življenje, ljudje*.- Založba ZRC, Ljubljana, 321 p.
- KRANJC, A. (1999b): Speleothem fall (an example of a sudden stalactite collapse in Škocjanske jame).- *Acta carsologica*, 28/1, 201-214, Ljubljana.
- KRANJC, A., KOGOVŠEK, J. & ŠEBELA, S. (1992): Les concrétionnements de la Grotte de Škocjanske (Slovénie) et les changements climatiques.- In: SALOMON, J.N. & MAIRE, R. (eds.): *Karst et évolution climatique. Hommage à Jean Nicod*, 356-361.
- KUNAVER, J. (1991): H geomorfologiji dolomitnega prevala Vršič v Julijskih Alpah.- *Geografski vestnik*, 62 (1990), 79-98, Ljubljana.
- MIHEVC, A. (1994): Brkini contact karst.- *Acta carsologica*, 23, 100-109, Ljubljana.
- NOVAK, D. (1991): Izvir Libija in njegovo zaledje.- *Naše jame*, 33, 9-18, Ljubljana.
- OTONIČAR, B. (1997): Macroscopic paleokarstic features in Upper Cretaceous limestones of the Adriatic-Dinaric carbonate Platform (SW Slovenia).- *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology, Symposium 8: Karst Geomorphology*, Proceedings, 1, 417-420, La Chaux-de-Fonds.
- PAVŠEK, M. (1996): Skalni podor na Velikem Mangartu.- *Ujma*, 10, Jubilejna številka, 67-69, Ljubljana.
- PERKO, D. (1994): Relief aspects in Slovenia.- *Geografski zbornik*, 34, 120-147, Ljubljana.
- PERKO, D. & OROŽEN ADAMIČ, M. (eds.) (1998): *Slovenija. Pokrajine in ljudje*.- *Mladinska knjiga*, Ljubljana, 735 p.
- PETRIČ, M. (1997): Trnovsko-Banjška planota Plateau and surroundings.- *Acta carsologica, Supplementum*, 26/1, 36-55, Ljubljana.
- PLACER, L. (1997a): O premiku ob Savskem prelomu.- *Geologija*, 39(1996), 283-287, Ljubljana.
- PLACER, L. (1997b): Pecin nariv ob Periadriatskem lineamentu.- *Geologija*, 39(1996), 289-302, Ljubljana.
- PLACER, L. (1999): Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides.- *Geologija*, 41(1998), 223-255, Ljubljana.
- POLŠAK, A. (1994): Nekateri geološki značilnosti Kozjanskega.- *Geografski obzornik*, 41, 12-16, Ljubljana.
- SLABE, T. (1993): Fasete, pomembna sled oblikovanja in razvoja kraških votlin.- *Acta carsologica*, 22, 140-177, Ljubljana.
- SLABE, T. (1996): Karst features in the motorway section between Čebulovica and Dane.- *Acta carsologica*, 25, 221-240, Ljubljana.
- ŠEBELA, S. (1995a): Aerophoto interpretation of geological structures on the surface above the Predjama cave.- *Acta carsologica*, 24, 511-521, Ljubljana.
- ŠEBELA, S. (1995b): The importance of geological structure for development of cave entrances in Postojna region.- In: *Caves and Man. International Symposium on the occasion of the 70-th anniversary opening to the public of the Demänovska cave of Liberty*. Proceedings, 27-29, Liptovsky Mikuláš.
- ŠEBELA, S. (1996): The influence of tectonic zones on cross section formations in the Predjama cave, Slovenia.- *Kras i speleologia*, 17, 72-77, Katowice.
- ŠEBELA, S. (1997): Development of cave passages according to geological structure; Example from Jama pod Pečno rebrijo, Slovenia.- *12th International Congress of Speleology, Symposium 7: Physical Speleology*, Proceedings, 1, 113-116, La Chaux-de-Fonds.
- ŠEBELA, S. & SASOWSKY, I.D. (1999): Age and magnetism of cave sediments from Postojnska jama cave system and Planinska jama cave, Slovenia.- *Acta carsologica*, 28, 293-305, Ljubljana.
- ŠUŠTERŠIČ, F. (1999): Vertical zonation of the speleogenetic space.- *Acta carsologica*, 28/2, 187-201, Ljubljana.

- ŠUŠTERŠIČ, F., GAMS I. & PLENIČAR, M. (1991): Kras.- In: Enciklopedija Slovenije, 5 (Kari-Krei), Mladinska knjiga, 398-399, Ljubljana.
- ZUPAN, N. (1991): Flowstone datations in Slovenia.- *Acta carsologica*, 20, 189-204, Ljubljana.
- ZUPAN-HAJNA, N. (1992): Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa.- *Acta carsologica*, 21, 117-130, Ljubljana.
- ZUPAN HAJNA, N. (1995): Geološka podoba Lipniške doline.- In: Kroparski zbornik. Ob 100-letnici Plamena (1894-1994), 30-38, Kropa-Radovljica.
- ZUPAN HAJNA, N. (1997): Karst depressions with precipited walls on the southern slope of Snežnik mountain, Slovenia.- *Acta carsologica*, 26, 397-407, Ljubljana.



Pregled rezultata vodoistražnih radova u Krapinsko-zagorskoj županiji

Survey Results of the Water Investigation in Krapinsko-Zagorska District

Marijan KRSNIK¹ & Vinko MRAZ²

Ključne riječi: Krapinsko-zagorska županija, vodoistražni radovi.

Key words: Krapinsko-zagorska district, Water investigations.

Sažetak

Nedostatak kvalitetne vode iz podzemlja u Krapinsko-zagorskoj županiji potakao je geofizička i hidrogeološka istraživanja dijelova karbonatnog masiva Ivanščice, Kuna Gore, Koštruna, Strahinjščice i obronaka Medvednice. Karbonatne vodonosne naslage su uglavnom dolomiti i dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasa podvrgnute intenzivnoj tektonskoj aktivnosti, što je rezultiralo sekundarnom, pukotinskom poroznošću i omogućilo infiltraciju vode u podzemlje i stvaranje vodonosnika.

Vodoistražni radovi u Krapinsko-zagorskoj županiji rezultirali su sa 327 l/s kvalitetne vode iz podzemlja.

Abstract

The lack of high quality fresh water from the underground in Krapinsko-zagorska district caused the geophysical and hydrogeological investigations of parts of carbonate rock masses of Ivanščica, Kuna Gora, Koštrun, Strahinjščica and the slopes of the Medvednica Mt. The carbonate water bearing layers are mainly dolomites and dolomite breccias of Middle to Upper Triassic submitted to the intense tectonic activity which resulted in secondary, joint porosity and enabled water infiltration in the underground and the formation of ground water storage.

Water investigations in Krapinsko-zagorska district resulted in 327 l/s of high quality fresh water from the underground.

UVOD

Vodoopskrba Krapinsko-zagorske županije ne zadovoljava zahtjeve, poglavito u ljetnim mjesecima kada se osjeća nestašica vode. Narasle potrebe stanovništva za pitkom vodom rješavaju se kaptažama izvora male izdašnosti i izgradnjom lokalnih seoskih vodovoda, kupovanjem i uvozom vode iz Republike Slovenije (Hum na Sutli i okolica), te glavnim vodoopskrbnim sustavom "Zagorski vodovod" - Izvorište Lobor.

Zagorski vodovod kod Lobora zahvaća vodu iz karbonatnog masiva Ivanščice na izvorištima Šumeci, Škrabotnik i Koprivnjak. Ova se voda cjevovodom doprema do uređaja za kondicioniranje kod Lobora. Osim ovih izvorskih voda djelomično su zahvaćeni i površinski vodotoci Reke i Račkog potoka.

Navedeni zahvati površinskih i izvorskih voda podložni su znatnim kolebanjima protoka tijekom godine, onečišćenju i zamućenju prigodom nailaska većih vodnih valova, eksploatacije šuma i obrade poljoprivrednih površina, a uvoz vode iz susjedne Slovenije je zbog ekonomskih razloga upitan.

Rješenje vodoopskrbe Krapinsko-zagorske županije iz savskog aluviona - crpilišta "Šibice" kod Zaprešića nije realizirano zbog obimnosti tog projekta i pitanje je da li će se realizirati. U međuvremenu pristupilo se geofizičkim i hidrogeološkim istražnim radovima sa ciljem definiranja vodoopskrbnog potencijala dijela Zagorske regije, a koji prema prethodnim hidrogeološkim saznanjima nije mali. To je potaklo geofizička i hidrogeološka istraživanja karbonatnih masiva u Krapinsko-zagorskoj županiji sa ciljem zahvaćanja dodatnih količina podzemne vode. Vodoistražni radovi provedeni su od strane Instituta građevinarstva Hrvatske i Instituta za geološka istraživanja. Do 1992. godine vodoistražne radove u Krapinsko-zagorskoj županiji radili su zasebno, a nakon 1992. godine započinju zajedničke sustavne vodoistražne radove.

U okviru geofizičkih istraživanja korištene su metode geoelektričnog sondiranja i geoelektričnog profiliranja LIS metodom (Lund Imaging System). Te metode temelje se na razlikama u električnim svojstvima tala i stijena na ispitivanom području u cilju prognoziranja sastava podzemlja. Geoelektrično sondiranje rađeno je

¹Institut građevinarstva Hrvatske, Rakušina 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

Schlumbergerovim rasporedom, a geoelektrično profiliranje LIS metodom je multielektrodni sistem za dvodimenzionalno mjerenje podzemlja, koji koristi Wennerov raspored elektroda.

Hidrogeološki istražni radovi obuhvatili su hidrogeološko kartiranje odabranih lokaliteta na topografskim podlogama M 1:5000, uključujući strukturno-geološku analizu, definiranje osnovnih rasjednih sistema i blokova koji formiraju hidrogeološke cjeline. Osim toga, definirani su litostratigrafski sastav, površinsko i dubinsko rasprostiranje vodonosnih naslaga, izdvojene nepropusne, pretežito klastične od karbonatnih stijena kao potencijalnih vodonosnika. U okviru istraživanja uspostavljen je hidrogeološki monitoring (mjerenja izdašnosti, oscilacija razina/pritisaka podzemnih voda, temperatura, kemijskog sastava) na odabranim izvorima i vodotocima.

Podaci dobiveni provedenim hidrogeološkim, geofizičkim, strukturno-geološkim i hidrogeokemijskim istraživanjima bili su podloga izradi projekata zahvata podzemnih voda na odabranim lokacijama.

HIDROGEOLOŠKE I GEOFIZIČKE ZNAČAJKE

Glavni vodonosnik u Krapinsko-zagorskoj županiji su karbonatne stijene masiva Ivanščice, Kuna Gore, Kostruna i Strahinjščice. To su pretežito dolomiti i dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasa koje su bile podvrgnute intenzivnoj tektonskoj aktivnosti. Osnovna im je hidrogeološka značajka sekundarna, pukotinska poroznost, koja u zonama jače razlomljenosti i okršenosti omogućava infiltraciju površinskih voda u podzemlje i formiranje vodonosnika.

Jaka tektonska aktivnost dovela je do velike litološke raznolikosti, brojnih rasjednih zona na relativno maloj površini, strmih kontakata litoloških članova, pojava toplih voda povišene mineralizacije i razvedenog reljefa. Iz tih razloga postoji veliki raspon izmjerene otpornosti dolomitnog vodonosnika koja se kreće od 87 (14) Wm do 3900 Wm. Prosječna otpornost dolomita i dolomitnih breča je od 800 Wm do 1300 Wm. Velike

razlike otpornosti jako su otežavale jednoznačnu interpretaciju hidrogeoloških i geofizičkih podataka te je bila potrebna dobra suradnja geofizičara i hidrogeologa da bi se smanjile moguće pogreške u interpretaciji.

Nakon izvedbe istražnih bušotina i determinacije nabušene jezgre, urađena je po potrebi reinterpetacija geofizičkih i hidrogeoloških podataka što je rezultiralo točnijom i smionijom interpretacijom u sljedećim istražnim radovima.

POSTIGNUTI REZULTATI

Dugogodišnja suradnja geofizičara i hidrogeologa na vodoistražnim radovima u Krapinsko-zagorskoj županiji, uz korištenje fonda podataka ranijih radova, rezultirala je zahvaćanjem 327 l/s vode iz karbonatnih vodonosnika s najizdašnijim bušotinskim zahvatom u županiji kod Lobora: zdencem LO-5 s arteškim preljevom od 70 l/s i pritiskom na ušću bušotine od 9,5 bara.

Ovim količinama treba dodati i 60 l/s izvorske vode Belečke Selnice kaptirane za vodoopskrbu istočnog dijela županije, što zajedno s bušotinskim zahvatima daje približno 400 l/s podzemne vode iz gorskih vodonosnika.

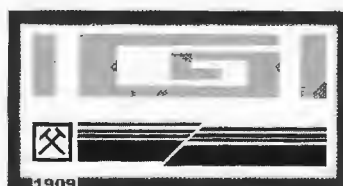
Treba naglasiti iznimnu kakvoću ovih voda, posebice u odnosu na vode iz savskog aluvija opterećene stvarnim i potencijalnim onečišćenjima i tehničko-ekonomskim zahtjevima u dopremi i distribuciji.

Rezultati provedenih istraživanja na području Krapinsko-zagorske županije potvrdili su koncepciju o mogućnosti zahvata podzemnih voda gorskih karbonatnih vodonosnika sa ciljem poboljšanja vodoopskrbe ovog dijela Hrvatskog zagorja. Istražni radovi koji se provode od strane Instituta građevinarstva Hrvatske i Instituta za geološka istraživanja još su u tijeku, a sažetak svih dosadašnjih rezultata vodoistražnih radova u Krapinsko-zagorskoj županiji prikazan je u tablici 1 (podaci su pohranjeni u fondovima stručne dokumentacije Instituta građevinarstva Hrvatske i Instituta za geološka istraživanja, Zagreb).

	LOKALITET	OZNAKA BUŠOTINE	GODINA istraživanja bušenja	DUBINA (m) do vodonosnika bušotine	VODONOSNIK naslage otpornost (W m)	Q (l/s) samoistjecanje crpljenje	ISTRAŽNI RADOVI
1	PODGORA KRAPINA	KB - 1	1979 / 81 1982	84 220,6	DOLOMIT > 500	18 25	IGI
2	PODGORA KRAPINA	KB - 2	1979 / 81 1983	8 252,6	DOLOMIT > 500	5,2 25	IGI
3	RADOBOJ	B - 2	1991 1992	2,8 41,8	DOLOMIT 450 - 1500	2,3 4	IGH
4	RADOBOJ	B - 3	1991 1992	3 70,5	DOLOMIT 450 - 1500	3,8 10	IGH
5	STUBIČKE TOPLICE	B - 1	1991 1991	5,5 21	LITAVAC 108 - 205	4,7	IGH IGI
6	KOSTEL	KO - 1	1992 1993	107 173	DOLOMIT 1050 - 1110	6	IGH IGI
7	DESINIĆ	B - 1	1994 1995	11 100	DOLOMIT 630 - 1960	7	IGH
8	GROBOTEKI KRAPINA	KB - 3	1994 / 95 1995	69,5 172	DOLOMIT 580 - 705	28,5 39	IGH IGI
9	KOPRIVNICA ZAGORSKA		1996 1996	0 105	DOLOMIT 80 - 830	1	IGH IGI
10	GRABARI S. GOLUBOVEC	GB - 1	1994 1997	9,5 103	DOLOMIT 200 - 1720	10	IGH IGI
11	BEHINI S. GOLUBOVEC	STGO-1	1996 / 97 1998	57 131	DOLOMIT 610 - 3900	15	IGH IGI
12	DUGI JAREK LOBOR	LO - 1	1994 1995	9 117	DOLOMIT 300 - 1700	23	IGH IGI
13	DUGI JAREK LOBOR	LO - 2	1994 1996	0 138	DOLOMIT 460 - 2090	7	IGH IGI
14	DUGI JAREK LOBOR	LO - 3	1994 1997	0 120	DOLOMIT 370 - 820	6	IGH IGI
15	HARINA ZLAKA	HZL-1	1997 1998	0 151	DOLOMIT 87 (14) - 1810	45	IGH IGI
16	HARINA ZLAKA	HZL-2	1997 1998	0 76 (204)	DOLOMIT 130 - 970	15	IGH IGI
17	GORNJE JESENJE	GJ - 1	1998 1999	14 74	DOLOMIT 410 - 450	0,8 2,5	IGH IGI
18	LOBOR	LO - 4	1997 / 98 1999	0 136	DOLOMIT 430 - 1570	6,7 12,2	IGH IGI
19	LOBOR	LO - 5	1997 / 98 1999	214 244	DOLOMIT 2300 - 2860	70	IGH IGI
UKUPNO						327 l/s	

Tablica 1 Pregled rezultata vodoistražnih radova u Krapinsko-zagorskoj županiji.

Tables 1 Survey results of the water investigation of the Civil Engineering Institute of Croatia and the Institute of Geology in Krapinsko-zagorska District.





Hidrogeološka istraživanja vrulja u zaljevu Jurjevske Žrnovnice

Hydrogeological Explorations of the Vruljas in the Jurjevská Žrnovnica Bay

Mladen KUHTA & Anđelko NOVOSEL

Ključne riječi: krš, vrulje, Jurjevska Žrnovnica, oblik, izdašnost, salinitet.

Key words: Karst, Vruljas, Submarine springs, Jurjevská Žrnovnica, Shape, Yield, Salinity.

Sažetak

Vrulje Jurjevske Žrnovnice ubrajaju se u skupinu od pedesetak većih vrulja smještenih uz hrvatsku obalu Jadrana. Vodom se prihranjuju iz krškog vodonosnika formiranog u podzemlju planinskog masiva Velebita, a dokazana je i njihova povezanost s ponornim zonama rijeka Gacke i Like. Provedenim istraživanjima na užem području zaljeva Žrnovnice otkrivene su ukupno 52 veće vrulje. Broj, morfologija i položaj vrulja u zaljevu određeni su detaljnim pretraživanjem dna prilikom kojih je korištena moderna ronilačka oprema. Na osnovi podmorskog motrenja u različitim hidrološkim stanjima utvrđeno je samo 9 trajno aktivnih vrulja. Na osnovi procjene vrulje su razvrstane u tri kategorije izdašnosti, a najveću izdašnost imaju povremeno aktivne vrulje u sjevernom dijelu zaljeva. Mjerenja saliniteta ukazala su na složenost hidrodinamičkih uvjeta istjecanja podzemnih voda na razmatranim vruljama ali i na obližnjim izvorima.

Abstract

The vruljas (submarine springs) in the area of Jurjevská Žrnovnica are a part of a group of some fifty large vruljas located along the Adriatic Coast. They are supplied by water from a karst aquifer located within the Velebit mountain massive and its link with the swallow hole zones of the rivers Gacka and Lika have been proven. The investigation of the area of Žrnovnica bay resulted in the discovery of 52 larger vruljas. The number, the morphology and the position of the vruljas in the bay were determined by detailed exploration of the bay floor with the aid of modern diving equipment. On the basis of submarine observations performed during different hydrological conditions it was determined that only nine vruljas are permanently active. On the basis of an estimate vruljas were divided into three yield categories. The highest yield was observed in the intermittent vruljas located in the northern part of the bay. The salinity measurements indicate complex hydrogeological conditions of groundwater discharge in the studied vruljas as well as in nearby coastal springs.

UVOD

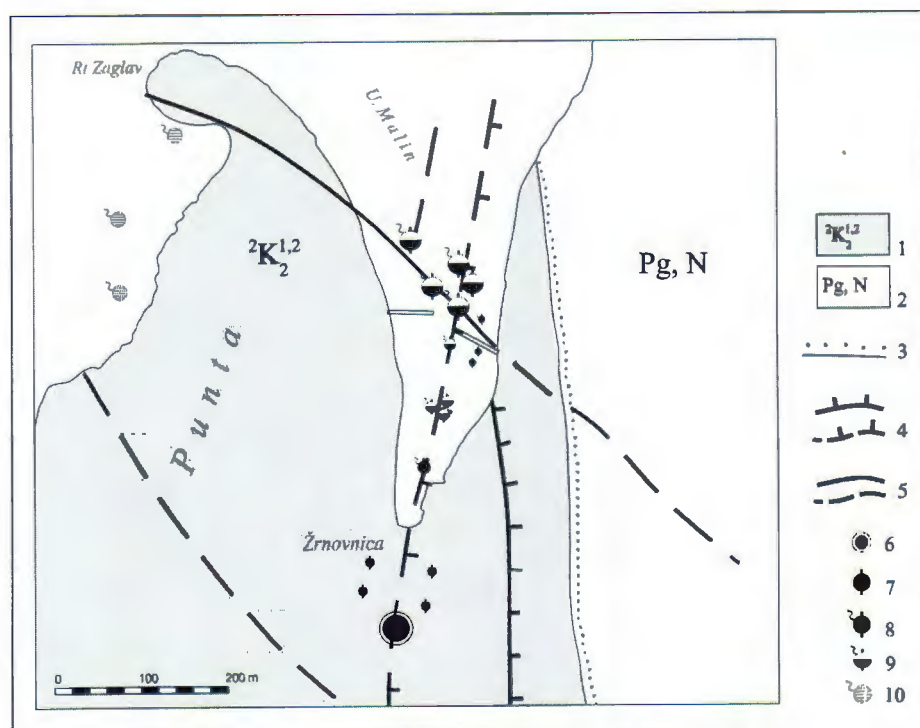
Vrulje su poseban submarinski tip subakvatičkih krških vrela (BOEGLI, 1978). Razvoj i postojanje podmorskih izvora slatke ili bočate vode najvećim dijelom je posljedica klimatskih promjena, odnosno pleistocenskih glacijacija, koje su uvjetovale promjenu globalne razine mora: Tijekom posljednjeg transgresivnog ciklusa koji traje od maksimuma würmskog glacijala, prije 25.000 godina, razina svjetskog mora podigla se za približno 100 m (ŠEGOTA, 1963, 1982), što je imalo za posljedicu podizanje razine osnovne erozijske baze i preplavlivanje prethodno okršanih dijelova nekadašnjeg kopna.

Vrulje su otkrivene širom svijeta: u Perzijskom zaljevu, New Yorku, Floridi, Kaliforniji, duž obala Meksika, Jamajke, Čilea te u Crnom moru, no najčešće su u području Mediteranskog bazena. Najizdašnije vrulje

nalaze se duž obala Libije, Izraela, Libanona, Sirije, Grčke, Španjolske, Italije i Hrvatske. U Hrvatskoj je registrirano pedesetak velikih vrulja te vrlo velik broj manjih vrulja. Od ukupnog broja tek se 10-20% vrulja nalazi na dubini od 10 do 50 metara dok je preostalih 80% smješteno do 10 metara dubine (BONACCI, 1987). Stvaran broj vrulja na Jadranu je nepoznat.

U skupinu velikih vrulja na Jadranu pripada i kompleks vrulja u zaljevu Malin kod Žrnovnice, u hidrogeološkoj literaturi poznate kao vrulje u Jurjevskoj Žrnovnici (Sv. Juraj). Pored vrulja, u zaleđu zaljeva nalazi se veći broj priobalnih izvora te kraći vodotok, koji se najvećim dijelom prihranjuje iz najudaljenijeg, te ujedno i najizdašnijeg priobalnog izvora.

U radu su izneseni rezultati novijih istraživanja i opažanja ovog hidrogeološkog sustava, provedenih u razdoblju od 1997. do 1999. godine. Broj, morfologija i položaj vrulja u zaljevu određeni su detaljnim pretraži-



Sl. 1 Geološka skica zaljeva Žrnovnice. Legenda: 1) vapnenci i vapnenačke breče; 2) vapnenačke breče, Jelar naslage; 3) diskordantna geološka granica; 4) reversni rasjed iz zone Velebitskog rasjeda; 5) normalni rasjed; 6) stalni izvor $Q > 50$ l/s; 7) stalni izvor $Q < 10$ l/s; 8) stalna vrućja; 9) povremena vrućja; 10) neistražena vrućja.

Fig. 1 Geological sketch of the Žrnovnica bay. Legend: 1) limestones and limestone breccia; 2) limestone breccia, the Jelar formation; 3) discordant geological boundary; 4) reverse fault from the Velebit fault zone; 5) normal fault; 6) perennial spring $Q > 50$ l/s; 7) perennial spring $Q < 10$ l/s; 8) perennial vrućja; 9) periodic vrućja; 10) unexplored vrućja.

vanjem dna, te mjerenjima i opažanjima, prilikom kojih je korištena moderna ronilačka oprema.

MORFOLOGIJA ZALJEVA

Zaljev Žrnovnica nalazi se 3 km južno od Sv. Jurja, na istočnoj obali Podvelebitskog kanala. Sa istočne strane omeđen je padinama Velebita, a sa zapadne poluotokom Punta. Longitudinalna os zaljeva generalno se pruža paralelno s obalom, odnosno smjerom sjever-jug, u dužini od 550 m. Zaljev je izrazitog "V" oblika. Južni (najuži) dio širine je 32 m, dok je na sjeveru, u razini rta Zaglav, širok 400 m. Na batimetrijskoj skici zaljeva primjetna je pravilnost morfologije morskog dna, koje se relativno kontinuirano produbljuje u smjeru sjevera, pri čemu su bočne padine podjednagog nagiba prema uzdužnoj osi zaljeva. Najveća dubina na sjevernom dijelu istraživanog područja iznosi 17 metara.

Prema geomorfološkoj klasifikaciji zaljev pripada ingresivno erozijskom tipu i nastao je preplavlivanjem doline u kršu, čiji se nepotopljeni dio i danas nalazi u južnom dijelu zaljeva. Dolinom protječe stalni vodotok dužine 130 m zbog kojeg dolina ima fluvijalni karakter s jasno izraženim akumulacijskim i erozijskim elementima.

GEOLOŠKA SITUACIJA

Zaljev Žrnovnice najvećim dijelom izgrađuju žućkasti, slabo uslojeni i dijelom brečasti vapnenci gornje krede (sl. 1). Na istočnom boku zaljeva, prekrivaju ih terciarne vapnenačke breče, odnosno Jelar naslage, ko-

je neposredno izvan užeg razmatranog područja tonu pod more. Dalje prema istoku, slijedi kompleks jurskih karbonatnih naslaga u građi Velebitskog masiva.

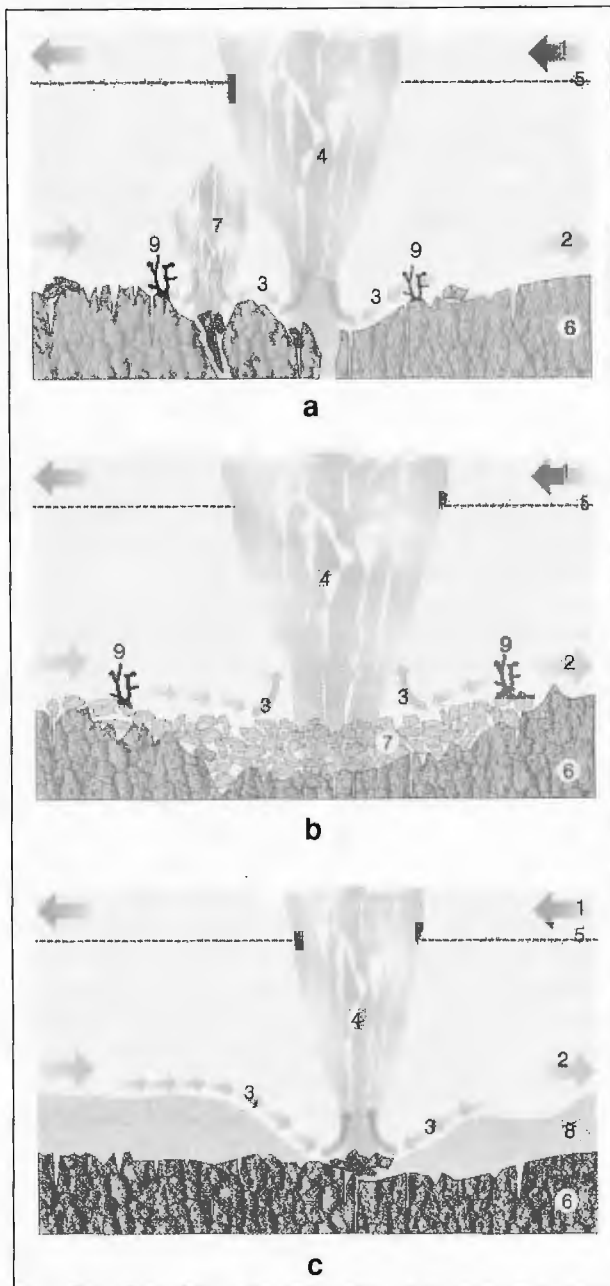
Strukturno tektonske značajke područja Žrnovnice temelje se na novijoj i opće prihvaćenju mobilističkoj koncepciji građe Dinarida (HERAK, 1986, 1991), na koju se izravno nadovezuju i tumačenja recentnih hidrogeoloških odnosa. Prema navedenoj koncepciji, zaljev se nalazi u zoni kontakta strukturnih kompleksa Jadranske karbonatne platforme (Adriatik) i Dinarske karbonatne platforme (Dinarik). Površinski ocrtni prikaz zone sučeljavanja navedenih strukturnih cjelina predstavlja zona tzv. Velebitskog rasjeda. Ovaj se tektonski diskontinuitet regionalnog karaktera i generalnog pružanja SZ-JI, sastoji od niza paralelnih reversnih rasjeda, koji se u podnožju sjevernog Velebita pružaju smjerom S-J.

Zaljev Žrnovnice formiran je uz istočni rubni rasjed spomenute tektonske zone. Kao posljedica takovog položaja osnovno obilježje razmatranom području daje intenzivna tektonska razlomljenost karbonatnih naslaga. Pored rasjeda i sustava tektonskih pukotina pružanja S-J, na području Žrnovnice izraženi su i diskontinuiteti pružanja SZ-JI, za koje se može pretpostaviti da imaju značajnu ulogu pri formiranju zona dotjecanja podzemnih voda u područje zaljeva. Tektonski diskontinuiteti spomenutih pružanja vidljivi su i u podmorju, gdje su duž njih formirane najznačajnije pukotinske vrućje.

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Vrućje i izvori u zaljevu Žrnovnice dio su šire zone istjecanja podzemnih voda iz masiva Velebita. Krški vodonosnik u dubini masiva prihranjuje se izravnom

infiltracijom oborina kroz okršene karbonatne stijene ali i površinskim vodama ličkih ponornica Gacke i Like.



Sl. 2. Shematski prikaz hidrodinamike i osnovnih tipova vrulja u zaljevu Žrnovnice: a) vrulje u pukotinama osnovne stijene; b) vrulje u akumuliranom kršju; c) vrulje u klastičnom sedimentu. Legenda: 1) površinsko strujanje bočate vode; 2) pridneno kompenzacijsko strujanje morske vode; 3) lokalno kompenzacijsko strujanje morske vode prema vrulji; 4) uzlazno gibanje bočate vode; 5) haloklina; 6) osnovna stijena; 7) akumulirano kršje; 8) klastični sediment; 9) prsten sesilnih organizama oko vrulje.

Fig. 2 Schematic review of the hydrodynamics and main types of vent in the Žrnovnica bay: a) vent in the fractures; b) vent in debris; c) vent in clastic sediment. Legend: 1) surface brackish water flow; 2) bottom compensation sea water flow; 3) local bottom compensation sea water flow toward the vent; 4) upward brackish water flow; 5) halocline; 6) bedrock; 7) accumulated debris; 8) clastic sediment; 9) ring of sessile organisms around vent.

Povezanost izvora u Žrnovnici s ponorima Like i Gacke dokazana je trasiranjima provedenim u okviru izrade hidrogeološke studije Like i Hrvatskog primorja (BIONDIĆ & GOATTI, 1976). Obojena voda s ponora Gacke pojavila se na izvoru u Žrnovnici nakon 51 sat, uz prividnu brzinu od 14,38 cm/s. Prosječna brzina prema preostalim 12 opažanih izvora iznosila je 7,14 cm/s. Vode Like, obojene na Markovom ponoru, pojavile su se na izvoru nakon 23 sata (udaljenost iznosi 26 km) pri čemu je prividna brzina toka bila 32,10 cm/s, što je vrlo velika brzina u odnosu na prosjek brzine otjecanja prema drugim priobalnim izvorima (5,98 cm/s), s istog ponora. Pored potvrde podzemne vodne veze trasiranja su ukazala i na postojanje zona privilegirane cirkulacije i velike okršenosti u zaleđu Žrnovnice.

Ovdje je važno ukazati da se kao posljedica hidrotehničkih zahvata izvedenih na području Like današnja situacija i režim istjecanja na vruljama i izvorima Žrnovnice razlikuju od prirodne.

PROSTORNI RASPORED I OBLICI VRULJA

Podvodno kartiranje zaljeva i vrulja izvedeno je kružnim pretraživanjem dna duž postavljenih transekata. Navedenom metodom na detaljno istraživanom području otkriveno je i locirano ukupno 52 vrulje, a interpretacijom podataka mjerenja dubine dna izrađena je batimetrijska skica zaljeva.

Podvodnim kartiranjem obuhvaćene su vrulje kod kojih je promjer vruljišta (područje čija je morfologija posljedica neposrednog djelovanja vrulje) veći od 50 cm. Južno od lukobrana, izgrađenih približno u središnjem dijelu razmatranog područja, utvrđene su ukupno 24 vrulje dok se preostalim 28 nalazi s njihove sjeverne strane. Ukupni broj kartiranih vrulja znatno je veći od očekivanog i ukazuje na jaku okršenost tektonski intenzivno razlomljenih karbonatnih naslaga.

U sjevernom dijelu zaljeva gdje je dno stjenovito ili prekriveno krupnim kršjem, pojavljuju se dva oblika vrulja: vrulje u pukotinama osnovne stijene i vrulje u akumuliranom kršju (sl. 2a, b). Vrulje u pukotinama imaju jasno definiran ulazni (izlazni) otvor. Veličina otvora je različita i kreće se od 0,5 do 1,5 metara širine i od 2 do 7 metara dužine. Zbog sužavanja pukotina ili u njima uglavljenih blokova, nije moguć dublji ulazak ronionca u sustav okršenih dovodnih kanala. U zaljevu su locirane samo 4 takove vrulje (pozicije BC, BD, BE i BF). Drugi oblik vrulja karakterizira blago udubljenje dna u cjelosti ispunjeno kršjem, između kojeg izvire voda. Promjer udubljenja je od 1 do 5 metara. Ukupno je kartirano 18 takovih pojava. Na ovom tipu dna uočen je niz manjih vrulja prijelaznih oblika, čije dimenzije ne prelaze desetak centimetara, te nisu izdvajane pri kartiranju. Zahvaljujući čvrstoj podlozi, oko ovih oblika vrulja redovno je prisutan prsten sesilnih organizama.

U južnom dijelu zaljeva dno je prekriveno sitnozrnim klastičnim sedimentima. Na tom području razvijen

je treći oblik vrulja, koji karakteriziraju pravilna ljevka-sta udubljena u sitnoznom sedimentu, na čijem se dnu redovno nalazi kameno kršje kroz koje izbija voda (sl. 2c). Dubina i gornji promjer lijevka ovisi o debljini sedimenta i izdašnosti vrulje, odnosno o jačini pridnenog kompenzacijskog strujanja oko mjesta istjecanja. Od ukupno 30 vrulja u klastičnim sedimentima, najveći lijevak ima vrulja na poziciji BB. Promjer lijevka je 5 m, a dubinska razlika od gornjeg ruba do dna vrulje iznosi 2,5 metra, te se može pretpostaviti da je to ujedno i debljina sitnoznog sedimenta u tom dijelu zaljeva.

Pored opisanih, u sitnoznom sedimentu uočene su brojne male vrulje čiji promjer rijetko prelazi nekoliko centimetara. S obzirom da iz njih izvire vrlo male količine vode, pridnenno kompenzacijsko strujanje je slabo, te se neposredno oko mjesta istjecanja stvaraju nekoliko centimetara visoki pješčani humci. Zbog brojnosti i male izdašnosti ovakav tip vrulja nije izdvajan kartiranjem.

Dimenzijama najveće vrulje pretežito su koncentrirane u sjevernom dijelu istraživanog područja, na dubinama između 12 i 17 m. U plićem, južnom dijelu zaljeva, vrulje su manjih dimenzija, izuzev ljevkastih vrulja na lokacijama BA i BB, te pukotinske vrulje BC.

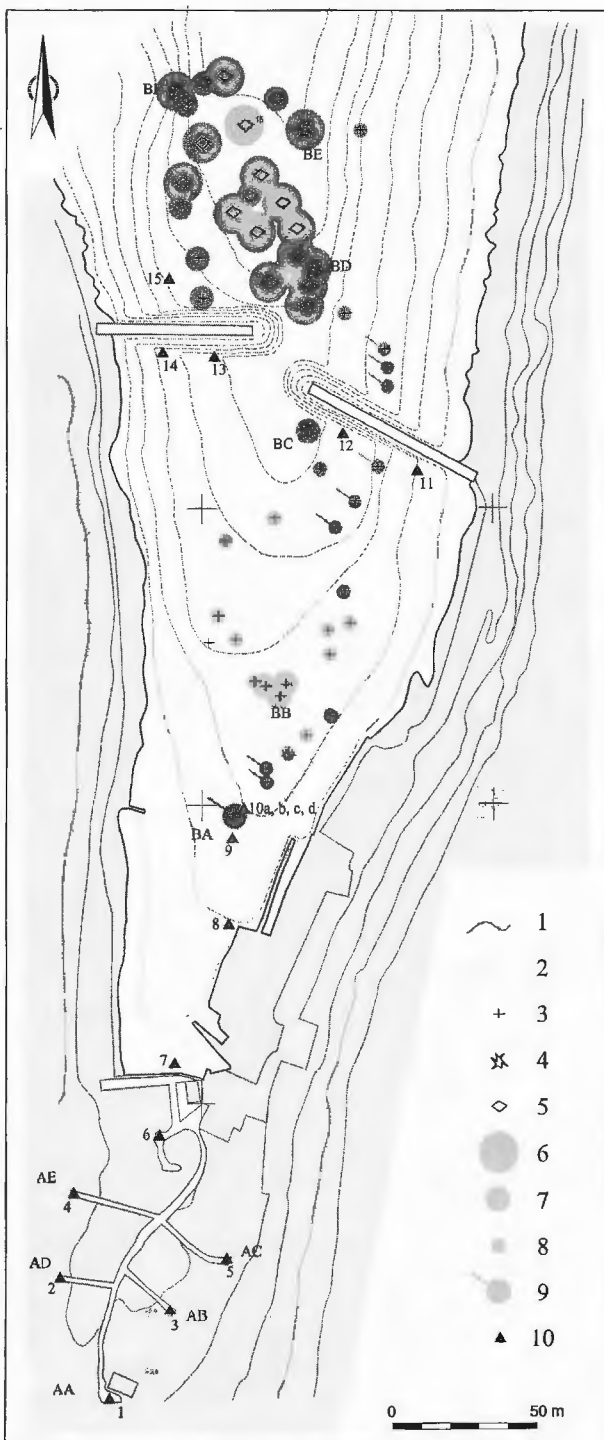
AKTIVNOST I IZDAŠNOST VRULJA

Na osnovi podmorskog motrenja u različitim hidrološkim stanjima utvrđeno je samo 9 trajno aktivnih vrulja. Sve stalno aktivne vrulje nalaze se na istočnoj, podvelebitskoj padini, u plićem južnom dijelu zaljeva, na dubinama do 8,5 m. Stalno aktivne vrulje većinom su manjih dimenzija, izuzev vrulje BA.

Izdašnost kartiranih vrulja nije mjerena, ali su na osnovi podvodnog promatranja postavljeni kriteriji za procjenu i razvrstavanje vrulja u tri osnovne kategorije. Razvrstavanje je provedeno u razdoblju visokih voda. Može se pretpostaviti da su tada sve vrulje "radile" svojim približno maksimalnim kapacitetom, što osigurava komparativnost rezultata. Primjenjena kategorizacija uspostavlja samo relativne odnose izdašnosti vrulja.

U kategoriju male izdašnosti svrstane su sve vrulje kod kojih je pod vodom jasno vidljiv "oblak" zamućenja, nastao miješanjem slatke i morske vode, niži od 2 m. Srednja izdašnost pripisuje se vruljama kod kojih se zamućenje diže iznad 2 m ali nije vidljivo na površini mora. Kod vrulja velike izdašnosti, zamućenje doseže površinu mora, na kojoj se uslijed jake vertikalne cirkulacije formiraju dobro poznati kružni valovi, a ponekad i vodeni klobuci. Prostorni raspored kartiranih vrulja, razvrstanih prema obliku, aktivnosti i izdašnosti, prikazan je na sl. 3.

Stalno aktivne vrulje su pretežito male izdašnosti. Izdvaja se samo najjužnija vrulja BA, koja je srednje izdašnosti. S obzirom da su na površini mora iznad ove vrulje tijekom cijele godine vidljivi karakteristični kon-



Sl. 3 Prostorni raspored kartiranih vrulja razvrstanih prema obliku, aktivnosti i izdašnosti. Legenda: 1) izohipse ekvid. 1 m; 2) izobate ekvid. 2 m; 3) vruljas u klastičnom sedimentu; 4) vruljas u pukotinama; 5) vruljas u kršju; 6) vruljas velike izdašnosti; 7) vruljas srednje izdašnosti; 8) vruljas male izdašnosti; 9) stalno aktivne vrulje; 10) točke uzorkovanja.

Fig. 3 Position of the mapped vruljas classified in regard to shape, activity and yield. Legend: 1) topographic contour equidistance 1 m; 2) isobath equidistance 2 m; 3) vruljas in clastic sediments; 4) vruljas in fractures; 5) vruljas in debris; 6) vruljas of high yield; 7) vruljas of medium yield; 8) vruljas of low yield; 9) perennial vruljas; 10) sampling point.

Opća hidrološka aktivnost	Mala	Srednja	Velika	Opis mjesta uzorkovanja
	Datum Broj točke	9.8.1998	20. 5. 1999 Salinitet (%)	
1	10	3	1	Izvor AA
2	1	1	1	Izvor AB
3	1	1	1	Izvor AC
4	1	1	1	Izvor AD
5	1	1	1	Izvor AE
6	9	3	1	Potok
7	10	1	1	Površina mora
8	29	/	/	Površina mora
9	23	20	19	Površina, uz vrulju BA
10a	27	26	23	Površina iznad vrulje BA
10b	34	30	28	1m iznad dna vrulje BA
10c	24	20	11	Dno, u vrulji BA
10d	38	38	38	Dno, uz vrulju BA
11	20	/	17	Površina mora
12	20	/	19	Površina mora
13	22	/	19	Površina mora
14	23	/	22	Površina mora
15	37	/	35,5	Površina mora

Tablica 1 Rezultati mjerenja saliniteta.

Table 1 Results of the salinity measurements.

centrični valovi, dosljednom primjenom postavljenog kriterija trebala bi biti svrstana u kategoriju velike izdašnosti. Međutim, ova pojava potencirana je malom dubinom mora na lokaciji vrulje (3,5 m), te je ona svrstana u kategoriju srednje izdašnosti.

Najizdašniji kompleks vrulja nalazi se u središnjem dijelu zaljeva, sjeverno od lukobrana, u zoni stjenovitog dna. Tijekom najvećeg dijela godine vrulje nisu aktivne, ali u razdobljima visokih voda ili nakon intenzivnih oborina prorade s izrazito velikom izdašnošću. Prema našim zapažanjima, u tim razdobljima snažno je aktivno 15-16 vrulja, ali se na površini mora rijetko vidi više od 6 krugova, što je posljedica spajanja konusa istjecanja bliskih vrulja. Vjerojatno je to razlog u literaturi čestoj konstataciji o svega 6 vrulja u zaljevu Žrnovnice (ALFIROVIĆ, 1975).

SALINITET VRULJA I KOPNENIH IZVORA

Mjerenja saliniteta provedena su u tri različita hidrološka stanja, a opažaćkom mrežom obuhvaćeno je ukupno 15 točaka. Na kopnu je uzorkovano 5 stalnih izvora u središnjem dijelu doline, te potok u završnom dijelu toka. U moru su uzorci prikupljeni u južnom i središnjem dijelu zaljeva. Na stalnoj vrulji BA uzorkovano je i po dubini vodnog stupca. Salinitet je mjeren pomoću ručnog refraktometra. Raspored točaka na kojima su obavljena uzorkovanja prikazan je na slici 3, a rezultati mjerenja u tablici 1.

Salinitet površinskog sloja mora u zaljevu vrlo je različit, ovisno o datim hidrološkim prilikama i mjestu

uzorkovanja. Rezultati mjerenja pokazuju da je površinski sloj mora u dijelu zaljeva južno od lukobrana tijekom cijele godine bočat. Na mjernim točkama 9, 11, 12, 13 i 14 salinitet se kreće u rasponu od 17 do 23‰ pri čemu su niže vrijednosti zabilježene u razdoblju visokih voda. Ovako niski salinitet posljedica je pritjecanja slatke i bočate vode s kopnenih izvora i vrulja u tom dijelu zaljeva. Na snažan utjecaj dotoka s kopna ukazuju i izuzetno niske vrijednosti saliniteta izmjerene na točki 7, koja se nalazi u području plitkog mora, na samom početku zaljeva, gdje se salinitet kretao između 1 i 10‰.

Na vanjskom dijelu zaljeva, sjeverno od lukobrana, salinitet je mjeren na točki 15. Dobivene vrijednosti od 35,5-37‰ ukazuju da je ovdje površinski sloj slaniji. S obzirom da su mjerenja provedena samo na jednoj točki rezultat nije dovoljno reprezentativan za to cijelo područje.

Vrlo su zanimljivi podaci dobiveni mjerenjima saliniteta po vertikali, na lokaciji stalne vrulje BA (točka 10a, b, c, d). Na samom dnu vrulje salinitet se kretao od 11‰ u razdoblju visokih voda, preko 20 kod srednjih, do 24‰ pri niskim vodama. Već 1 m iznad dna vrulje, on se povećavao na 28, 30 i 34‰, da bi u površinskom sloju iznad vrulje ponovo opadao na 23, 26 i 27‰. Približno 5 m od vrulje salinitet površinskog sloja iznosio je 19, 20 i 23‰. Istovremeno je salinitet pridnenog sloja mora, na svega desetak cm od uzlaznog mlaza vrulje, iznosio stalnih 38‰.

Izmjereni podaci zorno pokazuju dinamiku miješanja podzemne vode i mora u datim uvjetima. Iz vrulje pri svim hidrološkim stanjima izbija brakična voda.

Kao posljedica lokalnog pridnenog kompenzacijskog strujanja prema zoni ili mjestu istjecanja, pritječe morska voda, koja već 1 m iznad dna vrulje znatno povećava salinitet turbulentnog uzlaznog mlaza. Ponovno smanjenje saliniteta na samoj površini iznad vrulje posljedica je miješanja uzlaznog mlaza i zaslađenog sloja vode iznad halokline. Ovdje je važno naglasiti da je niski salinitet površinskog sloja posljedica dotoka slatke vode iz izvora u zaleđu zaljeva. U takovim okolnostima nastaje i zanimljiva pojava da je rezultatni salinitet vode iznad vrulje veći od saliniteta okolnog površinskog sloja mora.

U neposrednom zaleđu zaljeva nalazi se veći broj izvora koji u dnu doline formiraju kraći vodotok. Ukupna izdašnost izvorišta kreće se od 40 l/s u sušnom razdoblju do preko 1000 l/s kod izrazito visokih voda. Srednja izdašnost dobivena na osnovi jednogodišnjih opažanja (1973/74. god) iznosi 438 l/s (BIONDIĆ & GOATTI, 1976). U opažanju mrežu uključeno je 5 glavnih mjesta istjecanja, odnosno izvori AA do AE (točke 1-5). Izrazito najveću izdašnost ima glavni izvor AA koji je od mora udaljen cca 120 m, a voda istječe na koti od oko 1,5 m n.m. Ostala četiri izvora smještena su bliže moru, bočno od vodotoka (2 istočno, 2 zapadno), na kotama između 2 i 2,5 m n.m. U razdobljima visokih voda salinitet svih izvora je oko 1 ‰, dakle iz njih istječe slatka voda. S padom izdašnosti cijelog sustava na glavnom izvoru AA postupno raste salinitet, te se pri niskim vodama povećava i do 10 ‰. Ova pojava nije u skladu s očekivanim odzivom sustava, a posebno s obzirom na udaljenost glavnog izvora od mora i njegovu veliku izdašnost u odnosu na okolne izvore. Mjerenja pokazuju da u vrijeme najveće zaslanjenosti glavnog izvora na manjim bočnim izvorima nije dolazilo do porasta saliniteta.

Ovdje ukazujemo i na vrlo izraženu pojavu dnevnih promjena izdašnosti kopnenih izvora. U sušnim razdobljima za vrijeme oseke ukupna izdašnost izvorišta opada na približno 40 l/s, a za vrijeme plime istječe i preko 300 l/s. KUŠČER (1950) također uočava tu pojavu. Generalno, promjena izdašnosti posljedica je promjene razine djelovanja usporne funkcije mora. Međutim, pored vertikalnih promjena, dolazi i do horizontalnog pomicanja zone miješanja, odnosno utiskivanja ili istiskivanja mora u ili iz kopna. Ove promjene utječu na razinu podzemnih voda, izdašnost izvora, a vjerujemo i promjene saliniteta, što će pored ostalog biti jedan od elemenata detaljnih istraživanja koja predstoje.

ZAKLJUČAK

Provedena istraživanja na području Jurjevske Žrnovnice pokazala su da se u podmorju zaljeva nalaze najmanje 52 morfološki jasno izražena mjesta istjecanja podzemnih voda. Njihovim detaljnim kartiranjem definirana je geometrija hidrogeološkog sustava, i postavljen dobar temelj za njegovo daljnje izučavanje. Značajno je da je od ukupnog broja otkrivenih vrulja samo njih devet trajno aktivno. Stalno aktivne vrulje male su izdašnosti pri svim hidrološkim stanjima (izuzev vrulje BA), a locirane su na podvelebitskoj padini zaljeva. Najizdašniji kompleks vrulja nalazi se u središnjem dijelu zaljeva, sjeverno od lukobrana, u zoni stjenovitog dna. Tijekom najvećeg dijela godine ove vrulje nisu aktivne, ali u razdobljima visokih voda ili nakon intenzivnih oborina prorade s izrazito velikom izdašnošću.

Rezultati dosadašnjih istraživanja vrulja i izvora u Jurjevskoj Žrnovnici ukazuju na složenost hidrogeoloških i hidrodinamičkih uvjeta u priobalnom akviferu. Brojna mjesta istjecanja podzemnih voda u moru i na kopnu posljedica su intenzivne tektonske razlomljenosti i okršenosti karbonatnih naslaga. Odziv sustava na hidrološke promjene ukazuje da se procesi miješanja slatke i slane vode odvijaju u sredini kombinirane, pukotinske i kavernozone poroznosti, dakle u sredini u kojoj su dijelom primjenjive zakonitosti iskazane Ghyben-Herzbergovim principom, ali dijelom i pojave vezane uz tipično kanalski oblik tečenja. U tom kontekstu treba tražiti objašnjenje pojave izoliranog zaslanjenja glavnog kopnenog izvora.

LITERATURA

- ALFIROVIĆ, S. (1975): Batimetrijska, morfološka, hidrološka i sedimentološka istraživanja vrulja u području Hrvatskog primorja.- Fond struč. dok. Inst. ocean. ribar., Split.
- BIONDIĆ, B. & GOATTI, V. (1976): Regionalna hidrogeološka istraživanja Like i Hrvatskog primorja.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- BOEGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Spelaeologie.- Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 292 str.
- BONACCI, O. (1987): Karst hydrology.- Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 184 str.
- HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides.- Acta geologica, 16/2, 35-117, Zagreb.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu.- Acta geologica, 21/1, 1-42, Zagreb.
- KUŠČER, I. (1950): Kraški izviri ob morski obali.- Razprave Slov. akad. Nauka, 1, 99-147, Ljubljana.
- ŠEGOTA, T. (1963): Geografske osnove glacijacije.- Radovi Geografskog instituta, 4, 1-119, Zagreb.
- ŠEGOTA, T. (1982): Razina mora i vertikalnog gibanja dna Jadranskog mora od ris-virmaskog interglacijala do danas.- Geološki vjesnik, 35, 93-109, Zagreb.



Šire područje naftno-plinskog polja Lipovljani - duboki dio

Oil & Gas Field Lipovljani Wider Area - Deeper Part

Jadranka LEŠKO, Ivka ŠURIĆ & Miroslav KADIĆ

Ključne riječi: naslage donje do srednjemiocenske starosti (Prečec formacija), naftno-plinsko polje Lipovljani, nekonvencionalna ležišta ispod proizvodnih nivoa unutar polja, prividno povećanje propusnosti, nove tehnologije (horizontalno bušenje i Jet Drilling).

Key words: Lower to Middle Miocene sediments (Prečec formation), Oil and gas field Lipovljani, Unconventional deposits below field production layers, Delusive permeability increase, New technology (Horizontal & Jet Drilling).

Sažetak

Unutar Savske potoline istražnim bušenjem sedimenata donje do srednjemiocenske starosti (Prečec formacija) do sada nisu otkrivena ekonomski isplativa nalazišta ugljikovodika. Sedimenti donje do srednjemiocenske starosti nisu dovoljno ciljano, niti detaljno istraživani. Na bušotinama koje su nabušile Prečec formaciju registrirane su mnogobrojne pojave nafte i plina. Testiranjem (DST-om) su dobivene različite količine nafte. Prilikom proizvodnih ispitivanja unutar naslaga Prečec formacije davanja bušotina bila su na početku velika, da bi se s vremenom smanjivala do ispod ekonomskih količina. Uzrok nemogućnosti stabilizacije proizvodnje su relativno slabe kolektorske osobine ovih sedimenata, tj. relativno male propusnosti. Najčešća objašnjenja za ovakva ponašanja tijekom proizvodnih ispitivanja uz smanjenu propusnost su ograničena ležišta. Novim tehnologijama kao naprimjer usmjereno (horizontalno) ili mlazno (Jet) bušenje, vjerojatno bi bilo moguće povećati propusnu sposobnost kolektora (vrijednost kh). Produženjem proizvodnog kanala u ležištu (povećanje h), te optimalizacijom (balansom) uvjeta proizvodnje sa prirodnom prihranom omogućilo bi se privođenje proizvodnji ovih naslaga.

U svrhu povećanja pridobivih rezervi nafte i plina, primjenom novih tehnologija pruža se mogućnost rješenja ekonomskog crpljenja ugljikovodika iz naslaga donje do srednjemiocenske starosti. Uz suradnju svih stručnih kadrova, nova saznanja i primjenu novih tehnologija determinirati će se najbolji način na koji bi se ove rezerve mogle iscrpiti.

UVOD

Lipovljani - šire područje

Naftno plinsko polje Lipovljani nalazi se u centralnom dijelu istražnog bloka SAVA-3, smještenog u Savaškoj depresiji, između Moslavačke gore na sjevernoj strani, te Papuka i Pšunja sa sjeveroistočne i istočne

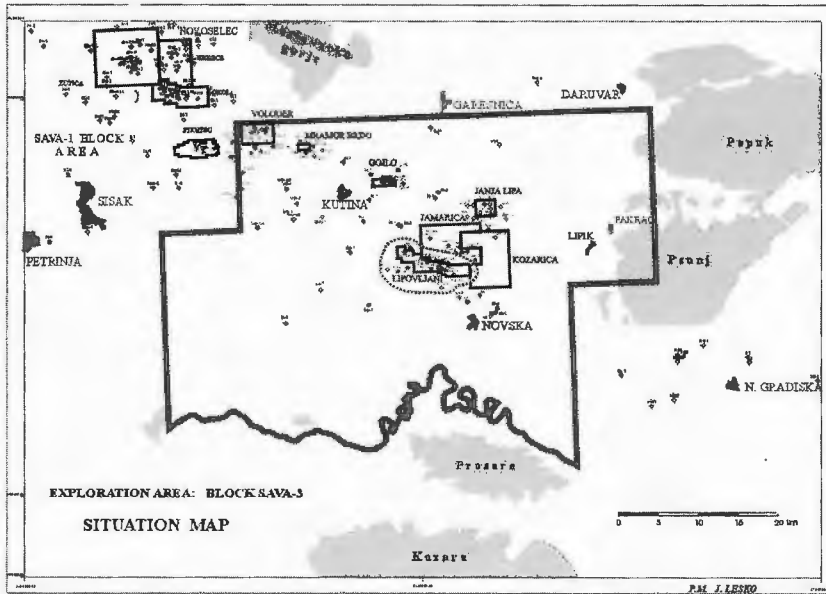
Abstract

Drilling of Lower to Middle Miocene sediments (Prečec formation) has not yet discovered the commercial hydrocarbon reserves inside the Sava Depression. Lower to Middle Miocene sediments have not yet been explored systematically nor in great detail. Prečec formation detected numerous oil and gas shows. DST showed different oil quantities. During production testing inside the Prečec formation, at the beginning the well production was huge, while eventually it diminished below commercial value. It was impossible to stabilize the production because of relatively poor collector characteristics of those sediments; their permeability was relatively low. The most common explanation for such behavior during the production testing with restricted permeability are limited reservoirs. New technologies, like horizontal or jet drilling could possibly improve permeability thickness of a formation (value Kh). Increasing the production interval in the reservoir (increase h), balance of production conditions with natural adding could make possible the production from these sediments.

To increase the recoverable oil and gas reserves, by applying new technologies opens the possibilities for commercial drilling of hydrocarbons from Lower to Middle Miocene sediments. Collaboration of all the experts, new knowledge and application of new technologies will define the best ways for recovering those reserves.

strane. S jugoistočne strane granica bloka je rijeka Sava, a s jugozapadne strane rijeka Una (sl. 1).

Naslage Prečec formacije nedovoljno su istražene na ovom području (PIKIJA & ŠIKIĆ, 1992). Od ukupno 216 izbušenih kanala bušotina na polju Lipovljani, samo ih je 8 doseglo sedimente donje do srednjemiocenske starosti (sl. 2), nabušivši ih u različitim debljinama.



Sl. 1 Istražni blok SAVA-3.

Fig. 1 Exploration Block SAVA-3.

Samo je bušotina Lip-1Du probušila čitav slijed sedimenata donje do srednjemiocenske starosti, te je nabušila temeljno gorje na dubini 4.140 m. Ostale bušotine nabušile su Prečec formaciju u različitim debljinama (od 20-1.813 m) ne probušivši je u potpunosti (sl. 3).

GEOLOŠKA GRAĐA

Stratigrafski odnosi

Složena građa sedimenata Prečec formacije ukazuje na naslage odlagane u rijekama, siparištima i jezerima (PAVELIĆ, 1998) Prema kronostratigrafskoj podjeli unutar sedimenta donjo do srednjemiocenske starosti, obzirom na litološku građu naslaga (prema Lip-2 Du) moguće je izdvojiti tri litofacijesa (LEŠKO et al., 1999):

A) siltozni fosiliferni lapor u izmjeni sa siltitom,

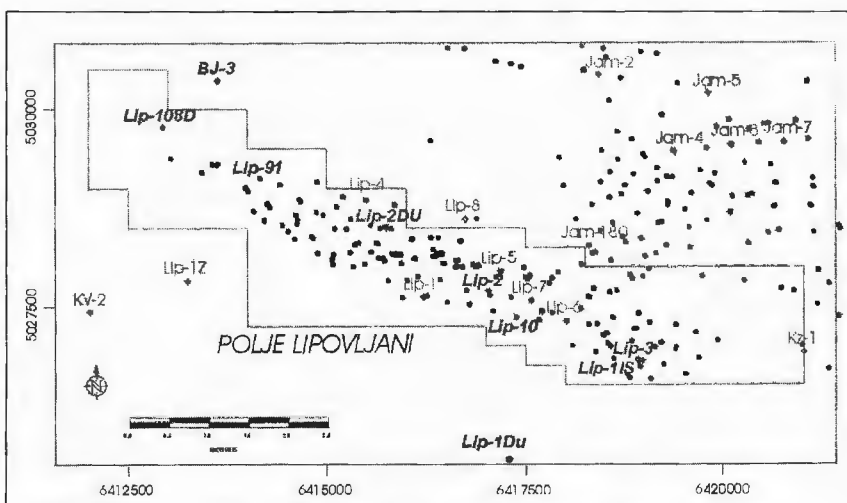
B) siltozni kalcitni fosiliferni lapor u izmjeni sa bioklastičnim vapnencom,

C) siltozni slabo fosiliferni lapor sa proslojcima kalkarenitskog pješčenjaka.

Sedimenti Prečec formacije taloženi su u dubljoj vodi kao fini pelitni bazenski sedimenti. Do intraformacijskih prekida mirne dubljevodne sedimentacije dolazi zbog obrušavanja i podvodnog klizanja, te povremenog donosa fragmenata odlomljenih s grebena i fragmenata terigenog materijala.

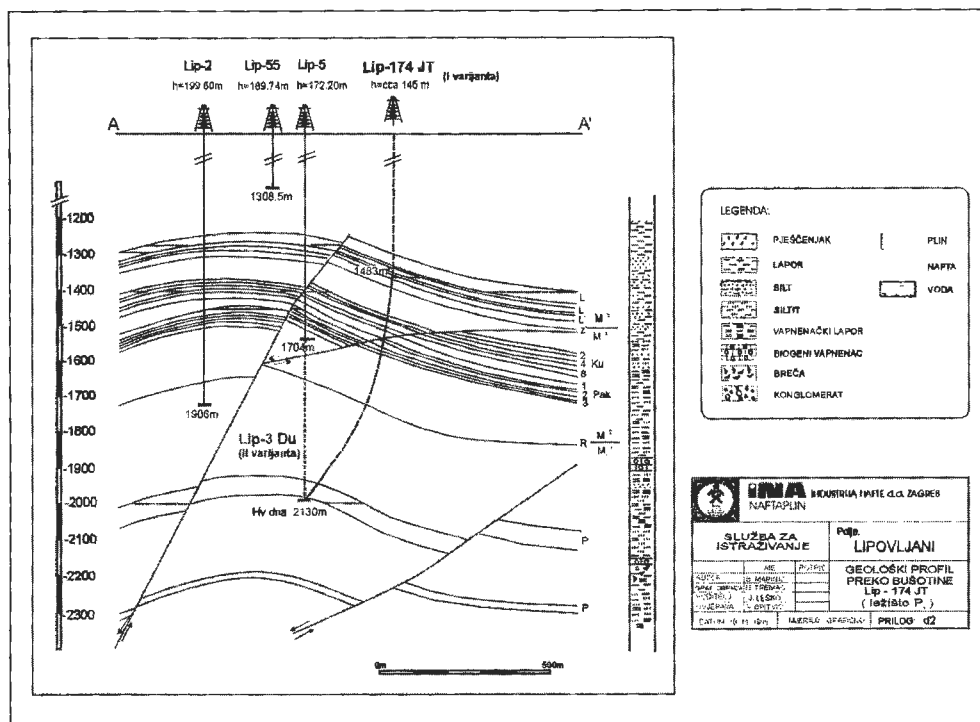
Klastični biogeni sedimenti Prečec formacije stanjuju se idući od zapada prema istoku.

Litofacies A u intervalu 2.397-2.503 m litološki predstavlja siltozni i fosiliferni lapor u izmjeni sa siltitom. Stijenu sačinjava pelitna glinovito-karbonatna osnova s nepravilno raspoređenim terigenim detritusom dimenzija silta do pijeska. Sastoji se od zrna kvarca, listića tinjca, klorita, rožnjaka i veće količine planktonskih foraminifera. Zapaža se listićavost poput šejla. Prsline i



Sl. 2 Naftno plinsko polje Lipovljani.

Fig. 2 Oil and Gas Field Lipovljani.



Sl. 5 Geološki profil preko bušotina Lip-2, Lip-55 i Lip-5.

Fig. 5 Geological cross-section between the Wells Lip-2, Lip-55 and Lip-5.

to blaži od pretpostavljenoga, što je povećalo pretpostavljene rezerve nafte.

Strukturna karta po krovini ležišta P_4 uskladenjena je i sa kartom ležišta Paklenica, dodavajući odgovarajuću debljinu naslaga između ležišta Paklenice i ležišta P_4 , te produbljujući već utvrđene rasjede do novokartiranog ležišta. Interpretacijom seizmike dobivena je veća sigurnost i vjerodostojnost geoloških karata.

Strukturnom kartom područja Lipovljani po regionalnoj diskordanci R_5 , provjerena su strukturna rješenja po nivou P_4 čime je utvrđeno da se izdvojeno ležište nalazi cca 300 m ispod regionalne diskordance.

Naftnogeološka procjena

Na temelju strukturne karte po krovini ležišta P_4 , geološkog profila, te rezultata okolnih bušotina izdvojeno je potencijalno naftno ležište (sl. 5), a uvjetna granica nafta-voda postavljena je (prema Lip-2Du) na apsolutnoj dubini -2000 m (B. Marinić).

Unutar heterogenog razvoja Prečec formacije (lito-facijes B) izdvojeno je pretpostavljeno ležište P_4 koje čine nesortirani silt, pješčenjak, pjeskoviti vapnenac, vapnenački do siltozni lapor, polimiktni brečokonglomerati i karbonatne breče.

Indikacije ugljikovodika determinirane su u jezgrama na bušotinama BJ-3, Lip-108 Du, Lip-91 i Lip-2 Du.

DST-om su registrirani tragovi nafte i plina na bušotini Lip-108 Du u intervalima 2.533,7-2.547 m i 2.679,94-2.690 m.

Na bušotini Lip-2 Du testiranjem, iz intervala 2.212,2-2.234 m dobiveno je 0,8 m³ nafte i 1,8 m³ slojne vode.

Na bušotini BJ-3 unutar istovjetnih sedimenata testiranjem: iz intervala 3.169,37-3.179 m dobiven je plin i kondenzat (tragovi), iz intervala 3.202,32-3.222 m dobiven je gorivi plin i cca 3 m³ lagane nafte, a iz intervala 3.248,33-3.259 m dobiveno je 20 m³ nafte (4 m³ eruptivno) i gorivi plin. Remontnim ispitivanjima iz perforiranog intervala 3.253 5-3.260,5 m ostvarena je, na sapnicu \varnothing 4,3 mm proizvodnja od 10,6 m³/dan koja se naglo smanjivala (deseti dan 0,56 m³/dan).

Na razradnoj bušotini Lip-91 remontnim mjerenjima iz intervala 2.356-2.376 m na sapnicu \varnothing 5 mm dobiveno je 10 m³/dan emulzije nafte i vode (sa cca 10% nafte), te iz intervala 2.376-2.380 m dobiveno je 19 m³ vode sa tragovima nafte.

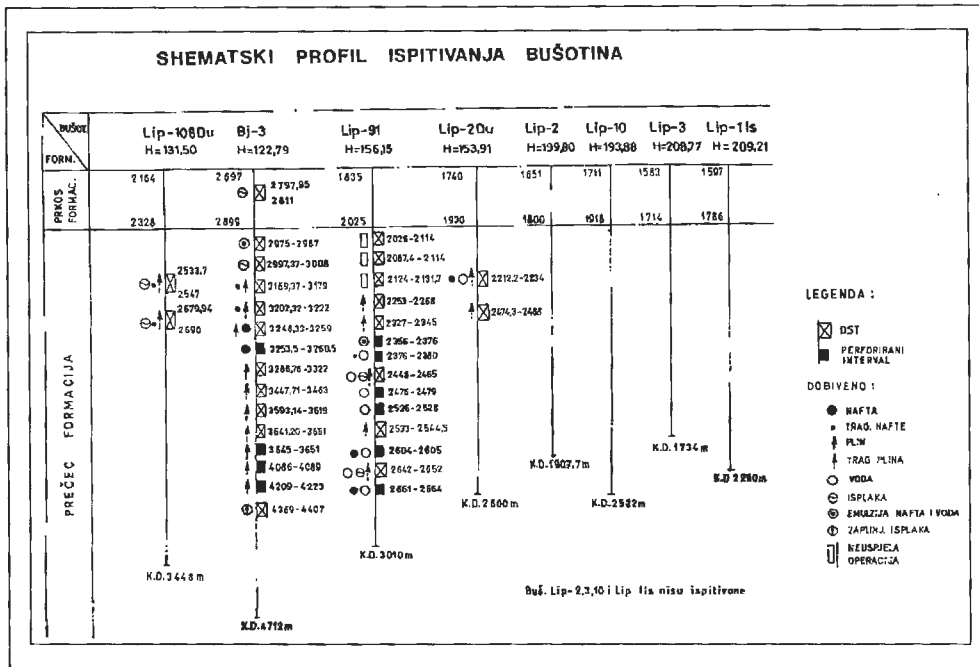
Ispitivanja bušotina prikazana su na shematskom profilu ispitivanja bušotina (sl. 6).

Rezervoar stijenu predstavljaju sekundarno raspućani pjeskoviti do laporoviti vapneni s proslojcima pješčenjaka te polimiktni brečokonglomerat u izmjeni s vapnenim i siltoznim laporom. Kolektorska svojstva se poboljšavaju u raspućanim zonama.

Obzirom da na navedenoj bušotini nisu izmjereni svi parametri potrebni za proračun rezervi, za procjenu parametara uzeti su u razmatranje i podaci dobiveni analizama i ispitivanjima na okolnim bušotinama: Lip-108 Du, BJ-3 i Lip-91.

Za određivanje srednje slojne temperature uzet je gradijent $gT = 4,8$ °C/100 m (prema Lip-2 Du), a gradijent tlaka $g_p = 1,1$ bar/10 m (prema Lip-108 Du i BJ-3).

Petrofizikalnim analizama jezgara na Lip-2 Du izmjerena propusnost je 0,0001-0,005 mm² uz prisustvo pukotina i rastrošnih zona u kojima je izmjereno i do 0,030 mm². Prema tome pretpostavljena je propusnost



Sl. 6 Shematski profil ispitivanja bušotina.

Fig. 6 Schematic cross-section of well tests.

0,008 mm² koja može biti i veća ovisno o stupnju raspucanosti. Izmjerena šupljikavost je od 2,5-9%, a za račun parametara uzeta je vrijednost 9% uz pretpostavku povećanog udjela sekundarne šupljikavosti.

Pokrov čine kompaktni nepropusni vapnenački lapori unutar iste formacije.

ZAKLJUČAK

U svrhu povećanja pridobivih rezervi nafte i plina, primjenom novih tehnologija usmjerenog (horizontalnog) ili mlaznog (Jet) bušenja, pruža se mogućnost rješavanja ekonomski isplativog crpljenja ugljikovodika iz naslaga donje do srednjemiocenske starosti. Uz suradnju svih stručnih kadrova, nova saznanja i primjenu novih tehnologija vjerojatno će se determinirati najbolji način na koji bi se ove rezerve mogle iscrpiti. Uz povećanje relativne propusne sposobnosti kolektora (vrijednost kh) produženjem proizvodnog kanala u ležištu (povećanje h), te proizvodnjom na balansu prihrane i pridobivanja ovaj je cilj najvjerojatnije ostvarljiv.

LITERATURA

LEŠKO, J., KADIĆ, M., MARINIĆ, B., ŠURIĆ, I., DEUR-GJURA, I. & JERAS, Z. (1999): Geološki projekt za istražnu bušotinu Lipovljani-3 duboka (Lip-3Du).- Fond str. dok. Ina-Naftaplin, 3-6, Zagreb.

PAVELIĆ, D. (1998): Taložna evolucija slatkovodnog donjeg i srednjeg miocena sjeverne Hrvatske na temelju analize facijesa.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 149 str.

PIKJA, M. & ŠIKIĆ, K. (1992): Facijesna interpretacija naslaga između EK-markera Rs7 i Pt u području Save.- Fond str. dok. Ina-Naftaplin, 28, 13-14, Zagreb.





Sanacija uljnih zagađenja krškog podzemlja u priobalnom području na primjeru INA-Rafinerija nafte Rijeka

Sanitation of Oil Pollution of the Karst Underground at the Coastal Zone:
An Example of INA-Rafinery of Rijeka

Robert LIPOVAC

Ključne riječi: uljno zagađenje, krš, obalni pojas, sanacija.

Key words: Oil pollution, Karst, Coastal zone, Sanitation.

Sažetak

Sanacija zagađenja podzemlja ugljikovodicima u INA-RNR kontinuirano se provodi od ljeta 1993. god. i predstavlja pionirski istraživački rad kojim su se po prvi puta na našim prostorima stekla saznanja o većim pojavama uljnih zagađenja u krškom priobalnom području, kao velikoj potencijalnoj opasnosti za zagađenje mora. Tijekom dugogodišnjeg istraživanja su se definirale površinske granice dimenzija zagađenog podzemlja. Stečen je uvid u hidrodinamičke zakonitosti egzistiranja zagađenja u podzemlju, te su na temelju svih spoznaja određene optimalne sanacijske metode, kojima se uz razuman financijski ulog postiže najveća učinkovitost. Ovaj rad predstavlja kratki kronološki prikaz sanacijskih aktivnosti i opis globalnih spoznaja koje mogu predstavljati polazište u rješavanju slične problematike.

Abstract

The sanitation of the polluted underground with hydrocarbon has been carried out with continuity since summer 1993 in the Oil Refinery of Rijeka to pioneer research work on gathering information about oil pollution of the karst coastal zone as a serious potential risk of the sea pollution. During the several-year field work the surface dimension margins of the polluted underground area have been defined as well as the hydrodynamic regularities of the existing pollution. These results were the basis for defining the optimal method for the improvement of sanitary conditions that would prove to be most efficient along with the reasonable financing. This paper is a brief chronological survey of the sanitary activities as well as a description of the global conceptions which might represent a starting point of resolving similar problems.

1. UVOD

Pojava zagađenja mora ugljikovodicima na području INA-RNR utvrđena je 12.07.1993. god. na lokaciji stanice za crpljenje morske vode. Velika količina zagađenja koje je iz obalnog stijenskog kompleksa migriralo u more ukazivala je na moguću ekološku katastrofu širih razmjera na području Kvarnerskog zaljeva.

Urgentno su započete akcije sa svrhom onemogućavanja širenja zagađenja u otvoreni akvatorij. Detektirana su sva potencijalna područja, mogući izvori, a sa ciljem otkrivanja uzroka zagađenja, te su prihvaćeni plan i program radova za sanaciju u tri etape. Prioritet je prema planu bilo zaustavljanje istjecanja ugljikovodika u more, te stalni daljnji nadzor. U drugoj etapi je trebalo utvrditi smjer dotoka zagađenja iz zaleđa i odrediti njegove dimenzije u podzemlju, kako bi se moglo pristupiti sanaciji uzroka. Treća, završna faza sačinjavala je

izradu i provedbu sanacijskih zahvata sa svrhom eliminacije zagađenja iz podzemlja.

Tijekom izvođenja istraživačkih radova, sa svrhom provedbe plana sanacije (u periodu 1993.-1997.) registrirano je još nekoliko pojava istjecanja ugljikovodika u obalno more na drugim lokacijama, što je rezultiralo proširenjem istraživačkog prostora te spoznajom da predstoji dugotrajni kontinuirani proces sanacijskih zahvata multidisciplinarnog karaktera. Prihvaćanje takvog pristupa problemu svih relevantnih čimbenika koji sudjeluju u sanacijskom procesu rezultiralo je izgradnjom sustava za zaštitu mora na svim potencijalno opasnim obalnim zonama. Izvršene su brojne provjere i rekonstrukcije proizvodnih i manipulativnih rafinerijskih sustava, a u posljednje četiri godine neprestano se provodi intenzivna eliminacija zagađenja iz podzemlja.

Najveći rezultat svih aktivnosti provedenih tijekom odvijanja sanacijskog procesa je, u prvom redu, višegodišnji period čistog mora duž cijele obalne linije Rafi-

nerije Urinj, što je omogućilo nesmetano odvijanje turističke privrede u mjestima smještenim na obali Kvarnerskog zaljeva.

Sve akcije i poslovi u procesu sanacije rukovodene su i koordinirane od strane "Projektne grupe za sanaciju podzemlja" kojeg čine predstavnici pojedinih rafinerijskih službi i kooperantskih tvrtki. Za dugogodišnju profesionalnu suradnju zahvaljujem kolegama geolozima Ž. PEKAŠU, B. MUNDI, T. BLINJI i R. UCCELLINIJU i gospođi S. MATIĆU, F. KUSECU (INARR) i S. KIRIGINU (INA-Maziva Rijeka).

2. PREGLED GEOLOŠKE GRAĐE

Najveći dio urinjskog poluotoka čine naslage gornje krede koje su zastupljene s tri različita člana: K_2^1 - vapnenci i dolomiti u izmjeni i dolomitne breče, $K_2^{1,2}$ - svijetlosivi i žućkastosmeđi vapnenci s rudistima i hondrodontama te $K_2^{2,3}$ - bijeli rudistni vapnenci. Tercijarne naslage manjim dijelom izgrađuju ovo područje i dolaze transgresivno na kredne naslage, a čine ih $E_{1,2}$ - foraminiferski vapnenci; $E_{2,3}$ - eocenski fliš (siliti u izmjeni s pješčenjacima, laporima i konglomeratima) te E_3O_1 - Prominske breče (fragmenti starijeg vapnenca i rjeđe dolomita, povezani karbonatnim vezivom). Najmlade naslage na ovom području su kvartarne starosti i javljaju se u obliku n - nabačaj (nasuti materijal, kršje karbonatnih stijena pomiješano s glinom i crvenicom, umjetna tvorevina); Cets1 - siparišni materijal; te Qs - siparišna breča.

Glede strukturo-tektonskih odnosa, sedimenti gornje krede formiraju antiklinalu strmo položenih krila, čija os ima dinarski smjer pružanja SZ-JI. Na cijelom području se opažaju tragovi snažnog boranja slojeva i intenzivnih tektonskih pokreta, što je izazvalo stvaranje velikog broja rasjednih i pukotinskih sistema, te povećalo stupanj okršnosti. Temeljem rezultata istraživačkih radova može se zaključiti da na stupanj okršnosti karbonatnog kompleksa ovog područja litološke karakteristike stijena nemaju utjecaj.

3. HIDROGEOLOŠKI RADOVI

U svrhu spoznavanja dimenzija zagađenog podzemlja i hidrodinamičkih parametara egzistiranja ugljikovodika u podzemlju, te na toj osnovi, provedbu optimalnog režima sanacijskih radova, vršeni su sljedeći istraživački radovi.

3.1. ODREĐIVANJE LOKACIJA ZA ISTRAŽIVAČKO BUŠENJE

Primjene geofizičkih metoda s ciljem utvrđivanja rasjednih i pukotinskih sistema kao prioritarnih pravaca tečenja podzemne vode, nije bilo moguće provesti zbog specifičnosti rafinerijske infrastrukture (betonirane i asfaltirane površine, prisustvo kanalizacijskih, cjevo-

vodnih i kablovskih sustava u podzemlju, te konstantne vibracije kao posljedica rada procesnih postrojenja). Lokacije za bušenje određene su na osnovu rezultata detaljne fotogeološke analize i rezultata litostratigrafskog kartiranja te detaljnog snimanja pukotinskih sistema (poglavito obalnog dijela Rafinerije). Kombinacija ovih metoda, što se potvrdilo u kasnijem periodu, pokazala se vrlo učinkovita te je u potpunosti opravdala primjenu.

3.2. ISTRAŽIVAČKO BUŠENJE

U cjelokupnom periodu sanacijskih radova izbušene su 173 bušotine ukupne dubine 3300 m. Sve bušotine su izrađene s dvostrukom sržnom bušačom cijevi uz zahvaćanje maksimalnog postotka jezgre. Projektiranje ugradnje bušotinskih konstrukcija uvjetovano je namjenom svake pojedine bušotine (određivanje dimenzija, monitoring ili razrada za eliminaciju zagađenja iz podzemlja). Tijekom izvođenja bušenja kontinuirano je obavljan hidrogeološki nadzor uz usmjeravanje dinamike i redoslijeda bušenja. Rađena je litostratigrafska determinacija jezgre te utvrđivanje kvalitete stijene metodom RQD-a. Na pojedinim bušotinama vršena su i ispitivanja vodopropusnosti metodom "Lugeona". Na temelju rezultata bušačkih radova stečen je osnovni uvid u porozitet, karstifikaciju te vodopropusnost zone stijenjskog kompleksa koja je zasićena ugljikovodicima.

3.3. TRASIRANJE TOKOVA PODZEMNIH VODA

Ova metoda je primjenjena sa svrhom spoznavanja prividnih pravaca i brzina tečenja podzemne vode, pa tako i prisutnog zagađenja. Trasiranje je izvedeno u 84 bušotine. Rezultati su ukazali na relativno velike brzine tečenja podzemne vode, što je potvrdilo prvobitna saznanja o dobroj okršnosti stijenjskog kompleksa. Analizom i usporedbom rezultata trasiranja i praćenjem dinamičkog stanja ugljikovodika u podzemlju, u periodu srednjih i visokih razina podzemne vode, utvrđeno je da su smjerovi tečenja podzemne vode i pravci migracije zagađenja uglavnom istovjetni, ali da su brzine migracije ugljikovodika daleko manje od brzina tečenja podzemne vode.

3.4. PRAĆENJE STANJA ZAGAĐENJA U PODZEMLJU

Uvid u stanje zagađenja u podzemlju podrazumijeva kontinuiranu istovremenu primjenu kombinirane metodologije na cijelom istraživačkom prostoru sa temeljnom svrhom svakodnevnog registriranja promjena i razlika u odnosu na snimku nultog stanja, te pravovremeno reagiranje interventnim zahvatima u eventualnom slučaju incidenta.

Obradom rezultata mjerenja debljine sloja ugljikovodika u bušotinama, kemijskih analiza ugljikovodika i podzemne vode iz bušotina, obradom podataka mjerenja oscilacije razine mora, te crpljenja ugljikovodika iz

bušotina, uz već ranije stečena saznanja pripremljenih radova i istraživačkog bušenja, moguće je definirati nekoliko zakonitosti o pojavnosti zagađenja ugljikovodika krškog podzemlja u priobalnom području:

- Kontaminacija ugljikovodika (u slučaju INA-RNR se radi o "CH" manjih gustoća $0,6-0,95 \text{ g/cm}^3$, 15°C) dolazi s površine i vrlo brzo vertikalnim i subvertikalnim smjerom migrira do razine podzemne vode. Zadržavanja zagađenja u zoni aeracije su vrlo rijetka i to najčešće u obliku absorbenta u glini, koji se često javlja u pukotinama karbonatnog kompleksa.
- Vrijeme zadržavanja ugljikovodika u podzemlju zaleđa obalnog pojasa, kao i njegovu migraciju, uvjetuje nekoliko međuzavisnih faktora:
- Najveći stupanj okršnosti, pa tako i poroznosti dolazi u rasjednim i pukotinskim sistemima, u zoni karbonatnog kompleksa koju ograničavaju maksimalne i minimalne amplitude oscilacije mora (plima - oseka). U toj zoni je vodopropusnost povećana u svim smjerovima i najveće količine podzemne vode kroz tu zonu teku prema moru.
- Neposredno iznad te zone dolazi zona karbonatnog kompleksa koju karakterizira slabiji stupanj okršnosti i poroznosti, a propusnost je izraženija u vertikalnim u odnosu na horizontalne smjerove.
- Ugljikovodici egzistiraju u pukotinskim sistemima u kontaktu s podzemnom vodom, a površina i volumen koji zauzimaju u podzemlju posljedica su odnosa njihove količine i poroziteta karbonatnog kompleksa.
- Hidrološki režim visokih, srednjih ili niskih razina podzemne vode uz kontinuirani utjecaj plime i oseke, uvjetuju ponašanje ugljikovodika u već prije opisanom dijelu karbonatnog kompleksa.
- Za vrijeme perioda visokih i srednjih razina podzemne vode ugljikovodici (koji su po gustoći lakši od vode) egzistiraju u pukotinskim sistemima u zoni koja se nalazi u graničnom području ili iznad zone najveće propusnosti, a plimne amplitude oscilacije mora uvjetuju periodičko migriranje zagađenja u još više horizontale nepropusnije zone. U ovakvim uvjetima ugljikovodici su praktično u statičkom odnosu u pogledu horizontalnog tečenja prema hipsometrijski nižim točkama. Stoga je u takvim periodima pojava istjecanja zagađenja u obalni pojas vrlo rijetka. Navedena saznanja potvrđuju egzaktni rezultati, a to je povećanje debljine sloja ugljikovodika u bušotinama uz istovremeno smanjenje izdašnosti crpljenja ugljikovodika iz bušotina.
- U periodu niskih, a naročito ekstremno niskih razina podzemne vode te minimalnih amplituda oscilacije mora (oseka), ugljikovodici iz nepropusnije zone dolaze u propusnu zonu karbonatnog kompleksa te u takvim uvjetima dolazi do migracije i povećanja brzina tečenja prema obalnom pojasu. Izmjerene debljine

sloja ugljikovodika u bušotinama se smanjuju uz naglo povećanje izdašnosti crpljenja ugljikovodika iz bušotina.

- U slučaju pojave ekstremno velike količine zagađenja u podzemlju, dolazi do saturacije ugljikovodika u obje opisane zone karbonatnog kompleksa, pa su migracije zagađenja prema obalnom pojasu moguće u svim hidrološkim režimima.
- Iznesena saznanja vrijede za veći dio rafinerijskog prostora, uz opasku da na nekim mikrolokacijama dolazi do određenih odstupanja.

4. SANACIJSKE METODE

- Sustav zaštite mora je koncipiran u dvije kategorije:
 - aktivna zaštita: sustav hidrauličkih barijera koje čine drenažni kanal (dimenzija $23 \times 1,5 \times 3 \text{ m}$; $Q = 900 \text{ m}^3/\text{sat}$; rad 24 sata/dan) i sistemi bušotina u nizu, lociranih u rasjedne i pukotinske sisteme, u neposrednom zaleđu obalnog pojasa, a u kojima se kontinuirano istovremeno vrši intenzivno crpljenje. U recentnom radu je 6 takvih sistema.
 - preventivna (pasivna) zaštita: instalacija 1100 metara zaštitnih plivajućih brana u moru, te izgradnja betonskih zaštitnih barijera (niskih zidova) ukupne dužine cca 100 m, sa zadaćom ograničavanja širenja eventualne pojave zagađenja u obalnom pojasu.
- Eliminacija zagađenja u daljem zaleđu obalnog pojasa provodi se projektiranim crpljenjem za tu svrhu izrađene "mreže" bušotina.
- Oprema koja se koristi za crpljenje bušotina definirana je nakon testiranja brojnih uzoraka. Najveća učinkovitost je postignuta s potopnim crpkama (marka "Grundfos", $\varnothing 4"$; $Q_{\text{max}} = 2 \text{ m}^3/\text{sat}$; novoprojektirana konstrukcija pomičnog usisa po vertikali), koje se većinom koriste u sustavu zaštite obalnog pojasa i tračnih iscjedivača ("skimera"), koji djeluju u funkciji eliminacije zagađenja u daljnjem zaleđu. Recentno je u radu 15 crpki i 16 skimera.
- Za efikasan rad opreme za crpljenje iz bušotina izrađena je prateća infrastruktura: instalacija energetskog sustava (električna energija ili komprimirani zrak), projektiranje i izgradnja transportnih cjevovoda i drenažnih posuda za prihvaćanje crpljenih ugljikovodika, te osiguranje logistike za održavanje postojeće opreme.
- Svi podaci prikupljeni tijekom sanacijskog procesa podliježu svakodnevnoj kontinuiranoj obradi i interpretaciji i čine temelj za analizu dosadašnjih učinaka, te predstavljaju polazišnu točku za planiranje i usmjeravanje budućih aktivnosti.

5. KORIŠTENA DOKUMENTACIJA

- ANTOLIŠ, S. (1975): Inženjersko-geološki radovi u Rafineriji nafte - Urinj.- Fond stručne dokumentacije INA-Geološki konzalting, Zagreb.
- GRANDIĆ, S. & KLEIN, V. (1961): Istražni radovi za izgradnju rafinerije "B. Kidrič" - Urinj.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- LIPOVAC, R., UCCELLINI, R. & BLINJA, T. (1997): Sanacija zagađenja u Rafineriji nafte Rijeka, Sektor prerade Urinj, knjiga 6 - Izvješće o obavljenim radovima u razdoblju od 01.11.1996.-01.11.1997. god.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- LIPOVAC, R., UCCELLINI, R. & BLINJA, T. (1998): Sanacija zagađenja u "SPC" Rafineriji nafte Rijeka, Sektor prerade Urinj, Izvještaj o izvršenim istraživačkim radovima na području "A" i "D" grupe spremnika, te u zaleđu 4. brane ispod spremnika D-27.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- LIPOVAC, R., UCCELLINI, R. & BLINJA, T. (1998): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte Rijeka, Sektor prerade Urinj, knjiga 7 - Izvještaj o obavljenim radovima u razdoblju od 01.11.1997. - 01.11.1998. god.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- LIPOVAC, R., UCCELLINI, R. & BLINJA, T. (1999): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte Rijeka, Sektor prerade Urinj, knjiga 8 - Izvještaj o obavljenim radovima u razdoblju od 01.11.1998. - 01.11.1999. god.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- MUNDA, B., PEKAŠ, Ž. & LIPOVAC, R. (1997): Sanacija uljnog zagađenja na prostoru hotela "Ambasador" - Opatija (Izvještaj o izvedenim istraživačkim radovima).- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- MUNDA, B. (1998): Sanacija uljnog zagađenja na prostoru hotela "Ambasador", knjiga 2 - Izvještaj o izvedenim istraživačkim i sanacijskim radovima u razdoblju lipanj 1997. - travanj 1998. god.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- MUNDA, B. (1998): Sanacija uljnog zagađenja na prostoru hotela "Ambasador" - Opatija, knjiga 3 - Izvještaj o izvedenim mjerenjima u sklopu monitoringa za mjesec travanj, svibanj i lipanj, 1998.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- MUNDA, B. & TRUTIN, M. (1998): Uljno zagađenje na prostoru spremnika goriva "INA-Trgovina" - Rogotin (Izvještaj o izvedenim istraživačkim radovima).- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- MUNDA, B. & TRUTIN, M. (1999): Sanacija uljnog zagađenja jezera Vlačka u Rogotinu, knjiga 2, Izvještaj o izvedenim sanacijskim radovima listopad 1998., siječanj 1999.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R., MUNDA, B. & UCCELLINI, R. (1994): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte Urinj, knjiga 1 - Izvješće o obavljenim radovima do 01.01.1994., veljača 1994.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R., MUNDA, B. & UCCELLINI, R. (1994): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte Urinj, knjiga 2 - Izvješće o obavljenim radovima u razdoblju od 01.01.1994. - 01.07.1994. godine, srpanj 1994.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R. & MUNDA, B. (1995): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte - Mlaka na lokaciji južna strana rezervoarskog prostora u petrolejskoj luci, knjiga 2 - Izvješće o izvedenim radovima u razdoblju od 10.11.1994. - 10.02.1995. god.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R., MUNDA, B. & UCCELLINI, R. (1995): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte Urinj, knjiga 3 - Izvješće o obavljenim radovima u razdoblju od 01.07.1994. - 01.02.1995. god., ožujak 1995.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R., MUNDA, B. & UCCELLINI, R. (1995): Sanacija zagađenja u INA-Rafineriji nafte Rijeka, Sektor prerade Urinj, knjiga 4 - Izvješće o obavljenim radovima u razdoblju od 01.02.1995. - 01.11.1995. god., prosinac 1995.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., MUNDA, B. & LIPOVAC, R. (1995): Sanacija zagađenja na području hotela "Admiral" - Opatija, Izvještaj o izvedenim istraživačkim radovima.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.
- PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R., MUNDA, B. & UCCELLINI, R. (1997): Sanacija zagađenja u Rafineriji nafte Rijeka, Sektor prerade Urinj, knjiga 5 - Izvješće o obavljenim radovima u razdoblju od 01.11.1995. - 01.11.1996. god., siječanj 1997.- Fond stručne dokumentacije Geološkog konzaltinga, Zagreb.

Izdanci paleocenskih boksita u prebačenim naslagama okolice Metajne na otoku Pagu

Outcrops of Paleocene Bauxites in Overturned Beds on Metajna Area, Island of Pag

Boris LUKŠIĆ & Vili PENCINGER

Ključne riječi: boksit, geološke strukture, indikatori skrivenih rudnih tijela, otok Pag.

Key words: Bauxite, Geological structures, Indicators of blind ore bodies, Island of Pag.

Sažetak

Izdanci paleocenskih boksita udaljeni od prebačene granice krednih i kozinskih vapnenaca dovode do zaključka da su manji izdanci boksita dalje od prebačene granice pokazatelj većih ležišta.

Abstract

Outcrops of the Paleocene bauxites are situated far from the overturned borders of Cretaceous and Liburnian limestones. This brings us to conclusion that smaller outcrops of bauxites, which are much further from the overturned borders, indicate larger blind bauxite bodies.

1. POVIJEST ISTRAŽIVANJA

Boksitna ležišta Paga detaljnije je opisao TOLIĆ (1952, 1953), gdje na potezu Lun-Barbati opisuje uski isprekidani orudnjeni pojas između gornjokrednih i paleocenskih naslaga. SOKAČ et al. (1974), publiciraju list OGK-Gospić i Tumač (SOKAČ et al., 1976), gdje spominju boksitna ležišta okolice Metajne.

ŠINKOVEC & SAKAČ (1981) objavljuju rad o boksitima starijeg paleogena na otocima sjevernog Jadrana gdje opisuju i područje Paga od Luna do Zubovića, s detaljima geološkog položaja i oblika ležišta te kemijskog i mineralnog sastava boksita.

2. GEOLOŠKA GRAĐA TERENA

2.1. STRATIGRAFIJA

Gornja kreda (K_2^3)

Svijetlosivi gornjokredni vapnenci dobro su uslojeni (debljine slojeva iznose 20 do 60 cm). Prevladavaju kalcilituti, rjeđi su kalkareniti i bioakumulirani vapnenci. Rudistna zajednica ukazuje na raspon konijak-santon uz mogućnost postojanja donjeg kampana. Debljina senonskih vapnenaca je oko 350 do 400 m.

Liburnijske naslage (Pc, E_1)

To su pločasti vapnenci diskordantno položeni na senonske karbonate. Erozijska diskordancija obilježena je pojavama i ležištima boksita. Kutna diskordancija je neprimjetna, najčešće i ne postoji. Vapnenci su smeđi do crvenkasti, tankouslojeni, s fosilnim algama i puževima koji upućuju na raspon paleocen-donji eocen. Debljina naslaga je do 20 m.

Foraminiferski vapnenci ($E_{1,2}$)

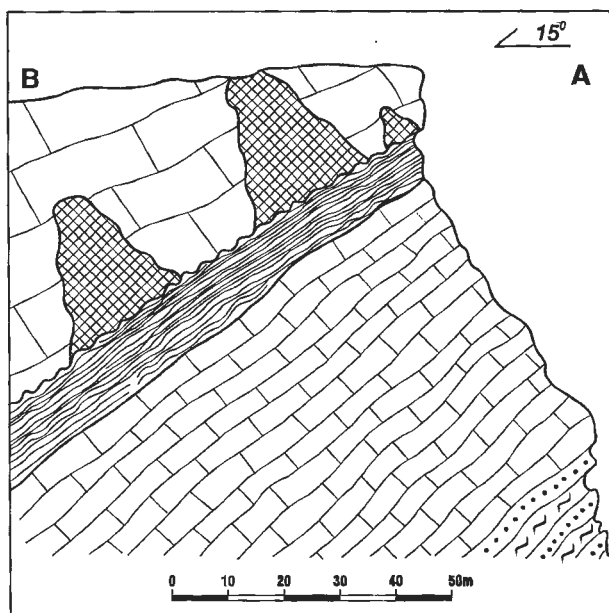
Kontinuirano na liburnijske vapnence, a transgresivno na senonske, nastavljaju se foraminiferski vapnenci. Taloženi su u litoralno-neritskom facijesu toplog mora. Nalazi alveolina i numulita ukazuju na donjo- i srednjoeocensku starost. Debljina naslaga iznosi oko 250 m.

Fliš ($E_{2,3}$)

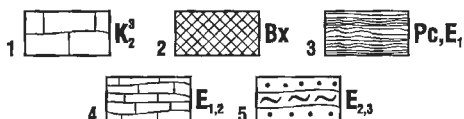
Kontinuirano na foraminiferske vapnence taložena je izmjena lapora i pješčenjaka. Prema bogatoj fosilnoj zajednici foraminifera određena je starost srednji i gornji eocen. Debljina sedimenata je oko 350 m.

Kvartar (Q)

Tvorevine kvartara su sipari sastavljeni od oštrobričnih fragmenata okolnih stijena. Izmiješani su s pre-



LEGENDA - LEGEND



Sl. 2 Shematski geološki profil A-B. Legenda: 1) gornjokredni vapnenac; 2) boksit; 3) liburnijski vapnenac; 4) foraminiferski vapnenac; 5) fliš.

Fig. 2 Schematic geological cross-section A-B. Legend: 1) Upper Cretaceous limestone; 2) bauxite; 3) Liburnian limestone; 4) foraminiferal limestone; 5) flysch.

taloženom crvenicom, žutosmeđim pedološkim slojem i ilovačom.

2.2. TEKTONIKA

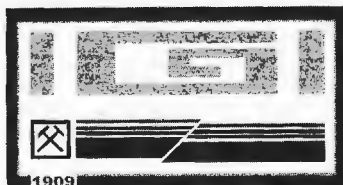
Osnovni strukturni oblik formiran je u okviru piri-nejske orogenetske faze kada su zajedno borane karbonatne naslage gornje krede i starijeg paleogena i klastiti srednjeg eocena. Potisci su oblikovali jugozapadne vergence. Sve naslage imaju dinaridsko pružanje s kutom nagiba 25-70° na SI. Gornjokredne naslage položene su na kozinske vapnence, ovi na foraminiferske i sve zajedno leži na klastitima fliša. Na nekoliko mjesta jugoistočno od Metajne cijeli kompleks prebačenih naslaga ustrmljen je do 70° (sl. 1). Osnovna prebačena struktura poremećena je poprečnim rasjedima dekametarskih hodova i zanemarivih skokova duž paraklaza. Na kontaktu rudistnih vapnenaca i liburnijskih naslaga nalaze se inverzno položena ležišta boksita (sl. 2).

3. LEŽIŠTA BOKSITA

Ležišta su malih dimenzija, najčešće od 1.000 do 5.000 t. Na potezu Lun-Novalja desetak ležišta je povučeno. Sve jame imaju oblik lonca, glatkih bokova, dubine ojednake promjeru otvora na površini. Od Metajne pa do Sv. Kristofora boksiti nisu eksploatirani. Na ovom dijelu terena ležišta su u zanimljivom položaju. Izdanci se nalaze na nepristupačnim strmim padinama. Rudarska podina su im liburnijske naslage, a krovina rudistni vapnenaci. Izdanci boksita nalaze se na strmim jugozapadnim padinama uz sjeveroistočnu obalu Paškog kanala. Oblik vidljivog dijela izdanaka je lećast, pružanja do 10 m uz kontakt $K_2/Pc, E_1$ debljine do 1 m. Ovo su "klasični" kontakti izdanci, međutim zanimljiviji su izdanci u pozadini ovih. Ovalnog su oblika, dimenzija 8x5 m, 3x2 m, 1x1 m do 20x15 m. Udaljeni su od prebačene orudnjene granice $K_2/Pc, E_1$ 3 do 20 m. Uz pravilo da je podrudni paleoreljef oblikovan uvijek okomito na slojevitost podine, može se zaključiti da postoji obrnuta proporcionalnost između udaljenosti prebačene orudnjene granice i veličine izdanaka u rudistnom vapnencu. To konkretno znači da se može očekivati veće ležište tamo gdje je udaljenost izdanaka u krednim vapnencima od prebačene granice veća a izdanak boksita manji. Uzroci tome su relativno blago položeni slojevi i djelovanje erozije na inverzno položene naslage. Naime, idući od prebačene granice prema SI i izdancima, ulazimo u sve starije K_2 sedimente u okruženju dna boksitnog ležišta, pa je gornji zaključak logičan.

4. LITERATURA

- SOKAČ, B., NIKLER, L., MAMUŽIĆ, P., IVANOVIĆ, A., GALOVIĆ, I., ŠUŠNJARA, A., PAVIČIĆ, A., MAJCEN, Ž., MALEZ, M., BRKIĆ, M. & MARKOVIĆ, S. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. List Gospić L33-127.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1963-1967). Sav. geol. zavod, Beograd.
- SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Gospić L33-127.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1967). Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŠINKOVEC, B. & SAKAČ, K. (1981): Boksiti starijeg paleogena na otocima sjevernog Jadrana.- Geol. vjesnik 33, 213-235, Zagreb.
- TOLIĆ, Lj. (1953): Boksitna ležišta otoka Paga. Geol. vjesnik, 5-7, 373-376, Zagreb.





Perspektivno šire područje naftno-plinskog polja Lipovljani, Savska potolina, Hrvatska

Perspective Wider Area of the Gas Oil Field Lipovljani, Sava River Depression, Croatia

Berislav MARINIĆ, Božidar MALEKOVIĆ, Melita ŽIVKOVIĆ & Mario ŠALER

Ključne riječi: sedimentacijski bazen, matične stijene, migracija, zamke, Hrvatska.

Key words: Sedimentary basin, Source rocks, Migration, Traps, Croatia.

Sažetak

Razmatrane su gornjomiocenske naslage naftno plinskog polja Lipovljani s naslagama na susjednim poljima Jamarica, Kozarica, Gojlo i istražni prostor oko Banove Jaruge. Sva spomenuta polja se smatraju okonturenima. Promatrano područje nalazi se u istočnom dijelu Ilovske subdepresije a pripada Savskoj potolini. Razmatrajući pješčana tijela u tom prostoru s cca 500 bušotina i tražeći vezu između tih pješčanih tijela došlo se do zaključka da je sjeverni dio polja Lipovljani perspektivan za otkrivanje novih rezervi nafte. Izrađena su nova strukturalna rješenja, a potvrđena su seizmikom. Radi se o tektonskim zamkama na migracijskom putu nafte sa zapada prema polju Lipovljani. Migracijski put nafte u prostoru oko matičnih stijena prikriven je razvedenošću bazena i tektonikom. Projektirane bušotine Lip-174 i 175 koje su u planu za izradu u tim zamkama, trebale bi potvrditi nove predviđene rezerve. Ako se te rezerve potvrde biti će to putokaz za predviđanje novih rezervi nafte u gornjem miocenu u sličnim situacijama Savske potoline i Panonskog bazena.

Abstract

Upper Miocene sediments have been examined in oil-field Lipovljani together with the adjoining fields Jamarica, Kozarica, Gojlo and exploration area Banova Jaruga. All these fields are considered to be delineated. This area is situated in the eastern part of the Ilova Depression. Examining sand bodies in that area with about 500 drilled wells and trying to establish the relationship between those fields resulted in conclusion that northern part of the Lipovljani field represented the prospect for discovering new oil reserves. Structural interpretation has been performed and confirmed by seismics. This is the case of tectonic traps located on oil migration path from west toward the Lipovljani field. Oil-migration path can be presented like region around the source rocks masked by basin indentedness and tectonics. New predicted oil reserves-about should be confirmed by the planned wells Lip-174 and Lip-175 in those traps. If those oil traps were confirmed, it could be a landmark for predicting new additional oil reserves of Upper Miocene under similar circumstances in the Sava Depression and Pannonian Basin.

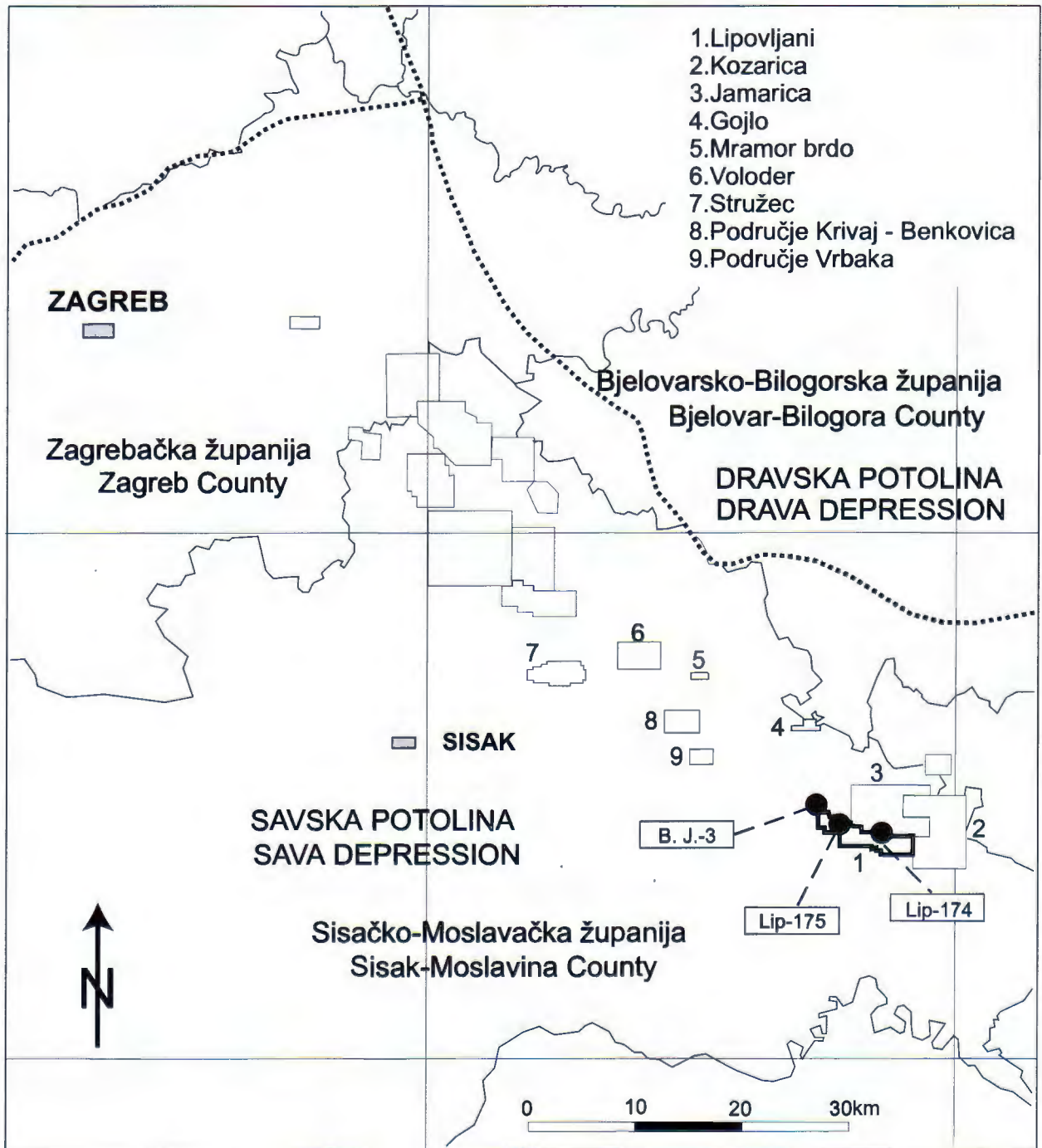
1. UVOD

Dio Savske sedimentacijske potoline, tzv. Ilovska subdepresija nalazi se između planina Psunj i Moslavačke gore, a formirana je i zapunjavana tijekom mioцена. U krajnjem istočnom dijelu, uz rub Ilovske subdepresije formirana su naftno plinska polja Jamarica, Lipovljani i Kozarica. Područje je veličine od cca 250 km², a nalazi se cca 90 km jugoistočno od Zagreba (sl. 1). Prvi izvještaj o geološkom kartiranju toga područja prikazao je FILJAK (1953). Ocjenu naftoplinonosnosti na polju Lipovljani prikazao je PLETIKAPIĆ (1963). Sedimente neogenske starosti Ilovske subdepresije razradio je BLAŠKOVIĆ (1982), a granitno-metamorfne

komplekse i naftoplinonosnost savsko-dravskoga područja (sjeverna Hrvatska) prikazali su NAJDENOVSKI et al. (1995).

Dinamiku nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena prikazali su PRELOGOVIĆ et al. (1995).

Polje Jamarica je antiklinorij vezan s poljem Kozarica. Polje Kozarica predstavlja strukturalni nos, koji ulazi u Ilovsku subdepresiju i čiji je nastavak polje Lipovljani, koje samostalno promatrano ima oblik antiklinale pružanja NW-SE, duljine cca 6 km. Polje je rasjednuto mnogobrojnim poprečnim i uzdužnim rasjedima. Razmatranjem pješčanih tijela u ovom prostoru utvrđeno je njihovo pružanje pretežno u smjeru zapad-istok. Pješčana tijela u smjeru istoka postepeno isklinjavaju, a prema zapadu se šire i zaliježu dublje prema centru Ilovske



Sl. 1 Pregledna karta.

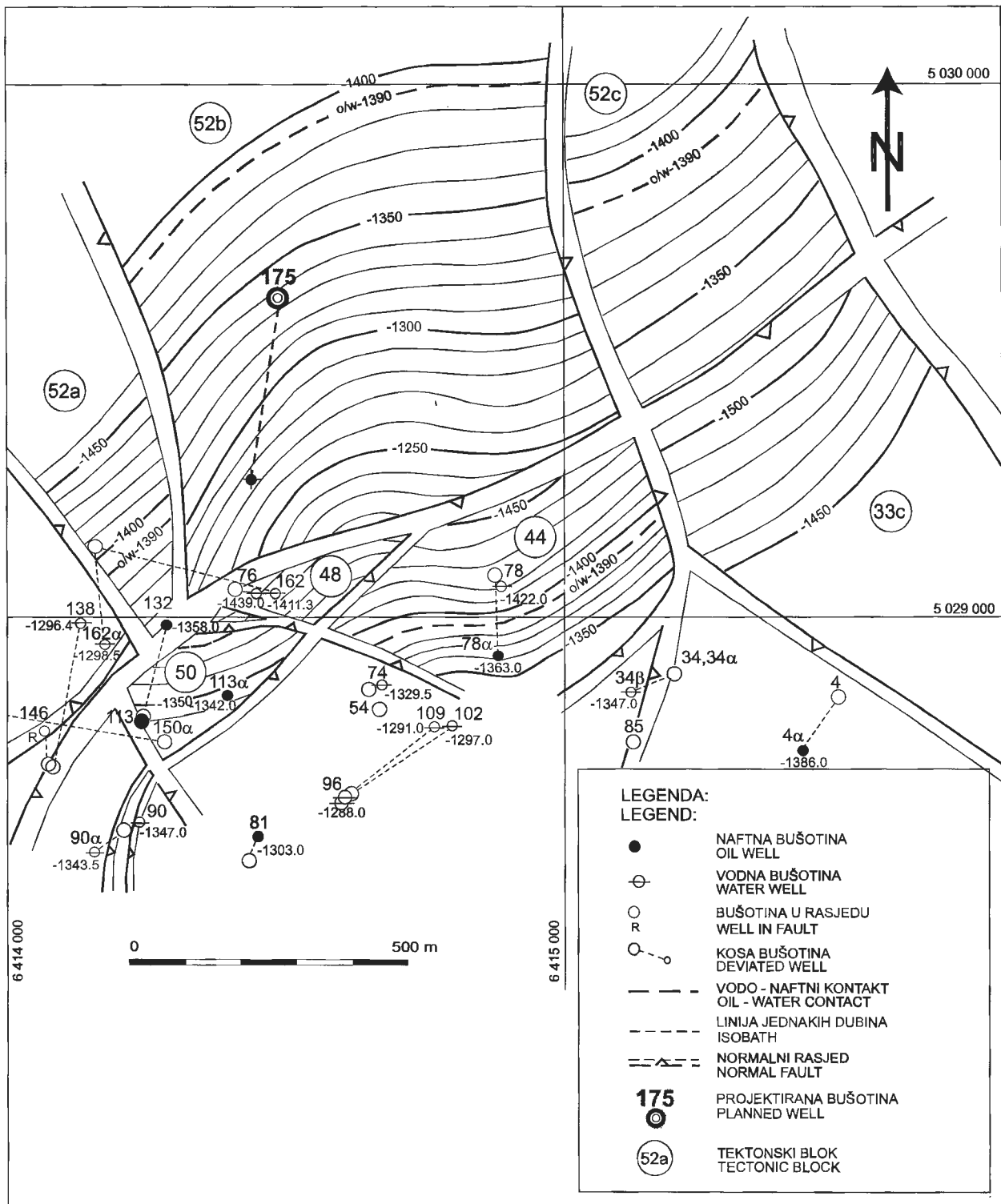
Fig. 1 Situation map.

subdepresije. U polju Lipovljani utvrđeno je 57 ležišta od kojih su 13 značajnija, a podijeljena su rasjedima u 248 blokova. Ležišta su pješčana, slojna, nadsvodena, tektonski i litološki ekranirana. Isti tip ležišta razvijen je i na susjednom polju Jamarica, a sjeverozapadno od polja iz profila bušotine BJ-3 može se zaključiti da su neka ležišta veće debljine. Debljina pješčanih tijela je između 5-150 m. Poroziteti su u granicama od 10-30%, a propusnost od $2-200 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$. Debljina pješčanih

tijela, porozitet i propusnost postepeno se povećavaju u smjeru sjeverozapada. Porozitet i propusnost postepeno rastu i prema stratigrafski mlađim ležištima.

2. NAFTONOSNOST

Prisutnost matičnih stijena utvrđena je na bušotinama BJ-3, Lip-2D i Lip-1 istok. Na polju Gojlo su tako-



Sl. 2 Strukturna karta po krovini ležišta L_1 na sjeverozapadnom dijelu polja Lipovljani.

Fig. 2 Top reservoir L_1 structural map in the north-western part of Lipovljani field.

der determinirane matične stijene. Izračunato je da su matične stijene toga područja proizvele dva puta više ugljikovodika od do sada otkrivenih (LEŠKO, 1998). Posebno su interesantne pelitne sekvence s matičnim karakteristikama na nekoliko nivoa u profilu bušotine BJ-3 (BARIĆ, 1990). Moguće je pretpostaviti i njihovo

regionalno rasprostranjenje u smjeru zapada, gdje tonu u dublji dio Ilovske subdepresije. Geokemijskim ispitivanjem utvrđena je zrelost identificiranih matičnih stijena. Pretpostavljeni migracijski procesi su smjera zapad-istok, gdje dolazi do njihovog zaustavljanja, akumuliranja.

Migracijski put možemo općenito predočiti kao prostor oko matičnih stijena karakteriziran razvedenošću bazena i tektonikom, a često i nedostatkom kolektora. U tom prostoru ima ugljikovodika zaostalih u tektonskim, stratigrafskim i antiklinalnim zamkama. Formiranje zamki odvijalo se u ranijem periodu u odnosu na glavnu fazu migracije. Procijenjeni migracijski put matična stijena-rezervoarska stijena prema poljima Lipovljani, Jamarica i Kozarica iznosi od 5 do 20 km. Geokemijska karakterizacija nafte iz bušotine BJ-3 i polja Jamarica i Lipovljani pokazala je njihovu međusobnu sličnost. Nafta polja Kozarica ima slične genetske osobine, međutim izmjenjenost ove nafte izazvana je gubitkom laganih ugljikovodika, a reflektira se i smanjenjem API gustoće u odnosu na lagane nafte polja Jamarice i Lipovljani. Na temelju novih geoloških saznanja projektirane su bušotine Lip-174 i 175. Očekivane akumulacije ugljikovodika trebale bi se nalaziti u tektonskim zamkama, a istovremeno se nalaze i na pretpostavljenom migracijskom putu ugljikovodika. Razradnim bušenjem morale bi se potvrditi i procijenjene rezerve ugljikovodika na sjevernoj strani polja Lipovljani, koje se za sada smatra okonturenim (sl. 2). Zamke bliže matičnim stijenama na migracijskom putu prema postojećim poljima i u blokovima unutar polja imaju dublji o/w kontakt. Tako je na zapadu polja Jamarica u seriji ležišta Lipovljani utvrđen kontakt o/w na dubini -1560 m, a prema istoku on se penje na -1030 m. Na polju Lipovljani za istu seriju kontakt o/w se diže od -1446 m na zapadu do -1250 m na istoku.

3. ZAKLJUČAK

U nekoliko bušotina promatranog prostora identificirane su matične stijene. Pretpostavljeno je njihovo regionalno rasprostranjenje, posebno u smjeru zapada, gdje tonu u dublji dio Ilovske subdepresije. Dostignuta zrelost matičnih stijena omogućuje generiranje i migriranje ugljikovodika. Pretpostavljena migracija je u smjeru istoka, gdje ugljikovodici zapunjavaju rezervoarske stijene polja Lipovljani, Jamarica i Kozarica. Migracija je pretpostavljena i u drugim smjerovima, na primjer sjever-sjeveroistok.

Na temelju novih geoloških podataka projektirane su nove razradne bušotine Lip-174 i 175. Očekivane akumulacije ugljikovodika trebale bi se nalaziti u tektonskim zamkama i na pretpostavljenim migracijskim putovima

Na savjetima i podacima zahvaljujemo B. VRBANCU, G. BARIĆU, M. GOJIĆU, i J. LEŠKO

LITERATURA

- BARIĆ, G. (1990): Geokemijski izvještaj za duboku istražnu bušotinu Banova jaruga-3.- Fond stručne dokumentacije INA-NAFTAPLIN, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1982): The Neogene of the Ilova river depression (northern Croatia).- *Acta geologica*, 1/2, 23-67, Zagreb.
- FILJAK, R. (1953): Izvještaj o geološkom kartiranju na području Rajić, Okučani, Lipik.- Fond stručne dokumentacije Naftaplín, Zagreb.
- LEŠKO, J. (1998): Naftno geološka i ekonomska procjena istražnog bloka Sava-3.- Fond stručne dokumentacije SI. istraživanja, Elaborat br. 1379, Zagreb.
- NAJDENOVSKI, I., HERNITZ, Z. & DVORNIK, Lj. (1995): Granitno metamorfni kompleksi i naftoplinonosnost savsko-dravskoga područja (sjeverna Hrvatska).- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 403-407, Zagreb.
- PLETIKAPIĆ, Ž. (1963): Ocjena vrijednosti naftoplinonosnih slojeva na polju Lipovljani.- *Nafta*, 14/1, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, I., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 481-486, Zagreb.

Inženjerskogeološka baza podataka - analiza potreba

Engineering Geological Database - Needs Assessment

Snježana MIHALIĆ

Ključne riječi: inženjerskogeološka karta, inženjerskogeološka baza podataka, model podataka.

Key words: Engineering geological map, Engineering geological data base, Data model.

Sažetak

Inženjerskogeološka karta svaka je karta koja predočava međusobni utjecaj geološkog okoliša i inženjerske situacije, napravljena u svrhu rješavanja inženjerskih problema ili problema vezanih za okoliš, na bilo kojoj razini prostornog planiranja, projektiranja, građenja ili održavanja građevina. Trendovi razvoja digitalne kartografije i prostornih baza podataka nametnuli su potrebu transformacije inženjerskogeoloških karata u inženjerskogeološku kartografsku bazu podataka, koja je digitalni ekvivalent knjižnice ('skladišta') inženjerskogeoloških karata. Analizom međunarodno prihvaćenih preporuka za inženjerskogeološko kartiranje, a u skladu s razvojem standardnog modela podataka geološke karte, koji je u tijeku, u radu je dan pregled osnovnih kriterija koje bi trebao zadovoljiti inženjerskogeološki informacijski sustav, čija svrha je pohranjivanje i izrada svih tipova inženjerskogeoloških karata. Prema navedenim kriterijima, inženjerskogeološka karta tretira se kao prezentacija, iz baze podataka odabranih, prostorno i vremenski definiranih geoloških objekata, grupiranih, simboliziranih i opisanih u skladu sa svrhom izrade karte. Izrada modela podataka inženjerskogeološke kartografske baze podataka ističe se kao sljedeći korak u razvoju baze podataka, za što su u ovom radu dane glavne smjernice.

Abstract

Engineering geological map is each of the maps that display interrelationship between geological environment and the engineering situation, motivated by engineering or environmental problems at any stage of planning, design, construction or maintenance of civil engineering works. Current trends in the development of digital cartography and spatial databases require transformation of engineering geological maps into engineering geological cartographic database which is digital equivalent of an engineering geological map library (warehouse). By analysis of the internationally accepted recommendations for engineering geological mapping, and in accordance to development of a standard geologic map data model, which is currently in progress, in this paper an inventory is given of the basic criteria that are to be fulfilled by the engineering geological information system. The purpose of this system is in archiving and derivation of all types of engineering geological maps. According to the listed criteria, an engineering geological map is treated as presentation of, spatially and temporally defined geological objects, that are selected from the data base, grouped, symbolised and described in accordance to the specific purpose. Data model development of the engineering geological cartographic data base is emphasised as the next step in the data base development, for which the general guidelines are given here.

1. UVOD

Inženjerskogeološki podaci koriste se za donošenje odluka o gospodarenju zemljištem na svim razinama prostornog planiranja, prilikom projektiranja, građenja i održavanja građevina, za istraživanja mineralnih sirovina, kao i za znanstvena istraživanja. Pohranjivanje i distribucija inženjerskogeoloških informacija uobičajeno je na inženjerskogeološkim kartama, popraćenim izvještajima. Karta najbolje predočava geološki okoliš, značajke i varijabilnost inženjerskogeoloških uvjeta, od individualnih komponenti do njihovih meduodnosa.

Istovremeno, inženjerskogeološka karta pojednostavljeni je prikaz kompleksnih spoznaja o inženjerskogeološkim značajkama promatranog područja. Izdvojene jedinice na karti rezultat su interpretacije vrlo ograničenog broja raspoloživih podataka, koju je načinila jedna ekipa ili stručnjak, koji su najčešće ograničeni količinom novca i vremena. Kriteriji prema kojima je karta izrađena najčešće ili nisu navedeni, ili nisu dovoljno jasno kartografski prezentirani.

Suvremena informacijska tehnologija nametnula je nove načine izrade karata - kartografske baze podataka. Geografski informacijski sustav (GIS) kompjutorski je sustav za upravljanje geokodiranim (geografski locira-

nim) podacima. Svrha GIS-a je integracija velikog broja različitih tipova podataka iz različitih izvora (primarnih i sekundarnih; analognih i digitalnih) u jedinstvenu bazu podataka. Uloga GIS-a je: (a) izrada karata; (b) izvođenje prostornih upita i prikaz rezultata; (c) provođenje prostornih analiza.

Dva su tipa GIS baza podataka, koji se razlikuju s obzirom na svrhu izrade, a time i na količinu sadržanih podataka (BONHAM-CARTER, 1997). Arhivske baze podataka (*custodial databases*) pohranjuju velike količine podataka. One služe kao izvor podataka za brojne korisnike tijekom duljeg razdoblja. Drugi tip su baze podataka specijalno izrađene za potrebe određenog projekta (*project-related databases*), koje sadrže znatno manje podataka, namijenjene su malom broju korisnika, a vrijeme njihova održavanja ograničeno je trajanjem projekta. Inženjerskogeološka kartografska baza podataka tip je arhivske baze podataka, u kojoj su istovremeno arhivirane i karte i podaci, interpretacijom kojih karte nastaju. Stoga je prilikom izrade inženjerskogeološke baze podataka potrebno uvažiti činjenice koje vrijede za sve tzv. velike baze podataka. Inženjerskogeološka baza podataka treba biti jedinstvena na nacionalnoj ili regionalnoj razini, načinjena u skladu s opće prihvaćenim standardima, koji nisu podložni skorim izmjenama.

Standardni postupci razvoja informacijskih sustava započinju s analizom potreba, na osnovi kojih se projektira baza podataka (RICHARD, 1999). Projektna dokumentacija prikazuje se u obliku shema baze podataka (PAVLIĆ, 1996): konceptualnu shemu izradit će projektant baze podataka, internu shemu administrator baze podataka, a eksternu shemu projektant aplikacija. Stručnjaci s područja inženjerske geologije trebaju sudjelovati u svim fazama razvoja inženjerskogeološke kartografske baze podataka, s time da je njihova uloga najznačajnija tijekom planiranja sustava (analiza potreba) i u početnim fazama projektiranja sustava (izrada konceptualne sheme). BONHAM-CARTER (1997) ističe da su informacijski sustavi, koji sadrže geološke podatke, općenito najteži za projektiranje, već i zbog same prirode podataka. Svi tipovi geoloških karta nastaju interpretacijom geoloških podataka (mjenjenih ili, opet, interpretiranih), koja je subjektivna, i samim time podložna promjenama. Osim toga, kvaliteta podataka prezentiranih na geološkim kartama vrlo je varijabilna (od vrlo grubih procjena do izmjerenih vrijednosti), ovisno o traženju preciznosti karte.

Svrha ovoga rada je utvrđivanje osnovnih kriterija koje bi inženjerskogeološka kartografska baza podataka trebala zadovoljiti. U tu su svrhu (u poglavlju Inženjerskogeološke karte) ukratko prezentirani dijelovi preporuka za inženjerskogeološko kartiranje. Ove preporuke, izdane od strane Međunarodnog društva za inženjersku geologiju (ANON., 1976, 1981), danas su, u velikoj

mjeri, prihvaćene kao svjetski standard za inženjerskogeološko kartiranje, a time su i dokument relevantan za razvoj inženjerskogeološke baze podataka. Razrada kriterija (poglavljje Inženjerskogeološka baza podataka) spada u domenu analiza potreba inženjerskogeološkog informacijskog sustava.

2. INŽENJERSKOGEOLOŠKE KARTE¹

2.1. VRSTE INŽENJERSKOGEOLOŠKIH KARATA

Inženjerskogeološke karte specijalni su tip geoloških karata namijenjen za rješavanje konkretnih inženjerskih problema. Vrste inženjerskogeoloških karata razlikuju se prema svrsi izrade, sadržaju i mjerilu karte (ANON., 1976).

S obzirom na svrhu, inženjerskogeološke karte mogu biti: 1) specijalne namjene, ili 2) višenamjenske. Inženjerskogeološke karte specijalne namjene rade se za određenu specifičnu namjenu (npr. urbano planiranje) ili daju informacije samo o jednom specifičnom aspektu inženjerske geologije (npr. klizištima). Višenamjenske inženjerskogeološke karte sadrže informacije koje pokrivaju mnoge aspekte inženjerske geologije, a moguće ih je upotrijebiti u razne svrhe, bilo planerske ili inženjerske.

S obzirom na sadržaj, inženjerskogeološke karte mogu biti: 1) analitičke, 2) sveobuhvatne, ili 3) pomoćne. Analitičke inženjerskogeološke karte prikazuju detalje ili procjenjuju samo pojedine komponente geološkog okoliša. Njihov je sadržaj, u pravilu, izražen već u naslovu karte, npr. karta stupnjeva trošnosti, karta seizmičkog hazarda i sl. Sveobuhvatne inženjerskogeološke karte prikazuju sve glavne inženjerskogeološke komponente, bilo pojedinačno ili grupirane po zonama. Pomoćne inženjerskogeološke karte prikazuju samo određene tipove podataka, npr. dokumentacijske karte.

S obzirom na mjerilo, razlikuju se inženjerskogeološke karte: 1) detaljnog mjerila (>1:5.000), 2) velikog mjerila (1:5.000 - 1:10.000), 3) srednjeg mjerila (1:10.000 - 1:100.000) i 4) sitnog ili regionalnog mjerila (<1:100.000).

2.2. VRSTE PODATAKA NA INŽENJERSKOGEOLOŠKIM KARTAMA

Geološke značajke koje se prikazuju na inženjerskogeološkim kartama mogu se podijeliti u četiri osnovne grupe: 1) značajke stijena i tala², 2) hidrogeološki uvjeti, 3) geomorfološki uvjeti i 4) geodinamičke pojave. Inženjerskogeološke značajke stijena i tala obuhvaćaju litološki sastav i fizičko-mehanička svojstva materijala stijene/tla (boja, tekstura, čvrstoća itd.) i značajke mase stijene/tla (struktura, diskontinuiteti i trošnost). Hidro-

¹ U tekstu se, radi jednostavnosti, koristi pojam inženjerskogeološke karte kao zajednički za inženjerskogeološke karte (M<1:10.000) i za inženjerskogeološke planove (M>1:10.000).

geološki uvjeti relevantni za inženjerskogeološko kartiranje su svi oni koji utječu na svojstva stijena i tala, na geodinamičke pojave ili, općenito, na građevinske zahvate. Stoga su na inženjerskogeološkim kartama česti podaci o distribuciji površinskih voda (izvori, rijeke, jezera itd.) i podzemnih voda (npr. razina podzemne vode). Geomorfološki uvjeti uključuju površinsku topografiju i važne elemente krajolika, kako bi se moglo predvidjeti npr. napredovanje erozije, kolaps u kršu i sl. Geodinamičke pojave obuhvaćaju eroziju i taloženje (depoziciju), eolske pojave, permafrost, klizišta, formiranje krških uvjeta, sufoziju, slijeganje, volumne promjene tla, podatke o seizmičkim fenomenima uključivo aktivne rasjede, aktivna regionalna tektonska kretanja i vulkansku aktivnost.

Izvori podataka za izradu inženjerskogeološke karte mogu biti postojeće geološke karte i izvještaji, interpretacija snimaka (avionskih, satelitskih), inženjerskogeološko kartiranje, geofizička ispitivanja i laboratorijska i *in situ* ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava.

2.3. PRINCIPI KLASIFIKACIJE STIJENA I TALA NA INŽENJERSKOGEOLOŠKIM KARTAMA

Kartografske jedinice stijena i tala na inženjerskogeološkim kartama različitih mjerila moraju biti, do određenog stupanja, homogene s obzirom na inženjerskogeološka svojstva. Klasifikacija stijena i tala na inženjerskogeološkim kartama zasniva se na principu da su fizičko-mehanička (inženjerskogeološka) svojstva stijena posljedica kombiniranog utjecaja načina postanka stijene, naknadnih dijagenetskih promjena, metamorfni procesa, tektonike i procesa trošenja (ANON., 1981). Ovaj princip klasifikacije omogućuje određivanje razloga postojanja određenih litoloških i fizičko-mehaničkih značajki stijena i tala, kao i određivanje njihove prostorne distribucije. Primjena ovog principa, prilikom izdvajanja jedinica stijena/tala na kartama, iziskuje brojne determinacije svojstava uzorka stijena/tala, opsežna terenska opažanja i mjerenja.

Komisija za izradu inženjerskogeoloških karata Međunarodnog društva za inženjersku geologiju predložila je sljedeću klasifikaciju jedinica inženjerskogeoloških karata (ANON., 1976): a) inženjerskogeološki tip, b) litološki tip, c) litološki kompleks, i d) litološka grupa. Ove jedinice koriste se za sve vrste inženjerskogeoloških karata, bilo da su one višenamjenske ili specijalne namjene, sveobuhvatne ili analitičke. Izbor jedinica ovisit će o mjerilu karte (sl. 1).

Inženjerskogeološki tip jedinica je koja mora zadovoljiti najviši stupanj homogenosti. On mora biti ujednačen s obzirom na litološki sastav i fizičko stanje stijene/tla. Fizičko-mehaničke značajke inženjerskogeološkog tipa mogu se odrediti statističkim analizama rez-

ultata ispitivanja provedenim na pojedinim uzorcima. Inženjerskogeološki tip jedinica je koja se može koristiti samo na kartama detaljnog (> 1:5.000) i/ili velikog mjerila (1:5.000 - 1:10.000).

Litološki tip mora biti homogen s obzirom na litološki sastav, teksturu i strukturu, ali ne i s obzirom na fizičko stanje stijene/tla. Vrijednosti prosječnih mehaničkih svojstava ove jedinice nisu pouzdane. Inženjerskogeološka svojstva litološkog tipa eventualno je moguće prikazati pomoću raspona vrijednosti. Ove jedinice koriste se na kartama velikog mjerila (1:5.000 - 1:10.000), a gdje je moguće i na kartama srednjeg mjerila (1:25.000 - 1:50.000).

Litološki kompleks obuhvaća set genetski povezanih litoloških tipova koji su nastali u istim paleogeografskim i geotektonskim uvjetima. Karakteristika litološkog kompleksa je određeni prostorni raspored litoloških tipova, po kojemu se taj kompleks razlikuje od ostalih. Litološki kompleks ne mora biti ujednačen, niti s obzirom na litološki karakter, niti s obzirom na fizičko stanje. Stoga, fizičko-mehanička svojstva cijelog litološkog kompleksa nije moguće definirati, već je moguće dati samo podatke o individualnim litološkim tipovima koji čine kompleks ili, vrlo općenito, ukazati na ponašanje cijelog kompleksa. Litološki kompleks koristi se kao jedinica na kartama srednjeg mjerila (1:25.000 - 1:50.000) i na nekim kartama sitnog mjerila (< 1:100.000).

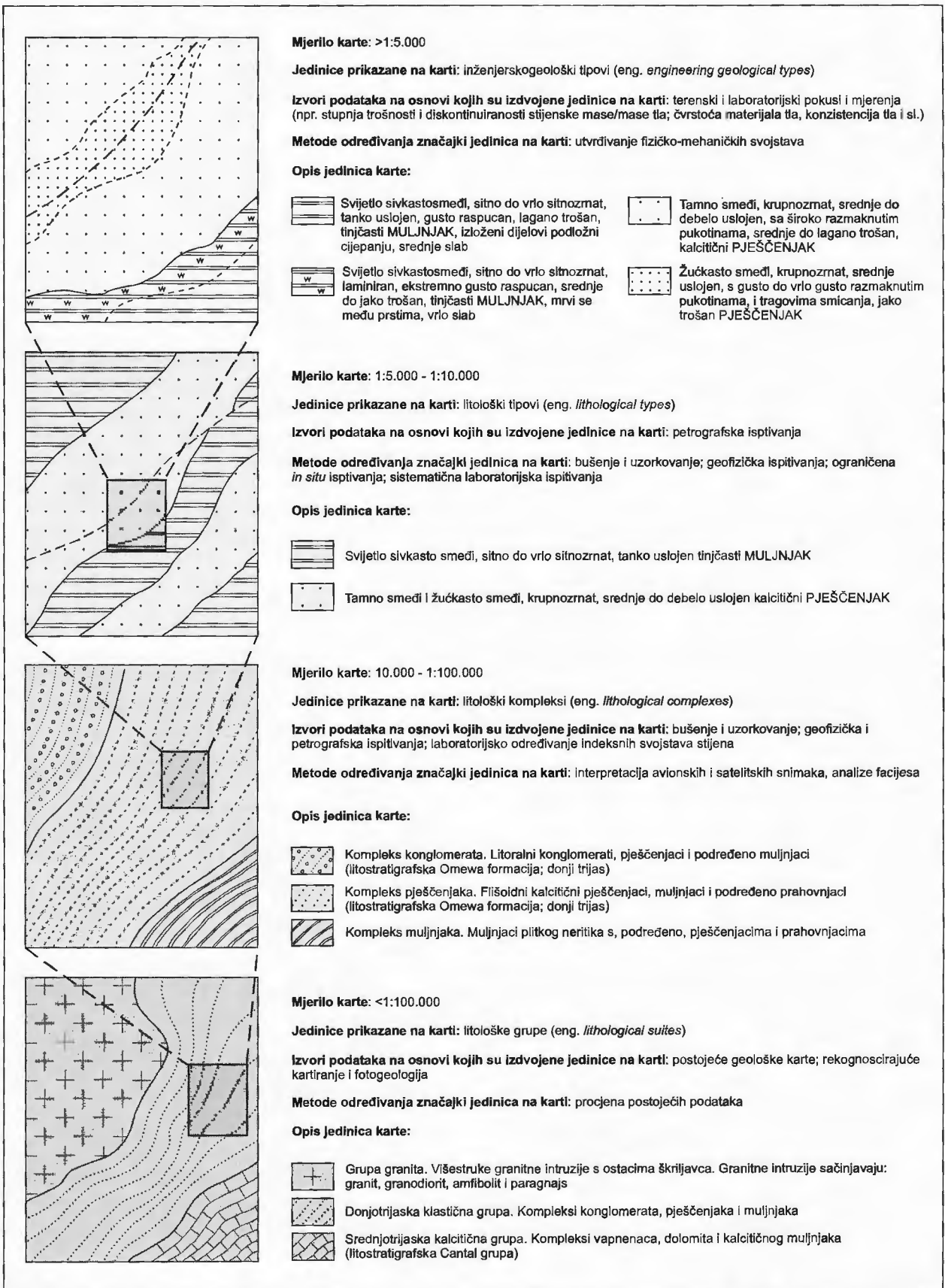
Litološka grupa sačinjena je od više litoloških kompleksa, koji su nastali u sličnim paleogeografskim i tektonskim uvjetima. Ona ima stanovite zajedničke litološke značajke koje joj daju opću jedinstvenost i po kojima se razlikuje od ostalih grupa. Moguće je ukazati na samo vrlo općenita inženjerskogeološka svojstva litološke grupe. Ove jedinice prikazuju se samo na kartama sitnog mjerila (< 1:100.000).

3. INŽENJERSKOGEOLOŠKA BAZA PODATAKA

Na osnovi preporuka Komisije za izradu inženjerskogeoloških karata Međunarodnog društva za inženjersku geologiju (ANON., 1976, 1981), a po uzoru na prijedlog standardnog modela podataka geološke kartografske baze podataka, koji razvija Radna grupa za model podataka geološke karte (JOHNSON et al., 1999) načinjen je popis osnovnih kriterija koje bi inženjerskogeološka baza podataka trebala zadovoljiti:

- 1) Inženjerskogeološka kartografska baza podataka arhiva je: a) inženjerskogeoloških karata, i b) inženjerskogeoloških podataka, interpretacijom kojih karte nastaju.
- 2) Baza podataka treba obuhvaćati inženjerskogeološke podatke na temelju kojih je moguće izraditi sve

² Stijena, u geološkom smislu, obuhvaća sve prirodne agregate minerala, neovisno o njihovim stanju i fizičko-mehaničkim svojstvima. U inženjerskoj geologiji uvriježeno je razlikovati stijene i tla. Kriterij za razlikovanje stijena od tala je to što je tla, za razliku od stijena, moguće rastaviti na sastavne dijelove već i samim potapanjem u vodi, jer nisu povezana jakim i stalnim silama među česticama (ANON., 1981).



Sl. 1 Utjecaj mjerila na osnovne zahtjeve prilikom istraživanja i određivanja značajki osnovnih jedinica inženjerskogeološke karte (ANON., 1976).

Fig. 1 The effect of scale on the basic requirement for investigation and characterisation of basic engineering geological mapping units (ANON., 1976).

vrste inženjerskogeoloških karata, neovisno o njihovoj svrsi (karte specijalne namjene, višenamjenske), sadržaju (analitičke, sveobuhvatne, pomoćne) i mjerilu (karte detaljnog, velikog, srednjeg, sitnog mjerila).

- 3) Najvažnija vrsta podataka u inženjerskogeološkoj bazi podataka su značajke stijena i tala (litološki sastav i fizičko-mehanička svojstva materijala stijene/tla, npr. boja, tekstura, čvrstoća itd., i značajke mase stijene/tla, tj. struktura, diskontinuiteti i trošnost), budući da su one neophodne pri izradi svih tipova inženjerskogeoloških karata. Ostale vrste podataka (hidrogeološki uvjeti, geomorfološki uvjeti i geodinamičke pojave) mogu biti pohranjene u inženjerskogeološkoj bazi podataka ili u zasebnim, međusobno povezanim bazama podataka.
- 4) Značajke stijena/tala, relevantne u inženjerskoj geologiji, mogu se promatrati u vrlo širokom rasponu mjerila, od mikroskopskog preparata, uzorka, izdanka, pa sve do regionalnih značajki. Stijena okarakterizirana kao homogena, u jednom mjerilu, u detaljnijem će se mjerilu analizirati razdvojena na sastavne dijelove. Prilikom zapisivanja podataka u bazi podataka potrebno je razlučiti opservacije i/ili mjerenja ovisno o promatranom mjerilu: a) značajke materijala stijene/tla promatraju se i/ili mjere u mjerilu uzorka (odlomak stijene koju prosječna osoba može držati u ruci i promatrati povećalom), b) značajke stijenske mase/mase tla opažaju se i/ili mjere u mjerilu izdanka (prosječna veličina izložene stijene, koju je moguće pregledati i opisati, reda je veličine od 10 cm do 100 m), c) za interpretaciju regionalnih značajki, npr. velikih struktura, potrebno je najveće mjerilo promatranja - mjerilo karte (obuhvaća područje od 100 m do 100 km). Značajke koje je moguće registrirati samo u mjerilu mikroskopskog preparata (ili manjem) u domeni su specijalističkih analiza stijena, pa bi trebale biti pohranjene u odgovarajućim bazama podataka (s mogućnošću povezivanja s inženjerskogeološkom bazom podataka).
- 5) Inženjerskogeološki podaci mogu biti direktno opaženi/mjereni na određenoj lokaciji (npr. opisi stijena, strukturalna mjerenja, laboratorijska ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava i sl. vezani su za točku opažanja) ili mogu biti interpretirani, što znači da su nastali grupiranjem ili klasifikacijom brojnih opservacija s više lokacija (npr. jedinice stijena na karti, strukture nastale interpretacijom individualnih strukturnih elementa, kao što su pretpostavljene lokacije kontakata itd.). Prilikom pohranjivanja podataka u bazi neophodno je razlikovati opažene/mjerene podatke od interpretiranih podataka. Interpretirani podaci direktno su zavisni o konkretnoj inženjerskoj situaciji za koju je interpretacija načinjena (svrha izrade karte, osoba, vrijeme itd.). Odvajanjem direk-

tno opaženih/mjerenih podataka od interpretacija omogućuju se višestruke interpretacije podataka, prilagodene potrebama.

- 6) Prilikom opisa inženjerskogeoloških značajki najčešće se koriste klasifikacije (npr. nazivi stijena). Svrstavanje bilo koje značajke u određenu klasu subjektivno je, jer ovisi o odabranoj klasifikacijskoj shemi i iskustvu geologa. Subjektivnost procjene značajno se umanjuje uvođenjem klasifikacija u samu bazu, s definiranim terminima i pripadajućim opisima. Osim toga, sustav klasifikacije geološke terminologije mora biti hijerarhijski, čime se omogućuje pravilno zapisivanje podataka, u skladu s razinom spoznaje.
- 7) Svi podaci u inženjerskogeološkoj bazi podataka, bilo da su opaženi/mjereni ili interpretirani, moraju biti povezani sa svojim izvorima (referencama). Na taj način omogućuje se provjera njihove ispravnosti i ažuriranje podataka.
- 8) Za pohranjivanje inženjerskogeoloških podataka neophodan je trodimenzionalni informacijski sustav, kako bi se mogle definirati prostorne značajke (lokacija, topologija i geometrija) inženjerskogeoloških objekata.

Inženjerskogeološka karta vizualizacija je spoznaje o prostornoj distribuciji stijena i njihovih svojstava na određenom području. Izrada inženjerskogeološke karte iz baze podataka sastojala bi se od sljedećih postupaka:

- 1) Definiranje horizonta karte, odnosno plohe čija će inženjerskogeološka obilježja biti prikazana na karti. Najčešći horizont karte je površina zemlje, ali on može biti i bilo koja proizvoljno odabrana ploha ispod površine (npr. ploha u razini osi tunela).
- 2) Definiranje granica područja koje će biti prikazano kartom.
- 3) Odabir inženjerskogeoloških značajki (objekata karte, odnosno entiteta i njihovih atributa) koji će biti prikazani na karti. Postupak odabira direktno opaženih/mjerenih podataka, njihove interpretacije i klasifikacije za potrebe izrade inženjerskogeološke karte bit će razrađen u MIHALIĆ (u izradi).
- 4) Određivanje presjeka inženjerskogeoloških objekata i horizonta karte. Ukoliko horizont karte nije planaran, presjeci će biti 3D plohe i 3D linije.
- 5) Projiciranje 3D ploha i linija s horizonta karte na planarnu plohu karte, čime se dobivaju kartografski entiteti.
- 6) Dodjeljivanje simbola kartografskim entitetima.
- 7) Polaganje inženjerskogeološke karte na osnovnu kartu. Najčešća osnovna karta je topografska karta, ali to mogu biti i npr. satelitski snimci.

4. ZAKLJUČAK

U skladu s razvojem kartografije i GIS-a, inženjerskogeološka karta se tretira kao prezentacija odabranih, prostorno i vremenski definiranih geoloških objekata, koji su grupirani, simbolizirani i opisani u skladu sa svrhom izrade karte. Arhiva inženjerskogeoloških objekata i karata trebala bi biti inženjerskogeološka kartografska baza podataka, jedinstvena na nacionalnoj razini. Prvi korak pri izradi spomenute baze podataka bila bi razrada sadržaja i strukture same baze, definirana modelom podataka. Izrada modela podataka neophodna je radi djelotvorne organizacije, pohranjivanja i rada s digitalnim kartama. Trenutno aktualna izrada standardnog modela podataka geološke karte olakšava praćenja svjetskih trendova, ali ih istovremeno i nameće kao neophodnost.

5. LITERATURA

- ANON. (1976): Engineering geological maps.- The Unesco Press, Paris.
- ANON. (1981): Rock and soil description and classification for engineering geological mapping. Report by the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping.- Bulletin of the IAEG, 24, 235-274.
- BONHAM-CARTER, G.F. (1997): Geographic information systems for geoscientists.- Elsevier Science, New York.
- JOHNSON, B.R., BRODARIC, B., RAINES, G.L., HASTINGS, J.T. & WAHL, R. (1999): Digital Geologic Map Data Model, Version 4.3.- <http://geology.usgs.gov/dm/model/Model43a.pdf> (1999, November 19).
- MIHALIĆ, S. (u izradi): Prilagodba normi za inženjerskogeološko kartiranje u GIS-u.- Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- PAVLIĆ, M. (1996): Razvoj informacijskih sustava. Projektiranje, praktična iskustva, metodologija.- Znak, Zagreb.
- RICHARD, S.M. (1999): Geologic concept modelling, with examples for lithology and some other basic geoscience features.- Digital Mapping Techniques '99, Workshop Proc, USGS Open File Report 99-386, 59-75.



Određivanje inženjerskogeoloških značajki tla metodom statičke penetracije na primjeru kanala "Dunav - Sava"

Application of the CPTU Method for the Determination of Soil Characteristics:
A Case Study on the "Danube - Sava" Canal

Željko MIKLIN¹, Mensur MULABDIĆ² & Josip TERZIĆ¹

Ključne riječi: statička penetracija s mjerenjem pornog tlaka, inženjerskogeološki model, *in situ* pokusi, kanal Dunav-Sava.

Key words: Piezocone test, Engineering geological model, "In situ" tests, The "Danube-Sava" canal.

Sažetak

Pokus statičke penetracije s mjerenjem pornog tlaka (CPTU) je *in situ* pokus za određivanje geotehničkih svojstava tla. Prilikom istražnih radova za kanal Dunav-Sava ova je metoda postigla najširu primjenu u Hrvatskoj do sada. Prikazan je doprinos ove metode određivanju inženjerskogeoloških značajki terena i izradi inženjerskogeološkog modela tla. Obrazložena je izvedba pokusa, opisani su parametri koji se mjere i interpretiraju, način klasifikacije tla i lokalna korelacija s parametrima određenim drugim pokusima. Pokazano je kako su CPTU podaci ponekad dostatni za izradu inženjerskogeološkog modela, a u ostalim slučajevima služe za usmjerenje istraživanja ili prognoširanje podataka u prostoru.

Abstract

The CPTU (piezocone) test is an *in situ* method used for evaluation of geotechnical characteristics of soil. During the investigation work for the Danube-Sava canal this method found most extensive application in Croatia so far. The contribution of this method is in the determination of engineering-geological characteristics of the terrain and the development of the engineering geological model of the soil. The test performance is presented together with the measured and interpreted soil parameters, the principle of soil-type classification and the local correlation with soil parameters determined by other methods. It is shown that in some cases the CPTU test data is sufficient for the development of the engineering geological model, while in other cases it can be used to guide investigations or to enhance the density of the data.

1. UVOD

Višenamjenski kanal Dunav-Sava projektiran je u duljini od 60 km, od Šamca do Vukovara, djelomično koristeći postojeće vodotoke, a većim dijelom prolazeći kroz područja trenutno bez otvorenog toka vode. Najvažniji zadatak inženjerskogeoloških istraživanja bio je odvajanje propusnih od nepropusnih slojeva te određivanje dubine zalijeganja i prostiranja slojeva. Za geotehničke parametre bio je predviđen poseban program istraživanja. Zanimalo nas je koliko *in situ* geotehnički pokusi mogu pomoći u određivanju inženjerskogeološke cjeline u kojoj se izvode.

Uz terenska istraživanja (kartiranja) vršeni su i ops-
ežni i dugotrajni laboratorijski testovi. Istraživanja vezana za kanal Dunav-Sava vršena su u tri faze.

Karakter zahvata, geološki uvjeti i rokovi izrade projekata pripomogli su nam da se odlučimo za značajniju uporabu *in situ* geotehničkih pokusa u kombinaciji s klasičnim bušenjem i laboratorijskim ispitivanjima. Ovaj tip testova u mnogome je pridonio racionalizaciji posla i ubrzao je radove.

2. OPĆENITO O PROGRAMU ISTRAŽNIH RADOVA

Osnovni zadatak istraživanja bio je ustanoviti prisutnost propusnih slojeva u zoni kanala, te čvrstoću tla u zoni iskopa kanala. Područje kanala karakteriziraju tri inženjerskogeološka modela. U prvom modelu do dubine od -3.6 m prevladavaju visokoplastične gline tamno zelene i tamno sive boje. Postanak ovih glina vezan je

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Građevinski fakultet sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Drinska 16a, HR-31000 Osijek, Hrvatska.

za izolirane močvarne prostore (BRKIĆ et al., 1989). U podlozi ovih naslaga najčešće dolaze pjeskoviti silt, svijetlo sivi silt i pijesak fluvijalnog porijekla, unakrsno uslojen i zaliježe do -7 m. Do dubine od -15 m slijede visokoplastične gline. Duž cijelog profila drugog inženjerskogeološkog modela prevladavaju gline, a između dubina od -0.5 m do -4 m izdvojili smo proslojak s efektom kore. Nastanak ove kore tumači se tako što je područje u pleistocenu bilo izdignuto pa je les s ovog područja bio erodiran. Gline su u oksidacijskoj sredini te trošenjem minerala koji sadrže željezo stvaraju limonitnu koru. Treći inženjerskogeološki model pripada starijim barskim sedimentima. Debljina glina se kreće od 4 do 11 m, a na dubini od -12 m dolaze dobro sortirani pijesci.

Tlo je istraženo klasičnim postupkom bušenja i ispitivanja u laboratoriju, te postupcima penetracija: CPTU (statička penetracija s mjerenjem pornog tlaka) i Dilatometrom Marchetti (*flat dilatometer*). Penetracijski pokusi korišteni su i kao preliminarna istraživanja (radi usmjeravanja istražnih bušotina i skupih i dugotrajnih ispitivanja u laboratoriju) i kao glavni izvor informacija za pojedine lokacije. Oni su omogućili brzu dostupnost informacija i utvrđivanje željenih svojstava tla. CPTU je omogućio i mjerenje vodopropusnosti tla postupkom disipacije pornog tlaka.

3. O POKUSU CPTU

Pokus je danas u najširoj upotrebi širom Svijeta, uz praktički svakodnevan napredak tehničkih mogućnosti (povećavanje pouzdanosti i preciznosti mjerenih parametara) te brojne kombinacije i korelacije s drugim geomehaničkim *in situ* i laboratorijskim pokusima. Zbog relativno niske cijene CPTU sondiranja znatno su smanjeni troškovi istraživanja, smanjenom količinom istražnog bušenja i uzimanja "neporemećenih" uzoraka. Kombiniranjem istražnih bušotina s CPTU metodom za kanal Dunav-Sava broj bušotina je bitno proriđen. Kako bi pouzdanost bila veća potrebno je CPTU sondu precizno baždariti i testirati na pokusnoj lokaciji (statička penetracija u neposrednoj blizini istražne bušotine) (MULABDIĆ et al., 1998).

Uređaj za statičku penetraciju nalazi se na transportnom vozilu i sastoji se od bušilice na hidraulički pogon, izvora električne energije, šipki, sonde i instrumenata za registraciju, prijenos i interpretaciju podataka. Na kanalu Dunav-Sava korišten je sustav "Geotech" iz Švedske (patentirani sustav bez kabela). Standardna površina baze stošca iznosi 10 cm², a brzina penetriranja 2 cm/s. Pri toj brzini penetriranja većina će glinovitih tala pokazati nedrenirano ponašanje, a čisti će pijesak pokazati drenirano ponašanje. Za propusnosti između 10⁻⁴ m/s i 10⁻⁷ m/s stanje u tlu je poludrenirano (CAMPANELLA & ROBERTSON, 1988). Kad je brzina penetriranja veća od standardnih 2 cm/s povećavaju se otpori na šiljku, i obratno. Za variranje u brzini pene-

triranja od ±5 mm/s (MULABDIĆ, 1991) može se reći da su odstupanja vrijednosti otpora na šiljku u granicama 1%.

4. IDENTIFICIRANJE TIPRA TLA NA TEMELJU CPTU PARAMETARA

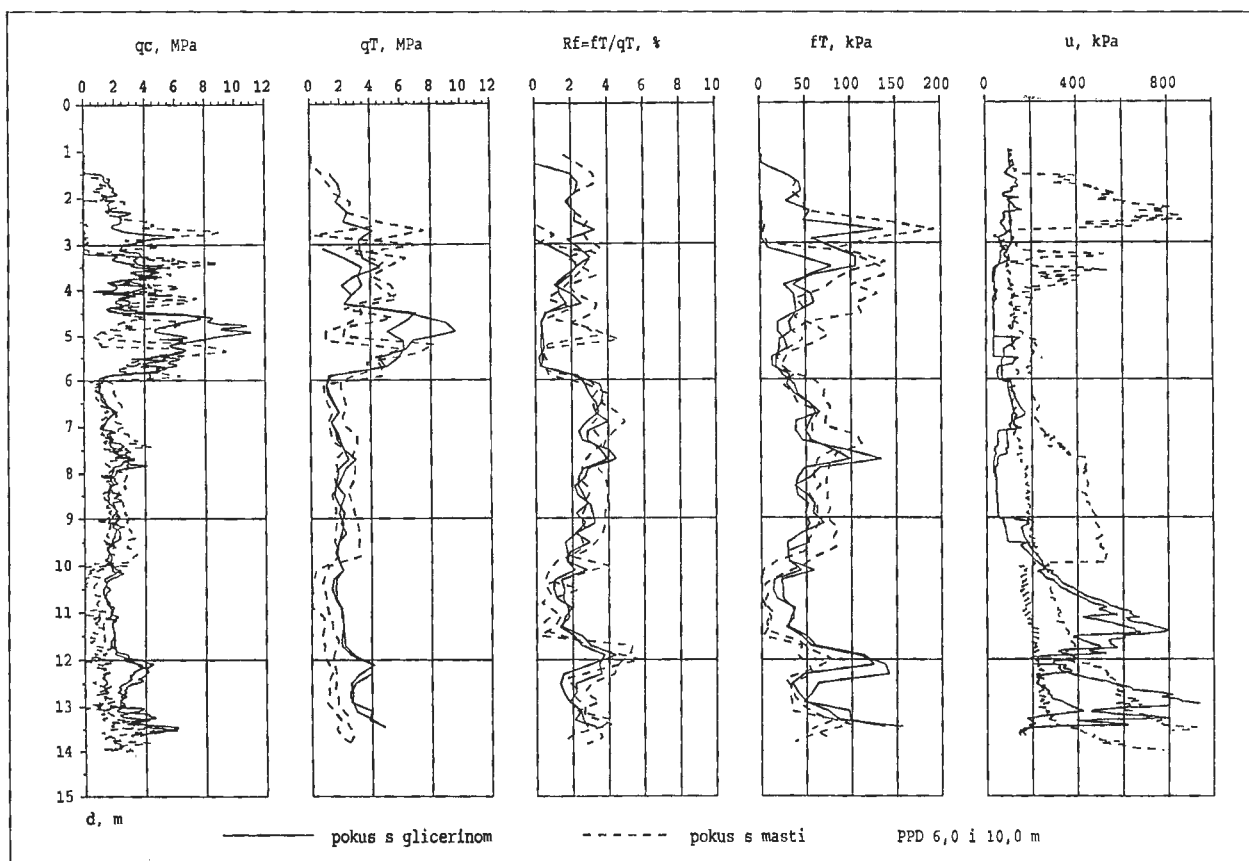
Postoje brojne klasifikacije tala na temelju CPTU parametara. Tradicionalno klasificiranje tla prema CPT pokusu (bez mjerenja pornog tlaka), bilo je povezano s mjerenjem otpora na šiljku q_c , i trenja na plaštu f_s . Može se reći da su to osnovni parametri, dobiveni direktno iz pokusa. Tim parametrima treba pridružiti i porni tlak u (CPTU pokus - s mjerenjem pornog tlaka), koji ima veliki utjecaj na mjerenje spomenutih parametara i interpretaciju pokusa. Smatra se da je CPTU vjerojatno najbolji od danas dostupnih pokusa za detekciju tankih propusnih slojeva (CAMPANELLA & ROBERTSON, 1988), upravo zahvaljujući mjerenju pornog tlaka koji reagira na tanke proslojke. Brzina registracije pornog tlaka omogućava snimanje debljina proslojaka od nekoliko milimetara do nekoliko centimetara. Potrebno je reći da se klasificiranje tla na osnovi CPTU podataka temelji na "ponašanju" tla (u englesko-američkoj literaturi *soil type behaviour*). Tako se razlikuju gline i prašine od pijesaka. Bolja podjela uključuje organske gline i mješavine navedenih tipova tla s ocjenom tvrdoće i stupnja prekonsolidacije. Ocjena plastičnosti gline i praha nije moguća. Bolje se prognoze postižu korištenjem podataka o granicama plastičnosti iz laboratorija.

Inženjerskim pregledom zapisa CPTU parametara, na temelju općepoznatih zakonitosti mogu se orijentacijski prepoznati određeni tipovi tla. Te zakonitosti su sljedeće: kod krupnozrnatih tala otpor na šiljku je veći, a trenje na plaštu manje, otpor na šiljku je proporcionalan i horizontalnoj komponenti geostatičkog naprezanja, relativna zbijenost nekoherentnih tala proporcionalna je vrijednostima otpora na šiljku, stupanj

N (SPT)	q_c (MPa)	STANJE KONZIST.	INDEKS KONZIST. (I_c)
0	0	žitko	< 0
< 2	< 0.35	vrlo meko	0 - 0.25
2 - 4	0.35 - 0.75	meko	0.25 - 0.5
4 - 8	0.75 - 1.50	srednje	0.5 - 0.75
8 - 15	1.50 - 2.75	kruto	0.75 - 1
15 - 30	2.75 - 5.50	polučvrsto	> 1
> 30	> 5.50	čvrsto	

Tablica 1 Veza CPTU otpora na šiljku, SPT broja udaraca i indeksa konzistencije za gline istočne Slavonije.

Table 1 The link between the CPTU cone tip resistance, the SPT number of blows and the consistency index for east Slavonian clays.



Sl. 1 CPTU parametri mjereni s glicerinom i spat-filterom. RPV (razina podzemne vode) = 1.6 m.

Fig. 1 The CPTU parameters determined with glycerin and the spat-filter (GWL = -1.6 m).

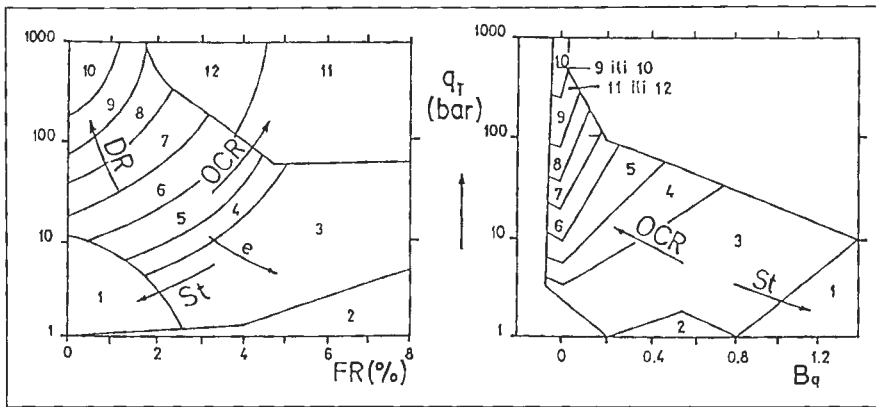
(indeks) konzistencije koherentnih tala proporcionalan je vrijednostima otpora na šiljku (tablica 1), stupanj prekonsolidacije tla proporcionalan je vrijednostima otpora na šiljku i trenja na plaštu, u sitnozmatijim tlima generiraju se veći porni tlakovi prilikom penetracije, stupanj prekonsolidacije tla obrnuto je proporcionalan vrijednostima pornih tlakova. Danas se u svim interpretacijama pokusa CPTU koriste korigirane vrijednosti q_c i f_s radi utjecaja pornog tlaka, pa se dobiju vrijednosti q_t i f_p , koje se koriste u korelacijama (MULABDIĆ, 1991). Te korekcije su važne u nepropusnim tlima i važnije su za meke nego za tvrde materijale. Zbog toga je problem dobrog mjerenja pornog tlaka značajan. U ovom projektu razina podzemne vode je bila niska (3-4 m), pa su tvrde nesaturirane gline smanjivale saturaciju filtera za mjerenje pornog tlaka i time utjecale na mjerenja i interpretacije mjerenja čak i u tlu ispod razine podzemne vode. Ova pojava ima za posljedicu netočnost u identifikaciji tipa tla (prahovito-pjeskovite naslage umjesto gline) i/ili povećanu interpretiranu nedreniranu čvrstoću. Ovaj problem se može riješiti ako se predbušenje izvrši do razine podzemne vode i s te dubine započne penetracija CPTU sondom, ali se tada ne dobiju podaci za tlo koje je predbušeno. Nesaturirano tlo moguće je ispitati ili uporabom glicerina u sustavu umjesto vode, ili koristeći sondu bez filtera, tzv. *spat-*

filter, tj. procjep ispunjen viskoznom mašću (LARSSON, 1995; MULABDIĆ et al., 1998). Čak i glicerina može doživjeti desaturaciju. Mast i *spat-filter* manje su osjetljivi na takve uvjete ali znatno nepreciznije mjere porni tlakove (sl. 1). U ovom projektu testiranjem je ustanovljeno da je glicerina omogućio bolje prognoze parametara nego *spat-filter*.

Za određivanje tipa tla prema CPTU podacima, potrebno je poslužiti se jednim od dijagrama klasifikacije koji se koriste. Prigodom projektiranja kanala Dunav-Sava korišten je i klasifikacijski sustav prema CAMPANELLA & ROBERTSON (1988). Autori koriste tri parametra: q_p , f_s , i u , u formi dvaju $[(q_t - B_q) \text{ i } (B_q - f_s)]$ dijagrama (sl. 2), te naglašavaju da će ponekad neki varijetet tla pasti unutar različitih zona u svakom pojedinom dijagramu. U takvim slučajevima traži se inženjersko prosuđivanje za korektnu klasifikaciju. Prema postojećim iskustvima, ovo je najčešće korištena klasifikacija. Uz sliku koja se sastoji od dva dijagrama (sl. 2) dolazi i pripadajuća tablica s opisom tipova tala po poljima iz dijagrama (tablica 2).

Mjereni CPTU parametri navedeni su prethodno (q_c , f_s , u). Potrebno je poznavati i hidrostatski i geostatski stanje naprezanja u tlu (u_o , σ_{vo}).

Vrlo dobar dijagram za identifikaciju tipa tla razvio je Švedski geotehnički institut (LARSSON et al.,



Sl. 2 Klasifikacijski dijagram prema CAMPANELLA & ROBERTSON (1988).

Fig. 2 The classification diagram according to CAMPANELLA & ROBERTSON (1988).

1995), koji je izradio i kompjutorski program CONRAD za interpretaciju CPTU pokusa, a taj je dostupan na tržištu.

5. MEHANIČKA SVOJSTVA TLA ODREĐENA STATIČKOM PENETRACIJOM I NEKI KORELACIJSKI ODNOSI

Standardni prikaz interpretacije CPTU sondiranja sadrži ove geotehničke parametre tla: nedrenirana čvrstoća smicanja (c_u), efektivni kut unutrašnjeg trenja (φ'), relativna zbijenost (D_r), modul stišljivosti (M), i modul elastičnosti (E_{25}), izračunate pomoću mjerenih parametara CPTU pokusa. Svi navedeni parametri nisu jednako pouzdano prognozirani. Najpouzdanija je vrijednost ovako interpretirane čvrstoće smicanja, dok su moduli tla nižeg stupnja pouzdanosti.

Inače, moguće je prognozirati još i modul smicanja (G), stupanj prekonsolidacije, koeficijent filtracije (k)

pokusom disipacije (CPTU sonda stoji određeno vrijeme na određenoj dubini, mjereći disipaciju pornog tlaka generiranog procesom penetracije, moguće samo za pozitivne tlakove). Ti su parametri od velike važnosti za proračune vremena konsolidacije i slijeganja.

Za kanal Dunav-Sava izvršeno je kalibriranje ustaljenih korelacija za geotehničke parametre tla za lokalne uvjete, putem testiranja na odabranim lokacijama i paralelnim mjerenjima.

O tim korelacijama izviješteno je u ranijim radovima (MULABDIĆ et al., 1998), a najvažniji su zaključci sljedeći:

- nedrenirana čvrstoća u CPTU pokusu manja je od čvrstoće određene krilnom sondom, čija je uporaba u tvrdim glinama upitna;
- za tvrde gline $N_k = 25$, a za meke $N_k = 16$;
- koeficijent konsolidacije određen pokusom disipacije pornog tlaka u CPTU pokusu relativno se dobro slaže s laboratorijskim vrijednostima.

Prema sljedećoj formuli (MULABDIĆ et al., 1998) izvedena je veza SPT broja udaraca (N) i CPTU otpora na šiljku (q_c) (tablica 1):

$$q_c = \frac{N}{5.5} \quad [\text{MPa}]$$

6. ZAKLJUČAK

Krajni cilj inženjerskogeoloških istraživanja je formiranje inženjerskogeološkog modela. Tim istraživanjima treba prikazati prosječne inženjerskogeološke prilike koje vladaju pod nekim objektom ili u njegovoj blizini.

CPTU metodom moguće je odrediti neka zajednička fizičko-mehanička svojstva koja karakteriziraju inženjerskogeološke komplekse i članove.

Pri tome treba znati da postupak izvedbe pokusa (filtrar s glicerinom umjesto s vodom ili *spat-filtrar*) i uvjeti u tlu (razina vode, saturiranost tla) utječu i na mjerene i na interpretirane parametre tla. Identifikacija tipa tla može se izvršiti korištenjem postojećih dijagra-

PODRUČJE	TIP TLA PREMA "PONAŠANJU"
1	osjetljiva sitnozrnata tla
2	organski materijali
3	glina
4	prahovita glina do glina
5	glinoviti prah do prahovita glina
6	pjeskoviti do glinoviti prah
7	prahoviti pijesak do pjeskoviti prah
8	pijesak do prahoviti pijesak
9	pijesak
10	šljunkoviti pijesak do pijesak
11	vrlo kruta sitnozrnata tla
12	pijesak do glinoviti pijesak

Tablica 2 Klasifikacijska tablica uz dijagrame CAMPANELLA & ROBERTSON (1988).

Table 2 The classification table corresponding to the diagram according to CAMPANELLA & ROBERTSON (1988).

ma, koji su obično ugrađeni u softverske pakete za interpretaciju pokusa. Lokalne korelacije su nužne, pogotovo za veće projekte i izraženu posebnost uvjeta u tlu. Dodatno se identifikacija tla poboljšava mjerenjem disipacije pornog tlaka u tlu. Zbog toga je potrebno od izvođača CPTU tražiti strogo pridržavanje postojećih preporuka i normi za izvedbu pokusa.

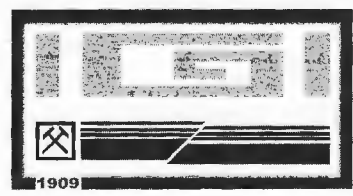
Na predmetnom projektu CPTU pokus je pridonio značajnim uštedama u vremenu, cijeni i organizaciji provedbe istražnih radova.

Spomenuti podaci su dostatni za izradu inženjerskogeološkog modela. U slučaju kad je potrebno odrediti superpozicijski položaj naslaga nužno je izvršiti kalibraciju sa geomehaničkim bušotinama te biti veoma oprezan jer nije nužno da se fizičko-mehanička svojstva podudaraju sa stratigrafijom.

Stoga, korisnike IG istraživanja (najčešće građevinari-geomehaničari), treba upozoriti na vjerodostojnost ulaznih podataka, na rubne uvjete i na genezu stijena, od koje zavise i njihova fizička i mehanička svojstva, a čemu treba prilagoditi sva ispitivanja, i terenska i laboratorijska.

7. LITERATURA

- BRKIĆ, M. GALOVIĆ, I. & BUZALJKO, R. (1989): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Vinkovci.- Inst. za geol. istraž. Zagreb, Sav. Geol. zavod Beograd.
- CAMPANELLA, R.G. & ROBERTSON, P.K. (1988): Current status of the piezocone test.- Proc. ISOPT - 1, 1, 93-116, Orlando.
- LARSSON, R. (1995): Use of a thin slot filter in piezocone tests.- International Symposium on Cone Penetration Testing CPT '95, Linköping, Sweden, Swedish Geotechnical Society, 3, 95.
- LARSSON, R., LÖFROTH, B. & MÜLLER, B. (1995): Processing of data from CPT tests.- International Symposium on Cone Penetration Testings, Linköping, 2, Swedish Geotechnical Society.
- MULABDIĆ, M. (1991): CPTU pokus u mekim tlima.- Disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- MULABDIĆ, M., MIKLIN, Ž. & BRUNČIĆ, A. (1998): Use of piezocone in site investigation for the Danube-Sava Canal.- Proceedings, 8th International Congress, International Association for Engineering Geology and the Environment, 441-447, Vancouver, Canada.





The Environmental Geochemistry of the Vrana Lake Sediments and Adjacent Soils on Cres Island, Croatia

Slobodan MIKO¹, Saša MESIĆ¹ & Esad PROHIĆ²

Key words: Environmental geochemistry, Lake sediments, Soils, Trace elements, Vrana Lake, Cres Island.

Abstract

An evaluation of environmental geochemical aspects of Vrana lake in regard to the lake sediments and the surrounding soils was attempted. The possible environmental changes in the local trace element geochemistry of both soils and sediments could be evaluated due to the positive correlation of most elements analyzed in both soils and sediments, with aluminum, implying a direct relationship with the clay minerals. The mean element contents of soils and sediments differ considerably and are much higher in soils (except Ca). The element to Al ratios indicate classify the elements into three general groups, the group of elements that show no difference in ratios in soils and sediments: Ni, Co, Mn, Th, V, Cr, Mg, Ba, Ti, K, and Hg. The elements that are enriched in the sediments are Ca, Cd, and As and in a smaller extent Na. The elements that can be considered as depleted in the clay fraction of the lake sediments are Cu, Pb, Zn, Fe, P and La.

INTRODUCTION

The Vrana Lake on Cres Island is one of the most interesting karst water phenomena within the Dinaric karst and Adriatic islands. The lake depression contains approximately 220 million m³ of fresh and extraordinary clean water whose hydrogeochemistry has been studied in detail by KAPELJ (1997). The largest portion of lake water recharge comes from precipitation (HERTELENDI et al., 1995; BIONDIĆ et al, 1997; KAPELJ, 1997), and according to limnological properties lake belongs to monomictic and oligotrophic lake type.

The lake is a potable water source for the islands Cres and Lošinj. In view of this specific environment

and its importance to the local water-supply, an evaluation of environmental geochemical aspects concerning the lake sediments and the surrounding soils was attempted. This work summarizes some aspects and results of a complex study.

Since mineralogical composition (MESIĆ, 1999) indicated that the sediments of the Vrana lake and the surrounding soils have similar origin (dominant loess influence), therefore a common geochemical baseline can be presumed for both materials. Having this in mind a procedure using the ratio of an element and aluminum was in the analyzed soil and sediment samples applied to detect contributions to the lake that could be considered as anomalous.

It is possible to apply a variety of approaches for reducing natural variability has been used to improve the statistical power in data inter-comparison. There is no consensus on the appropriate soil-sediment component to be used for normalization i.e. to factor out the variability in natural trace element concentrations (a detailed review is given by PROHIĆ et al., 1995).

The basic geochemical approach to normalize geochemical data is by means of conservative component whose levels are unaffected by contaminant inputs, for example, grain size, Al, Fe, Sc, Ni, TOC and Li. A conservative element is used as assumed that it has had a uniform flux to the sediments over the past century from crustal rock sources. Consequently, changes in the water, salt, CaCO₃, or organic matter content, especially in the upper layers, can be compensated (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981). Aluminum is a conservative element used as a normalizer of trace element data due to its high natural abundance. Additionally, aluminum is a major constituent of soils and sediments as a structural element of clays. It has a strong positive correlation with many major and minor elements in soils and sediments, in which it is considered as a natural content and is used to significantly reduce data variability for purposes of sample inter-comparison over small and larger regional areas. The association between Al and other elements with the aid of the analysis of variance (ANOVA), can be used as a basis for com-

¹Institute of Geology, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Faculty of Natural Sciences, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia.

parison of natural elemental content in sediments and soils which obviously have varying textural and mineralogical characteristics.

GEOLOGY, HYDROGEOLOGY, SEDIMENTS AND SOIL

The Vrana lake is a crypto-depression and occurs within the elongated Cres Island, composed mostly of karstified carbonate rocks, Upper Cretaceous rudist limestones and Eocene limestones, dolomites and Paleogene flysch deposits. During the exploration of the lake floor, Pliocene-Pleistocene lacustrine silty sediments, torrential slope detritus and recent lacustrine sediments were discovered (BIONDIĆ et al., 1995, 1997). These sediments are characterized by the dominance of the epidote group of minerals and amphibole in the heavy mineral fraction (MESIĆ, 1999) which is similar to the terra rossa types of soils and loess (DURN, 1996). The soils developed on carbonate bedrock in the wider region surrounding the lake consist of predominately brown soils developed on limestone, rendzinas on limestone and dolomite and terra rossa in the southern parts of the lake region (BOGUNOVIĆ et al., 1996). The karst morphology is covered by sparse vegetation as a consequence of deforestation and the carbonate bedrock often lacks regolith.

SAMPLING AND ANALYTICAL METHODS

The lake sediments were collected along five profiles perpendicularly to the elongated axis of the lake. The spacing between the sampling profiles and points was irregular. The samples were collected from a boat with the aid of manual dredge. The sediment sampling depth was from 0 to a maximum of 25 cm and a total of 30 samples were collected.

The 36 soil samples (mollic horizon, from 0 to 20 cm deep) were collected in the vicinity of lake Vrana on a regular 1 x 1 km grid. In most cases shallow brown soils on limestone and dolomite, and terra rossa predominate. All samples are a composite of at least three sub-samples covering a surface of 10 x 10 m. The soil and lake sediment samples were air dried and the fraction sieved to $-63 \mu\text{m}$ was analyzed.

The sieved ($-63 \mu\text{m}$) soil samples were analyzed after near total (hot 4 acid: HClO_4 - HNO_3 - HCl - HF at 200°C) digestion for 35 elements by inductively-coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES) in the ACME Labs in Vancouver. In this paper only the results for Cu, Ni, Co, Mn, Fe, Th, V, Cr, Ti, Al, Zr, Sc, Ca, Mg, Sr, Na, K, Ba, Pb, Zn, As, Cd, and P will be presented. Mercury was analyzed by flameless AAS. The accuracy and reproducibility of analysis was controlled by analysis of USGS Geological Reference Soil Standards (GXR-2 and GXR-5) in the analyzed sample batches.

RESULTS AND DISCUSSION

There are two main types of recent surface sediments in the Vrana lake. Those with high carbonate content ($\text{CaO} > 20\%$) occur on the steep zone along the lake shore and consist of carbonate sand detritus with low organic matter content ($< 5\%$). The sediments in the central part of the lake depression consist of finer sediments with CaO contents of less than 10% and with organic matter content higher than 10%. The soils in the catchment area of the lake are very shallow and the carbonate bedrock often lacks a soil cover, these soils are termed as lithosols, i.e. the soil cover has been removed by intensive erosion due to deforestation in the past. It is most probable that a major part of the lake sediment is the transported soil cover.

The possible environmental changes in the local trace element geochemistry of both soils and sediments could be evaluated due to the positive correlation of most elements analyzed (except Ca, Mg and Sr) in both soils and sediments, with aluminum, implying a direct relationship with the clay minerals. Since the soil and sediment mineralogy is similar, on the carbonate free basis (the sediment mineralogy is diluted by the carbonates), it was presumed that less mobile elements such as Ti, Cr, V, Th and Ba should have similar element to Al ratios in soils and sediments. With the application of the element to aluminum ratios it was possible to compare the lake trace element composition of the lake sediments and the surrounding soils. The comparison was performed by the application of the ANOVA on the both data sets (Table 1), i.e. the element to aluminum ratios in both soils and sediments, and with the aid of R-mode cluster analysis.

The mean element contents of soils and sediments differ considerably and they are much higher in soils (except Ca). The element to Al ratios indicate classify the elements into three general groups, the group of elements that show no difference in ratios in soils and sediments: Ni, Co, Mn, Th, V, Cr, Mg, Ba, Ti, K and Hg, the elements that are enriched in the sediments are Ca, Cd, and As and in a smaller extent Na, while the elements that can be considered as depleted in the clay fraction of the lake sediments are Cu, Pb, Zn, Fe, P and La. The first group of elements is an indicator that implies the same general origin of both the fine fractions of both sediments and soils. The second group is indicative of carbonate sediment accumulation, while the Cd and As accumulation could be a consequence of atmospheric deposition. This anthropogenic influence is more pronounced in the soils where these elements are associated with Cu and Hg (Fig. 1). The other element associations in soils can be interpreted as those bound to clays (Pb, Mn, Fe, Al, Ti, V, Th, La, Zn, Co, and Cr), Those associated with fertilizers (P, K, Ba, Na) and the carbonate group of elements (Ca and Mg). The geochemical associations of elements in the sediments are less clear (Fig. 2), since there is a possibility of element

	Soil N=36 Arith. mean	Lake sed. N=30 Arith. mean	Element to Al ratio	Soil Arith. mean	Lake sed. Arith. mean	SS Effect	Df Effect	MS Effect	SS Error	Df Error	MS Error	F	p	Lake sed. vs. soil
Cu ppm	63	18	Cu/Al	8.79	5.17	214	1	214	2736	64	42.7	5.01	0.03	Depl.
Pb ppm	43	30	Pb/Al	7.62	4.21	191	1	191	408	64	6.4	29.97	0.00	Depl.
Zn ppm	122	68	Zn/Al	7.62	4.21	191	1	191	408	64	6.4	29.97	0.00	Depl.
Ni ppm	82	41	Ni/Al	10.78	9.99	10	1	10	131	64	2	4.94	0.03	No diff.
Co ppm	17	8	Co/Al	2.27	2.16	0	1	0	22	64	0.3	0.61	0.44	No diff.
Mn ppm	882	460	Mn/Al	117.6	119.9	90	1	90	60569	64	946.4	0.10	0.76	No diff.
Fe %	4.13	2.00	Fe/Al	7.62	4.21	191	1	191	408	64	6.4	29.97	0.00	Depl.
As ppm	19	13	As/Al	2.89	5.07	78	1	78	898	64	14	5.57	0.02	Enrich.
Th ppm	13	6	Th/Al	1.87	1.86	0	1	0	27	64	0.4	0.00	0.97	No diff.
Al %	7.62	4.21												
Cd ppm	0.92	0.88	Cd/Al	0.14	0.31	0	1	0	2	64	0	12.90	0.00	Enrich.
V ppm	149	78	V/Al	20.09	19.32	10	1	10	898	64	14	0.69	0.41	No diff.
Ca %	4.00	16.66	Ca/Al	1.57	11.63	1658	1	1658	9044	64	141.3	11.73	0.00	Enrich.
P %	0.10	0.03	P/Al	0.01	0.00	0	1	0	0	64	0	11.42	0.00	Depl.
La ppm	45	20	La/Al	5.88	4.76	21	1	21	26	64	0.4	50.78	0.00	Depl.
Cr ppm	121	59	Cr/Al	15.90	15.26	7	1	7	777	64	12.1	0.55	0.46	No diff.
Mg %	2.23	2.59	Mg/Al	0.89	1.43	5	1	5	704	64	11	0.43	0.51	No diff.
Ba ppm	272	154	Ba/Al	36.43	41.10	358	1	358	6070	64	94.8	3.77	0.06	No diff.
Ti %	0.41	0.19	Ti/Al	0.05	0.05	0	1	0	0	64	0	0.85	0.36	No diff.
Na %	0.42	0.25	Na/Al	0.06	0.08	0	1	0	0	64	0	8.88	0.00	Enrich.
K %	1.50	0.83	K/Al	0.20	0.21	0	1	0	0	64	0	0.70	0.41	No diff.
Hg ppb	291	106	Hg/Al	37.59	32.99	346	1	346	43690	64	682.7	0.51	0.48	No diff.

Table 1 The mean concentrations of selected elements in soils and lake sediments and ANOVA of the element to aluminum ratios. Depl. = depletion of an element in lake sediments; No diff. = no difference between soil and lake sediment contents; Enrich. = enrichment of an element in lake sediments compared to soils.

redistribution in the anoxic environment of elements affected by redox processes (Fe, Mn). Therefore the organic matter rich samples and their element distribution should be viewed separately from the carbonate rich sediments. Since there are not enough samples to perform statistical analysis of these two groups of sedi-

ments, the whole sediment data sets gives two general associations of elements: the carbonate group of elements (Ca, Mg) and the elements more or less tightly bound to clay minerals (all other analyzed elements). The elements depleted in the fine fraction of the sediments in comparison to soils could be interpreted in

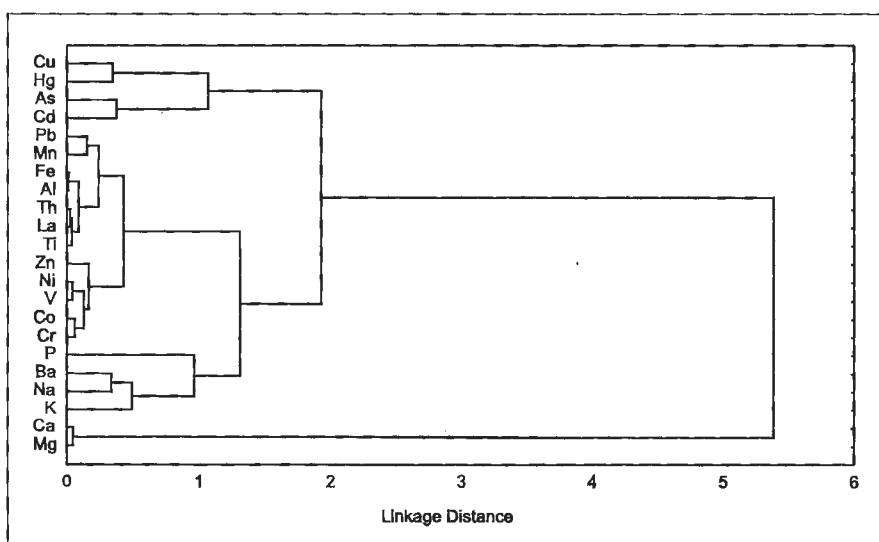


Fig. 1 The dendrogram of element associations in soils (N= 36; Ward's method, 1 - Pearson r).

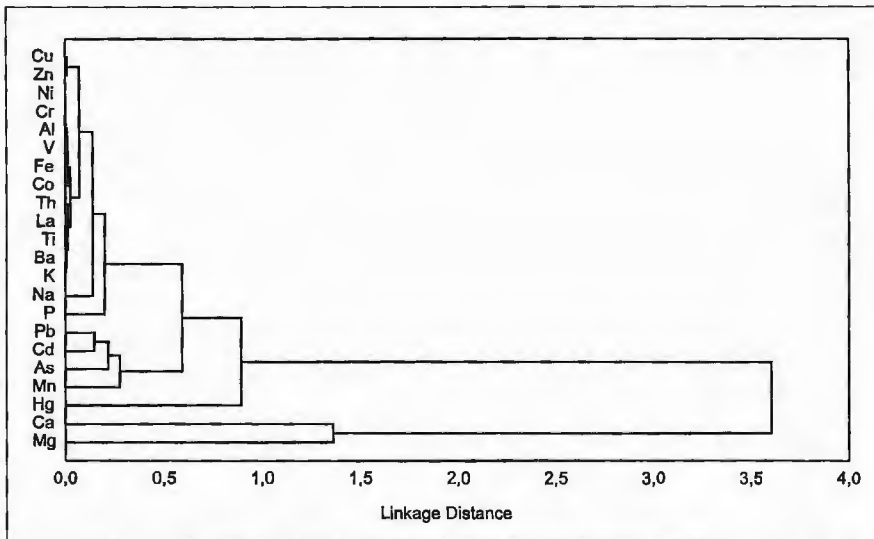


Fig. 2 The dendrogram of element associations in lake sediments (N=30; Ward's method, 1 - Pearson r).

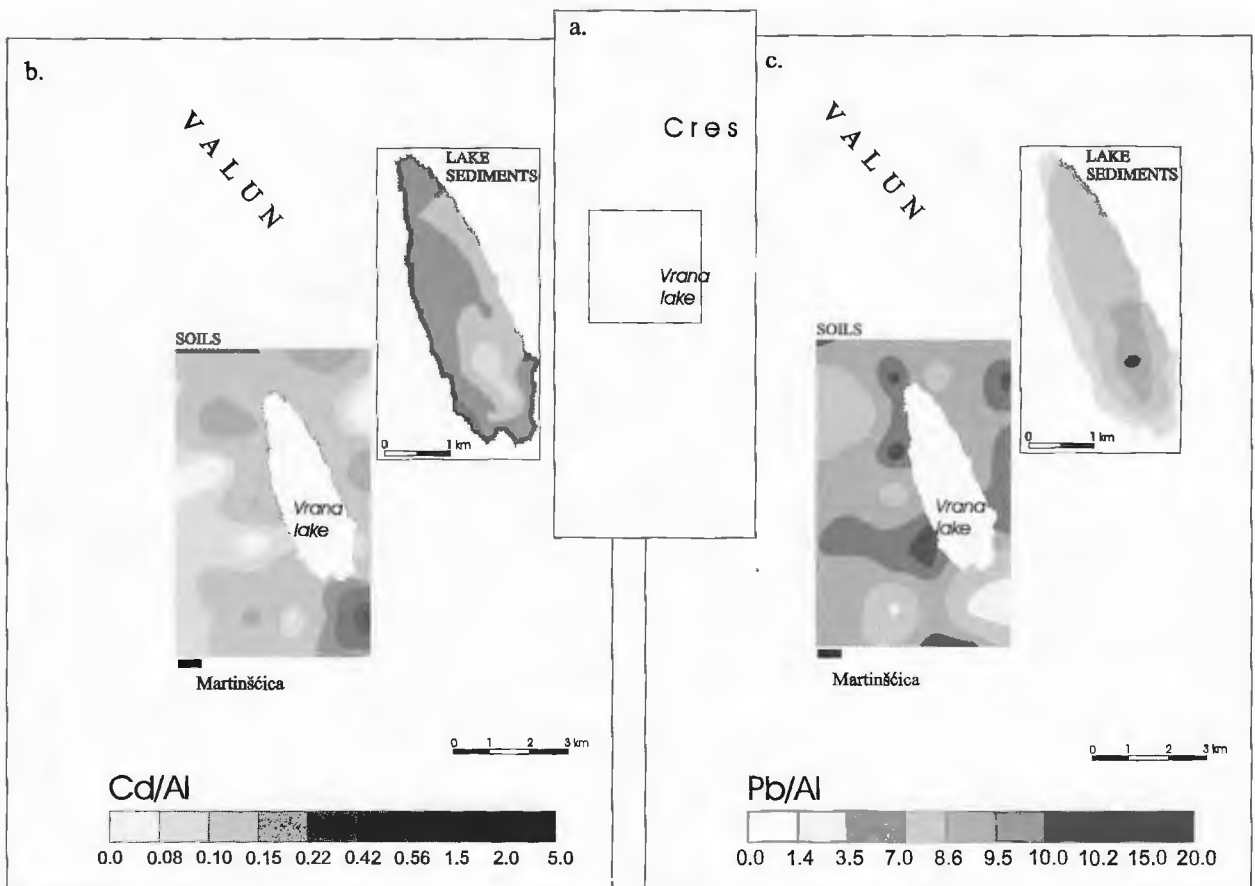


Fig. 3 a) The location of the studied area on Cres Island; b) the distribution of the Cd/Al ratio values in soils and lake sediments; c) the distribution of the Cd/Al ratio values in soils and lake sediments.

such a manner that the enrichment of Cu, Pb, Zn and P in soils occurred during recent times, during which the net contribution of soils to the sediment is not significant in comparison with the erosion contribution that probably occurred soon after deforestation.

The effects described above are illustrated by two environmentally important elements Cd and Pb, i.e., the Cd-Al and Pb-Al ratios in soils and lake sediments pre-

sented on Figs. 3a, b and c. Figure 3b shows the distribution of the Cd-Al ratios, the ratio in soils shows no distinct patterns, with a maximum in the southeastern part of the studied terrain. In the lake sediments the ratio is low in the organic rich sediments in the middle part of the lake, with high values in the coastal zone of the lake. The sediments have in general a higher Cd-Al ratio than soils. The Pb-Al ratio is much higher in soils

than in sediments (Fig. 3c) with higher Pb-Al ratios in the organic rich sediments of the central part of the lake.

Although there are some indications of a geochemical environmental disturbance in the studied waters, lake sediments and soils their extent is such that it does not present an environmental risk, moreover the studied elements are within the range of geochemical baseline values of the region.

REFERENCES

- BIONDIĆ, B., IVIČIĆ, D., KAPELJ, S. & MESIĆ, S. (1995): Hydrogeology of Vrana lake on Cres island, Croatia.- The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Proceedings, 1, 95-100, Zagreb.
- BIONDIĆ, B., KAPELJ, S. & MESIĆ, S. (1997): Natural tracers - indicators of the origin of water of the Vrana lake on Cres island, Croatia.- In: KRANJC, A. (ed.): Tracers Hydrology 97, Proceedings of the 7th International Symposium on Water Tracing, Portorož, Slovenia, 113-120, Balkema, Rotterdam.
- BOGUNOVIĆ, M., VIDAČEK, Ž., RACZ, Z., HUSNJAK, S. & SR-
AKA, M. (1996): Namjenska pedološka karta, Mjerilo 1:300
000.- Agronomski fakultet Sveuč. u Zagrebu, Zavod za pedologi-
ju, Zagreb.
- DURN, G. (1996): The origin, composition and conditions of terra
rossa formation in Istria.- Unpubl. Ph.D. Thesis (in Croatian with
English summary), University of Zagreb, 204 p.
- FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G.T.W. (1981): Heavy metal pol-
lution in the aquatic environment.- Springer-Verlag, Berlin, Hei-
delberg, New York, 486 p.
- HERTELENDI, E., VERES, M., RANK, D. & FUTO, I. (1995): Iso-
tope investigations of Lake Vrana and springs in the Kvarner ar-
ea.- The First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Pro-
ceedings, 1, 201-205, Zagreb.
- KAPELJ, S. (1997): The hydrogeochemical characteristics of the
Vrana Lake on Cres island.- Unpubl. Ph.D. Thesis (in Croatian
with English summary), University of Zagreb, 96 p.
- MESIĆ, S. (1999): The distribution of selected trace elements in the
recent sediments of the Vrana Lake on Cres island.- Unpublished
M.Sc. Thesis, University of Zagreb, 84 p.
- PROHIĆ, E., MIKO, S. & PEH, Z., (1995): Normalization and trace
element contamination of soils in a karstic polje - an example
from the Sinjsko Polje, Croatia.- Geol. Croatica, 48/1, 67-86.





Utjecaj diskontinuiteta na vrijednosti brzina seizmičkih valova (laboratorijska ispitivanja ultrazvukom)

The Influence of Discontinuities on Seismic Wave Velocities (Ultrasonic Laboratory Tests)

Olinka MIRKOVIĆ & Tatjana VUJNOVIĆ

Ključne riječi: laboratorijsko ispitivanje ultrazvukom, uzorci stjenske mase, umjetno stvoreni diskontinuitet, brzine propagacije P i S valova.

Key words: Ultrasonic laboratory tests, Rock samples, Artificially made discontinuity, P- and S-wave velocity.

Sažetak

Ispitani su utjecaji diskontinuiteta na brzine longitudinalnih i transverzalnih seizmičkih valova. Korišteni su uzorci u formi valjka dobro vezanih dolomitnih i vapnenačkih breča. Diskontinuiteti su oblikovani umjetno, pri čemu je kao materijal ispune korištena glina visoke plastičnosti (CH) nastala kao produkt trošenja karbonatne stjenske mase. Analiziran je utjecaj debljine diskontinuiteta, te promjena vlažnosti materijala ispune na rezultate mjerenja brzina propagacije seizmičkih valova. Prisutnost izraženog diskontinuiteta uzrokovala je smanjenje brzina transverzalnih valova (Vs) za 5-16% a longitudinalnih (Vp) za 3-6% ovisno o debljini diskontinuiteta. Promjena vlažnosti gline (smanjenje za oko 30%) rezultirala je manjim brzinama za 2-4%.

Abstract

The influence of discontinuities on pressure and shear wave velocities was examined. Cylindrical samples of high cemented dolomitic and limestone breccia were used. Artificially made discontinuities were filled with high plasticity clay (CH), originally the product of weathered carbonate rock. The influence of discontinuity thickness and the change in clay humidity on seismic wave velocities were analyzed. The existence of discontinuity decreased shear wave velocities (Vs) by 5-16%, and pressure wave velocities (Vp) by 3-6 %, depending on the discontinuity thickness. The change in clay humidity (decrease by 30%) resulted in velocities decreased by 2-4%.

1. UVOD

Pojava diskontinuiteta u stjenskoj masi bitno utječe na brzinu širenja seizmičkih valova. Cilj ovog ispitivanja bio je kvantitativno utvrditi utjecaj izraženog diskontinuiteta na brzine rasprostiranja seizmičkih valova. Korišteni su valjkasti uzorci uzeti iz jezgre izvadene u tijeku istražnih bušenja. Odabrani su uzorci dolomitnih i vapnenačkih dobrovezanih breča u kojima su međuprostori između fragmenata osnovne stijene ispunjeni mješavinom dolomitičnog ili vapnenačkog sitnozrnog kršja i cementnim matrixom kalcita ili glinovito kalcitne smjese. Aksijalna čvrstoća tih breča kretala se u rasponu od 66 do 108 MPa. Breče su izabrane zato što su imale približno izotropna obilježja i izrazito izraženu nehomogenost. Svojim obilježjima bile su i najbliže kvaziizotropnoj nehomogenoj stjenskoj masi. Uzorci breča su najbolje simulirali svojstva navedenog medija. Diskontinuiteti su na uzorcima umjetno oblikovani pilj-

enjem valjka na dva dijela pomoću dijamantne pile. Primijećeno je da je nakon piljenja srednja brzina elastičnih valova ispiljenih dijelova bila nešto malo manja od brzine primarnog cjelovitog uzorka. Objašnjenje navedene pojave sigurno je dijelom vezano za promjenu uskog pojasa uzorka stijene pri piljenju. U sustavu simulacije ta pojava bi se mogla poistovjetiti s povećanim stupnjem trošenja stjenske mase u neposrednoj blizini diskontinuiteta. Da bi se anulirali negativni utjecaji piljenja, oba dijela prepiljenog uzorka posebno su snimana i u daljnjim analizama korištena je srednja vrijednost brzine.

Diskontinuitet je simuliran nanošenjem na piljenu pluhu tankog premaza gline visoke plastičnosti, lakog-nječivog konzistentnog stanja, crvenosmede boje, nastale procesom trošenja karbonatnih naslaga. Granica tečenja aplicirane gline je $W_L = 74\%$ a granica plastičnosti $W_p = 18\%$. U daljem tekstu ispuna zijeve diskontinuiteta nazvana je "slojem gline".

PRVA GRUPA UZORAKA: 1 st GROUP OF SAMPLES			DRUGA GRUPA UZORAKA: 2 nd GROUP OF SAMPLES		
S - VAL S - WAVE	GLINA 1 CLAY 1	GLINA 2 CLAY 2	S - VAL S - WAVE	GLINA 1 CLAY 1	GLINA 2 CLAY 2
V_{sr}	100,00%		V_{sr}	100,00%	
V_o	88,20%	83,24%	V_o	94,15%	88,14%
V_1	87,38%	83,83%	V_1	92,12%	89,30%
V_{24}	85,58%	81,39%	V_{24}	90,80%	88,40%
P - VAL P - WAVE	GLINA 2 GLINA 1	P - VAL GLINA 2	GLINA 1 P - WAVE	GLINA 2 GLINA 1	GLINA 2
V_{sr}	100,00%		V_{sr}	100,00%	
V_o	96,64%	93,64%	V_o	97,54%	96,73%
V_1	97,18%	93,14%	V_1	96,92%	96,34%
V_{24}	94,27%	90,71%	V_{24}	95,73%	94,88%
Poissonov omjer Poisson's ratio	GLINA 1 CLAY 1	GLINA 2 CLAY 2	Poissonov omjer Poisson's ratio	GLINA 1 CLAY 1	GLINA 2 CLAY 2
σ_{sr}	100,00%		σ_{sr}	100,00%	
σ_o	116,85%	121,48%	σ_o	107,19%	119,02%
σ_1	118,61%	117,66%	σ_1	111,21%	115,32%
σ_{24}	118,37%	119,45%	σ_{24}	110,98%	115,09%

Tablica 1 Srednji postotni iznosi brzina transverzalnih i longitudinalnih valova te Poissonovih omjera za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline. V_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Table 1 Average percents of shear wave and pressure wave velocities and Poisson's ratio for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay. V_{sr} is the average velocity percent in the sample without clay, V_o is the average velocity percent immediately after the application of clay, V_1 is the average velocity percent 1 hour after the application of clay, V_{24} is the average velocity percent 24 hours after the application of clay.

2. MJERENJE

Mjerenje je izvršeno uređajem za ispitivanje brzina elastičnih valova ultrazvučnom tehnikom niske frekvencije na uzorcima dobivenim bušenjem. Metoda koristi mikrofrequentnu ultrazvučnu tehniku (opisano u HARDY & LEIGHTON, 1984) baziranu na preporukama Komisije Međunarodnog društva za ispitivanje stijena, (ISRM, 1978). Ispitivanja su izvršena uređajem OYO, NEW-SONICVIEWER (Model 5217A). Mjerenja su vremena prolaza ultrazvučnih valova kroz uzorak poznate visine. Računom su dobivene brzine V_p i V_s valova, te Poissonov koeficijent.

Ispitivani uzorci podijeljeni su u dvije grupe, i to tako da je u prvoj grupi bilo 6 uzoraka dolomitne breče, a u drugoj 12 uzoraka vapnenačke breče. Najprije su izmjerene brzine longitudinalnih i transverzalnih valova za svaku polovicu uzorka, te je iz dobivenih podataka izračunata srednja vrijednost brzine za svaki uzorak bez sloja gline.

Nakon toga polovice uzoraka spojene su tako da je između njih stavljen tanki sloj gline, debljine 0,25-0,30 mm (glina 1), a zatim sloj debljine 0,8 mm za prvu grupu uzoraka, a 1,2-1,9 mm za drugu grupu uzoraka (glina 2). Brzine longitudinalnih i transverzalnih valova mjerene su odmah nakon sastavljanja uzorka, zatim nakon 1 sat, te nakon 24 sata, da bi se dobio podatak o

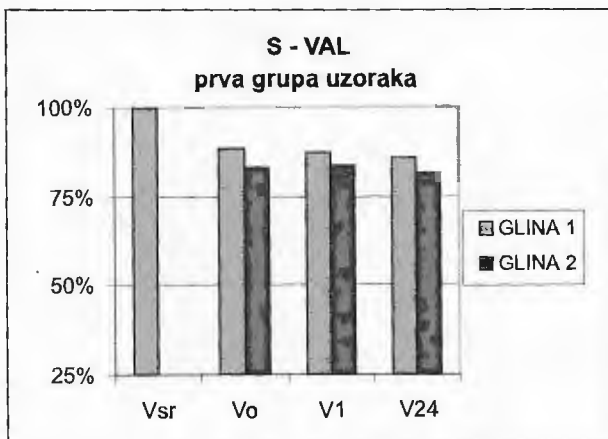
utjecaju sušenja gline na brzine seizmičkih valova. Početna vlažnost gline iznosila je 40,5%, a nakon 24 sata 9-11%.

3. REZULTATI MJERENJA

Iz izmjerenih rezultata izračunate su postotne vrijednosti za koje se promijeni brzina vala te Poissonov omjer za svaki uzorak, a zatim je izračunata srednja vrijednost promjene brzine i Poissonovog omjera za svaku grupu uzoraka. Ovi rezultati prikazani su tablično i grafički (vidi tablicu 1 i slike 1-6). Grafički su prikazane i srednje vrijednosti brzina seizmičkih valova i Poissonovog omjera za svaku grupu uzoraka (vidi slike 7-12).

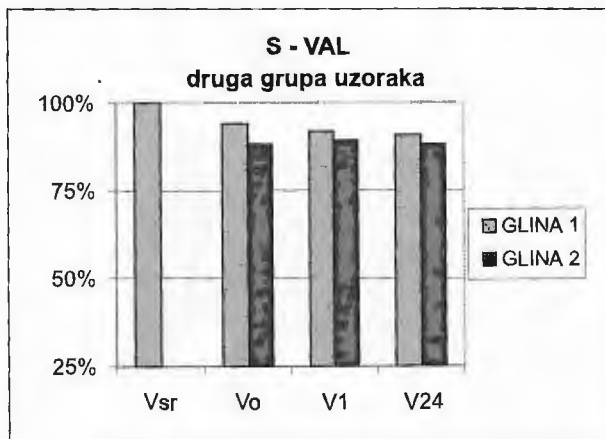
U prvoj grupi uzoraka tanji sloj gline (glina 1) iznosi oko 0,14% visine uzorka, i uzrokuje smanjenje brzine transverzalnog vala za oko 12% odmah nakon apliciranja gline (V_o), do oko 15% 24 sata nakon apliciranja gline. Utjecaj na brzinu longitudinalnog vala istog sloja gline je manji, i on iznosi 3-4% odmah nakon apliciranja gline, do oko 6% nakon 24 sata. Kao posljedica promjene brzine seizmičkih valova, mijenja se i Poissonov omjer, i to za 17-18%.

U drugoj grupi uzoraka sloj gline iste debljine iznosi oko 0,10% visine uzorka. Smanjenje brzine transverzalnog vala neposredno nakon aplikacije gline u ovom slučaju iznosi oko 6%, a nakon 24 sata oko 9%. Brzina



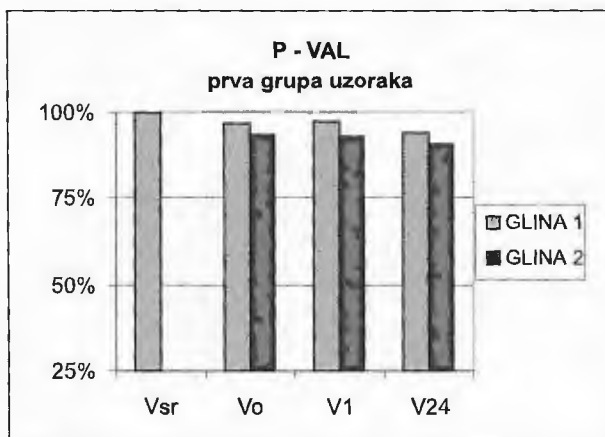
Sl. 1 Srednji postotni iznosi brzina transverzalnih valova za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za prvu grupu uzoraka - dolomitna brečča. V_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 1 Average shear wave velocity percents for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 1st group of samples - dolomite breccia. V_{sr} is the velocity percent in the sample without clay, V_o is the velocity percent immediately after the application of clay, V_1 is the velocity percent 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity percent 24 hours after the application of clay.



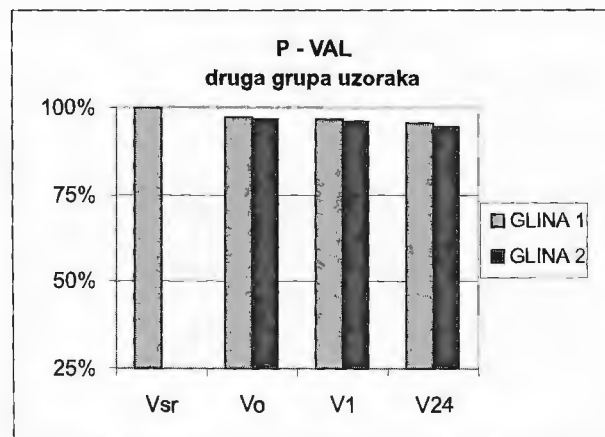
Sl. 2 Srednji postotni iznosi brzina transverzalnih valova za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za drugu grupu uzoraka - vapnenačka brečča. V_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 2 Average shear wave velocity percents for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 2nd group of samples - limestone breccia. V_{sr} is the velocity percent in the sample without clay, V_o is the velocity percent immediately after the application of clay, V_1 is the velocity percent 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity percent 24 hours after the application of clay.



Sl. 3 Srednji postotni iznosi brzina longitudinalnih valova za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za prvu grupu uzoraka - dolomitna brečča. V_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 3 Average pressure wave velocity percents for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 1st group of samples - dolomite breccia. V_{sr} is the velocity percent in the sample without clay, V_o is the velocity percent immediately after the application of clay, V_1 is the velocity percent 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity percent 24 hours after the application of clay.



Sl. 4 Srednji postotni iznosi brzina longitudinalnih valova za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za drugu grupu uzoraka - vapnenačka brečča. V_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

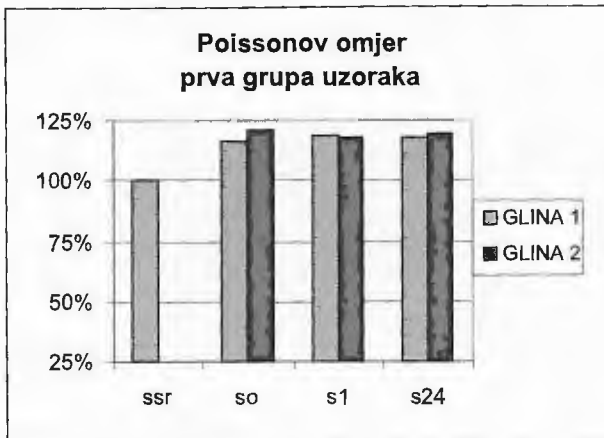
Fig. 4 Average pressure wave velocity percents for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 2nd group of samples - limestone breccia. V_{sr} is the velocity percent in the sample without clay, V_o is the velocity percent immediately after the application of clay, V_1 is the velocity percent 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity percent 24 hours after the application of clay.

longitudinalnog vala smanjila se za 2,5%, a nakon 24 sata za 4,5%. Promjene brzina uzrokovale su promjenu Poissonovog omjera za 7-11%.

Deblji sloj gline (glina 2) kod prve grupe uzoraka iznosi oko 0,41% ukupne visine uzorka, i uzrokuje smanjenje brzine transverzalnog vala za oko 17%, do oko 19% nakon 24 sata, te smanjenje brzine longitudo-

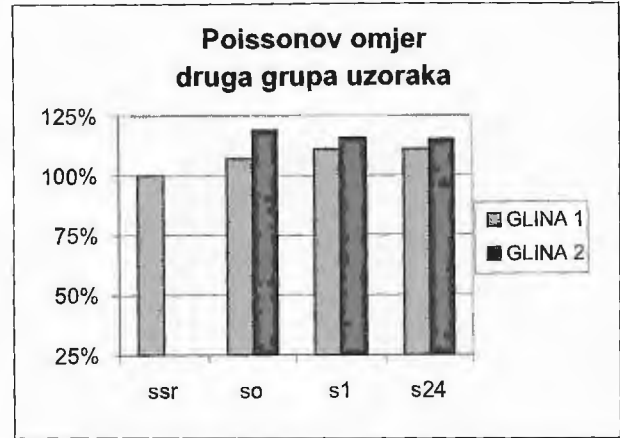
nalnog vala za oko 6% do oko 9% nakon 24 sata. Time je Poissonov omjer povećan za 17,5-21,5%.

Kod druge grupe uzoraka deblji sloj iznosi u prosjeku 0,47% visine uzorka. Brzina transverzalnog vala smanjena je za oko 12%, a longitudinalnog za oko 3%, odnosno oko 5% nakon 24 sata. Poissonov omjer povećan je za 15-19%.



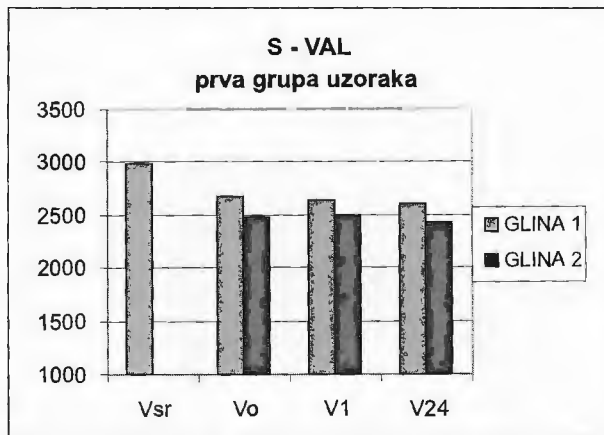
Sl. 5 Srednji postotni iznosi Poissonovog omjera za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za prvu grupu uzoraka - dolomitna brečča. S_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, S_o odmah nakon aplikacije gline, S_1 nakon 1 sat, S_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 5 Average Poisson's ratios for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 1st group of samples - dolomite breccia. S_{sr} is the Poisson's ratio in the sample without clay, S_o is the Poisson's ratio immediately after the application of clay, S_1 is the Poisson's ratio 1 hour after the application of clay, S_{24} is the Poisson's ratio 24 hours after the application of clay.



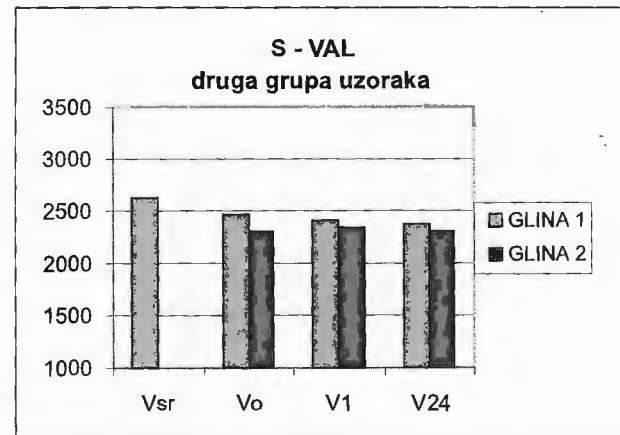
Sl. 6 Srednji postotni iznosi Poissonovog omjera za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za drugu grupu uzoraka - vapnenačka brečča. S_{sr} je postotna vrijednost u uzorku bez gline, S_o odmah nakon aplikacije gline, S_1 nakon 1 sat, S_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 6 Average Poisson's ratios for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 2nd group of samples - limestone breccia. S_{sr} is the Poisson's ratio in the sample without clay, S_o is the Poisson's ratio immediately after the application of clay, S_1 is the Poisson's ratio 1 hour after the application of clay, S_{24} is the Poisson's ratio 24 hours after the application of clay.



Sl. 7 Vrijednosti brzine S-vala u m/s za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za prvu grupu uzoraka - dolomitna brečča. V_{sr} je vrijednost brzine u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 7 S-wave velocities in m/s for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 1st group of samples - dolomite breccia. V_{sr} is the velocity in the sample without clay, V_o is the velocity immediately after the application of clay, V_1 is the velocity 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity 24 hours after the application of clay.



Sl. 8 Vrijednosti brzine S-vala u m/s za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za drugu grupu uzoraka vapnenačka brečča. V_{sr} je vrijednost brzine u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 8 S-wave velocities in m/s for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 2nd group of samples - limestone breccia. V_{sr} is the velocity in the sample without clay, V_o is the velocity immediately after the application of clay, V_1 is the velocity 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity 24 hours after the application of clay.

Prilikom mjerenja primijećeno je da intenzitet signala opada s povećanjem debljine sloja gline, te sa sušenjem gline.

4. ZAKLJUČAK

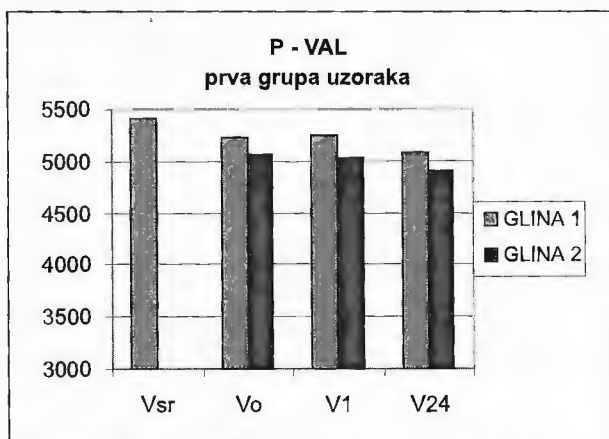
Navedena ispitivanja izvedena su u cilju kvantificiranja utjecaja izraženog diskontinuiteta u stijenskoj masi pri ispitivanju brzina seizmičkih valova.

Korišteni su valjkasti uzorci dolomitnih i vapnenačkih brečča.

Diskontinuitet je simuliran piljenjem i ispunom visokoplastičnom glinom (CH).

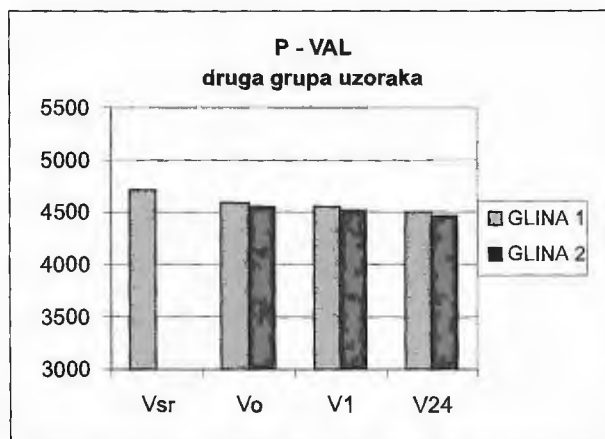
Analiziran je utjecaj debljine diskontinuiteta i promjene kvalitete (vlažnost) glinovite ispune.

Utvrđeno je da uz primjenjenu geometriju uzoraka diskontinuiteti imaju veći utjecaj na brzine transverzalnih valova (smanjenje brzine 5-16%) od longitudinalnih valova (smanjenje brzine 3-6%). Također je konstatirano



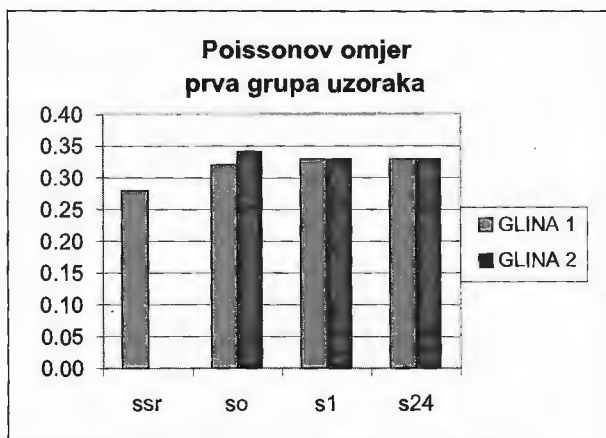
Sl. 9 Vrijednosti brzine P-vala u m/s za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za prvu grupu uzoraka - dolomitna brečča. V_{sr} je vrijednost brzine u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 9 P-wave velocities in m/s for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 1st group of samples - dolomite breccia. V_{sr} is the velocity in the sample without clay, V_o is the velocity immediately after the application of clay, V_1 is the velocity 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity 24 hours after the application of clay.



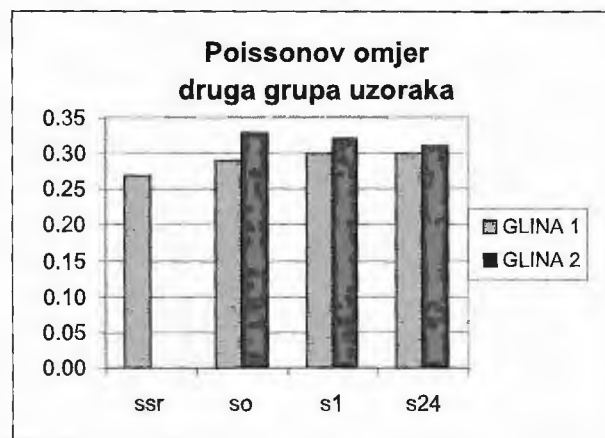
Sl. 10 Vrijednosti brzine P-vala u m/s za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za drugu grupu uzoraka - vapnenačka brečča. V_{sr} je vrijednost brzine u uzorku bez gline, V_o odmah nakon aplikacije gline, V_1 nakon 1 sat, V_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 10 P-wave velocities in m/s for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 2nd group of samples - limestone breccia. V_{sr} is the velocity in the sample without clay, V_o is the velocity immediately after the application of clay, V_1 is the velocity 1 hour after the application of clay, V_{24} is the velocity 24 hours after the application of clay.



Sl. 11 Vrijednosti Poissonovog omjera za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za prvu grupu uzoraka - dolomitna brečča. S_{sr} je vrijednost brzine u uzorku bez gline, S_o odmah nakon aplikacije gline, S_1 nakon 1 sat, S_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

Fig. 11 Values of Poisson's ratio for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 1st group of samples - dolomite breccia. S_{sr} is the Poisson's ratio in the sample without clay, S_o is the Poisson's ratio immediately after the application of clay, S_1 is the Poisson's ratio 1 hour after the application of clay, S_{24} is the Poisson's ratio 24 hours after the application of clay.



Sl. 12 Vrijednosti Poissonovog omjera za tanji (glina 1) i deblji (glina 2) sloj gline za drugu grupu uzoraka vapnenačka brečča. S_{sr} je vrijednost brzine u uzorku bez gline, S_o odmah nakon aplikacije gline, S_1 nakon 1 sat, S_{24} 24 sata nakon aplikacije gline.

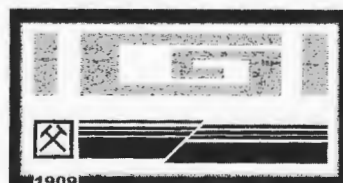
Fig. 12 Values of Poisson's ratio for thinner (clay 1) and thicker (clay 2) layer of clay for 2nd group of samples - limestone breccia. S_{sr} is the Poisson's ratio in the sample without clay, S_o is the Poisson's ratio immediately after the application of clay, S_1 is the Poisson's ratio 1 hour after the application of clay, S_{24} is the Poisson's ratio 24 hours after the application of clay.

no da promjena konzistentnog stanja od lakognječivog do polučvrstog izaziva dodatno smanjenje brzina od 2-4%.

5. LITERATURA

HARDY, H.R.Jr. i F.W.LEIGHTON (1984.): Acoustic emission I.-III.- Trans. Tech. publications, Pennsylvania, USA.

ISRM (1978): Suggested methods for determining sound velocity.- International Society for Rock Mechanics, Commission on standardization of laboratory and field tests. Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr., 15, 53-58.





Influence of the Aging on the Reflectivity of the Limestones

Breda MIRTIČ, Vesna KRAJNC & Simona JARC

Key words: Reflectivity, Limestone, Rapid aging, Slovenia.

Abstract

Five samples of limestones from Slovenia, differing mainly macroscopically and by structure were exposed to the tests of rapid aging in laboratory. Mass and reflectivity loss of the polished surface was determined after one year of exposure due to mechanical crumbling out of calcite grains from the surface of the sample and due to leaching of CaCO_3 . Because of progress of the weathering processes after the second year, measuring of reflectivity was not possible.

Distinct differences of mass loss were determined on the investigated limestones. However, reflectivity loss was the same on all examined samples.

1. INTRODUCTION

Natural stone decays due to influence of atmospheric weathering. Extent of weathering depends on atmosphere parameters such as moisture, temperature, pH, time of weathering, and on stone characteristics such as type of stone defined by mineralogical and chemical composition, petrological, structural and textural characteristics and physical properties, genesis of the deposit and the way the stone surface is prepared.

Weathering processes are expressed as leaching of rock, changing of mineral composition, hardness, strength and reflectivity of a polished surface.

Loss of mass of some Slovenian natural stones by rapid weathering in a laboratory device under changing conditions (alternating hot conditions and room temperature, wet conditions, immersion in distilled water) were described by JARC et al. (1995). The test was developed by AIRES-BARROS et al. (1975).

Change of microhardness was examined as well (KRAJNC et al., 1999). JARC et al. (1995) described in detail measurements made on some Slovenian stones.

Mass loss causes visible changes of the polished stone surface. Loss of reflectivity of the polished stone surface was proved after one and two years of treatment by the described laboratory test.

2. MATERIALS AND METHODS

Five limestones from different deposits in Slovenia were investigated:

- Upper Cretaceous shallow marine limestone - **Lu** is a massive biomicrite limestone,
- Upper Cretaceous shallow marine limestone - **Lf** is a massive biomicrite limestone with lower amount of micrite,
- Variegated Upper Triassic limestone - **Hr** (red coloured) and **Hs** (grey coloured) is a massive intrabiomicrite to intrabiosparite limestone with small white and red calcite veins,
- Upper Cretaceous dolomitized limestone - **D** is a massive limestone with transitions from biomicrite to biosparite.

A detailed characterization of the investigated limestones was previously described by JARC et al. (1995). Couples of samples of each limestone, with dimensions $5 \times 5 \times 1$ cm, were treated by the laboratory device, i.e. the first pair of the particular sample was immersed in distilled water, the second pair in a saturated water solution of NaCl and the third pair in a saturated water solution of Na_2SO_4 . Afterwards, all samples were exposed to alternating cooling (to $+20$ °C) and heating (to $+70$ °C). Each cycle lasted 15 min., which corresponds to 1 day of weathering under atmospheric conditions. In order to leach all water soluble secondary minerals before the mass variation measurements all samples were washed out in distilled water (20 hours) and air dried at 70 °C (48 hours). Each sample was weighed before the test. Reflectivity of the polished surface was measured by a photometer MPE, using a microscope.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. LOSS OF MASS

Mass changes after one and two years of the sample aging are presented in Fig. 1. Loss of mass of all investigated limestones is evident after one year of aging in distilled water. The amount of mass loss is about 0.01

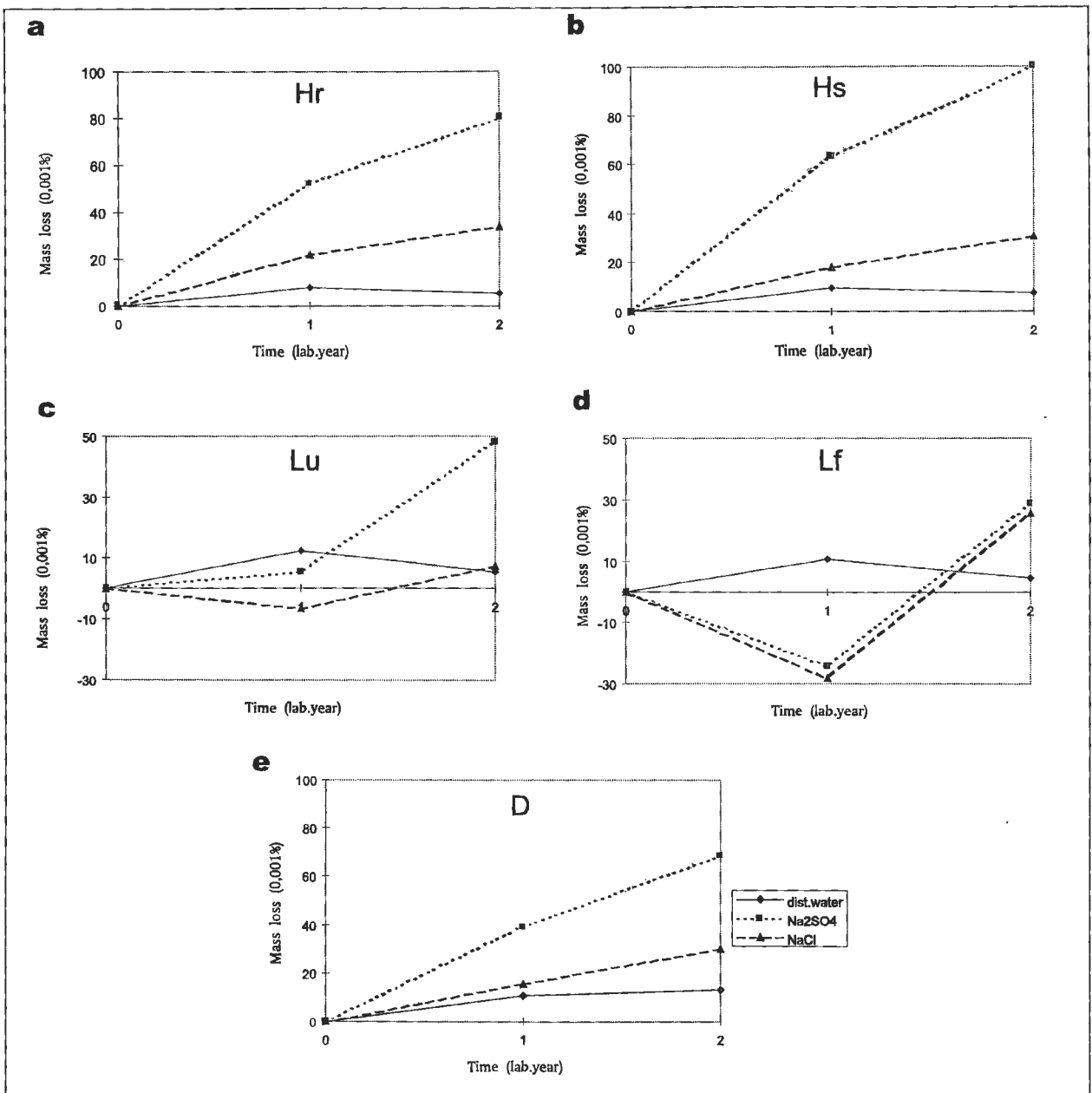


Fig. 1 Mass change of limestones after one and two years of laboratory aging in distilled water and in the saturated water solutions of NaCl and Na₂SO₄ (in 0.001%). Legend: a) Hr; b) Hs; c) Lu; d) Lf; e) D.

wt. % for all samples. The mass loss is not distinctly higher after two years of aging. Mass loss of samples aged for one and two years in the solutions of NaCl and Na₂SO₄ is about two to three times higher in comparison to the samples aged in the distilled water. Lu and Lf samples are the only exceptions.

3.2. REFLECTIVITY

Reflectivity of nonmetal minerals is very low ($R < 15\%$) and accuracy of measurement is quite unreliable at this range. All used samples were polished and reflectivity measured before aging. Results are presented in Table 1. Reflectivity was measured in a range from 6 to

7%. Lu and Lf are exceptions with reflectivities of 8 and 8.7%.

Reflectivity of all investigated samples was measured after one year of aging (Fig. 2). Change of reflectivity is the lowest for samples aged in distilled water. The most aggressive medium is the solution of Na₂SO₄, which generally diminished reflectivity of the samples for two times. The solution of NaCl was found to be a little less aggressive.

Lowering of reflectivity was caused by etching of the polished surfaces of samples. Pores became visible as a consequence of etching. Particular grains of calcite fell out, bigger calcite grains became rounded, and so-

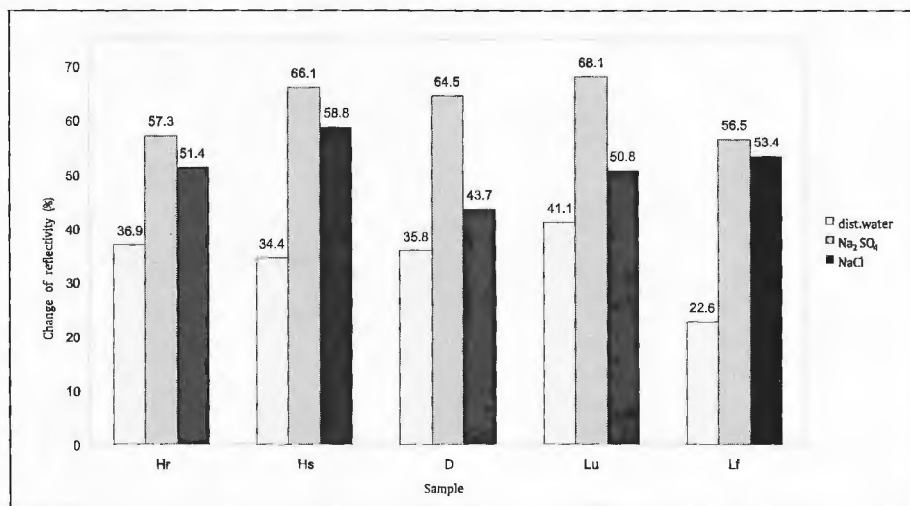


Fig. 2 Change of the reflectivity of limestones after one year of aging in distilled water and in the saturated water solutions of NaCl and Na₂SO₄ (in %).

	Hr	Hs	D	Lu	Lf
R	6.2±0.8	6.0±0.5	6.9±0.3	8.0±0.4	8.7±0.5

Table 1 Reflectivity of limestones before aging (in %).

me calcite crystals along the cleavage cracks dissolved.

Surfaces of all investigated samples became damaged in such extent that measuring of reflectivity after two years of aging was impossible.

4. CONCLUSION

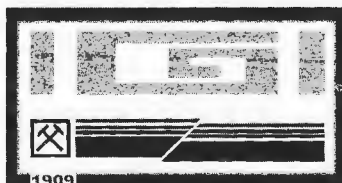
Selected types of Slovenian limestones were Cretaceous and Triassic massive micrite to sparite limestones. Accelerated aging in three different solutions at raised temperatures caused measureable and visible changes in masses and reflectivity of the investigated samples. The solution of Na₂SO₄ was found to be the most aggressive. Differences in the extent of damages of the surfaces of all used limestones are negligible.

Acknowledgement

The financial support of the Ministry of Science and Technology, Republic of Slovenia is gratefully acknowledged.

5. REFERENCES

- AIRES-BARROS, L., GRACA, R.C. & VELEZ, A. (1975): Dry and wet laboratory tests and thermal fatigue of rocks.- Eng. Geol., 9, 249-265.
- JARC, S., MLADENOVIČ, A. & MIRTIČ, B. (1995): Thermal fatigue of building stones from Slovenia.- First Croatian Geological Congress, Opatija 1995, Proceedings, 1, 235-237, Zagreb.
- KRAJNC, V., JARC, S. & MIRTIČ, B. (1999): Microhardness of some Slovenian limestone.- Kovine, zlitine, tehnologije, in print, Ljubljana.





Otkrivanje speleoloških objekata novijim geofizičkim metodama

Detection of Speleological Objects by Newer Geophysical Methods

Goran MITROVIĆ, Marijan KRSNIK & Tomo NOVOSSEL

Ključne riječi: geofizička ispitivanja, speleološki objekt, krš, projekt autoceste.

Key words: Geophysical investigations, Speleological object, Karst, Design of motorway.

Sažetak

Krška područja Hrvatske obiluju speleološkim objektima. Definiranje njihovih položaja i geometrije nužno je za izradu projekata. Sanacija negativnih utjecaja krških fenomena pri izgradnji autoceste poskupljuje izvođenje. Uspješnost primjene geofizičkih metoda u otkrivanju speleoloških objekata od presudnog je značenja pri izradi prognoznih inženjerskogeoloških profila, u fazi glavnog projekta, kao i u sanacionim rješenjima tijekom iskopa i pripreme za temeljenje objekata i dijelova trase. Otkrivanje šupljina jedan je od velikih izazova u istraživanju, jer se zahtijeva primjena tehnika visoke rezolucije. Tim zahtjevima često je teško udovoljiti standardnim geofizičkim tehnikama i interpretacijom. Multitehnički geofizički pristup potpomognut novijim razvojem u instrumentaciji, primjena novih metoda, kompjuterski bazirana interpretacija i prikaz rezultata već nalazi primjene i u detektiranju šupljina. Kombinirajući rezultate ispitivanja georadarom, geoelektričnom LIS (Lund Imaging System) metodom i seizmičkom Δ -t-V metodom, na lokaciji zone Japića kod Vrbovskog izdvojena su uska područja s utvrđenom pojavom speleoloških objekata. Omogućena je brza i jeftina provjera geometrije šupljina koje su u formi anomalija indicirane geofizičkim ispitivanjima.

Abstract

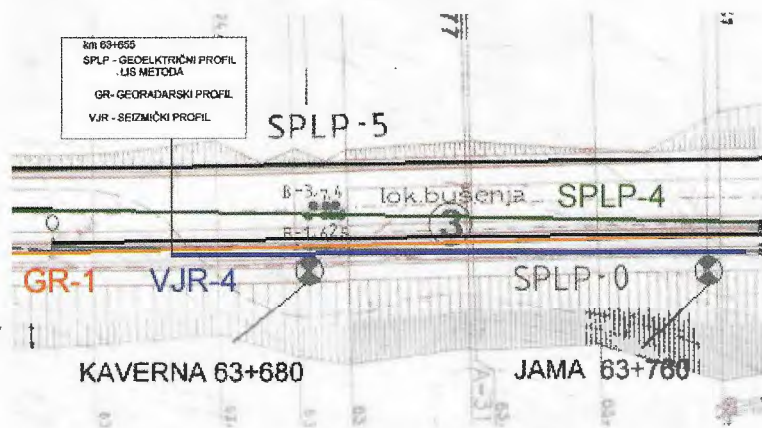
Karst areas of Croatia have plenty of speleological objects. Defining of their positions and geometry is necessary for elaborating designs. The recovery of negative influences of karst phenomena in building motorways increases the costs of building. The successful application of geophysical methods in detecting speleological objects has decisive importance in elaborating prognostic engineering geological profiles in the phase of the main design, as well as in recovery solutions during excavations and preparation for foundation of structures and parts of marked routes. One of the most challenging research tasks is detection of caves and pits, because it demands the application of high resolution techniques. These demands are often difficult to satisfy by standard geophysical techniques and interpretation. Multitechnical geophysical approach supported by the recent development of instruments, application of new methods, computer based interpretation and results presentation finds its applications in the caves and pits detecting as well. Combining the investigations results by georadar, geoelectric LIS (Lund Imaging System) method, and seismic Δ -t-V method, in the area of Japić at Vrbovsko, the narrow areas with the estimated speleological objects have been separated. Caves and pits are in the anomaly form indicated by geophysical investigations and the quick and cheap control of their geometry is enabled.

UVOD

Krški fenomeni u karbonatnim naslagama predstavljaju problem pri projektiranju građevinskih objekata. Istražnim radovima potrebno je definirati šupljine u kršu. Primjena geofizičkih metoda u prethodnom periodu često nije zadovoljavala, ni pored detaljnih mjerenja, jednoznačno rješenje i pouzdanu provjeru bušenjem. Promašaji su se najčešće dešavali zbog nemogućnosti preciznog prostornog određivanja veličine i oblika šupljine. Veliki broj gusto raspoređenih bušotina na brojnim se primjerima često pokazao nedovoljnim za definiranje šupljina uz činjenicu da je bušenje najsku-

plji istraživački rad. U praksi, otkrivanje krških fenomena prepušteno je uglavnom slučajnom nalaženju pri izvedbi istražnih bušotina. Na taj način veliki broj šupljina ostaje neotkriven i potencijalno ugrožava stabilnost budućih objekata.

Noviji razvoj u izradi geofizičkih instrumenata te razvoj digitalnih metoda tomografske obrade podataka u računalu i interpretacije, otvorio je mogućnost pouzdanog otkrivanja podzemnih šupljina barem u plitkom dijelu podzemlja. Ona je naznačena u ovom radu na primjeru otkrivanja speleoloških objekata (jama i špilja) u zoni Japića kod Vrbovca, djelomično uočenim prilikom građevinskih radova na autocesti Rijeka - Zagreb (dioni-



Sl. 1 Situacioni nacrt trase i mikrolokacija geofizičkih ispitivanja.

Fig. 1 Project layout of the mapped route and the microlocation of geophysical investigations.

ca Kupjak - Vrbovsko). Dobri rezultati postignuti su usporednom primjenom kombinacije više geofizičkih metoda i to georadarskog profiliranja, geoelektrične LIS (Lund Imaging System) i seizmičke Δ -t-V metode (KR-SNIK et al., 1999). Nakon izvedenih istraživanja pojas sa uočenim anomalijama sveden je na 3% površine buduće ceste gdje su nastavljena istraživanja. Konkretan primjer pristupa istraživanjima i dobivenih rezultata dan je u nastavku.

INŽENJERSKOGEOLOŠKA I SPELEOLOŠKA OBILJEŽJA LOKACIJE

Istraživano područje građeno je od slojevitih vapnenaca i rjeđe dolomita srednjeg lijas (J₁²). Navedene naslage nalaze se unutar strukturne jedinice Velika Kapela. Karakteristični su trosmjerni sustavi pukotina, te rasjedi uglavnom reversnog tipa (BLAGUS et al., 1997). Pukotinski diskontinuiteti unutar stjenske mase s prosječnim elementima 34/66, 110/82 i 250/28 (slojevitost), obilježeni su stepeničastim ili zupčastim formama s ispunama glinom i kalcitnim skramicama, te zijevom od 1-30 mm, a veličina blokova izdvojenih ploha navedenih diskontinuiteta paraleloipedskog su tipa i približno oko vrijednosti 15 x 50 x 60 cm. Stjenska masa zahvaćena je procesima trošenja i u njoj se u pravilu mogu izdvojiti 3 pojasa kako slijedi:

- Pokrovni i površinski pojas trošenja za koji je karakterističan tanki pokrov gline visoke plastičnosti crvenkastosmede boje i fragmenti potpuno rastrošenih vapnenaca i dolomita s međuprostorima ispunjenim glinom i kršjem. Debljina tog pojasa je u rasponu od 0,8-3,2 metra.
- Gornji pojas trošenja debljine do 20 metara sa srednje i jako okršenom raspucanom stijenom sa zijevom pukotina većim od 5 mm i ojedinskim proširenjima.
- Stijena srednje do malo zahvaćena trošenjem s učestalim kalcitnim zapunjenjima pukotina i zijevom 1-5 mm.

Speleološki objekti koji se javljaju u gornjem pojasu trošenja posljedica su gravitacijskog okršavanja. Okršava-

vanje pod utjecajem oborinskih voda jako je izraženo, a posebno mu na ispitivanoj lokaciji pogoduje tektonska razlomljenost. Šupljine su uglavnom jamskog tipa i njihova pojava u pravilu prati reversne rasjede. Pojava kaverni i jače zjapećih pukotina prati savijanje (boranje) naslaga ili manje pomake uzduž ploha stepeničastih i zupčastih formi. Razina podzemne vode je na većim dubinama, pa voda ima procijedni karakter s pojavom bujičnog ulijevanja i slijevanja u periodu većih oborina.

ODABIR GEOFIZIČKIH METODA

Podzemne šupljine mogu se otkriti samo onda ako se geofizičkim mjerenjima uspiju razlučiti od okoline i odrediti njihove stvarne veličine i dubine. Uspjeh u otkrivanju ovisi, u prvom redu, o veličini, dubini šupljine, vrsti materijala kojim je ispunjena (zrak, voda, kršje, glina i sl.) te intenzitetu sekundarnog okršavanja okoline. Cirkulacijom vode pukotinama javljaju se dva efekta, proširenje volumena pukotina otapanjem ili smanjenje volumena pri kristalizaciji iz otopina. Navedene pojave gotovo uvijek pojačavaju fizikalna obilježja kontrasta na granici šupljina i matične stjenske mase. Veličina geofizičke anomalije izazvane postojanjem speleološkog objekta varira u ovisnosti od svojstava geološke okoline i u pravilu je uvijek veća od same šupljine. U slučaju pojave suhe podzemne šupljine, što je slučaj na našoj lokaciji, fizički kontrast u odnosu na okolnu stijenu je znatan.

Za istraživanje podzemnih šupljina na lokalitetu Japčić odabrana je kombinacija triju različitih geofizičkih metoda i to iz razloga što se uspoređivanjem rezultata mogu prevladati ograničenja koja postoje kod svake od njih pojedinačno.

Georadarsko profiliranje (GPR - Ground penetrating radar) se temelji na refleksiji elektromagnetskih valova od diskontinuiteta u podzemlju. Ovisno o dubini koja se želi zahvatiti mjerenjem u praksi se koriste različite frekvencije tih valova u području od 20 MHz do 1 GHz. Najjednostavnije rečeno elektromagnetski impuls se preko predajne antene šalje u podzemlje gdje se reflektira na granicama sredina različite elektri-



Sl. 2 Rasjedna zona i jama, km 63+760.
Fig. 2 Fault zone and the pit, km 63+760.

čne vodljivosti te vraća natrag na prijemnu antenu. Povratna valna forma se nadalje digitalizira i pohranjuje u memoriju za kasniju obradu, a također i prikazuje na ekran ili tiska na papir. Visoka vodljivost materijala (niska otpornost) je, pored visine frekvencije, najznačajniji ograničavajući faktor u primjeni georadara. Zasićenost vodom ili prisutnost visokovodljivog sloja gline uzrokuje jaku apsorpciju signala što sprečava njegovo prodiranje dublje u podzemlje. Mjerenja su izvršena georadarom RAMAC/GPR i antenama od 200 i 100 MHz.

Geoelektrično profiliranje LIS (Lund Imaging System) metodom se može smatrati automatiziranim geoelektričnim profiliranjem s puno (10) dubinskih zahvata. Radi se o višeelektrodnom sustavu za automatsko mjerenje i obradu podataka. LIS sustav uključuje instrument za mjerenje električnog otpora ABEM Terrameter SAS 300 C, selektor elektroda ABEM Electrode Selector ES 464, 4 kabla, 64 elektrode i prijenosno računalo. Samo mjerenje je potpuno kontrolirano programom za prikupljanje podataka, a izvodi se Wennerovim rasporedom elektroda. Svako mjerno stajalište se može ujedno smatrati i geoelektričnom sondom s više različitih AB/2 mjerenja. Rezultati se mogu dobiti u dva oblika i to kao tzv. Pseudosekcije, odnosno dvodimenzionalni presjeci izračunatih prividnih otpornosti na temelju kojih se kvalitativno zaključuje o geološkoj građi, i kao



Sl. 3 Rasjedna zona i kaverna, km 63+680.
Fig. 3 Fault zone and the cave, km 63+680.

dvodimenzionalni presjeci specifičnih otpornosti dobiveni automatskom 1D interpretacijom po Zhodyu (ZHODY, 1989). Na temelju potonjih presjeka može se o geološkoj građi zaključivati kvantitativno.

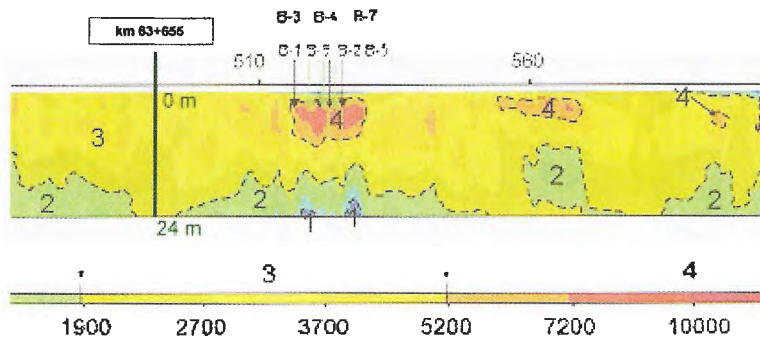
Seizmička refrakcijska tehnika primijenjena je u ovim istraživanjima unatoč tome što su dobro poznata njezina ograničenja vezana na inverziju brzina materijala u podzemlju (slučaj $V_2 < V_1$). Obrada ovih podataka nije zato rađena klasičnim poznatim metodama nego **Δ -t-V inverznom metodom** (GEBRANDE & MILLER, 1985). Kod Δ -t-V obrade uključeni su, pored kontinuiranog rasporeda brzina s dubinom ispod svakog geofonskog mjesta u seizmičkom profilu, vertikalni gradijenti brzina, linearni porast brzine s dubinom i inverzni rasporedi brzina. Mjerenja su izvedena digitalnim 24 kanalnim seizmografom TERRALOC ABEM Mark 6. Izvor vala na točkama paljenja bili su udarci čekića po metalnoj ploči. Za prijem signala korišteni su vertikalni geofoni SENZOR SM 4, rezonantne frekvencije 10 Hz.

Udarno bušenje korišteno je u cilju provjere i potvrde anomalija dobivenih geofizičkim ispitivanjima. Mjerenja koja su izvršena na terenu daju grafički prikaz vremena u sekundama potrebnog za dubinske penetracije od 20 cm.

TUMAČENJE DOBIVENIH REZULTATA

Položaji geofizičkih profila prikazani su na sl. 1. Odabran je kao posebno zanimljiv dio trase buduće ceste gdje su u tijeku istraživanja otkrivene kaverna (sl. 3) i jama (GARAŠIĆ, 1998) (sl. 2, 6 i 7). Na presjeku SPLP-4 (sl. 4) prikazana je anomalija utvrđena geoelektričnom LIS metodom. Karakteriziraju je izrazito velike otpornosti u odnosu na okolnu stijensku masu. Provjerom bušenjem (bušotine B-1 do 7) utvrđene su šupljine u vezi s kavernom (sl. 3). Primjer dijagrama bušenja dan je na sl. 5. Na paralelnom presjeku SPLP-0 (sl. 8), također su uočene slične anomalije koje potvrđuju lateralnu povezanost s kavernom. Evidentna je po-

SPLP-4_b1999-03-13
 WENNER SMOOTHED 1D ZOHDY MODEL (r m.s residuals 7.9%)

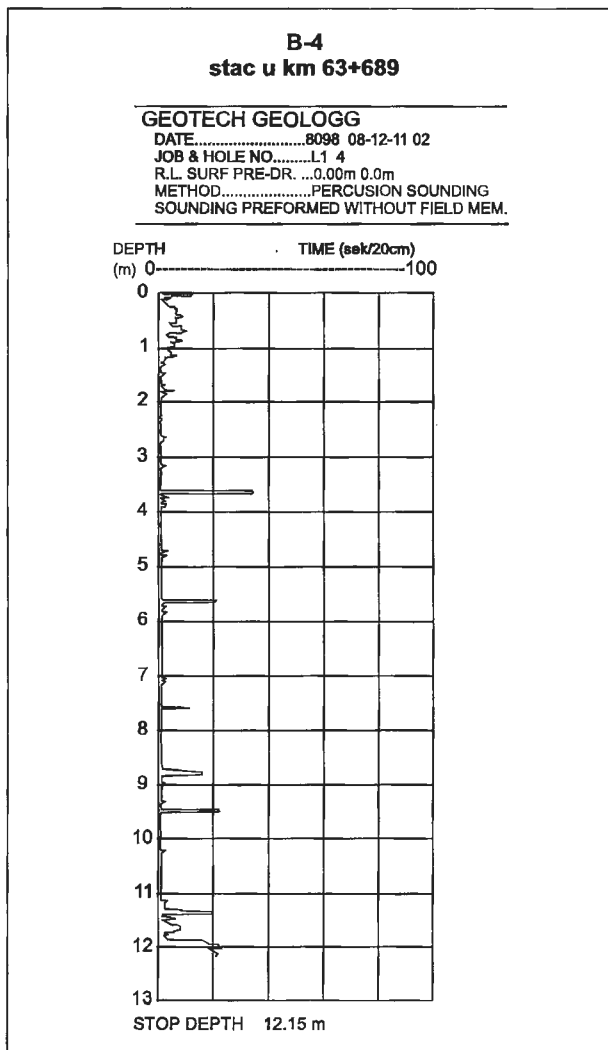


Sl. 4 Presjek LIS profila SPLP-4 s lokacijama bušenja.

Fig. 4 Cross section of LIS profile SPLP-4 with borehole sites.

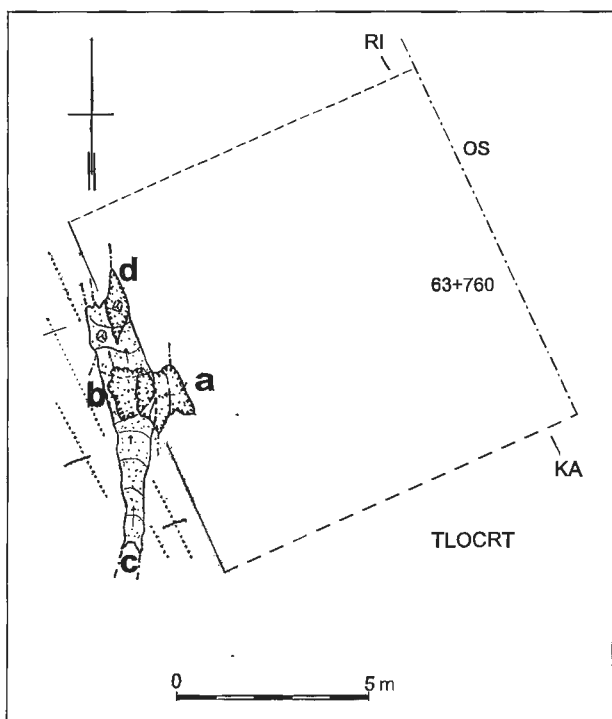
java jačih zaglinjenja u pukotinama koje su ispod većih šupljina (otpori manji od 1000 Ohmm). Zanimljiva je i pojava "lažne" anomalije (760 m/dubina 15 m, sl. 8c) nastala zbog bočnog utjecaja jame (sl. 2).

Na dijelovima profila na kojima su dobivene najizraženije anomalije geoelektričnom LIS metodom provedena su mjerenja georadarom. Urađen je profil GR-1 s dva dubinska zahvata antenama od 200 i 100 MHz. Rezultat ovih mjerenja prikazuju sl. 8a (antena 200 MHz) i 8b (antena 100 MHz). Na slikama se vidi da je s antenama od 200 MHz zahvaćena dubina oko 10 m, a s onima od 100 MHz oko 16 m. Na jednom i drugom presjeku dobro se mogu pratiti slojevitost i gotovo vertikalni pukotinski sustavi. Izražena je anomalija u rasjednoj zoni između stacionaža 63+682 i 63+692, koja odgovara pojavi kaverne na oko 2 metra dubine. Pri kraju presjeka (stacionaže 63+755 do 63+770) smanjeno je prodiranje elektromagnetskog vala, što je rezultat jače



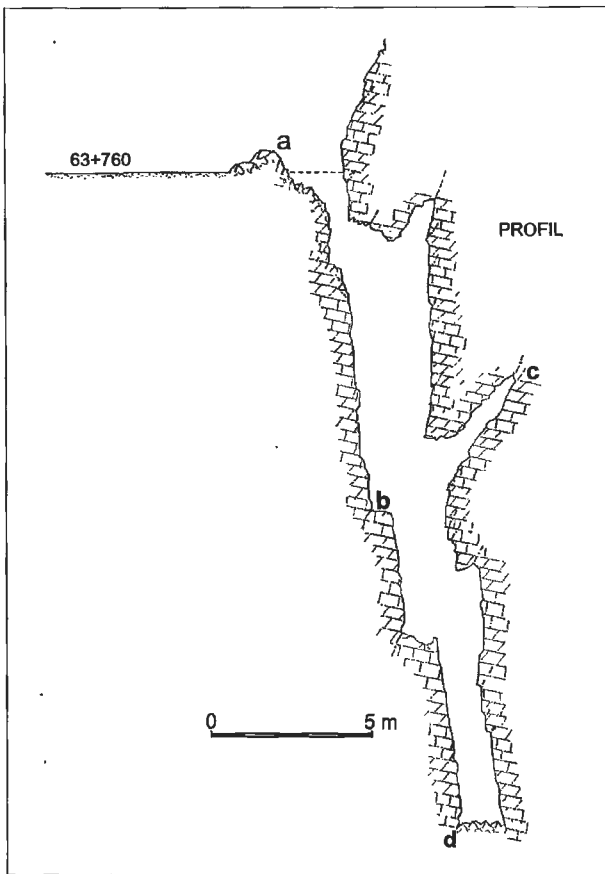
Sl. 5 Dijagram bušenja B-4.

Fig. 5 Log of B-4 borehole.



Sl. 6 Tlocrt jame, km 63+760.

Fig. 6 Ground plan of the pit, km 63+760.



Sl. 7 Profil jame, km 63+760.

Fig. 7 Cross section of the pit, km 63+760.

zaglinjenosti i zapunjenosti pukotina u zoni iznad jame. Na presjeku dobivenom mjerenjem antenama frekvencije 100 MHz (sl. 8b) više se ne uočavaju uske pukotine, dok su rasjedne zone i slojevitost izraženiji.

Slika 8d prikazuje presjek refrakcijskog profila VJR-4 dobiven inverznom Δ -t-V metodom. Izolinije brzine P vala prikazane su do vrijednosti 6000 m/s s inkrementom 100 m/s. Ovim mjerenjima postignuta je veća dubina zahvata, pa se tako anomalije nižih brzina mogu pratiti i dublje, ispod gornje zone trošenja. Dobro se uočavaju anomalije u rasjednim zonama (stacionaže 63+684, 690, 703, 738 i 758 m) do dubine oko 35 m. Anomalija u zoni jame na stacionaži km 63+760 osobito je izražena i seže duboko (30 m). Do dubina od oko 10 metara interpretacija je manje pouzdana, zbog većeg razmaka geofona (5 m), što ima za posljedicu "gladeenje" diskontinuiteta linearnom regresijom. Čisto plitke pojave bi se razlučile kad bi se kod mjerenja uzeo manji razmak geofona, ali bi se u tom slučaju postigla i manja dubina zahvata.

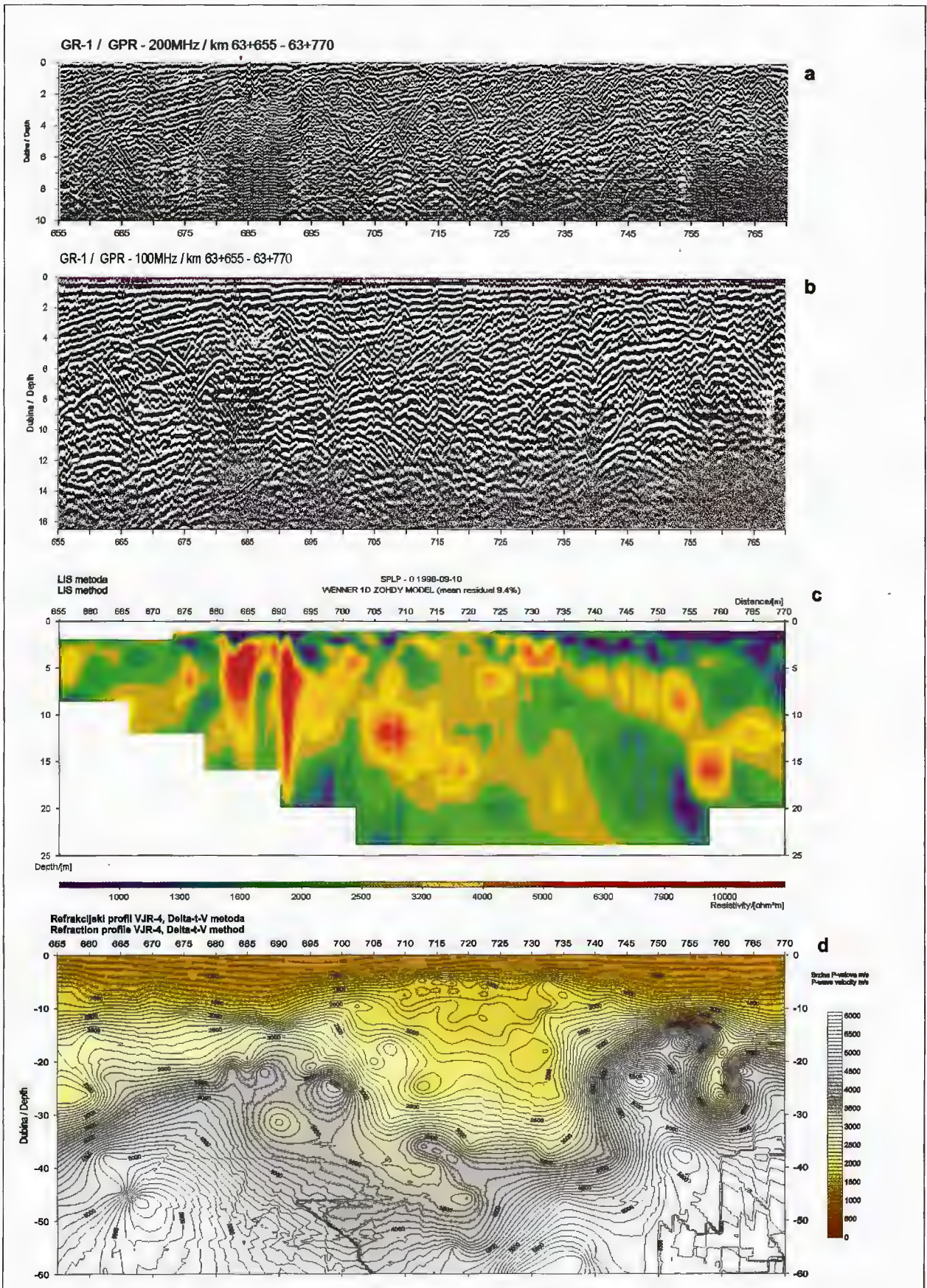
ZAKLJUČAK

Današnji stupanj razvoja primijenjene geofizike otvorio je mogućnost pouzdanog otkrivanja plitkih podzemnih šupljina, osobito u kršu, što je pokazano na primjeru geofizičkog istraživanja na lokalitetu Japić na trasi autoceste Zagreb - Rijeka. To je važno, jer se primjenom geofizičkih metoda dobiva mnogo bolja slika o građi poluprostora na kojem će se graditi budući objekti, a istražno se bušenje može optimizirati i tako osjetno smanjiti cijenu istraživanja.

Najveća pouzdanost kod istraživanja plitkih podzemnih šupljina postiže se usporednom kombiniranom primjenom više geofizičkih metoda. Tako je moguće prevladati ograničenja koja svaka od metoda ima pojedinačno sama za sebe. Usvajanjem navedenog pristupa kombinacijom geofizičkih metoda bušenje se svodi na nužan obim potreban za provjeru anomalija. Provjera se može izvesti vrlo jeftinim udarnim bušenjem s automatskim zapisom brzine prodiranja dlijeta i gubitka isplake.

LITERATURA

- BLAGUS, Z., BRAUN, K., POLLAK, D., GALOVIĆ, I. & MLINAR, Ž. (1997): Inženjerskogeološki istražni radovi, Autocesta Rijeka-Karlovac, Dionica Kupjak-Vrbovsko, Geotehnički projekt, Knjiga 4.- Arhiv stručne dokumentacije Instituta građevinarstva Hrvatske, 1-64, Zagreb.
- GEBRANDE, H. & MILLER, H. (1985): Refraktionsseismik, *Angewandte Geowissenschaften II.*- Ferdinand Enke, 226-260, Stuttgart.
- GARAŠIĆ, M. (1998): Izvješće o speleološkom istraživanju, topografskom i fotografskom snimanju, te hidrogeološkim opservacijama u novootvorenoj kaverni-jami, u usjeku na stacionaži 63+760, u trasi autoceste Karlovac-Rijeka, dionica poluautoceste Kupjak-Vrbovsko-Bosiljevo.- Društvo za istraživanja i snimanja krških fenomena, 1-17, Zagreb.
- KRSNIK, M., KOLAČEVIĆ, M., MITROVIĆ, G., MIRKOVIĆ, O. & VUJNOVIĆ, T. (1999): Istražni radovi u cilju identifikacije špiljskih fenomena (zona Stara Sušica i zona Japića).- Arhiv stručne dokumentacije Instituta građevinarstva Hrvatske, 1-27, Zagreb.
- ZHODY, A.A.R. (1989): A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves.- *Geophysics*, 54, 245-253.



Sl. 8 Usporedni pregled geofizičkih ispitivanja, km 63+655 - 63+770; georadarski profil GR-1, antene 200/100 MHz; geoelektrični profil SPLP-0; seizmički refrakcijski profil VJR-4.

Fig. 8 Comparative review of geophysical investigations, km 63+655-63+770; georadar profile GR-1, antennas 200/100MHz; geoelectrical profile SPLP-0; seismic refraction profile VJR-4.



Kvartarna tektonika u području vijadukta "Drežnik" - Karlovac

Quaternary Tectonics in the Area of the Viaduct "Drežnik" near Karlovac

Željko MLINAR & Ivan GALOVIĆ

Ključne riječi: kvartarna tektonika, gravitacijski rasjedi, profili bušotina, pokrivač, podloga, aluvijalni sedimenti rijeke Kupe, pliokvartar, belvederski sedimenti, rhomboidea pijesci, gline, pijesci, šljunci, dolomiti, klastiti.

Key words: Quaternary tectonics, Gravity faults, Well logs, Cover, Bedrock, Alluvial sediments of the Kupa river, Plio-Quaternary, Belvedere sediments, Rhomboidea sands, Clays, Sands, Dolomites, Clastic rocks.

Sažetak

Kvartarna tektonika, čiji su efekti konstatirani tijekom istražnog bušenja za potrebe Primorsko-Goranske autoceste nastavak je neotektonskih zbivanja kojima je zahvaćeno područje Drežnika, sjeverno od Karlovca. Aluvion rijeke Kupe, predstavljen je naslagama pokrivača - gline, pijesci i šljunci, te podlogom pliokvartarne (belvederske) starosti (gline, pijesci i šljunci), na donjotrijaskom karbonatno-klastičnom kompleksu. Bušotine (57) su dokazale stepeničasto spuštanje i izdizanje ovih sedimenata na dužini od 2.800 m kartiranog, odnosno snimljenog terena. Gravitacijska tektonika ukazala je na spuštanje pojedinih litoloških članova do 10-ak m, na čitavom profilu oko 50 m, a izvan njega i preko 100 m.

Abstract

The Quaternary tectonics, whose consequences have been determined during exploration drilling, along the route of the Primorsko-Goranska motorway, are a continuation of Neotectonic events that occurred in the region of Drežnik situated to the north from Karlovac. The alluvial deposits of the river Kupa, i.e. the cover deposits - clays, sands and gravel as well as the Plio-Quaternary (Belvedere) deposits (clays, sands and gravel) which cover the Lower Triassic carbonate-clastic complex show stepwise uplift and lowering according to borehole data (57 boreholes) in a total length of 2,800 m of mapped terrain. The gravity tectonics has caused the downthrow of individual lithological units up to 10 m, along the whole profile approximately 50 m, and outside of the profile over 100 m.

1. UVOD

Inženjerskogeološki profil "Drežnik" reprezentira područje sjeverno od Karlovca između Ilovca i Male Jelse, duž naselja Drežnik, smještenog na jugozapadnom obodu Karlovačke potoline. Inženjerskogeološka (IG) karta i profili (sl. 1 i 2) izrađeni su za potrebe Primorsko-Goranske autoceste, dionice Karlovac-Bosiljevo. Dužina profila iznosi 2.800 m sa 67 bušotina u razmaku od 20 do 70 m i dubinom bušenja od 12 do 30 metara.

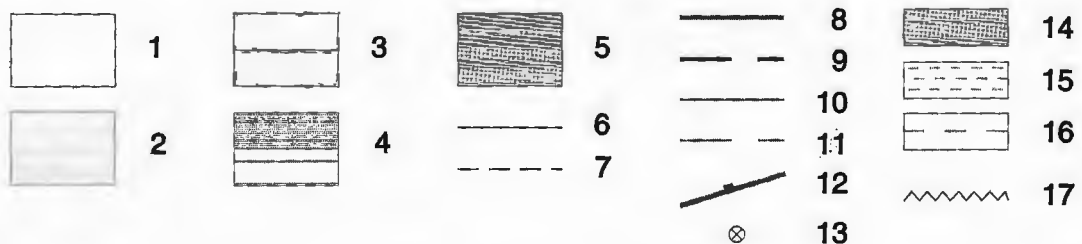
Prve geološke podatke o karlovačkoj okolici objavio je STUR (1862), detaljna istraživanja kvartarnih naslaga proveo je GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1916), KOCH (1916) je konstatirao naslage aluvijalne starosti,

a najnovija geološka, inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja od Ozlja do Pokuplja proveli su ČAKARUN et al. (1979).

2. STRATIGRAFIJA

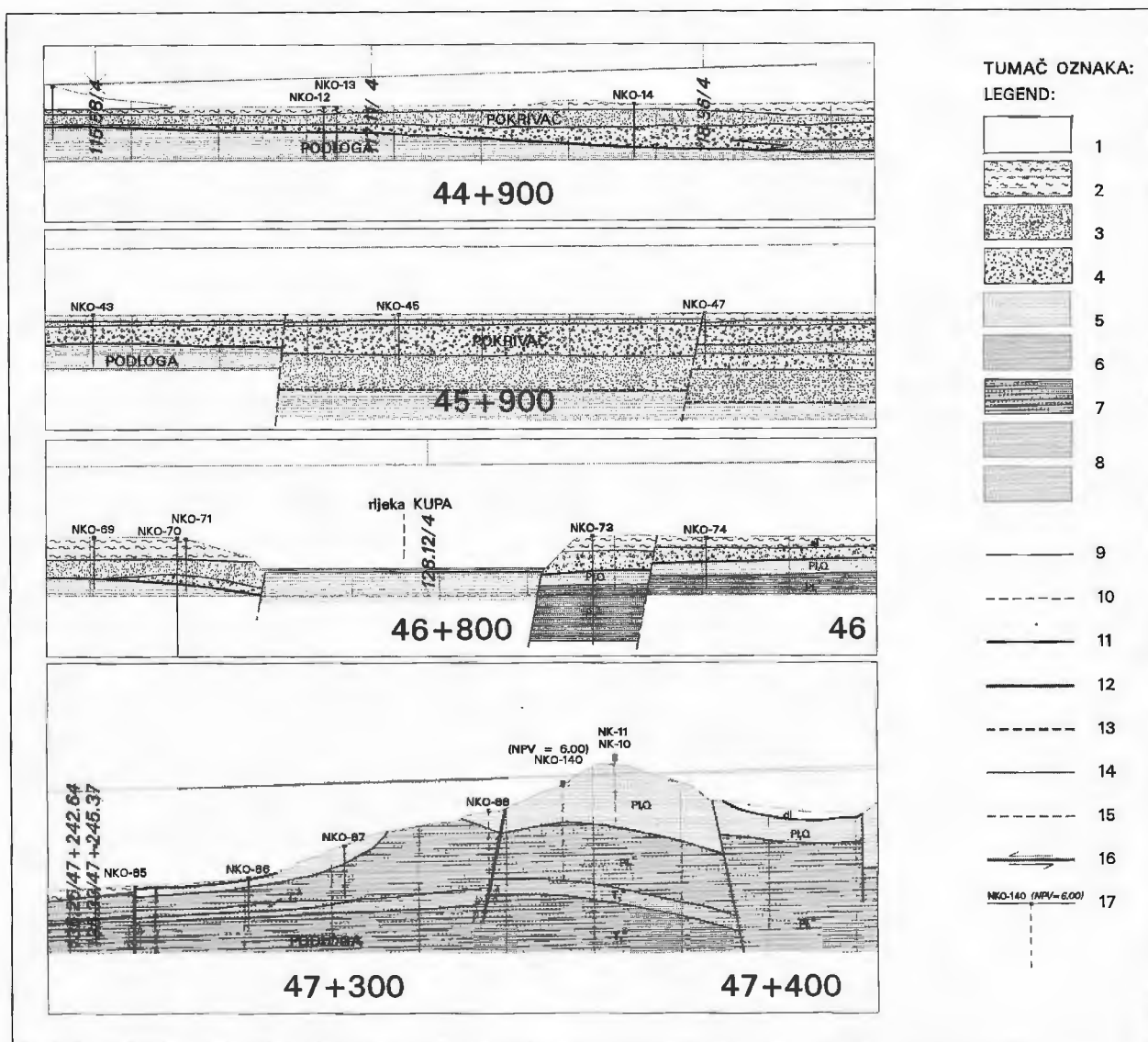
Teren u području vijadukta pokrivaju naslage pokrivača, tj. aluvijalni sedimenti rijeke Kupe - glina, pijesak i šljunak, dok su u podlozi naslage pliokvartarne i donjotrijaske starosti.

Podlogu aluviona Kupe izgrađuju pliokvartarne naslage - "belvedere" pijesci, a ispod njih leže pjeskovito-prašinate rhomboidea naslage, koje transgresivno naliježu na sedimente donjotrijaske (kampilske) starosti (slika 1).



Sl. 1 Inženjerskogeološka karta. Legenda: 1) nabačaj, n; 2) aluvij, al, kvartar - pokrivač; 3) deluvijalni nanos, dl, kvartar - pokrivač; 4) belvedere, pliokvartar, Pl,Q - podloga; 5) rhomboidea naslage, Pl,², donji pliocen - podloga; 6) geološka granica, utvrđena, normalna; 7) geološka granica, pretpostavljena; 8) rasjed, normalni, višeg reda, utvrđen; 9) rasjed normalni, višeg reda, pretpostavljen; 10) rasjed normalni, nižeg reda, utvrđen; 11) rasjed normalni, nižeg reda pretpostavljen; 12) oznaka spuštenog (dignutog) bloka; 13) oznaka za istražnu bušotinu izvan osi; 14) rijeka; 15) plavljeni teren; 16) povremeno plavljeno; 17) jaruga.

Fig. 1 The engineering geological map. Legend: 1) excavation deposits, n; 2) alluvium, al, Quaternary - cover; 3) talus deposits, dl, Quaternary - cover; 4) Belvedere, Plio-Quaternary - bedrock, Pl,Q; 5) Rhomboidea deposits, Pl,², Lower Pliocene - bedrock; 6) geological boundary, normal; 7) geological boundary, inferred; 8) normal fault, higher order, determined; 9) normal fault, higher order, inferred; 10) normal fault, lower order, determined; 11) normal fault, lower order, inferred; 12) fault showing dip; 13) exploration bore-hole location outside the axis with groundwater level; 14) river; 15) flooded terrain; 16) zone of intermittent flooding; 17) ravine.



Sl. 2 Karakteristični inženjerskogeološki profili vijadukta "Drežnik". Legenda: 1) nasip željezničke pruge, n; 2) aluvij, al, kvartar - pokrivač; 3) aluvij, al, kvartar - pokrivač; 4) aluvij, al, kvartar - pokrivač; 5) belvedere, pliokvartar, Pl,Q - podloga; 6) rhomboidea naslage, donji pliocen, Pl_1^2 ; 7) kampil, donji trijas, T_2^2 - podloga; 8) kampil, donji trijas, T_1^2 - podloga; 9) geološka granica, utvrđena, normalna; 10) geološka granica, pretpostavljena; 11) kontakt: pokrivač - podloga; 12) rasjed, normalni, višeg reda, utvrđen; 13) rasjed normalni, višeg reda, pretpostavljen; 14) rasjed normalni, nižeg reda, utvrđen; 15) rasjed normalni, nižeg reda pretpostavljen; 16) oznaka za istražnu bušotinu izvan osi.

Fig. 2 The characteristic engineering geological cross-sections along the viaduct "Drežnik". Legend: 1) railroad embankment; 2) alluvium, al, Quaternary - cover; 3) alluvium, al, Quaternary - cover; 4) alluvium, al, Quaternary-cover; 5) Belvedere deposits, Plio-Quaternary, Pl,Q - bedrock; 6) Rhomboidea deposits, Lower Pliocene - bedrock; 7) Campilian, Lower Triassic, T_2^2 - bedrock; 8) Campilian, Lower Triassic, T_1^2 - bedrock; 9) geological boundary, normal; 10) geological boundary, inferred; 11) contact between cover and bedrock; 12) normal fault, higher order, determined; 13) normal fault, higher order, inferred; 14) normal fault, lower order, determined; 15) normal fault, lower order, inferred; 16) fault showing dip; 17) exploration bore-hole location outside the axis with groundwater level.

Glina - al, Q₂, dl

Gline su rezultat fluvijalnog nanosa rijeke Kupe u Karlovačku potolinu početkom kvartarne epohe i najmlađi su sediment aluviona Kupe. Nestaju na obroncima brda Male Jelse (NKO-86), dok se na istok nastavljaju pod aluvion rijeke Kupe u Karlovačku potolinu (KOCH, 1916; ČAKARUN et al., 1979).

Glina je pretežito niske plastičnosti (CL), slabo zbijena, srednje gnječiva s neravnomjerno raspoređenom željezovitom tvari, limonitizirana, a sadrži i sitne man-

ganske konkrecije i preljeve. Osim ovog prevladavajućeg tipa gline registrirane su i gline niske do visoke plastičnosti (CL/CH), srednje do teško gnječive, zbijene, kao i gline visoke plastičnosti (CH), voštanog sjaja i lako gnječive. Glina je uglavnom žutosmeda na površini, a tamnija s porastom dubine. Prosječne je debljine oko 1,5 m, a u inženjerskogeološkom smislu predstavlja pokrivač. U podlozi granica prema pijesku i šljunku najčešće nije oštra, nego postoji postupni prijelaz.

Na inženjerskogeološkom profilu (sl. 2) vidi se intenzivna tektonska aktivnost sedimentacijskog prostora

Drežničke nizine. Spuštanja i dizanja pojedinih dijelova terena izazvala su povećanje i smanjenje debljine glinenog sloja.

Na mjestima probušenih glinenih naslaga, tj. na bušotinama NKO-84, 85 i 86 istjecala je arteška voda, dok su bušotine istočno od rijeke Kupe u polju u kišne dane gutale vodu, tj. bile mjesta upoja površinske vode.

Pijesak - al, Q₂, dl

Pijesak žute, oker, sive do različitih nijansi smeđe boje, debljine od 0,00 do 5 m, mjestimično se pojavljuje u dvije do tri razine. Pijesak čini naslage pokrivača. Krupnozrnast je, srednjezrnast do sitnozrnast, često s primjesom praha i gline kao i šljunka.

Na inženjerskogeološkom profilu (sl. 2) izražena je tektonska poremećenost pješćane razine aluviona rijeke Kupe. Posebno je zanimljivo područje između bušotina NKO-45 do NKO-53, gdje je spuštanje grabe ponovilo 2-3 puta pjeskovite naslage (horizonte), u punoj debljini, dok je izdizanje naslaga uzrokovalo njihovo nestajanje ili izostanak sedimentacije. Ova izdizanja i spuštanja terena uzrokovala su na pojedinim mjestima povećanje, odnosno smanjenje debljine pijeska od prosječne vrijednosti, koja iznosi između 2 i 3 metra, na minimum (0 m) i maksimum 13,7 m (NKO-49). Tektonski poremećaji su uvjetovali pojavljivanje gline, pijeska i šljunka na različitim razinama Kupskog aluviona, tako da se stupna mjesta vijadukta "Drežnik" nalaze u glini, pijesku ili šljunku.

Pijesak iz sredine kupskog aluviona s glinom u krovini i šljunkovitom podinom, osim u navedenim primjerima gdje nema podine, leži izravno na pliokvartarnim (belvedere) pijescima NKO-55, dok su ostale bušotine s drugim ili trećim nivoom pijeska na Pl, Q (NKO-41, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 59). Pijesak je kolektor podzemne vode (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, 1916).

Šljunak - al, Q₂, dl

Šljunak predstavlja u inženjerskogeološkom smislu naslage pokrivača, promjenljive je boje, od sive, smeđe, žute, plave i t.d. Veličina zna mijenja se od sitnozrnastog, srednje do krupnozrnastog šljunka, odnosno veličine i postotka pojedinih frakcija, kao i po zaobljenosti valutica.

Šljunak, pretežito najniži član fluvijalnog nanosa Kupe, pojavljuje se u sloju prosječne debljine od 3-4 m, no zadebljanja iznose i do 7 m (NKO-45), a pojavljuje se u dvije razine (NKO-37, 41, 49, 53 i 66), te se može naći i između dva sloja pijeska (NKO-49, 53 i 67).

Valutice su paleozojske i trijaskke starosti, dobro zaobljene do poluzaobljene, sferoidne većinom plošnog oblika. Varijeteti šljunka s pijeskom su česti, a s prahom vrlo rijetko. U krovini je uglavnom pijesak, rijetko glina. U podini leži na pliokvartarnom (belvederskom) pijesku Pl, Q, a rjeđe na pijesku aluviona Kupe (NKO-41, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 59), dok na bušotinama NKO-76, 78 i 80 leži izravno na pijescima gornjopontske (rhomboidea, Pl₁) starosti.

Na inženjerskogeološkim profilima (sl. 2) vidljiva je intenzivna tektonska aktivnost u kvartaru, koji je prije sedimentacije kupskog aluviona (fluvijala) bio zaravnjen pliokvartarnim (belvederskim) sedimentima. Podloga belvederskih sedimenata u Karlovačkoj potolini jasno ukazuje da se rijeka Kupa usjekla u svježije naslage kvartarne starosti. Poremećaji u kupskom fluvijalu dogadali su se za vrijeme njegove sedimentacije, a traju i danas. Današnje neotektonske poremećaje prekrivaju poplave rijeke Kupe muljevitim nanosom. Spuštanja su dekameterska (10-20 m; NKO-49), a izdizanja i preko sto metara.

Pijesci - Pl, Q pliokvartar (belvedere)

Pijesci u inženjerskogeološkom smislu predstavljaju podlogu drežničkog vijadukta, raznobojni su, od sivo-smeđe, bijele, žute, svijetlo do tamnosmeđe, crvenkaste do ljubičaste i narančaste boje. Debljina im je od 16,4 m na NKO-79, do par desetaka metara na trasi.

U krovini su im uglavnom aluvijalni sedimenti, najčešće šljunkoviti i pjeskoviti. Od karlovačke petlje do rijeke Kupe nije nabušena podloga ovih belvederskih pijesaka, dok je na desnoj obali Kupe (NKO-72, 73, 74) u podlozi prašnasti (romboidejski) pijesak gornjopontske starosti. Granica s aluvijalnim sedimentima Kupe je oštra, kao i s podinskim pijescima romboidejske starosti, a rijetko je prema podini prijelaz mješovit, debljine 10-20 cm.

Tektonskim izdizanjem (rasjed u koritu rijeke Kupe) desna strana Kupe podignuta je, u području Donje Jelse erodirao je najveći dio belvederskog sedimenta, te ga je ostalo oko 3 m, od bušotine NKO-76 do podnožja brda, gdje je potpuno nestao - erodiran.

Pijesci - Pl₁ gornji pont (rhomboidea)

Pijesci gornjeg ponta odnosno rhomboidea naslage su finozrnasti pijesci svijetlosive, sive do tamnije sive, sivozelenkaste pa sve do sivosmeđe boje. U inženjerskogeološkom smislu predstavljaju podlogu. Jednoliko graduirani, drobljivi, tinjčasti, mjestimično zaglinjeni, s primjesom organske tvari (NKO-86) i fosilnim ostacima školjkaša *Congeria* i drugim kardidima. Debljina ovih naslaga varira od oko 10 m do preko 100 m. Rhomboidejski pijesci po veličini zna variraju od srednjezrnastih do praha (silta).

Krovinu rhomboidejskim pijescima čine belvederski pijesci (NKO-72, 74), a na ostalom dijelu aluvijalne naslage rijeke Kupe (glina, pijesak, šljunak - vidi inženjerskogeološki profil, sl. 2).

Podloga je predstavljena klastitima i dolomitima donjotrijaskke starosti (kampil T₂) na bušotinama NKO-80, 84, 86, 88, dok su dolomiti u bazi klastita registrirani u bušotini NKO-82.

Tektonski pokreti u kvartaru su duž rasjeda u Kupi izdigli njenu desnu stranu zajedno s naseljem Mala Jelsa do te mjere da su naslage rhomboidejske starosti izdignute na 5 m do površine terena, što ukazuje na intenzivno izdizanje u vrijeme kvartara. Rasjed između

NKO-78 i 80 bio je aktivan i prije kvartara, uzrokovao eroziju rhomboidea naslaga izdizanjem u kvartaru. Erodiranje belvederskih naslaga također vrlo jasno potvrđuje vrlo intenzivna kretanja ovog dijela terena.

Klastiti i dolomiti - T_1^2 kampila - donji trijas

Donjotrijaske naslage kampilske starosti razvijene su u razvoju klastita u izmjeni s dolomitom i vapnencem. Klastiti su predstavljeni tinčastim vinskocrvenkastim pješčenjakom, crvenkastim šejlovima, sivim do žućkastim kristaliničnim prašinstim dolomitom, sivim, žućkastim i crvenkastim vapnencem tipa mudstone i oolitičnim crvenkastim grainstoneom, koji često prelazi u oolitični dolomit. Izmjena je centimetarskih do metarskih dimenzija, ali su karbonatne izmjene deblje. Pojavljuju se i dolomitni tinčasti siltiti i siltni dolomitni šejlovi. Terigeni detritus čine tinjci, kvarc, plagioklas i čestice stijena.

Dolomit prevladava u višem dijelu stupa na prijelazu u srednjotrijaske anizičke dolomite, kao i u podlozi klastita na prijelazu u donjotrijaske klastite.

U bušotinama NKO-86 i 88 utvrđeno je međuslojno klizanje unutar šejla. Slojevi su debljine od 1-5 cm u klastitima, a u karbonatima i do 30 cm. Nagib sloja kreće se od 15-20°, a pukotinski sustav je u područjima nagiba 40°, 60° i 80-90°, a nalazimo i rasjedne pomake. Čitava stijena je intenzivno tektonizirana, što je uočljivo na profilu trase. Može se konstatirati da su intenzivna izdizanja na rubu karlovačke potoline na površini predstavljena nizom rasjeda stepeničastog tipa.

3. TEKTONIKA

U strukturnom smislu naslage su horizontalne. Tektonska gibanja odlikuju se dizanjem i spuštanjem blokova gravitacijskim kretanjem. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1916) konstatira da su na rubovima karlovačke depresije rasjedne zone (poniranja) mladih naslaga. Rasjedi uz potolinu konstatirani su naftnim istraživanjima u Savskoj, Dravskoj, Međimurskoj i drugim potolinama (PRELOGOVIĆ, 1975), a tako i u Karlovačkoj. Ovaj profil detaljno pokazuje stepeničasto spuštanje Karlovačke potoline od paleozojsko-mezozojskog oboda prema središtu potoline. Iako u dijelu profila na rubu potoline nema površinske pojave naslaga paleozojske i mezozojske starosti, one su vidljive nešto sjevernije, dok su na profilu naslage donjotrijaske starosti nabušene uz rub bazena već na dubini od 7-10 m.

Od paleozojsko-trijaskog masiva spuštanje naslaga u bazen je stepeničasto. Od Donje Jelse (ruba depresije) do rijeke Kupe u desetak rasjeda uočena su spuštanja oko 10 m, gotovo okomitim rasjedima i isklinjavanja na istok naslaga od trijaskog dolomita, preko trijaskog kampilskog klastita, da bi na Kupi nestali i rhomboidejski slojevi. Depresija nije nastala jednim rasjedom, nego tektonskom zonom stepeničastog spuštavanja nizom lomova (dužine oko 2.500 m).

Tektonska zbivanja od rijeke Kupe pa do Ilovca pokazuju diferencijacije pojedinih segmenata depresije, tj. spuštavanja i izdizanja te nazočnost tektonskih pokreta tijekom kvartara sve do danas. Na geološkom profilu Drežnik od Donje Jelse do Ilovca konstatirana je tektonska aktivnost stepeničastog spuštavanja na kojem se očituje nekoliko tektonskih karakteristika. U intervalu od bušotine NK-10 i NK-11 do bušotine NKO-87 naslage pliocena i pliokvartara su veće debljine i leže na donjotrijaskim naslagama s manjim intenzitetom spuštavanja na SSZ. Naslage pliokvartara ispod ceste Brodarci-Donja Jelsa-Borlin nestaju, a od bušotine NKO-86 na pliocenske pijeske naliježe aluvion rijeke Kupe u početku s glinama, a od bušotine NKO-80 do KNO-76 na pliocen izravno kupski šljunak. Od bušotine NKO-76 do rijeke Kupe šljunak leži na pliokvartarnim pijescima. Između rijeke Kupe i Donje Jelse uočava se erozija pliokvartarnih naslaga i većim dijelom pliocenskih slojeva kao i dijelom donjotrijaskih klastita. Stepeničasto spuštanje između bušotine NK-10 i rijeke Kupe iznosi oko 50 m. Izostanak, kao i stanjenje postojećih sedimentata ukazuje na pomicanje rijeke Kupe od Donje Jelse prema Drežniku (istoku).

Rasjedi lijeve i desne obale rijeke Kupe spustili su rijeku Kupu za oko 10 m s tim da se desni rasjed za nekoliko metara spustio u odnosu na lijevi. Jednolika sedimentacija i manja tektonska spuštanja su sve do bušotine NK-61 tj. do ceste Hrnetić-Drežnik.

Intenzivno spuštanje terena kao i zadebljanja aluviona rijeke Kupe, te ponavljanja pijesaka i šljunaka pokazuju spuštanja ovog dijela terena od 10-ak m sve do bušotine NKO-45 u dužini od oko 580 m. Nastavlja se mirnija deblja sedimentacija aluviona slijedećih 1.000 metara, sve do Ilovca. U Ilovcu se aluvion rijeke Kupe stanjio na svega oko 5 m, a leži na pliokvartarnim pijescima. Spuštanje od pliokvartara (belvedere) do danas, iznosi preko 50 metara. Na profilu od Kupe do Velike Jelse konstatirano je izdizanje i preko 100 m. Kilometar sjevernije nalazi se paleozojska navlaka Zadobarje, navučena na donjotrijaske naslage navlake Zagraddi, kao i na srednjo-gomjotrijaske dolomitne navlake Stative-Grandić Breg, te navlaku Zvečaj-Metlika. Navlaka Zagraddi, Zvečaj-Metlika i Stative-Grandić Breg, na kojoj je navlaka Zagraddi, zajedno su navučene na mezozojsku navlaku Črnatelj-Bosiljevo. Ovaj sedimentni i tektonski kompleks predstavlja dio velike geotektonske cjeline karbonatne platforme Vanjskih Dinarida. Uočena su navlačna kretanja s boranom gradom, prevrnutne strukture i ljuške praćene intenzivnim uzdužnim i poprečnim rasjedima. Nakon formiranja borano-navlačne strukture, neotektonsko preoblikovanje uz radialnu tektoniku relativnog izdizanja odnosno spuštavanja blokova (potoline) izmjenila su karakter prvobitnom recentnom strukturnom sklopu, zamaskirajući prvobitne odnose. Ovim radom obuhvaćena su neotektonska, odnosno kvartarna tektonska zbivanja i izdizanja navlačne strukture Zadobarje i spuštanje karlovačke potoline.

4. LITERATURA

- ČAKARUN, J., BABIĆ, Ž., MARKOVIĆ, S., GALOVIĆ, I. & DUKARIĆ, F. (1979): Geološke, inženjerskegeološke i hidrogeološke karakteristike područja bazena VES Brodarci.- Fond struč. dok. Instituta za geološka istraživanja, br. 2343, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1916): O nekim dubokim bušenjima kod Karlovca - Duge Rese i njihovom geološkom značenju.- *Vijesti Geol. povj.*, 5-6, 51-66, Zagreb.
- KOCH, F. (1916): Prethodni izvještaj o potankom geološkom snimanju okolice Karlovca.- *Vijesti Geol. povj.*, 5-6, 9-22, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske.- *Geol. vjesnik*, 28, 97-108, Zagreb.
- STUR, D. (1862): Bericht vom 31. Mai 1862. (Berichte aus Karlstadt).- *Jahrb. Geol. Reichsanst.*, 12/3, (Verh.), 234, Wien.



Novi zahvati podzemne vode iz karbonatnog vodonosnika Ivanščice kod Lobora

New Groundwater Extractions from Carbonate Aquifer of the Ivanščica Mountain at Lobar

Vinko MRAZ¹ & Marijan KRSNIK²

Ključne riječi: Ivanščica, karbonatni vodonosnik, Zagorski vodovod.

Key words: Ivanščica mountain, Carbonate aquifer, Zagorski vodovod (water supply).

Sažetak

Vodoopskrbni sustav Zagorskog vodovoda iz izvorišta Lobar (sjeverozapadni dio Hrvatske) temelji se na zahvatima podzemnih i površinskih voda karbonatnog masiva Ivanščice. Za potrebe Vodovoda zahvaćena je voda izvorišta "Šumeci", "Škrabotnik" i "Koprivnjak". Drugi dio vode ulazi u uređaj za pročišćavanje vodotocima Reka i Rački potok. Ukupno u sustav ulazi prosječno 120 l/s, od čega oko 50% cjevovodom iz kaptaza, a oko 50% površinskim vodotocima zamućenim i onečišćenim pri nailasku većih voda.

Osnovna intencija istraživanja bila je bušenim zdcencima eliminirati površinske vode iz vodoopskrbnog sustava, te povećati količinu i kakvoću zahvaćene vode. Izvedeni radovi potvrdili su hidrogeološku pretpostavku da se iz trijaskog karbonatnog vodonosnika ovog dijela Ivanščice mogu zahvatiti dodatne količine visokokvalitetne podzemne vode. Time je udvostručena izdašnost ovog vodoopskrbnog sustava i znatno poboljšana vodoopskrba Hrvatskog zagorja.

Abstract

The water-supply system of Zagorski Vodovod at Lobar (northwestern part of Croatia) is based on the extraction of ground and surface waters from carbonate rocks mass of the Ivanščica Mt. massif. Water from the spring zones "Šumeci", "Škrabotnik" and "Koprivnjak" is collected for the water supply system Zagorski Vodovod. The other part of water enters a purifying system from the streams Reka and Rački Potok. The total amount of 120 l/s comes into the system, about 50% of which comes by pipelines from the springs and about 50% from the streams mudded and polluted during high water.

The basic intention of investigation was to eliminate surface water from the water supply system by boring the wells and to increase the quantity and quality of extracted water. The performed works proved the hydrogeological supposition that the additional quantity of high quality groundwater can be extracted from a Triassic carbonate aquifer of this part of Ivanščica. By this extractions the capacity of this water-supply system is doubled and the water supply of Hrvatsko Zagorje is considerably improved.

UVOD

Izvorište Lobar Zagorskog vodovoda (sl. 1) nalazi se u masivu Ivanščice, ispod strmih grebena Šumečkog brega, Jastrebinca, Skalovke i Oštrca s kotama od 700 i više metara, i duboko usječenim jarugama vodotoka Dugi jarek, Šumeci, Koprivnjak, Reka, Rački potok s Očuricom i Bučva.

Za potrebe vodoopskrbnog sustava Zagorskog vodovoda s izvorišta Lobar do uređaja za kondicioniranje dovodi se dio vode cjevovodima iz kaptaza "Šumeci", "Škrabotnik" i "Koprivnjak". Drugi dio vode ulazi u sustav površinskim vodotocima Reke i Račkog potoka. Ukupno dotječe u sustav oko 110-120 l/s vode, od čega približno 50% iz zahvaćenih izvora, a 50% iz površinskih vodotoka.

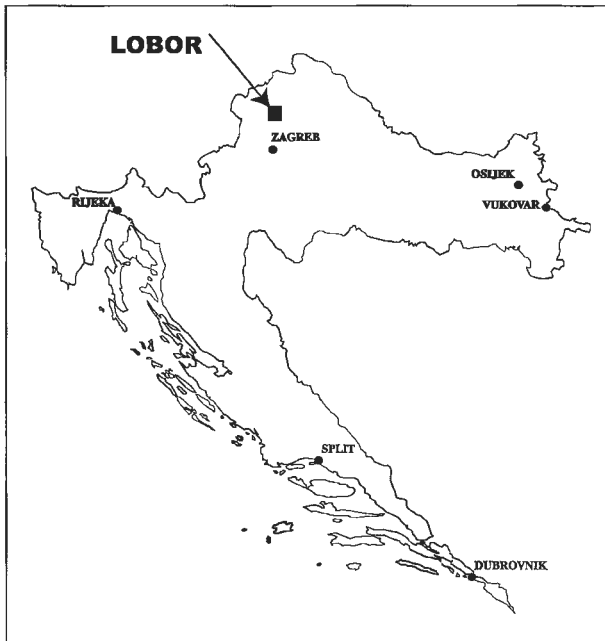
Zahvat površinskih tokova za vodoopskrbu podlozan je znatnim kolebanjima protoka tijekom godine i onečišćenju u vrijeme bujičnih voda, prigodom kojih je potrebno isključiti dovod površinske vode iz razvodne mreže i time za oko 50% smanjiti količinu vode u sustavu (MRAZ, 1996).

Hidrogeološki i geofizički istražni radovi provedeni tijekom 1994. i 1997. godine od strane Instituta za geološka istraživanja i Instituta građevinarstva Hrvatske obuhvatili su područje Dugog jarka, Jastrebinca i Skalovke, dolinu Reke preko Sv. Marije Gorske i Oštrca do potoka Jagnjedovac.

Navedenim radovima definiran je litostratigrafski sastav, površinska i prognozirana dubinska rasprostranjenost naslaga, izdvojeni su nepropusni klastični sedimenti od potencijalnog vodonosnika - trijaskih karbon-

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut građevinarstva Hrvatske, Rakušina 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Položaj istraživanog područja.

Fig. 1 Situation map of the exploration area.

atnih stijena, te su projektirane istražne hidrogeološke bušotine za zahvat podzemne vode na odabranim lokacijama (MRAZ et al., 1994, 1998).

HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE VODONOSNIKA

Istraživano područje izgrađuju stijene i naslage u stratigrafskom rasponu od trijasa do recentnog potočnog nanosa. Najstarije stijene pripadaju mezozojskoj jezgri ovog dijela masiva Ivanščice koju izgrađuju trijasko, jursko-kredne i kredne naslage (ŠIMUNIĆ, 1992; ŠIMUNIĆ et al., 1982). Slijedi serija egerskih klastičnih sedimenata na koju transgredira gornjobadenska klastično-karbonatna serija. U donjem dijelu vodotoka Reka i Bučva istaložen je kvartarni potočni nanos.

Šire područje, zaleđa Lobora pripada jednim dijelom strukturi Veliko Kalce - Košenica (klastične naslage krede u dolini Reka potoka i trijas masiva Skalovke i Jastrebinca), a dijelom (Oštrc) strukturi Konj - Mrzljak, središnjeg dijela strukturne jedinice Ivanščice (ŠIMUNIĆ, 1992). Granica između dviju struktura je rasjed pružanja jugozapad-sjeveroistok, a proteže se od Lobora do Prigorca.

Na temelju hidrogeoloških značajki i funkcije u sklopu istraživanog terena bitno se razlikuju propusne trijasko karbonatne stijene - potencijalni vodonosnici podzemnih voda, od slabo propusne do nepropusne kredne dominantno klastične serije.

Karbonatne stijene - dolomiti, dolomitne breče i vapnenci srednjeg i gornjeg trijasa - tijekom geološke prošlosti bile su podvrgnute intenzivnoj tektonskoj aktivnosti, te su, ovisno od jačine i učestalosti tektons-

kih pokreta, razlomljene a mjestimice i okršene. Ova sekundarna, pukotinska poroznost, naročito izražena u tektonikom predisponiranim zonama, omogućuje infiltraciju dijela površinskih voda i padalina u dublje dijelove karbonatnog masiva i formiranje vodonosnika sa značajnim vodoopskrbnim potencijalom.

Nepropusne naslage, praktički bez mogućnosti infiltracije površinskih voda u podzemlje i akumuliranja u suvisli vodonosnik, su dominantno klastična izmjena pješčenjaka, šejlova, silita, lapora, silificiranih vapnenaca, kalkarenita, rožnjaka i tufova kredne starosti. Ova nepropusna serija determinira hidrauliku i tok podzemne vode akumulirane u trijaskim karbonatnim masivima Oštrca, Skalovke i Jastrebinca.

Hidrogeološki odnosi, kao posljedica litološkog sastava i strukturno-tektonskog sklopa karbonatnog masiva hidrogeoloških cjelina Jastrebinac - Skalovka i Oštrca, uvjetovali su akumuliranje podzemne vode i dreniranje u duboko usječenim jarugama ovog dijela Ivanščice. Najznačajnija izviranja iz trijaskog karbonatnog masiva su izvorišta "Šumeci", "Škrabotnik" i "Koprivnjak", koja daju ukupno 50-60 l/s vode Zagorskom vodovodu kod Lobora. Drugi dio vode ulazi u sustav ovog vodovoda iz površinskih tokova Reka i Rački potok, u prosjeku oko 60 l/s.

NOVI ZAHVATI PODZEMNE VODE

Hidrogeološki, geofizički i istražno-bušački radovi provedeni tijekom 1994/95. godine osjetno su povećali vodoopskrbni kapacitet izvorišta Lobor Zagorskog vodovoda. Bušotinskim zahvatima u Dugom jarku dobiveno je oko 40 l/s podzemne vode iz dolomitnog vodonosnika hidrogeološke jedinice Jastrebinac - Skalovka, od čega je u sustav privedeno 23 l/s arteške vode iz bušotine Lo-1, locirane u neposrednoj blizini kolektorske stanice ovog vodovoda.

Istražna bušotina Lo-1 doprla je ispod 9 m tankuslojenih silificiranih titon-valendiskih vapnenaca (ŠIMUNIĆ, 1992) u rekristalizirane dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasa. Bušotina je završena na dubini od 117 m, u kompaktnoj dolomitnoj breči i dolomitu. Prvo samoistjecanje podzemne vode uočeno je na dubini od 22 m - oko 4 l/s, na dubini oko 25 m - oko 9 l/s (izrazito razlomljeni interval vodonosnika od 22-25 m), na dubini od 44 m od 13-15 l/s, i na 47 m oko 20 l/s. U nastavku, do konačne dubine bušenja, dotok podzemne vode nije se znatnije povećao. Po završetku bušenja i čišćenja izmjerena je izdašnost samoistjecanja iz bušotine od 23-24 l/s, uz manometarski pritisak od 2,3 bara na ušću i temperaturu vode od 12,4°C (MRAZ & NOV-OSEL, 1995).

Krajem 1998. godine pristupilo se izvedbi dviju strukturno-hidrogeoloških bušotina. Jedna je locirana na trijaskoj strukturi Oštrca (Lo-4) i projektirana da prođe kroz karbonatne stijene do nepropusne klastične podine na dubini od približno 120 m. Druga bušotina (Lo-5)



Sl. 2 Samoistjecanje podzemne vode iz bušotine Lo-5 kod Lobora.
Fig. 2 Groundwater overflows from the borehole Lo-5 at Lobor.



Sl. 3 Karotaža bušotine Lo-5.
Fig. 3 Logging of the borehole Lo-5.

projektirana je do dubine od 250 m, sa ciljem zahvaćanja trijaskog karbonatnog vodonosnika ispod kredne klastične serije. Debljina ovih krednih naslaga, prema podacima ranijeg geoelektričnog sondiranja, procijenjena je na 150-180 m. Uz to, pretpostavljena je hidraulička veza podzemne vode spomenutog trijaskog karbonatnog vodonosnika ispod krednih nepropusnih naslaga s prethodnim bušotinama vodonosnika hidrogeološke jedinice Dugi jarek - Skalovka - Jastrebinac (MRAZ et al., 1998).

Bušotina Lo-4 prošla je kroz trijasko dolomite i dolomitne breče do dubine od 87 m. Na dubini od 87 m do 129 m nalazi se zona jako razlomljenog dolomita i dolomitne tektonske breče. Na kraju bušotine, od 129 m do 134 m, nabušen je tamno sivi vapnenac s kalcitnim žilicama. Na temelju izbušenog materijala (bušeno čekićem) nije bilo moguće odrediti stratigrafsku pripadnost ovog vapnenca. Ako je trijasko starosti, slijed ispod krovni dolomita i breča je normalan; ako je pak kredne starosti, postoji stratigrafska inverzija, odnosno starije trijasko naslage su navučene na mlađe kredne naslage ("navlačak" Oštrca - ŠIMUNIĆ, 1992).

Početak samoistjecanja od 0,1 l/s iz bušotine uočen je već na dubini od 5-6 m. Napredovanjem bušenja povećavala se i količina istjecanja; na dubini od 75-76 m istjecalo je 0,5 l/s, a u intervalu između 124-125 m

oko 4 l/s. Stijenke bušotine osigurane su od urušavanja zaštitnim cijevima promjera 219 mm do dubine od 19 m. Ispod te dubine, do dna bušotine, ostavljena je nezacijevljena bušotina ("open hole"). Nakon čišćenja i osvajanja bušotine istjecalo je 6,8 l/s vode. Pokusnim crpljenjem postignuta je izdašnost od 12 l/s, uz temperaturu vode od 10,5°C. Po zatvaranju bušotine izmjeren je pritisak od 0,8 bara, koji se uz zatvoren ventil ustalio na 1,2 bara (podaci Inst. geol. istr., Zagreb).

Bušotina Lo-5 projektirana je sa ciljem zahvaćanja trijaskog vodonosnika ispod kredne transgresivne serije. Od površine terena do dubine od 214 m bušeno je kroz pjeskovite i siltozne šejlove, te izmjenu tankopločastih silificiranih vapnenaca, sitnozrnih pješčenjaka i šejlova kredne starosti. Do dubine od 202 m bušotina je obložena čeličnim cijevima promjera 219 mm. Na dubini od 214 m ušlo se u svjetle dolomitne breče - t.j. u trijaski vodonosnik s arteškim preljevom podzemne vode u količini od 0,5 l/s. Do dna bušotine bušilo se kroz svijetle do tamno sive dolomite i dolomitne breče. Izrazito razlomljeni i kavernozi intervali s pukotinama centimetarskih dimenzija su od 220-222 m i na 240 m. U njima je znatno povećan arteški preljev iz bušotine: od 4 l/s na dubini od 216 m do 20-30 l/s na 222 m, te preko 50 l/s na dubini od 244 m (sl. 2). Bušotina je završena na dubini od 244,5 m i ostavljena nezacijevljena u vod-



Sl. 4 Arteska bušotina Lo-5. Izdašnost 70 l/s, pritisak 9,5 bara, temperatura 10°C.

Fig. 4 Artesian well Lo-5. Discharge rate 70 l/s, pressure 9.5 bar, temperature 10°C.

onosniku. Po završetku bušenja izvedena je karotaža (sl. 3), mjerenje arteškog preljeva i parcijalnih pritisaka na ušću bušotine (podaci Instituta za geološka istraživanja, Zagreb).

Izmjerene su količine samoistjecanja od rasponu od 23,0 l/s uz pritisak na ušću bušotine od 5,0 bara; 36,0-37,5 l/s uz pritisak od 3,8 bara; 50,0-54,0 l/s uz pritisak od 2,0 bara i 62,5-71,5 l/s pri tlaku od 0,1 bar. Temperatura vode na ušću bušotine bila je 9,2°C. Po završetku radova, uz zatvoreni ventil na ušću bušotine, pritisak se ustalio na 9,5 bara, izdašnost preljeva iznosila je oko 70 l/s, a temperatura vode 10°C (sl. 4).

ZAKLJUČAK

Dosadašnjim zahvatima na Izvorištu Lobor iskorišten je dio rezervi podzemne vode. Pretpostavili smo da se u području karbonatnih masiva Jastrebinca, Skalovke i Oštrca mogu zahvatiti dodatne količine podzemne vode, eksploatacijom kojih će se povećati izdašnost i poboljšati kvaliteta vode u vodoopskrbnom sustavu Zagorskog vodovoda.

Istražnim radovima provedenim tijekom 1994/95. godine na dijelu Ivanščice kod Lobora, (Jastrebinac - Dugi jarek - Skalovka), dobiveno je 40 l/s podzemne vode za potrebe vodovoda.

U nastavku istraživanja vodoopskrbnog potencijala karbonatnog vodonosnika ovog dijela Ivanščice, tijekom 1997. godine radovi su usmjereni na područje tri-

jasko-kredne strukture Oštrc - Reka potok, sjeverno od Lobora. Temeljem rezultata detaljnih istraživanja ovog lokaliteta, krajem 1998. i početkom 1999. godine, izvedene su dvije hidrogeološke bušotine (Lo-4 i Lo-5), kojima je dobiveno dodatnih 70-80 l/s arteške vode iz karbonatnog vodonosnika.

Istraživanja područja Dugi jarek - Jastrebinac - Skalovka - Reka - Oštrc do sada su rezultirala zahvaćanjem ukupno oko 110-120 l/s arteške vode za Zagorski vodovod, čime je udvostručen vodoopskrbni kapacitet Izvorišta Lobor i omogućeno eliminiranje površinskih voda iz sustava.

Značenje zahvata podzemne vode iz dubokog trijaskog vodonosnika ispod kredne klastične serije (bušotina Lo-5) ogleda se u znatno većoj izdašnosti i smanjenom utjecaju sezonskih hidroloških oscilacija na izdašnost i kvalitetu podzemne vode.

Posebno treba istaknuti fizikalno-kemijsku i mikrobiološku čistoću ovih voda kojima, obzirom na genezu, nisu potrebna skupa kondicioniranja prije upuštanja u vodoopskrbni sustav. Sa sigurnošću se može prognozirati iznimno visoka kakvoća ove vode i u budućnosti, imajući u vidu da je njen hidrogeološki sliv nenastanjen i pretežito šumom prekriveno gorsko područje Zagorja.

LITERATURA

- MRAZ, V. (1996): Hidrogeološke značajke karbonatnog vodonosnika nedaleko stanice "Lobor" Zagorskog vodovoda.- "Vodič geološke ekscurzije kroz Hrvatsko zagorje", HGD, Zagreb.
- MRAZ, V., KRSNIK, M. & NOVOSEL, T. (1994): Hidrogeološki i geofizički istražni radovi na lokaciji Dugi jarek - Golubovec.- Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- MRAZ, V. & KRSNIK, M., NOVOSEL, T. (1998): Geofizički i hidrogeološki istražni radovi, Lobor-Oštrc.- Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- MRAZ, V. & NOVOSEL, T. (1995): Novija hidrogeološka i geofizička istraživanja dolomitnih vodonosnika Ivanščice, Strahinjščice i Kuna Gore.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 399-401, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, A. (1992): Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog zagorja.- Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M. & HEĆIMOVIĆ, I. (1982): Osnovna geološka karta 1:100 000. List Varaždin.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.



Sanacija podzemlja i jezera Vlaška, zagađenog naftnim derivatima u Rogotinu

Remediation of Oil Polluted Environment and Lake Vlaška in Rogotin

Boris MUNDA & Mladen TRUTIN

Ključne riječi: krš, podzemna voda, naftni derivati, zagađenje okoliša, sanacija.

Key words: Karst, Underground water, Oil products, Environment pollution, Environment improvement.

Sažetak

Povremeni incidenti na spremnicima goriva u Rogotinu uvjetovali su pojavu goriva u jezeru Vlaška. U svrhu sanacije zagađenja i sprečavanja istjecanja u jezero Vlaška, izvršeni su istraživački radovi. Geološkim radovima je utvrđeno da je teren izgrađen od vapnenaca donje krede, apt-alba. Vapnenci su izrazito tektonski razlomljeni, visokog stupnja okršnosti. Potvrđena je rasjedna zona i glavni pukotinski sustavi kojima se vrši migracija zagađenja. Izbušeno je 18 istraživačkih bušotina od kojih je u 12 izmjerena debljina sloja naftnih derivata od nekoliko centimetara do 1,5 metra. U tijeku sanacije izbušeno je dodatnih 6 bunara. Procesom sanacije zaustavljeno je istjecanje naftnih derivata u jezero. Njihovim kontinuiranim vađenjem uz pomoć skimmera i potopnih crpki, od studenog 1998. do prosinca 1999. godine, sakupljeno je oko 18.000 litara naftnih derivata. Prema izvršenim kemijskim analizama oni sadrže preko 50% benzinske komponente. Naftni derivati sa izvađenom zauljenom slojnom vodom odvoze se na daljnju preradu.

Abstract

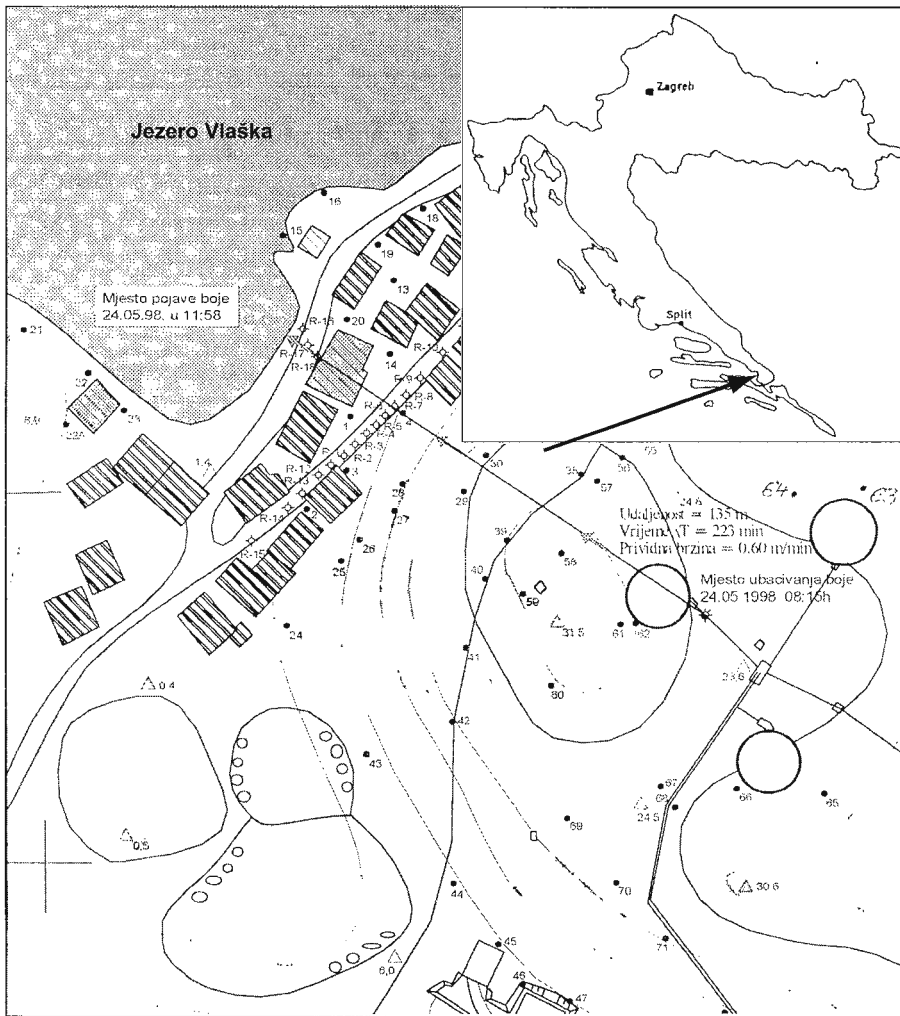
Occasional incidents on fuel containers in Rogotin were the reason why the lake Vlaška was frequently oil polluted. We made geological and hydrogeological research to find solution how to stop oil leakage in the lake and project remediation of oil polluted environment. Geological research improved that location is built of limestone of Lower Cretaceous age, probably Aptian-Albian. Limestone is heavily fractured and highly karstified. Fracture zones and main system of cracks and fissures, which made the underground oil migration possible, were found. Eighteen research drilling holes were drilled on this location. Twelve of them are with registered layer of oil on underground water. The measured thickness of the layer was between several centimetres and 1.5 meter. During the remediation process six more wells were drilled. Very soon we achieved a progress in process of remediation of oil polluted environment and the waste of Lake Vlaška stopped. Skimmers and water pumps continuously were taking out oil from November 1998 up to December 1999. In that period we collected around 18.000 litres of pure oil. Chemical analyses showed that samples of the oil from wells had more than 50% of strait petrol and the rest were the other kinds of fuel, like diesel etc. Petroleum products with oil polluted underground waste water were transported on further processing.

1. UVOD

Mjesto Rogotin smješteno je u delti rijeke Neretve u neposrednoj blizini luke Ploče (sl. 1). Prostor je zapravo otok kojega zatvaraju Neretva sa južne strane i Crna rijeka sa sjevera i sjeverozapada. Teren je zaravnjen i većim dijelom pokriven kvartarnim aluvijalnim nanosom rijeke Neretve. Iz terena izdižu se uzvišenja izgrađena od karbonata, kao što je Veliki Trovro nadmorske visine 114 m, Sestrun visine 55 m te brdo visine 47 m u čijem se podnožju na jezeru Vlaška smjestio Rogotin. Jezero Vlaška, nekada slatkovodno jezero, danas je

kanalom spojeno s morem i pod njegovim je direktnim utjecajem. Na brdu iznad Rogotina izgrađeni su spremnici goriva, iz kojih je zbog dotrajalih instalacija i povremenih havarija dolazilo do izlivanja naftnih derivata u podzemlje.

Prve pojave uljnog zagađenja jezera Vlaška uočene su prije 15-tak godina. U vrijeme jače izraženih amplituda plime i oseke dolazilo je do povremenog istjecanja uljnog zagađenja u more. Jedno takovo istjecanje utvrđeno je u ljeto 1995. godine od strane inspeksijskih službi i lučke kapetanije iz Ploča. Postavljanjem plivajuće brane pokušalo se spriječiti zagađenje šireg akvatorija.



Sl. 1 Lokacija i geografski položaj područja sanacije.

Fig. 1 The location and the geographical position of the remediation area.

Uspostavljanje tzv. pasivnog sustava zaštite nije pokazalo zadovoljavajuće rezultate, posebno u uvjetima jakog vjetera i valovitog mora. Iz navedenog razloga, započelo se radovima detaljnog geološkog i hidrogeološkog istraživanja, utvrđivanja dimenzija, pravaca migracije i količina zagađenja saturiranog u podzemlju. Postignuti rezultati istraživačkih radova iskorišteni su za izradu optimalnog projekta sanacije zagađenog prostora.

2. GEOLOŠKI ISTRAŽIVAČKI RADOVI

Prema podacima OGK i tumača lista Ploče (MARINČIĆ et al., 1977; MAGAŠ et al., 1979), karbonatne naslage područja Rogotina pripadaju donjoj kredi. Prema našim istraživanjima pripadaju najvišem dijelu donje krede, odnosno apt-albu.

Detaljnim geološkim izvidanjima istraživanog terena utvrđeno je da su karbonatne naslage zastupljene vapnencima koji su na pojedinim područjima brečasti ili pak ponegdje prelaze u vapnenačke breče. Ova brečastost uglavnom je posljedica tektonike, ali vjerojatno su prisutne i prave sedimentne breče. Boja im je vrlo svijetlosiva, ponegdje bijela, svijetlosiva, ružičastosiva

i blijedo žučkastosmeda, dok su tamnije nijanse rijetke. Debelo su uslojeni (1-3 m) ili čak masivni (preko 3 m), a decimetarski slojevi zapaženi su tek na nekoliko mjesta.

Vapnenci su uglavnom zrnate strukture, a zrna su fosilno kršje, peleti i intraklasti. Podređeno dolaze onkoidi, a jako rijetko pokoji ooid. Prema klasifikaciji karbonatnih stijena (DUNHAM, 1962) vapnenci su najčešće packstone i wackestone, rjeđe grainstone, dok su mudstone tipa jako rijetko. Na mjestima gdje je veća koncentracija kršja makrofosila, ili pak krupnijih intraklasta i onkoida strukturni tip je floatstone, rjeđe rudstone. Prema klasifikaciji koju je napravio FOLK (1959) to su najčešće biomikriti, intrabiomikriti, biopelmikriti, intrabiospariti, biopelspariti, a rjeđe oobiospariti i fosiliferi mikriti.

Sedimentološkom obradom jezgara bušotina došlo se do zaključka da su vapnenci više brečasti nego se to uočilo prospekcijom izdanaka. Ponegdje su to prave vapnenačke breče koje su najvećim dijelom posljedica tektonike, ali su vjerojatno dijelom i sedimentnog postanka. To je utvrđeno na više lokaliteta u priobalnom i otočnom dijelu Vanjskih Dinarida u višem dijelu donje krede. Uz neke klaste dolaze prevlake sivozelenkaste

glinovite tvari. Ponegdje je boja tih prevlaka tamnozelenkastosiva, što može biti posljedica infiltracije organske tvari.

U vapnencima su česti presjeci i kršje makrofosila i to uglavnom puževa (*Nerinea*), a rjeđe koralja i briozoa. Ne isključuje se da dio kršja moluska pripada školjkašima i to dekestrodontnim rudistima. Mikropaleontološkim analizama utvrđene su brojne foraminiferske vrste: *Orbitolina (Mesorbitolina) texana* (ROEMER), *Ovalveolina reicheli* DE CASTRO, *Nummuloculina heimi* BONET, *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY, *Cuneolina pavonia parva* HENSON, *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Valvulammina picardi* HENSON, *Nezzazata simplex* OMARA, *Choffatella decipiens* SCHLUMBERGER, *Neoiraqia insolita* (DECROUEZ & MOLLADE), Miliolidae, Textulariidae, Valvulinidae i dr. Od mikroflore utvrđene su alge: *Triploporella marsicana* PRATURLON, *Heteroporella* sp., Codiaceae i presjeci crvenih algi. Navedena fosilna asocijacija upućuje da su vapnenci taloženi u višem dijelu donje krede, tj. apt-albu.

Vapnenci su jako okršeni s izraženim škrapama, šupljinama (škripima), kamenicama i spiljama. Spilje su posebno učestale na vrhu brda u blizini spremnika naftnih derivata. Ispresjecane su nizom pukotina i prslina uz koje je česta limonitizacija, a neke su zapunjene kalcitom. Najizraženiji pravci pukotinskih sustava su sjeverosjeverozapad-jugjugoistok i istoksjeveroistok-zapadjugozapad, dok su ostali podređeni.

3. HIDROGEOLOŠKI ISTRAŽIVAČKI RADOVI

Hidrogeološki istraživački radovi, koji predstavljaju osnovu za uspješnu sanaciju zagađenja u podzemlju, izvedeni su s ciljem definiranja neposrednog izvora, mogućih pravaca širenja, dimenzija zagađenja, grube procjene količina uljnog zagađenja saturiranog u podzemlju te podloge za odabir metode čišćenja, odnosno izrade projekta sanacije.

Radovi su izvođeni etapno u ovisnosti o rješavanju pojedinih problema uočenih tijekom obavljanja radova. Etapni karakter izvođenja radova ima za cilj optimalno iskorištavanje predviđene metraže bušenja uz što točnije određivanje lokacija za svaku pojedinu bušotinu. Brzina i opseg radova bili su direktno uvjetovani skućenošću prostora i vremenskim uvjetima za vrijeme trajanja radova.

3.1. TERENSKA PROSPEKCIJA

Osnovni uvjet za izvedbu uspješnog trasiranja toka podzemne vode, načinjenog u cilju definiranja mogućih pravaca širenja zagađenja, je odabir opažajkih mjesta za praćenje pojave boje u jezeru. Zbog toga je napravljen obilazak šireg obalnog pojasa ispod spremnika goriva u Rogotinu. Obilaskom je utvrđeno da je obala cijelom svojom dužinom, u dijelu koje se smatra ugroženim, izvedena u nasipu i naknadno betonirana.

Utvrđena je pozicija, iz koje u vrijeme kiša, odnosno oseka istječe uljno zagađenje. Samo mjesto istjecanja široko je cca 3,0 m i sastoji se od tri točkaste vrulje manjeg kapaciteta i pukotine u betonskoj obali s registriranim jačim dotokom uljnog zagađenja.

Obzirom da je sami obalni dio izgrađen u nasipu nije moguće točno ispratiti pukotinu matične stijene u zaleđe obale. Prema kazivanju stanovnika Rogotina, u vrijeme prije nego su izgrađene kuće i nasipan obalni dio, u neposrednom zaleđu mjesta istjecanja uljnog zagađenja, nalazio se izvor "dosta jake izdašnosti, naročito u vrijeme kiša".

Analizirajući hidrogeološke uvjete u zaleđu tog dijela obale utvrđeno je da je izgrađeno od karbonata s jako izraženim krškim pojavama (škrape, kamenice, kaverne, spilje itd.). Ukupno otjecanje oborinskih voda je podzemno. Zbog navedenog, granice širenja zagađenja nije bilo moguće definirati samo na osnovu hidrogeološke prospekcije.

3.2. ISTRAŽIVAČKO BUŠENJE

Istraživačko bušenje izvedeno je u cilju utvrđivanja dimenzija širenja u podzemlju, glavnih pravaca dotoka te određivanja neposrednog izvora zagađenja podzemlja na istražnom prostoru. Bušenje je izvedeno motornom bušačom garniturom s rotacijskom metodom bušenja uz kontinuirano jezgrovanje. Za isplaku prilikom bušenja korištena je čista voda.

Izbušeno je osamnaest bušotina ukupne dubine bušenja 150 m. Petnaest bušotina, dubine bušenja od 6,0 do 11,5 m izbušeno je na "gomjoj" cesti u mjestu Rogotin na nadmorskoj visini od 5,30 do 10,00 m, a ostale tri bušotine dubine bušenja od 2,0 do 3,5 m na rivi neposredno u zaleđu mjesta najjačeg istjecanja zagađenja u jezero Vlaška, na visini od 1,60 m nad morem.

Bušotine izbušene u neposrednom zaleđu obale imale su ulogu potvrđivanja debljine nasipa, njegove saturiranosti uljnim zagađenjem, utvrđivanja pukotinskih sustava u matičnoj stijeni registriranih geološkim kartiranjem, praćenja njihovog pružanja u neposrednom zaleđu te utvrđivanja širine zagađenog prostora. Bušotine smještene hipsometrijski više izvođene su u svrhu potvrđivanja tektonskih odnosno pukotinskih sustava registriranih geološkim izviđanjem, otkrivanja glavnog dotoka uljnog zagađenja iz zaleđa, eventualnih količina saturiranih u podzemlju te otkrivanja njegovog neposrednog izvora. Ugradnja kolona u bušotine projektirana je i izvedena na način da omogućava sva neophodna mjerenja i uzorkovanja u bušotinama kao i naknadnu ugradnju opreme za sanaciju zagađenog podzemlja.

3.3. MJERENJA U BUŠOTINAMA

U bušotinama su vršena dvojaka mjerenja. Izmjereni su nivoi podzemne vode kako bi se stekao generalni uvid o vodnom licu podzemne vode, njenom toku te gradijentu toka podzemne vode. Dobiveni rezultati analize gruba su procjena stvarnog stanja, zbog ograniče-

nog broja izvedenih mjerenja i što u to vrijeme geodetski nisu izmjerene kote istraživačkih bušotina.

Izvršena su mjerenja debljine uljnog zagađenja u bušotinama kako bi se utvrdile dimenzije zagađenja podzemlja te na kraju uzeo uzorak za analizu iz pozitivnih istraživačkih bušotina. Višestrukim uzorkovanjem i mjerenjima u bušotinama utvrđeno je da uljno zagađenje nije prisutno u šest bušotina. Krajnje bušotine trebale su ograničiti zagađeni dio podzemlja sa sjeveroistoka odnosno jugozapada. Izbušene su u kompaktnoj stijenskoj masi uz vrlo slabo izraženu pukotinsku poroznost te se nisu mogle uzeti kao mjerodavne za zaključke o hidrodinamičkim uvjetima u podzemlju. Iz navedenog razloga izbušene su dvije sljedeće bušotine koje su također potvrdile kompaktnost stijenske mase, pa se može smatrati da sa dvije prethodno spomenute bušotine predstavljaju stvarnu granicu mogućeg širenja zagađenja u podzemlju.

U bušotinama na obali i jednoj u zaleđu (mala pukotinska poroznost) ustanovljeni su slojevi manjih debljina ili tragovi uljnog zagađenja, bilo u obliku uljnog "filma" ili kao jače nakupine na uzorkovaču. Obzirom na blizinu obalnog pojasa, otvorenost pukotinskih sustava i minimalni uspor, dolazi do relativno brzog istjecanja u more te se u spomenutim bušotinama i nisu očekivale značajnije debljine uljnog zagađenja.

Najveća izmjerena debljina uljnog zagađenja registrirana je na bušotinama koje se mogu podijeliti u dvije prostorne grupe i predstavljaju dva glavna odvojena otvorena pukotinska sustava unutar šire rasjedne zone, kojima se vrši migracija odnosno transportiranje uljnog zagađenja u neposrednu obalu mora. Prvu grupu čini pet bušotina u sjeveroistočnom boku spomenute rasjedne zone. Debljina uljnog zagađenja u njima varira u ovisnosti o nivou podzemne vode i dotoku oborinskih voda, a kreće se od 100 do 140 cm. Druga grupa od tri bušotine smještene u jugozapadnom boku iste rasjedne zone ima registrirane nešto manje, ali još uvijek značajne debljine uljnog zagađenja. Instrumentom koji je u mogućnosti razlikovati granicu vode i ugljikovodika izmjerena je debljina sloja od 65 do 96 cm. Obzirom na nabušene tektonske sustave, izrazitu pukotinsku poroznost i izmjerenu debljinu sloja zagađenja moglo se zaključiti da se radi o značajnoj količini zagađenja saturiranog u podzemlju.

3.4. PRAĆENJE STANJA ZAGAĐENJA U PODZEMLJU

Trasiranje toka podzemne vode izvedeno je upotrebom natrijevog fluorescina kao trasera, a opažanje mjesta pojavljivanja boje obavljeno je vizualnom metodom.

Boja je ubačena na mjesto kod spremnika br. III, gdje je došlo do pucanja dovodne cijevi za gorivo. Osnovni zadatak trasiranja bio je da se potvrdi povezanost rasjednog sustava u neposrednoj blizini spremnika utvrđenog geološkim izviđanjem, zatim ustanovljenog u bušotinama, s mjestom na obali gdje dolazi do istjecanja zagađenja. Ubačeni traser pojavio se na mjestu istje-

canja u more za 3 sata i 45 minuta, a potvrđen je u bušotini na obali (R-17), bušotini na "gornjoj" cesti (R-5) te nakon izvjesnog vremena i na bliskoj bušotini R-4. Udaljenost mjesta ubacivanja i istjecanja boje iznosi 135 m zračne linije, što daje prividnu brzinu toka podzemne vode od 0,60 m/min.

Trasiranje je utvrdilo nepobitnu povezanost mjesta istjecanja u more s uljnim zagađenjem u bušotini. Potvrđen je pukotinski sustav od mjesta istjecanja preko bušotine R-17 do R-5. On se nastavlja u zaleđe na lokaciju spremnika goriva gdje je došlo do pucanja dovodne cijevi te mjesta gdje se nekada vršilo dreniranje vode iz spremnika direktno u podzemlje.

4. RADOVI NA SANACIJI ZAGAĐENOG PROSTORA

Sanacija jezera Vlaška u Rogotinu odvijala se u dva osnovna pravca. Dio radova izvodio se sa ciljem što hitnijeg sprečavanja istjecanja naftnih derivata u jezero i uklanjanja nefunkcionalne plivajuće brane, dok su preostali radovi imali za cilj vađenje uljnog zagađenja saturiranog u karstificiranom zaleđu obalnog pojasa jezera Vlaška.

Shodno rečenom, radovi su podijeljeni u dvije faze. U prvoj fazi izvedeni su radovi bušenja, geodetskog snimanja i trasiranja podzemne vode, a radovima druge faze pripadaju svi radovi koji se izvode opremom za sanaciju zagađenog podzemlja i čiji završetak ovisi o količini saturiranih naftnih derivata.

4.1. PRVA FAZA SANACIJSKIH RADOVA

Prema predloženom projektu izbušeno je šest bunara pored istraživačkih bušotina s najvećom debljinom sloja naftnih derivata, ali i najpovoljnijim hidrogeološkim parametrima utvrđenim determinacijom nabušene jezgre. Na bušotine je instalirana oprema za sanaciju koja se sastoji od skimmera i potopnih crpki.

Izvedenim bušenjima drenažnih bunara postignuta su dva osnovna cilja neophodna za uspješno sprovođenje sanacijskih radova, a to je da se u najkraćem vremenu spriječi istjecanje naftnih derivata u jezero Vlaška, a radom potopnih crpki uspostave hidrodinamički uvjeti u podzemlju koji omogućavaju optimalno sprovođenje sanacijskih radova.

Dva drenažna bunara imaju funkciju sprečavanja istjecanja naftnih derivata u more i smješteni su u neposrednom zaleđu mjesta istjecanja naftnih derivata na obali jezera Vlaška. Preostala tri izbušena drenažna bunara locirana su pored istraživačkih bušotina, a imaju zadatak omogućiti vađenje maksimalne količine naftnih derivata iz podzemlja, kako bi se spriječilo njihovo daljnje transportiranje u smjeru obale mora.

4.2. DRUGA FAZA SANACIJSKIH RADOVA

Sam proces sanacije, odnosno crpljenje naftnih derivata, započeo je sredinom studenog 1998. godine, a pr-

vi značajni rezultati pokazali su se početkom siječnja 1999. godine, kada je u potpunosti spriječeno istjecanje zagađenja u jezero Vlaška.

Za provjeru rezultata rada instalirane opreme izvršeno je 30. studenog 1998. godine opetovano trasiranje podzemne vode. Trasiranje podzemne vode izvršeno je za vrijeme rada potopnih crpki na dva drenažna bunara. Boja se pojavila prvo na bušotinama u kojima su bile ugrađene crpke, a naknadno na bušotinama sa skimmerima. Na kraju, registrirana je pojava boje u jezeru Vlaška. Izvedenim radovima dokazana je povezanost pukotinskog sustava kartiranog geološkim radovima kod spremnika br. III, utvrđenog istraživačkim bušenjem i bušenjem drenažnih bunara s mjestima na obali gdje je dolazilo do istjecanja u more. Utvrđena je svrsishodnost rada crpki jer je upravo na spomenutim crpkama prvo opažena pojava boje ubačene u podzemlje. Također, uključivanje u rad potopnih crpki pored bušotina sa skimmerima značajno doprinosi povećanju postotka uljnog zagađenja u iscrpljenoj količini podzemne vode.

Drugi vid kontrole i napredovanja sanacijskog postupka vršio se redovitim kemijskim analizama uzoraka izvađenih naftnih derivata. Atmosferska destilacija uzoraka potvrđuje veliki postotak benzinske komponente, 35-75 % kod uzoraka iz bušotina, dok preostali dio čine plinska ulja, najvjerojatnije diesel i podređeno avio goriva. Analizom dobivenih rezultata možemo uočiti svojevrsnu grupaciju susjednih bušotina. Središnji dio pukotinskih sustava kojima su naftni derivati transportirani prema moru ima ujednačen postotak benzinske komponente od cca 35 %. Bušotine smještene u južnom krilu prethodno opisanog tektonski uvjetovanog pukotinskog sustava sadrže između 45 i 50 % benzinske komponente. Bitno različiti postotak benzinske komponente iskazuje uzorak naftnog derivata iz bušotine locirane na sjevernom dijelu spomenutog pukotinskog sustava, koji sadrži oko 75 % benzinske komponente. I u hidrogeološkom smislu, hidrodinamika podzemnih voda u spomenutoj bušotini razlikuje se od hidrodinamike u ostalim bušotinama smještenim u središnjem, odnosno južnom dijelu kartiranog pukotinskog sustava.

U prvom mjesecu sanacije izvađeno je iz bušotina preko 7.000 litara naftnih derivata, a napretkom procesa sanacije količina izvađenih derivata se smanjuje. Smanjenjem količina derivata saturiranih u podzemlju, postepeno je smanjivan broj opreme uključen u proces sanacije. U godinu dana crpljenja sveukupno je iscrpljeno oko 18.000 litara naftnih derivata iz bušotina uz značajnu količinu zauljene slojne vode koja se crpi s naftnim derivatima i dijelom odvozi na preradu.

Kvaliteta izvedenih radova i pravilan odabir metode sanacije zagađenja, potvrđeni do sada postignutim rezultatima, garantiraju dosizanje svih ciljeva utvrđenih projektnim zadatkom te uspješni završetak sanacije podzemlja i zaštite jezera Vlaška u Rogotinu.

5. LITERATURA

- DUNHAM, R.J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture.- Amer. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 1, 108-121, Tulsa.
- FOLK, R.L. (1959): Practical petrographic classification of limestones.- Bul. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 43, 1-38, Tulsa.
- MAGAŠ, N., MARINČIĆ, S. & BENČEK, Đ. (1979): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za list Ploče.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1972), Savezni geološki zavod Beograd, 52 str.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N. & BENČEK, Đ. (1977): Osnovna geološka karta 1:100000. List Ploče.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967-1971), Savezni geološki zavod Beograd.





Sanacija vodoistražne bušotine glinenom brtvom (voda pod tlakom)

Recovery of the Waterwell by Bento Packer (Artesian Water)

Tomo NOVOSEL

Ključne riječi: vodoistražna bušotina, kontakt klastičnih naslaga i dolomitnih breča, nestabilni interval bušotine, premošćenje, glinena brtva.

Key words: Waterwell, Contact between clastic layers and dolomite breccia, Unstable borehole interval, Bypassing, Bento packer.

Sažetak

Izvedena je vodoistražna bušotina. Prvi dio bušotine do dubine 60 m urađen je u klastičnim naslagama neogena. Nakon toga bušotina je ušla u dolomitne breče i završila na 115,0 m. Na kontaktu između klastičnih naslaga i dolomitnih breča bušotina je prošla kroz nestabilni gornji pojas trošenja dolomitnih breča. U dolomitnim brečama se pojavila arteška voda s izdašnošću od 23,6 l/s i s tlakom od 1,98 bara. Došlo je do hidrauličkog razaranja u pojasu trošenja. Sanacija je izvedena premošćenjem nestabilnog pojasa primjenom glinene brtve.

Abstract

The waterwell was made. The first part of the borehole to the depth of 60 m was done in clastic layers of Neogene age. After that the drilling continued through dolomite breccia up to 115,0 m depth. On the contact between the clastic layers and dolomite breccia the borehole passed through unstable upper weathering zone of dolomite breccia. Artesian water appeared in dolomite breccia with the discharge of 23.6 l/s and the pressure of 1.98 bar. Hydraulic destroying appeared in the weathering zone. The recovery was done by the bypassing of unstable zone with the application of the bento packer.

1. UVODNE NAPOMENE

U sklopu vodoistražnih radova za potrebe vodoopskrbe Krapinsko-zagorske županije izvedeno je u podnožju planine Strahinjščice istražno bušenje. Jedna od istražnih bušotina izvedena je u selu Gornji Kamenički, zaseoku Groboteki.

Prema prethodno izvedenom geoelektričnom sondiranju izvođenje istražne bušotine planirano je do dubine od 115,0 m (KRSNIK & MRAZ, 1997). Nakon geološke analize geofizičkih radova prognozirano je da se do dubine 58-65 m nalazi kompleks klastičnih naslaga neogena, a zatim dolomitne breče trijasko starosti u kojima se očekivala podzemna voda.

U skladu s navedenom prognozom planirana je konstrukcija istražne bušotine. Planom je predviđeno da se do ulaska bušotine u dolomitne breče izvede bušenje s promjerom od 176 mm. Zatim se bušotina trebala zacijeviti i na dnu stabilizirati glinenocementnom smjesom. U dolomitnim brečama trebalo je izvesti bušotinu otvorenog tipa, tj. bez zacjevljenja.

U tijeku izvedbe utvrđeno je da je dio gornjeg pojasa trošenja dolomitnih breča, gdje je izvedena bušotina

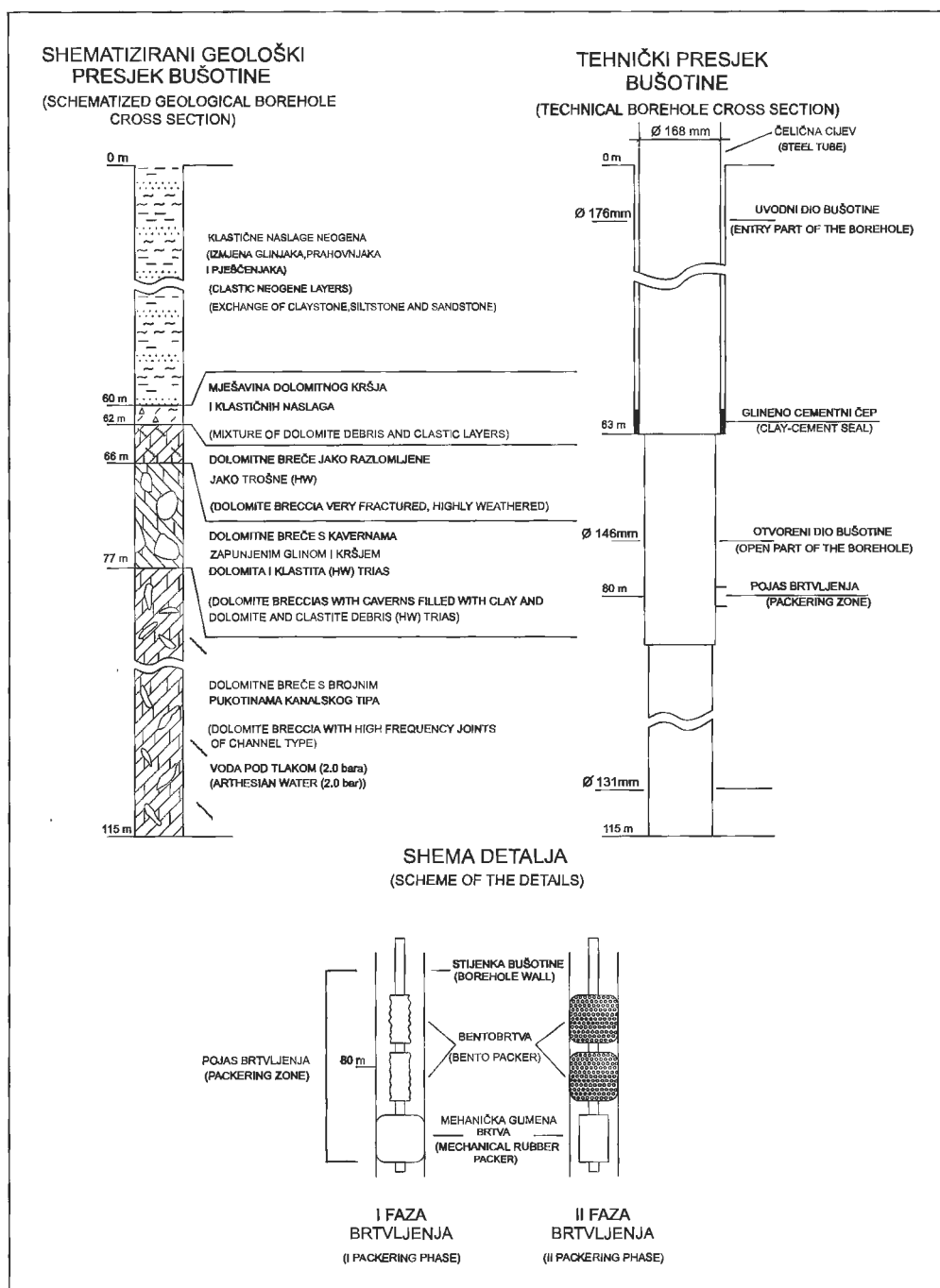
otvorenog tipa, nestabilan, pa je bilo nužno naknadno izvesti premošćenje.

2. O IZVEDBI BUŠOTINE

Bušenje s jezgrovanjem promjera 146 mm urađeno je kroz klastične naslage neogena do dubine 59,90 m. Klastiti su zastupljeni tankim prosljocima glinjaka, prahovnjaka i pješčenjaka u izmjeni. Bušotina je nakon klastita ušla u pokrovni pojas (paleoreljef) dolomitnih breča građen od mješavine dolomitnog kršja i klastita. Na dubini od 62,05 m dosegnute su jako razlomljene i trošne dolomitne breče.

Nakon ulaska oko 1 m u dolomitne breče izvedeno je proširivanje bušotine troglavim bradavičastim dlijetom promjera 178 mm, te ugrađena zaštitna čelična cijev promjera 168 mm. Međuprostor između stijenke bušotine i čelične cijevi na dnu bušotine ispunjen je i stabiliziran glinenocementnim čepom.

Slijedila je izvedba bušotine promjerima 146 i 131 mm. Na dubini od 66 m unutar dolomitnih breča evidentirane su kaverne zapunjene kršjem dolomita i klastita,



Sl. 1 Presjeci bušotine.

Fig. 1 Borehole cross-sections.

te glinom visoke plastičnosti sive i crvenkaste boje. Približno na dubini od 77 m bušenje je nastavljeno u kompaktnijim dolomitnim brečama u kojima se ispod 80 m intervalno javljaju zjapeće pukotine kanalskog tipa s vodom arteškog tipa.

Schematizirani geološki presjek i tehnički presjek bušotine dan je na sl. 1.

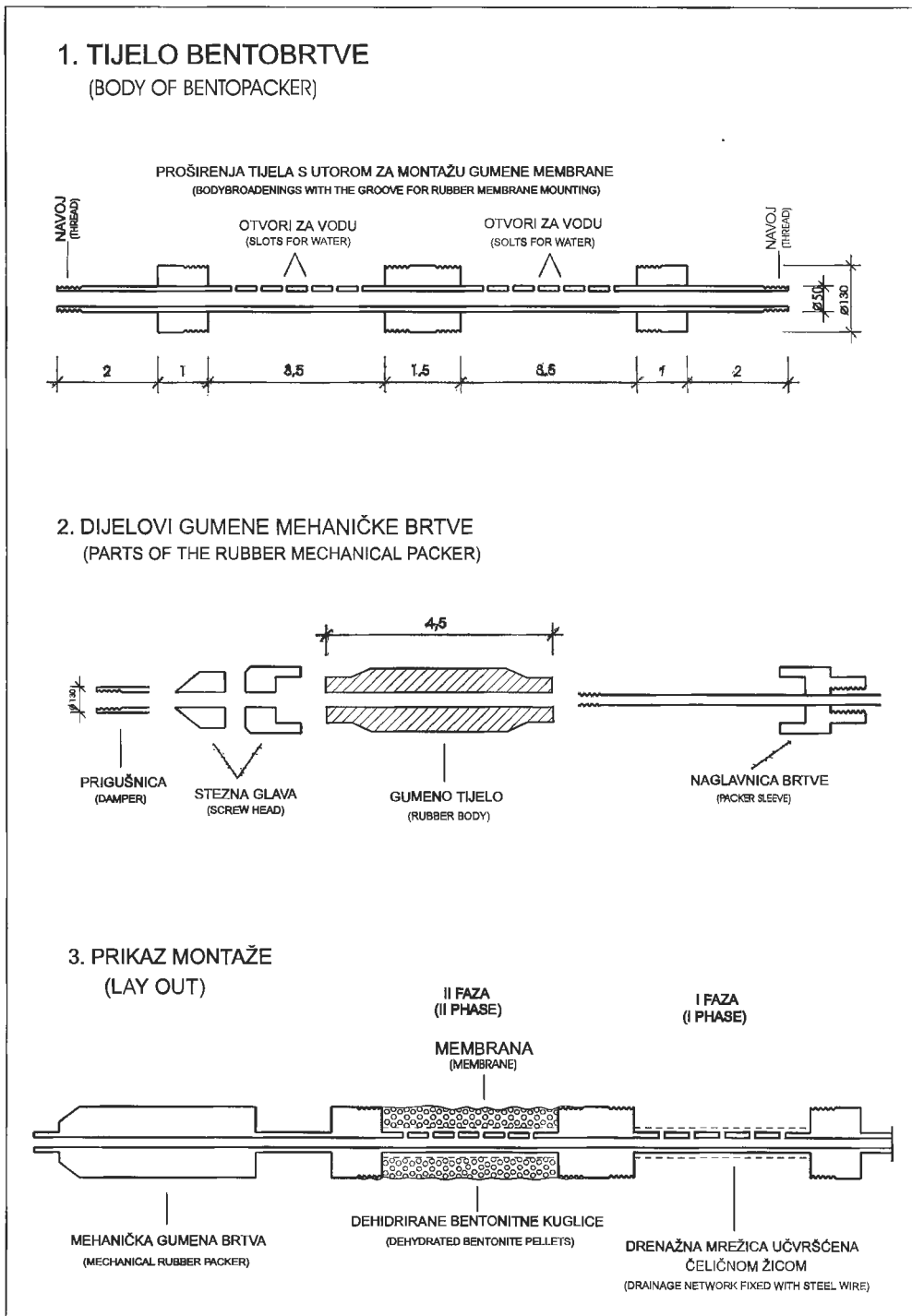
Po završetku bušenja mjerena je izdašnost pri samoistjecanju (23,6 litara/s) i tlak arteške vode (1,98 bara). Stabilizacija tlaka realizirala se 6 sati nakon zatvaranja bušotine.

Praćenjem istjecanja utvrđen je povećani stupanj mutnoće bez tendencije smanjenja u vremenu. Kako se ni nakon 72 sata samoistjecanja mutnoća nije smanjiva-

la, zaključeno je da se u intervalu od 63,0-77,0 m unutar gornjeg pojasa trošenja javlja hidraulička destrukcija sitnozrnatih materijala (glina i klastiti po šupljinama i pukotinama). Bilo je nužno izvesti premošćenje navedenog intervala kako bi se spriječilo strujanje vode po nestabilnim materijalima (NOVOSEL, 1997).

3. SANACIJSKI ZAHVAT

Zamišljeno je da se sanacija uradi postavljanjem premostne cijevi u nestabilnom intervalu bušotine, te da se spriječavanje strujanja izvede brtvom postavljenom na dubini od oko 80 m. Problem je nastao pri postavlja-



Sl. 2. Skica brtve i montaža.

Fig. 2 Sketch of packer and lay out.

nju pitanja - kako aktivirati i staviti u dugotrajnu funkciju brtvu pri jakom uzlaznom strujanju?

Rješenje je nađeno u specijalnoj konstrukciji višefunkcionalne brtve konstruiranoj za tu svrhu u Zavodu za geotehniku IGH (sl. 2).

Brtva se sastoji iz dva neovisna dijela. Prvi dio čini klasična gumena mehanička brtva koja se aktivira potezanjem bušaćih šipki i kotvljenjem šipki nakon uvođenja brtve u funkciju. Ona zaustavlja tok i strujanje vode s vanjske strane premostne cijevi, a istovremeno omogućuje nesmetano strujanje unutar cijevi. Nalazi se u donjem dijelu višefunkcionalne brtve (sl. 2/2,3).

Drugi dio je glineno-gumena brtva sastavljena od:

- metalnog tijela premostne šipke koja ima proreze za dotok vode unutar brtve i proširenja za učvršćenje tanke gumene membrane (sl. 2/1);
- drenažne plastične (PVC) mrežice koja se omota u prvoj fazi formiranja brtve oko premostne šipke i učvrsti čeličnom žicom te služi za jednoliki dotok vode k dehidriranim bentonitnim kuglicama (sl. 2/3 I faza);
- dehidriranih bentonitnih kuglica (peleta) koje se postavljaju u međuprostor između premostne cijevi s

mrežicom i tanke gumene membrane, a uz dotok vode i vlaženjem povećavaju svoj volumen 8-12 puta potiskujući gumenu membranu uz stijenu bušotine (sl. 2/3 II faza);

- tanke elastične gumene membrane koja se učvršćuje na proširenja na premostnoj šipki i pri bubrenju bentonita sprječava direktan kontakt s vodom u bušotini nakon deaktiviranja mehaničkog dijela brtve.

S obzirom da se za stalno brtvljenje koriste dehidrirane bentonitne kuglice konstruirani uređaj nazvan je bentobrtva.

Bentobrtva je spuštena u bušotinu na relativno kompaktni dio stijenske mase (interval u pojasu oko 80 m dubine - sl. 1) i aktiviran je njezin mehanički dio (sl. 1 - I faza brtvljenja). Nakon 48 sati deaktivirana je mehanička brtva a funkciju brtvljenja preuzela je glinena brtva (sl. 1 - II faza brtvljenja). 2 sata po aktiviranju brtve istjecala je potpuno čista voda izvršne kvalitete.

4. ZAKLJUČAK

Pri izvedbi istražne bušotine dijelom izvedene sa zacičavljenjem, a dijelom kao bušotina sa slobodnim stijenama došlo je uslijed strujanja arteške vode do hidrauličkog razaranja dijela bušotine. Voda je samoistjecala u količini od 23,6 litara u sekundi i s tlakom od 1,98 bara.

Izvedeno je premošćenje upotrebom specijalno konstruirane brtve. Brtva se sastojala iz dva dijela - mehaničke gumene brtve i glinenogumene brtve. Korištene su dehidrirane bentonitne kuglice.

U prvoj fazi aktivirana je mehanička gumena brtva koja je onemogućila strujanje u pojasu premošćavanja. Zatim je u periodu od 48 sati profunkcionirala glinena brtva, a mehanička je deaktivirana.

Uspješnost zahvata kontrolirana je kroz 4 godine. Nakon završetka istražne bušotine u neposrednoj blizini izveden je zdenac iz kojeg je samoistjecala količina od 28,5 litara u sekundi. Zdenac je uključen u vodoopskrbni sustav grada Krapine.

5. LITERATURA

- KRSNIK, M. & MRAZ, V. (1997): Hidrogeološki i geofizički istražni radovi na području Radobojsko Strahinje - Gornji Kamenečki.- Arhiv IGH, Institut građevinarstva Hrvatske i Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 16 str.
- NOVOSEL, T. (1997): Vodoistražni radovi na području Krapinsko-zagorske županije (Gornji Kamenečki, Lopor, Pregrada).- Arhiv IGH, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 34 str.



Hidrogeološki odnosi termomineralnog izvorišta u Lipiku

Hydrogeological Relations of Thermomineral Source in Lipik

Ivan OPIĆ¹, Zrinka GRGANIĆ¹ & Vlasta ŠEPETA VAC²

Ključne riječi: Model gospodarenja, Termomineralno polje Lipik.

Key words: Economising model, Thermomineral field Lipik.

Sažetak

Hidrogeološki odnosi termomineralnog izvorišta u Lipiku specifično su sagledani sa stanovišta modela gospodarenja šireg kruga korisnika. Osnovna pažnja posvećena je analizi mogućnosti i potreba za termomineralnom vodom, problemu koji je naročito istaknut unazad dvije godine kad se geotermalna energija počela koristiti za grijanje poslovnih prostora.

Abstract

Hydrogeological references of thermomineral source of ground water in Lipik are specifically considered from the standpoint of the economising model of the wider circle of users. The greatest attention was payed to the analysis of the possibilities and needs for thermomineral water, a problem that is particularly emphasized within last two years, a period when geothermal energy started to be used for the heating purposes.

1. UVOD

Na osnovu ukazane potrebe gospodarenja hidrogeološkim resursima u obnovi i razvoju grada Lipika, izrađen je koncept pristupa hidrogeološkim istraživanjima za potrebe vodoopskrbe geotermalnim, mineralnim i pitkim vodama. Za hidrogeološke resurse u gradu Lipiku, pored Poglavarstva, više je zainteresiranih subjekata: Podravka - Tvornica Studenac, Specijalna bolnica za medicinsku rehabilitaciju Lipik, Zdravstveno rekreacijski centar Lipik i u daljoj perspektivi Poljoprivreda Lipik. Sukladno svojim interesima i mogućnostima svi su se sudionici odazvali pozivu za suradnju, te im se i ovom prilikom zahvaljujemo. Osnovni koncept pristupa gospodarenju odnosio se na izradu tematske snimke stanja svih dostupnih istraživačkih i gospodarskih aktivnosti u svezi s hidrogeološkim resursima, analizi (ne)postignutih rezultata, dodatnim provjerama i reinterpretacijama, dodatnom ispitivanju bušotine Lip-9/h, te sagledavanju budućih potreba krajnjih korisnika. Ovako sve-

strano sagledan set podataka i informacija poslužio je kao podloga za izradu gospodarskog modela o hidrogeološkim resursima grada Lipika.

2. PROSTORNI POLOŽAJ TERMO-MINERALNOG POLJA LIPIK

Granice termomineralnog polja Lipika nisu do sada prepoznate. Za pretpostaviti je da se termomineralno polje prostire unutar granica koje obuhvaćaju zapadne obronke psunjskog masiva, veći dio Pakračke gore, te ravničarski dio uz rijeku Pakru. Vodocrpilište termomineralne vode nalazi se u centru grada Lipika, na lokaciji nekadašnjih toplih izvora. Prvo duboko istražno bušenje (B-1) izvedeno je 1869/70. godine na lokaciji starog kopanog zdenca. Na prostoru cca 100 x 100 m u neposrednom okruženju prirodnih termomineralnih izvora izvedeno je sedam bušotina. Velik broj bušotina izvedenih na malom prostoru ukazuje na opredjeljenje prethodnih istraživača da nove rezerve traže na istoj lokaciji, ali

¹GEOIST d.o.o. za geološka istraživanja, A. Nemčića 33, HR-10430 Samobor, Hrvatska.

²Podravka d.d. - Tvornica Studenac Lipik, Matije Gupca 128, HR-34551 Lipik, Hrvatska.

većoj dubini. U potrazi za novim lokacijama izvan Parka izvedene su bušotine B-5, B-6 i Lip-9/h. Tijekom vremena dio objekata je napušten radi procesa starenja, tako da su danas aktivni zdenci B-7 i B-8 u posjedu Studenca i zdenci B-4 i B-4a, u posjedu Bolnice Lipik.

3. STRATIGRAFSKI ODNOSI NABUŠENIH NASLAGA

Rezultati bušenja ukazuju na složenost geološke, hidrogeološke i tektonske građe i odnosa unutar ležišta. Bušenjem istražnih bušotina djelomično su potvrđeni opisani stratigrafski odnosi šireg navedenog područja. Posebnu problematiku predstavljali su nedovoljni, šturi opisi naslaga na litološkim profilima bušotina (na pr. B-1 i B-2), neki objekti radi nepotvrđenih hidrogeoloških očekivanja litološki nisu detaljnije opisani (na pr. B-3, B-5 i B-6), a o zdencu B-4 nismo imali detaljnije podatke. Za pojedine bušotine navedeni su samo podaci o nabušenoj, ili nenabušenoj predtercijarnoj osnovi (B-6), odnosno pretpostavljenoj granici abichi-banatica naslaga (B-3, B-4 i B-5). Problematika nedostupne literature u svezi je s ratnim razaranja Lipika, kojom prilikom je uništen značajan dio fondovske građe.

Obimnije izvješće o nabušenim naslagama postoji za objekte B-7 i B-8. Potpomognuto je iscrpnim litološkim profilima, izvješćima o petrografskim analizama uzoraka, te paleontološkom analizom uzorka s 210-og metra bušotine B-8. Pronađene vrste ostrakoda definirale su panonsku starost. Napominje se da *"navedene bušotine nisu nabušile bazalne konglomerate, već panonski slojevi (Banatica?) direktno nalježu na paleozojsku osnovu"*. Ovaj podatak upućuje na odsustvo tortona i/ili sarmata, za vrijeme kojeg je lokacija vodocrpilišta mogla biti dio kopnenog praga ili je današnja situacija rezultat tektonskih pokreta. Na osnovu rezultata bušenja utvrđeno je da su slojevi s *Congeria abichi* gotovo nepropusni, a u laporima s *Congeria banatica* utvrđeno je prisustvo vode. Istražnim bušenjima nisu utvrđene Rho-mboidea naslage, pjeskovito-glinovitog razvoja s vapnenim konkrecijama, a također niti paludinske naslage.

Pojava termomineralne vode u bušotinama najčešće je utvrđena na granici podloge tercijara, na kontaktu naslaga abichi i banatica, te u tektoniziranim zonama. Navedene zone prostiru se na dubini od 100 do 150 m i 190 do 240 m. Istražnim bušenjima utvrđeno je da ovo pravilo ne vrijedi za sve bušotine.

Tijekom 1990/91. godine na lokaciji između željezničke postaje u Dobrovcu i Ergele s lijeve strane puta Lipik - Subocka izbušena je bušotina Lip-9/h. Geološkim nadzorom uzoraka sa sita utvrđeni su lapori, vapnoviti lapori i laporoviti vapnenci do dubine od 528 m. Nakon toga zabušeno je u ispucale, metamorfozirane vapnence sivo-bijele boje iz kojih se nije izašlo sve do kraja bušenja do dubine od 720 m. Starost tih vapnena-cija nije utvrđena uslijed nedostatka fosilnog sadržaja, ali je za pretpostaviti da se radi o mezozojskom ili paleo-

zojskom karbonatnom kompleksu, po svemu sudeći primarnom kolektoru termomineralne vode.

4. HIDRODINAMSKA ISPITIVANJA TERMOMINERALNIH BUŠOTINA

Kod hidrodinamskih ispitivanja prikupljeni su direktni podaci o izgrađenim objektima, vodonosniku i vodocrpilištu (tablica 1).

Hidrodinamska ispitivanja bušotina termomineralnih voda prate se od izvedbe prve bušotine na lokaciji Parka. Bušotine su iz raznih razloga različite izdašnosti, različitih statičkih razina podzemne vode, temperature i neznatno različitih geokemijskih karakteristika. Tabelnim prikazom dan je pregled hidrodinamskih obilježja izgrađenih objekata i vodocrpilišta unutar Parka, te najnoviji preliminarni rezultati o hidrodinamskim ispitivanjima zdenca Lip-9/h (tablica 1).

Za potrebe ovih razmatranja interesantni su pridobiveni podaci o zdencima B-4, B-4a, B-7 i B-8, koji su trenutno u eksploataciji. Ovom prilikom treba naglasiti da je zdenac B-3, premda izvan proizvodnje radi havarije s pumpom, potencijalno iskoristiv u paru sa zdencom B-4, za utiskivanje mineralne vode u podzemlje po oduzimanju geotermalne energije. Ukoliko se ova ideja pokaže nepraktičnom zdenac bi trebalo zacementirati.

Tijekom tematskih radova za Tvornicu vode Studenac u 1999. godini pristupilo se pokusnom crpljenju zdenca B-7 i B-8. Usporedbom početnih i današnjih hidrodinamičkih stanja vidljivi su tragovi gospodarenja termomineralnim vodocrpilištem u Parku.

5. TEMPERATURA TERMOMINERALNE VODE

Prvi zabilježeni podaci o termomineralnom polju Lipika odnose se na vrijednosti temperature vode u ondašnjim izvorima. Pored mineralnog sadržaja temperatura je bila drugi čimbenik ljekovitosti lipičkog lječilišta. Tijekom proteklog vremena zabilježeni su brojni podaci o temperaturama vode u izvorima i zdencima (tablica 2).

Ti su podaci često veoma različiti za iste objekte. Ovoj činjenici može biti nekoliko uzroka, kao na pr.: temperatura vode u statičkim uvjetima unutar zdenca može se znatno razlikovati u pripovršinskim i dubinskim horizontima radi hlađenja gornjeg dijela stupca vode u kontaktu s hladnijim pripovršinskim slojevima, temperatura vode u dinamičkim uvjetima je realnija ležišnoj radi uspostavljanja cirkulacije voda iz većih dubina vode, radom pumpi na dubinama cca 50-70 m također dolazi do određenog zagrijavanja vode. Vjerojatno sve tri pojave imaju utjecaja na mjerene vrijednosti temperature vode u zdencu, te se kod mjerenja i interpretiranja podataka treba o tomu voditi računa. Po ukazivanju na nesklad u mjerenjima temperature, kao i iz drugih razloga, ugrađeni su digitalni mjerači temperature i RPVa u zdencima B-4a i B-8, što će uskoro dati

ŠIFRA	DATUM	RPVs (m)	Q (l/s)	SNIŽENJE na dubinu (m)	NAPOMENA
B-1	1960	-14,0	2,8	?	"airlift"
B-3	1965	?	3,3	-38,50	pumpa
			3,7	-40,10	pumpa
	1972	-18,46	B-1+B-3+B-4=5,6 B-3+B-4=3,6 (1h bez B-1)	-18,62	pumpa
B-4	1972	-18,815	B-1+B-3+B-4=5,6 B-3+B-4=3,6 (1h bez B-1)	-49,78	pumpa
				-49,630	pumpa
B-4a	1989	-49,22	16,7	-50,26	pumpa
B-7	1972	-20,80	10,0	-22,70	"airlift"
	1999	-60,88	8,0+12,0 (B-4a)	-61,42	pumpa
B-8	1972	-20,65	9,0	-22,60	"airlift"
	1999	-60,65	8,0+12,0 (B-4a)	-62,06	pumpa
Lip-9/H	1991	-48,10	5-6?	-81,80	pumpa
	1999/2000	-55,25	2,27-8,33	-73,11	pumpa

Tablica 1 Hidrodinamska obilježja termomineralnih bušotina u Lipiku.

Table 1 Hydrodynamic characteristics of thermomineral boring-holes in Lipik.

odgovor na brojna uočena pitanja.

6. GEOKEMIJSKI SADRŽAJ UZORAKA TERMOMINERALNE VODE

Kvantitativne analize termomineralne vode lipičkog vodocrpilišta rade se od 1839. godine sve do danas. Sadržaj makro i mikro komponenti iz različitih izvora i zdenaca kreću se u određenim granicama koje se mogu objasniti postupcima uzorkovanja, odnosno točnošću pojedinih metoda i/ili analitičkih postupaka. Pored toga,

povećanje proizvodnje mineralne vode i produbljivanje zdenaca povećalo je radijus utjecaja crpljenja te je za očekivati izjednačenje mineralnog sadržaja na lokaciji Parka.

Preliminarnim obradama geokemijskog sadržaja sukcesivno uzimanih uzoraka termomineralne vode iz bušotine Lip-9/h tijekom dvotjednog crpljenja izmjeren je konstantan pad mineralizacije (za više od 1.000 mg/l) i pojedinih kemijskih komponenti. Uzroke ovoj pojavi trebat će naknadno detaljnije obrazložiti radi određivanja granica lipičkog hidrogeokemijskog polja.

Izotopnom analizom uzoraka termomineralne vode uzetog iz zdenca B-7 iz 1999. godine utvrđeno je odsustvo izotopa tricija ^3H i ugljika ^{14}C .

ŠIFRA OBJEKTA	TEMPERATURA
"Opća kupelj"	51,9°C
"Grofova kupelj"	41,7°C
"Gospojina kupelj"	48,3°C
"Biskupova kupelj"	45,0°C
B-1	60,0-64,0°C
B-2	40,0°C
B-3	59,8°C
B-4	58,6°C
B-4a	60,0°C
B-5	50,0°C
B-7	42,0°C
B-8	44,0°C
Lip-9/h	67,0°C Tmax - 720m

Tablica 2 Temperaturna obilježja termomineralnih izvora i bušotina u Lipiku.

Table 2 Temperature characteristics of thermomineral sources and boring-holes in Lipik.

7. MODEL GOSPODARENJA VODNIM RESURSIMA

Osnovno obilježje modela gospodarenja vodnim resursima u neposrednoj i daljnjoj budućnosti odnosi se na funkcije obnove i razvoja grada Lipika. Pri zadovoljenju postavljenih ciljeva treba se voditi računa o tradiciji i potrebama većeg broja stvarnih i/ili potencijalnih sudionika. U osnovi svi su sudionici zainteresirani geotermalnom energijom, višenamjenski prepoznatom mineralnom vodom, kvalitetnom pitkom (izvori i/ili akumulacija) vodom i tehnološkom vodom. U zadovoljenju navedenih potreba na raspolaganju je značajan prirodni potencijal lipičkog okruženja, kojim je neophodno gospodariti načinom dobrog domaćina.

Prethodnim višegodišnjim hidrogeološkim istraživanjima utvrdilo se da je termomineralno ležište u Lipiku općenito gledano cjelovit sustav s objašnjivim vari-

jacijama osnovnih obilježja. Imajući to u vidu neophodno je i tako postaviti gospodarski model. Elementi budućeg gospodarskog modela u sebi trebaju sadržavati spoznaje o nedovoljnim količinama otkrivenih vodnih resursa, eksploataciji većih količina nego što se mogu obnoviti (rudarenje), već narušenoj prirodnoj ravnoteži u vodonosniku, potrebi dogovornog i/ili arbitražnog korištenja (zajednički toplovod), potrebi dodatnih istraživanja, te održavanju postojećih objekata. Analizom sniženja RPVs zdenaca B-7 i B-8 za koje su nam bili dostupni podaci, u vremenskom intervalu od 1972-1999. godine, uočena su dva karakteristična trenda, konstantan pad statičke razine podzemnih voda, te njegovo naglo obaranje tijekom protekle zime 1998/99. Analiza sniženja u funkciji vanjskih uvjeta crpljenja, ukazuje da je vodonosnik u stanju povišenih hidrodinamičkih napetosti. To se posebno odnosi na B-8, koji je u veoma kratkom vremenu (gotovo istovremeno!?) reagirao na početak i prestanak crpljenja na susjednim objektima. Razlike u vrijednostima početnih i izmjerenih stanja konusa depresije ukazuju na potrebu racionalizacije potrošnje mineralne vode na lokaciji zdenaca u proizvodnji. Nagli pad RPVs u oba zdenca za proteklog zimskog perioda 1998/99. godine, u svezi je s korištenjem geotermalne energije za potrebe grijanja bolničkog kompleksa u Lipiku. Konstantno crpljenje s kapacitetom od cca 12 l/s, kako za potrebe bolničkih terapija, odnosno centralnog grijanja, premašuje kapacitete vodocrpilišta. Budući je ovo prva godina takvog režima rada neophodno je uvesti dogovorno korištenje raspoloživih georesursa na lokaciji današnjih zdenaca. Kod

subarteških zdenaca uobičajeno je obaranje tlaka vodnog stupca tijekom višegodišnjih crpljenja do cca 1/3 njegove početne visine, što za B-7 iznosi -70 m a za B-8 -120 m. Ovi pokazatelji ujedno govore o raspoloživim rezervama na pojedinim zdenacima.

Opći trend sniženja RPVs izmjeren tijekom proteklog perioda rezultat je crpljenja svih korisnika. S mineralnom vodom trebalo bi se racionalnije gospodariti, koristeći je samo za punjenje mineralne vode za piće, te za bolnička liječenja. Uvođenjem tehnološke vode u sustav održavanja, kao što je napravljeno u Tvornici Studenac, te povrat čiste vode u podzemlje nakon geotermalnog korištenja, pridonijelo bi znatno boljem gospodarenju prirodnim georesursima. Analizom rezultata ispitivanja da se zaključiti da hidrodinamička obilježja termomineralnog vodocrpilišta u Lipiku omogućuju kontinuirana crpljenja s kapacitetima 8-10 l/s, a diskontinuirana crpljenja s kraćim ili duljim dnevnim intervalima mirovanja s kapacitetima 10-14 l/s. Pod tim uvjetima crpljenja, te uz postupak kružnog povrata čiste vode u vodocrpilište, nakon oduzimanja geotermalne energije ili njenog uključivanja u proces tvorničkog punjenja, produljit će se vijek vodocrpilišta i zdenacima. Gospodarski je veoma riskantno i ne preporuča se izvoditi bilo kakva dodatna bušenja u zoni Parka, a nove lokacije treba potražiti u širem okruženju.

Pri izradi ovog teksta korištena je fondovska građa Podravke - Tvornica vode Studenac Lipik i Poglavarstva Grada Lipika.



Geološka građa i pokazatelji potencijalnosti boksitonosnih struktura Ervenika i Drniša

Geological Setting and Indicators of Bauxite-Bearing Structures of Ervenik and Drniš

Vili PENCINGER, Boris LUKŠIĆ, Stjepan CRNOGAJ & Anka JURIĆ

Ključne riječi: boksiti starijeg paleogena, srednjeg i gornjeg eocena, boksitonosne strukture, geološki pokazatelji potencijalnosti, područje Ervenika, područje Drniša.

Key words: Early Paleogene bauxites, Middle Eocene bauxites, Upper Eocene bauxites, Bauxite-bearing structures, Geological indicators of potentiality, Ervenik area, Drniš area.

Sažetak

Na osnovi mnogobrojnih geoloških podataka do kojih se došlo prethodnim višegodišnjim istraživanjima u područjima Ervenika i Drniša izdvojeni su geološki pokazatelji kojima su definirane boksitonosne strukture. Na temelju tih pokazatelja izdvojeno je šest zona perspektivnosti, odnosno potencijalnosti u različitim dijelovima geoloških struktura, a s obzirom na mogućnost postojanja boksitnih ležišta.

Abstract

Bauxite-bearing structures in the region of Ervenik and Drniš have been defined by long-term exploration works on a basis of geological indicators. The indicators recognize six zones of potentiality of finding new bauxite deposits located within different parts of the geological structures.

1. UVOD

Istraživanje boksitonosnih struktura, pojava i ležišta boksita u Dalmaciji traje duže od jednog stoljeća. Tim istraživanjima bavili su se brojni domaći i inozemni stručnjaci, članovi raznih geoloških institucija, fakultetskih zavoda, poduzeća za eksploataciju boksita i drugih organizacija, te pojedinci.

Rezultati brojnih istraživanja objavljeni su u mnogim znanstvenim i stručnim časopisima, a veći dio nalazi se u sastavu neobjavljenih studija, elaborata i izvješća.

Najstariji znanstveni podatak o boksitima s područja Dalmacije objavljen je u Handbuch der Mineralogie (BREITHAUPT, 1847) u Dresdenu. Autor prilaže kemijsku analizu boksita iz Kljaka kod Drniša i opisuje njegova fizička svojstva, a sve pod nazivom kljakit (*cljakit*). Dvanaest godina kasnije ADAM (1869) ga uvrštava u boksite.

Prvi spomen o paleogenskoj starosti boksita u Dalmaciji nalazimo kod FRIESE (1858), a STACHE

(1886) je boksite na planini Promini uvrstio unutar eocenskih naslaga.

Da su boksiti rasprostranjeni u ova dva područja te da se pojavljuju u različitim stratigrafskim horizontima, postupno su otkrivali austrijski geolozi prigodom geoloških kartiranja i izrade geoloških karata i njihovih tumača (KERNER, 1901a, b, 1920; SCHUBERT, 1920).

Temeljem navedenih geoloških istraživanja KERNER (1916) je dao prvi detaljni pregled tipova ležišta, rasprostranjenosti i stratigrafskog položaja boksita u Dalmaciji.

Podatke o boksitima Dalmacije nalazimo i u radovima SCHUBERTA (1913), te WEIGELINA (1930) i WEINHOLZA (1930).

Mineraloška ispitivanja boksita Dalmacije započeli su KIŠPATIĆ (1912) i TUĆAN (1912).

O boksitima i geologiji boksitnih područja Ervenika i Drniša u novije vrijeme pisali su JURKOVIĆ & SAKAČ (1963), ŠINKOVEC et al. (1976), SAKAČ (1966, 1970, 1972, 1991), SAKAČ & ŠINKOVEC (1991), SAKAČ et al. (1993), ŠINKOVEC & SAKAČ (1982,

1991) i PENCINGER (1994). Postoje i vrlo brojni neobjavljeni radovi o geologiji i geološkim istraživanjima boksita u navedenim područjima koji su deponirani i čuvaju se u fondovima stručne dokumentacije IGI-a i srodnih ustanova.

2. GEOLOŠKA GRAĐA I POKAZATELJI POTENCIJALNOSTI BOKSITONOSNIH STRUKTURA

Do spoznaja o geološkim pokazateljima boksitonosnih struktura područja Ervenika i Drniša došlo se nakon višegodišnjih terenskih i kabinetskih radova.

Geološkim istraživanjima na terenu i obradom u kabinetu stečene su spoznaje o stratigrafskom tektonskom i strukturnom sklopu navedenih terena. Detaljno su upoznati svi litološki članovi i fosilni sadržaj pojedinih stratigrafskih serija, te tektonika u detaljima, kao i strukture područja. Temeljem toga uočeni su glavni geološki pokazatelji o potencijalnosti geoloških struktura. To se odnosi na prostore s povećanom vjerojatnošću postojanja boksitnih ležišta pod krovinskim naslagama.

Osnovne geološke pokazatelje potencijalnosti nekog područja čini kombinacija stratigrafskih, paleogeografskih, strukturno-tektonskih, paleogeomorfoloških, sedimentoloških i geokemijskih pokazatelja.

Boksitonosne strukture Ervenika i Drniša predstavljaju samo dio jedne manje ili više kontinuirano orudnjene geološke provincije, koja se proteže od Kvarnerskih otoka (Cresa, Krka, Raba) preko Paga na Obrovac, Ervenik, Drniš, Moseć, Sinj i Imotski, te dalje prema jugoistoku u Hercegovinu.

U slučaju Ervenika i Drniša (sl. 1) radi se o gornjokredno-paleogenskim strukturama s tri stratigrafska nivoa boksitonosnih orudnjenja. To su starijepaleogeni, srednjoeocenski i gornjoeocenski boksiti.

Boksiti starijeg paleogena redovito su dobre kakvoće, ali su ležišta mala i relativno rijetka te zbog toga ekonomski manje značajna.

Boksiti srednjeg eocena zastupljeni su u malom broju, bez ekonomskog značaja.

Gornjoeocenski boksiti ekonomski su najvažniji. Ležišta su najveća, a većina ima i zadovoljavajuću kakvoću.

Područje Ervenika izgrađuju sedimenti krede, paleogena i kvartara. Kredni sedimenti su karbonatni, čine kontinuiran slijed naslaga na kojem je transgresivan stariji, također karbonatni paleogen. Mlađi dio paleogena transgresivan je na dijelovima krede i starijeg paleogena i izgrađen je od klastičnih i karbonatnih stijena. Slijed sedimentata završavaju kvartarne naslage.

Unutar gornjokrednih naslaga izdvojene su dvije kronostratigrafske jedinice:

- cenoman-turon ($K_2^{1,2}$) - vapnenci s lećama pločastih vapnenaca i dolomita, i
- senon (K_2^3) - biogeni debeloslojeni vapnenci.

Starijem paleogenu odgovaraju:

- liburnijski vapnenci (Pc, E_1),
- foraminiferski vapnenci ($E_{1,2}$), i
- vapnenačke breče (Jelar E_2).

Naslage mlađeg paleogena predstavljaju:

- promina naslage ($E_3 O_1$) - zastupljene konglomeratima, vapnencima i laporovitim vapnencima.

Naslage kvartara zastupljene su:

- fluvijalnim šljuncima i poluvezanim konglomeratima Q_1 , i
- crvenicom i raznobojnim ilovinama sa ili bez uklopljenog kršja stijena Q_2 .

Boksiti erveničkog područja nalaze se u tri stratigrafska nivoa. Međusobno se razlikuju po mineraloškokemijskom sastavu, obliku i veličini rudnih tijela. Razlikujemo, idući od starijih prema mlađima, boksite starijeg paleocena te boksite srednjeg i gornjeg eocena.

U geološkoj građi boksitonosnog područja Drniša sudjeluju sedimenti gornje krede, paleogena i kvartara.

Gornjokredne naslage predstavljene su s dva stratigrafska člana: stariji, cenoman-donjoturanski nivo ($K_2^{1,2}$) - vapnenci s tankim ulošcima dolomita, te mladi, turon-senonski nivo ($K_2^{2,3}$) - biogeni uslojeni vapnenci.

U paleogenu je moguće razlikovati liburnijske naslage (Pc, E_1), foraminiferske vapnence ($E_{1,2}$), Jelar naslage (E_2) i Promina naslage ($E_3 O_1$).

Najmlađi stratigrafski nivo su naslage kvartara. Zastupljene su nevezanim do poluvezanim siparišnim brečama te crvenicom i raznobojnim ilovinama ponegdje miješanim s manje ili više kršja stijena.

U drniškom boksitonosnom području postoje tri stratigrafska nivoa boksita. Međusobno se razlikuju, osim po stratigrafskom položaju, po mineraloškokemijskom sastavu, obliku te veličini ležišta.

Idući od starijih prema mlađima, razlikujemo:

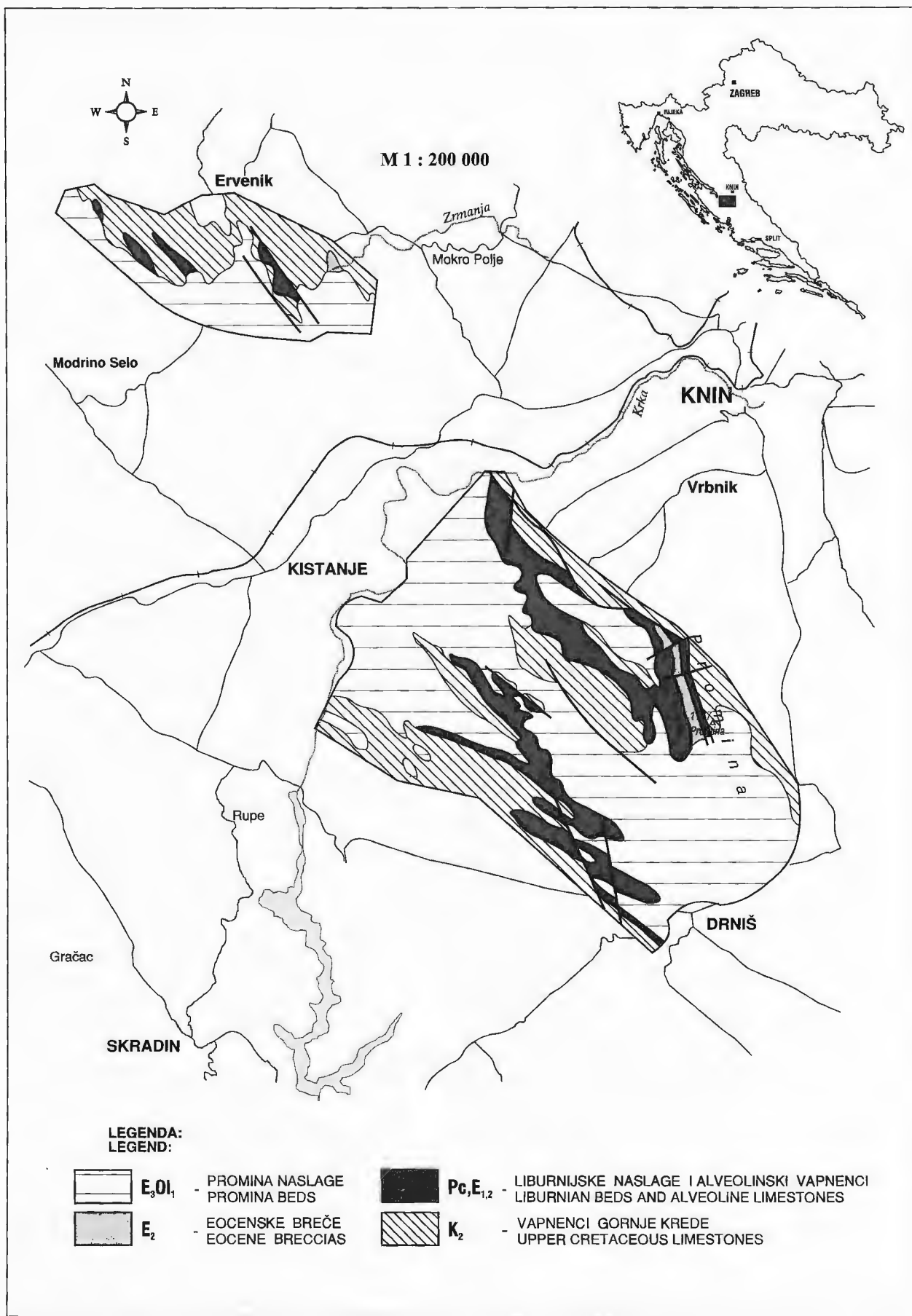
- boksite starijeg paleocena,
- boksite srednjeg eocena i
- boksite gornjeg eocena.

Ove stratigrafske jedinice rasprostranjene su na sjeveroistočnom rubnom dijelu boksitonosnog područja obuhvaćenog ovim radom. To je prostor od Čolovića na jugoistoku, preko Velike Promine te područja Male Promine i dalje prema rijeci Krki, na sjeverozapadu terena.

U dijelu terena obuhvaćenom geološkom kartom boksitonosnog područja Drniša, cenoman-turonske naslage zastupljene su vapnencima s rijetkim ulošcima dolomita.

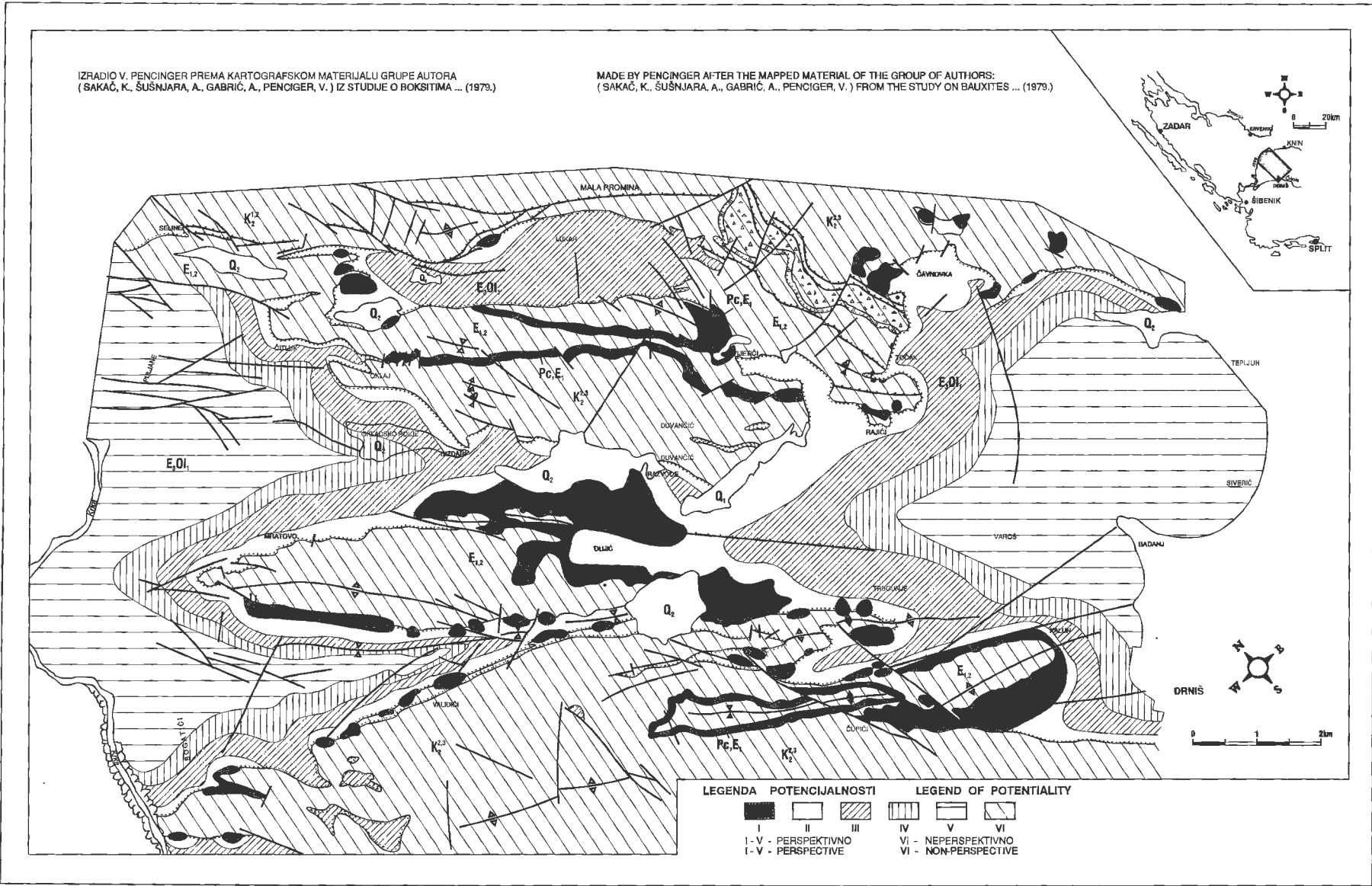
Analizom brojnih geoloških podataka područja Ervenika i Drniša došlo se do spoznaja o potencijalnosti boksitonosnih struktura ovih prostora. Te su spoznaje rezultat višegodišnjih terenskih i pratećih kabinetskih radova na istraživanjima boksita navedenih područja.

Osnovno u spoznajama je upoznavanje s općom i detaljnom geološkom građom, kao i brojnim detaljima vezanim uz različite geološke pokazatelje koji mogu



Sl. 1 Pregledna karta područja boksitonosnih struktura Ervenika i Drniša obuhvaćena geološkom kartom.

Fig. 1 Generalized map of the areas of bauxite-bearing structures of Ervenik and Drniš covered by the geological map.



SI. 3 Pregledna geološka karta i karta potencijalnosti boksitnih struktura područja Driša.
Fig. 3 Generalized geological map and potentiality map of bauxite-bearing structures of the Driš area.

biti važni tijekom odabira najperspektivnijih područja nekog terena za pronalaženje novih ležišta boksita.

Geološke karte i karte potencijalnosti boksitonosnih područja Ervenika i Drniša, koje se nalaze na sl. 2 i 3, rezultat su sinteze svih raspoloživih podataka i spoznaja o geologiji i geološkim pokazateljima potencijalnosti navedenih područja.

Na navedenim kartama oba područja izdvojeno je šest zona perspektivnosti, odnosno potencijalnosti terena s obzirom na mogućnost pronalaženja ležišta boksita u njima.

U I. zonu spadaju najperspektivnija područja. Ležišta boksita u ovoj zoni su na površini ili mogu biti ispod krovine do oko 50 m dubine.

U II. zonu spadaju područja gdje je moguće nalaziti odgovarajućih ležišta boksita, od 50 do 100 m dubine.

III. zona su područja terena s mogućim ležištima boksita, koja se nalaze na dubini između 100 i 150 m. Eksploatacija boksita u ovoj zoni predviđena je isključivo jamskim putem, osim u iznimnim slučajevima, ako dimenzije kakvoće otkrivenog ležišta opravdavaju primjenu površinskog kopa. Podrazumijeva se da u ovu zonu ulaze samo područja bez stalnog nivoa podzemnih voda.

IV. zona odnosi se na područja s mogućim ležištima boksita na dubinama 150-200 m. Eksploatacija boksita u ovoj zoni moguća bi bila isključivo jamskim putem, a problem pri eksploataciji moge bi pricinjavati sezonske pojave podzemnih voda.

V. zona su područja slabije perspektivnosti isključivo zbog eventualnog pronalaženja boksita na dubinama većim od 200 m.

VI. zona predstavlja područja za koja se može pouzdano tvrditi da su potpuno neperspektivna za pronalaženje ležišta paleogenskih boksita.

3. LITERATURA

- ADAM, M. (1869): Tableau minéralogique.- Paris.
- BREITHAUPT, A. (1847): Handbuch der Mineralogie. 3 Bd.- Arnoldische Buchhandlung, Dresden-Leipzig.
- FRIESE, F.R. (1858): Die Bergwerke-Industrie von Dalmatien.- Teisenotizen, Wien.
- JURKOVIĆ, I. & SAKAČ, K. (1963): Stratigraphical, paragenetical and genetical characteristics of bauxites in Yugoslavia.- Sym. sur les bauxites, oxydes et hydroxydes d'aluminium, 1, 253-632, Zagreb.
- KERNER, F. (1901a): Geologische Spezialkarte Osterr.-Ungar. Monarchie, Kistanje-Dermis M 1:75.000.- Geol. Reichsanst. Wien.
- KERNER, F. (1901b): Erläuterungen zur Geologischen Karte Osterr.-Ungar. Monarchie, Kistanje-Dermis.- Geol. Reichsanst., 1-40, Wien.
- KERNER, F. (1916) Geologie der Bauxitlagerstätten des südlichen Teils der Österreichisch-Ungarischen Monarchie.- Berg.-u. Hüttenm. Jahrb., 64, 139-170, Wien/Leoben.
- KERNER, F. (1920): Erläuterungen zur Geologischen Karte Osterr.-Ungar. Monarchie, Zara.- Geol. Staatsanst., 1-16, Wien.
- KIŠPATIĆ, M. (1912): Bauxite des kroatischen Karstes und ihre Entstehung.- Neues Jahrb. Miner., Geol. u. Paläont., 34, 513-522, Stuttgart.
- PENCINGER, V. (1994): Geološki pokazatelji potencijalnosti boksitonosnih struktura Ervenika i Drniša.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu.
- SAKAČ, K. (1966): Marinski fosili u boksitu Dalmacije.- Geol. vjesnik, 19, 131-139.
- SAKAČ, K. (1970): Analiza eocenskog paleoreljefa i tektonskih zbivanja u području Drniša u Dalmaciji s obzirom na postanak ležišta boksita.- Geol. vjesnik, 32, 163-179.
- SAKAČ, K. (1972): A new survey of stratigraphic bauxite-bearing horizons in Croatia (Yugoslavia).- Bull. Sci. cons. Acad. Yugosl., A, 17/7-8, 221-223, Zagreb.
- SAKAČ, K. & ŠINKOVEC, B. (1991): The bauxites of the Dinarides.- Travaux ICSOBA, 20-21, 1-12, Zagreb.
- SAKAČ, K. (1991): Boksiti krša Dinarida, geološki fenomen, njihovo gospodarsko značenje.- Pomorski zbornik, 29, 493-521, Rijeka.
- SAKAČ, K., BENIĆ, J., BAHUN, S. & PENCINGER, V. (1993): Stratigraphic and tectonic position of Paleogene Jelar beds in the Outer Dinarides.- Nat. Croat., 2/1, 55-72, Zagreb.
- SAKAČ, K., ŠINKOVEC, B., DURN, G. & BENIĆ, J. (1993): Boksiti i Jelar-naslage.- Rud. geol. naftni zbornik, 5, 59-64, Zagreb.
- SCHUBERT, R. (1913): Über die nutzbaren Minerallagerstätten des kroatischen Karstes.- Montan.-Rundschau, 5/11, 533-535, Wien.
- SCHUBERT, R. (1920): Geologische Spezialkarte Osterr.-Ungar. Monarchie, Knin-Ervenik M 1:75000.- Geol. Staatsanst., Wien.
- STACHE, G. (1886): Über das Alter von bohrerzführenden Ablagerung am Monte Promina in Dalmatien.- Verh. Geol. Reichsanst., 15, 385-387, Wien.
- ŠINKOVEC, B., SAKAČ, K. & ŠUŠNJARA, A. (1976): Studija o boksitima i geologiji boksitonosnih područja Hrvatske.- Fond struč. dokum., Geol. Zavod, br. 6478, Zagreb.
- ŠINKOVEC, B. & SAKAČ, K. (1982): The Paleogene bauxite of Dalmatia.- Travaux. ICSOBA, 12/17, 293-331, Zagreb.
- ŠINKOVEC, B. & SAKAČ, K. (1991): Bauxite deposits of Yugoslavia.- Acta geologica Hungarica, 4/4, 307-315, Budapest.
- TUČAN, F. (1912): Terra rossa deren Natur und Entstehung.- Neues Jahrb. Miner. Geol. u. Paläont., 34, 401-430, Stuttgart.
- WEIGELIN, M. (1930): Beitrag zur Kenntnis des dalmatinischen Bauxites.- Zeitschr. prakt. Geol., 38/8, 123-126, Haale/Saale.
- WEINHOLZ, M. (1930): Geologische Untersuchungen von Bauxitlagerstätten bei Drniš in Dalmatien.- Berg.-u. Hüttenm. Jahrb., 58, 43, Wien/Leoben.



Inženjerskogeološko istraživanje na trasi Jadranske autoceste (dionica Tunel "Sv. Rok" - Maslenica)

Engineering-Geological Investigation of the Adriatic Highway
(Section: Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica)

Davor POLLAK & Dražen NAVRATIL

Ključne riječi: inženjerskogeološko istraživanje, karbonatne stijene, klasifikacija stijenskih masa, Jadranska autocesta, dionica Tunel "Sv. Rok" - Maslenica.

Key words: Engineering-geological investigation, Carbonate rocks, Rock mass classification, Adriatic highway, Section Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica.

Sažetak

Detaljna inženjerskogeološka, geološka i strukturna istraživanja, istražno bušenje, geofizička istraživanja i laboratorijska ispitivanja provedena za geotehnički projekt Jadranske autoceste, na dionici Tunel "Sv. Rok" - Maslenica dala su potpunu i detaljnu sliku istraživog terena i kvalitete stijenske mase. Člankom su prikazani rezultati istraživanja. Zadnjih godina u inženjerskogeološkim istraživanjima za velike infrastrukturne projekte niti jedna od navedenih istražnih metoda nije bila zapostavljena ili isključena. Nažalost, u zadnje vrijeme su rokovi za izvedbu istražnog programa vrlo kratki pa redoslijed kojim se istraživanja provode ne zadovoljava uvijek stručne i ekonomske kriterije.

Abstract

The detailed engineering-geological, geological and structural investigations, as well as drilling and geophysical investigations and laboratory tests conducted for the geotechnical project of the Adriatic highway, section Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica gave the complete and detailed review of the investigated area and the quality of the rock mass. The investigation results are presented in this article. In recent years the engineering-geological investigations for large infrastructural projects did not neglected or excluded any of the mentioned investigation methods. Unfortunately the deadlines for the investigations are often very short and therefore the order of their performing does not satisfy professional and economic criteria.

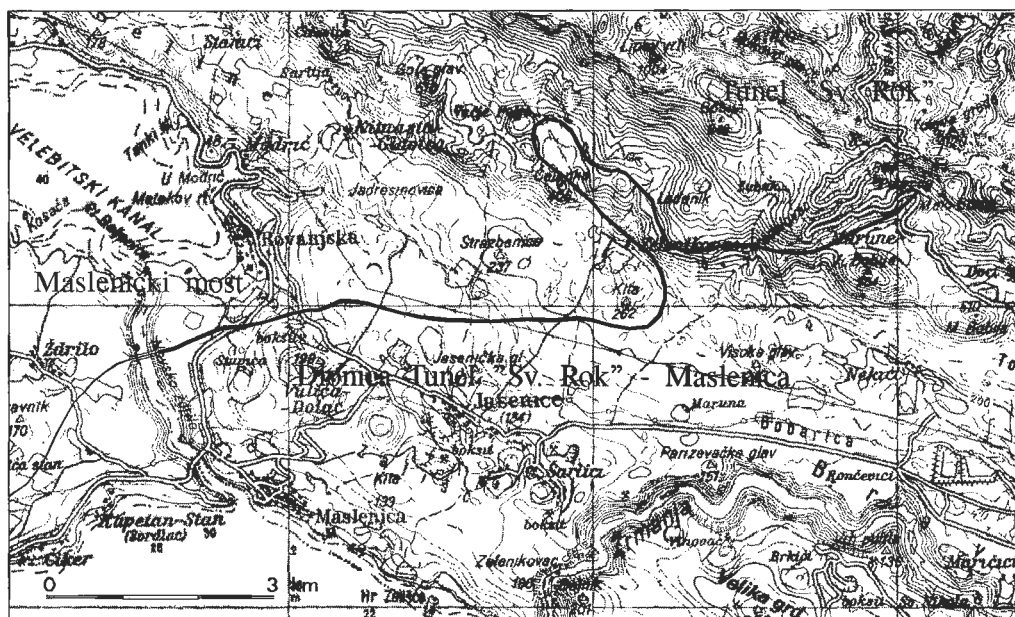
1. UVOD

Ubrzan razvoj prometne mreže Hrvatske zahtjeva projektiranje i izvedbu mnogih velikih cestovnih pravaca. Neki od tih projekata su već izvedeni, drugi su u fazi izrade, a nadamo se da su mnogi još pred nama. Podaci dobiveni inženjerskogeološkim istraživanjima u sklopu ovih projekata uvelike nadopunjavaju podatke za izradu osnovne inženjerskogeološke karte ali mogu biti i vrijedan doprinos u budućim inženjerskogeološkim istraživanjima tih područja za druge namjene. Kvaliteta podataka koji se kroz ove projekte prikupljaju i njihova obrada direktno utječu na uspješnost rješavanja geotehničkih problema. Stoga smatramo da ova istraživanja trebaju biti temeljita, moderna i reprezentativna, a rezultati istraživanja kvalitetno prezentirani. Člankom se prikazuju generalizirani rezultati istražnih radova i

inženjerskogeoloških istraživanja na trasi Jadranske autoceste, dionice tunel "Sv. Rok"-Maslenica (sl. 1).

Istraživanja su provedena 1998. i 1999. godine. U sklopu idejnog projekta izradena je geološka karta mjera 1:5.000. Tom prilikom se istraživao prostor u širini 500 m oko trase buduće autoceste. Za glavni projekt provedeno je detaljnije geološko i inženjerskogeološko kartiranje trase u pojasu 100 m širine oko osi autoceste i ukupne dužine oko 10 km, u mjerilu 1:1.000. Osim toga izvedene su brojne istražne bušotine i geofizička ispitivanja. S obzirom na ratne aktivnosti 90-ih godina i vjerojatno minirana područja kroz koje prolazi trasa, nažalost nije detaljno istraženo cijelo područje buduće dionice. Od ukupno 15 km dužine ove dionice, detaljnije je istraženo oko 10 km.

Zbog velike visinske razlike između početka i kraja ove relativno kratke dionice (oko 500 m na 15 km, od



Sl. 1 Položaj trase Jadranske autoceste na dionici Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica.

Fig. 1 The location of the Adriatic highway at the section Tunnel "Sv. Rok" - Maslenica.

južnog portala tunela "Sv. Rok" do Masleničkog mosta) i morfologije terena, trasa autoceste prolazi brojnim objektima i visokim usjecima i nasipima. Prolazeći kroz 3 tunela (Ledenik, Bristovac i Čelinka) ukupne dužine oko 1,5 km, preko vijadukata (Crna draga, Vuči polje, Božići i Rovanijska) ukupne dužine oko 1,2 km i brojnim visokim usjecima i nasipima, trasa zadaje vrlo težak i odgovoran posao svim projektantima.

2. LITOSTRATIGRAFSKI SASTAV PODRUČJA

Važno je napomenuti da je cijelo područje izrazito okršeno, uglavnom bez pokrivača i rijetko pokriveno makijom. Od južnog portala tunela "Sv. Rok", pa do sela Zelenikovac trasa ceste prolazi strmim južnim padinama Velebita (sl. 1). Padine karakterizira razvedenost reljefa i snažna okršenost. Izgrađene su od naslaga donje krede (neokom, apt i alb) i Jelar breča. Nažalost, naslage apta i alba nisu detaljnije istražene radi miniranosti područja. Od sela Zelenikovac do Masleničkog mosta trasa autoceste prolazi blažim "zaravnjenim" terenom izgrađenim uglavnom od naslaga neokoma, cenomana, Jelara i Promine. Samo uže područje oko vijadukta "Rovanijska" izgrađeno je od foraminiferskih vapnenaca.

Temeljita i detaljna geološka i tektonska ispitivanja proveli su djelatnici Instituta za geološka istraživanja, Zavoda za geologiju. U sklopu tih istraživanja izradene su geološke karte oko trase autoceste u mjerilima 1:5.000 i 1:1.000; uzdužni geološki profili 1:5.000/500 i 1:1.000/1.000, a detaljno su analizirane i jezgre bušotina.

Trasa autoceste prolazi isključivo kroz karbonatne naslage krede i paleogen-oligocena, a područje je razdijeljeno na nekoliko osnovnih litostratigrafskih jedinica (MATIČEC & FUČEK, 1999).

Neokom (i barem?) (K_1^{1-4}) je predstavljen vapnencem tipa madston i pojavama intraformacijskih breča. Vapnenac je debeloslojen (uglavnom 60-100 cm) do masivan, svijetlosmede do sivkastosmede boje, prevladava madston i peloidni vekston s rijetkim proslojima peletnih pekston/grejnstona. Oštrim, ali neravnim kontaktima vapnenac je odijeljen od intraformacijskih vapnenačkih breča. Proslojci breče su 40-60 cm debljine, a breča je slabo sortirana, uglavnom nepotpuno cementirana i monomiktana.

Apt (K_1^5), vapnenac je debeloslojen (2-3 i više m) do masivan, smedkaste do žučkastosivkaste boje, tipa madston do peloidni vekston, rjeđe peloidno-skeletni pekston.

Alb (K_1^6), izmjena vapnenca i intraformacijskih breča. Žučkastosivi vapnenci tanje su uslojeni, strukturnog tipa vekston-pekston i madston. Breče su slične neokomskim.

Cenoman (K_2^1), vapnenci pretežno svijetložučkaste boje najčešće su rekristalizirani. Rjedi su žučkasti peloidni pekston, laminiti i fenestralni madston. Slojevi su debljine 20-60 cm.

Paleogen (Pg), foraminiferski vapnenci žučkastosivkaste boje, strukturnog tipa skeletno-peloidni vekston-pekston.

Gornji eocen i oligocen (E_3 , Ol), Jelar naslage uglavnom se sastoje od polimiktih matriksopotpornih breča. Kršje unutar breče može biti jurske, donjokredne i gornjokredne starosti smedkaste ili sivosmedkaste boje. Zrna su pretežno angularna, rjeđe poluzaobljena, veličine 0,5-5 cm rijetko do 20 cm. Potpora je pretežno matriksna, karbonatnog sastava, žučkaste do crvene boje. Kontakt s podinskim naslagama je neravan i nepravilan.

Gornji eocen i oligocen (E_3 , Ol), Promina naslage predstavljene su konglomeratom, s rijetkim izmjenama

kalkarenita. Konglomerat je klastotporan, a sastoji se od zaobljenih valutica različite starosti sivosmede i smeđkaste boje. Valutice su veličine 1-10 cm, ali pretežno između 3-5 cm. Sortiranost varira. Potpora je predstavljena različitim tipovima od kalkarenitske do madstonske, svijetlosmede boje. Debljina konglomeratskih slojeva varira 20-60 cm, a kalkarenita 10-30 cm. Kalkarenit sadrži dobrosortirane čestice veličine pijeska.

3. TEKTONIKA

Strukturalna istraživanja istaknula su orijentacije osnovnih tektonskih zona i definirala neotektonske aktivnosti.

Područje kroz koje će prolaziti autocesta je okarakterizirano strmim rasjedima pružanja SZ-JI, koji su posljedica snažne kontrakcije prostora krajem krede i početkom paleogena (MATIČEC & FUČEK, 1999). Strmo nagnute rasjedne plohe jugozapadne vergencije imaju znatne vertikalne pomake koji dovode u kontakt neokomske i cenomanske naslage. Drugi sustav rasjeda pružanja SI-JZ omogućava diferencijalno kretanje blokova. Današnje pružanje južnog Velebita (I-Z) ukazuje na retrogradnu rotaciju područja koja uzrokuje reaktiviranje oba rasjedna sustava. Neotektonska aktivnost nije djelovala na promjenu njihovih značajki, tako da reverzni rasjedi još uvijek imaju zatvorene rasjedne plohe, dok su ovi drugi ostali zjapeći, s čestim pojavama kaverni.

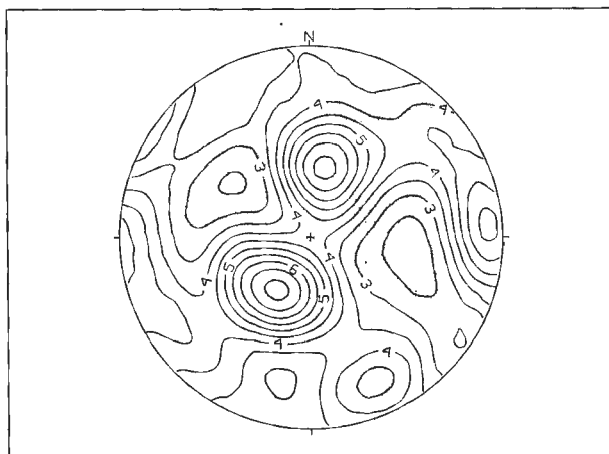
Na terenu su zapaženi pukotinski sustavi paralelni spomenutim rasjedima, ali i oni pružanja S-J. Površinskim mjerenjima i jezgrama bušotina često su zahvaćeni pukotinski sustavi pružanja gotovo I-Z (sl. 2).

4. GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA I ZONE TROŠENJA

U ovom području je na svim objektima i mjestima visokih usjeka i nasipa izvedeno profiliranje plitkom refrakcijskom seizmikom. Interpretacija mjerenja provedena je na geofizičkim profilima u mjerilu 1:250/250 (MITROVIĆ, 1999). Na svakom pojedinačnom profilu izdvojene su zone trošenja s brzinama širenja primarnih seizmičkih valova. Osim zona trošenja, na ovim profilima mogu se odrediti jače razlomljene i rasjedne zone ustanovljene inženjerskogeološkim kartiranjem na površini, ali i one koje se na površini nisu vidjele.

Geofizički profili su također, uz istražne bušotine, imali veliku ulogu u izradi prognoznih poprečnih (na os trase) inženjerskogeoloških profila. Ovdje su naglašene samo neke zajedničke karakteristike izdvojenih zona trošenja cjelokupnog istraživog terena.

I zona se na ovom terenu rijetko pojavljuje, a uglavnom je izgrađena od nevezanih materijala (nasip, terra rossa, deluvijalne naslage) malih brzina širenja primar-



Sl. 2 Konturni dijagram normala pukotina (oko 1.350 mjerenja). Dionica Tunel "Sv. Rok"-Maslenica.

Fig. 2 The contour diagram of the discontinuities (ca 1,350 measurements). Section: Tunnel "Sv. Rok"-Maslenica.

nih seizmičkih valova 300-1.000 m/s. Prosječna dubina je oko 0,5-1 m.

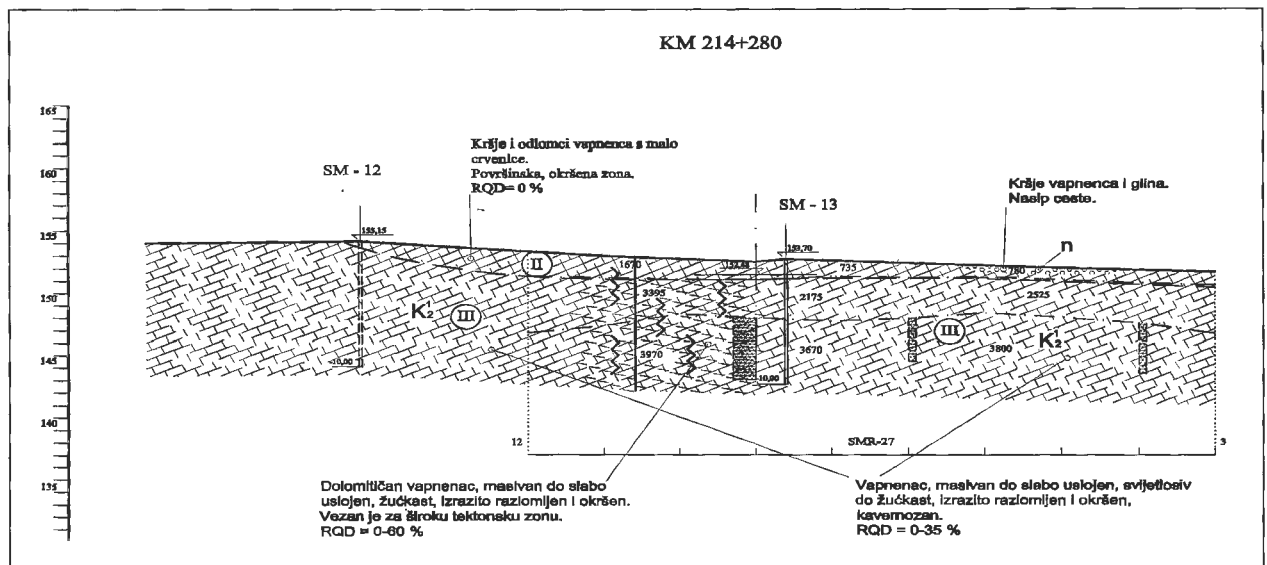
II zona uglavnom predstavlja površinsku zonu okršavanja stijene koja je u podlozi. Radi se o jako okršenoj stijeni s kršjem, odlomcima i blokovima na površini. Mjestimice su takve naslage prekrivene ili izmješane s terra rossom. U ovu su zonu svrstane i jako razlomljene stijene sa slabo vezanim fragmentima, tektonskom brečom ili jako razlomljenom stijenom s glinovitim vezivom ili ispunom. Brzina širenja primarnih seizmičkih valova je uglavnom između 800-1.800 m/s. Može se općenito reći da se debljina ove zone uglavnom kreće 0,5-3 m, a na mjestima rasjeda ili razlomljenih zona dopire i znatno dublje. RQD se uglavnom kreće oko 0-40%.

III zona je uglavnom izgrađena od kompaktne stijene, još uvijek okršene, mjestimice kavernoze, često s glinovitim ispunama pukotina. Dubina do koje dopire ta zona je jako varijabilna, a granica s IV zonom jako nepravilna u vertikalnom i horizontalnom smislu. Brzine širenja primarnih seizmičkih valova su između 1.800-4.000 m/s, a RQD vrijednosti se uglavnom kreću 50-80%.

IV zona predstavlja najmanje alteriranu stijenu, bilo okršavanjem ili utjecajem tektonike. Bez obzira na to i u ovoj zoni se mogu naći kaverne i glinovite ispune pukotina. Brzine širenja primarnih seizmičkih valova su iznad 4.000 m/s, a RQD vrijednosti uglavnom preko 80%.

5. ISTRAŽNO BUŠENJE

Istražno bušenje s jezgrovanjem provedeno je na 58 lokacija, a ukupna dubina je 711 m. Podaci dobiveni bušenjem kombinirani s rezultatima geofizičkih ispitivanja i svih geoloških istraživanja mogu dati pouzdani prognozni inženjerskogeološki profil (sl. 3).



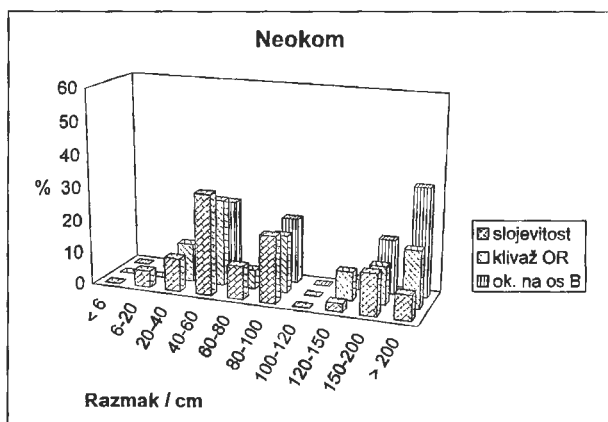
Sl. 3 Prognozni inženjerskogeološki profil s izdvojenim zonama trošenja.

Fig. 3 Engineering-geological profile and the weathering zones.

Na jezgrama bušotina određivan je postotak jezgre, RQD, broj pukotina po dužnom metru, detaljno su opisane litološke karakteristike stijena kao i sve karakteristike pukotina. Osim toga, sva su laboratorijska ispitivanja radena na jezgrama iz bušotina, a njihovi rezultati će biti prikazani u slijedećim poglavljima.

6. INŽENJERSKOGEOLOŠKO ISTRAŽIVANJE

S obzirom da je veći dio naslaga otkriven, njihove su karakteristike opisane i klasificirane na brojnim točkama opažanja (oko 100) (POLLAK et al., 1999). Detaljno terensko istraživanje a i provođenje istražnih radova bilo je onemogućeno (minirano područje) u vapnencima apta i alba pa njihove karakteristike ovdje neće biti prikazane.



Sl. 4 Distribucija razmaka pojedinih sustava diskontinuiteta u neokomskim vapnencima.

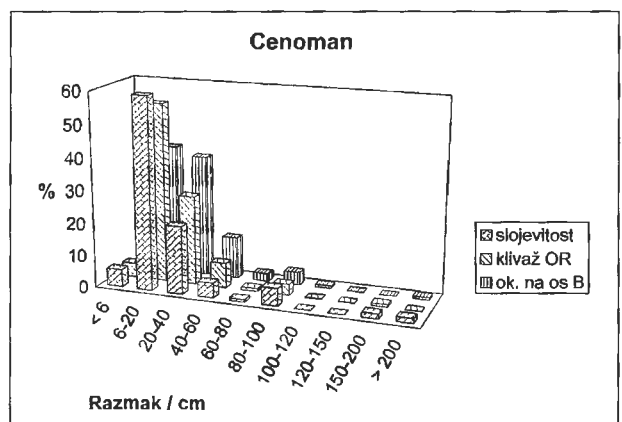
Fig. 4 The distribution of the spacings of various discontinuity sets for Neocomian limestones.

Opće orijentacije diskontinuiteta već su prikazane u poglavlju "Tektonika".

6.1. RAZMAK DISKONTINUITETA I RQD

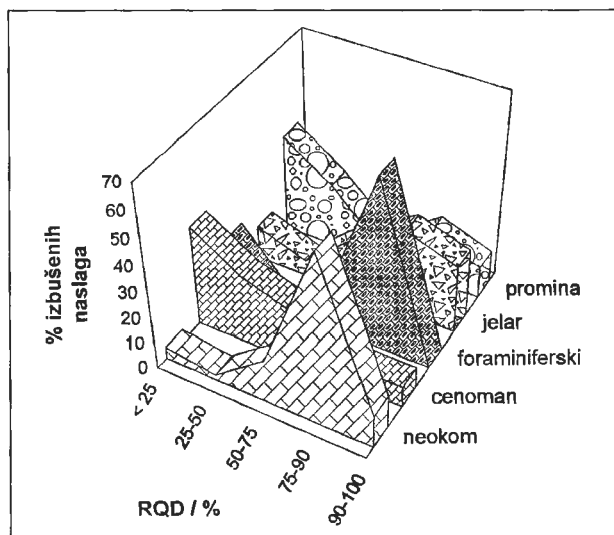
Kako je već spomenuto, u sklopu geotehničkih istražnih radova provedeno je geološko i inženjerskogeološko kartiranje, a izvedene su brojne istražne bušotine. Bez obzira što su prosječne dubine bušotina relativno male, između 10-30 m (uglavnom oko 10 m), tehnički podaci dobiveni površinskim kartiranjem i bušenjem mogu se primijeniti za ocjenu kvalitete stijenske mase u relativno plitkoj zoni u kojoj će biti izvedeni svi objekti.

Mjerenje razmaka između diskontinuiteta na izdancima provedeno je nakon definiranja sustava diskontinuiteta. Tako se prilikom stvaranja inženjerskogeološkog

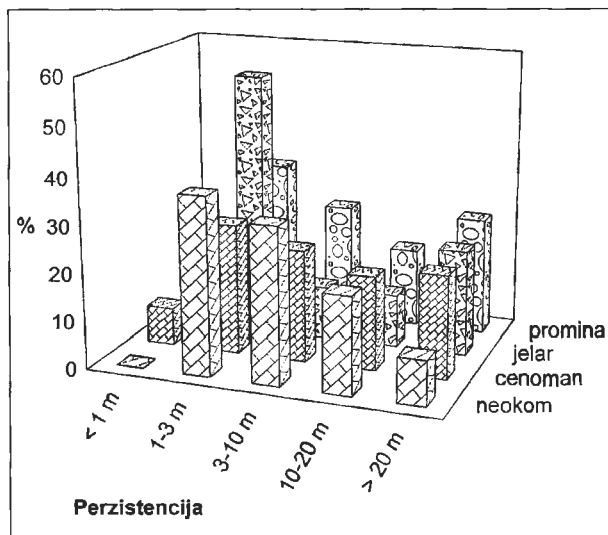


Sl. 5 Distribucija razmaka pojedinih sustava diskontinuiteta u cenomanskim vapnencima.

Fig. 5 The distribution of the spacings of various discontinuity sets for Cenomanian limestones.



Sl. 6 Raspodjela RQD vrijednosti dobivenih istražnim bušenjem.
Fig. 6 The distribution of RQD values from the borehole cores.



Sl. 7 Perzistencija svih sustava diskontinuiteta pojedinih litostratigrafskih jedinica.

Fig. 7 Persistence of all discontinuity sets for various lithostratigraphic units.

kog modela mogu odvojeno, ali i skupno razmatrati karakteristike svakog pojedinog sustava diskontinuiteta unutar inženjerskogeološke cjeline ili bloka. Na taj način moguće je detaljnije i bolje razraditi inženjerskogeološki model.

Na slikama 4 i 5 se vidi da se razmaci, prije svega diskontinuiteta slojevitosti, a onda i svih ostalih sustava diskontinuiteta neokoma i cenomana uvelike razlikuju. Osim toga vidi se da je raspodjela razmaka ostalih sustava diskontinuiteta gotovo jednaka raspodjeli debljina slojeva.

Razlika u razmacima diskontinuiteta koji su mjereni na površini moraju se odraziti na RQD vrijednosti dobivene iz bušotina (sl. 6). Na sl. 6 je vidljivo da debeloslojni vapnenci neokoma, jedri foraminiferski vapnenci i masivne jelar breče imaju relativno visoke vrijednosti RQD-a dobivene bušenjem. Rekrystalizirani cenomanski vapnenci i promina naslage imaju RQD uglavnom manji od 50%, često <25%.

6.2. STANJE DISKONTINUITETA

Ovdje su prikazani zbirni podaci stanja svih sustava diskontinuiteta unutar pojedinih litostratigrafskih jedinica. Mogu se razlučiti karakteristike svake jedinice, ali i donijeti zaključci o karakteristikama cjelokupnog istraživanog krškog terena.

Perzistencija

Karakteristična je relativno mala perzistencija diskontinuiteta neokomskih i jelar naslaga, tj. upravo onih koje su imale relativno velike vrijednosti RQD-a u bušotinama. Unutar cenomanskih vapnenaca perzistencija varira, a u promina naslagama samo diskontinuiteti slojevitosti imaju perzistenciju >10 m. Ostali diskontinuiteti imaju relativno male perzistencije (sl. 7).

Zijev i ispuna pukotina

Već je napomenuto da je teren jako okršen, pa ne čude podaci o relativno velikom zijevu pukotina u površinskoj i pripovršinskoj zoni. Ova je karakteristika izražena u svim naslagama istraženog terena (sl. 8). Pukotine neokomskih vapnenaca i jelar breča su na površini mjestimice otvorene i do 30 cm. U već izvedenim usjecima i nekim istražnim bušotinama mogu se vidjeti kaverne i do metarskih dimenzija. Sve to upućuje na snažnu okršenost terena i u velikoj mjeri utječe na zijev pukotina.

Uz zijev pukotina vezane su i debljine njihovih ispuna. Brojni podaci o pukotinama bez ispuna uglavnom se odnose na površinsku zonu. U dubljoj zoni su vrlo česte glinovite ispune širih pukotina, dok tvrdu ispunu uglavnom predstavlja kalcit (sl. 9).

Hrapavost

Hrapavost svih diskontinuiteta i svih litostratigrafskih jedinica je u granicama hrapavo - neznatno hrapavo, dok se JRC_{10} kreće u širokom rasponu od 4-12.

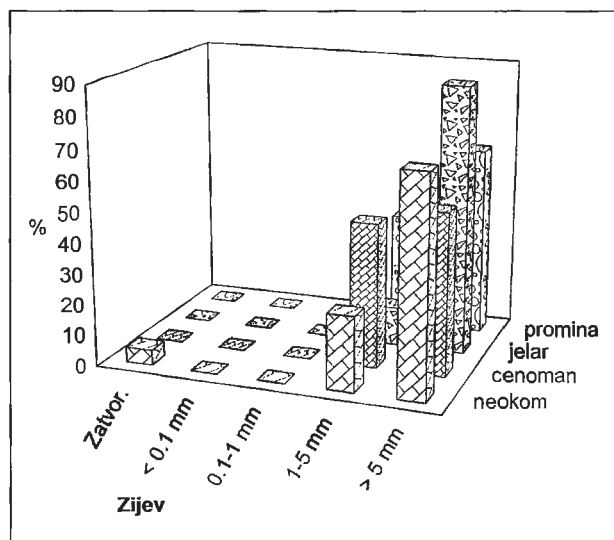
Rastrošenost

Rastrošenost stijenki diskontinuiteta je neznatna.

6.3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

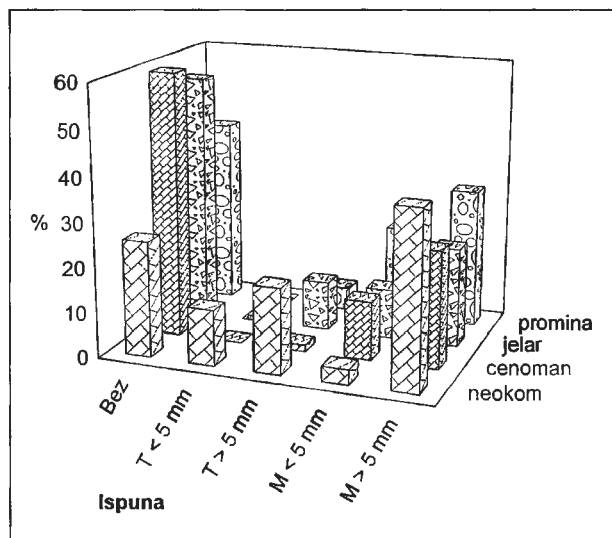
Ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće (σ_u), čvrstoće stijene pri opterećenju u točki (PLT) i brzine elastičnih valova (V_p , V_s) ultrazvučnom tehnikom niske frekvencije izvedena su u Institutu građevinarstva Hrvatske i prema preporukama ISRM-a (SESAAR & VRKLJAN, 1999). Sva ispitivanja su izvedena na jezgrama iz istraženih bušotina.

Rezultati ispitivanja potvrđuju razlike u tehničkim svojstvima pojedinih litostratigrafskih jedinica. Mora-



Sl. 8 Zijev svih sustava diskontinuiteta pojedinih litostratigrafskih jedinica.

Fig. 8 Aperture of all discontinuity sets for various lithostratigraphic units.



Sl. 9 Ispuna svih sustava diskontinuiteta pojedinih litostratigrafskih jedinica.

Fig. 9 Gouge of all discontinuity sets for various lithostratigraphic units.

mo napomenuti da se po slabijim tehničkim karakteristikama posebno ističu cenomanski vapnenci (vidi tablicu 1).

Provedena ispitivanja su pokazala veliko osipanje rezultata i unutar samih litostratigrafskih jedinica. Razloge za to možemo tražiti u raspucanosti, ali vjerojatno i strukturama i litotipu svakog pojedinog uzorka.

7. ZAKLJUČAK

Kroz općeniti prikaz karakteristika stijenske mase u ovom području vidljivo je da će Jadranska autocesta na dionici Tunel "Sv. Rok"-Maslenica prolaziti kroz karbonatne naslage različitih inženjerskogeoloških karakteristika.

Općenito se može govoriti o vrlo jako okršanim karbonatnim stijenama s čestim pojavama kaverni. Zone

trošenja ili okršavanja se iz podataka bušenja mogu definirati, ali su njihove granice vrlo nepravilne u horizontalnom i vertikalnom smislu. U geotekničkom smislu se većina stijenske mase treba promatrati kao anizotropna sredina. Izuzetak su relativno česte i vrlo jake tektonske zone, ali mjestimice i jako rekristalizirane ili dolomitizirane naslage, za koje se pretpostavlja da će se ponašati kao kvaziizotropna sredina.

Ova, na prvi pogled prilično jednolična karbonatna sredina ne može se promatrati kao cjelina, nego se prilikom projektiranja i izvedbe moraju uvažiti sve litološke, strukturne i inženjerskogeološke osobitosti svake izdvojene litostratigrafske jedinice.

Usporedbom karakteristika intaktne stijene, kao i stijenske mase različitih litostratigrafskih jedinica kroz koje autocesta prolazi istaknuta su slabija inženjerskogeološka svojstva cenomanskih vapnenaca. Razlog sla-

Litostratigrafska jedinica	JEDNOOSNA TLAČNA ČVRSTOĆA		PLT		ULTRAZVUK	
	σ_c /Mpa (broj mjerenja)	standardna devijacija	Is/kPa (broj mjerenja)	standardna devijacija	Vp/m/s (broj mjerenja)	Vs/m/s
Neokom	112 (61)	33	-	-	5847 (61)	2870
Cenoman	62 (57)	48	2491 (145)	1198	5444 (57)	2678
Foraminiferski v.	92 (8)	27	4253 (4)	1076	6069 (8)	2874
Jelar	112 (52)	35	3531 (16)	1129	5707 (52)	2758
Promina	102 (14)	60	3801 (67)	1207	5884 (14)	2867

Tablica 1 Geometrijske sredine tehničkih karakteristika pojedinih litostratigrafskih jedinica.

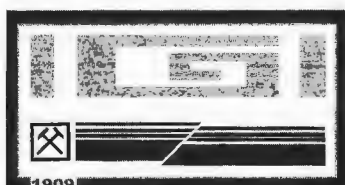
Table 1 Geometric means of the technical properties of the lithostratigraphic units.

bijih karakteristika ovih vapnenaca vjerojatno nije samo u tektonici područja, nego i u karakterističnoj strukturi.

Detaljna inženjerskogeološka, geološka i strukturna istraživanja potpomognuta brojnim istražnim bušotinama, geofizičkim istraživanjima i brojnim laboratorijskim analizama koja su provedena omogućila su pribavljanje podataka koji su dostatni za geotehničko projektiranje vrlo zahtjevnih objekata. Nažalost, redosljed istražnih radova koji nameću stručni kriteriji (analiza postojeće dokumentacije, analiza foto snimaka, terensko kartiranje, geofizički istražni radovi, istražno bušenje, "in situ" i laboratorijska ispitivanja) u ovakvim projektima je često zanemaren bez obzira što bi dao još bolje stručne i ekonomske rezultate.

8. LITERATURA

- MATIČEC, D. & FUČEK, L. (1999): Geotehnički projekt, Jadranska autocesta, Poddionica Sveti Rok - tunel "Sveti Rok" - Maslenica, Inženjerskogeološki istražni radovi (litostratigrafija i tektonika). Knjiga C.3.2.- Institut za geološka istraživanja, Arh broj: 81/99, Zagreb.
- MITROVIĆ, G. (1999): Geotehnički projekt, Jadranska autocesta, Poddionica Sveti Rok - tunel "Sveti Rok" - Maslenica, Geofizički istražni radovi, Knjiga C.5.2.- IGH, Zavod za geotehniku, Zagreb.
- POLLAK, D., MATIČEC D., FUČEK, L., BLAGUS, Z., NAVRATIL, D. & KOLARIĆ, J. (1999): Geotehnički projekt, Jadranska autocesta, Poddionica Sveti Rok - tunel "Sveti Rok" - Maslenica, Inženjerskogeološki istražni radovi, Knjiga C.3.2.- Institut za geološka istraživanja, Arh broj: 81/99, Zagreb.
- SEŠAR, S. & VRKLJAN, I. (1999): Geotehnički projekt, Jadranska autocesta, Poddionica Sveti Rok - tunel "Sveti Rok" - Maslenica, Laboratorijski istražni radovi, Knjiga C.6.2.- IGH, Zavod za geotehniku, Zagreb.





Osnovni kriteriji odabira metode kondicioniranja podzemne vode

Basic Principles in Selection of Ground Water Purification Method

Zlatko POLLAK¹ & Davor POLLAK²

Ključne riječi: vodoopskrba, hidrogeologija, kondicioniranje podzemne vode.

Key words: Water supply, Hydrogeology, Purification of ground water.

Sažetak

Podzemna voda je obnovljiva mineralna sirovina. Usprkos tome njezine su količine ograničene, izložene mogućnosti zagađivanja i veoma često u potpunosti ne odgovaraju namjeni.

Kakvoća podzemnih voda prvenstveno ovisi o hidrogeološkim, hidrokemijskim i mikrobiološkim značajkama vodonosnika i njegove neposredne krovine odnosno podine.

U većini slučajeva obnavljanje rezervi podzemne vode odvija se u širem prostoru i često taj proces ima regionalno značenje. Za kakvoću podzemne vode presudni su lokalni hidrokemijski uvjeti. To znači da se hidrogeološke jedinice ne mogu uvijek poistovjetiti s hidrokemijskim jedinicama. Zbog toga je detaljno poznavanje svih relevantnih čimbenika uvjet pravilnog odabira najpovoljnije metode kondicioniranja podzemnih voda, čija kakvoća u potpunosti ne odgovara predviđenoj namjeni.

Za odabir optimalnog načina kondicioniranja uz stručne kriterije ne manje značenje imaju troškovi izvedbe te pogonski troškovi održavanja postrojenja.

Abstract

Ground water is the only rechargeable mineral resource. Despite of that ground water resource is limited, it can easily be polluted and its quality is often below the limit we hope for.

The quality of ground water mainly depends on hydrogeological, hydrochemical and microbiological conditions in the aquifer and its surroundings.

Replenishment of ground water in most cases depends on regional zone and has regional meaning, but the quality of the ground water is mainly under influence of local hydrochemical conditions.

That means that hydrogeological units are usually not equal to hydrochemical units. Therefore understanding of all relevant factors for both units are of vital importance in proper selection of ground water purification method. Of course, beside those factors, in determining the most suitable ground water purification method capital investment as well as maintenance costs should be evaluated.

1. UVOD

Količine ispravne podzemne vode, koje se koriste za piće, su ograničene. Za vodoopskrbu se mogu koristiti i neispravne podzemne vode, no u tom se slučaju provodi njihovo pročišćavanje.

Pročišćavanje se može provoditi na dva načina: konvencionalnim postupkom i pročišćavanjem u samom vodonosniku.

Konvencionalnim načinom se kondicioniranje podzemnih voda provodi na površini terena u posebnim građevinskim objektima, te primjenom različitih uređaja odnosno kemikalija.

Kondicioniranje podzemnih voda "in situ", tj. u samom vodonosniku započelo se u svijetu 70-ih godina. Takav zahvat, uz geološka i hidrogeološka ispitivanja područja, zahtjeva i hidrokemijska ispitivanja podzemnih voda. Međutim, o načinu kondicioniranja vode ne odlučuju samo stručni kriteriji, nego i ekonomski. Na cijenu cjelokupnog projekta utjecat će mnogi faktori kao što su kapacitet postrojenja, količina i vrsta zagađenja, izrada postrojenja, ali u velikoj mjeri i održavanje postrojenja tijekom dugotrajnog rada.

U članku se analiziraju dosadašnja saznanja o kondicioniranju podzemnih voda u svijetu i neka iskustva u Hrvatskoj. Glavno težište je dano na pokušaj određiva-

¹ Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

nja osnovnih kriterija odabira metode kondicioniranja podzemne vode.

2. KONVENCIONALNO KONDICIONIRANJE PODZEMNIH VODA

Konvencionalno pročišćavanje podzemnih voda prije korištenja provodi se tretmanom voda na površini terena. Osnovne faze pročišćavanja voda prikazane su na sl. 1.

S obzirom na tehnološki aspekt uklanjanje sastojaka iz vode se u osnovi može provoditi na dva načina:

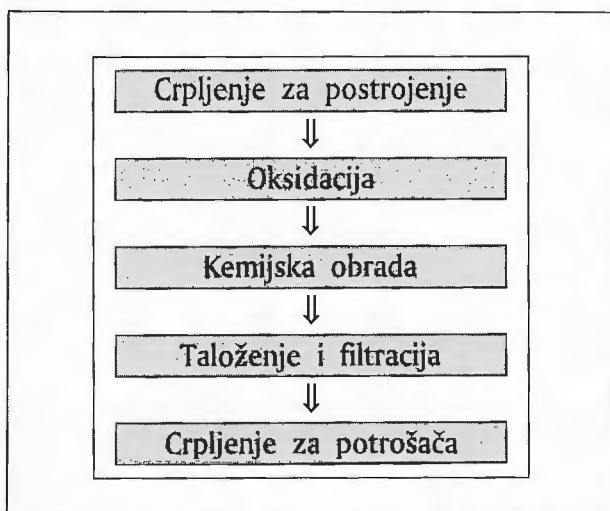
- 1) otvorenim postupkom - korištenjem odgovarajućih bazena, te
- 2) zatvorenim postupkom - gdje se kondicioniranje vode provodi u posebnim kotlovima u kojima se voda i injektirani zrak nalaze pod pritiskom.

Veličina građevinskog objekta i način tehnološkog procesa uvjetovan je u osnovi prisutnošću nepoželjne tvari i količinom podzemne vode koju treba kondicionirati.

Najčešće se crpljenje podzemne vode provodi odgovarajućim crpnim agregatima, a samo u rijetkim prilikama omogućena je eksploatacija arteškim izljevanjem. O dubini podzemne vode - statičkoj i dinamičkoj razini ovisi odabir crpnog agregata i utrošak energije.

U cilju otklanjanja nepoželjnih otopljenih tvari u vodi anoksična se podzemna voda izlaže kisiku; kod primjene otvorenih sistema voda se raspršuje posebnim uređajima, a kod zatvorenih sistema zrak se u kotlove utiskuje kompresorima.

Nakon sektora aeracije u izgrađenim se prostorima provodi flokulacija, koja katkada mora biti pospješena dodavanjem određenih kemijskih sredstava da bi se nepoželjni metali uspješno uklonili u sektoru filtracije.



Sl. 1 Kondicioniranje podzemne vode konvencionalnim postupkom.
Fig. 1 Conventional method of ground water purification.

Nakon toga se iz posebnih akumulacijskih bazena voda odgovarajućim crpkama tlači u rezervoarski prostor odnosno direktno u mrežu korisnika.

Broj i veličina bazena odnosno kotlova ovisi o crpljenim količinama podzemne vode, o količini i kemijskoj formi pojavljivanja nepoželjne tvari te o operativnim zahtjevima učestalosti čišćenja bazena i promjene filterskog sloja.

Primjenom ove metode kondicioniranja podzemne vode nije otklonjena mogućnost kolmiranja filterskog dijela konstrukcije zdenca, te nema mnogo primjera njezine aplikacije pri visokom sadržaju metalnih iona (>5 mg/l). Kod ove metode je posebno prisutan problem otpadnih voda koje nakon pranja filtera trebaju negdje biti odložene.

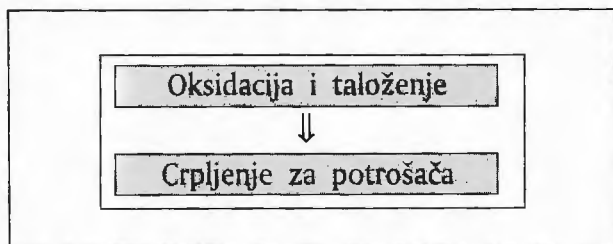
U Hrvatskoj postoji čitav niz uređaja kojima se u većoj ili manjoj mjeri uspješno uklanjaju nepoželjne tvari iz vode. Navesti ćemo dva ekstremna primjera gdje zbog nedovoljnog poznavanja hidrokemije podzemnih voda primjenjena rješenja nisu zadovoljavajuća. Vodoopskrba Bjelovarskog područja rješavala se eksploatacijom plićeg dijela (30 m) vodonosnika u Delovima kod Novigrada podravskog. Zbog prekomjerne količine željeza i mangana, te neadekvatne eksploatacije potpuno su uništeni prvi eksploatacijski zdenci, a transportirana željezovita voda na 6 km udaljeno deferizacijsko postrojenje na Javorovcu uzrokovala je ozbiljno smanjivanje protočnosti tlačnog cjevovoda. Naknadna istraživanja i kaptiranja dubljeg dijela istog vodonosnika pokazala su da je u tom dijelu željezo prisutno samo u tragovima.

Čini nam se da je primjer industrijskog crpilišta tvornice "Zdenka" još drastičniji zbog toga što je posve bez potrebe izvedeno deferizacijsko postrojenje kojim je trebala biti kondicionirana "neispravna" podzemna voda. Eksploatacijom se pokazalo da željezo u podzemnoj vodi nije bilo prisutno, pa su uzalud utrošena značajna financijska sredstva.

Sasvim je izvjesno da na čitavom nizu crpilišta koja karakteriziraju željezovite i manganske podzemne vode (Garešnica, Vinkovci, Osijek, Ravnik, Dubrovčak itd.) nisu postignuti zadovoljavajući rezultati prvenstveno u smislu očuvanja filterskog dijela konstrukcije i trajne eksploatacije podzemne vode.

3. KONDICIONIRANJE PODZEMNIH VODA "IN SITU"

U svijetu su učinjeni mnogi naponi da se željezo i mangan iz podzemne vode uklone na jednostavniji i posebice jeftiniji način. Jedan pokušaj se bazira na finsko/švedskom otkriću - kondicioniranju podzemne vode u samom vodonosniku. Ovaj postupak kondicioniranja "in situ" poznat je pod nazivom Vyredox metoda (HALLBERG & MARTINELL, 1976; POLLAK, 1979; MARTINELL, 1980). Prije nego se prikaže ova relativno novija hidrogeološka metoda treba reći nešto općenito



Sl. 2 Kondicioniranje podzemne vode "in situ".

Fig. 2 "In situ" ground water purification.

to o relevantnim hidrogeološkim odnosima u podzemlju.

Prisutnost nepoželjnih tvari u podzemnoj vodi prvenstveno ovisi o hidrogeološkim odnosima u vodonosniku uključujući i prisutnost autohtonih bakterija (POLLAK & MARUŠIĆ, 1994). Željezo i mangan mogu u podzemnoj vodi biti prisutni u različitim formama. Njihova topljivost ovisi prvenstveno o redoks potencijalu i pH vrijednosti okoliša. Praktična mjerenja su pokazala da se pri padu redoks potencijala (Eh) ispod 230 mV povećava količina željeza i mangana u podzemnoj vodi (HALLBERG & MARTINELL, 1976). Neke bakterije - MIB Metal Immobilising Bacteria, za svoj metabolizam koriste energiju koja se oslobada prilikom oksidacije željeza i mangana pa oni u netopivoj formi ostaju u bakterijama ili na njihovoj površini.

Vyredox se postupkom postiže veći stupanj oksidacije u samom vodonosniku. To se postiže na taj način da se u eksploatacijskom polju u sam vodonosnik utiskuje voda obogaćena kisikom (Vyredox - I) odnosno zrak (Vyredox - IV).

Na sl. 2 se mogu vidjeti osnovne faze kondicioniranja podzemne vode "in situ" postupkom.

Za razliku od konvencionalnog postupka ovim se načinom uklanjanje nepoželjnih tvari provodi u samom vodonosniku. Broj i raspored injekcijskih zdenaca kao i način i učestalost tretmana podzemnih voda ovisi o hidrogeološkim i hidrokemijskim značajkama kaptiranog vodonosnika.

U podzemnoj vodi obogaćenoj kisikom, uz iniciranje kemijskih procesa, pospješuje se proliferiranje MIB-a, što sve rezultira uklanjanjem željeza, mangana i neugodnog sumporovodika u kaptiranom vodonosniku.

Procesi taloženja željeza i mangana u porama vodonosnika imaju neznatan utjecaj na propustljivost vodonosnika. Proračuni pokazuju, a što je verificirano i u praksi (POLLAK & MARTINELL, 1986; POLLAK, 1994; BARILIĆ, 1998), da će proces kolmatacije vodonosnika biti nekoliko puta sporiji od životnog vijeka eksploatacijskog zdenca iz kojega se crpi podzemna voda prekomjerno obogaćena željezom i manganom.

Kondicioniranje podzemne vode u samom vodonosniku ima nekoliko prednosti pred konvencionalnim postupcima uklanjanja željeza i mangana iz podzemne vode:

- 1) mogućnost uklanjanja i većih količina željeza i mangana iz podzemne vode;
- 2) postupkom se preventivno sprečava kemijska kolmatacija i inkrustacija filtarskog dijela konstrukcije zdenca, što je redovita pojava pri crpljenju neispravnih podzemnih voda, kao i onih koje katkada imaju i manju količinu željeza i mangana nego se traži "Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće" (NARODNE NOVINE, 1994), a to praktično znači produljivanje životnog vijeka eksploatacijskih zdenaca;
- 3) nema potrebe evakuiranja i naknadnog tretiranja voda kao pri ispiranju filtera klasičnih postupaka kondicioniranja;
- 4) manji su troškovi u fazi investiranja postrojenja, a posebice u fazi eksploatacije zbog manjeg utroška energije i izostanka troškova primjene kemijskih sredstava.

Veoma dobri rezultati kondicioniranja podzemnih voda "in situ" ostvareni su kod nas na nekim crpilištima grada Karlovca i Garešnice (POLLAK, 1984).

4. OSNOVNA ISTRAŽIVANJA ZA ODABIR METODE KONDICIONIRANJA PODZEMNE VODE

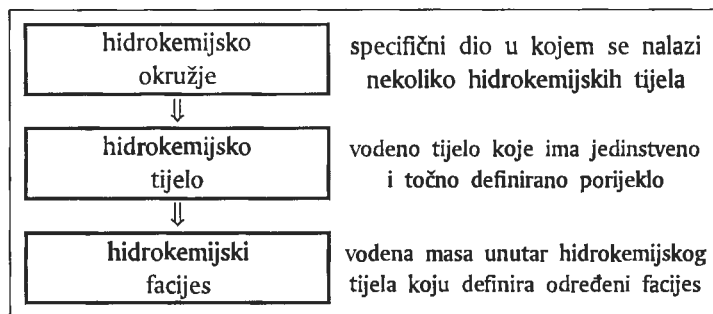
U pragmatičnom se smislu osnovna istraživanja za odabir najpovoljnije metode kondicioniranja podzemnih voda moraju usmjeriti u dva pravca: 1) istraživanja hidrogeološke sredine i 2) istraživanje troškova kondicioniranja.

1) Kako uspješna primjenljivost načina kondicioniranja podzemnih voda ovisi o *potpunom poznavanju hidrogeoloških odnosa ispitivanog vodonosnika* daje se kraći prikaz osnovnih i potrebnih saznanja o istraživanoj hidrogeološkoj sredini.

Podzemne vode po svom kemijskom sastavu mogu jako varirati, pa se može smatrati (STUYFZAND, 1999) da njega prvenstveno uvjetuje:

- 1) porijeklo (marinsko, meteorsko, konatno, metamorfno, magmatsko, vulkansko, plutonsko i juvenilno);
- 2) način i obim obnavljanja;
- 3) interakcija s: atmosferom - uglavnom transpiracijom; biosferom - posebice generiranjem CO₂ i organskih kiselina; s litosferom;
- 4) antropogeno zagađivanje;
- 5) temperatura odnosno pritisak.

Isti je autor već 1993. god. uveo pojam hidrokemij-ski sistem u podzemlje (sl. 3), koji je definirao na slijedeći način: "Unutar određenog hidrotijela kemijski sastav vode varira u vremenu i prostoru u zavisnosti o uvjetima obnavljanja i značajkama podzemnog toka, kao i o kemijskim procesima koji se odvijaju između vode i poroznog medija."



Sl. 3 Grafički prikaz hidrokemijskog sistema (adaptirano prema STUYFZAND-u, 1999).

Fig. 3 Scheme of hydrochemical system (according STUYFZAND, 1999, adapted).

Takve se promjene u hidrokemijskim značajkama koriste za potpodjelu hidrotijela u karakteristične zone ili "hidrokemijske facijese". Ovaj je termin još 1960. god uveo Black (STUYFZAND, 1999).

Kao ilustracija navedenog prikaza može poslužiti *hidrokemijski prostor* crpilišta Petruševac u Zagrebu s nekoliko *hidrokemijskih tijela* sa svojim specifičnim *hidrokemijskim facijesima* (POLLAK & POLLAK, 1999).

Kemizam podzemnih voda u prostoru Petruševac u Zagrebu temeljen je na *hidrokemijskim tijelima*:

- voda generiranih na račun oborina,
- voda generiranih na račun površinskog toka rijeke Save,
- voda iz dubljih hidrogeoloških sredina (starijih od kvartara).

Tako će primjerice prisustvo eluata iz gudrona predstavljati pojavnost jednog *hidrokemijskog facijesa* unutar *hidrokemijskog tijela*, te sa svojim specifičnostima definirati određenu *hidrokemijsku sredinu*.

Točno definiranje hidrotijela, kao i *hidrokemijskog facijesa*, zbog uobičajenog načina kojim se kod nas provode istraživanja i monitoring, nije moguće.

Naime, za potpuno i cjelovito saznanje o hidrokemijskim odnosima u podzemlju, potreban je znatno drugačiji način kaptiranja vodonosnika. Instaliranjem "minifiltera", a posebno usmjerenim kemijskim i mikrobiološkim analizama, dobiti će se relevantni parametri za određivanje hidrokemijskih odnosa u vodonosniku.

Definiranje tih odnosa ne pomaže samo razumijevanju i interpretaciji kemije podzemnih voda, već u pragmatičnom smislu direktno utječe na pravilan pristup odabira načina kondicioniranja podzemnih voda na predmetnom prostoru.

2) U skladu s istraživanjima *određivanje troškova* bitna je odrednica odabira povoljnosti metode pročišćavanja podzemne vode. Troškovi kondicioniranja bazirani su na načinu zahvatanja i kakvoći podzemne vode, te na investicijskim ulaganjima i pogonskim troškovima održavanja uređaja za kondicioniranje. U cilju dobivanja generalnog uvida u troškove kondicioniranja podzemnih voda različim postupcima izrađen je grafički prikaz (sl. 4).

Pri izradi dijagrama prikazanog na sl. 4 korišteni su okvirni podaci iz skandinavskih zemalja, kao i dosadašnja naša iskustva za uvjete u Hrvatskoj.

5. ZAKLJUČAK

Sve veće potrebe za dobrom pitkom vodom razlog su nastojanju da se i neispravne pitke vode koriste za vodoopskrbu. To se može ostvariti njezinim kondicioniranjem.

Najčešći razlog neispravnosti podzemne vode jest prekomjerna prisutnost iona željeza i mangana u vodi. Mnoge podzemne vode u sjevernom dijelu Hrvatske upravo zbog tog razloga ne mogu se bez prethodnog tretmana koristiti za piće.

Kako bi se ove nepoželjne tvari, koje često prati i sumporovodik, uklonile iz vode potrebno je provesti njezino kondicioniranje.

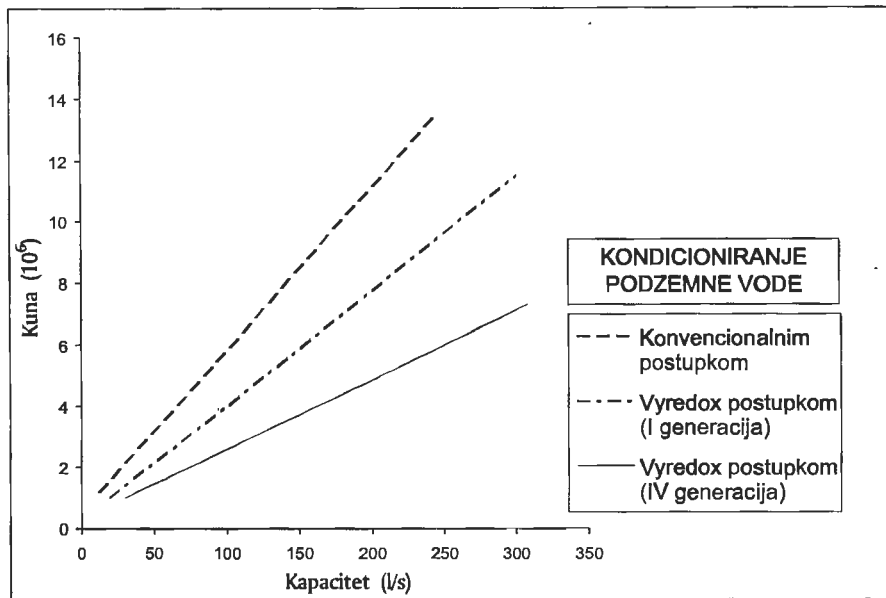
Kakvoća podzemnih voda može se poboljšati u osnovi na dva načina:

- 1) *Klasičnim - konvencionalnim postupkom* - podzemne se vode nakon eksploatacije tretiraju zrakom, po potrebi i kemijskim sredstvima, u posebnim građevinskim objektima, gdje se provodi i njezino filtriranje prije distribucije u mrežu korisnika.
- 2) *Kondicioniranje "in situ"* - provodi se u samom vodonosniku, gdje se uklanjanje nepoželjnih tvari ostvaruje mikrobiološkim i kemijskim procesima u podzemlju, nakon čega se ispravna voda može direktno crpiti i koristiti.

S obzirom na to da se uklanjanje nepoželjnih tvari kondicioniranjem "in situ" može uspješno provoditi i kod visokih koncentracija metalnih iona (na pr. željezo iznad 15 mg/l), te da pri primjeni metode "in situ" nema problema s otpadnim vodama i kolmatacijom filtera dijela konstrukcije zdenca, ova metoda ima značajne prednosti pred kondicioniranjem podzemnih voda konvencionalnim postupkom.

Prednost je posebno naglašena uspoređujući investicijske troškove, te troškove održavanja postrojenja.

Smatramo da bi osnovni kriteriji za odabir najpovoljnije metode kondicioniranja podzemnih voda trebali biti:



Sl. 4 Troškovi kondicioniranja podzemne vode.

Fig. 4 Absolute costs of ground water purification.

- potpuno poznavanje hidrogeoloških i posebice hidro-kemijskih odnosa predmetnog područja;
- sprečavanje inkrustacije filterskog dijela konstrukcije eksploatacijskog zdenca tijekom korištenja, što znači produživanje njegovog životnog vijeka;
- zaštita hidrogeološke sredine i okoliša općenito, zbog možebitnih nusprodukata kondicioniranja, a pri tome se prvenstveno misli na otpadne vode;
- troškovi izvedbe i održavanja postrojenja kondicioniranja podzemnih voda.

Različiti hidrogeološki uvjeti zahvatanja podzemnih voda, promjena stanja vodonosnika uzrokovano načinom i intenzitetom eksploatacije te njegovim prihranjivanjem, iziskuju veoma temeljita i kompleksna hidro-kemijska istraživanja. Sagledavanje svih relevantnih čimbenika uvelike će nam pomoći pri odabiru optimalnog postupka kondicioniranja podzemnih voda i omogućiti njezino trajno korištenje i trajnu zaštitu.

Zahvala

Ovaj je rad jedan od rezultata istraživanja koja se provode u okviru znanstvene teme "Mogućnost eksploatacije i zaštite vodonosnika Hrvatske" uz financijsku potporu Ministarstva za znanost i tehnologiju Republike Hrvatske te Hrvatskih voda, na čemu im se posebno zahvaljujemo.

LITERATURA

- BARILIĆ, D. (1998): Problemi kolmatacije kod zdenaca lociranih u blizini površinskog toka na primjeru crpilišta Gaze.- Magistarski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- HALLBERG, R. & MARTINELL, R. (1976): Vyredox in situ purification of ground water.- *Groundwater*, 14, 88-93.
- MARTINELL, R. (1980): Controlled water treatment in soil, in situ removal of Iron and Manganese according to Vyredox method.- IWSA Standing Committee on Water Quality and Treatment, 17-22, Paris.
- NARODNE NOVINE (1994): Pravilnik o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće.- *Narodne novine*, 46, Zagreb.
- POLLAK, Z. (1979): Mogućnost odstranjivanja željeza i mangana iz podzemne vode primjenom Vyredox metode.- *Građevinar*, 12, 530-532, Zagreb.
- POLLAK, Z. (1984): Odstranjivanje željeza i mangana iz podzemnih voda primjenom deferizacijskog postupka u samom vodonosniku na primjeru crpilišta u Karlovcu.- *Simpozij o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji*, Nacionalni komitet IAH-a, Zbornik radova, 337-345, Budva.
- POLLAK, Z. & MARTINELL, R. (1985): Subsurface water purification containing different substances among others Iron and Manganese - an example of the biggest Vyredox plant in Europe.- *V Congresso Internazionale sulle Acque Sottorranee*, Taormina.
- POLLAK, Z. & MARUŠIĆ, R. (1994): Prisutnost bakterija koje imobiliziraju metale u nekim vodonosnicima sjeverne Hrvatske.- *Hrvatske vode*, 2, 549-561, Zagreb.
- POLLAK, Z. (1994): Hidrogeološki odnosi u vodonosniku uz rječni tok nakon dugotrajne eksploatacije i postupka deferizacije.- *1. hrvatski geološki kongres*, Zbornik radova, 2, 469-475, Opatija.
- POLLAK, Z. & POLLAK, D. (1999): Novi pristup kondicioniranju podzemnih voda na primjeru crpilišta Petruševac u Zagrebu.- *Hrvatske vode*, 29, 381-394, Zagreb.
- STUYFZAND, P.J. (1999): Patterns in groundwater chemistry resulting from groundwater flow.- *Hydrogeology Journal*, 7/1, 15-28, Heidelberg.





Mogućnosti vodoopskrbe iz slijeva izvora uz istočni obod Kninskoga polja

Water-Supply Possibility from Recharge Areas of Springs Situated along the Eastern Edge of the Kninsko Polje

Ante RENIĆ & Ante PAVIČIĆ

Ključne riječi: hidrogeologija krša, hidrogeološke barijere, vodoopskrba, Dinara, slijev Krke.

Key words: Karst hydrogeology, Hydrogeological barrier, Groundwater supply, Dinara Mt., Krka river catchment.

Sažetak

Podzemne vode iz prostranog krškog područja sjeverozapadne Dinare, Podinarja, zapadnih padina Šator planine te terena istočno od Bosanskog Grahova istječu na više veoma izdašnih krških izvora uz istočni obod Kninskog polja. Koncentrirana pojava ovih izvora uvjetovana je povoljnim rasporedom propusnog područja i hidrogeoloških barijera Kninskog polja, građenog iz nepropusnih perm trijaskih i neogensko kvartarnih naslaga i antiklinalne strukture Krčić, čija jezgra je građena iz nepropusnih gornjotrijaskih dolomita.

U vrijeme malih voda na izvorima ukupno istječe oko 1800 l/s vode. Za vodoopskrbu se danas koristi samo oko 90 l/s. Voda je odlične kvalitete, zahvaljujući činjenici da je najveći dio slijeva nenastanjeno područje, trenutno bez ikakve gospodarske aktivnosti. Potencijalni onečišćivač je grad Bosansko Grahovo u rubnom dijelu slijeva, čiji proces obnove i urbanizacije je potrebno prilagoditi maksimalnoj zaštiti podzemnih voda.

Abstract

Groundwater from a large karst area situated northwest of the Dinara Mt., Podinarje, west slopes of the Šator Mt. and terrains east of Bosansko Grahovo outflows through several major karst springs along the eastern edge of the Kninsko Polje. A concentrated occurrence of these springs is caused by an appropriate sequence of permeable rocks and hydrogeological barriers of the Kninsko Polje that was built of Permo-Triassic and Neogene-Quaternary deposits, including the Krčić anticlinal structure, the core of which is composed of waterproof Upper Triassic dolomites.

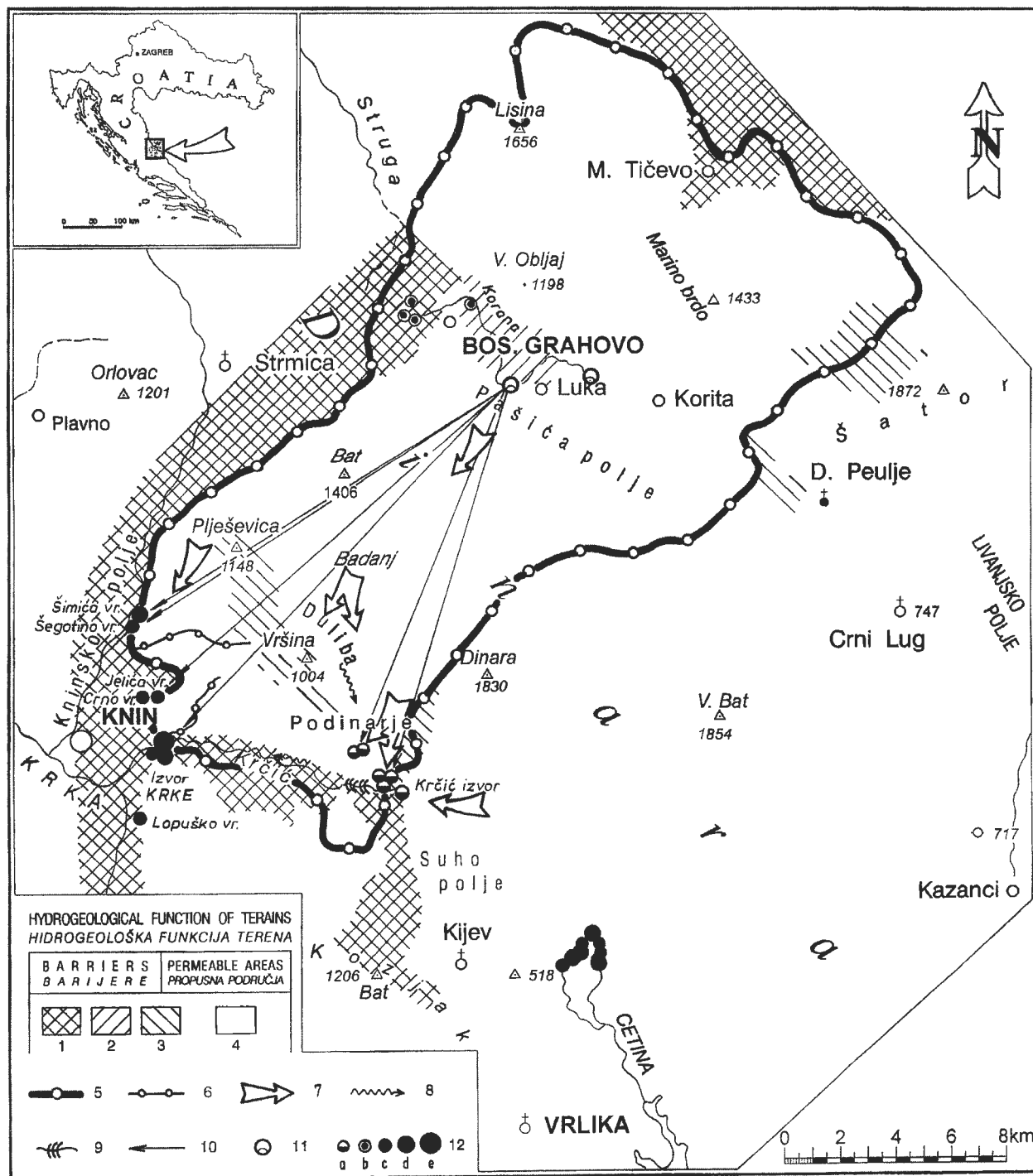
During a low stage water flow, about 1800 l/s of water flows out from these springs. Only 90 l/s is being now used for public water supply. This water is of a high quality due to the fact that the largest part of the recharge area is uninhabited and without any agricultural use. A potential source of pollution is, for the time being, the town of Bosansko Grahovo, situated in a peripheral part of the spring recharge area and which has to be adjusted to the groundwater protection.

1. UVOD

Slijev veoma izdašnih krških izvora uz istočni obod Kninskog polja (PAVIČIĆ, 1981) obuhvaća najsjeverniji dio Dalmacije, te manjim dijelom teritorij Bosne i Hercegovine (sl. 1). U morfološkom smislu u slijevu se ističu sjeveroistočni dijelovi masiva Dinare, posebno najviši gorski hrbat s vrhovima: vrh Dinara (1831 m n.m.), Bukvin vrh (1530 m n.m.), Bat (1406 m n.m.) i drugi. Ovaj masiv je dio visokogorske zone u kojoj je karakterističan splet nepravilno raščlanjenih grebena, uvala i kotlina. Jugozapadno od strmih padina Dinare je

niže položeno prostrano područje Podinarja s manjim stupnjem vertikalne raščlanjenosti reljefa, u koje je usječena dolina Krčića pružanja istok-zapad. Istočni dio Podinarja je zaravnjeno, bezvodno i golo Suho polje. U bližem zaleđu izvora uz istočni obod Kninskog polja, dominiraju brda Crna glava (785 m n.m.), Vršina (1004 m n.m.), Plješevica (1148 m n.m.) i Badanj (1281 m n.m.), te Golubičko suho polje od kojega se nastavlja Duliba, duga suha jaruga prema jugoistoku i jugu sve do gornjeg toka Krčića.

Na području susjedne države Bosne i Hercegovine u razmatranom slijevu su uz sjeveroistočne grebene Dina-



Sl. 1 Hidrogeološka karta. Legenda: 1) potpuna hidrogeološka barijera; 2) viseća hidrogeološka barijera; 3) djelomična hidrogeološka barijera; 4) propusno područje; 5) podzemna razvodnica; 6) lokalna razvodnica; 7) pretpostavljeni smjer glavnog toka podzemne vode; 8) povremeni tok površinske vode; 9) ponorna zona; 10) utvrđena podzemna vodna veza ponor-izvor; 11) ponor; 12) izvor, minimalna izdašnost (l/s): a) povremen, b) <1, c) 10-100, d) 100-1000, e) >1000.

Fig. 1 Hydrogeological map. Legend: 1) true hydrogeological barrier; 2) hanging hydrogeological barrier; 3) partial hydrogeological barrier; 4) permeable area; 5) groundwater divide; 6) local groundwater divide; 7) assumed direction of main groundwater flow; 8) intermittent groundwater flow; 9) zone of ponors; 10) underground water connection ponor-spring, proved; 11) ponor (swallow hole); 12) spring, minimal discharge (l/s): a) intermittent, b) <1, c) 10-100, d) 100-1000, e) >1000.

re istočni dio Grahovskog polja i istočno od Bosanskog Grahova prostrano i većim dijelom kamenito Pašića polje.

Najudaljenijim dijelovima slijeva pripadaju sjeverozapadne padine Šator planine, južni dio područja Tiče-

va, te Marino brdo i Veliki Obljaj. Gotovo cijeli slijev je tipično krško područje u kojemu su prisutni svi vanjski i unutrašnji krški reljefni oblici. Na području slijeva velike su klimatske raznolikosti (FILIPČIĆ, 1992). Temeljno obilježje klime su suha ljeta s visokim tempe-

raturama i relativno blage zime s jakom i brzom izmjenom ciklona u nižim dijelovima slijeva, što uvjetuje promjenljivo vrijeme. Veći dio slijeva je visoka planinska barijera, gdje se sukobljavaju sredozemna klima i utjecaji iz kontinentalne unutrašnjosti. Padaline u obliku kiše i snijega koncentrirane su u hladnoj polovici godine (listopad - ožujak), kada padne i preko 70% od ukupne količine godišnjih padalina. Topla polovica godine je suha, a u tri ljetna mjeseca padne samo 17% od godišnjih količina padalina.

U Kninu je u prosjeku 1130 mm padalina godišnje. U području Dinare i Bosanskog Grahova količina padalina raste s porastom nadmorske visine. Snijeg se na Dinari zadržuje tijekom cijele zime i naglo se otapa pojavom toplih vjetrova u proljeće, što uzrokuje bujične površinske tokove i nagle poraste izdašnosti izvora.

Biljni pokrov je izrazito zonalnog rasporeda. U nižim dijelovima terena na oskudnoj krškoj podlozi prevladava makija. Bukva je više očuvana na sjevernim osojnim padinama Dinare iznad 1000 m, te na padinama Šator planine, a na prisojnim padinama Dinare bukva je sačuvana na krševitim terenima. Najviši dijelovi terena sežu u pojas klekovine, dok su grebeni i vrhovi izrazita golet.

Riječna mreža u slijevu veoma je oskudna. Na sjeveru kroz Pašića polje teče povremeni vodotok Korana, čije vode poniru na više ponora uz rub polja. U južnom dijelu je 10,5 km dugi povremeni vodotok Krčić, koji se preko slapa Topolje ulijeva u izvorište Krke. U gorskom području tek lokalno su prisutne kratke vododerine iz kojih bujične vode poniru u podzemlje. Izuzetak je duga strma jaruga Duliba, desni pritok Krčića u gornjem toku, kroz koju se formira brzotok u vrijeme izrazito jakih kiša.

Najveći dio slijevnog područja gotovo u potpunosti je nenaseljen, a veće naselje je Bosansko Grahovo, s nekoliko manjih sela u okolici.

2. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Slijevno područje više izvora uz istočni obod Kninskog polja, prema HERAKU (1986), pripada strukturnom kompleksu dinarske karbonatne platforme - Dinariku. Komplikirana strukturna građa slijevnog područja rezultat je rasjedanja, boranja i poremećaja pretežno uzduž navlačnih ploha u zoni izviranja na području Kninskog polja.

U građi terena zastupljeni su litostratigrafski članovi od permtrijasa do kvartara, a najveći dio slijeva grade vapnenci i dolomiti sedimentirani od gornjeg trijasa do kraja krede (GRIMANI et al., 1972). Prema hidrogeološkim svojstvima stijena, njihovom strukturno-tektonskom položaju i morfološkim značajkama terena određene su hidrogeološke funkcije pojedinih dijelova slijeva. Izdvojene su hidrogeološke barijere i propusna područja (PAVIČIĆ, 1981). Potpuna hidrogeološka barijera je Kninsko polje meridionalnog pružanja, koje sa

sjevernim nastavkom Golubičkim poljem uvjetuje prelijevanje podzemnih voda iz propusnog područja istočno od polja preko kontaktnih izvora uz istočni obod Kninskog polja.

Ovu barijeru grade donjotrijaski klastiti i permtrijaski gipsevi, u Kninskom polju prekriveni debelim kvartarnim taloženjima. Područje Strmica - Bosansko Grahovo potpuna je hidrogeološka barijera izgrađena iz donjotrijaskih i srednjotrijaskih klastičnih i manjim dijelom karbonatnih naslaga. Na tom dijelu terena razvila se površinska hidrografska mreža, a česta je i pojava izvora male izdašnosti. Ova hidrogeološka barijera sprječava tečenje podzemnih voda prema Strmici i usmjerava vode na jugozapad. U krajnjem sjevernom dijelu slijeva u području Tičeva, gornjotrijaski dolomiti i lijaski dolomiti s nešto vapnenaca grade potpunu hidrogeološku barijeru koja sprječava tečenje podzemnih voda prema slijevu rijeke Une.

Viseću hidrogeološku barijeru u području zapadnog dijela Pašića polja grade neogenski laporoviti vapnenci i laporoviti i glinoviti slojevi pliocena (SLIŠKOVIĆ & TAHIROVIĆ, 1986). Na Pašića polju povremeno je aktivan vodotok Korana, a podzemne vode iz terena sjeverno od Pašića polja otječu ispod viseće barijere. U južnom dijelu slijeva funkciju potpune podzemne i površinske hidrogeološke barijere ima antiklinala Krčić s pružanjem osi istok-zapad, čiju jezgru grade gornjotrijaski dolomiti. Ova barijera usmjerava sve podzemne vode iz terena sjeverno od osi antiklinale generalno na zapad. Tektonski blok Vučja glava izgrađen iz dogerskih vapnenaca i dolomita, kao istočni nastavak antiklinale Krčić, potpuna je hidrogeološka barijera neposredno južno od izvora Krčića.

Unutar slijevnog područja izdvojene su i lokalne hidrogeološke barijere koje u pojedinim dijelovima slijeva usporavaju ili usmjeravaju tečenje podzemnih voda prema izvorima. To je područje sinklinale Vršina i monolitnog tektonskog bloka Pleševice izgrađenih iz slabo propusnih "mrljastih" tankoslojevitih vapnenaca, odnosno malmskih dolomita i vapnenaca. Ove su naslage slabo okršene, a zbog malog rasprostiranja i položaja unutar propusnog područja imaju samo lokalno funkcije pravih hidrogeoloških barijera. Ulogu nepotpune barijere ima uska zona neposredno nizvodno od najuzvodnijeg izvora Krčića između potpune barijere Vučje brdo i grebena masiva Dinare. Ova barijera uvjetuje pojavu izvora Krčića i površinsko otjecanje u vrijeme velikih i srednjih voda. U vrijeme malih voda podzemne vode ne istječu na izvor, već se podzemno prelijevaju kroz slabo propusne vršne dijelove hidrogeološke barijere, što potvrđuju podaci s piezometarskih bušotina (PAVIČIĆ, 1981).

Preostali dio slijeva izvora uz istočni obod Kninskog polja je propusno krško područje, gdje su vodonošnici u stijenama s jakom kavernožno-pukotinskom poroznošću i višeslojnom mrežom podzemnih tokova. Vode s površine gotovo trenutno otječu u podzemlje do krških podzemnih kanala koji završavaju na izvorima

uz istočni obod Kninskog polja (Šimića vrelo, Šegotino vrelo, Crno vrelo i izvor Krke), odnosno na povremenim izvorima u vršnom dijelu doline Krčića.

3. MOGUĆNOSTI VODOOPSKRBE I ZAŠTITA VODA

Ocjena mogućnosti vodoopskrbe i zaštite izvorišnih voda temelji se na poznavanju hidrogeoloških odnosa u slijevnom području i režima istjecanja voda na izvorima. Unutar slijevnog područja izvora uz istočni obod Kninskog polja, koristeći funkciju hidrogeoloških barijera, moguće je izdvojiti dva manja podslijeva. U podslijevu potoka Korane u području potpune hidrogeološke barijere zapadno od Bosanskog Grahova, izgrađene iz kompleksa donjotrijaskih tinčastih pješčenjaka, oolitnih vapnenaca i laporovitih vapnenaca, te srednjotrijaskih vulkanogeno-sedimentnih stijena, više je stalnih izvora minimalne izdašnosti manje od 1 l/s. Ukupno iz ovog podslijeva u sušnom dijelu godine istječe potokom Korana do 5 l/s. Dodatnih količina podzemne vode u ovom dijelu slijeva nema, a glavnina padalinskih voda otječe površinom, dok se tek manji dio infiltrira plitko u podzemlje i istječe na spomenutim izvorima male izdašnosti. Izgradnjom površinskih malih akumulacija u plitkim dolinama, za koje postoje povoljni hidrogeološki uvjeti, mogle bi se sačuvati zimske vode za vodoopskrbu u ljetnim mjesecima. Vode iz potoka Korana infiltriraju se u području zapadnog dijela Pašića polja u podzemlje, gdje se zadržavaju u plitkim horizontima neogenskih laporovito vapnenih naslaga. Istražnim hidrogeološkim radovima, te proračunom optimalne izdašnosti dva zdenca izbušena u ovim naslagama na Pašića polju, upućuje se na mogućnost crpljenja 40 l/s vode u sušnom dijelu godine (SLIŠKOVIĆ & TAHIROVIĆ, 1986). Za sada je vodoopskrba Bosanskog Grahova riješena lokalnim vodovodom s izvora u selu Peći, a okolna sela koriste vodu iz kućnih cisterni. Podslijev u području Tičeva na krajnjem sjeveru slijeva grade slabopropusni gornjotrijaski dolomiti. Zbog male slijevne površine izvori u ovom podslijevu redovito presušuju u sušnom dijelu godine, a vode iz tog dijela hidrogeološke barijere napustivši barijeru otječu podzemno generano na jug. Za potrebe vodoopskrbe moguće je i u području barijere Tičeva akumulirati zimske vode.

Sve vode iz prostranog karbonatnog područja slijeva izvora uz istočni obod Kninskog polja istječu na stalnim krškim izvorima Šimića vrelo, Šegotino vrelo, Jelića izvorima, Crnom vrelo i na izvorištu Krke, a u vrijeme velikih i srednjih voda i na izvorima u najgornjem dijelu toka Krčića (FRITZ et al., 1984). Samo u vrijeme ekstremno visokih voda provrije kratkotrajno i pećina Usora nedaleko Vrpolja. Svi ovi izvori imaju u udaljenim dijelovima slijeva zajedničke vode, a tek u bliskom zaleđu vode se zbog utjecaja lokalnih hidrogeoloških barijera Vršine i Pleševice razdvajaju. Od navedenih izvora uz istočni obod Kninskog polja za

sada se za vodoopskrbu koristi dio voda Šimića vrela i manji dio s Crnog vrela. Voda sa Šimića vrela crpi se za vodovod grada Knina. Na crpilištu vodovoda instalirane su 4 crpke, dvije za visoke zone, a dvije za niske zone Knina. Prosječna dnevna potrošnja grada Knina je 7.500 m³, odnosno prosječno 87 l/s. Izmjerena minimalna izdašnost Šimića vrela je 115 l/s, čemu treba dodati i crpnu količinu vodovoda.

Sa Šegotinog vrela, čije se vode ne koriste za vodoopskrbu, istječe u minimumu 90 l/s i otječe u potok Butišnicu. Jelića vrela, gornji i donji, zajedno imaju minimalnu izdašnost oko 90 l/s i sve vode otječu u potok Orašnicu. Na Crnom vrelo nizvodno od kaptaze vodovoda istječe u minimumu 80 l/s, a mali dio, prosječno oko 100 m³ dnevno, odvodi se vodovodom do željezničkog depoa, gdje se koristi kao tehnološka voda, a dio do željezničkog kolodvora Knin za piće.

Najveće količine vode istječu na Glavnom izvoru Krke, čija je do sada izmjerena minimalna izdašnost 1.540 l/s. Voda izbija uzlazno iz vertikalnog kanala u vapnencima lijasa i kroz horizontalni spiljski kanal unutar sedrene barijere slapa Topolje dužine oko 100 m (BOŽIČEVIĆ et al., 1983) teče prema zapadu, i izvire u podnožju slapa Topolje na koti 222 m n.m. Pojava izvora vezana je uz razvitak doline Krčić (PAVIČIĆ & FRITZ, 1986). Manji dio vode, od 150-200 l/s odvodi se zatvorenim cjevovodom s Glavnog izvora Krke na obližnje ribogojilište, a preostali dio slobodno otječe u korito Krke. U sedrenoj barijeri slapa Topolje izgrađena je mala hidroelektrana HE Krčić, koja koristi vode iz korita Krčića. Na potezu od oko 100 m nizvodno od Glavnog izvora Krke uz lijevu obalu još su dva izvora dijelom potopljena vodama Krke. To su Mali izvor Krke minimalne izdašnosti 65 l/s i tzv. Treći izvor Krke minimalne izdašnosti 20 l/s (RENIĆ & PAVIČIĆ, 1981). Vode s oba ova izvora nisu zahvaćene za vodoopskrbu i bez uspora otječu Krkom.

Izvor Krčića je oko 10,5 km uzvodno od slapa Topolje u najvišem dijelu plitke doline na koti 374 m n.m. Povremen je, a gotovo redovito presušuje od kolovoza do listopada. U vrijeme velikih voda u pokrajnjim dolinama je više povremenih izvora. Ukupna maksimalna izdašnost svih izvora Krčića je 35 m³/s, a srednja godišnja 5,5 m³/s (ELEKTROPROJEKT, 1978).

Prema tome, osim voda koje se sada koriste za vodoopskrbu s izvora uz istočni obod Kninskog polja raspolaže se u minimumu s još oko 1.800 l/s vode koja sada slobodno otječe Krkom. Dodatne znatne količine vode mogle bi se zahvatiti u neposrednom zaleđu izvora crpljenjem statičkih rezervi.

Za zaštitu voda u slijevu izvora uz istočni obod Kninskog polja do sada su načinjeni tek minimalni istražni radovi. Određene su zone sanitarne zaštite samo za Šimića vrelo i to detaljno samo za uži dio slijeva, dok su za odredbu hidrogeološke građe u širem dijelu slijeva, koji je zajednički za sve izvore uz istočni obod Kninskog polja, korišteni postojeći podaci. Olakotna je okolnost kod zaštite voda da je slijevno područje nave-

denih izvora najvećim dijelom nenastanjeno, industrijski nerazvijeno i bez poljoprivredne aktivnosti, što su pozitivni elementi kod očuvanja kvalitete podzemnih voda. Jedini nepovoljni element u sjevernom dijelu slijeva je naselje Bosansko Grahovo s dravno-prerađivačkim pogonom, čije je sve otpadne vode predviđeno odvoditi u izgrađeni uređaj za pročišćavanje otpadnih voda. Trenutno (srpanj 1999.) u Bosanskom Grahovu stalno živi dvjestotinjak ljudi, a uređaj za pročišćavanje otpadnih voda nije u funkciji, pa sve otpadne vode Grahova i drvnoindustrijskog pogona otječu u podzemlje. Tom problemu potrebno je posvetiti posebnu pozornost kod urbanizacije i oživljavanja gospodarske djelatnosti Bosanskog Grahova. Očuvanje kvalitete vode potoka Korane je prioritet, jer vode potoka dijelom napajaju lokalne vodonosnike na Pašića polju, a dijelom otječu preko ponora u krško podzemlje.

Za sada je voda na izvorima Šimića vrelo, Šegotino vrelo, Jelića vrelima, Crnom vrelo i izvorima Krke izvršne kvalitete (ŠTAMBUK-GILJANOVIĆ, 1994).

4. ZAKLJUČAK

Na temelju spoznaja o hidrogeološkoj građi slijevnog područja izvora uz istočni obod Kninskog polja, kao i podataka dobivenih višegodišnjim mjerenjima njihove izdašnosti, može se zaključiti da su prirodne mogućnosti za rješavanje vodoopskrbe, kako lokalnog stanovništva u sjevernom dijelu slijeva, tako i šireg područja Knina vrlo dobre.

U sjevernim dijelovima slijeva zapadno od Bosanskog Grahova, preko više malih izvora, ukupno istječe u minimumu oko 5 l/s vode. Dodatnih količina podzemne vode u ovom podslijevu nema. U području zapadnog dijela Pašića polja rezultati hidrogeoloških istraživanja upućuju na mogućnost crpljenja 40 l/s vode u sušnom dijelu godine.

Sve vode iz razmatranog slijeva izviru na izvorima uz istočni obod Kninskog polja, a u vrijeme velikih voda i na izvorima u gornjem toku Krčića. To su Šimića vrelo, Šegotino vrelo, Jelića izvori, Crno vrelo i izvori Krke preko kojih ukupno istječe u sušnom dijelu godine minimalno oko 2100 l/s. Za sada se za vodoopskrbu prosječno koristi oko 90 l/s, te za ribogojilište oko 200 l/s. Prema tome, na izvorima se raspolaže u minimumu s još oko 1800 l/s vode, uz napomenu da su povoljni uvjeti i za pridobivanje dodatnih količina iz statičkih rezervi vode u neposrednom zaleđu izvora. Kod zaštite voda, koje su za sada u potpunosti čiste, jedini nepovoljni element u slijevu je naselje Bosansko Grahovo s pratećim gospodarskim objektima. Za primarnu zaštitu podzemnih voda izvora uz istočni obod Kninskog polja neophodno je potrebno posvetiti posebnu pozornost otpadnim vodama grahovskog područja. U sklopu zaštite voda do sada su izvedeni hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite samo za Šimića vrelo, dok za preostale izvore treba načiniti detaljna hidrogeološka istraživanja.

5. LITERATURA

- BOŽIČEVIĆ, S., PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1983): Pojava vodenog toka u spiljskom sistemu ispod sedrene barijere.- Jugosl. simp. o inž. hidrologiji, 1, 251-260, Split.
- ELEKTROPROJEKT (1978): HE Krčić. Idejni projekt, 1. dio.- Fond struč. dok. Elektroprojekt, Zagreb.
- FILIPČIĆ, A. (1992): Klima Hrvatske.- Geografski horizont, 2, 1-36, Zagreb.
- FRITZ, F., PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1984): Hidrogeološka studija područja Trogir-Šibenik-Drniš-Knin.- Fond struč. dok. IGI, br. 248/84, 1-63, Zagreb.
- GRIMANI, I., ŠIKIĆ, K. & ŠIMUNIĆ, A. (1972): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Knin.- Inst. Za geol. Istraž. Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides.- Acta geol., 16/1, 1-42, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. (1981): HE Krčić. Konceptijsko rješenje. Geološki odnosi u širem području akumulacije Krčić.- Fond struč. dok. IGI, 1-48, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. & FRITZ, F. (1986): Postanak i razvoj doline Krčića i izvora Krke (Dalmacija).- Acta carstologica, 14/15, 163-172, Ljubljana.
- RENIĆ, A. & PAVIČIĆ, A. (1981): HE Krčić. Idejni projekt. Bojenje podzemnih voda na bušotinama: P1-1, P1-2, P1-4.- Fond struč. dok. IGI, br. 171, 1-13, Zagreb.
- SLIŠKOVIĆ, I. & TAHIROVIĆ, F. (1986): Mogućnosti vodosnabdjevanja iz neogenskih basena u visokom kršu (Primjer: Bos. Grahovo).- XI Kongres geologa Jugoslavije, 5, 109-127, Tara.
- ŠTAMBUK-GILJANOVIĆ, N. (1994): Vode Dalmacije.- Zavod za javno zdravstvo županije Splitsko-dalmatinske, 1-241, Split.





The Application of Satellite Images in Hydrocarbon Exploration in Syria

Primjena satelitskih snimaka u naftnogeološkim istraživanjima u Siriji

Nevenka ROMANIĆ KRISTENSEN, Suzana ŠTIGLIĆ & Neven TRENC

Key words: INA Naftaplin, Syria, Landsat, SPOT, Remote Sensing, DEM (Digital Elevation Model).

Ključne riječi: INA Naftaplin, Sirija, Landsat, SPOT, daljinska istraživanja, DEM (Digitalni Elevacijski Model).

Abstract

Remote sensing methods were utilized for the geological analysis of the mostly desert terrain in Central Syria. Digital elevation model (DEM) created from SPOT stereo pairs served as a basis for the structural interpretation. Main basins within the investigated section as well as areas of uplift were identified and delimited. Lineament analysis was performed and three main fault directions were distinguished (WSW-ENE, SW-NE and E-W). Obtained results were assessed and compared with existing geophysical data. Multispectral classification was performed on Landsat TM image. Twelve classes representing prevalent rock types on the ground were defined and extracted.

Sažetak

Metode daljinskih istraživanja upotrebene su u geološkoj analizi pretežno pustinjskog terena u centralnoj Siriji. Digitalni elevacijski model (DEM) izrađen pomoću SPOT stereo parova poslužio je kao temelj za strukturalnu interpretaciju. Identificirani su glavni bazeni i područja izdizanja. Izvršena je analiza lineamenata te su izdvojena tri glavna pravca rasjedanja (JZJ-ISI, JZ-SI te I-Z). Dobiveni rezultati su razmotreni i uspoređeni sa postojećim geofizičkim podacima. Multispektralna klasifikacija je izvršena na Landsat TM snimku. Definirano je i izlučeno dvanaest klasa koje predstavljaju prevladavajuće tipove stijena unutar istraživanog terena.

1. INTRODUCTION

In its recent oil exploration effort in Syria INA d. d. has utilized remote sensing methods as a cost effective mean (SHIRLEY, 1997) for collection of preliminary geological data. This study was performed in the initial part of the project as a preparation for other exploratory works. The investigated area is located in the central part of Syria near the city of Tudmor (Figs. 1 and 2), between latitude 35°00' N and 34°17' N and longitude 37°40' E and 38°33' E. It comprises approximately 4,795 square kilometers of mostly desert terrain with sparse vegetation.

2. DATA BASE

The database used in this study included 1/4 of a Landsat TM scene and 4 SPOT panchromatic stereo pairs (Fig. 2), as well as topographic maps, geological maps and geophysical data (Bouguer anomaly maps).

- The Landsat TM (7 bands with 30 m spatial resolution) scene was acquired on April 28, 1998, giving good information about land cover.
- 4 SPOT panchromatic stereo pairs (single band with 10 m spatial resolution) are dating from the last four years.
- Topographic maps in scale M 1:50,000 dating from 1961-1990.
- Geological maps in scale M 1:200,000 dating from 1963 (SOULIDI-KONDATRIEV, 1966).
- Bouguer anomaly maps in scale M 1:200,000 from 1974.

3. PROCESSING

Data processing was performed using commercial software package (ERDAS Imagine 8.3) that was run on a SG workstation. For the geo-coding purpose 14 topographic maps in scale 1:50,000 have been scanned

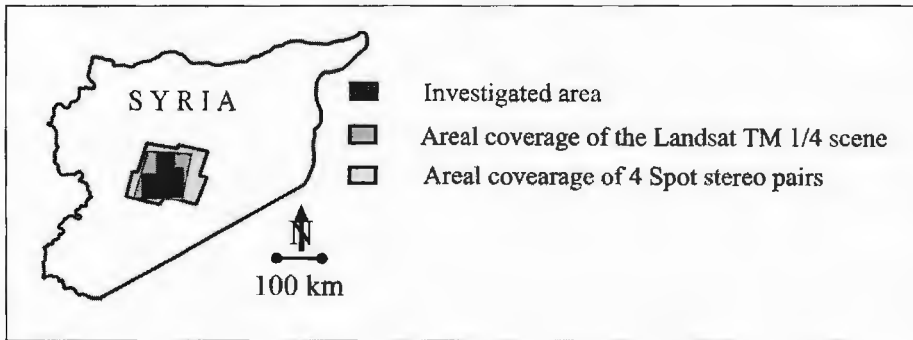


Fig. 1 Map of Syria with investigated area.

Sl. 1 Karta Sirije sa istraživanim područjem.

and rectified. Thirty referent points taken from the topographic maps were used for geo-coding of the Landsat TM scene. Transformation of the image data into the projection corresponding to our map projection, Lambert Conformal Conic 1880, was performed using nearest neighbor resampling method and second order polynomial. After the computation of deformation model, RMS error was less than one pixel.

The imagine Orthomax module was used for the rectification of the SPOT scene and creation of DEM (digital elevation model). From 8 to 10 control points and more than 100 tie points on each stereo pair have been identified. Triangulation results were in the range of usual standards, and expected deviation of the model is inside 20 m. After the geo-coding of the scenes, created orthophoto images were merged with the Landsat TM scenes to yield color (spectral resolution) from the Landsat and spatial resolution from the SPOT (LAMPEK, 1997).

Four DEMs were mosaicked together providing a unique shaded relief image of the investigated area (Fig. 3) (KRUŠLIN et al., 1995) The narrow gap that existed between the two scenes was filled, by the manu-

al input, with data from the topographic maps. It can be seen as a non-homogenous part with less pronounced texture on Fig. 3. DEM was utilized for analysis of tectonic elements. Classification module and geological maps were used for stratigraphic interpretation. First, the supervised classification was performed (choice of training sites was based on collected geological and geographical data). After the analysis of classification results and comparison with existing geological maps twelve classes were extracted from the Landsat TM scene and color-coded (Fig. 5).

4. INTERPRETATION

All available data were utilized for the geological interpretation. Land use, geomorphology, rock types and geological structures were analyzed.

Topography of the investigated area changes from the high hills in the north to the flat plateau in the south. Mountain relief dominates in the northern part of the area, with absolute elevations up to 1,300 m. The southern part is a slightly undulated flat area with absolute

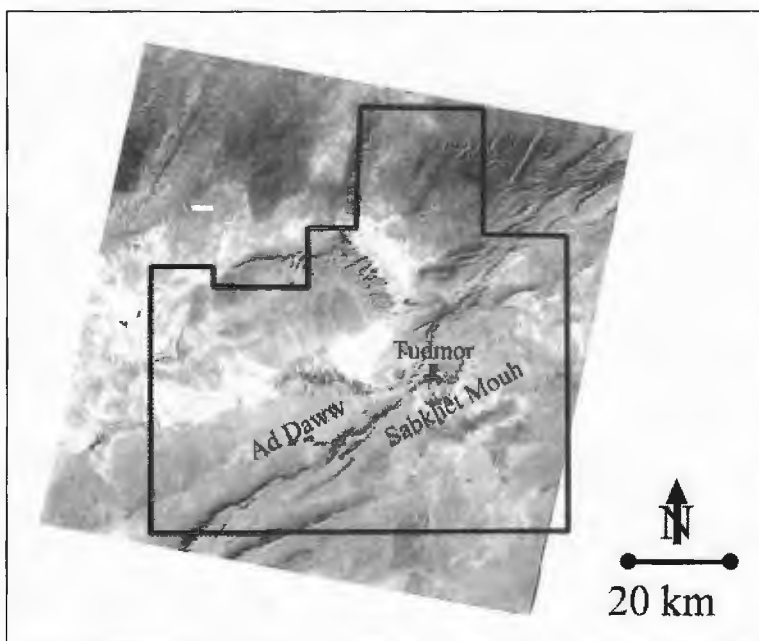


Fig. 2 Landsat TM (4,3,2) image of the explored area.

Sl. 2 Landsat (4,3,2) snimak istraživanog terena.

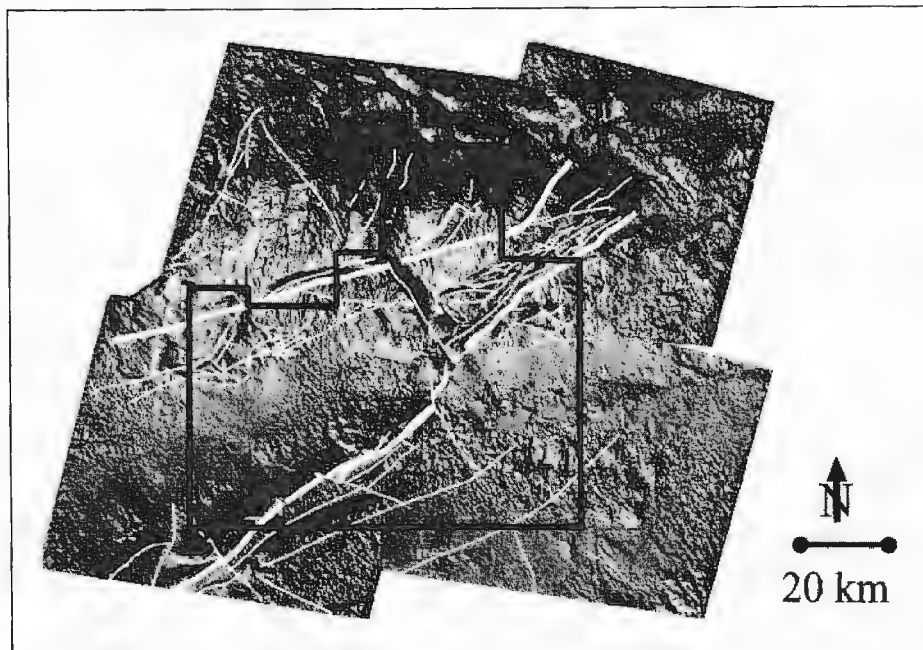


Fig. 3 Digital elevation model (DEM) overlaid with lineaments.

Sl. 3 Digitalni elevacijski model s lineamentima.

elevation ranging from 370 to 540 m. Diagonally through the scene from the southwest to the northeast runs a narrow chain of hills with absolute elevation up to 800 m. It separates two plateaus in the central part of the investigated area. Numerous dry streams, wadi, are present. In the mountains, they cut into the bedrock becoming shallow and fan shaped in the valleys. These seasonal flows carry during the rainy season clastic material into the valleys.

The town Tudmor, situated in the eastern central part of the scene has a dark gray, almost black signature characteristic of urban areas. The thin straight dark line passing through Tudmor from the east to the west is the

road, and the pipeline running parallel with the road. There is a net of “natural roads” spreading in all directions.

Irrigated agricultural land with different vegetation is seen in the middle of the scene as red, brown and pink colored rectangles. Vegetation can be recognized as red colored parts on the image (TM 4,3,2) (DONASSY et. al. 1983) around the Tudmore town, the lakes and in the oasis. There is a large contrast between the red and red brown vegetation signatures and the gray, dark gray and white signature of areas without vegetation.

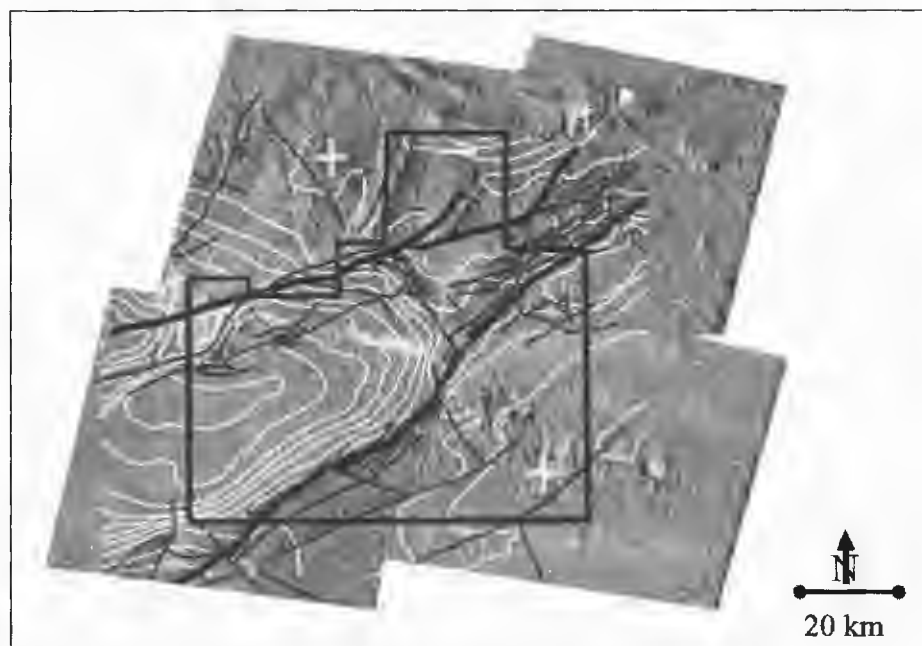


Fig. 4 Digital elevation model (DEM) with lineaments and Bouguer anomaly data.

Sl. 4 Digitalni elevacijski model sa lineamentima i kartom Bougerovih anomalija.

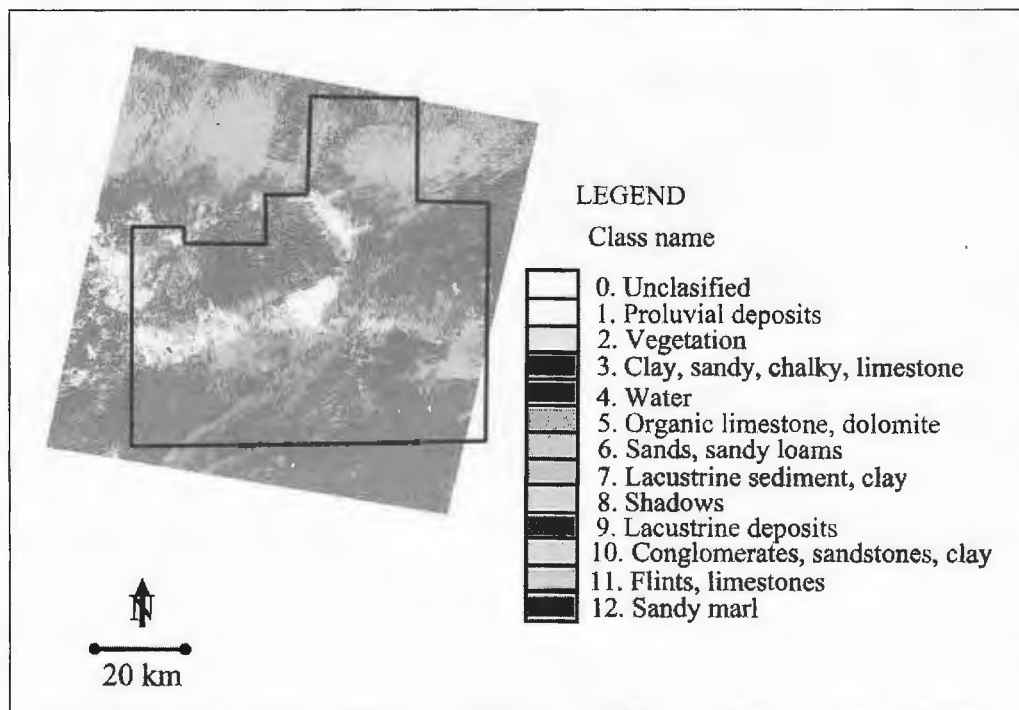


Fig. 5 Supervised classification.

Sl. 5 Kontrolirana klasifikacija.

5. ROCK TYPES

According to the geological maps dating from 1963, sedimentary rocks are ranging from Jurassic through Cretaceous and Tertiary to Quaternary. We tried to identify stratigraphic units on the Landsat TM and SPOT panchromatic scenes by their appearance on the screen in various band combinations as well as by method of supervised classification (Fig. 5).

Multispectral classification was performed on the Landsat TM image. For each pixel in the Landsat TM scene spectral light is recorded in seven different wavelength bands. Every pixel has a specific spectral signature (SABINS, 1987) which depends on the relative reflection of the material on the ground in the different bands. Multispectral classification is a statistical method that analyses spectral characteristics of the pixels and assigns them to categories based on the similarity of their spectral signatures (ERDAS, 1995).

There are two major approaches to multispectral classification: supervised classification and unsupervised classification. Process of supervised classification requires definition of small areas on the image (training sites) that are representative for each terrain category-class. After definition of all classes the software classifies all the remaining pixels in the scene. During unsupervised classification the software separates the pixels into classes with no input from the analyzer. After the completion of the process the classes are defined.

Training sites were selected for each of the geological formations. The result showed that some rock types had similar or overlapping spectral characteristics, and were partly assigned to the same class. For more detail-

ed work, more classes have to be used, to separate subtle differences in the lithology or other characteristics of the materials on the ground (i.e. Lower Cretaceous limestone from Upper Cretaceous limestone). The results of the supervised classifications are shown on the Fig. 5.

Cretaceous sediments consist of limestone, dolomites, and dolomitic limestone, forming mountains in the northern part of the scene and the chain of the anticlinal ridges crossing diagonally through the scene in southwest-northeast direction. Their signature is dark gray.

Paleogene sediments are edging the basins, filled with Neogene and Quaternary sediments.

Lower Eocene (Pg_2p) consists of marls, limestone and argillaceous limestone with a dark gray signature.

Middle to Upper Eocene ($Pg_2 - Pg_3$) consists of limestone, chalks and marls. Their signature is light gray to yellowish gray.

Neogene-Quaternary sediments are filling basins Ad Daww in the west and Sabkhet Mouh in the east of the scene.

Neogene: Lower to Upper Miocene ($N_{1,3}$) consists of sandstone with a light gray signature.

Pliocene (N_2) consists of conglomerates, sandstone and in the eastern part clays and marls, their signature is medium gray.

Quaternary: Middle Pleistocene (Q_2) consists of well-cemented conglomerates. Their signature is dark gray. **Upper Pleistocene** (Q_3), composed of clays and

marls with sandstone and conglomerate bands, has a light gray and gray yellowish signature. **Recent** (Q_4) consists of proluvial deposits (pebbles, gravel, sand and chalk), lacustrine deposits (clay and saliferous loam) and eolian deposits (quartz sand). Proluvial deposits usually have white and light gray signature while lacustrine deposits, located east of Tudmor are very dark gray and pinkish.

6. STRUCTURAL GEOLOGY

Three major structural features were distinguished. The northern part is uplifted and consists of more or less isolated anticlines having a north to northeast trend (Figs. 2, 3 and 4). In the central and southern part, two basins, Ad Daww on the west and Sabkhet Mouh on the east, are separated by many small anticlines and faults. The faults are clearly seen on DEM as tracks and long cuts between structural forms (GUPTA, 1991). The same structural elements were recognized on the Landsat TM scene. Structural features detected on DEM are clearly expressed as straight shaded cuts enhanced by the sun angle and light reflection from the ground.

Three well-defined fault systems are distinctly seen in the area. The first is striking west-southwest to east-northeast separating the northern uplifted part from the basins in the south. In the north the anticlinal forms and the faults that separate them have a north-northeast direction. They are dominated by various Cretaceous sediments (limestone, dolomite), and edged by Paleogene sediments (limestone, marls). The second system of faults is striking southwest-northeast. It consists of many small faults that follow each other en echelon. Narrow series of anticlines are striking in the same direction. They are built mostly of Jurassic and Cretaceous rocks (limestone) and rarely of Paleogene rocks. The anticlines are characterized by numerous small fractures coming from main faults. All anticlines are arranged en echelon. This fault system is separating the two basins, Ad Daww and Sabkhet Mouh. These basins are major synclinal forms built of Neogene and Quaternary sediments (conglomerates, coarse clastic rocks). The third fault system is spreading in an almost east-west direction. It cuts anticlines and possibly represents the youngest tectonic event in the area. Horizontal movement of structural forms can be recognized.

The digitized Bouguer anomaly map in the database provides information about subsurface structures, and it was used to check correlation between the surface interpretation and deep-seated structures (ROMANIĆ KRISTENSEN et al., 1999). On Bouguer anomaly maps faults are expressed as steep linear gravity gradients, sudden change in isoline direction, or elongated structures. Comparison of the Bouguer anomaly maps with the structural interpretation from the images has shown good correspondence (Fig. 4).

7. CONCLUSIONS

- The strong tonal variations are directly related to the lithology. Fluvial gravel, chalk and sand deposits have white to light gray signatures while marls and limestones have gray to dark gray signatures.
- Slight tonal variations between similar lithology (Cretaceous limestone has a slightly darker gray signature than Paleogene limestone) enables recognition of the major stratigraphic units.
- By using the classification model of the Imagine 8.3 software, similar lithology was mapped over the whole image. The result was checked and verified against the existing geological maps.
- Shaded relief DEM emphasises subtle topographic features expressing ridges of sedimentary rocks, lineaments and faults. The uplifted northern part is separated from the basin by strike slip faults.

Acknowledgments

The authors wish to express their sincere appreciation to all the Branch office Syria colleagues and in particular to ESPC staff: Mr. Yousef Bizra, Manager of Exploration Department and Mr. Marwan Bashour, Service Contract Director for making this publication possible.

8. REFERENCES

- DONASSY, V., OLUIĆ, M. & TOMAŠEGOVIĆ, Z. (1983): Daljinska istraživanja u geoznanostima.- JAZU, Zagreb, 350 p.
- ERDAS IMAGINE (1995): ERDAS Imagine 8.3.- Field Guide, 3rd edition.
- GUPTA, R.P. (1991): Remote sensing geology.- Springer Verlag, 430 p.
- KRUŠLIN, Ž., TRENC, N. & ROMANIĆ KRISTENSEN, N. (1995): Use of remote sensing methods in oil geology.- In: 100 godina fotogrametrije u Hrvatskoj. 339-345, Zagreb.
- LAMPEK, I. (1997): Primjena daljinskih istraživanja u GIS projektima.- In: GIS u Hrvatskoj. INA Industrija nafte d.d., Sektor informatike, 327-328, Zagreb.
- ROMANIĆ KRISTENSEN, N., KOLBAH, S. & GRANDIĆ, S. (1999): Remote sensing used to increase the accuracy of geological interpretation.- 2nd International Symposium on Petroleum Geology, 47-53, Zagreb.
- SABINS, F. F. (1987): Remote sensing principles and interpretation.- Freeman and Co, New York, 545 p.
- SHIRLEY, K. (1997): Remote sensing enters new Era.- AAPG Explorer, November 1997, 24-27.
- SOULIDI-KONDARTIEV, E.D. (1966): The geological map of Syria.- Ministry of Industry - SAR, Department of Geological and Mineral Research.





Fugitivne emisije prirodnog plina iz izvora emisija u naftnoj industriji i njihov doprinos pojavi učinka staklenika

Fugitive Emissions of Natural Gas from Sources of Emissions in Petroleum Industry and Their Contribution to Greenhouse Effect

Leopold ROMIĆ & Svea ŠVEL-CEROVEČKI

Ključne riječi: fugitivne emisije, staklenički plinovi, emisijski faktor.

Key words: Fugitive emissions, Greenhouse gases, Emission factor.

Sažetak

Tijekom svih djelatnosti od ekstrakcije nafte i plina do njihovog konačnog korištenja može se dogoditi iscurivanje ili oslobađanje plinovitih ili hlapivih komponenti ili apsorbiranih plinova. Emisija metana u zrak je daleko najvažnija komponenta ovih pojava, a također se emitiraju i određene količine NO_x , CO, NMVOC i SO_2 . S gledišta utjecaja na zrak, ovi plinovi u prvom redu daju svoj doprinos pojavi globalnog zagrijavanja atmosfere ($0,5^\circ\text{C}/\text{god}$ - KOLUNDŽIĆ, 1997). Najviše doprinosi metan koji ima direktan "staklenički efekt" (staklenički potencijal 21). NO_x , CO, NMVOC utječu na stvaranje troposferičnog ozona koji ima svojstva stakleničkog plina i time indirektno daju svoj doprinos porastu ukupne količine stakleničkih plinova u atmosferi. Sumporni dioksid se također emitira i utječe na apsorpcijska svojstva atmosfere. Ovi plinovi se emitiraju u zrak u vrijeme proizvodnje, procesiranja i distribucije nafte, plina i naftnih derivata.

U ovom radu su identificirani i opisani različiti izvori fugitivnih emisija u naftnoj industriji i prikazani su različiti postupci ili nivoi detalja za proračun ovih emisija. Primjenom postupka na osnovi proizvodnje prosječnih faktora emisije (Tier 1) za metan, i postupka na osnovi materijalne bilance (Tier 2) za indirektno stakleničke plinove izveden je proračun fugitivnih emisija stakleničkih plinova iz izvora emisija u INA za 1998. godinu. Emisija se uspoređuje s emisijom stakleničkih plinova u Hrvatskoj.

UVOD

Fugitivne emisije¹ plinovitih ili hlapivih komponenti ili apsorbiranih plinova u okoliš neizbježna su pojava tijekom svih aktivnosti vezanih za naftu i prirodni plin. U ovu kategoriju su uključene sve emisije od proizvod-

Abstract

During all processes in the petroleum industry fugitive emissions of gases in the atmosphere might result. By far the most important components of this art of emissions are methane emissions, but certain quantities of NO_x , CO, NMVOC and SO_2 are also emitted. Their impact on the air can be viewed primarily from the contribution to global warming of atmosphere ($0.5^\circ\text{C}/\text{year}$ - KOLUNDŽIĆ, 1997). Methane contribute for the most part with direct greenhouse effect and its greenhouse potential equals 21. NO_x , CO, NMVOC are gases with no direct greenhouse effect, but they influence generation and disintegration of tropospheric ozone who has properties of greenhouse gas, thus contributing indirectly to the increase of total greenhouse gases in the atmosphere. Sulphur dioxide is also emitted and it affects absorption properties of the atmosphere. These gases are emitted into the air during production, processing and distribution of oil, gas and oil products.

In this paper, different sources of fugitive emissions in oil industry are identified and described and different methods or levels of details for fugitive gases inventory are presented. By applying method on the basis of production average emission factors (Tier I) for methane, and method on the basis of material balance (Tier II) for indirect greenhouse gases, inventory of fugitive gases has been made for year 1998. Comparisons have been made between emission from INA, and emission of greenhouse gases in Croatia.

nje, procesiranja, transporta i potrošnje nafte i prirodnog plina. U fugitivne emisije nisu uključene emisije plina nastale izgaranjem nafte, plina ili naftnih derivata za loženje da se osigura energija za internu upotrebu. Ove emisije ulaze u kategoriju emisija koje su rezultat izgaranja fosilnih goriva (ugljen, nafta, plin) i posebno

¹ Prema U.S. E.P.A. (1999) fugitivne emisije su u širem smislu definirane kao nenamjerno iscurivanje plina tijekom procesiranja, transmisije i/ili transporta fosilnih goriva, iscurivanje klorfluorugljika (CFCs) iz hladnjaka, sumpornog heksaflorida (SF_6) iz stanica za distribuciju električne struje, itd.

se razmatraju. U fugitivne emisije su uključene, međutim, emisije koje su rezultat izgaranja plina u vrijeme sagorijevanja na baklji.

Budući da prirodni plin sadrži između 80 do 98 posto metana (CH_4) to je emisija metana od proizvodnje nafte i plina, i od svih vidova aktivnosti vezanih za prirodni plin daleko najvažnija komponenta fugitivnih emisija.

U "sirovom" prirodnom plinu ima ugljičnog dioksida (CO_2), a ponekad sumporovodika (H_2S) i žive (Hg). U postrojenjima za pripremu plina kao što je slučaj u Molvama iz plina se izdvaja CO_2 i H_2S tako da u plinu ostaje tek nekoliko ppm sumpora i manje od 10 mg/m^3 žive (ROMIĆ & ŠVEL-CEROVEČKI, 1999).

Glavni produkt izgaranja prirodnog plina na baklji je ugljični dioksid (CO_2) i vodena para (H_2O). Ugljični dioksid i vodena para nisu otrovni ali su staklenički plinovi. Metan, glavni sastojak plina također je staklenički plin. Njegov staklenički potencijal je 21, što znači da 1 kg ispuštenog prirodnog plina u atmosferu ima jednak učinak kao 21 kg ispuštenog CO_2 (JELAVIĆ, 1997).

Metan je daleko najvažniji staklenički plin koji se na fugitivnoj osnovi emitira od aktivnosti vezanih za naftu i prirodni plin. Međutim i drugi staklenički plinovi se emitiraju i trebaju se uključiti u godišnji proračun fugitivnih emisija.

Nakon metana i ugljičnog dioksida najznačajnije fugitivne emisije od aktivnosti vezanih za naftu i plin jesu ne-metanskih hlapivih organskih spojeva (NMVOC). Nafta i plin se većinom sastoje od organskih spojeva, pa se oslobađanje evaporacijom ili iscurivanje većinom dešava u svim onim fazama gdje goriva ili njihovi produkti dolaze u kontakt s atmosferom. Glavne fugitivne emisije NMVOC dolaze od rafinacije, transporta i distribucije naftnih proizvoda. U ovom članku će se identificirati i opisati različite izvore emisije metana od nafte i prirodnog plina i prezentirati će se metodologija za proračun ovih emisija.

METODOLOGIJE PRORAČUNA EMISIJA METANA, PREKURSORA TROPOSFERIČNOG OZONA² I SO_2

Za proračun emisija metana uzrokovane aktivnosti na naftu i plinu primjenjena je IPCC Tier 1 metodologija proračuna na "osnovi proizvodnje prosječnih faktora emisije (E_f)" (MICHAELS, 1998).

IPCC preporučuje primjenu ove metode kada se količina fugitivnih emisija metana u okoliš ne može odrediti mjerenjima, a također postoje razlozi da je to vrlo otežano učiniti putem materijalne bilance, što je kod nas slučaj. Za primjenu metode potrebno je poznavati proizvodnu aktivnost u obliku proizvedene, prerađene i utrošene količine nafte i plina i naftnih derivata. Proračun na "osnovi proizvodnje prosječnih faktora emisije (E_f)", je najjednostavniji pristup za proračun emisije metana od aktivnosti vezanih za naftu i plin i može se koristiti tamo gdje su emisije iz naftne industrije komparativno niske i/ili gdje podaci ili resursi nisu dostupni da bi se mogao primjeniti više zahtjevniji pristup.

Metoda proračuna emisije metana sastoji se u primjeni slijedećih koraka:

- 1) Odabir regije emisije - odabrana je regija "istočna Europa". Prema IPCC globalni sustavi nafte i plina su podijeljeni u regije s relativno homogenim karakteristikama sustava nafte i plina. IPCC je preporučio da hrvatski sustav nafte i plina bude u regiji "bivši SSSR i istočna Europa" (koja uključuje bivši SSSR, Albaniju, Bugarsku, Češku, Slovačku, Mađarsku, Poljsku, Rumunjsku i zemlje bivše Jugoslavije) (MICHAELS, 1998). Postoje pokazatelji da su emisije metana u ovoj regiji mnogo više od emisija u drugim regijama, naročito emisije u plinskom sustavu (DRŽAVNA UPRAVA ZA ZAŠTITU PRIRODE I OKOLIŠA, 1998, 1999).
- 2) Očitavanje za odabranu regiju reprezentativnih faktora emisije za svaku aktivnost unutar svakog segmenta. Korištenjem informacija navedenih u IPCC tablici (Table 1-57 - IPCC, 1996a) odabrani su emisijski faktori za svaki segment naftne industrije kao i tip emisija u odabranoj regiji (IPCC, 1996a).
- 3) Određivanje stupnjeva aktivnosti za hrvatsku naftnu industriju (INA). Stupnjevi aktivnosti su određeni na osnovi podataka o količini proizvedene, prerađene i utrošene količine nafte i plina i naftnih derivata. Ovi podaci su izvedeni iz "Poslovna i Financijska izvješća INA d.d. i INA-Grupe za 1998." i iz "Energijska u INI, Godišnji energetski pregled za 1998."
- 4) Postupak množenja odabranih faktora emisije sa stupnjevima aktivnosti da se dobije godišnja emisija metana.

Poslije metana najvažnije fugitivne emisije od aktivnosti vezanih za naftu i plin jesu emisije ne-metanskih hlapivih organskih spojeva (NMVOC). Najvažnije fugitivne emisije NMVOC su od prerade, transporta i distribucije naftnih proizvoda. IPCC/OECD/IEA program ne daje detaljnije metodologije za proračun indirektnih plinova, međutim EMEP/CORINAIR program daje i jednostavniji i detaljniji pristup za proračun prekursora ozona i SO_2 (CORINAIR, 1996). Korištena je jednostavna metodologija za proračun indirektnih stakleničkih plinova i SO_2 koja se temelji na proizvodnosti i pojedinačnim emisijskim faktorima. Isto tako je korišten detaljniji pristup (opisan u Joint EMEP/CORINAIR

² Plinovi koji utječu na stvaranje ozona u troposferi. To su: ugljični monoksid (CO), dušični oksidi (NO_x) i ne-metanski hlapivi organski spojevi (NMVOCs) koji u prisustvu sunčevog zračenja reagiraju sa drugim kemijskim spojevima i stvaraju ozon (MICHAELS, 1998). U troposferi, ozon je oksidirajuća tvar i glavna komponenta fotokemijskog smoga. Ozon ima svojstva stakleničkog plina i time ovi plinovi indirektno daju svoj doprinos porastu ukupne količine stakleničkih plinova u atmosferi.

Submodul Kategorija	A Aktivnost	Emisija metana od aktivnosti na nafti i plinu (Tier 1)		
		B Emisijski faktor ^(a)	C CH ₄ Emisije (kg CH ₄) C = (AxB)	D CH ₄ Emisije (Gg CH ₄) D = (C/10 ⁶)
NAFTA				
Istraživanje	Broj izbušenih Bušotina	kg CH ₄ /izbušena bušotina ^(b)	720	0,000720
Proizvodnja	PJ proizvedene nafte 112,89	kg CH ₄ /PJ 4670	527.195,80	0,53
Transport	nafta utovar. u tankere 286,98	kg CH ₄ /PJ 745	213.800,97	0,21
Rafinacija	PJ rafinirane nafte 286,98	kg CH ₄ /PJ rafinirane nafte 1400	401.773,63	0,40
Uskladištenje	PJ rafinirane nafte 286,98	kg CH ₄ /PJ rafinirane nafte 250	71.745	0,071745
			Ukupno CH₄ od nafte	1,216465
PLIN				
Proizvodnja/ Procesiranje	PJ proizvod. plina 67,40	kg CH ₄ /PJ 288.000	19.410.681,60	19,41
Prenos i distribucija	PJ plina utrošeno 91,34	kg/CH ₄ /PJ 118.000	10.778.639,20	10,78
Druga procurivanja	PJ plina utrošeno Ne-rezidencijalni 78,45	175.000	13.728.435,00	13,73
	Rezidencijalni 12,90	87.000	1.121.969,40	1,12
			Ukupno CH₄ od plina	45,04
Ventiliranje i spaljivanje na baklji od proizvodnje nafte/plina	PJ proizv. nafte i plina Nafta 112,89 Plin 67,40	kg CH ₄ /PJ 3.000 30.000	338.669,68 2.021.946,00	0,34 2,02
			Ukupno CH₄ od nafte i plina	2,36
Ukupna emisija CH₄ u naftnoj industriji				48,62
(a) Korištene su vrijednosti izvedene iz Table 1-6, Revised Regional Emission Factors For Methane From Oil And Gas Activities Systems (kg/PJ) prikazane u IPCC, 1996b.				
(b) Korišten emisijski faktor iz U.S. E.P.A. (1999) i podaci iz ROMIĆ & ŠVEL-CEROVEČKI (1999).				

Tablica 1 Proračun fugitivnih emisija metana iz INA u 1998. godini.

Table 1 Fugitive emissions inventory of methane from INA in 1998.

Guidebook, 1996, SNAP code 40100) koji uzima u obzir stvarne procese u rafineriji i proizvodnost sirove nafte i naftnih proizvoda.

PRORAČUN FUGITIVNIH EMISIJA METANA ZA GODINU 1998. U INA NAFTNOJ INDUSTRIJI

Proračun godišnje količine metana emitirane od aktivnosti vezanih za naftu i plin je prikazan u tablici 1 (IPCC, 1996b).

PRORAČUN FUGITIVNIH EMISIJA PREKURSORA OZONA I SO₂

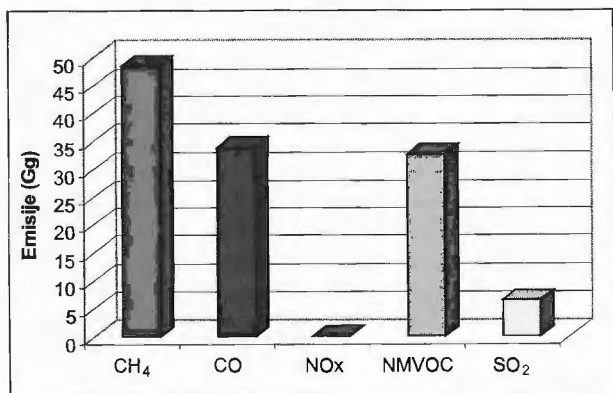
Proračun fugitivnih emisija prekursora ozona i SO₂ prikazan je u tablici 2.

Fugitivne emisije stakleničkih plinova u Gg u INA prikazane su na sl. 1. Slika 2 prikazuje usporedbu emisije CO₂ stakleničkog plina i fugitivnih emisija indirektnih stakleničkih plinova u INA naftnoj industriji u 1998. godini. U tablici 3 prikazan je udjel emisije fugi-

Prekursori ozona i SO ₂ od rafinacije nafte					
Submodul	A	B	C	D	E
	Prerađena nafta (kt)	Zagađivač	Emisijski faktor ^(a) (kg/t)	Emisije (t) D=(AxC)	Emisije (Gg) E=D/1000
	5.006,571	CO	0,09	450,59	0,0450
	5.006,571	NO _x	0,06	300,39	0,0300
	5.006,571	NM VOC	0,62	3.104,07	3,1040
	5.006,571	SO ₂	0,93	4.656,11	4,6561
UKUPNO:					7,8351
(a) IPCC preporučene vrijednosti. Ove vrijednosti su izvedene iz vrijednosti datih u IPCC Reference Manual (IPCC, 1996a), uzimajući prosječnu gustoću sirove nafte od 860 kg/m ³ (33° API).					
Prekursori ozona i SO ₂ od katalitičkog krekinga					
Submodul	A	B	C	D	E
	Nafta katalitički krekirana (kt)	Zagađivač	Emisijski faktor ^(a) (kg/t)	Emisije (t) D=(AxC)	Emisije (Gg) E=D/1000
	795,32	CO	42,6	33.880,63	33,88
	795,32	NO _x	0,2	159,06	0,16
	795,32	NM VOC	0,6	477,19	0,48
	795,32	SO ₂	1,5	1192,98	1,19
UKUPNO:					35,71
(a) IPCC preporučene vrijednosti. Ove vrijednosti su izvedene iz vrijednosti date u IPCC Reference Manual (IPCC, 1996a), uzimajući prosječnu gustoću sirove nafte od 920 kg/m ³ (22° API).					
SO ₂ iz uređaja za odsumporavanje (HDS, Claus)					
Submodul	A	B	C	D	
	Proiz. sumpor (t)	Emisijski faktor ^(a) (kg/t)	Emisije (kg) C=AxB	Emisije (Gg) D=(C/1 000 000)	
	5328	139	740.592	0,740592	
UKUPNO:				0,740592	
(a) IPCC preporučena vrijednost od 139 kg/t za uređaje za odsumporavanje. Iz diskusije u Section 1.8.9 iz Reference Manual (IPCC, 1996a) može se zaključiti da preporučeni emisijski faktori za SO ₂ variraju u širokom rasponu.					
NMVOC emisije od skladištenja i rukovanja nafte					
Submodul	A	B	C	D	E
	Količina prerađene sirove nafte (kt)	Tip skladištenja	Emisijski faktor ^(a) (kg/t)	Emisije (t) D=(AxC)	Emisije (Gg) E=D/1000
	5.006,571	Sekundarna brtvljenja	0,2	1.001,31	1,0013
	5.006,571	Primarna brtvljenja	0,7	3.504,60	3,5046
	5.006,571	Fiksni pokrov	4,9	24.532,20	24,5320
Ukupno NMVOC od skladištenja i rukovanja nafte					29,0379
(a) IPCC preporučene vrijednosti date u IPCC Reference Manual (IPCC, 1996a). Lokalne vrijednosti za sada nisu dostupne.					

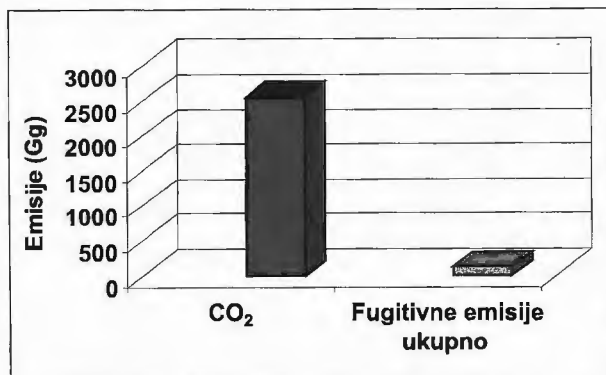
Tablica 2 Proračun fugitivnih emisija prekursora ozona (NMVOC, CO, NO_x) i SO₂ u INA u 1998.

Table 2 Fugitive emission inventory of ozone precursors (NMVOC, CO, NO_x) and SO₂ in INA in 1998.



Sl. 1 Fugitivne emisije stakleničkih plinova iz INA u 1998. Godini.

Fig. 1 Fugitive emission of greenhouse gases form INA in 1998.



Sl. 2 Emisija stakleničkog plina CO₂ i fugitivnih emisija ostalih stakleničkih plinova iz INA u 1998. godini.

Fig. 2 Emission of greenhouse gas CO₂ and fugitive emissions of other greenhouse gases from INA in 1998.

tivnih stakleničkih plinova iz INA u emisiji stakleničkih plinova u Hrvatskoj u 1998. godini.

ZAKLJUČAK

Najznačajnije fugitivne emisija metana tijekom normalnih operacija pri pridobivanju nafte i plina su zbog ventiliranja, spaljivanja na baklji i iscurivanja tijekom procesiranja nafte i plina, zatim kroničnih iscurivanja itd.

Manje količine fugitivnih emisija metana događaju se u vrijeme redovnih i periodičnih aktivnosti na održavanju proizvodnih bušotina ("workover") i ispražnivanju plinovoda ("blowdown") za periodičko testiranje, kao i u vrijeme neplaniranih događaja kao što su porast tlakova na uređajima za proizvodnju i procesiranje plina zbog eventualnog kvara regulatora tlaka. Također manje količine fugitivnih emisija se događaju u vrijeme akcidenata.

Transport sirove nafte i prerada u rafineriji su manji izvori fugitivnih emisija metana. Sirova nafta se transportira naftovodima i tankerima do rafinerija gdje se uskladištava u tankove kroz određeno vrijeme. Emisija metana se dešava naročito u vrijeme tankiranja sirove

nafte. U vrijeme procesa rafinacije, manje količine otpljenih plinova u sirovoj nafti se izdvajaju pa mogu iscurivati ili ventilirati tijekom procesiranja.

Najznačajniji izvori fugitivnih emisija metana u INI su proizvodnja/procesiranje, transportiranje i distribucija prirodnog plina (45,04 Gg od ukupno 48,61 Gg). Aktivnosti procesiranja plina u plinskim stanicama (da se uklone većina teških ugljikovodika ili kondenzata iz plina) rezultiraju marketinškim plinom koji se injektira u transmisijski sustav. Za vrijeme ovih aktivnosti može doći do nenamjernog iscurivanja metana. Na površinskim uređajima za transport plina (mjerne stanice, kompresorske stanice, uređaji za održavanje) koji koriste plin kao gorivo dolazi do fugitivnih emisija. Kao i kod transmisijskih plinovoda emisije plina se mogu dogoditi zbog iscurivanja na plinovodima manjeg promjera ili na uređajima koji podržavaju ovaj sustav.

Nakon metana najznačajnija fugitivna emisija u INA je emisija NMVOC. Fugitivne emisije od prerade (rafinacije), transporta i distribucije naftnih proizvoda su glavni izvori emisije NMVOC. Rafinerijske operacije koje uključuju separacijske procese (destilacija i procesiranje plina), procesi konverzije nafte (kreking, koksiriranje, katalitički reforming, alkilacija, polimerizacija), procesi obrade nafte (desulfurizacija, sweetening, ukla-

Plin	Emisija u Hrvatskoj (Gg)	Fugitivne emisije iz INA (Gg)	Udjel INA u Hrvatskoj (%)
CH ₄	239,398	48,620	20,31
SO ₂	80,376	6,589	8,20
CO	368,392	33,930	9,21
NMVOC	149,569	32,620	21,80
NO _x	74,567	0,189	0,25
UKUPNO:	912,302	121,948	13,37

Tablica 3 Udjel emisije fugitivnih stakleničkih plinova iz INA u emisiji stakleničkih plinova u Hrvatskoj u 1998. Godini.

Table 3 Share of fugitive emission of greenhouse gases from INA in emission of greenhouse gases in Croatia in 1998.

njanje kiselog plina, deasfaltiranje) i umješavanje, značajniji su izvori fugitivnih emisija drugih stakleničkih plinova (prekursora ozona i SO₂).

Vakuum destilacija, katalitički kreking, termalni kreking, sweetening, blowdown sustavi, odsumporavanje i raspuhivanje asfalta su identificirani kao potencijalno značajni izvori SO₂ i NMVOC. Skladištenje i rukovanje naftnim proizvodima dovodi do emisije NMVOC.

Fugitivne emisije metana i NMVOC iz naftne industrije učestvuju pojedinačno s približno 20% u emisijama ovih stakleničkih plinova u Hrvatskoj. Pojedinačno učešće emisija SO₂ i CO iznosi približno 9%, a učešće NO_x je najmanje i iznosi 0,25%.

LITERATURA

- CORINAIR (1996): EMEP/CORINAIR atmospheric emission inventory guide book.- CORINAIR Methodology, Emission factors, Quality Codes and References.
- DRŽAVNA UPRAVA ZA ZAŠTITU PRIRODE I OKOLIŠA (1998): Izvješće o stanju okoliša u Republici Hrvatskoj.- Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, Zagreb.
- DRŽAVNA UPRAVA ZA ZAŠTITU PRIRODE I OKOLIŠA (1999): Emisija onečišćujućih tvari u atmosferi u Hrvatskoj za 1997. Godinu.- Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, Zagreb.
- INA (1998): Katastar emisija i otpada u INA-Industrija nafte d.d. u 1997.- INA-Sektor strateškog razvoja i istraživanja, Zagreb.
- IPCC (1996a): Revised guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference manual.- IPCC, 1.114-1.145.
- IPCC (1996b): Revised guidelines for national greenhouse gas inventories: Workbook.- IPCC, 1.28-1.72.
- JELAVIĆ, V. (1997): Prirodni plin i zaštita okoliša.- Gospodarstvo i okoliš, 29.
- KOLUNDŽIĆ, S. (1997): Gospodarenje plinom i ekologija.- Gospodarstvo i okoliš, 29.
- MICHAELS, P.J. (1998): Policy analysis - the consequences of Kyoto.- Cato Policy Analysis, 307.
- ROMIĆ, L. & ŠVEL-CEROVEČKI, S. (1999): Emisija stakleničkih plinova u zrak iz izvora onečišćenja u naftnoj industriji i njihov doprinos pojavi učinka staklenika.- Drugi hrvatski znanstveno-stručni skup Zaštita zraka '99, Šibenik.
- UNITED NATIONS (1997): Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change.- United Nations, Kyoto.
- U.S. E.P.A. (1999): Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-1997.- Environmental Protection Agency, 20460, Washington DC.



Hidrogeološke značajke sliva Mostarskog Blata

Hydrogeological Properties of the Mostarsko Blato Catchment Area

Ivan SLIŠKOVIĆ¹, Vinko BILOPAVLOVIĆ² & Josip TERZIĆ¹

Ključne riječi: krški izvor, retencija, akumulacija podzemnih voda, veličina sliva.

Key words: Karst spring, Retention, Groundwater reservoir, Catchment area.

Sažetak

Dugi niz godina Mostarsko Blato bilo je predmetom istraživanja mogućnosti iskorištavanja podzemnih i površinskih voda za javnu vodoopskrbu, melioracije, hidroenergetske potencijale i turizam. Glavni površinski vodotok, okosnica sliva za velike vode, povremeni je tok rijeke Ugrovače. Nastaje u polju Rakitno, s povremnom pritokom Matica iz Kočerin polja i stalnim tokom rijeke Lištice, Crnašnice i Žvatića. Značajna akumulacija podzemnih voda ostvarena je u krednim vapnencima sjeverozapadno od vrela Lištice. Formirani rubni uvjeti i dobra propusnost krškog vodonosnika u slivu vrela Lištice uzrokom su istjecanja velikih količina podzemnih voda. Pri tome glavnu ulogu u istjecanju podzemnih voda imaju donjetrijaski dolomiti u antiklinali kod vrela Lištice.

Korištenje energetske potencijala i meliorativnih površina obrađeno je na razini idejnih programa i projekata. Da bi se ti projekti realizirali neophodno je riješiti mnoge hidrogeološke probleme iz domena održanja akumulacija u kršu. U tom cilju date su temeljne postavke o gornjim horizontima sliva kao i mogućnosti izgradnje površinskih retencija u dolinama rijeka Ugrovače, Lištice i Mostarskom Blatu.

1. UVOD

Područje sliva Mostarskog Blata obuhvaća površinu od oko 560 km², a orografske granice ne odgovaraju pravoj podzemnoj razvodnici. Razmatranje hidrogeoloških odnosa, prostornog rasporeda, međusobnih povezanosti i tečenja podzemnih voda u krškoj sredini povezano je s mnogo pretpostavki i malo utvrđenih elemenata. Tek kada se prouče geološke, geomorfološke i hidrogeološke značajke dobit će se izvjesne pravilnosti krške hidrogeologije. Bez sistematskih opažanja na bušotinama i mjestima istjecanja podzemnih voda u korelaciji s padalinama i određivanjem slivnih površina ne može se definirati bilanca podzemnih voda ovog sliva. Mogućnost koju pruža jedna od najpouzdanijih hidrogeoloških metoda - trasiranje podzemnih voda, još

Abstract

For the last several years, the Mostarsko Blato has been the target of studies of groundwater and surface water exploitation potential for public water supply, reclamation, hydro-energetic potential and tourism. The major surface stream, that occurs during high water stages, is the intermittent river Ugrovača. The river starts in the Rakitno polje, and it is joined by its intermittent tributary Matica, that flows from Kočerin polje, as well as by the permanent rivers Lištica spring. It plays a major role in groundwater discharge. The utilization of energetic and reclamation potentials has been evaluated only at the level of initial studies and projects. To make these projects feasible it is necessary to solve hydrogeological problems related to karst water retention. This paper gives some basic assumptions concerning the higher horizons of the basin and possibilities for the construction of surface retentions in the valleys of the Ugrovača and Lištica rivers, and in the Mostar Blato.

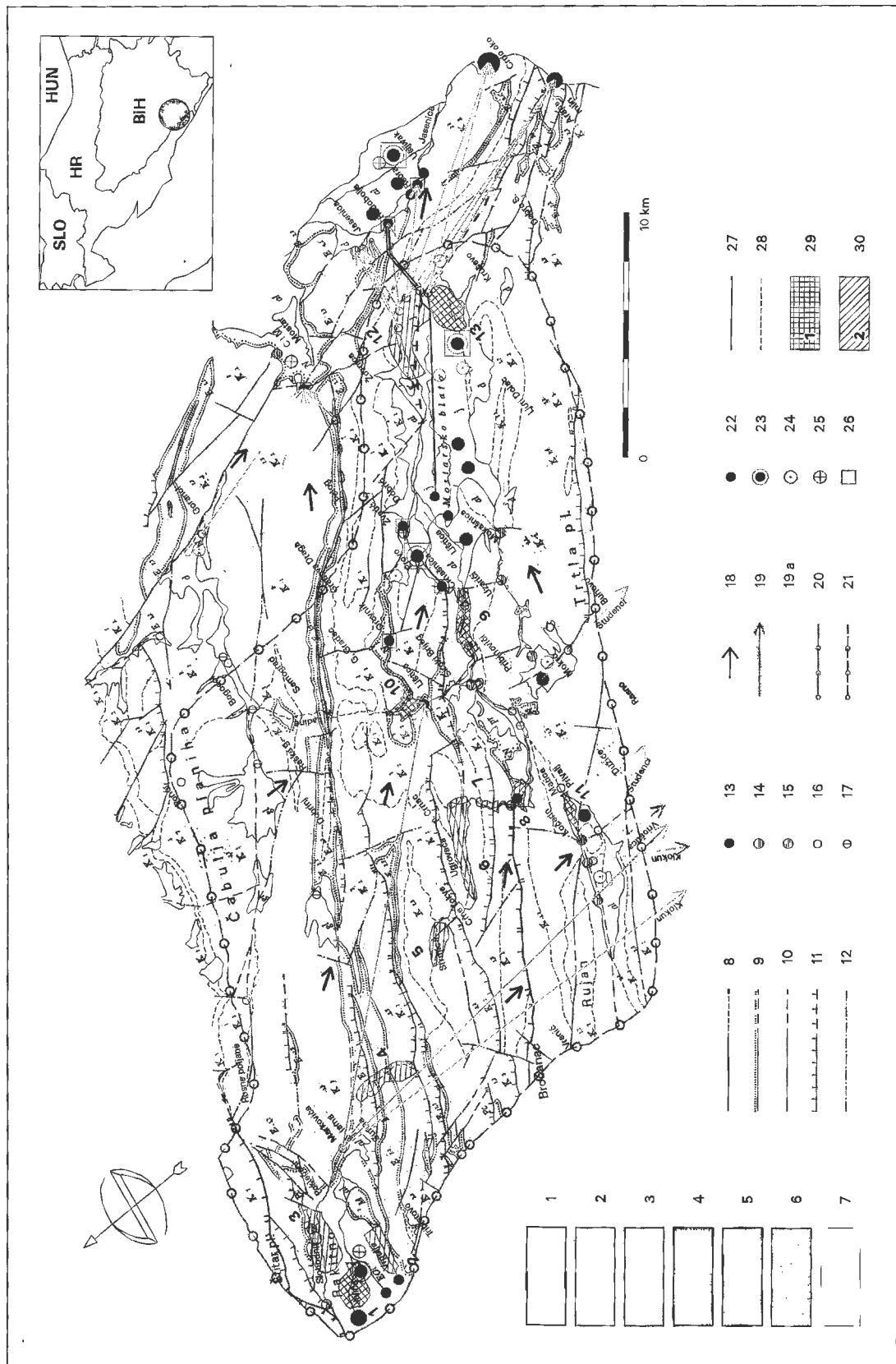
uvijek nije dovoljno iskorištena, jer su ostala neriješena pitanja pripadnosti slivova gornjeg toka rijeke Ugrovače, te Kočerin, Trn i Mokrog polja. Površinske vode ovih područja napajaju Mostarsko Blato, a podzemne su sve do sada ostale neriješene. Zbog toga je u ovom radu posebna pažnja posvećena definiranju hidrogeologije sliva. Na hidrogeološkoj karti (sl. 1) predstavljen je sliv povremenog toka rijeke Ugrovače i neposredni sliv Mostarskog Blata.

2. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI U SLIVU

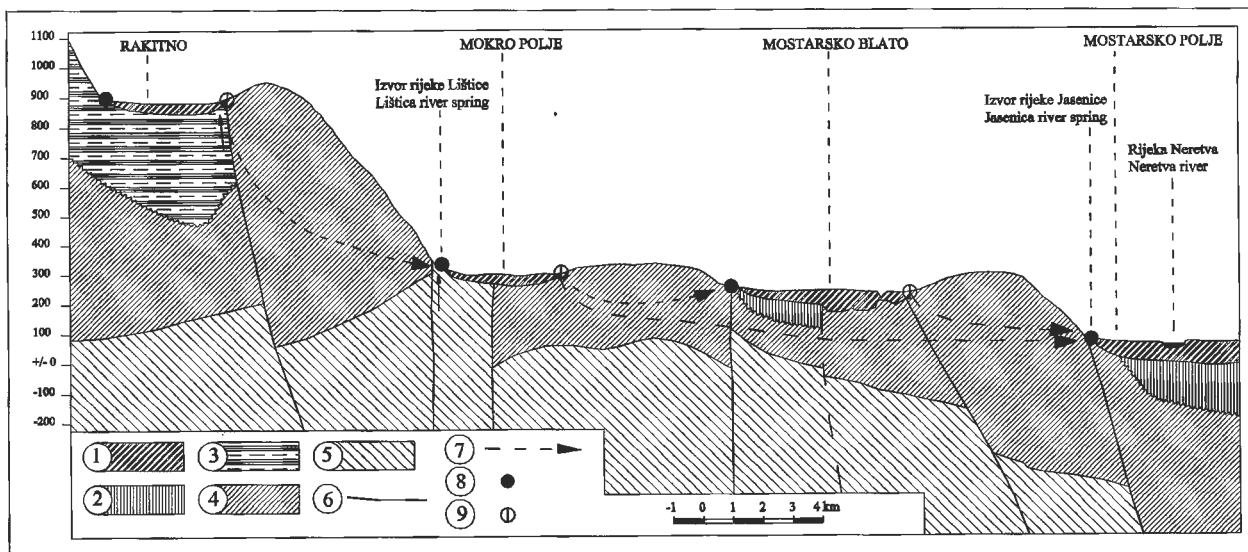
Na hidrogeološkoj karti izdvojene su karbonatne naslage krede i paleogena, te podređeno neogena i kvartara. Kredni karbonatni sedimenti izgrađuju oko 80% istražnog prostora, a zastupljeni su u punom razvoju

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Elektroprivreda HZ-BH, Blajburških žrtava bb, Mostar, Bosna i Hercegovina.



Sl. 1 Hidrogeološka karta sliva Mostarskog blata. Legenda: 1) aluvijalni i limnoglacijski sedimenti - propusni; 2) deluvijalno glacijski sedimenti - slabo propusni; 3) jezersko - barski sedimenti - nepropusni; 4) fliš - gline, lapori, pješčenjaci i konglomerati - nepropusni; 5) dolomiti i dolomitični vapnenci - slabo propusni; 6) paleocenski i kredni vapnenci i breče - okršeni i propusni; 7) vapnenci s proslojcima dolomita - okršeni i dobro propusni; 8) geološka granica; 9) transgresivna granica; 10) rasjed; 11) navliaka; 12) "fotogeološki" rasjed (za 8 do 12: crtkano ako je pretpostavljeno); 13) stalni izvor (<10, 10-100, >100 l/s); 14) povremeni izvor; 15) estavela; 16) ponor; 17) ponorna zona; 18) glavni podzemni tok; 19) podzemna veza; 19a) pretpostavljena podzemna veza; 20) vododjelnica; 21) podzemna zonalna vododjelnica; 22) kopani zdenac; 23) bušeni zdenac; 24) opažacka bušotina; 25) skupina opažackih bušotina; 26) kaptaža; 27) stalni vodotok; 28) povremeni vodotok; 29) akumulacija; 30) retencija.



Sl. 2 Shematski hidrogeološki profil Rakitno-Mokro polje-Mostarsko blato-Mostarsko polje. Legenda: 1) aluvijalne propusne naslage; 2) neogenski glinoviti lapori - nepropusni; 3) prominske naslage: konglomerati, pješčenjaci i lapori - nepropusni i djelomično propusni sedimenti; 4) vapnenci eocena i gornje krede - dobro okršene i propusne stijene; 5) dolomiti donje krede - slabo propusne do nepropusne stijene; 6) rasjed; 7) podzemna veza; 8) izvor; 9) ponor.

Fig. 2 Schematic hydrogeological cross section Rakitno-Mokro polje-Mostarsko blato-Mostarsko Polje. Legend: 1) alluvium permeable deposits; 2) Neogene clayey marls - impermeable sediments; 3) Promina: conglomerates, sandstones, claystones - impermeable and partially permeable sediments; 4) Eocene and Upper Cretaceous limestones - well karstified and permeable rocks; 5) Lower Cretaceous dolomites - low permeable and impermeable rocks; 6) fault; 7) underground water connection; 8) spring; 9) ponor (swallow hole).

uslojenim i masivnim vapnencima, dolomitičnim vapnencima i dolomitima u donjem dijelu. Tercijarni sedimenti znatno su manje rasprostranjeni. Paleogen je otkriven na malim površinama, a predstavljen je laporovitim i pjeskovitim vapnencima u nižem dijelu, te alveolinsko-numulitnim vapnencima u srednjem i klastitima u gornjem dijelu. Naslage neogena pojavljuju se u slatkovodnom facijesu. Kvartarne naslage s jezerskim i barskim sedimentima izgrađuju najniže dijelove Mostarskog Blata. Rubne dijelove Mostarskog Blata te doline rijeka i manja krška polja izgrađuju šljunci, pijesci i gline. Središnje dijelove Kočerina i Mokrog polja izgrađuju pjeskovite i prašinate gline. Analizom geološke građe i hidrogeoloških odnosa može se ustanoviti da je u ovom terenu razvijen debeo kompleks mezozojskih i kenozojskih karbonatnih stijena (vapnenaca, dolomitičnih vapnenaca i dolomita). Debljina ovog kompleksa u punom razvoju iznosi od 3 do 5 tisuća metara. Dominiraju plikativne i rasjedne strukture dinarskog pravca pružanja, kao i rasjedi približno okomiti na taj pravac. Ovakav litološki sastav i tektonski sklop uz sudjelovanje drugih

čimbenika uvjetovali su odsustvo površinskih tokova, i dobro razvijenu podzemnu hidrografsku mrežu bogatu vodom (RAIĆ, 1986).

Cijelo slivno područje Mostarskog Blata određeno je na temelju hidrogeoloških značajki stijena, tektonike i relativne pozicije geoloških struktura i morfologije. Hidrogeološke funkcije terena predstavljene su potpunim barijerama, djelomičnim i visećim barijerama, i propusnim područjima (sl. 1).

Ovdje se u osnovi isključuje postojanje potpunih površinskih barijera, a postoje samo potpune barijere u dubini koje predstavlja donjokredni dolomit (K_1). Dolomiti, posebno ako su u antiklinalnim strukturama, čine potpunu barijeru tečenju podzemnih voda. Značajnu ulogu dolomiti su odigrali u izvorišnom dijelu rijeke Lištica kod Širokog Brijega. Dolomitni antiklinalni strukturni oblici pružaju se dinarskim smjerom od vrela Lištica u pravcu sjeverozapada preko Ugrovače i sjeverno od Broćanca prelaze u sliv Tihaljine. Paralelno s ovim nizom pruža se dolomitna antiklinala od Grabove Drage koja tone duboko sjeverno od vrela Lištica i ponovno

Fig. 1 Hydrogeological map of Mostarsko blato catchment area (left page). Legend: 1) alluvial and limnoglacial sediments - permeable; 2) dilluvium - glacial deposits - low permeable; 3) lake and marsh sediments - impermeable; 4) flysch - clays, marls, sandstones and conglomerates - impermeable; 5) dolomites and dolomitic limestones - low permeable; 6) Palaeocene and Cretaceous limestones and breccias - karstified and permeable rocks; 7) limestones with dolomitic interlayers - karstified and very permeable rocks; 8) geological boundary; 9) transgressive boundary; 10) fault; 11) overthrust; 12) "photogeological" fault (for 8 to 12: dotted if presumed); 13) permanent spring (<10, 10-100, >100 l/s); 14) temporary spring; 15) estavelle; 16) ponor (swallow hole); 17) zone of ponors; 18) main groundwater flow direction; 19) groundwater connection; 19a) presumed groundwater connection; 20) surface water divide; 21) underground zonal water divide; 22) dug well; 23) drilled well; 24) observation borehole; 25) observation boreholes; 26) intake structure 27) permanent stream; 28) temporary stream; 29) accumulation; 30) retention.

izdanjuje u kanjonu Ugrovače kod Strmice južno od Sutine. Treći antiklinalni dolomitni niz izdanjuje oko 8 km sjeverno od Širokog Brijega (Samograd - Raška Glavica), duboko zaliježe ispod vapnenaca gornje krede i ponovno se javlja na sjeverozapadu sliva u trupini Štitar planine (MOIČEVIĆ & LAUŠEVIĆ, 1971).

Nepotpune (viseće) barijere tečenju podzemnih voda predstavljaju eocenski i miocenski klastiti i neogenske flišne naslage. Eocensko-oligocenski debelouslojeni konglomerati, pješčenjaci i lapori predstavljaju potpunu ili viseću barijeru tečenju podzemnih voda ovisno o strukturnoj građi terena. Ove su naslage u području polja Rakitno potpuna barijera i po njima teku potoci Jelica, Slobodnik i Zmajevac. Spajanjem ovih potoka u tok rijeke Ugrovače u mjestu Sutina dolazi do njihovog poniranja na rubu polja u okršenim vapnencima. Velike vode otječu u kanjon izmodeliran u eocenskim i gornjokrednim vapnencima (sl. 2).

Viseće barijere nalazimo sjeverozapadno od vrela Lištice, a predstavljene su eocenskim ($E_{2,3}$) fliševima. Ovi fliševi pružaju se u dva niza i to od Donjeg Crnča preko Ugrovače u smjeru Tribistova, a drugi smjer pružanja je od Pologa preko Grabove Drage i Dobrinja prema Sutini u Rakitnom polju. S obzirom na debljine ovih fliševa (do 300 m), njihov visoki položaj (600-800 m n.m.), i prekide u kontinuitetu tretiramo ih samo kao lokalne usmjerivače podzemnih voda.

Značajnu ulogu u usmjeravanju tečenja podzemnih voda imaju neogenske laporovito-glinovite naslage u nižim poljima (sjeverni rub Mostarskog Blata i Cim sjeverozapadno od Mostara), gdje zajedno s kvartarnim i jezerskim glinama pleistocena predstavljaju značajne barijere tečenju podzemnih voda.

Propusna područja izgrađena su od vapnenaca i dolomitičnih vapnenaca krede i donjeg eocena. U dobro propusne stijene kaverno-zno-pukotinske poroznosti uvršteni su vapnenci, dolomitični vapnenci i neke vrste dolomita. Brzo napredovanje krških procesa očituje se u velikim prividnim brzinama cirkulacije podzemnih voda iz planinskog područja Čabulje, Štitara, Rujna, te iz krških polja Rakitno, Kočerina, Trn, Mokro i Mostarsko Blato.

U pliocenu i kvartaru na krškim zaravnima i poljima odvijala se intenzivna tektonska aktivnost, koja je uvjetovala nastanak Mostarskog Blata i Kočerina polja bez taloženja morskih sedimenata. Duž toka rijeke Ugrovače krška polja stepenasto se spuštaju prema rijeci Neretvi, počev od Rakitnog (880 m n.m.) preko Kočerina (320 m n.m.), Trn (280 m n.m.) i Mokrog polja (270 m n.m.) do Mostarskog Blata (230-220 m n.m.).

3. VELIČINA SLIVA I TRASIRANJE PODZEMNIH VODA

Dužina povremenog riječnog toka Ugrovače, od izvorišta na sjeverozapadnom obodu polja Rakitno do ušća u rijeku Lišticu kod Širokog Brijega iznosi 42 km. Rijeka Lištica od izvora do ponora na jugoistočnom

obodu Mostarskog Blata dugačka je 18 km, a s povremenim tokom Ladina 28 km.

Povremeni tok rijeke Ugrovače nastaje od potoka u polju Rakitno. Od sastavaka kod Poklečana formiraju stalni tok rijeke Ugrovače koja nakon 1,5 km ponire u Markovića jami za perioda malih voda. Velike vode nastavljaju teći kanjonskim dijelom toka prema jugu i jugoistoku do utoka u rijeku Lišticu. Stalni tok rijeke Lištice teče od sjevera prema jugu i prima vode Ugrovače, te povija prema jugoistoku. Na dijelu toka od mosta u Širokom Brijegu do mosta u naselju Uzarići u periodu recesije voda difuzno ponire u ponornoj zoni riječnog korita. Sa sjeverozapada u Mostarsko Blato utječu vode s izvora Crmašnice i Žvatića, a sa zapada dotječu vode povremenog toka Mokašnice. Unatoč provedenim istraživanjima slivne granice Mostarskog Blata nisu potpuno definirane. Istraživanja pokazuju da je sliv razrito asimetričan, sa sjevera i sjeverozapada dotječu podzemne i površinske vode, a u donjem toku Ugrovača gubi vode na desnoj (južnoj) strani toka. Istraživanja također pokazuju da je položaj razvodnice ovisan o razini vode u podzemlju. Vode kod različitih vodostaja otječu u različite slivove. Karakterističan je slučaj razvodnice između vrela Lištice i Radobolje, u području južnih padina planine Čabulje. Naime, dinarske strukture i visoko izdignuti dolomiti u trupini Čabulja planine usmjeravaju podzemne vode prema jugu i jugoistoku, a položaj dolomita donje krede trebao bi usmjeravati podzemne vode prema vrelu Radobolje. Međutim, poprečni rasjed najveći dio podzemnih voda usmjerava prema jugu na vrelo Lištice. Sličnu pojavu imamo i u Rakitnom polju u vodotoku rijeke Ugrovače. Velike vode otječu kanjonom Ugrovače u Mostarsko Blato, a male vode poniru i podzemno otječu prema jugu u sliv Tihaljine i prema jugoistoku u sliv rijeke Lištice (sl. 1).

Na osnovu hidroloških veličina dobivena vrijednost za površinu sliva Mostarskog Blata je oko 560 km². Neki podaci iz projekta Mostarsko Blato ukazuju na površinu od 520 km², dok KOMATINA (1975) određuje površinu sliva od 500 km². Međutim, svi su ti podaci približni, jer nemamo podataka o podzemnom odljevu voda u sliv Tihaljine koji bi se mogao djelomično ustanoviti tek nakon dobivanja rezultata trasiranja Kočerina i Mokrog polja, i donjeg toka rijeke Ugrovače.

Orografska granica sliva pruža se od istoka, počev od Kruševa prema sjeverozapadu, preko Žovnice i Pologa izlazi na sjeveru na najviše vrhove Čabulja planine, zaobilazi Rosne poljane i izbija na sjeverozapadu na Štitar planinu. Na sjeverozapadu se orografska i podzemna razvodnica poklapaju zaobilazeći polje Rakitno najvišim vrhovima promina naslaga. Dalje prema zapadu granica sliva ponovo postaje podzemna - zonalna, a proteže se od Tribistova preko Crnih Lokava, Broćanca i Vranića. Na južnoj strani granica sliva zaobilazi Kočerina i Mokro polje s južne strane i preko najviših vrhova planine Trtla u potpunosti zaokružuje orografsku vododjelnicu sliva Mostarskog Blata (SLIŠKOVIĆ, 1994).

Granica sliva na južnoj strani od Kočerina do planine Trtla nije u potpunosti određena jer postoje hidro-

Naziv područja		Geološka kategorija		Hidrogeološke značajke
1.	Jelica	A	I	nepropusno područje
2.	Zaglavica	R	II	vjerovatno potapa povremena vrela
3.	Zbornjača	R	III	ponori uz rub retencije
4.	Rastoke	R	III	gornjekredni i eocenski vapnenci - dobro propusni
5.	Zelenikovac	R	II-III	neispitano područje - ponori nepoznati
6.	Ledina	R	II	ponori uz branu, nepovoljna visoka kota uspora
7.	Dobrковиći	R	II-III	ponori i povremeni izvori se potapaju
8.	Šarića Dubrava	R	III	ponori i povremeni izvori - propusno
9.	Dubrava	A	II	vododrživo područje
10.	Borak	A	II	slabo propusno područje
11.	Kraljica	A	II	povremeni izvori potapani
12.	Gornji kompenzacijski bazen u Mostar. Blatu	A	II	ponorske zone izbjegnute pri odabiru akumulacije
13.	Donji kompenzacijski bazen u Mostar. Blatu	R	II	dno bazena izgrađuju kvartarni slabo propusni sedimenti

Tablica 1 Pregled umjetnih akumulacija i retencija u slivu Mostarskog Blata. Legenda: A - akumulacija; R - retencija (HUMO & ZAHIROVIĆ, 1985).

Table 1 Review of studied reservoir and retention sites in the recharge area of Mostarsko Blato. Legend: A - reservoir; R - retention (after HUMO & ZAHIROVIĆ, 1985).

geološke pretpostavke da podzemne vode putem ponora u okruženim krednim vapnencima napajaju izvore u dolini Tihaljine (Klokun, Grabovo vrilo, Vrioštica i Studenci). Velike površinske vode otječu potocima Maticom i Mokašnicom u Mostarsko Blato.

Prema podacima iz projekta Mostarskog Blata (HUMO & ZAHIROVIĆ, 1995) na temelju hidroloških opažanja pet vodotoka (Lištica, Ugrovača, Žvatić, Crnašnica i Mokašnica), u periodu od 1965. do 1979. ukupni rezultati mogu se svesti na slijedeće:

- Ukupni prosječni godišnji dotoci u Mostarsko Blato koji donose navedeni tokovi iznose 16,9 m³/s, odnosno $V = 534 \times 10^6$ m³/g.
- Od svih voda rijeka Lištica s Ugrovačom u prosjeku donosi 87% ili 14,3 m³/s.
- U sušnom periodu na raspolaganju su vode s izvora rijeke Lištice ($Q_{\min} = 2,8$ m³/s), od kojih se veći dio odvodi irigacionim kanalima Crnašnice, Oropnika i vrela Žvatić.
- Poplave u Mostarskom Blatu pojavljuju se svake godine, što pokazuje da kapaciteti ponora i izgrađenog tunela ($Q_{\max} = 50$ m³/s) nisu dovoljni za efikasnu odvodnju.
- Prema rezultatima trasiranja ponora Markovića jama u polju Rakitno (KOMATINA, 1975), od 2. studenog 1965. godine, obojana voda je počela istjecati na vre-

lu Lištice nakon 8 dana, a na vrelima Klokun i Vitina nakon 10 dana. Prividna brzina obojane vode prema izvoru Lištice iznosi 1,57 cm/s, a prema Klokunu 3,86 i Vrioštici 3,27 cm/s. To su podaci za visoke vode. Gubitak voda iz sliva Mostarskog Blata, prema rezultatima ovog trasiranja, počima na krajnjem sjeverozapadu sliva, a nastavlja se u donjem toku rijeke Ugrovače (Trn polje).

- Glavnina površinskih voda Mostarskog Blata otječe putem ponora na jugoistočnom rubu. Grupa sjevernih ponora od Plitonje do Renkovače daje vodu u sliv izvora Jasenice, a vode s ponora na jugoistočnom rubu otječu prema nizvodnim vrelima Crno Oko i Arape Mlin u dolini rijeke Neretve. Površinske vode manjih krških polja (Kočerina, Trn i Mokro) pripadaju slivu Mostarskog Blata, a podzemne još uvijek nisu definirane jer trasiranje ponora u Kočerina polju i vodotoku potoka Matice kod škole u mjestu Privalj (1978. godine) nisu dala nikakve rezultate (ZELENIKA et al., 1988).

4. RETENCIJE PODZEMNIH I POVRŠINSKIH VODA

Povremena površinska retencija Mostarsko Blato puni se površinskim vodama rijeke Ugrovače i podzem-

nim putem preko stalnih i povremenih izvora rijeke Lištice, Crnašnice i Žvatića. Višegodišnja minimalna izdašnost izvora rijeke Lištice je 2,8 m³/s, srednja 12,5 m³/s, a maksimumi su veći od 50 m³/s.

Plavljenje Mostarskog Blata traje od 4-6 mjeseci. Minimalni proticaji rijeke Lištice poniru kod mosta u mjestu Uzarići nizvodno 6 km i ponovo se javljaju u izdubljenom koritu iz šljunaka u Mostarskom Blatu. Glavno vrelo rijeke Lištice izbija na koti 300 m n.m. Istječe iz masivnih dolomita iz 3 podjednaka kraka na međusobnoj udaljenosti od po 30 m, s ukupnom protokom od 1,6 m³/s u minimumu. 120 m sjevernije javlja se Bilo vrilo s minimalnom izdašnošću 1,2 m³/s. Izvor istječe na desnoj obali rijeke iz rasjedne zone u naboranim tankouslojenim vapnencima. Jedan kilometar sjevernije na lijevoj strani kanjona javljaju se povremena vrela u Borku, koja izviru iz krednih dolomitičnih vapnenaca na koti od 380-400 m n.m., a presuše 1-2 mjeseca u recesionom periodu godine.

U periodu velikih padalina aktiviraju se brojne estavele i povremeni izvori na obodu Trn i Kočerin polja, i sjevernom obodu Mostarskog Blata. Kada se to događa doticaj voda je velik, te dolazi do plavljenja Mostarskog Blata. Na jugoistoku Blata 1949. g. prokopan je odvodni tunel kapaciteta 50 m³/s. Pored tunela se nalazi više ponora i ponornih zona čiji kapacitet ovisi o visini vodenog stupa u polju i kreće se od 0,0 do 27,54 m³/s (SLIŠKOVIĆ, 1995a, b).

Kapacitet tunela i maksimalne vode ponora rijeka Jasenica ne može prihvatiti, pa se srazmjerno velikim vodama regulira protok kroz tunel. Prema podacima mjerenim na opažačkim bušotinama, razina podzemne vode oscilira od 10 m na sjeverozapadnom dijelu polja do 120 m na jugoistočnom. Na temelju pregledane dokumentacije Idejnog rješenja Mostarskog Blata (1985. g.), u širem prostoru sliva moguća je izgradnja 13 akumulacija i retencija za potrebe hidroenergije, vodoopskrbe i navodnjavanja krških polja Rakitno, Kočerin, Trn, Mokro i Mostarsko Blato (tablica 1). Akumulacije i retencije su predviđene na Ugrovači (7), Lištici (2), Matici - Kočerin (1) i dvije u Mostarskom Blatu (tablica 1, sl. 1).

U geološki povoljne akumulacione prostore svrstane su akumulacije u terenima izgrađenim od flišnih i glinovitih naslaga, te one u dolomitnim strukturama, a to su Jelica, Kraljica, Dubrava i Mostarsko Blato (gornji kompenzacijski bazen). Geološki manje povoljne akumulacije su akumulacioni prostori druge kategorije, a nalaze se u vapnencima i dolomitima s pojavom povremenih izvora i estavela, te u rubnom dijelu Mostarskog Blata (donji kompenzacijski bazen). U tim područjima su potrebni obimni istražni i sanacioni radovi.

Treće kategorije su izrazito nepovoljni akumulacioni prostori u kojima bi se mogle ostvariti povremene retencije koje bi izravnavale režim stalnih izvora Lištice i Vriostice, Studenčice i dr. To su Zbornjača, Rastoke, Zelenikovac, Dobrkovići i Šarića Dubrava. Za ove retencije su potrebni obimni istražno-sanacijski radovi.

Geološko-tektonska i morfološka grada terena je izrazito nepovoljna, jer postoji veliki broj krških fenomena koji bi gutali velike količine vode.

Rješenjem regulacije voda Mostarskog Blata, pored HE od 80 mW električne energije, dobilo bi se preko 7.000 ha kvalitetnog poljoprivrednog zemljišta sa natapnim sistemom, zatim vodoopskrba, ribogojilišta i turistički atraktivna područja. Umjetne akumulacije u kršu znatno bi poboljšale režim istjecanja na krškim izvorima izravnanim proticajima u recesionom periodu.

5. LITERATURA

- HUMO, DŽ. & ZAHIROVIĆ, S. (1985): Idejno rješenje kompleksnog iskorištavanja prirodnih potencijala kraškog područja Mostarsko Blato.- Posebno izdanje, Poslovna zajednica, Mostar, 153 str.
- KOMATINA, M. (1975): Hidrogeološke odlike slivova centralno-dinaridskog karsta.- Beograd, 105 p.
- MOIĆEVIĆ, M. & LAUŠEVIĆ, M. (1971): Osnovna geološka karta 1:100.000 i tumač lista Mostar.- Zavod za geol. Sarajevo, Sav. Geol. Zavod Beograd.
- RAIĆ, V. (1986): Osnovna geološka karta M 1:100.000 i tumač lista Imotski.- Zavod za geol. Sarajevo, Sav. Geol. Zavod Beograd.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1994): On the hydrogeological conditions of western Herzegovina and possibilities for new groundwater extractions.- Geol. Croatica, 47/2, 221-231.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1995a): Hidrogeologija Hercegovine i utjecaj akumulacija na režim izvora.- 1. hrvat. konf. o vodama, Zbornik, 2, Dubrovnik.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1995b): Hidrogeološke značajke Hercegovine s posebnim obzirom na korištenje i zaštitu podzemnih voda.- 1. hrvat. geol. kongres, Zbornik radova, 2, 541-546, Zagreb.
- ZELENIKA, M., BILOPAVLOVIĆ, V. & SOLDI, B. (1988): Vode sliva Mostarskog Blata.- Rudarsko-geološki glasnik, 2, 27-34, Mostar.



Podzemne i površinske vode Parka prirode Blidinje

On Ground and Surface Waters in the Blidinje Park of Nature

Ivan SLIŠKOVIĆ¹ & Mladen ZELENKA²

Ključne riječi: Blidinje jezero, Park prirode, ledenjački sedimenti, krški izvor, ponor.

Key words: Blidinje Lake, Park of Nature, Glacier sediment, Karst spring, Ponor.

Sažetak

Područje parka prirode Blidinje prostire se na zapadnoj strani rijeke Neretve na približno 600 km². Park obuhvaća jezero Blidinje kao središnji fenomen i tri skoro netaknute planine: Vran, Čvrstica i Čabulja. To je posebno područje glede klime, geomorfoloških oblika, geoloških struktura, raslinja, životinjskog svijeta i povijesti korištenja tla. Iako su značajne visine oborina, a postoje i brojni izvori, jezera i rijeke, veliki dio Parka oskudijeva vodom svakog ljeta. Uzrok tomu je brzo dreniranje okršanih karbonatnih stijena koje izgrađuju područja na visokim nadmorskim visinama. Cjelokupno područje drenira rijeka Neretva. Pritoke Neretve - Rama, Doljanka, Diva Grabovica i Drežanka - dreniraju najveći dio površine ovog Parka. U radu su prikazani hidrogeološki uvjeti opstojnosti vode u jezeru Blidinje, problematika vodoopskrbe parka pitkom vodom i preventiva zaštite vode temeljnica od zagađivanja iz novoizgrađenih objekata.

Abstract

The Park of Nature Blidinje spreads on the western side of the Neretva river within about 600 sq. km. The Park comprises the Lake Blidinje, as a central phenomenon, and three almost intact high mountains: the Vran, Čvrstica and Čabulja. It is a unique area in terms of its climate, geomorphology, geologic structures, vegetation, fauna and land use history. Despite its high precipitation - and the occurrence of a number of springs, lakes and rivers - a large area in this Park lacks in water during summer seasons. This is caused by a fast drainage of karstified carbonate rocks that compose the high areas of this region. All this region is drained by the river Neretva. The tributaries of the Neretva river - the Rama, Doljanka, Diva Grabovica and Drežanka - drain the most of the Park area. The paper presents the hydrogeological conditions for water retention in the Blidinje lake, the water supply issues for the park, and the groundwater protection measures implemented to prevent pollution from newly constructed facilities.

1. UVOD

Ime Parka prirode, namjena i granice, određeni su Zakonom koji je odobren u Daytonu. Park prirode Blidinje obuhvaća planine na desnoj obali srednjeg toka rijeke Neretve: Ljubuš, Vran, Čvrsticu i Čabulju. Na sjeveru Parka je Ramsko jezero i kanjon rijeke Rame, a na istoku je kanjon Neretve. Na jugu, Park se pruža do južnog ruba planinskog masiva Čabulje.

Razvoj krških oblika omogućen je uglavnom povoljnim klimatskim i morfološkim uvjetima, strukturnim sklopom, litološkim sastavom i intenzivnom tektonskom aktivnošću krajem pliocena i početkom pleistocena. Značajnu ulogu ima i paleookršavanje tijekom mezozoika i tercijara.

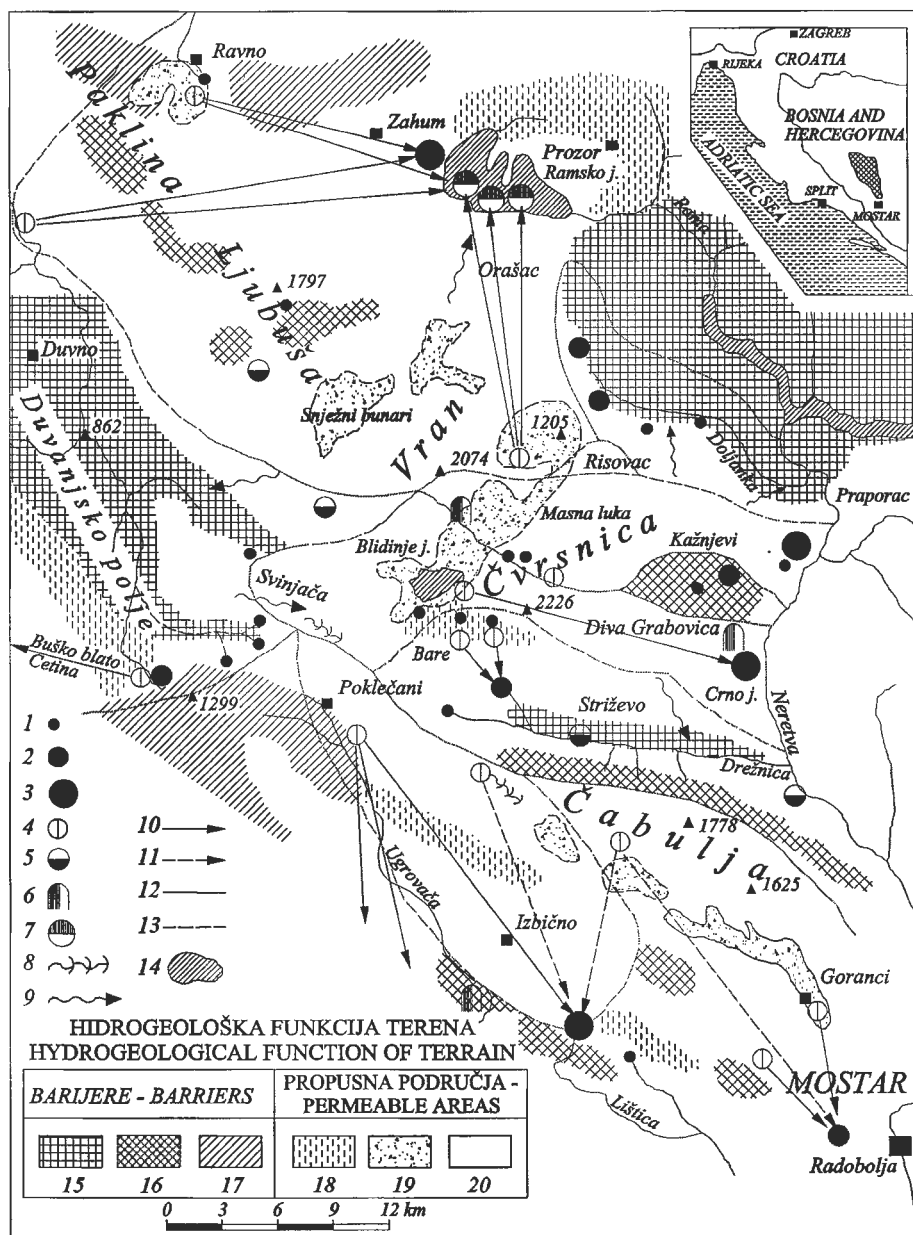
Dugo polje u središnjem dijelu Parka pruža se pravcem SI-JZ između gorskih masiva Vrana i Čvrstice. Lednička depresija Dugo polje oblikovana je na visini od 1180 do 1220 m n.m. U jugozapadnom dijelu te

depresije formiralo se Blidinje jezero na ledenjačkim, slabije propusnim naslagama. Površina jezera Blidinje koleba od 15 do 600 ha. Velike promjene površine jezera uvjetovane su dobrom propusnošću jugoistočnog ruba i neravnomjernim rasporedom padalina tijekom godine. Za vrijeme mjerenja 1990. godine ustanovljen je dnevni gubitak od 10 mm/dan (300 l/s) poniranjem i 6 mm/dan (180 l/s) evaporacijom. Kako je prosječna dubina jezera mala (svega 1,9 m) a dnevni gubici vode veliki, zabrinjava nedostatak vode u jezeru tijekom sušnog ljetnog perioda i zimskih suhomrazica (RAZDO-ROV, 1990).

Poznavajući navedeno stanje s nedostatkom vode u jezeru, tijekom ljeta 1991. godine pristupilo se izradi zaštitne brane prema ponornoj zoni na jugoistočnoj strani jezera na lokalitetu Ivan Dolac. Zbog lošeg izvođenja sanacijskih radova nisu postignuti željeni rezultati, te je problem opstanka jezera i dalje ostao neriješen.

¹Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Geotehnički fakultet Varaždin, Sveučilište u Zagrebu,



Sl. 1 Hidrogeološka karta Parka prirode Blidinje. Legenda: krški izvor min. izdašnosti 1) <10 l/s, 2) 10-100 l/s, 3) >100 l/s; 4) ponor; 5) povremeni izvor; 6) špilja s vodom; 7) potopljeni izvor; 8) ponorna zona; 9) povremeno oticanje površinskih voda; 10) utvrđena podzemna veza; 11. pretpostavljena podzemna veza; 12) površinska i podzemna razvodnica; 13) zonalna razvodnica; 14) jezero; 15) potpuna hidrogeološka barijera; 16) podzemna dubinska barijera; 17) relativna podzemna barijera; 18) nepotpuna viseća barijera; 19) kvartarni propusni sedimenti; 20) propusna područja.

Fig. 1 Hydrogeological map of the Blidinje Nature Park: karst springs with min. yield 1) <10 l/s, 2) 10-100 l/s, 3) >100 l/s; 4) swallow hole; 5) intermittent karst spring; 6) cave with water; 7) inundate karst spring; 8) zone of ponors; 9) intermittent overland runoff water; 10) proved underground flow; 11) inferred underground flow; 12) surface and underground water divide; 13) groundwater zonal divide; 14) lake; 15) full hydrogeological barrier; 16) underground deep barrier; 17) partial underground barrier; 18) hanging barrier; 19) quaternary permeable sediment; 20) permeable area.

Podzemne i površinske vode čine jedinstveni ekosustav, koji treba preventivno zaštititi, jer ovo prostrano područje prihranjuje velika krška vrela u kanjonima srednjeg toka rijeke Neretve, Rame, Dive Grabovice, Drežnice i u sljevu Mostarskog Blata.

2. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

2.1. HIDROGEOLOŠKA FUNKCIJA STIJENA I TERENA

Širi prostor Ljubuše, Vrana, Čvrsnice i Čabulje izgrađuju uglavnom vapnenci jurske i kredne starosti, dolomiti trijasa, jure i donje krede, paleocenski i eocenski klastiti i kvartarni glacijalni i fluvio-glacijalni sedimenti. Vapnenci trijaski i jurski starosti i dolomiti izgrađuju krajnji sjeverni i sjeverozapadni dio terena

Čvrsnice i skoro cijeli Vran, a susrećemo ih i u antiklinalama Drežanke i Dive Grabovice (RAIĆ et al., 1986; PAPEŠ, 1967).

Ispucalost vapnenaca i njihova rastvorljivost u vodi u prisustvu ugljične kiseline od presudnog su značaja za ovo područje krša. Uslijed toga, u ovim stijenama dolazi do formiranja disolucijske, pukotinske i kavernozne propusnosti. Jače okršavanje karbonatnih masa predisponirano je brojnim rasjedima koji su u najvećem broju slučajeva i glavni drenovi podzemnih voda. Dubina i smjerovi cirkulacije su ovisni od položaja nepropusnih stijena, i to primarno dolomita trijaski starosti, a znatno manje od jurskih i krednih dolomita.

Dolomiti gornjeg trijasa su ponegdje i okršeni, ali u osnovnoj strukturi su nepropusni i čine barijere podzemnim vodama. Značajnu ulogu dolomiti su odigrali u formiranju razvodnica u srednjem toku Neretve, kao što su dolomiti antiklinala Drežanke i Doljanke (sl. 1).

Važniju ulogu u smjeru tečenja podzemnih voda i predispoziciji smjerova okršavanja imale su paleogene i neogene flišolike naslage formirane u bazenima različite starosti i postanka. Tako su Kupreški i Ramski bazeni nastali tektonskim putem - spuštanjem duž rasjeda krajem paleogena. Neotektonskim pokretima u pliocenu i kvartaru tereni su dobili današnji izgled (POLJAK, 1949). Istovremeno se odvijala intenzivna tektonska aktivnost koja je uvjetovala nastanak krških polja bez taloženja morskih ili jezerskih sedimenata. Tako je nastalo Dugo polje između Vrana i Čvrsnice.

U području vrela Rame barijera podzemnim vodama su klastiti donjotrijaske starosti, koji se sastoje od pješčenjaka i škriljavca. Sedimenti kvartara u međuplaninskim depresijama ponašaju se kao kompleksi dobropropusnih stijena s proslojcima slabije propusnih, iz kojih istječu mali ocjedni izvori, značajni za lokalnu vodoopskrbu.

2.2. SLIVNA PODRUČJA I SMJEROVI TEČENJA PODZEMNIH VODA

Šire područje Parka prirode drenira se u šest hidrogeoloških cjelina, i to: 1) Na sjeveru područja Parka je sliv Ramskog jezera i rijeke Rame; 2) Na sjeveroistoku je sliv rijeke Doljanke; 3) Na istoku je sliv vrela Veliki i Mali Praporac, i sliv Crnog jezera; 4) Prema jugoistoku podzemne vode otječu od Poklečana u sliv Lištice; 5) Područje planine Čabulje drenira se na vrela Radobolje i Studenca; 6) Krajnji zapadni dio Svinjače i Kongora dreniraju se prema Duvanjskom polju i preko ponora Kovači u Buško Blato i dalje u sliv Cetine.

Sliv rijeke Rame površine cca 790 km² zahvaća veliko krško područje zapadno od Ramskog jezera. Nakon višekratnih bojenja i proučavanja litoloških i morfoloških odnosa (KOMATINA, 1975) definiran je sliv vrela Rame kao asimetričan prema gornjem toku. Najveći dio voda gravitira iz juogoistočnih vapnenačkih predjela. Definiranost sliva u ovom području je utvrđena nakon bojenja ponora u Risovcu i jezeru Blidinje. Trasiranjem podzemnih voda je ustanovljeno da prema vrelima Rame teku vode od Kupreškog polja. Najveći dio voda gravitira iz vapnenačkog predjela i poklapa se približno s granicama tektonskog bloka Vran planine. Sliv je definiran trasiranjem ponora u kanjonu Šujice, Ravnog polja, u Oraščkoj uvali i ponora Mlinica u Risovcu (sl. 1).

U vapnenačkom dijelu sliva, počev od Ravnog polja (kota 1137-1154 m) oblikovanom u vapnencima, bogatom ponorima raspoređenim duž rasjeda koji se poklapa sa sjeveroistočnim rubom polja, vodonosnik je uvjetovan dugim rasjedom, što upućuje na koncentrirani tok. To je potvrđeno bojenjem ponora u Ravnog polju, a obojena voda pojavila se na četiri opažana vrela, i to Varvari, Krupić, Bug i Prospa (KOMATINA, 1975).

U širem predjelu Vran planine tok podzemne vode u vodonosniku ima smjer prema sjeveroistoku. Ovdje je hidrogeološki privilegirani smjer Sniježni bunari - Oraščka uvala - Ramsko jezero. Dakle, voda iz ponora u

Risovcu i Oraščkoj uvali gravitira prema vrelima na južnom rubu Ramskog jezera. Glavna vrela Varvara, Bug, Krupić i Mostić nalaze se pod usporom akumulacije za HE Ramu, koja zahvaća površinu 20 km².

Sliv rijeke Doljanke (P = 95 km²) ograničen je na užu zonu duž riječkog toka, a izgrađen je od vodonepropusnih stijena. U dolini Doljanke pojavljuju se veoma mali ocjedni izvori izdašnosti 0,1-1,0 l/s, i pukotinski od 5 l/s, vezani za pojedine blokove vapnenačkih stijena.

Neposrednom slivu Neretve nizvodno od Jablanice pripadaju izvori Velikog i Malog Praporca. Sliv je ograničen sa sjevera i juga dolomitima Doljanke i Drežanke, dok je zapadna granica nejasna. Sliv Velikog i Malog Praporca od Crnog jezera odvaja dolomitna antiklinala Dive Grabovice. Izdašnost u minimumu iznosi 0,8 m³/s kod Velikog Praporca i do 0,4 m³/s kod Malog Praporca. Veliki Praporac je kaptiran za vodoopskrbu grada Jablanice.

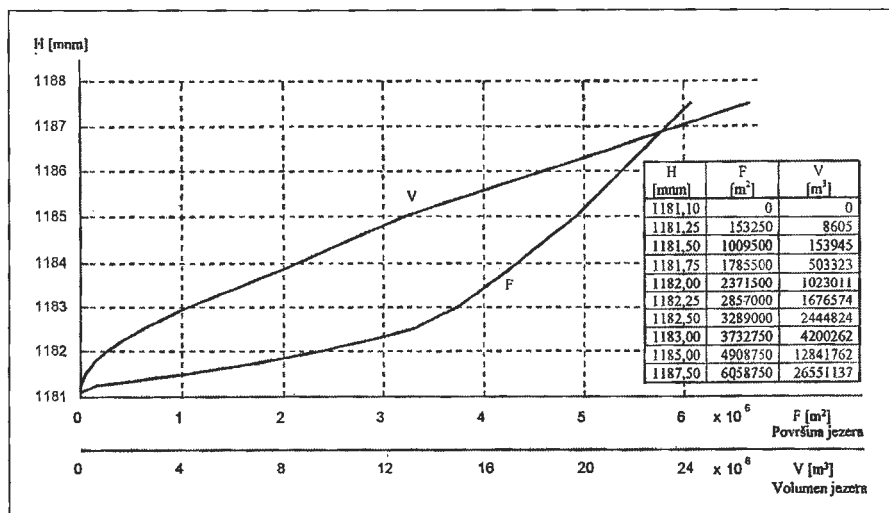
Voda Crnog jezera nalazi se cca 800 m nizvodno od brane Grabovice, i izvire sifonalno iz vrtače koja je ispod korita Neretve. Na višoj koti 7-8 m nalazi se špilja s jezerom iz koje istječe voda samo u periodu visokih padalina. Odnos između minimalne, srednje i maksimalne izdašnosti je 1:7:50 m³/s. Trasiranjem ponora na jugoistoku Blidinje jezera, u Ivan Docu, dokazana je podzemna veza s Crnim jezerom (Slišković et al., 1982; Slišković, 1994).

Sliv rijeke Drežanke je izmodeliran u dolomitima trijasko starosti jedne monoklinalne strukture. Površina sliva je oko 125 km². Bojenjem ponora u Gornjim i Donjim Barama utvrđena je podzemna veza s glavnim vrelom Drežanke. Ovim trasiranjem je ustanovljena sjeverozapadna granica sliva na vrhovima Jelinka južno od jezera Blidinje. Opažanjem vodostaja i protoka nizvodno od vrela Drežanke uvrđene su sljedeće izdašnosti: $Q_{max}:Q_{sr}:Q_{min} = 9,1:2,18:0,12$ m³/s.

Slivu vrela Lištice pripadaju dijelovi sliva Ugrovače u Rakitnom polju. Bojenje ponora Markovića Mlinica u Sutini dokazalo je vezu s vrelima Lištice 25%, Vrioštice 30% i Klokuna u Klobuku 55%. Temeljem tih spoznaja, logično je da dio Parka prirode Poklečana i Čabulja planine pripada slivu vrela Lištice (Zelenika, 1988).

3. KOLIČINE VODE U VISOKIM PREDJELIMA PARKA

Na približno 600 km² Parka Blidinje, gdje su obilne padaline s prosječnih 1590 mm na godinu, relativno je mali broj stalnih površinskih tokova i jezera. Glavnina jakih krških vrela istječe u duboko usječnim kanjonima rijeka Neretve, Rame, Doljanke, Dive Grabovice i Drežanke. Velika vodopropusnost vapnenaca i dolomita mezozojske starosti, koji uglavnom izgrađuju planine Vran, Čvrsnicu i Čabulju, te dobra vodopropusnost kvartarnih fluvioglacijalnih i morenskih sedimenata u krš-



Sl. 2 Dijagram ovisnosti volumena i površine jezera Blidinje od nadmorske visine vode u jezeru.

Fig. 2 Diagram showing the relationship between the volume and area of the Blidinje Lake and its altitude above sea level.

kim zaravnima Dugog polja, Svinjače i Risovca, razlogom su takvom razmještanju izvorišta i tokova površinskih voda u Parku prirode.

Jezero Blidinje, stalni tok Brčanj, te nekoliko izvora u Masnoj Luci i četiri manja jezera na Čvršnjici, s nekoliko malih pukotinskih izvora i povremenih lokava najznačajnije su pojave voda na području višem od 1180 m n.m. Pojave plitkih podzemnih i površinskih voda nalazimo i na južnim padinama Čvršnjice u području Bara.

Sliv jezera Blidinje zahvaća površinu od 48 km². U podlozi kvartarnog nanosa jezera su vapnenci i dolomiti gornjojurske i donjokredne starosti sa izraženom krškopukotinskom poroznošću. Kvartarni pokrivač do dubine od 10-40 m izgrađuju glacijalni i proluvijalni sedimenti naizmjenično slabije ili bolje propusni. Kvartarnu podlogu do dubine od 2 do 5 m izgrađuje sitni eolski pijesak i prah, donesen sjevernim vjetrom s Vrana planine. Ovaj prašnasti nanos je osnovni usporivač poniranja površinskih voda, ali istovremeno zapunjava jezero, pa se njegova dubina smanjuje, a ponori na jugoistočnom obodu i Ivan Docu produbljavaju. To je realna opasnost isušnju jezera, ako se ne poduzmu mjere zaštite.

Tijekom 1990. i 1991. godine izvedena su mjerenja na jezeru. Najveća dužina jezera je 3645 m, širina 1585 m i dubina 5,10 m. Prosječna dubina vode u jezeru je 1,9 m. Prosječna površina jezera je $2,5 \times 10^6$ m², a maksimalna $6,05 \times 10^6$ m².

U rujnu 1990. godine jezero je bilo skoro suho s prosječnom dubinom vode svega 15 cm, što je zahtjevalo brzo brtvljenje ponorne zone na jugoistoku u smjeru Ivan Doca. Za očuvanje jezera s njegovom faunom i florom izveden je probni nasip u dužini od 600 m okomito na smjer najvećeg poniranja. To je samo djelomično usporilo otjecanje vode iz jezera, jer nasip nije izveden po projektu. Na sl. 2 prikazan je dijagram ovisnosti volumena i površine od visine vodenog stupa u jezeru.

Vodotok Brčanj u Risovcu nalazi se na sjeveroistočnom dijelu Dugog polja na koti 1200 m n.m. Najniži

dio polja je izgrađen od močvarnog siltoznog nanosa, te predstavlja vododrživi, plavljeni dio polja. U najnižem dijelu je ponor s više "ždrijela" i kapacitetom poniranja do 500 l/s. Minimalni protjecaj potoka Brčanj je 10-30 l/s. Postoji realna mogućnost za stvaranje manje akumulacije u najnižem dijelu polja.

Orografski sliv Masne Luke ima površinu oko 9 km², a izmodeliran je u vapnencima i dolomitima. Dno depresije izgrađuju glacijalni sedimenti. Ostaci čeonih morena vidljivi su na rubnim dijelovima depresije. Središnji dio je podvodan s barskom sedimentacijom. Na rubovima su izvori Jasle, Fratarsko vrilo, Juriljevo vrilo, Gornje Bare i jezera u Gornjim Barama. Svi navedeni izvori su minimalne izdašnosti od 0,1-2,0 l/s, a poniru u depresiji na najnižem rubnom dijelu Donjih Bara. Voda istječe iz morenskih konglomerata na kontaktu s proslojcima slabovezanih pijesaka i siltova. Premda Bare u Masnoj Luci povremeno plave velike vode, mogućnost formiranja stalne umjetne akumulacije je upitna jer je podloga veoma okršena, a močvarišni pokrivač male debljine.

U jugoistočnom dijelu Parka prirode nalaze se bujični kanjonski tokovi Dive Grabovice i Drežanke, s većim brojem izvora izdašnosti od 1 do 10 l/s.

Kakvoća vode u rubnim vodotocima i velikim krškim vrelima je dobra, jer su gorska područja Parka veoma slabo naseljena, a nema ni rudarskih radova, izuzev nekoliko kamenoloma i siparišnog materijala kvartarne starosti. To su strateške rezerve koje će u bliskoj budućnosti predstavljati jedine bilancne rezerve zdrave pitke vode.

4. ZAKLJUČCI I PREPORUKE ZA ZAŠTITU VODA

Temeljem podataka dobivenih dosadašnjim istražnim radovima u području Parka prirode, ustanovljeno je da je područje veoma bogato oborinama i dubokim podzemnim vodama, a istovremeno su površinske vode

beznačajne i veoma ranjive. U tom smislu daju se slijedeće preporuke:

- 1) Osnivanje odgovarajuće meteorološke stanice;
- 2) Očuvati jezero Blidinje hitnim tehničkim intervencijama s minimalnim mogućim rizikom. Glavne zadatke ovih intervencija su: smanjivanje intenziteta otkanjanja vode u ponore, smanjivanje bujičnog i eolskog nanosa u jezero i smanjenje intenziteta evaporacije sa slobodnih površina vode (pošumljavanjem okoline jezera), te eventualno snižavanje dna jezera produbljanjem pjeskovito-prašinskih sedimenata;
- 3) Istraživati plitke podzemne vode u Masnoj Luci i Risovcu, uključujući mogućnosti akumuliranja vode "žetvom" kišnice tijekom intenzivnih padalina i aktivnosti povremenih izvora, radi buduće opskrbe vodom;
- 4) Izrada trajnih akumulacija površinske vode u Masnoj Luci, Brčnju i Donjim Barama zahtijeva izvedbu odgovarajućeg programa istražnih radova i opazanje razina podzemne vode;
- 5) Pri iskopima tla za potrebe gradnje puteva, temelja kuća, štala, kanala za razne vrste komunikacija, pridobivene su i uklonjene velike količine kamene drobine na izvorištu Brčan, te uz tokove bujica koje teku prema jezeru Blidinje, Dugom polju i Risovcu. Iskopišta su štetna po okoliš, a pogotovo kruti otpad, koji se odlaže u ove jame. Ravnateljstvo Parka mora imati mogućnost potpune kontrole i spriječavanja ovakvih i drugih štetnih pojava u Parku (KRASIĆ & ZELENIKA, 1998);
- 6) Septičke jame, gnojnice i divlja odlagališta krutog otpada osnovni su zagađivači površinskih i podzemnih voda u Parku. Treba proučiti sve potencijalne zagađivače, te koncipirati i realizirati odgovarajuće mjere njihove hitne sanacije i kontrole budućeg zbrinjavanja potencijalnih zagađivala (THOMANN et al., 1987).

Temeljem prikupljenih podataka o kvaliteti podzemnih i površinskih voda u i oko Parka prirode, može se konstatirati njihova dobra kakvoća, što je veoma značajno sa stanovišta korištenja i zaštite. Da bi se održala sadašnja kvaliteta voda nužno je poduzimati niz prethodno navedenih mjera koje treba kontinuirano provoditi, shodno vrsti uporabe pojedinih dijelova terena. U pravilu sve podzemne i površinske vode u Parku prirode Blidinje, prema utvrđenim kriterijima, uz moguće potrebe za mehaničkim pročišćavanjem, a obavezno s dezinfekcijom, moguće je koristiti za vodoopskrbu stanovništva i druge potrebe.

5. LITERATURA

- KOMATINA, M. (1975): Hidrogeološke odlike slivova centralnodinarskog karsta.- Beograd, 105 str.
- KRASIĆ, P.S. & ZELENIKA, M. (1998): Water pollution control in Park of Nature Blidinje.- International Simposium, Primošten.
- PAPEŠ, J. (1967): Osnovna geološka karta 1:100.000 i tumač lista Livno.- Zavod za geol. Sarajevo, Sav. Geol. Zavod Beograd.
- POLJAK, J. (1949): Izvještaj o geološkom kartiranju Duvanjskog polja i Svinjače sa Blidinjim jezerom.- Fond stručnih dokumenata Geološkog zavoda Sarajevo.
- RAIĆ, V. (1986): Osnovna geološka karta 1:100.000 i tumač lista Imotski.- Zavod za geol. Sarajevo, Sav. Geol. Zavod Beograd.
- RAZDOROV, P. (1990): Izvedbeni projekt zaštite jezera Blidinje - eksperimentalna dionica.- "Hidrotehnoeksport" d.o.o., Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, I., JOSIPOVIĆ, J. & JAHIĆ, M. (1982): Hidrogeološke odlike čvrstih stijenskih masa u BiH, mogućnost dobivanja i aspekti zaštite podzemnih voda.- Fond stručnih dokumenata SIZ-a znanosti BiH-e.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1994): On the hydrogeological condition of western Herzegovina and possibilities for new groundwater extractions.- Geol. Croatica, 47/2, 221-231.
- THOMANN, R.V., LOBOS, J.E., SALAS, H.J. & DOS SANTOS, J.L. (1987): Manual de evaluacion y manejo de sustancias toxicas en aguas superficiales, (3) Evaluacion preliminar del problema.- CEPIS Technical Report.
- ZELENIKA, M. (1988): Hidrogeološka studija Parka prirode Blidinje.- Arhiv zapadno-hercegovačke Županije, Posušje.





Remote Data Transmission for Hydrological Investigations State-of-the-Art and Further Trends

Hermann STADLER

Key words: Hydrological investigations, Data logging, Data acquisition, Data transfer, Satellite communication, World Wide Web.

Abstract

Data acquisition for hydrogeological purposes can be organized in new ways in the future. The use of new communication systems can bring advantages for these purposes. The remote data transfer methods via different networks and communication ways offer a wide variety of possibilities. The most important of them for the future work are described here. These are the cellphone networks, satellite data transfer and the world wide web. All of them can be combined in different ways. Also very interesting is the networking of data-loggers in the field with triggering and alert possibilities for different event monitoring systems.

1. INTRODUCTION

During the last years we get more and more used to work with a new kind of data collection in the field for our hydrogeological investigations. This new kind of data collection is the electronical aided data recording and storing. The future prospects are at one hand the increasing of usefull parameters for hydrological investigations, which can be measured on-line in the field and at the other hand the remote data transmission from this electronical measuring systems to a central processing unit.

In this paper the different possibilities of data collection and remote data transmission are discussed with the problems and advantages of the use of these new technologies.

2. ADVANTAGES OF REMOTE DATA TRANSMISSION

Today's practice of gathering hydrogeological data from the field to the office is the way we normally call

“maintenance of measuring equipment and measuring place”.

This kind of work is done in a more or less equidistant time-scale, because the paper of the level-recorder or the memory of the data-logger is limiting the increment of visiting the measuring site. This periodical visits are well founded with the maintenance of the measuring place and equipment, as we ordinary in the office know nothing about the state outside in the field. That means we have no answers to questions like:

Does our equipment works well?

Is there something destroyed?

What are the effects of the last flood-wave?

Are there any probes and sensors to clean?

Works the pencil of the level recorder correct or have the accumulators of the system still enough power?

Works the solar-panel quite right?

And so on.

If we have to workout a stage-discharge relation or we want to take samples during different hydrological situations or we only want to know more about the conditions during high-water at this place or at least we only want to be sure that the equipment is working correct during our tracing experiment or during a well organised event monitoring, we can get problems with this regular time-scaled measuring point maintenance and this kind of long spaced data collection.

The other side of this considerations is the economical aspect. It is a very cost-intensive part of our work, to drive to a measuring site far away to work there for some minutes to gather the data.

This short reflections show, that there are some important reasons to think about the introduction of remote data transmission, not only for high water prediction, but also for our hydrogeological and hydrological investigations.

The further remarks will show, that there are different possibilities of usefull data transmission.

3. POSSIBILITIES OF DATA-TRANSMISSION

The possibilities of data collection can be divided in different ways:

Time-interval: short - long, periodical - irregular or on-line transmission.

Transmission medium: hardware transport (Laptop, memory cards, data collection device, ...) cable, terrestrial radio, satellite-radio, cell-phone networks, Local Area networks (LAN), internet or different combinations.

Both possibilities are closely related, therefore in the further explanations we will discuss especially the transmission medium (with its special problems) related to the possible time increments and the possibility of event-controlled data access and collection.

4. DATA TRANSMISSION MEDIUM

4.1. HARDWARE TRANSPORT

This kind of conventional data collection is also in future an important way to gather data in the field and transfer it to the office. One of the reasons is, that at one side special calibration works and changes of sensors and probes have to take place, and on the other side during field trips the possibility of data collection should be available. Whether there is used a laptop-computer or other devices, depends on the problem to solve.

4.2. CABLE CONNECTION

With this medium there are different possibilities of data transport available. If there is the possibility of using the cable connection via a terrestrial telecommunication system, you can collect data usually with the so called time-slot-procedure. If on the measuring place power supply is available, it is also possible to work on the data on request mode (polling-mode). That means, the telecommunication modem of the datalogger works in standby mode. From the office you can ring up the station at any time you like and gather the collected data.

4.3. TERRESTRIAN RADIO

Terrestrial radio connection is nowadays state of the art especially for hydrographic surveys used in flood prediction. It is also used in alpine regions, where no other connections are available. In the most cases it is realised as directional radio. On account of the available frequencies there has to be more or less a visibility connection between transmitter and receiver.

In the further developments special directional connections between different remote measuring points will become important. This connections will be used to

transmit collected data from the remote stations to a central collection base in the field. There a network-based event-triggering can be carried out. For instance an event sampling can be started when at one or more precipitation stations rainfall exceeds a defined amount and the waterlevel on an other measuring place is increasing or conductivity is falling. If these conditions are fulfilled, the datalogger can start an automatic sampler and sends a signal to the office (perhaps via satellite radio) which means "I have started the sampling", counts the filled bottles, changes the registration increments as long as the this event-triggered sampling is going on and has changed to on-line mode. Although this program runs automatically, you have the possibility to intervene and make changes if necessary.

4.4. CELL-PHONE AND CABLE-PHONE NETWORKS

The connection of cell-phone and cable-phone networks for data transmission is nowadays state of the art. It depends on the availability of the so called Radio Link Protocol (RLP) in the cell-phone network. In Austria now all providers support RLP. Although data transmission in this way works well, it is to say, that it is not a very effective way. Cell-phone networks are constructed to establish a permanent connection while the participants are changing their places. That means, a lot of information is sent, to check these changing of place (hand over), also a lot of data are transmitted to check the SIM-Card and so on. The next generation of this protocol (RLP II) is still in working process. The band-width and the line-speed will be higher.

The data transferring process is organized as a time-slot process. The GSM-Modem which is connected to the data-logger is switched on at fixed times. During these timeslots a data transmission can be done by phoning up the modem of the data logger. The dialing is organized by the data transmission software, either automatically at fixed times or non automatically during chosen timeslots.

If there are more stations connected to the office in this way, it can be useful to synchronize the timeslots. This can be done via GPS or via different time transmitting radio stations (DCF).

For this connections every combination of cell-phone networks (supporting RLP) with analogue or digital cable-phone networks is possible.

A very other possibility of data-collecting via cell-phone networks would be the usage of SMS (Short Message System). In this way it is necessary to have special software to generate a SMS with your collected data and on the other end of the line a software, which can convert SMS in any data format. Using this way of communication, there is a limit in the amount of data for each SMS, but there is the advantage, that the SMS-channel of GSM-cell-phones is separated from the other channels. An other advantage is the very easy connection to the Internet. That means you can send SMS to

internet-addresses and collect the data from every place with an internet connection.

4.5. SATELLITE COMMUNICATION AND INTERNET CONNECTION

For this kind of data transmission three different types of satellites are possible:

1) GEO-Satellites (Geostationary Earth Orbit)

- orbit height 35,786 km;
- same angle velocity as the Earth;
- low elevation angle in Central Europe (between 20 and 30°);
- 3-4 satellites necessary to cover the whole world;
- for radio connection to earth are special antennas and relative high energy resources necessary;

2) MEO-Satellites (Medium Earth Orbit)

- orbit height 10,000-15,000 km;
- long orbital periods;
- 10-15 satellites necessary to cover the whole world.

3) LEO-Satellites (Low Earth Orbit)

- orbit height 200-1,600 km;
- short orbital periods;
- 40-60 satellites necessary to cover the whole world;
- radio connection is possible with small antennas and low energy consumption.

4.5.1. GEO-Satellites

GEO-Satellites are used since many years especially for meteorological purposes. Via this systems it is also possible to transmit scientific data in short timeslots, which are assigned after demanding. It can only be used as an uni-directional connection e.g. from the datalogger (using so-called Data Collection Platforms, DCP) via METEOSAT to the Control Center. From this Center data can be distributed via Internet to the user, or also back to the satellite and from there via an receiving station to the user.

The greatest disadvantages of this communication system is the low elevation angle of the satellite above the horizon. In Central Europe the satellite is seen at about 25° above the horizon. That is a great problem in alpine regions.

The greatest advantage is that the satellite is available every time and therefore there are no problems to communicate with different satellites.

4.5.2. MEO-Satellites

MEO-Satellites for public or private data-communication are not available jet.

4.5.3. LEO-Satellites

These systems (including the new generation of „small LEO“ satellites) are the most forward looking

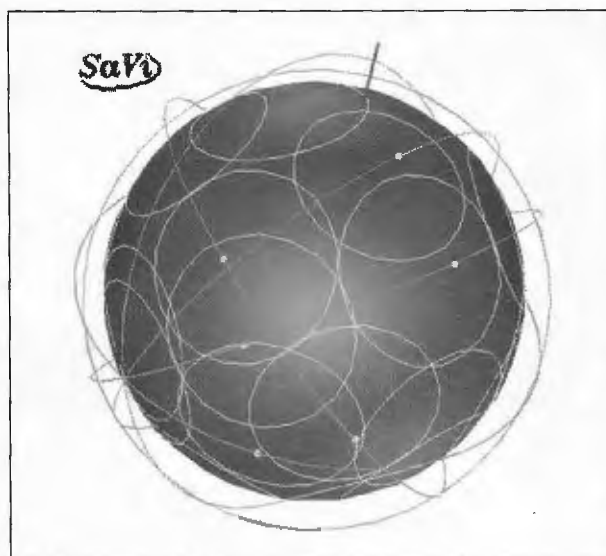


Fig. 1 Simulation of Orbcomm orbits and footprints. Source: Satellite Visualisation (SaVi), developed at the Geometry Center, University of Minnesota.

techniques for data transmission for hydrogeological and meteorological purposes.

They can be used very flexible, are available from different enterprises and can be used worldwide, except near the poles.

As Orbcomm is a special system for data-transmission via satellites (Iridium is specialized on telecommunication) in the following this system is described.

In Fig. 1 a calculated momentary picture of the orbits and the so called "footprints" of each orbit-situation from Orbcomm satellites is shown. Important to notice is that at one moment not every place at the earth is covered by a satellite.

This is seen also in Fig. 2. Therefore special devices are used between datalogger and transmitting instruments. These so called "subscriber communicators" are organizing the communication between datalogger and satellites. Easy to say, they store data as long as no satellites are available, send them to the satellite when one of them is available and check also the reception of the data package to the satellite.

In Fig. 2 it is also seen, that near the poles the areas of support are rare. Beside this, the legal situation is also to take into consideration. Till now, it is not allowed in all countries to use these systems.

These subscriber communicators (in Fig. 3 called gateway station) are also handling the protocoll translation between the protocoll used for the satellite communication (in the most cases an ATM-Protocoll - Asynchronous Transfer Mode).

A detailed scheme of the structure of communication is shown in Fig. 4. In addition we have to mention, that direct communication between satellites is not possible. From this figure we also can take the different possibilities of data access from the Gateway Control Center.

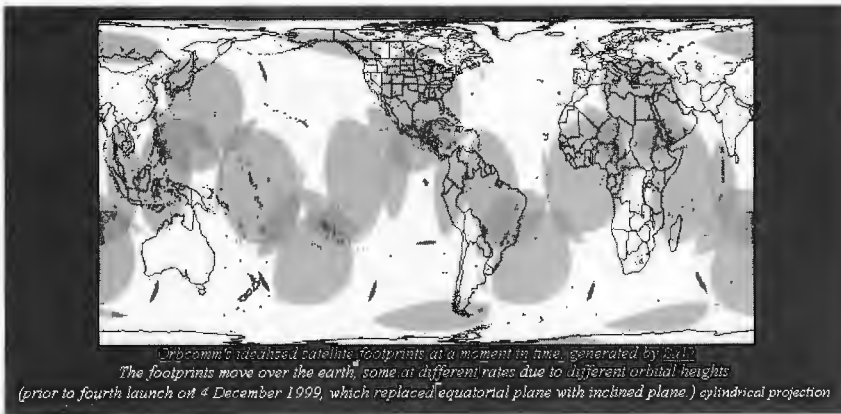


Fig. 2 Orbcomm footprints calculated by SaVi, projected on the surface of the earth. Source: <http://www.orbcomm.com> and SaVi, University Minnesota.

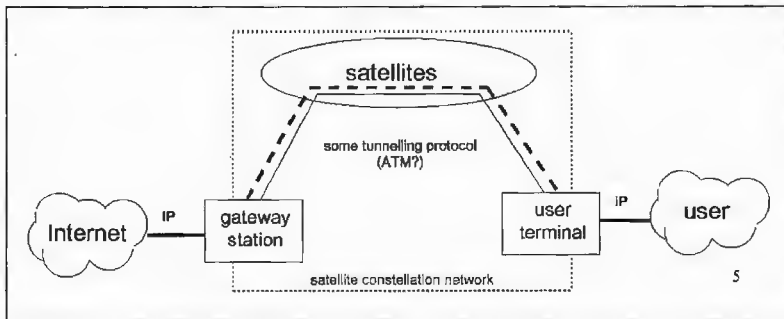


Fig. 3 Satellite constellation network. Source: <http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood>.

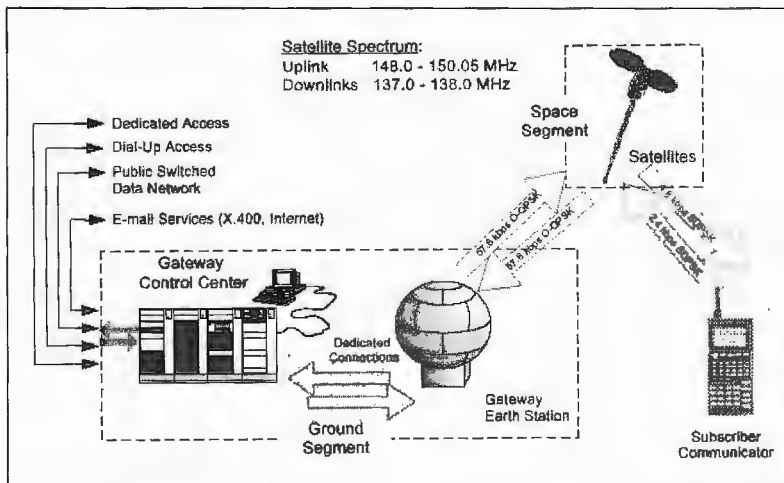


Fig. 4 Detailed Orbcomm communication structure. Source: <http://www.orbcomm.com> Local Area Networks.

These Gateway Control Centers are managing the data transfer between different Gateway Earth Stations, the provision of data for different accesses, including the very important firewall systems against unauthorized access and last but not least the financial things. A picture of such a station is shown in Fig. 5.

4.5.4. Internet connections

As we have seen in the chapters before, an easy way to collect data, which have been transmitted via satellite, is the world wide web. Here we come to the same point as in section 4.4. (cellphone networks using SMS). That means, that data access via Internet becomes very important. The greatest advantage is, that this can be done from every location with Internet-Access.



Fig. 5 Gateway Earth Station (GES). Source: <http://www.orbcomm.com>.

A disadvantage at the moment is the different velocity, security and availability of the Internet, but this will change soon.

5. FUTURE PROSPECTS

If we sum up the specifications above we can get a look to the future trends of datacollection for hydrogeological and meteorological use.

Data transmission from the field

- transmission of measured values;
- transmission of measured values + system data and alert signals;
- transmission of measured values + system data and alert signals + surrounding data;
- on-line message (after triggering events).

Data transmission to the field

- simple configuration-data;
- alert-commands and single messages;
- complex programming of networking data-coverage systems.

Incidence of Data transmission

- weekly/daily/every hour/...
- by threshold values or triggering of networking systems;
- polling mode;
- by availability of transmission lines (for instance crossing of low earth orbit satellites over narrow valleys in the alps);
- on-line mode.

To sum it up, we can say, that the usage of this new communication possibilities will have great advantages for hydrogeological and meteorological project works. For instance there can be built up stations, which can not be reached in winter time and after breakdowns the systems can be repaired very early, because the data transfer can be done with short increments. At the beginning of the usage of such systems, the price could be a problem, but costs for these systems will also go down in future.





Stable Carbon Isotopes as the Specific Parameter of Genetic Relationship in Petroleum Geochemistry

Stabilni izotopi ugljika kao specifični faktor genetičke povezanosti u naftnoj geokemiji

Irenka STANKOVIĆ & Veronika ČULJAK

Key words: Stable carbon isotopes, Mass-spectrometry, Kerogen, Oil, Bitumen.

Ključne riječi: stabilni izotopi ugljika, masena spektrometrija, kerogen, nafta, bitumen.

Abstract

The stable isotope geochemistry has been used in hydrocarbons exploration and production process, where the stable carbon isotopes are of special significance. Stable carbon isotopes are natural traces in organic matter, which is isotopically heterogeneous due to formation and depositional conditions. The carbon isotope determinations are being performed on kerogen, bitumen, and oil samples, as well as on oil and bitumen saturated and aromatic fractions. The results of isotope analyses show variety of types of source rocks organic facies on the investigated locations. Isotopic parameters have been used also for the correlation source rock - oil, and a good genetic relationship is observed between kerogens, bitumens and oils. Isotope ratio of the saturated and aromatic hydrocarbons of tested oils enabled their classification in three groups, reflecting the type and depositional environment of their precursors (FUJEX, 1977).

Sažetak

Geokemija stabilnih izotopa koristi se u istraživanju i pridobivanju ugljikovodika, pri čemu stabilni ugljikovi izotopi imaju osobito značenje. Stabilni ugljikovi izotopi izvorna su obilježja organske tvari, koja je pak različita po izotopnom sastavu ovisno o uvjetima njenog formiranja i deponiranja. Određivanja izotopnog sastava ugljika provedena su na uzorcima kerogena, bitumena, nafti kao i zasićenim i aromatskim frakcijama nafti i bitumena. Rezultati izotopnih analiza pokazali su razlike u tipovima organskog facijesa matičnih stijena na ispitivanim lokalitetima. Izotopni parametri su korišteni također za korelaciju matična stijena-nafta, i dobiveni su dobri genetski odnosi između kerogena, bitumena i nafti. Izotopni odnosi zasićenih i aromatskih ugljikovodika ispitivanih nafti omogućili su njihovu klasifikaciju u tri skupine, a odražavaju tip i okoliš taloženja njihovih prekursora (FUJEX, 1977).

1. INTRODUCTION

Isotopes of an element differ only in number of neutrons in the nuclei of the atoms, and the number of protons and electrons is the same. Many isotopes are unstable, however the important isotopes in petroleum geochemistry are stable (WAPLES, 1985). The carbon isotopes vary in composition because of the different type of original material, so marine organic carbon generally is isotopically heavier than contemporaneous terrestrial organic carbon (TISSOT & WELTE, 1978). Isotope contents are normally reported as a ratio of the heavy isotope to the light isotope compared to standard and expressed in parts per thousand (‰).

The results of measuring stable carbon isotope composition in kerogens, oils and bitumens enabled genetic determination of oils, their marine or terrigenous origin,

but also the determination of hydrocarbon continuity or discontinuity in the reservoir rocks on the oil fields.

Sofer noted that the isotopic differences between oils sourced from terrigenous and marine organic matter are mostly manifested in the isotopic relationship between saturated and aromatic hydrocarbon fractions (SOFER, 1984).

Kerogen, bitumen, oils and their fractions were analyzed in INA Naftaplin Geochemical Section of Laboratory Research Department using standard geochemical methods (BARIĆ & ŠPANIĆ, 1991). Stable carbon isotope analyses were performed on Finnigan MAT delta-E mass spectrometer. Preparation method for organic compounds was conventional oxidation technique (MACKO & PARKER, 1983; SPANGENBERG & MACKO, 1998). The resulting data are reported in the usual notation form as $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ relative to international

SAMPLE	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)	STD.DEV. (‰)
VUKANOVEC-2 (DST-1)	-27.94	0.251
MIHOVLJANI-1	-27.86	0.223
PAVLJANI-1	-26.50	0.359
PAVLJANI-4	-26.79	0.555
PAVLJANI-5a	-26.79	0.007
PAVLJANI-comp.	-26.40	0.154
GALOVAC-1a	-26.48	0.304
ŠANDROVAC-2 (MS)	-25.51	0.215
LETIČANI-2	-25.55	0.235
LETIČANI-3	-25.59	0.141
LETIČANI-6	-25.60	0.110
LUKARIŠĆE-1	-24.33	0.251
IVANIĆ	-24.01	0.189
KLOŠTAR-71	-23.72	0.364
LUPOGLAV-3	-24.31	0.113

Table 1 Stable carbon isotope composition of oils.

Tablica 1 Sastav stabilnog izotopa ugljika u naftama.

standard PDB (a Lower Cretaceous Belemnite from Pee Dee Formation of South Carolina).

2. RESULTS AND DISCUSSION

The kerogen samples, oils and bitumens were chosen from Mura, Sava, Central and Eastern part of Drava Depressions and were analyzed on stable carbon isotopes to trace possible genetic relationship between them.

The results of the carbon isotope analyses of the tested oils show the variations between $\delta^{13}\text{C}$ -23.72 and -27.94‰ (Table 1). The existing differences of $\delta^{13}\text{C}$ values reflect the variety of their precursors, depositional environment conditions, maturity level and degradation processes.

The oils originate from various depressions, which is possible to be realised from their dissimilar carbon isotopic ratio. Mihovljani and Vukanovec oils from Mura Depression show high negative isotopic values. Those oils are originated from terrestrial organic matter, and are highly waxy crude oils, with wax content over 20%. They are altered, and strongly degraded, so real isotopic ratio is supposed to be more negative. Pavljani and Galovac oils from Bjelovar Depression are similar, and show a small difference in relation to Šandrovac-Letičani oils from southern uplifted flank of Drava Depression. Preference of heavier carbon isotope ^{13}C is noted in Lukarišće-1 and Ivanić oils, what is the common characteristic of the oils from Sava Depression. The source rocks from Sava Depression are carbonate-rich marine sediments containing bacterially degraded algal kerogen, formed in anoxic environment.

The carbon isotope composition of bitumens ranges from $\delta^{13}\text{C}$ -23.74 to -28.05‰ (Table 2). The differences

SAMPLE	$\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)	STD.DEV. (‰)
VUKANOVEC-1 1,920-1,929.5 II and III	-26.41	0.031
VUKANOVEC-1 1,920-1,929.5 VIII and IX	-26.20	0.020
VELIKA CIGLENA-2 2,406-2,412 IV 0.45	-24.72	0.174
VELIKA CIGLENA-2 2,406-2,412 VI 0.35	-24.10	0.206
VELIKA CIGLENA-2 2,412-2,419 III 0.40	-23.74	0.135
VELIKA CIGLENA-2 2,406-2,412 II.70	-27.41	0.155
VELIKA CIGLENA-2 2,412-2,419 V 0.05	-24.38	0.089
BAČKOVICA-1 837-830	-28.05	0.635
BAČKOVICA-1 937-943 II 0.55	-27.05	0.759
OKEŠINEC-2 1,889.5-1,895 I 0.30	-25.61	0.058
OKEŠINEC-2 1,914-1,920 II 0.25	-27.18	0.104
ŠANDROVAC-1Da 1,220-1,225 I 0.80	-25.91	-
ŠANDROVAC-1Da 1,250-1,256 I 0.05	-25.43	-
LUKARIŠĆE-1 1,427-1,433 II 0.80	-24.48	0.544
LUKARIŠĆE-1 2,006-2,010 II 0.80	-26.81	0.373

Table 2 Stable carbon isotope composition of bitumens.

Tablica 2 Sastav stabilnog izotopa ugljika u bitumenima.

in isotope composition result from various types of organic matter and depositional environment conditions. Specially high aberration of 3.67‰ is expressed on bitumen from Velika Ciglana-2 well. This aberrance is referring to heterogeneous kerogen matter from several intercalations of sedimentary rocks or to secondary migration of hydrocarbons. Differences in isotopic composition show also bitumens from Lukarišće-1 well, that indicates the different type of their precursors. The algal organic matter was recognized in Okešinec-2 well (1,889.5-1,895.0 m) by means of standard geochemical methods, what was confirmed by high value of heavier ^{13}C isotope in bitumen. In interval 1,914-1,920 m of the same well geochemical methods and isotopic analyses determine terrestrial organic matter (INA-INTERNAL REPORT).

In Vukanovac-1 well in interval from 1,920 to 1,929 m, according to pyrolytic examinations, organic matter was recognized as kerogen type III in catagenetic phase of thermal transformation (INA-INTERNAL REPORT).

SAMPLE	KEROGEN $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)	BITUMEN $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)	OIL $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$ (PDB)
VELIKA CIGLENA-2	-	-	-26.70
VELIKA CIGLENA-2 2,406-2,412	-23.03	-24.41	-
VELIKA CIGLENA-2 2,412-2,419	-24.01	-24.38	-
OKEŠINEC-2 1,889.5-1,895 I 0.30	-24.58	-25.61	-
OKEŠINEC-2 1,914-1,920 II 0.25	-26.07	-27.18	-
ŠANDROVAC-2	-	-	-25.51
ŠANDROVAC-1D α 1,220-1,225	-25.55	-25.91	-
ŠANDROVAC-1D α 1,250-1,256	-23.66	-25.43	-
LUKARIŠĆE-1	-	-	-24.33
LUKARIŠĆE-1 1,427-1,433 II 0.80	-	-24.48	-
LUKARIŠĆE-1 2,006-2,101	-26.22	-26.85	-
CRNA BARA-1 2,755-2,765	-25.38	-	-26.82

Table 3 Stable carbon isotope composition of kerogens, bitumens and oils.

Tablica 3 Sastav stabilnog izotopa ugljika u kerogenima, bitumenima i naftama.

Isotopic values of bitumen extracts ($\delta^{13}\text{C}$ -26.41; $\delta^{13}\text{C}$ -26.20) confirm terrestrial origin of organic matter. Correlating the results from examined kerogens and oils from Lukarišće-1 well, the noted differences can be explained. The kerogen isolated from sediments on 2,006-2,010 m is positively correlated to the bitumen from the same interval, but is negatively correlated to the bitumen and oil from shallow intervals. The results indicate that hydrocarbons in shallow intervals did not originate from certain source rock sequences, nevertheless, they were resulted from secondary migration processes.

Carbon isotope results of kerogen, bitumen and oils show that hydrocarbons originate from source rocks sequences (HOEFS, 1997) which were determined in

certain wells (Table 3). Bitumens and oils, as thermal alteration products, are enriched with lighter carbon isotope ^{12}C , relating to the origin of organic matter - kerogen. Exception are only oil and bitumen from Lukarišće-1 well in the interval from 1,427 to 1,433 m. The source rocks in early phase of catagenesis are determined in Okešinec-2 well from 1,740 to 1,910 m and in some intercalations from 1,910 to 1,970 m. The isotopic composition of kerogen and bitumen shows positive genetic correlation, what proves that bitumen was originated from the determined organic matter - kerogen.

We have classified the investigated oils into three groups in Sofer's plot $\delta^{13}\text{C}_{\text{sat}}$ vs. $\delta^{13}\text{C}_{\text{aro}}$ on the basis of carbon isotope values measured on saturated and aro-

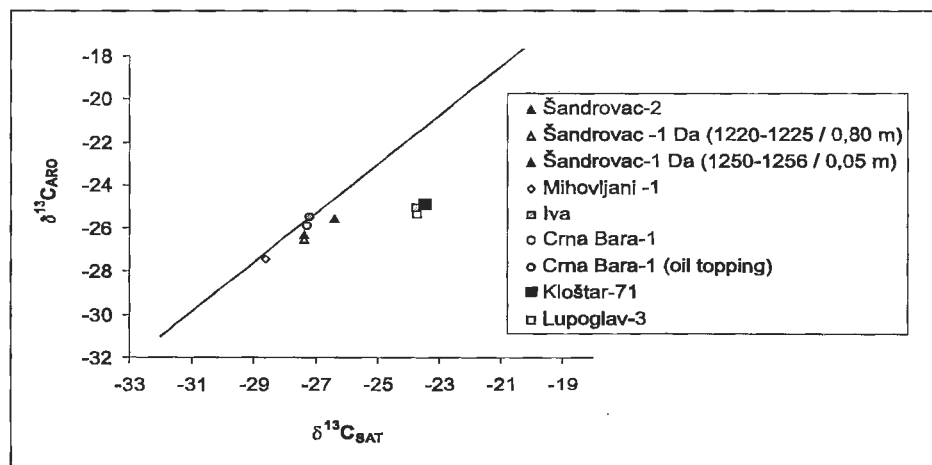


Fig. 1 Stable carbon isotope composition of saturated and aromatic hydrocarbons.

SI. 1 Sastav stabilnog izotopa ugljika u zasićenim i aromatskim ugljikovodicima.

matic fractions of oils and bitumens (Fig. 1). The Sava oils are significantly heavier (less negative) than the other oils. Oils from the Bjelovar and Drava Depression, are clustered in similar isotope range and indicating similarity of their precursors. The carbon isotope shift of Mihovljani oil in negative region suggests that the oil belongs to the precursors with high terrestrial input.

3. CONCLUSIONS

- Differences in isotopic compositions of oils and bitumens result from various types of organic matter and depositional environment conditions.
- Highly waxy Mihovljani and Vukanovac oils from Mura Depression show high negative isotopic value, resulting from their terrestrial precursor. Oils are altered and we believe that pristine oils have more negative isotope ratio.
- Preference of heavier carbon isotope ^{13}C is noted in Lukarišće-1 and Ivanić oils, what is the common characteristic of oils from Sava Depression.
- High aberration of 3.7‰ expressed in bitumen Velika Ciglena-2 interval (2,406-2,412 m) refers to heterogeneous kerogen matter from several intercalations in sedimentary rocks or to the secondary hydrocarbon migration.
- Carbon isotopic profiles of kerogen in relation to bitumens and oils are between 0.36 to 1.7‰. The positive correlation shows good genetic relationship between oils, bitumens and kerogen.
- Oils and bitumens from Lukarišće-1 well show negative correlation, hence kerogen from 2,006-2,010 m is more negative than hydrocarbons from shallow intervals. It might be concluded that hydrocarbons are of secondary migrated origin.
- The positive correlation between saturated and aromatic hydrocarbons of all tested oils and bitumens has been determined, except Mihovljani and Crna Bara oil.
- Carbon isotope ratios are in good concordance with the results performed by standard geochemical methods.

4. REFERENCES

- BARIĆ, G. & ŠPANIĆ, D. (1991): Primjena optičkih metoda u određivanju naftno-matičnih stijena.- *Geol. Vjesnik*, 44, 313-320, Zagreb.
- FUEX, A.N. (1977): The use of stable carbon isotopes in hydrocarbon exploration.- *Journal of Geochem. Expl.*, 7, 155-188.
- HOEFS, J. (1997): *Stable isotope geochemistry*.- 4th ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 168 p.
- MACKO, S.A. & PARKER, P.L. (1983): Stable nitrogen and carbon isotope ratios of beach tars on South Texas barrier islands.- *Mar. Environ. Res.*, 10, 93-105.
- SOFER, Z. (1984): Stable carbon isotope compositions of crude oils: Application to source depositional environments and petroleum alteration.- *AAPG Bull.*, 68/1, 31-49.
- SPANGENBERG, J.E. & MACKO, S.A. (1998): Organic geochemistry of the San Vicente zinc-lead district, Eastern Pucara Basin.- *Chem. Geol. Peru*, 146, 1-23.
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1978): *Petroleum formation and occurrence*.- Springer Verlag, New York.
- WAPLES, W.D. (1985): *Geochemistry in petroleum exploration*.- D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, Boston, Lancaster.



Inženjerskogeološka istraživanja za projektiranje prometnica u kršu

Engineering Geological Investigations for Road Designs in Karst Areas

Branimir ŠABAN, Zvonko BLAGUS, Željko VULIĆ & Tomislav NOVOSEL

Ključne riječi: krš, geologija, tektonika, inženjerska geologija, klasifikacija stijenskih masa, prometnice.

Key words: Karst, Geology, Tectonics, Engineering geology, Rock mass classification, Roads.

Sažetak

Inženjerskogeološkim istraživanjima na terenu određene su osnovne značajke terena, tla i stijena. Inženjerskogeološke značajke terena određene su prema osnovnim tektonsko-litološkim karakteristikama, a tla i stijena prema standardima i preporukama međunarodnih udruženja (ISRM, IAEG). Laboratorijskim ispitivanjima određeni su rasponi fizikalno-mehaničkih značajki unutar pojedinih inženjerskogeoloških cjelina. Rezultati su korelirani sa svojstvima stijenskih masa u cjelini i rezultatima geofizičkih ispitivanja. Učinjena je RMR klasifikacija stijena (BIENIAWSKI, 1989) za sve inženjerskogeološke cjeline. Koristeći rezultate svih istražnih radova načinjene su inženjerskogeološke podloge za izradu geotehničkog projekta. U članku su prikazani primjeri načina obrade za usjek, nasip te za vijadukt "Krajine" i most "Bjelobradići".

Abstract

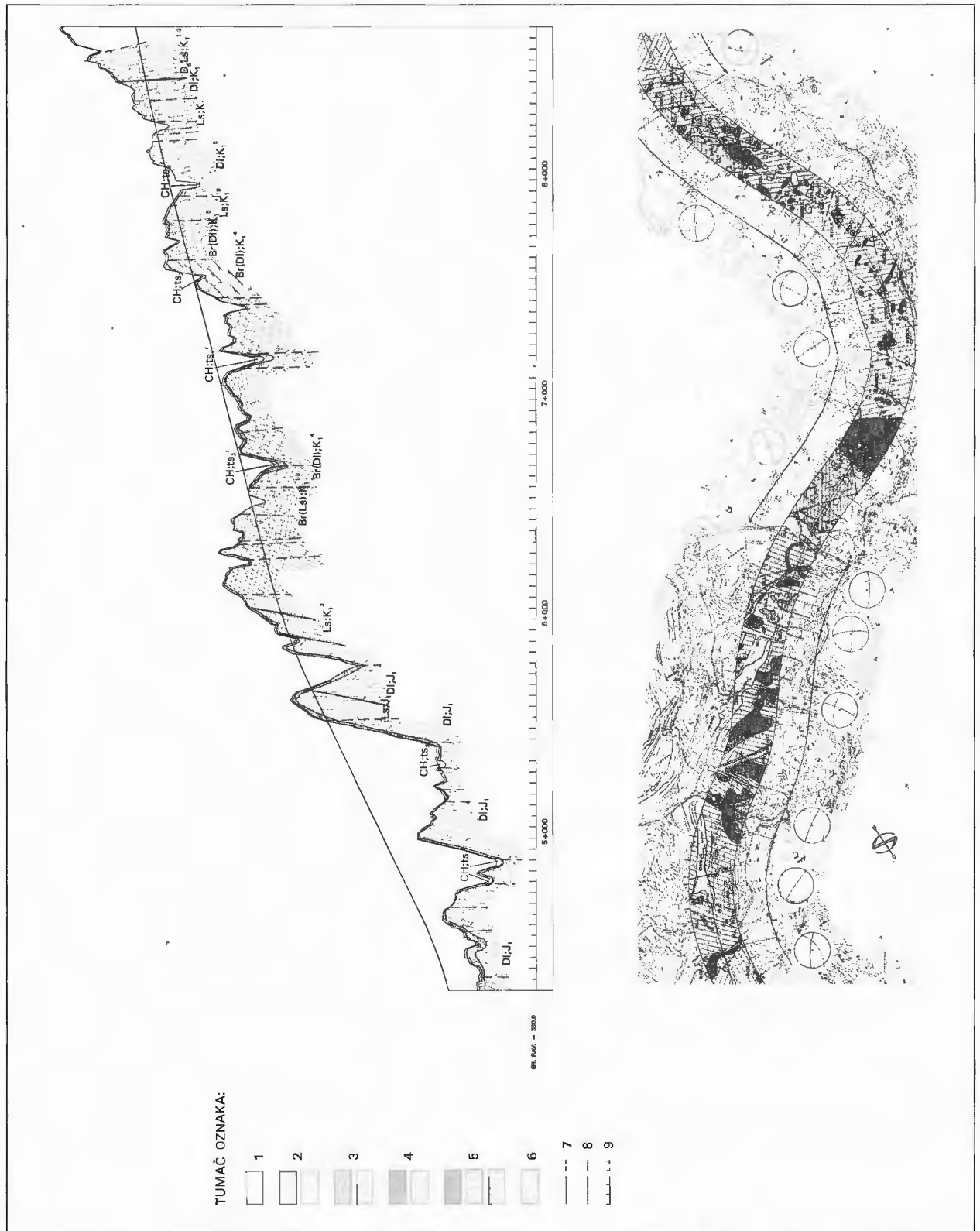
Engineering geological field investigations determined basic characteristics of terrain, soils and rocks. Engineering geological characteristics of terrain were determined by tectonics and lithological characteristics, and those of soils and rocks according to the suggested methods of international associations (ISRM, IAEG). Laboratory tests produced the ranges of physical-mechanical characteristics within engineering geological complexes. Correlation of laboratory results with rock mass characteristics and with results of geophysical investigations was carried out. Rock masses in engineering geological complexes were classified according to geomechanical classification (BIENIAWSKI, 1989). Investigation results were used to create engineering geological foundations for geotechnical project. The examples of embankment, cutting, viaduct "Krajine" and bridge "Bjelobradići" are presented in this article.

UVOD

Pri inženjerskogeološkim istraživanjima za projektiranje prometnica u kršu posebno je značajan pristup izboru, prikupljanju, obradi i prikazivanju inženjerskogeoloških elemenata stijenskih masa, zasnovanih na standardima i preporukama međunarodnih udruženja (ISRM, IAEG). Jednako je važna i njihova priprema za neposredno korištenje pri izradi geotehničkih podloga. Ovakav je pristup tražio i krajnji naručilac istražnih radova. Obzirom na brzi razvoj metodologije istraživanja, ovakav pristup nameće i potrebu stalnog iznošenja dobivenih rezultata.

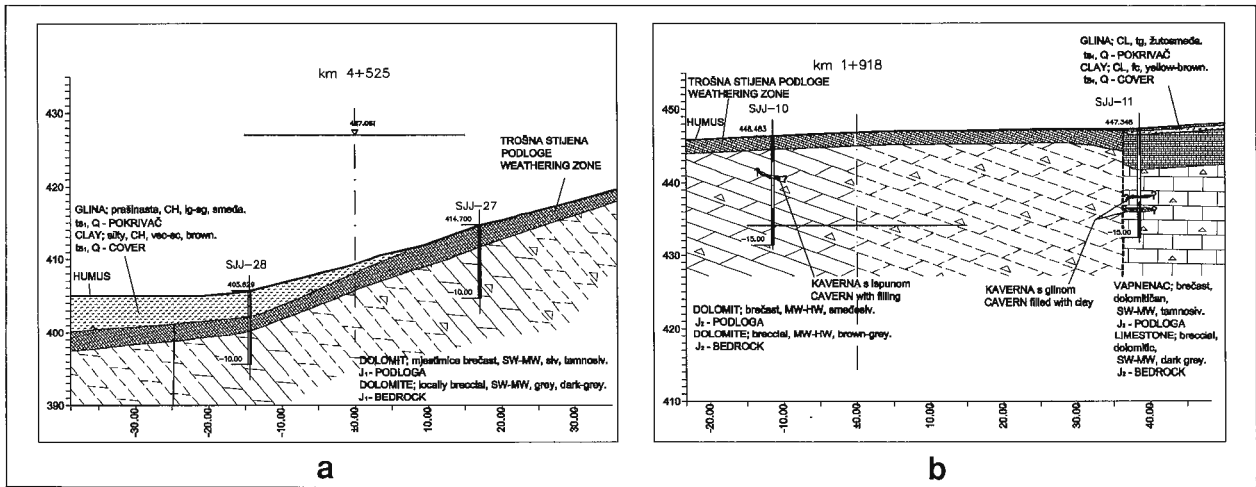
Na nekoliko primjera iz provedenih inženjerskogeoloških istražnih radova za idejni projekt autoceste: Bregana - Zagreb - Dubrovnik, Dionica: Josipdol - Tunel Mala Kapela (jug), prikazuju se i dokumentiraju dobiveni rezultati. Primjere obrade i prikaza iznosimo za nekoliko objekata: vijadukt "Krajine", most "Bjelobradići", usjek i nasip (ŠABAN et al., 1999).

Na cijeloj dionici izvršeno je geološko i inženjerskogeološko kartiranje područja trase u mjerilu M 1:5000, 200 m širine. U vrijeme kartiranja, os trase je bila iskolčena i stacionirana na približno svakih 100 do 200 m. Inženjerskogeološka determinacija jezgre vršena je u vrijeme bušenja. Determinirana je 51 bušotina, odnosno 757 m jezgre. Prikupljeni su relevantni podaci u pogledu važećih standarda i preporuka (ISRM, 1978). Obradeni su i korišteni podaci dobiveni ostalim istražnim radovima (istražno bušenje, laboratorijska ispitivanja i geofizička istraživanja). Na osnovi navedenog, izradene su inženjerskogeološke karte u mjerilu 1:5000 (sl. 1), prognozni uzdužni inženjerskogeološki profili u mjerilu 1:5000/500 (sl. 1) i 1:500/500 (sl. 3 i 4) i poprečni profili u mjerilu 1:200/200 (sl. 2a i b). Načinjeni su profili bušotina, histogrami razmaka glavnih diskontinuiteta, dijagrami trasa ravnina i tabelami prikazi ulaznih podataka za geomehaničku klasifikaciju stijena, koje prikazujemo u ovom radu.



Sl. 1 Inženjerskogeološka karta i uzdužni profil. Tumač oznaka: 1) nasip - recentno - pokrivač; 2) crvenica ts_1 , crvenica u depresiji ts_2 , aluvijalni nanos, al - Q-kvartar - pokrivač; 3) vapnenac - J_1 - lijas, J_2 - doger, K_1^{1-3} - neokom, K_1^4 - barem, K_1^5 - apt - podloga; 4) dolomit - J_1 - lijas, J_2 - doger, K_1^{1-3} - neokom, K_1^4 - barem, K_1^5 - apt - podloga; 5) breča dolomitna (DI) i vapnenačka (Ls) - J_1 - lijas, K_1^{1-3} - neokom, K_1^4 - barem, K_1^5 - apt - podloga; 6) isto kao 2, 3, 4 ili 5, ali u podlozi; 7) granica inženjerskogeoloških vrsta stijena; 8) rasjed; 9) navlika (reversni rasjed).

Fig. 1 Engineering geological map and longitudinal section. Legend: 1) filling - Recent - cover; 2) terra rossa ts_1 , terra rossa in depressions ts_2 , aluvial deposits, al - Q-Quaternary - cover; 3) limestone - J_1 - Lias, J_2 - Dogger, K_1^{1-3} - Neocomian, K_1^4 - Barremian, K_1^5 - Aptian - bedrock; 4) dolomite - J_1 - Lias, J_2 - Dogger, K_1^{1-3} - Neocomian, K_1^4 - Barremian, K_1^5 - Aptian - bedrock; 5) breccia dolomitic (DI) or limestone (Ls) - J_1 - Lias, K_1^{1-3} - Neocomian, K_1^4 - Barremian, K_1^5 - Aptian - bedrock; 6) same as 2, 3, 4 or 5, but covered; 7) boundaries of engineering geological units; 8) fault; 9) thrust (reverse fault).



Sl. 2 a) Poprečni inženjerskogeološki profil na lokaciji nasipa. b) Poprečni inženjerskogeološki profil na lokaciji usjeka.

Fig. 2 a) Engineering geological cross section on the site of embankment. b) Engineering geological cross section on the site of cutting.

GEOLOŠKI ODNOSI - TEKTONSKA RAJONIZACIJA

Trasa autoceste prolazi područjem u kojem su zastupljene naslage jure i krede. Jurske naslage zastupljene su stratigrafskim članovima:

- lijas (J_1) - dolomiti s lećama vapnenca (kasnodijagenetski kristalinični dolomiti s rijetkim ostacima madston do vekston vapnenca);
- doger (J_2) - dolomiti s lećama vapnenca (kasnodijagenetski dolomiti mozaične građe, sitno do krupnokristalinični);
- malm (J_3) - dolomiti s lećama vapnenca (krupnokristalinični dolomiti, mjestimično dobro uslojeni).

Kredne naslage zastupljene su stratigrafskim članovima:

- neokom (K_1^{1-3}) - vapnenci i dolomiti (prevladavaju madstoni, odnosno kasnodijagenetski, srednje do krupnokristalinični dolomiti);
- barem (K_1^4) - vapnenci, dolomiti i breče (vapnenci su madstoni do vekstoni; vapnene i dolomitne breče su polimiktne, s klastima od vapnenaca i dolomita, a vezivom kalcitnim, odnosno dolomitnim; dolomiti su kasnodijagenetski, srednjezmati, kristalinični);
- apt (K_1^5) - dolomiti s ulošcima vapnenaca (krupnozrnati, kristalinični dolomiti; mjestimično s ulošcima vapnenaca).

Područje autoceste Josipdol - Modruš - tunel "Kapela" zahvaća dvije strukturno-tektonske jedinice: strukturnu jedinicu Smolnik - Kapela i strukturnu jedinicu Ogulin - Tobolić (VELIĆ & SOKAČ, 1980).

Strukturna jedinica Ogulin - Tobolić (antiklinala), zastupljena naslagama lijasa, malma i neokoma, navučena je u području Josipdol - Modruš na strukturnu jedinicu Smolnik - Kapela izgrađenu od različitih stratigrafskih članova iste starosti.

INŽENJERSKOGEOLOŠKI ELEMENTI NA PRIMJERIMA

NASIPI

Nasipi su projektirani na padini nagnutoj prema sjeveroistoku pod kutem od 25° , s visinama od 340 do 440 m n.m, pokrivenoj humusom i crvenicom (ts_1), odnosno crvenicom u depresiji (ts_2). Stijenu podloge čine dolomiti i znatno rjeđe vapnenci dogera (J_2). Utvrđeni i aproksimativno locirani rasjedi pružaju se pravicima sjeverozapad-jugoistok i sjeveroistok-jugozapad.

Podaci za klasifikaciju stijenskih masa

Na osnovi prikupljenih inženjerskogeoloških elemenata razlikuju se tri sredine: **I Pokrivač** - crvenica na padini (ts_1) - glina (CH), s malo (do 10%) odlomaka stijene iz podloge, debljine do 1,5 m; crvenica u depresiji (ts_2) - glina (CH), debljine preko 5 m; **II Trošna stijena podloge (rp)** - odlomci i kršje dolomita i vapnenca s malo gline (Cb, C), debljine oko 1 m; **III Stijena podloge** - dolomit s lećama vapnenca (D; J_2), dobro uslojen, mjestimično brečast, mozaičke građe, a prijelaz u vapnenca je nepravilan, vertikalno i bočno. Prognozni poprečni inženjerskogeološki profil prikazuje sl. 2a.

USJEK

Projektiran je na morfološki slabo izraženom terenu (dolina blagih padina), s nadmorskim visinama od 407 do 417 m n.m, pokrivenom humusom, crvenicom na padini (ts_1) i depresiji (ts_2). Stijenu podloge čine dolomiti i dolomitno-vapnene breče lijasa (J_1). Utvrđeni rasjedi pružaju se pravicima sjeverozapad-jugoistok i približno sjever-jug. Na obližnjim padinama registrirane su pojave jaružanja i strmi odsjeci.

Podaci za klasifikaciju stijenskih masa

Prema podacima dobivenim istražnim radovima, u ovom se području mogu razlikovati tri inženjerskogeološka

Jednoosna čvrstoća (MPa)		Point Load Test (MPa)		R.Q.D. indeks (%)	F.F. indeks (br/m ²)
25 - 50				25 - 50	15-20
Razmak diskontinuiteta (cm)		Dužina (postojanost) diskontinuiteta (m)		Strukturni dijagram	
SS	< 6	SS	1-3		
OR	< 6	OR	1-3		
lb	< 6	lb	1-3		
Zijev diskontinuiteta (mm)		Ispuna diskontinuiteta			
SS	< 1	SS	bez ispune		
OR	< 1	OR	bez ispune		
lb	< 1	lb	bez ispune		
Rastrošenost stijenki diskontinuiteta		Položaj diskontinuiteta			
SS	jako trošne	SS	250 / 60		
OR	jako trošne	OR	65 / 10		
lb	jako trošne	lb	160 / 88		
Stanje vlažnosti					
SS	suho				
OR	suho				
lb	suho				

Tablica 1 Podaci za geomehničku klasifikaciju stijenske mase.

Table 1 Input data for rock mass classification.

loške sredine: **I Pokrivač** - crvenica na padini (ts_1) - glina (CH), debljine do 1,5 m; crvenica u depresiji (ts_2) - glina (CH), debljine preko 5 m; **II Trošna stijena podloge (rp)** - odlomci i kršje dolomita i breče s malo gline (Cb, C), debljine oko 1,0 do 3,9 m; **III Stijena podloge** - dolomit (D; J_1), brečast, do dolomitno-vapnenacka breča. Prognozni poprečni inženjerskogeološki profil prikazan je na sl. 2b, a ostali su podaci za geomehničku klasifikaciju (BIENIAWSKI, 1989) prikazani u tablici 1.

VIJADUKT "KRAJINE"

Projektiran je na padini nagnutoj prema sjeveroistoku pod kutem od oko 30°, s visinama od 340 do 440 m n.m, pokrivenoj humusom i crvenicom (ts_1), odnosno crvenicom u depresiji (ts_2). Stijenu podloge čine vapnenici te, znatno manje, dolomiti dogera (J_2). Rasjedi se pružaju pravcima sjever-jug i istok-zapad. Sedamdesetak metara istočno od bušotine SJJ-1, na sjecištu rasjeda, nalazi se stalni, neaptirani izvor (Bilićev izvor), kapaciteta oko 0.5 l/s.

Podaci za klasifikaciju stijenskih masa

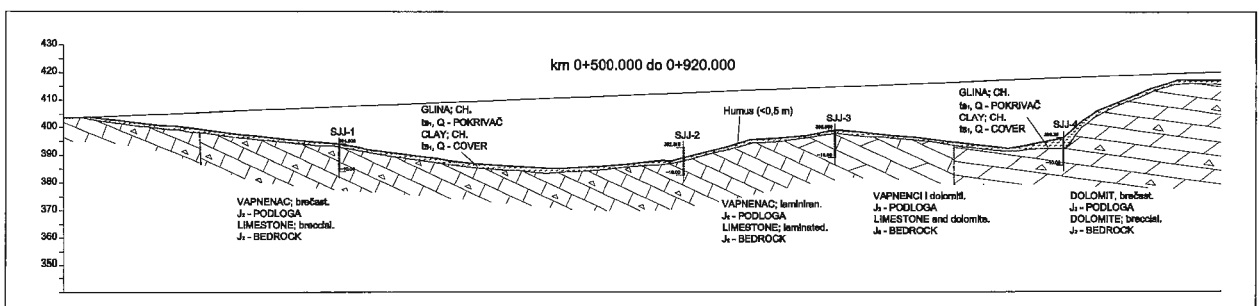
Na osnovi prikupljenih inženjerskogeoloških elemenata razlikujemo se tri sredine: **I Pokrivač** - crvenica na

padini (ts_1) - glina (CH), debljine 1 m, iznimno 4 m u blizini ponikve; crvenica u depresiji (ts_2) - glina (CH), debljine preko 5 m; **II Trošna stijena podloge (rp)** - odlomci i kršje dolomita i vapnenca s malo gline (Cb, C), debljine od 0,2 do 1,5 m; **III Stijena podloge** - vapnenac (V; J_2), dolomitičan, slabo uslojen i dolomit (D; J_2), vapnovit, dobro uslojen, mjestimično brečast, mozaičke građe; prijelaz u vapnenca je nepravilan, postupan po vertikali i horizontali, a uz rasjede oštar. Položaj diskontinuiteta prikazan je na strukturnim dijagramima SD-1 i SD-2.

Prognozni uzdužni inženjerskogeološki profil prikazan je na sl. 3.

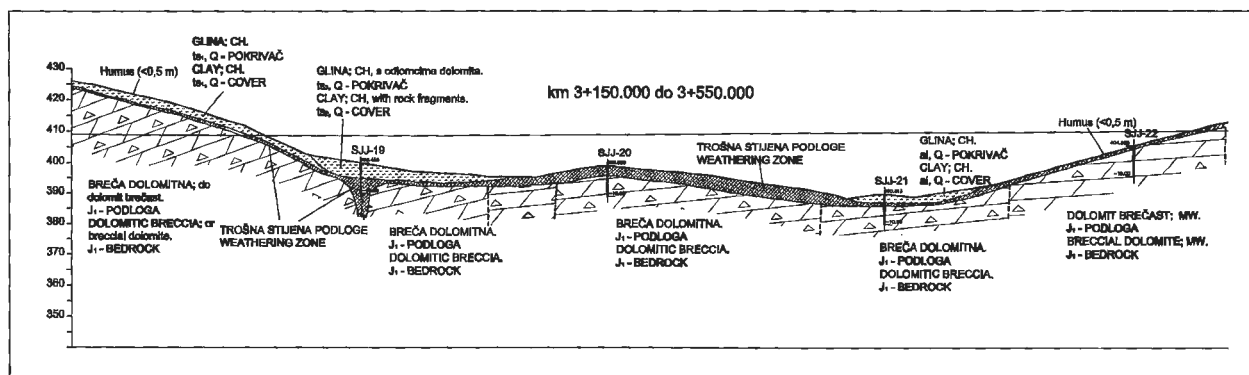
MOST "BJELOBRADIĆI"

Projektiran je na morfološki izraženom terenu (doline i uzvisine), s visinama od 388 do 407 m n.m. U središnjem dijelu doline je vodotok koji povremeno plavi dno doline. Većim dijelom, teren je pokriven humusom, crvenicom na padini (ts_1) i depresiji (ts_2), odnosno aluvijalnim nanosom (al). Stijenu podloge čine dolomitne breče i brečasti dolomiti lijasa (J_1). Utvrđeni rasjedi pružaju se pravcima sjeveroistok-jugozapad i istok-zapad.



Sl. 3 Uzdužni inženjerskogeološki profil duž osi vijadukta "Krajine".

Fig. 3 Longitudal engineering geological section along the axis of the viaduct "Krajine".



Sl. 4 Uzdužni inženjerskogeološki profil duž osi mosta "Bjelobradići".

Fig. 4 Longitudal engineering geological section along the axis of the bridge "Bjelobradići".

Podaci za klasifikaciju stijenskih masa

Na osnovi prikupljenih inženjerskogeoloških elemenata razlikuju se tri sredine: **I Pokrivač** - crvenica na padini (ts_1) - glina prašnasta, visoke plastičnosti (CH), debljine do 1,5 m; crvenica u depresiji (ts_2) - glina prašnasta, visoke plastičnosti (CH), debljine do 3,9 m; aluvijalni nanos (al) - glina, prašnasta, s malo odlomaka dolomita, debljine 2,7 m; **II Trošna stijena podloge (rp)** - odlomci i kršje dolomita i breče s malo pijeska i gline (Cb, C), debljine od 1,1 m do 3,3 m; **III Stijena podloge** - breča dolomitna (Br(D); J_1) i brečasti dolomit. Položaj diskontinuiteta prikazan je na strukturnom dijagramu SD-5.

Prognozni uzdužni inženjerskogeološki profil prikazan je na sl. 4.

ZAKLJUČAK

Istraživanjima na terenu određene su osnovne strukturne, litološke, stratigrafske i inženjerskogeološke značajke na trasi autoceste. Geofizičkim mjerenjima utvrđene su granice inženjerskogeoloških sredina, a podaci o brzinama seizmičkih valova korišteni su pri opisu i klasifikaciji inženjerskogeoloških tipova stijena. Laboratorijskim istraživanjima utvrđene su osnovne fizikalne i geomehaničke značajke stijena unutar pojedinih inženjerskogeoloških sredina. Koristeći rezultate terenskih mjerenja i snimanja načinjeni su prognozni profili različitih mjerila, a učinjena je i RMR klasifikacija stijena za sve inženjerskogeološke sredine, a dodatno i na lokacijama pojedinih objekata.

Dobiveni rezultati korišteni su za izradu inženjerskogeoloških modela za svaku inženjerskogeološku sredinu, koji su poslužili za projektiranje nagiba i stabilnosti pokosa usjeka i zasjeka, pripremu terena za izradu nasipa i odabir projektnog nagiba pokosa, te projektiranje temeljenja i proračun stabilnosti za pojedine objekte (mostovi, vijadukti, potporni zidovi i sl.).

Pri izradi geotehničkog projekta ostvarivana je stalna suradnja s nosiocima svih radova na projektu. Time su se nastojale izbjeći pogreške koje mogu prouzročiti

doslovno shvaćeni statistički dobiveni podaci u odnosu na izuzetke, koji su kao fenomeni prisutni u našem kršu (kaverne, špilje, jame, ...).

LITERATURA

- BIENIAWSKI, Z. T. (1989): Engineering rock mass classifications.- John Wiley & Sons, 251 str.
- ISRM (1978): Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses.- Int. Jr. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 15, 319-368.
- ŠABAN, B., BLAGUS, Z., GALOVIĆ, I., PAVIČIĆ, A., NOVOSSEL, T., LARVA, O. & NAVRATIL, D. (1999): IIIA-2-B-X-0011-A, Josipdol-Tunnel "Mala Kapela" (jug), vol. 2/2 - Geološki, inženjerskogeološki i hidrogeološki radovi.- Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1980): Osnovna geološka karta 1:100000.- List Ogulin.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.





Inženjerskogeološke značajke brda Marjan (Split, Hrvatska)

Engineering-Geological Characteristics of the Marjan Hill (Split, Croatia)

Slobodan ŠESTANOVIĆ¹ & Krešimir SAKAČ²

Ključne riječi: brdo Marjan, inženjerska geologija, fliš, vapnenci, Split, Hrvatska.

Key words: Marjan Hill, Engineering geology, Flysch, Limestones, Split, Croatia.

Sažetak

Geološka grada Marjana neprijeporno je vrlo važan segment njegove prirode. No, unatoč zanimljivom i raznovrsnom geološkom sastavu, Marjan ni do danas nije u dovoljnoj mjeri istražen. U ovom se radu ukratko iznose opća obilježja litostratigrafskih, tektonskih, i hidrogeoloških značajki stijena Marjana temeljena na dosadašnjim spoznajama te inženjerskogeološke značajke i razredba stijena prema Geološkom indeksu čvrstoće (GSI) i uputama za izradbu Osnovne inženjerskogeološke karte Hrvatske. Na priloženoj karti detaljnije su izdvojeni litološki članovi paleogenskih vapnenaca, što je omogućilo pouzdanije određivanje tektonskih značajki. Nove spoznaje poslužile su za ukazivanje na potrebu i svrsishodnost daljnjih istraživanja, njihov opseg i moguće očekivane rezultate.

Abstract

Geology of the Marjan Hill plays very important role in its eco-system. But, despite of the interesting and diverse geological structures, Marjan has not been sufficiently researched. This paper gives a general insight into lithostratigraphic, tectonic and hydrogeological features of the Marjan rocks, based on our present knowledge. It also deals with the engineering-geological characteristics, as well as the classification of the rocks, according to the Geological Strength Index (GSI) and the instructions for making the Basic engineering-geological map of Croatia. Lithologic members of Paleogene limestones, denoted on the map, enabled more efficient determination of tectonic features. The latest results presented in this paper, show the necessity of further research of the Marjan Hill in order to obtain complete geological data.

1. UVOD

Brdo Marjan je poluotok na zapadnom dijelu grada Splita. Najviši vrh je Telegrin, s kotom 175 m n. m. Površina Marjana iznosi oko 4 km². Duljom osi se poluotok pruža pravcem zapad-istok, od rta Marjan do gradske luke u starom dijelu grada Splita na južnoj strani, odnosno do uvale Spinut na sjevernoj strani. Južna padina je strma, terasasto formirana, što se može povezati s nagibom slojeva u flišu i postojanjem rezistentnih slojeva pješčenjaka i breča koji su selektivnom erozijom ostali stršiti u terenu, dok je sjeverna blago nagnuta prema Spinutu i Poljudu, i u skladu je s nagibom slojeva foraminiferskih vapnenaca. Morfološki je na Marjanu najizrazitiji središnji dio, markiran reverznim rasjedom.

Najstariji slikovni prikaz detalja geološke građe Marjana objavljen je u djelu FORTISA (1774). Prvi detaljniji prikaz litostratigrafskih odnosa Marjana nalazi se, kao omanja pojedinost, na geološkoj karti "Sinj und

Spalato" (KERNER, 1914), u mjerilu 1:75.000. Više podataka o pojedinostima geologije Marjana nalazi se u drugim regionalnim prinosima KERNERA (1903, 1916). Temeljem tih podataka, GIROMETTA (1924) je izradio geološku kartu Marjana u mjerilu 1:25.000 uz kraći opis geoloških odnosa. Tektonika Marjana u osnovnim crtama prikazana je na Osnovnoj geološkoj karti, list Split, u mjerilu 1:100.000 i njezinome Tumaču (MARINČIĆ et al., 1971; MAGAŠ et al., 1973). Osim u navedenim radovima, podataka o geologiji Marjana ima još i u nizu radova drugih autora, među kojima svakako valja spomenuti SCHUBERTA (1909), no svi se oni odnose na regionalnu obradu geoloških odnosa, pa se Marjan tek uzgredno spominje.

O vruljama u Kaštelanskom zaljevu je pisao ALFIREVIĆ (1966), a o inženjerskogeološkim značajkama stijena i terena MAGDALENIĆ (1979, 1983) te MAGDALENIĆ et al. (1980). Brojni podaci o rezultatima inženjerskogeoloških istraživanja se nalaze u elaboratima, u arhivama IGI Zagreb i IGH - PC Split, čiji su sudionici i autori ovoga članka, ali najviše u elaboratu o

¹ Građevinski fakultet Sveučilišta u Splitu, Matice hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska.

² Hrvatski prirodoslovni muzej, Geološko-paleontološki odjel, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

istraživanjima za tunel Marjan (ORTOLAN et al., 1978).

2. LITOSTRATIGRAFSKI ODNOSI

Prema radovima MARINČIĆ et al. (1971) i MAGAŠ et al. (1973) Marjan izgrađuju foraminiferski vapnenci donjeg do srednjeg eocena ($E_{1,2}$), glaukonitni vapnenci srednjeg eocena (E_2) te flišni sedimenti srednjeg i gornjeg eocena ($E_{2,3}$), zastupljeni izmjenom lapora, klastičnih vapnenaca i pješčenjaka s lećama vapnenačkih breča. Manje površine prekrivene su deluvijalnim taložinama (Q_d).

Najstariji dio naslaga u gradi Marjana predstavljaju pretežito gromadasti foraminiferski vapnenci s prevladavajućom faunom alveolina, među kojima je najzastupljenija *Alveolina oblonga*. Naviše, uz postupan prijelaz, slijede dobro slojeviti vapnenci s numulitidima (među kojima se ističu *Nummulites perforatus* i *Orbitolites complanatus*) te s nerijetko rasijanim gomoljima čerta, pretežito nizanom duž slojnih ploha. Granica numulitnih vapnenaca s najmlađim flišnim sedimentima obilježena je glinovitim glaukonitnim tankoslojevitim vapnencima ("prijelaznim naslagama") debljine do 40 m u uvali Spinut na sjeveroistočnoj padini Marjana. Utvrđena je blaga kutna diskordancija od 15° između numulitnih vapnenaca i glaukonitnih glinovitih tankoslojevitih vapnenaca kao "prijelaznih" naslaga (MARJANAC, 1991), dok je prijelaz iz glaukonitnih glinovitih tankoslojevitih vapnenaca u lapore fliša postupan. Prema petrografskim analizama, foraminiferski su vapnenci taloženi u plitkom moru (neritiku). Njihova debljina, prema MAGAŠ et al. (1973), ne prelazi 200 m.

Flišni sedimenti su različitih debljina slojeva, no pretežito tankoslojeviti. U laporima su determinirani planktonski vapnenački nanofosili i foraminifere. U klastičnim vapnencima i pješčenjacima se mjestimično nalazi mnoštvo, većinom pretaloženih, numulita i drugih makrofosila. U slijedu klastičnih naslaga zapažaju se različite sedimentne strukture, poput kose i konvolutne laminacije, tragova tečenja, otiranja, slampa i t.d. Prema tim strukturama i slijedu slojeva klastita, od početnih gruboklastičnih breča preko pješčenjaka i detritičnih vapnenaca do lapora, zaključuje se o normalnom ili inverznom položaju naslaga. Glede starosti, MARINČIĆ (1981) flišne naslage stavlja u razdoblje od gornjeg eocena do donjeg oligocena, temeljeno na biostratigrafskim analizama mikroforaminifera i nanoplanktona iz pelitskih intervala. Prema DE CAPOA et al. (1995), moguće je da se sedimentacija fliša nastavila sve do starijega miocena.

Flišne su naslage u gornjem dijelu prekrivene tankim slojem glinovito-prašinstih naslaga (eluvijem) nastalim fizičko-kemijskim procesima raspadanja. Kemijsko raspadanje izrazito je zastupljeno u laporima s manjim postotkom karbonatne komponente. Na strmim padinama se eluvij ne formira zbog izraženog procesa isparivanja te glinovito-prašinsti materijal redovito biva

odnešen i akumuliran u uvalama na južnim padinama Marjana. Budući da je debljina eluvija promjenljiva i nije obilježena oštrom granicom prema matičnim stijenama fliša, naslage eluvija na priloženoj geološkoj karti, s obzirom na njezino mjerilo, nisu izdvojene.

Niži (južni) dijelovi Marjana s flišnim sedimentima u Mejama i na Zvončacu te vapnenci na sjevernim pristancima u Benama, mjestimično su prekriveni tanjim pokrovom kvartarnih deluvijalnih naslaga.

Raspored naslaga koje izgrađuju Marjan prikazan je na geološkoj karti i profilu (sl. 1).

3. TEKTONIKA

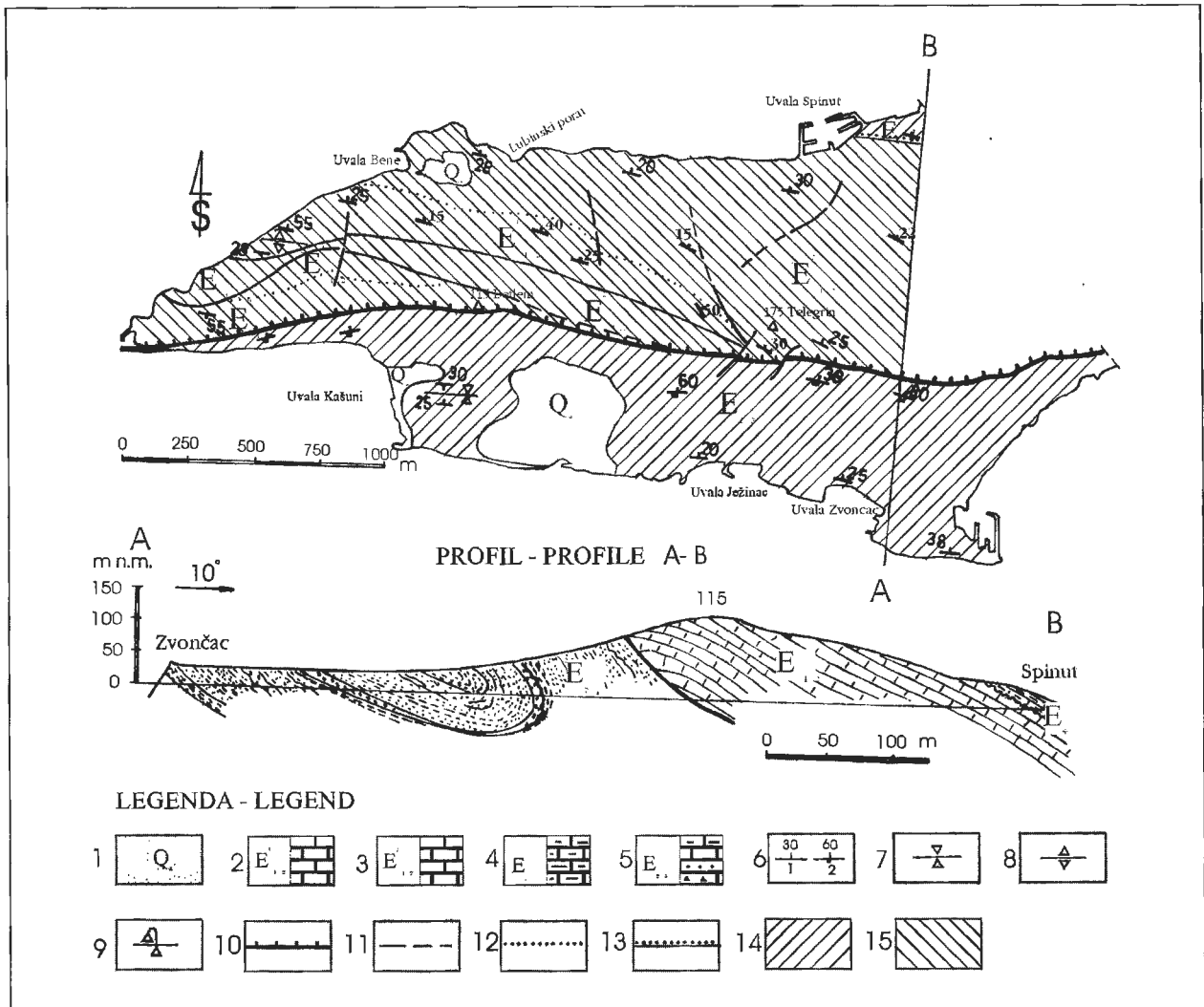
Vapnenačke naslage i flišni sedimenti u različitoj su mjeri tektonski poremećeni. Ističe se antiklinalni položaj alveolinskih vapnenaca u sjeverozapadnom dijelu Marjana, jaka ustrmljenost i djelomice inverzan položaj slojeva numulitnih vapnenaca duž marjanskog bila te relativno blagi njihov nagib u Benama, Lubinskom portu i dalje prema gradu (istoku).

Flišni sedimenti na južnim padinama dijelom su u normalnoj sukcesiji slojeva, pa i sa sinklinalnim položajem na Bambinoj glavici, a djelomice u prevrnutom, inverznom slijedu pod Telegrinom i Betlemom. Najistaknutija tektonska struktura je reverzni rasjed na potezu od Matejuške duž Marangunićevog šetališta do Instituta na rtu Marjana. Rasjed je markiran visokom stijenom numulitnog vapnenca Betlema i strmim južnim padinama Telegrina pod kojim se nalaze jače tektonski deformirane flišne naslage (lapori su dijelom milonitizirani i škrljavji). U tom području flišni su sedimenti podvučeni pod numulitne, odnosno foraminiferske vapnence, a uzrok tomu je subduciranje Jadranske mikroplоче pod Adriatik (PRELOGOVIĆ et al., 1999). Rasjedna ploha nagnuta je prema sjeverosjeveroistoku pod kutom između 30 i 40° , kako je to ustanovljeno prilikom proboja tunela (ORTOLAN et al., 1978), a vidljiva je na prijevoju pred Betlemom. Pojava klivaža u vapnencima na sjevernoj strani Marjana i različiti intenzitet dislociranosti naslaga upućuju na složenost tektonike koja do danas nije u dovoljnoj mjeri istražena.

4. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

S obzirom na hidrogeološke značajke, područje Marjana izgrađuju:

- dobro vodopropusne naslage sa sekundarnom (pukotinskom i kavernošću) poroznošću, na kojima se voda ne zadržava ni u slučaju dugotrajnih oborina (vapnenci);
- vodonepropusne naslage (fliš promatran u cjelini);
- djelomično vodonepropusne naslage (glaukonitni glinoviti vapnenci sa slabo izraženom pukotinskom poroznošću i varijabilnom propusnošću ovisno o razlomljenosti i ispunjenosti pukotina);



Sl. 1 Shematizirana inženjerskogeološka karta i profil. Legenda: 1) kvartar - deluvij; 2) donji i srednji eocen - alveolinski vapnenci; 3) donji i srednji eocen - numulitni vapnenci; 4) srednji eocen - glaukonitni vapnenci; 5) srednji i gornji eocen - fliš; 6) položaj sloja (1 - normalan, 2 - prebačen); 7) sinklinala; 8) antiklinala; 9) prebačena sinklinala; 10) reverzni rasjed; 11) normalni rasjed; 12) geološka granica - postupni prijelaz; 13) geološka granica - transgresivna; 14) geološki indeks čvrstoće 60-80 (dobre stijenske mase: $E_{1,2}$); 15) geološki indeks čvrstoće 20-60 (slabe do povoljne stijenske mase: $E_2=40-60$, lapori $E_{2,3}=20-40$).

Fig. 1 Schematic engineering-geological map and profile. Legend: 1) Quaternary - deluvium; 2) Lower and Middle Eocene - alveolinic limestones; 3) Lower and Middle Eocene - nummulitic limestones; 4) Middle Eocene - glauconitic limestones; 5) Middle and Upper Eocene - flysch; 6) dip of bed (1 - normal, 2 - overturned); 7) normal syncline; 8) normal anticline; 9) overturned syncline; 10) reverse fault; 11) normal fault; 12) geological boundary - gradual transition; 13) geological boundary - transgressive; 14) Geological Strength Index 60-80 (good: $E_{1,2}$); 15) Geological Strength Index 20-60 (fair: $E_2=40-60$; poor: thin-layered marls $E_{2,3}=20-40$).

- naslage s vertikalnim i bočnim promjenama vodopropusnosti (deluvijalne naslage s primarnom poroznošću, kod kojih propusnost varira u ovisnosti o količini glinovite komponente).

Na ovome mjestu posebno valja istaknuti značajke fliša koji je, gledajući u cjelini, vodonepropusan. Međutim, lapori fliša mogu primati i propuštati vodu kroz tanje neispunjene pukotine do manjih dubina. Klastični vapnenci, pješčenjaci i breče, s obzirom na pukotinsku i mjestimično kaverno-znu poroznost, u suštini su vodopropusni, ali zbog svojega položaja i zastupljenosti u prostoru s laporima, tretiraju se također kao vodonepropusni ili samo lokalno propusni. Hidrološke i hidrogeološke pojave vezane su uz sastav naslaga, pa tako na

sjevernoj strani Marjana postoji manji izvor na kontaktu glaukonitnih vapnenaca i fliša, zapadno od Bambine glavice izvor u flišu na kontaktu pješčenjaka i lapora te nekoliko vrulja blizu sjevernih padina Marjana koje prorade u doba intenzivnih oborina, a među kojima se posebno ističu one u Lubinskom portu.

5. INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Prema genetskoj inženjerskogeološkoj razredbi stijena i stijenskih masa (IAEG, 1981), foraminiferski vapnenci te breče, pješčenjaci i detritični vapnenci fliša pripadaju skupini vezanih stijena, podskupini čvrstih, dobro očvrstih stijena, različitog stupnja okršenosti. La-

Litološki sastav Lithological composition	Čvrstoća Strength σ (MPa)		Kohezija Cohesion c (kPa)	Kut unutar. trenja Friction angle ϕ (°)	Prostor. tež. Spatial weight γ (kN/m ³)	Količina CaCO ₃ Amount (%)	RQD (%)
	Pressure Tlačna	Vlačna tensile					
Vapnenci Limestones Breče i pješčenjaci Breccias and sandstones	43,5-95,0	4,0-12,5	12500-23000	38-65	25,3-26,8	97,06-99,44	60-100
Tankoslojeviti lapori Thin-layered marls	4,5-13,5	0,4-3,6	1100-4500	22-38	21,1-24,6	35-63	0-30

Tablica 1 Fizičko-mehaničke značajke stijena.

Table 1 Physical-mechanical characteristic of the rocks.

pori fliša pripadaju skupini vezanih stijena, podskupini čvrstih, slabo očvrstlih stijena s izraženim sedimentnim teksturama, različito su slojeviti i anizotropni. Za inženjerskogeološku razredu stijena Marjana uporabljen je "geološki indeks čvrstoće" (GSI), prema HOEK (1995) i HOEK et al. (1995), a u skladu s uputama BRAUNA (1998) i VULIĆA (1994). Temeljem navedene razredbe, vapnenci te breče, pješčenjaci i detritični vapnenci fliša pripadaju grupi "dobrih stijenskih masa" (GSI = 60-80), glaukonitni vapnenci grupi "povoljnih stijenskih masa" (GSI = 40-60), a tankoslojeviti lapori fliša u grupu "slabih stijenskih masa" (GSI = 20-40). Ovdje valja ukazati na problem stvarnog GSI u naslagama fliša kad ih analiziramo kao cjeloviti kompleks, jer, unatoč slabim fizičko-mehaničkim značajkama tankoslojevitih, posebno glinovitih lapora, slojevi breča, pješčenjaka i detritičnih vapnenaca u njima djeluju kao svojevrsna "armatura", o čemu su pisali BOJANIĆ et al. (1986). Pretežiti raspon fizičko-mehaničkih značajki foraminiferskih vapnenaca i čvrstih dobro očvrstlih klastičnih stijena fliša te flišnih tankoslojevitih lapora prikazan je tablicom 1.

Među inženjerskogeološkim procesima izrazitije su na Marjanu zastupljeni abrazija, erozija i odronjavanje. Abrazija je zastupljena na obalnom dijelu južne padine Marjana. Na strmim padinama formiranim abrazivnim djelovanjem mora u flišnim naslagama primjetna je selektivna erozija koja je, razarajući lapore, ostavila slojeve pješčenjaka koji strše u padinama (MAGDALENIĆ et al., 1980). Odronjavanje je kao proces zastupljeno na abradiranim strmim padinama duž južne obalne crte te u zoni Telegrina i Betlema.

Glede stabilnosti, flišne su naslage uvjetno stabilne, odnosno, stabilne su u prirodnim uvjetima, a kod svakog zasjecanja postaju nestabilnima. Tereni koje izgrađuju foraminiferski vapnenci su stabilni.

Prema PRELOGOVIĆ et al. (1999) područje Splita (analizom lokacije Katalinića brig) pripada zoni u kojoj se, za povratni period 500 godina, može očekivati maksimalni intenzitet potresa 7,1° MCS Ijestvice.

6. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

Analizom rezultata ranijih istraživanja i podataka prikupljenih istraživanjima u zadnjih nekoliko godina, slika o geološkoj građi Marjana je jasnija. Izdvojene su zone alveolinskih i numulitnih vapnenaca te provedena inženjerskogeološka razredba stijena prema GSI, uz kategorizaciju terena prema stupnju stabilnosti, što je i bio cilj ovoga rada. Ipak, ostaje još niz neriješenih problema, o kojima ukazujemo tekstom koji slijedi.

Zajednice makroforaminifera eocenskih vapnenaca nisu u dovoljnoj mjeri proučene. To se posebno odnosi na alveoline u starijem dijelu naslaga. Potrebno je na novom materijalu utvrditi pouzdanije njihovu taksonomsku pripadnost. Numulitidi, koje je proučavao i opisao MARTELLI (1902), pretrpjeli su znatne izmjene u sistematici te je stoga potrebno provesti reviziju ranijih odredbi kao što je učinjeno za širu splitsku regiju.

Vapnenci sjevernog dijela Marjana do sada nisu petrološki adekvatno determinirani. Novom obradom treba ih klasificirati prema Folku i Dunhamu (TIŠLJAR, 1984), ali i prema europskim normama.

Obradom planktonskih foraminifera i nanofosila u flišnim sedimentima u novoj detaljnoj paleontološkoj obradi utvrdio bi se njihov sastav, a s time i starost naslaga u kojima se nalaze, što je nužno zbog prijepora u stratigrafskom rasponu eocen - miocen.

Temeljem sedimentnih struktura u flišu poput konvolucije, laminacije, različitih tragova paleotransporta klastita i t.d. te slijeda klastičnih sekvencija i njihovog internog sastava, treba dobiti osnovu za njihovu opću interpretaciju.

Za rješavanje tektonskih odnosa, tj. položaja naslaga, potrebna je detaljna analiza svih diskontinuiteta, posebno glavnog reverznog rasjeda na bilu Marjana.

Nedovoljno su poznati detalji o tijeku iskopa kame-noloma i manjih otkopa kamena po Marjanu, a također i otkopa tupine za negdašnju tvornicu cementa. Poželjno je iznaći podatke o tim radovima, kao važnog detalja takove (bivše) gospodarske aktivnosti s negativnim posljedicama za obličje Marjana.

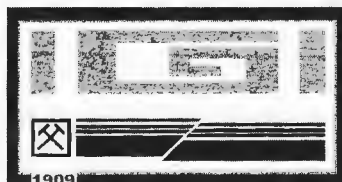
U hidrogeološkom smislu posebnu pozornost zaslužuju vrulje na sjevernoj strani Marjana. Poželjno je ustanoviti mehanizam takvih hidrogeoloških pojava.

U inženjerskogeološkom smislu, korisno bi bilo analizirati i obraditi podatke o fizičko-mehaničkim svojstvima stijena, kako vapnenaca tako i flišnih sedimenata, prikupljenih tijekom istraživanja za temeljenje stambenih zona i pojedinačnih građevina na Marjanu, jer osim za područje tunela, takvi podaci nisu na odgovarajući način obrađeni ni objelodanjeni.

Na koncu valja zaključiti da do sada nisu na Marjanu obavljena kompleksna detaljna geološka istraživanja, već samo parcijalna, te su brojni segmenti geoloških pojava samo zapaženi, ali ne i proučeni i znanstveno interpretirani. Za cjelovitost znanstvene i stručne obrade Marjana sa stanovišta geologije i geološkog inženjstva potrebna su nova, dodatna terenska istraživanja i laboratorijska obrada materijala suvremenim metodama uz sudjelovanje specijalista odgovarajućih znanstvenih grana. Pri tomu treba koristiti već postojeće rezultate regionalnih istraživanja koji su dijelom objavljeni, a dijelom sadržani u različitim neobjavljenim studijama.

7. LITERATURA

- ALFIREVIĆ, S. (1966): Les sources sous-marines de la Baie de Kaštela: morphologie, structure hydrogéologique, relations géotectoniques.- *Acta Adriatica*, 10/12, 1-39, Split.
- BOJANIĆ, L., IVIČIĆ, D., ŠESTANOVIĆ, S. & BOŠNJAK, D. (1986): Uloga i značenje inženjerskogeoloških radova kod denivelacije pruge u Splitu.- *Gradevinar*, 36, 337-341, Zagreb.
- BRAUN, K. (1998): Legenda za izradu osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske mjerila 1:100.000.- Institut za geološka istraživanja, 1-35, Zagreb.
- DE CAPOA, P., RADOIČIĆ, R. & D'ARGENIO, B. (1995): Late Miocene deformation of the External Dinarids (Montenegro and Dalmatia). New biostratigraphic evidence.- *Mem. sci. geol.*, 47, 157-172, Padova.
- FORTIS, A. (1774): *Viaggio in Dalmazia*.- Presso Miloeo, Vol. I: VIII+180+47 str., Vol. II: 4+204 str., Venezia.
- GIROMETTA, U. (1924): *Priroda Marjana*.- U: "Marjan". Tipografija dd, 21-52, Zagreb.
- HOEK, E. (1995): Strength of rock and rock masses.- *News Journal ISRM*, 2/2, 4-16, Lisboa.
- HOEK, E., KAISER, P.K. & BAWDEN, W.F. (1995): Support of underground excavations in hard rock.- Balkema, Rotterdam/ Brookfield, 215 str.
- IAEG (1981): Classification of rock and soils for engineering geological mapping.- *Commission on Engineering Geological Mapping of the IAEG (Report)*.
- KERNER, VON MARILAUN F. (1903): *Gliederung der Spalätiner Flyschformation*.- *Verl. Geol. Reichsanst.*, 5, 87-102, Wien.
- KERNER, VON MARILAUN F. (1914): *Geologische Spezialkarte der in Reichsrathe vertretenen Königreiche und Länder der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. Sinj-Spalato, 1:75.000 (Zone 31, Col. XV)*.- *Verlag Geol. Reichsanst.*, Wien.
- KERNER, VON MARILAUN F. (1916): *Erläuterungen zur Geologischen Karte der im Reichsrathe vertretenen Königreiche und Länder der Österreichisch-Ungarischen Monarchie. SW Gruppe, Nr. 124 Sinj-Spalato, Zone 31, Col. XV der Spezialkarte Österreichisch-Ungarischen Monarchie im Masstabe 1:75.000*.- *Verlag Geol. Reichsanst.*, 1-116, Wien.
- MAGAŠ, N., MARINČIĆ, S. & BORAVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za listove Split i Primošten, K33-21, K33-20.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- MAGDALENIĆ, A. (1979): *Inženjerska geologija*.- U: *Tehn. encikloped.*, 6, 119-120, JLZ, Zagreb.
- MAGDALENIĆ, A. (1983): *Osnove inženjersko-geoloških istraživanja*.- U: JAŠAREVIĆ, I. (ur.): *Mehanika stijena, temeljenje, podzemni radovi*. DGIT Zagreb i DMSPR Hrvatske, 1, 3-18, Zagreb.
- MAGDALENIĆ, A., CRNKOVIĆ, B. & JAŠAREVIĆ, I. (1980): Problemi vezani uz radove u flišu.- *Zbornik 5. simp. JDMSPR*, 2, 93-109, Split-Zagreb.
- MARINČIĆ, S. (1981): Eocenski fliš Jadranskog pojasa.- *Geol. vjesnik*, 34, 27-38, Zagreb.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N., BOROVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAJCEN, Ž., RAFFAELLI, P. & MAGDALENIĆ, Z. (1971): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Split, K33-21.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- MALEZ, M. (1961): Staropleistocenska fauna koštane breče poluotoka Marjana kod Splita.- *Paleont. jug.*, 4, 1-42, Zagreb.
- MARJANAC, T. (1991): Importance of megabeds for reconstruction of Paleogene flysch basin in Split hinterland (Middle Dalmatia).- *Geol. vjesnik*, 44, 201-213, Zagreb.
- MARTELLI, A. (1902): *I fossili dei eocenici di Spalato in Dalmazia*.- *Pal. Ital.*, 8, 43-97, Pisa.
- ORTOLAN, Ž., POLLAK, Z. & REHAK KORLAET, N. (1978): *Inženjerskogeološka istraživanja*.- U: *Elaborat o inženjerskogeološkim, geofizičkim, seizmološkim i geotehničkim istraživanjima za tunel Marjan*. FGZ Zagreb, RN. 2211-188/78, Arhiv IGH Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., KUK, V., MARIĆ, K. & SKOKO, D. (1999): *Sustav odvodnje otpadnih voda Split/Solin. Seizmološka i seizmotektonska istraživanja*.- RGNF Zagreb & PMF Zagreb, 1-25, Zagreb.
- SCHUBERT, R. (1909): *Geologija Dalmacije (preveo: F. Koch)*.- *Matica dalmatinska*, 1-181, Zadar.
- TIŠLJAR, J. (1984): *Sedimentne stijene*.- Školska knjiga, Zagreb, XI+422 str.
- VULIĆ, Ž. (1994): *Upute za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske, mjerilo 1:100.000*.- Institut za geološka istraživanja, 1-65, Zagreb.





Akumulacija Križ Potok: vododrživost akumulacije i otješnjenje pregradnog mjesta

Surface-Water Reservoir Križ Potok: Storage-Water Sustainment and Dam Impermeability

Željko ŠTEFANEK¹, Ante PAVIČIĆ² & Darko IVIČIĆ²

Ključne riječi: akumulacija, brana, injekcijska zavjesa, hidrogeologija, vodoopskrba, Gorski Kotar.

Key words: Surface-water reservoir, Dam, Grouting curtain, Hidrogeology, Water supply, Gorski Kotar region.

Sažetak

Za regionalni vodovod Gorskog kotara predviđa se korištenje vode iz buduće akumulacije na Križ potoku sjeverozapadno od Lokava. Istraživački radovi su pokazali da se najveći dio slivnog područja i akumulacijskog bazena nalazi na paleozojskim klastičnim naslagama, a projektirana brana na paleozojskim klastičnim i donjotrijaskim klastičnim i dolomitnim sedimentima. Nužno je istaći različit pristup pri ocjenjivanju vododrživosti akumulacijskog bazena u odnosu na pregradno mjesto. Jednako propusne naslage u prirodnim uvjetima, formiranjem akumulacije dobivaju različite funkcije, pa primjerice u dnu akumulacije one mogu biti vododržive, a ispod brane zahtijevaju otješnjenje. Zahvaljujući timskom radu grupe stručnjaka i primjeni različitih metoda istraživanja predloženi građevinski zahvati predstavljaju optimalna tehnička rješenja.

Abstract

For the regional public waterworks system of Gorski Kotar, water will be extracted from the surface-water reservoir Križ Potok that will be constructed in the near future. Explorations showed that the largest part of the reservoir recharge area occurs on Palaeozoic clastic deposits and the designed dam on Palaeozoic clastic and Lower Triassic clastic and dolomite sediments. It is necessary to emphasise a different approach in the evaluation of bedrock permeability (storage-water sustainment) within the reservoir and within the dam. The deposits, that are equally permeable under natural conditions, receive different functions after the reservoir construction. Thus, if they are estimated as waterproof (impermeable) at the reservoir bottom, they could need additional water impermeability under the dam itself. As a result of the teamwork of a group of experts and by applying diverse exploration methods, technically optimal solutions, we do believe so, have been discovered and proposed.

UVOD

Geotehnički istraživački radovi provedeni u svrhu ostvarenja akumulacije Križ potok (sl. 1) usmjeravani su i provedeni sukladno usvojenom programu istraživanja (ŠTEFANEK, 1994, 1998a, b). Izvedena su geofizička istraživanja, istraživačka bušenja s uzimanjem uzoraka i laboratorijskim testiranjem, mjerenja vodopropusnosti u bušotinama, ugrađene piezometarske konstrukcije i mjerene razine podzemne vode, te obavljena inženjerskogeološka i hidrogeološka istraživanja.

Istraživačkim radovima obuhvaćeno je:

- **slivno područje** (geološka građa, hidrogeološka svojstva naslaga, granice sliva, zone sanitarne zaštite, potencijalni zagađivači, erozija);

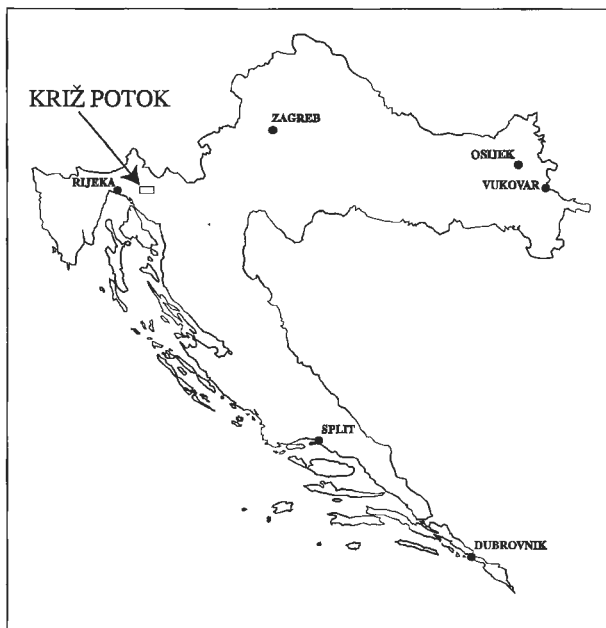
- **područje akumulacije** (ocjena vododrživosti akumulacije, stabilnost padina);
- **pregradno mjesto** (propusnost naslaga i ocjena vododrživosti, temeljenje građevina);
- **nalazišta materijala** (materijal za tijelo brane, kamen za beton i rip-rap glinoviti materijal za jezgru brane).

Za akumulaciju Križ potok usvojene su slijedeće veličine:

- obujam akumulacije 9,000.000 m³;
- retencijski prostor 1,700.000 m³;
- prostor za prihvat nanosa 150.000 m³;
- visina brane 34 m;

¹ Hidroinženjering d.o.o, Okučanska 30, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

² Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Položaj akumulacije Križ potok.

Fig. 1 Situation of the Križ Potok reservoir.

- dužina brane 450 m;
- dužina zavjese 600 m.

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI U SLIVNOM PODRUČJU

Područje šireg sliva Križ potoka izgrađuju naslage mlađeg paleozoika, donjeg i gornjeg trijasa, lijas i kvartarne naslage (sl. 2).

Na obradnom terenu registrirani su tektonski elementi koje je moguće detaljnije analizirati samo u sklopu strukturno-tektonskih odnosa u širem području. Paleozojske naslage, na kojima će najvećim dijelom ležati akumulacija Križ potok, bez obzira na njihov regionalni tektonski položaj čine dovoljno debeli nepropusni kompleks naslaga koje omogućuju njezinu vodrživost.

Prema stratigrafskom položaju, litološkom sastavu i stupnju oštećenosti naslaga, morfologiji terena i hidrogeološkim pojavama u istraživanom prostoru je izdvojeno pet skupina stijena različitih hidrogeoloških svojstava.

U grupu naslaga naizmjeničnih hidrogeoloških svojstava uvršten je kvartarni pokrivač (al, Q₂) izgrađen iz prašastih i pjeskovitih glina, pijeska, šljunka i kršja. U prikazanom području posebno je na kartama izdvojen kvartarni aluvijalni pokrivač istaložen u dolini Križ potoka. Kvartarne naslage na povišenim dijelovima terena nastale su najčešće rastrožbom stijena u podlozi. Relativno velika vodopropusnost aluvijalnih naslaga na pregradnom mjestu uzrokovana je šljunčanin nanosom potoka.

Dobro propusnim naslagama označeni su vapnenici i vapnenici i dolomiti u izmjeni (J₁). Izgrađuju sjeveroistočni dio obradnog terena, a na površini se pojavljuju iznad zaplavnog prostora akumulacije.

Djelomično nepropusnim naslagama ocijenjeni su dolomiti gornjeg trijasa (T₃). Propusnost im ovisi o raspucanosti i okršenosti. U ovu grupu djelomično nepropusnih stijena uvršteni su i dolomiti u lijevom boku pregradnog mjesta koji pripadaju vršnom dijelu naslaga donjeg trijasa.

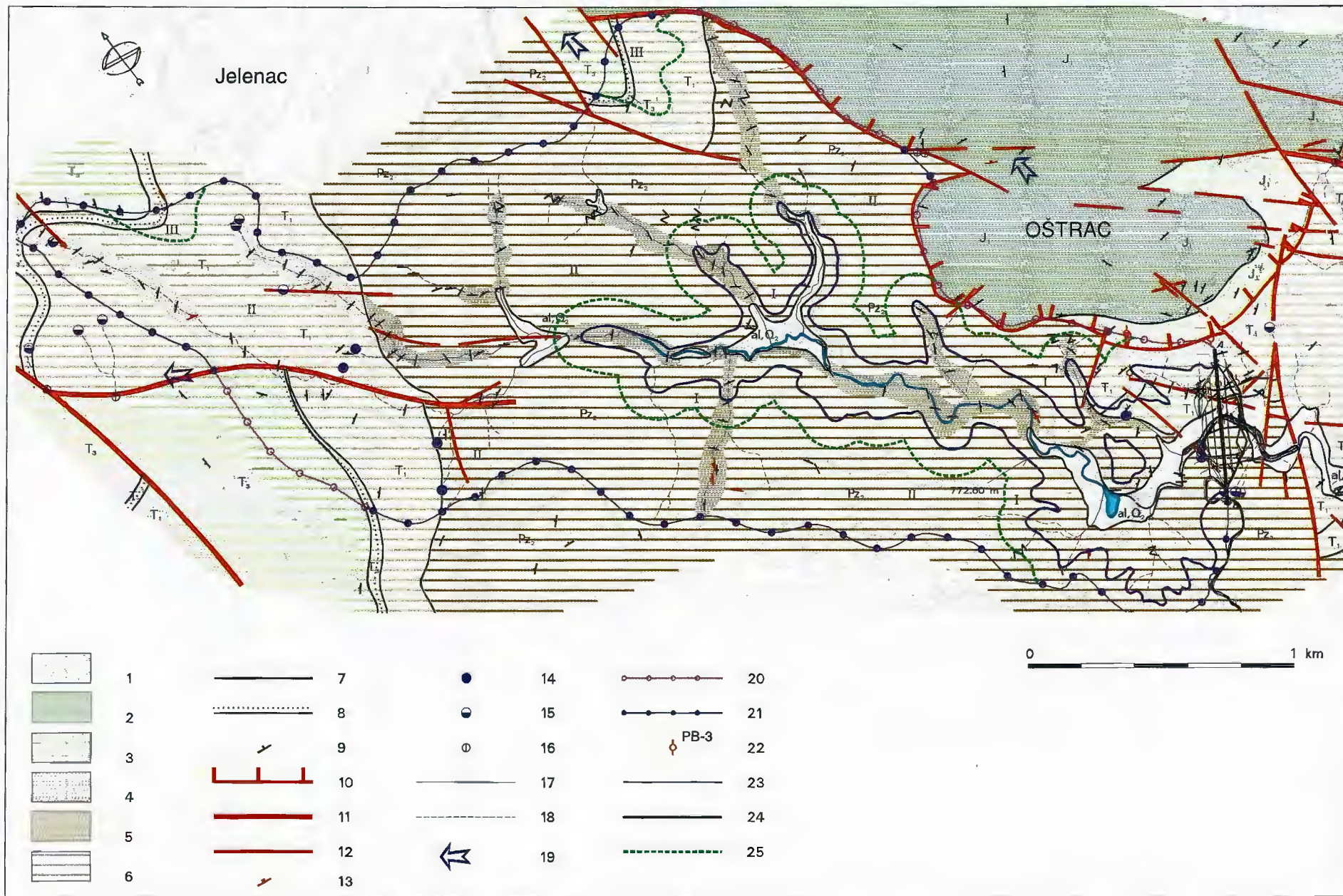
U djelomično propusne naslage uvrštene su naslage donjeg trijasa (T₁) i pretežno klastične naslage iz baznog dijela gornjeg trijasa (T₃¹). Donjotrijaske naslage su predstavljene višestrukom izmjenom klastičnih i karbonatnih članova, ali unatoč tome, možemo ih smatrati u cjelini praktički nepropusnima. Pojava okršavanja unutar dolomitnih naslaga lokalnog je karaktera. Ovdje su uvršteni i dolomiti jure (J₁).

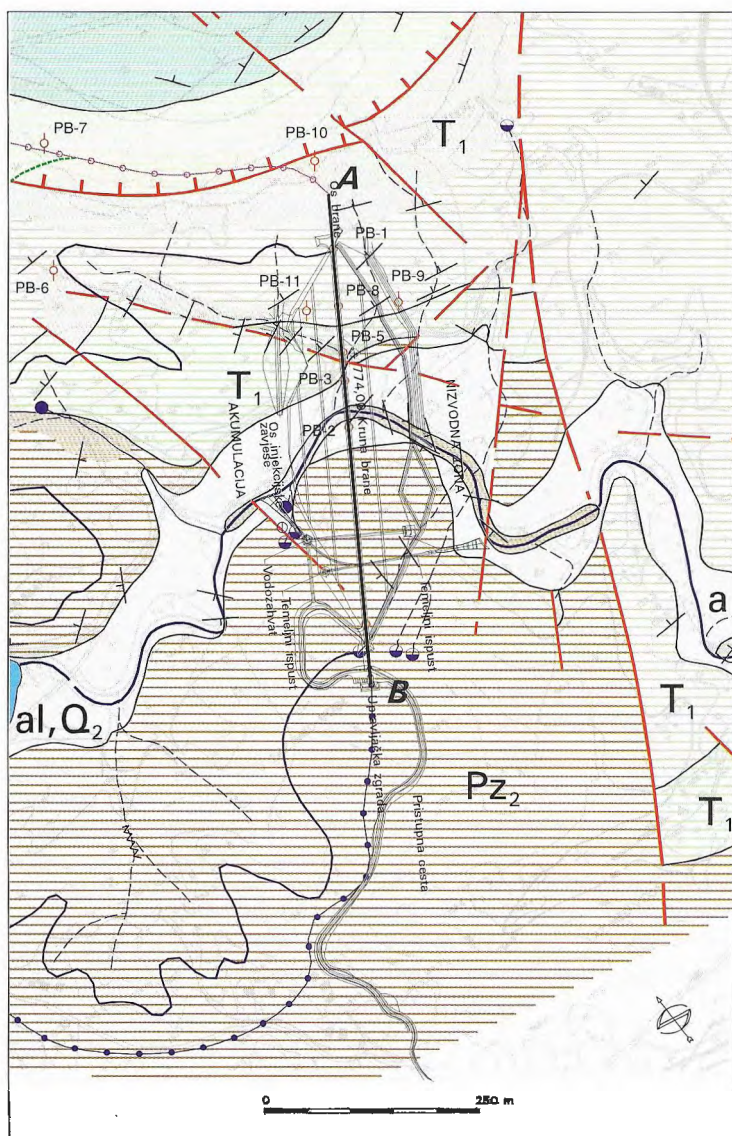
Nepropusne stijene u istraživanom prostoru predstavljaju naslage paleozoika (Pz₂) u čijem sastavu prevladavaju klastični sedimenti (šejlovi, siltiti, pješčenjaci i kvarcni konglomerati), koji se višestruko izmjenjuju i prelaze jedni u druge bočno i vertikalno. Moguća su procjeđivanja kroz povezane prsline i pukotine u pri-površinskom dijelu čvrstih članova.

Provedenim hidrogeološkim kartiranjem površine sliva te rekognosciranjem šireg rubnog područja terena

Sl. 2 Hidrogeološka karta slivnog područja. Tumač: 1) stijene naizmjeničnih osobina - pijesak, šljunak, kršje, glina (al, Q₂); 2) propusne stijene - vapnenici i dolomiti (J₁); 3) djelomično nepropusne stijene - dolomiti (T₁, T₃, J₁); 4) djelomično propusne stijene - pjeskoviti peliti, šejl, siltiti, konglomerati, glinoviti dolomiti (T₁, T₃¹); 5) nepropusne stijene - šejl, siltiti, pješčenjaci, kvarcni konglomerati (Pz₂); 6) stijene u podlozi pokrivača debljeg od 1 m - pokrivač: prah, glinoviti prah s kršjem, fragmenti osnovne stijene; 7) geološka granica; 8) geološka granica - transgresivna; 9) položaj sloja; 10) rasjed reversni; 11) značajan rasjed, normalan; 12) rasjed ili pukotina; 13) pukotina; 14) izvor stalan; 15) izvor povremen; 16) ponor s povremenim uviranjem; 17) površinski tok, stalan; 18) površinski tok, povremen; 19) generalni smjer tečenja podzemne vode; 20) zonarna razvodnica; 21) površinska i podzemna razvodnica; 22) pijezometrijska bušotina; 23) izolinija 772.60 m - kota uspora; 24) pregrada; 25) granica zone sanitarne zaštite.

Fig. 2 Hydrogeological map of the reservoir recharge area. Legend: 1) rocks of variegated characteristics: gravel, sand, clay debris (Al, Q₂); 2) permeable rocks: limestones and dolomites (J₁); 3) partially impermeable rocks: dolomites (T₁, T₃, J₁); 4) partially permeable rocks: sandy pelites, shale, silts, conglomerates, marly dolomites (T₁, T₃¹); 5) impermeable rocks: shales, siltstones, sandstones, quartzconglomerates (Pz₂); 6) rocks occurring under covering sediments thicker than 1 m: silt, clayey silt with debris, bedrock fragments; 7) geological boundary; 8) geological boundary - transgressive; 9) dip of bedding; 10) reverse fault; 11) major fault; 12) fault or fissure; 13) fissure; 14) spring - permanent; 15) spring - intermittent; 16) ponor (swallow hole) with intermittent swallow; 17) surface-water flow - permanent; 18) surface-water flow - intermittent; 19) general direction of groundwater flow; 20) zonal water divide; 21) surface and underground water divide; 22) observation borehole; 23) contour of dammed water level (in m); 24) dam; 25) boundary of the sanitary protection zone.





Sl. 3 Dio hidrogeološke karte - istraživački radovi i građevina na pregradnom mjestu.

Fig. 3 Part of the hydrogeological map - explorations and constructions at the dam site.

bilo je moguće sa sigurnošću odrediti granicu sliva akumulacije Križ potok. Činjenica da najveći dio terena izgrađuju nepropusne i slabo propusne naslage te da je dotjecanje u sliv Križ potoka uglavnom površinsko, utjecala je na točnost određivanja sliva. U području gdje granica sliva prolazi preko nepropusnih paleozojskih i slabo propusnih donjotrijaskih naslaga podzemna (hidrogeološka) i topografska razvodnica se poklapaju (IVIČIĆ & VILJEVAC, 1993).

Dilema o mogućoj pripadnosti ponirućih voda krškog područja Jelenca (uz sjeverozapadnu granicu sliva) slivu Križ potoka ne stoji, jer u dolini Križ potoka nema krških izvora na kojima bi te količine poniruće vode istjecale.

Istočna granica sliva je linijska razvodnica definirana položajem reversnog rasjeda uzduž kojeg su dobro propusne jurske naslage navučene na nepropusne paleozojske i slabo propusne donjotrijaske naslage.

S ovako određenom granicom površina sliva akumulacije Križ potoka iznosi 4,9 km² (sl. 2).

OCJENA VODODRŽIVOSTI AKUMULACIJE

Akumulacijsko jezero, pri projektiranoj koti uspora, nalazi se najvećim dijelom na terenu izgrađenom od nepropusnih paleozojskih naslaga (sl. 2). Klastične paleozojske naslage smatraju se općenito vododrživim i sprečavaju otjecanje vode u podzemlje. Najveći dio padalina brzo protječe jarcima prema Križ potoku, a samo manji dio se zadrži u površinskom pokrivaču i trošnom dijelu stijene odakle se dulje vrijeme iscjeduje.

U lijevom boku akumulacije, od pregradnog mjesta uzvodno prema Oštracu, teren izgrađuju klastične i karbonatne naslage donjeg trijasa. U dnu i vrhovima usječenih jaruga javljaju se stalni i povremeni izvori s otjecanjem prema dolini potoka.

Mjerenja vodopropusnosti pokazala su da propusnije zone u tom boku prate nagib terena, a prema Oštracu se dižu iznad kote budućeg uspora.

Općenito se može zaključiti da je "vodno lice" na pregradnom mjestu nagnuto prema dolini i da približno

prati nagib terena, osim kod razvodnice prema Oštracu gdje se znatno spušta ispod terena. Nadalje, uočava se da su razine u lijevom boku pregradnog mjesta (piezometrima PB-7 i PB-10) iznad kote normalnog uspora buduće akumulacije, dok su razine u dnu korita (piezometru PB-2) pod neposrednim utjecajem Križ potoka.

Na osnovi analize raspoloživih podataka nije za očekivati gubljenje vode u području akumulacije, niti u lijevom boku prema Oštracu (sl. 2).

PREGRADNO MJESTO

Ostvarenjem akumulacije promijeniti će se prirodni uvjeti u dolini Križ potoka. Razina vode u akumulaciji na koti normalnog uspora 770,20 m n.m., odabrana kao najveće stalno opterećenje, predstavlja opasnost za hidroauličku stabilnost građevina.

U području pregradnog mjesta unutar klastičnih naslaga usječeni su brojni jarci sa stalnim ili povremenim tečenjem. Tokovi se formiraju procjeđivanjem padalina kroz pokrivač i pripovršinski trošni dio stijene. Redovito se radi o izvorima malog kapaciteta. Pojava izvora, u prirodnim uvjetima, ukazuje na postojanje putova vode u pripovršinskim zonama.

Posebno se to odnosi na grupu bušotina I-1, I-7, I-5 i I-4, u desnom boku pregradnog mjesta, smještenih na potezu od trijaskih dolomita do zdrobljene zone paleozojskih klastita registrirane metodom refrakcijske seizmike u osi brane. Podaci ukazuju na relativno niske RPV-a u odnosu na kote terena, od 4,20 m do 9,10 m dubine. Navedena mjerenja odstupaju u odnosu na ostale bušotine izvedene na desnom boku i dnu doline, gdje su izmjerene razine na dubini od 0,50 m do 2,00 m.

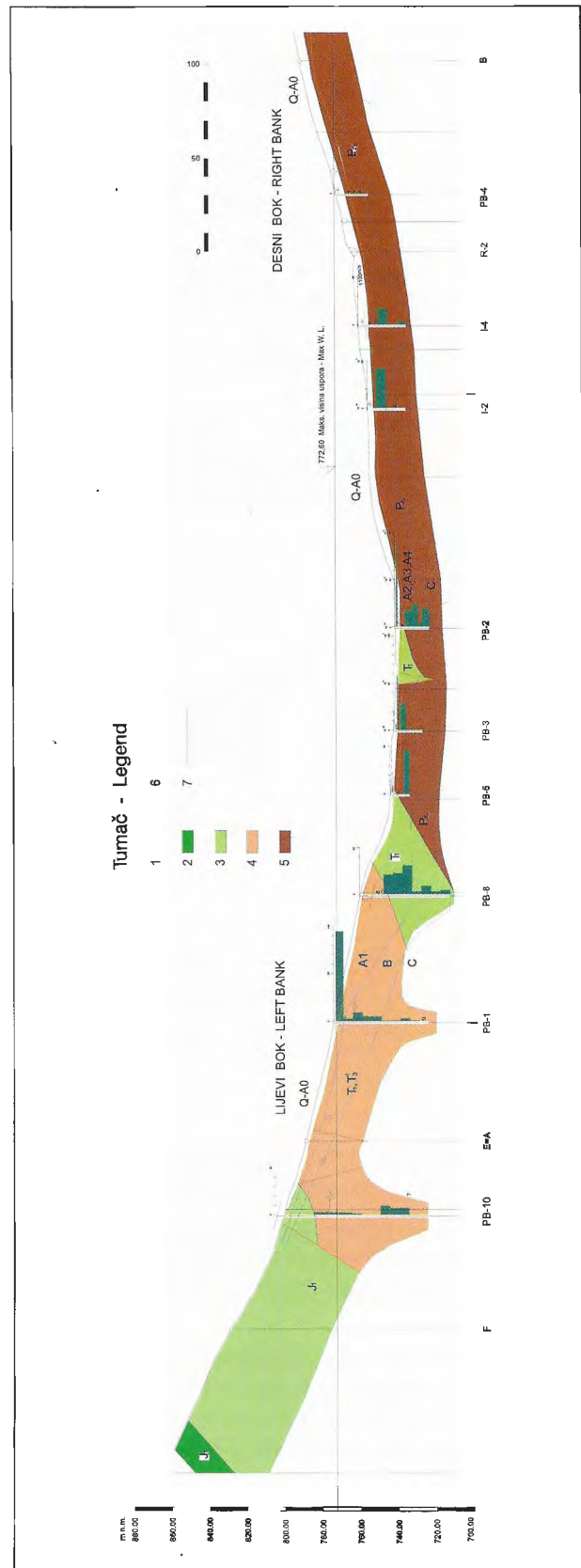
Zbog predviđene visine uspora akumulacije od 30-ak metara (hidrostatički tlak od 3 bara), za ocjenu vododrživosti su odabrane propusnosti u Lugeonovim jedinicama (Lu) kod ostvarenog tlaka od 5 bara. Ovaj je tlak potvrđen na više testova i kao mjerodavni tlak kod kojeg nije došlo do narušavanja strukture stijene.

Podaci testiranja analizirani prema kriteriju izmjerene vodopropusnosti (sl. 4), ukazuju na postojanje nekoliko karakterističnih zona:

- **pripovršinske propusnije zone - A** u naslagama trijasa i paleozoika;
- **srednje propusne zone - B** u lijevom boku brane u naslagama trijasa B;
- **slabo propusne zone - C** koja se prostire u dubljim dijelovima pregradnog mjesta u naslagama trijasa i paleozoika C.

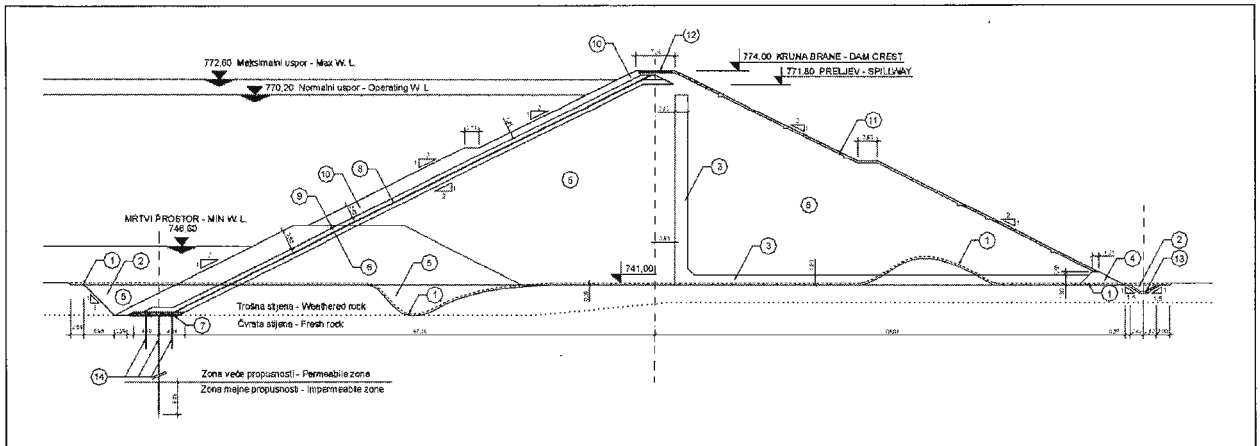
Općenito se zona A pruža cijelim pregradnim mjestom do dubine od 10-ak metara, a zona B u lijevom boku do dubine od 20-ak metara. Mjestimično su pak registrirane dublje zdrobljene zone. One su registrirane u lijevom boku u bušotini PB-8, u dolini Križ potoka u bušotini PB-2, te na desnom boku u bušotini I-4.

Pripovršinska propusnija zona A se detaljnije može podijeliti u pet dijelova:



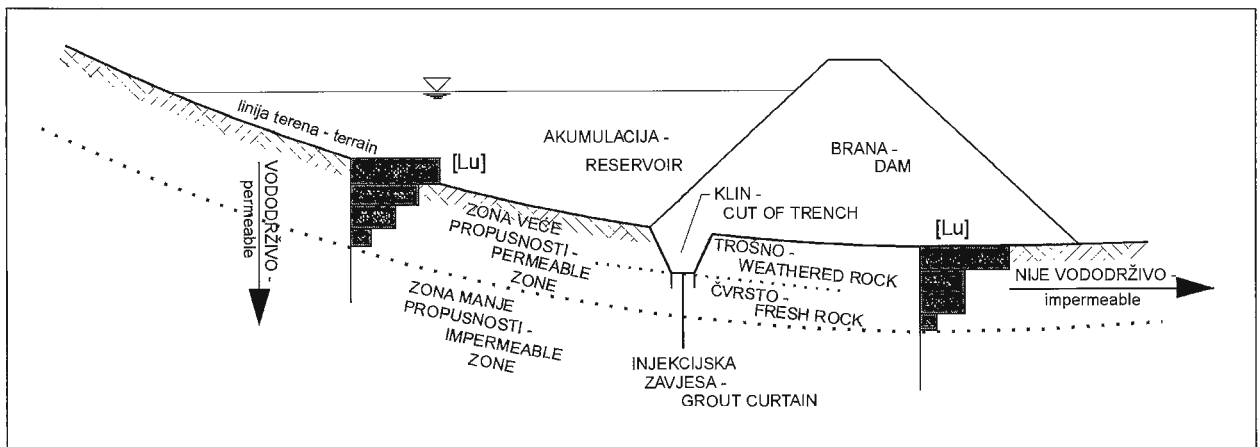
Sl. 4 Zoniranje geotehničkog presjeka u osi brane. Tumač: 1) kvartar; 2) lijas; 3) trijas, jura; 4) trijas; 5) paleozoik; 6) granica trošne i čvrste stijene; 7) granica između zone veće i manje propusnosti.

Fig. 4 Zoning of geotechnical cross sections along the dam. Legend: 1) Quaternary; 2) Lias; 3) Triassic, Jurassic; 4) Triassic; 5) Palaeozoic; 6) boundary between weathered and solid rock; 7) boundary between zones of higher and lower permeability.



Sl. 5 Karakteristični poprečni presjek brane sa zavjesom.

Fig. 5 Characteristic cross section along the grout curtain dam.



Sl. 6 Model presjeka terena za ocjenu vododrživosti.

Fig. 6 Cross section model of terrain for the evaluation of reservoir recharge area and dam leakage.

- dio A0 sastavljen od kvartarnih tvorevina u kojem nisu obavljena testiranja Lugeonovom metodom;
- dio A1 u lijevom boku pregradnog mjesta koji tvore naslage trijasa, u kojem su testiranja u svim etažama obavljena pod tlakom od 10 bara (izmjerenom na manometru);
- dio A2 u desnom boku pregradnog mjesta koji uglavnom tvore naslage paleozoika, u kojima maksimalni tlak testova nije prelazio 5 bara, a neka su testiranja bila prekinuta zbog probijanja vode pokraj pakera;
- dio A3 u desnom boku pregradnog mjesta koji tvore naslage paleozoika, u kojem su testiranja u svim etažama obavljena pod tlakom od 10 bara;
- dio A4 u desnom boku pregradnog mjesta koji također tvore naslage paleozoika, u kojima su propusnosti povećanjem tlaka s 5 na 10 bara značajno porasle.

Zbog svega navedenog se može tvrditi da propusnost u pripovršinskoj zoni ne ovisi o litološkom sastavu. Ona je vezana uz zdrobljene i trošne zone u naslagama

trijasa i paleozoika. Takvo stanje podzemlja stavlja u jednaku poziciju odabrani pregradni profil u odnosu na bilo koji uzvodniji.

Stvaranjem uspora, i povećanjem gradijenta okomito na os brane, svakako bi se kroz postojeće pukotine povećalo protjecanje vode u smjeru uzvodno-nizvodno. Ocjenuje se da bi dugogodišnjim korištenjem akumulacije trajni tok vode kroz naslage paleozoika mogao izazvati dodatno povećanje protoka zbog ispiranja pukotina, što bi moglo ugroziti stabilnost građevina.

U svrhu sigurnosti brane zone A i B treba prikladnim metodama otjesniti i učiniti ih dovoljno nepropusnim, a time i vododrživim. Naravno da bi se na taj način smanjili i gubici iz buduće akumulacije.

Za temeljenje građevina predviđenih na pregradnom mjestu (nasuta brana, zavjesa, betonske građevine, pristupna cesta, upravljačka zgrada) osobito je važno odrediti granicu tla i trošne stijene sa čvrstom stijenom.

Sukladno podacima bušenja, izvršenim terenskim klasifikacijama tla i stanja trošnosti stijene, geološkoj

determinaciji, "in situ" i laboratorijskim testovima, te podacima seizmičke refrakcije, moguće je na pregradnom mjestu odrediti granicu trošne i čvrste stijene. Debljina trošne zone iznosi od 0,20 m na lijevom boku, 3,10 m u dolini, do 6,50 m na desnom boku brane (sl. 4).

Ova je granica značajna za određivanje dubine iskopa temeljnog klina brane i spoja brane s injeksijskom zavjesom.

OTJEŠNENJE

Uz potrebu otješnjenja veže se ocjena vododrživosti, koja ovisi o promjeni vodnog režima u području buduće akumulacije. Upoznavanje litostratigrafskog sastava, tektonike i hidrogeoloških svojstva naslaga unutar granice sliva, te testiranje vodopropusnosti i mjerenja razina podzemne vode u prirodnim uvjetima temelj su za ocjenu vododrživosti.

Razmatrajući rezultate istraživačkih radova sa staništa otješnjenja akumulacije Križ potok mora se odvojiti područje akumulacije od područja pregradnog mjesta, jer isti parametri propusnosti naslaga u području akumulacije i pregradnog mjesta ne znače istovremeno i jednaku ocjenu vododrživosti (sl. 6).

Prema prikazu, analizi i sintezi rezultata istraživačkih radova u prethodnim točkama članka, izvršenih s različitih aspekta, utvrđeno je postojanje zona veće vodopropusnosti u podlozi brane u cijeloj dužini pregradnog mjesta (sl. 4).

Neophodno je primarno ostvariti sigurnost brane, a sekundarno spriječiti gubljenje vode, što se predviđa riješiti izvedbom injeksijske zavjese, odnosno zabrtvljenjem pukotina injektiranjem (sl. 3).

Na pregradnom mjestu neophodno je osigurati kontinuitet vodonepropusnog ekrana u brani i injeksijske zavjese u podzemlju.

Razmatrane su tri varijante zavjese, od kojih je svaka povezana uz jednu od varijanti brane prikazanih u idejnom rješenju: injektiranje s berme, injektiranje iz galerije i injektiranje s betonskog bloka na dnu klina.

Kod odabira prevladala je varijanta injektiranja s betonskog bloka na dnu klina (sl. 5). Pri usvajanju varijante vodilo se računa o kvalitetnom kontaktu površinskih i podzemnih građevina, izvođenju injeksijske zavjese na otvorenom prostoru, zbog manjih troškova i o smanjenju potrebe naknadnog injektiranja na najmanju moguću mjeru.

Položaj injeksijske zavjese na pregradnom mjestu usklađen je s presjekom brane, tako da se ostvari sigurnost u temeljima i potrebni stupanj zabrtvljenja u pogledu gubitaka vode.

U svrhu vododrživosti usvojena je jednorodna injeksijska zavjesa koja se proteže od lijevog do desnog boka brane u dužini 600,00 m.

Na dijelu ispod klina u temeljima brane, s betonske ploče predviđena su radi što boljeg kontakta dva reda

veznih injekcija uzvodno i nizvodno od osi zavjese na razmaku od 2,00 m. Bušotine oba reda su pomaknute za 1,50 m u odnosu na bušotine injeksijske zavjese i protežu se u dužini od 502,00 m.

ZAKLJUČAK

Akumulacija Križ potok nastaje pregrađivanjem istoimenog potoka i dotjecanjem vode sa slivnog područja veličine 4,9 km². Akumulacijsko jezero pri projektiranoj koti normalnog uspora od 770,20 m n.m. nalazi se najvećim dijelom na terenu izgrađenom od nepropusnih paleozojskih naslaga. Klastične paleozojske naslage smatraju se općenito vododrživim i sprečavaju otjecanje vode u podzemlje. Na osnovi analize podataka u lijevom boku akumulacije prema Oštracu također nije za očekivati gubljenje vode.

Iz raspoloživih podataka uočava se različita debljina trošne zone, koja se od 0,20 m na lijevom boku i 3,10 m u dolini povećava do 6,50 m na desnom boku brane (sl. 4). Ova je granica vrlo značajna za određivanje dubine iskopa temeljnog klina nasute brane i spoja brane s injeksijskom zavjesom.

Međutim, u svrhu sigurnosti brane, propusnije zone pregradnog profila treba prikladnim metodama otjesniti i učiniti ih dovoljno nepropusnim, a time i vododrživim. Na taj bi se način smanjili mogući gubici na pregradnom profilu brane.

LITERATURA

- IVIČIĆ, D. & VILJEVAC, Ž. (1993): Hidrogeološki istražni radovi za definiranje zona zaštite jezera Lokvarke i Križ potoka (idejni projekt).- Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- ŠTEFANEK, Ž. (1994): Studija mogućnosti korištenja voda Križ potoka za vodoopskrbu; akumulacija i brana Križ potok, Elaborat o geotehničkim istraživačkim radovima.- Fond stručne dokumentacije Hidroinženjering, Zagreb.
- ŠTEFANEK, Ž. (1998a): Vodoopskrbni sustav goranske regije, Akumulacija Križ potok, Završni izvještaj istraživačkih radova za idejni projekt, knjige 1 do 7.- Fond stručne dokumentacije Hidroinženjering, Zagreb.
- ŠTEFANEK, Ž. (1998b): Regionalni vodovod Gorskog kotara, Izvoriste vode, Akumulacija Križ potok, Idejni projekt, knjige 1 do 3.- Fond stručne dokumentacije Hidroinženjering, Zagreb.



Uvjeti prodora morske vode u krški vodonosnik pulskih zdenaca

Conditions of the Sea-water Intrusion into Karst Aquifer of the Pola's Wells

Kosta URUMOVIĆ

Ključne riječi: dodir slatka-slana voda, krški vodonosnik, hidraulički kontinuitet.

Key words: Salt/fresh water interface, Karst aquifer, Hydraulic continuity.

Sažetak

U niskoj karbonatnoj platformi južne i jugozapadne Istre oblikovan je krški vodonosnik. Formiranje vodonosnika uvjetovano je rubnim uvjetima i pojavom raštrkanih kaverni koje su međusobno povezane pukotinama i prslinama. U dostatno velikom mjerilu ovakav vodonosni sustav može se promatrati kao porozni sustav u kojemu se usporava gibanje podzemnih voda i održava saturiranost vodonosnika i u dugim sušnim razdobljima. U takvim uvjetima izvodiivo je crpljenje podzemnih voda uz snižavanje razine podzemne vode u zdencima i nekoliko metara ispod razine mora. Pri tome, dosezanje prodora morske vode ovisi o odnosu specifičnog otjecanja i regionalne hidrauličke vodljivosti vodonosnika. To znači da je pri eksploataciji podzemnih voda nužno održavati i otjecanje voda u more radi održavanja ograničenog prodora morske vode u vodonosnik.

Abstract

The karst aquifer is formed in the low-lying carbonate platform of the southern and south-western Istria. Its formation is influenced by the boundary conditions and by the existence of dispersed caverns/cavities that are connected by joints and fissures. In the scale large enough, such aquifer system can be analysed like the porous system that slows down the groundwater circulation and preserves the saturation of the aquifer also in the long-lasting dry seasons. In such conditions, it is possible to pump the groundwater with draw-down reaching several meters under the sea-level. In this process, the distance of the sea-water penetration depends on the ratio of the specific runoff and the regional hydraulic conductivity of aquifer. The point is that, in the course of the groundwater exploitation it is necessary to preserve the flow of the water into the sea in order to maintain the sea-water invasion into the aquifer at a minimal level.

1. UVOD

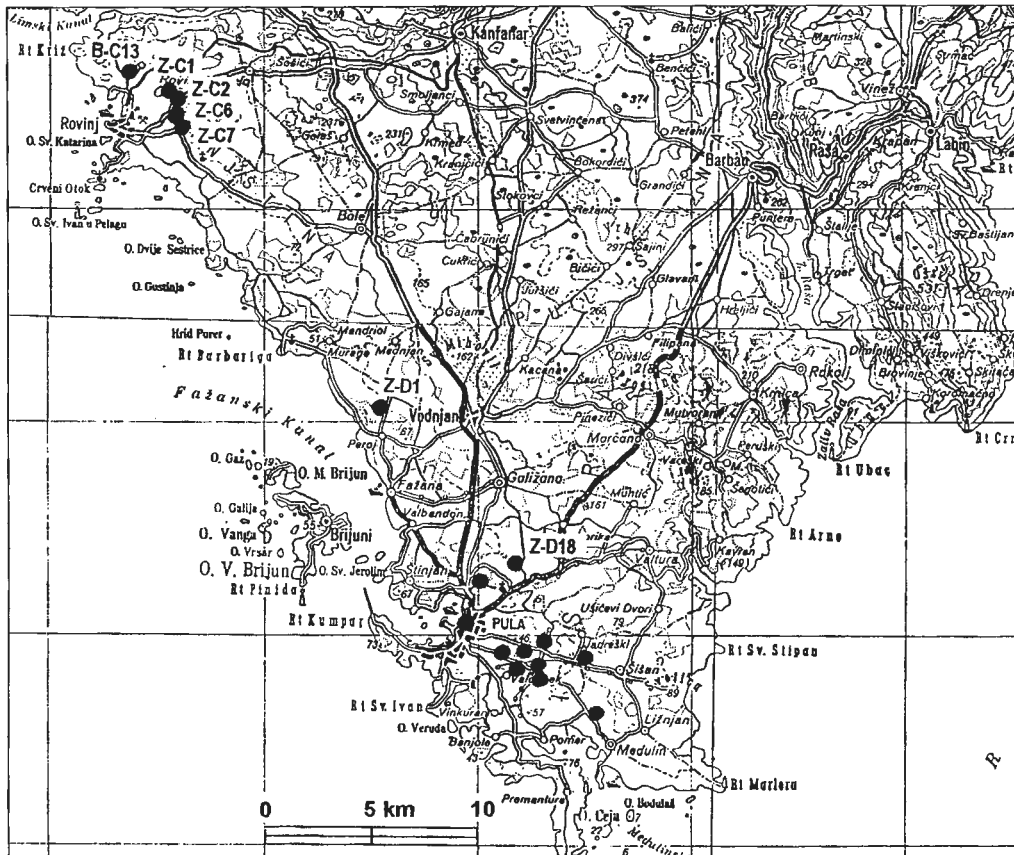
Najznačajnija hidrogeološka pojava u priobalnom dijelu niske karbonatne platforme je pojava plitkoga krškog vodonosnika koji je zahvaćen brojnim zdencima u području između Umaga i Pule. Podzemne vode ovoga vodonosnika koriste se u organiziranoj vodoopskrbi već preko sto godina, tj. od doba Austrougarske kada je razvitek Pule, ali i nekih drugih priobalnih naselja, pre-rastao stara rješenja izvorišta vodoopskrbe (STACHE, 1889). Ipak, još uvijek vladaju brojne nedoumice o ponašanju vodonosnog sustava. Oslanjajući se na neprijeporne podatke o položaju i konstrukciji zdenaca, njihovoj uporabi, te na posebno vrijedna mjerenja razina podzemnih voda koja se provode zadnjih pet godina, mogu se izdvojiti slijedeće osnovne značajke vodonosnika:

- prostorna raširenost vodonosnika,

- raspršenost pojava jama, špilja i kaverni značajnih dimenzija, te
- zadržavanje vode u vodonosniku i održavanje razine podzemne vode u prirodnim uvjetima znatno iznad razine mora unatoč snažno izraženoj okršenošći naslaga.

Iz ovih zapažanja i vodeći računa o geološkoj građi mogu se razotkriti osnovna svojstva vodonosnika i način njegovoga napajanja, no ovom prigodom pozornost je posvećena samo onim značajkama koje vode interpretaciji uvjeta prodora morske vode u vodonosnik.

Vodonosnik se proteže gotovo od Savudrije na sjeverozapadu do Raškog zaljeva na jugoistoku. Širina ovog pojasa nije istražena, no vodonosnik je ustvrđen bušotinama koje se nalaze do 8 km duboko u kopnu od morske obale. Dakle radi se o velikoj površini na kojoj su mogući značajni iznosi napajanja podzemnih voda čak i uz relativno male koeficijente poniranja oborina u podzemlje.



Sl. 1 Lokacije opažakih zdenaca.

Fig. 1 Locations of observation wells.

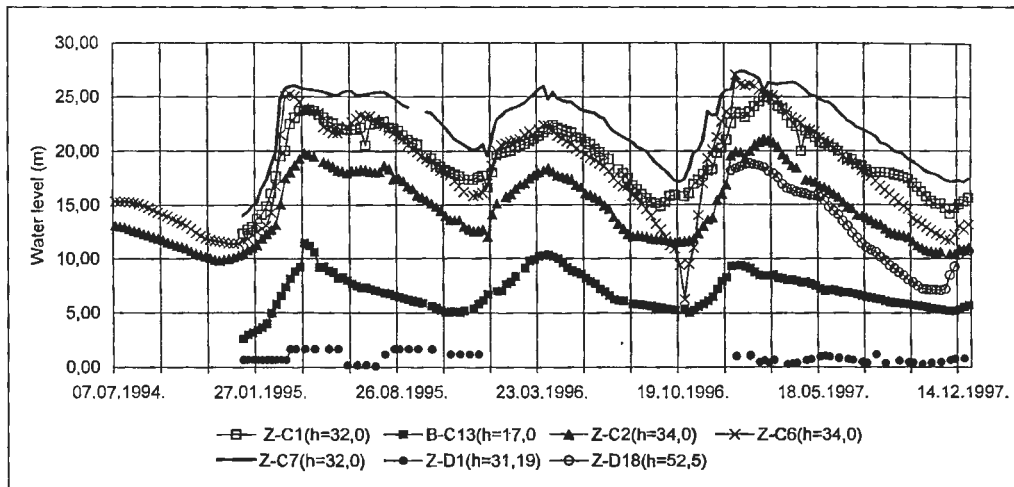
2. HIDROGEOLOŠKI UVJETI

Cijelo područje izgrađeno je od karbonatnih naslaga. Struktura naslaga izražena je vrlo blagom antiklinalom u tjemenu koje su između Poreča i Rovinja gornjorske naslage na koje naliježu kredne naslage. Pretežito su zastupljeni masivni i debelo slojeviti vapnenci, a u manjoj mjeri tanko slojeviti i pločasti vapnenci. Unutar njih pojavljuju se i zone s jače izraženom laporovitom ili dolomitnom komponentom, te tanko pločastim do škriljavim vapnencima s proslojcima lapora. Područje je velikim dijelom prekriveno crvenicom koja mjestimice ima značajnu debljinu. Zapažaju se brojni krški oblici, ponikve i krške jame raznoolikih dimenzija. Njihova se pojava umnožava idući dublje u kopno. Zanimljivo je da su i najstariji poznati zdenci kopani ili u jamama i ponorima ili pokraj njih. Jamačno su iskustva o postojanju vode u njima bila važna vodilja u prvim sustavnim naporima na korištenju ovog vodonosnika u vodoopskrbi. Prvi pulsni zdenac Tivoli je 1897. god. uključen u vodoopskrbni sustav, 1903. god. uključen je prvi zdenac u Poreču, 1909. su uključena dva zdenca u Rovinju, a 1911. god. je pronađena podzemna voda u Petroviji kraj Umaga. Kasnije se sve više širila izradba zdenaca ne samo za organiziranu vodoopskrbu, nego i za individualne potrebe. Zdenci su, kako to SARNAVKA (1952) spominje "raštrkani u širokom području s relativno malom udaljenošću jednog od drugoga. Dubina im varira prema nadmorskoj visini terena, a u prosjeku se kreće oko 30 m, uglavnom dosežu do morske ra-

zine. Bez osobite pravilnosti, neki su odmah dosegli do slatke vode, dok su drugi u početku bez vode, postali pozitivni tek nakon kopanja prostranih rovova i miniranjem na dnu, što je opće poznata činjenica za mjesne zdenčare". Na povezanost vodonosnika s intenzivnim okršavanjem upućuju podaci da se na dnu pulskih zdenaca Jadrski i Šišan nalaze prirodne galerije duge do 70 m u kojima su vidljivi lokaliteti istjecanja podzemnih voda. Zadnjih nekoliko desetaka godina izveden je veliki broj bušenih zdenaca, tako da se prema "Katastru bušenih zdenaca južne Istre" samo u području između Limskog Kanala i Raškog zaljeva nalazi čak 1137 bušenih zdenaca (RUBINIĆ, 1999). Dakle, brojni su podaci koji upućuju na zaključak o relativnom hidrauličkom kontinuitetu heterogenoga krškog vodonosnika.

Zadržavanje vode u vodonosniku i održavanje razine podzemne vode u prirodnim uvjetima znatno iznad razine mora unatoč snažno izraženoj okršenosti naslaga postavlja brojna pitanja od kojih su glavna identifikacija načina napajanja podzemnih voda, veličina propusnosti naslaga i njena distribucija u prostoru, te odnos slatke i slane vode u priobalnom pojasu. Pri traženju odgovora o zadržavanju i općenito ponašanju podzemnih voda vrlo su dragocjeni podaci o opažanju razina podzemnih voda koja od 1994. godine provodi Geo-5 za potrebe Hrvatskih voda (sl. 1 i 2).

Opažacke bušotine i zdenci smješteni su u pojasu od neposrednog zaobalja do oko 7 km udaljenosti od obalne crte. Dijagrami kolebanja podzemnih voda (sl. 2) izražavaju nekoliko osnovnih obilježja. Kao prvo



Sl. 2 Kolebanje razine podzemne vode u opažakim bušotinama i zdcencima.

Fig. 2 Water-level fluctuations in observation wells.

snažno je izraženo sezonsko kolebanje razine podzemne vode s jasno razvidnim hidrološkim godinama raznolikoga trajanja. Minimalne razine pojavljivale su se sredinom jeseni ili čak do početka zime. Glavno napajanje podzemnih voda u pravilu nastupa naglo s prvim intenzivnim padalinama sredinom jeseni i tijekom zime. Visoki vodostaji se relativno dugo održavaju, a recesijska krivulja izražava relativno postupna praznjenja podzemnih voda. U recesijskom razdoblju ne zapažaju se tragovi većih pljusкова. Steče se dojam da su u prvom planu pojave nakupljanja podzemnih voda u vodonosniku koji prema relativno blagoj recesijskoj krivulji jamačno ima značajan akumulacijski kapacitet.

Drugo važno obilježje je raznolikost razina podzemnih voda za koje se može reći da su općenito sve više s udaljavanjem od morske obale. Najniže razine su svakako u blizini morske obale, a u unutarnjem dijelu su u rasponu od oko 10 do 45 m n.m. Unatoč ovom osnovnom pravilu zapažaju se i velike lokalne razlike. Tako

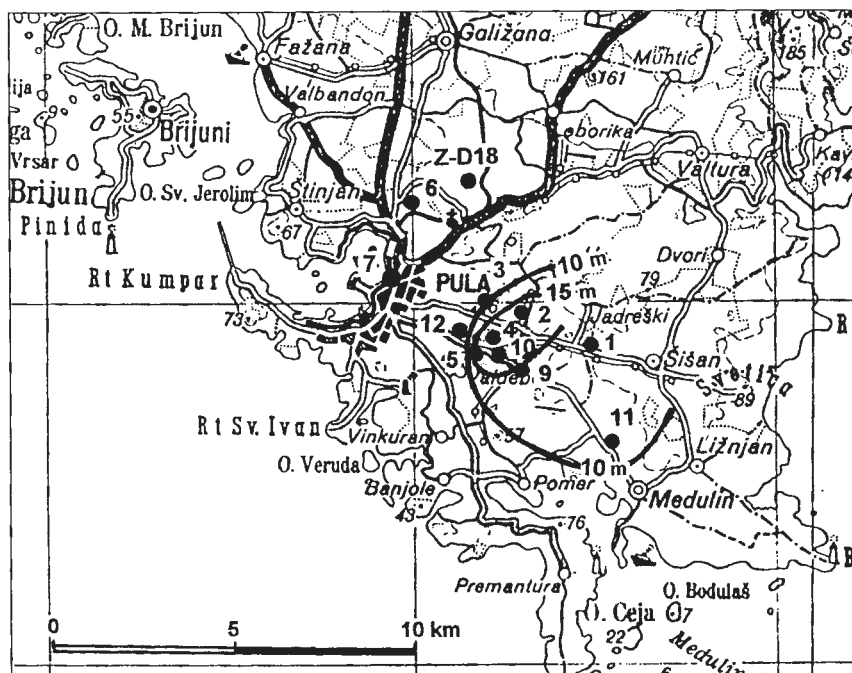
se maksimalne opažene razine podzemne vode u pulskim zdcencima na relativno uskom području kreću u rasponu od 6,3 do 19,53 m n.m. (tablica 1, sl. 3). Zanimljivo je spomenuti da je u zimi 1992/93. godine uočena pojava izuzetno nagloga porasta razine vode u zdcencima, posebice zdenca Škatari na kojemu se pojavilo i preljevanje vode.

Visina maksimalnih razina, i njeni odnosi između pojedinih zdenaca, upućuju na pretpostavku da se podzemne vode napajaju poniranjem padalina prvenstveno kroz krške jame i pukotine neposrednoga i šireg okružja. Tome u prilog govore i rezultati analize antropogenog utjecaja na kakvoću podzemnih voda (VLAHOVIĆ, 1999). Raspoloživi podaci upućuju na zaključak o izostajanju snažnih privilegiranih regionalnih tokova, odnosno slaboj povezanosti pojedinih kaverni, koji jamačno predstavljaju snažnu, ali lokalnu drenažu podzemnih voda. Hidraulički kontinuitet se vjerojatno ostvaruje preko prslina i pukotina u kojima je akumulirana

N		H_0 (m)	Q (l/s)	h_{min} (m)	h_{max} (m)	SAL (mg/l NaCl)
1	Šišan	49,41	25	-2,91	13,81	59 - 95
2	Jadreški	50,80	32	-0,70	16,76	52 - 118
3	Valdragon 3	23,37	8	-1,53	8,19	35 - 87
3	Valdragon 4	24,80	10	-2,00	8,49	43 - 85
3	Valdragon 5	28,97	5	-2,18	13,97	30 - 83
4	Škatari	23,40	3	-1,32	19,53	37 - 75
5	Fojbon	25,90	6	-2,20	15,40	27-74
6	Tivoli	18,84	34	0,60	4,44	30-1740
7	Karolina		35	0,30	1,67	> 200
8	Peroj	31,19	1	-0,81	8,19	18 - >200
9	Campanož	35,64	16	-1,70 (?)	9,09	35 - 105
10	Lokvere	23,70	4	-4,50	23,50	40 - 73
11	Ševe	21,58	8	-5,45	13,00	58 - 240
12	Rizzi	9,47	9	-4,58	6,30	35 - 65

Tablica 1 Karakteristični parametri pulskih zdenaca. Oznake: N) broj zdenca; H_0) razina terena; Q) godišnji prosjek izdašnosti zdenca; h_{min}) minimalna razina vode u zdcencu; h_{max}) maksimalna zabilježena razina vode u zdcencu; SAL) raspon saliniteta vode.

Table 1 Characteristic parameters of Pola's wells. Legend: N) well number; H_0) elevation of field surface; Q) annual average of well discharge; h_{min}) minimum water level in pumping well; h_{max}) maximum water level; SAL) range of water salinity.



Sl. 3 Maksimalne opažene razine podzemne vode u pulskim zdencima.

Fig. 3 Noted maximal water-level in the Pola's wells.

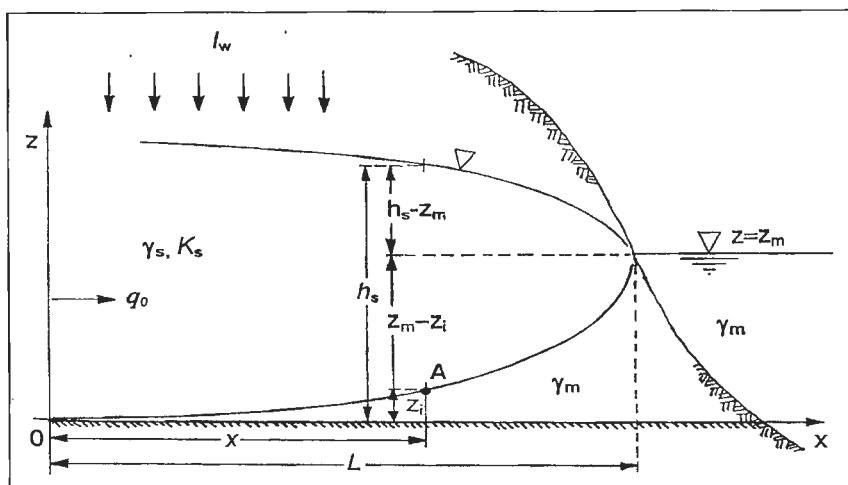
značajna količina podzemnih voda koje se postupno dreniraju prema moru ili se koncentrirano zahvaćaju eksploatacijskim zdencima. Hidraulički kontinuitet vodonosne sredine je dakle uvjetovan raznolikošću šupljina i rubnim uvjetima, pa se na razini regionalnog mjerila može govoriti o osrednjenim parametrima vodonosnika koji u nekom prostoru održavaju stabilan statistički prosjek, odnosno manifestiraju ujednačen ukupni učinak raznovrsnih šupljina u vodonosnoj sredini. Slični uvjeti pri kojima se osrednjene vrijednosti parametara mogu dovoditi do predodžbe karbonatnih vodonosnika homogenom sredinom zapaženi su i u nekim drugim područjima (MOTYKA, 1998).

Zanimljivo je da nema podataka koji bi govorili u dubokom prodoru morske vode u kopneno podzemlje unatoč relativno dubokoj okršenošći naslaga. Odnosi nastali pri nazočnoj raspodjeli propusnosti naslaga i napajanja podzemnih voda sprječavaju prodor morske vode. Naime, nezaslanjivanje pulskih zdenaca unatoč snižavanja radne razine podzemne vode u njima na preko 4 m ispod razine mora razvidno potvrđuje izostanak prodora mora u ovome području. Za odnos slatkih i slanah voda zanimljivi su podaci istraživačkog bušenja do 250 m dubine na otoku Veliki Brijun koja su provedena 1951. godine (SARNAVKA, 1952). Četiri bušotine smještene u krug s maksimalnom međusobnom udaljenosti do 1000 m nabušile su tri vodonosna sloja na dubinama oko 50, 160 i 250 m. Sve bušotine su nakon nekoliko metara debljine crvenice cijelom dubinom u krednim karbonatima, vjerojatno vapnencima s proslojcima dolomita. U svim vodonosnicima je razina vode iznad razine mora. Salinitet podzemne vode kretao se od 120 do 280 mg Cl/l i u pravilu je niži u dubljim slojevima. Izuzetak je četvrta bušotina koja je nabušila kavernu na dubini od 44 do 68 m i u kojoj se pojavio pro-

dor morske vode prilikom pokusnog crpljenja. U svim bušotinama crpljenjem je ostvarena relativno mala količina vode uz veliko sniženje razine podzemne vode, što ukazuje na malu propusnost pukotinskoga sustava. Pojava većeg broja vodonosnika tumači se ulošcima dolomitnih proslojaka, no male razlike u razini podzemne vode upućuju na pretpostavku o hidraulički povezanom heterogenom sustavu. Horizontalna hidraulička vodljivost je jamačno puno veća od vertikalne, pa je prodor mora reduciran dotjecanjem slatke vode i održavanjem relativno visoke razine podzemne vode.

3. UVJETI PRODORA MORSKE VODE U HIDRODINAMIČKIM UVJETIMA

Pri shematizaciji uvjeta prodora morske vode polazi se od činjenice da u većini puskih zdenaca ne dolazi do zaslanjenja unatoč sniženju razine znatno ispod razine mora, ali da u nekim zdencima (Tivoli, Peroj) najbližim morskoj obali pri niskim vodostajima i intenzivnom crpljenju zaslanjenje postaje značajno. To, kao i podaci testiranja na otoku V. Brijun, ukazuje da je na određenoj dubini i u regionalnom mjerilu reducirana propusnost naslaga, pa se može pretpostaviti hipotetska podina vodonosnika preko koje se proteže klin morske vode u nekim uvjetima. Krovina vodonosnika u regionalnom smislu ostaje otvorena, što potvrđuje kako napajanje infiltracijom padalina tako i mjestimične pojave zagađenja od lokalnih površinskih djelatnosti. U takvim se uvjetima dosezanje prodora klina morske vode preko podine otvorenog vodonosnika može ilustrirati promatrajući tok jedinične širine shematski prikazan na sl. 4. Ako je oštra granica slatke i slane vode (γ_m), a u pojasu slane vode nema toka, te uz pretpostavku horizontalnog



Sl. 4 Shematski prikaz odnosa slatke i slane vode u otvorenom vodonosniku.

Fig. 4 Schematic sketch of salt/fresh water relation in an unconfined aquifer.

toka slatke vode u vodonosniku, tada se za neku točku A na dodiru slatka/slana voda može uzeti da je tlak $\gamma_s(h_s - z_i)$ s gornje strane dodira slatka/slana voda uravnotežen s tlakom $\gamma_m(z_m - z_i)$ s donje strane, pa se za visinu razine vodne plohe može pisati:

$$h_s \approx \frac{\gamma_m}{\gamma_s} (z_m - z_i) + z_s \quad (1)$$

odnosno

$$h_s - z_m = \frac{\Delta\gamma}{\gamma_s} (z_m - z_i) \quad (2)$$

Kako je $z_m = \text{konst.}$ to je odnos gradijenta gornje vodne plohe i donje dodirne plohe:

$$\frac{dh_s}{dx} = -\frac{\Delta\gamma}{\gamma_s} \frac{dz_i}{dx} \quad (3)$$

Ako je q_0 veličina ulaznoga dotoka, a I_w iznos ujednačene infiltracije padalina (i ostalog procjeđivanja na vodnu plohu), tada se jednadžba kontinuiteta stacionarnoga toka slatke vode za vodonosnik prosječne hidrauličke vodljivosti K_s može pisati u obliku

$$q_0 + I_w x = -K_s \frac{dh_s}{dx} (h_s - z_i) \quad (4)$$

odnosno uvrštavajući (1) i (2):

$$q_0 + I_w x = -K_s \frac{\Delta\gamma}{\gamma_s} \frac{\gamma_m}{\gamma_s} \frac{dz_i}{dx} (z_m - z_i) \quad (5)$$

a njenom integracijom od $x=0, z_i=0$ do $x=L, z_i=z_m$ dobije se odnos:

$$q_0 L + \frac{I_w L^2}{2} = K_s \frac{\Delta\gamma \gamma_m}{2 \gamma_s^2} z_m^2 \quad (6)$$

Kada je $I_w=0$:

$$L = \frac{\Delta\gamma \gamma_m K_s z_m^2}{2 \gamma_s^2 q_0} \quad (7)$$

Proizlazi dakle da je pri danim karakteristikama vodonosnika potrebno održavati određeno otjecanje slatke vode u more kojim se ograničava prodor slane vode u zaobalje. Pri crpljenju zdenaca, između zdanca i mora nastaje razvođe koje režimom crpljenja treba održavati izvan dužine L.

4. ZAKLJUČAK

Formiranje krškog vodonosnika južne i jugozapadne Istre uvjetovano je rubnim uvjetima i pojavom raštrkanih kaverni koje su međusobno povezane pukotinama i prslinama. U dostatno velikom mjerilu ovakva vodonosna sredina može se promatrati kao porozni sustav u kojemu se usporava gibanje podzemnih voda i održava saturiranost vodonosnika i u dugim sušnim razdobljima. U takvim uvjetima izvodivo je crpljenje podzemnih voda uz snižavanje razine podzemne vode u zdencima i nekoliko metara ispod razine mora. Pri tome, dosezanje prodora morske vode ovisi o odnosu specifičnog otjecanja i regionalne hidrauličke vodljivosti vodonosnika. To znači da je pri eksploataciji podzemnih voda nužno održavati i otjecanje voda u more radi održavanja ograničenog prodora morske vode u vodonosnik.

5. LITERATURA

- MOTYKA, J. (1998): A conceptual model of hydraulic networks in carbonate rocks, illustrated by examples from Poland.- Hydrogeology Journal, 6/4, 469-482.
- RUBINIĆ, J. (1999): Idejno rješenje razvitka izvorišta regionalnog vodoopskrbnog sustava Istre. Hidrologija.- Npublicirano.
- SARNAVKA, R. (1952): Otvaranje vodnih horizonata na Brijunskim otocima dubokim bušenjem i ispitivanje njihovoga kapaciteta kašikovanjem.- Geol. vjesnik, 2-4, 151-167.

- STACHE, G. (1889): Die Wasserversorgung von Pola.- Jahr. geol Reichsanst., 39, 83-180, Wien.
- VLAHOVIĆ, T. (1999): Utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri.- Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.



Vodonosnici kvartarnih naslaga ilovske depresije

Aquifers of the Quaternary Deposits in the Ilova River Depression

Kosta URUMOVIĆ, Branko HLEVNJAK & Željko DUIĆ

Ključne riječi: izdašnost zdenca, hidraulička korelacija, regionalni hidrogeološki odnosi, kakvoća vode.

Key words: Well discharge, Hydraulic correlation, Regional hydrogeologic relations, Water quality.

Sažetak

U članku su prikazani osnovni podaci o lokalnim hidrogeološkim istraživanjima pojedinih crpilišta na temelju kojih je moguća hidraulička korelacija zahvaćenih vodonosnika od područja napajanja do područja pražnjenja i interpretacija regionalnih hidrogeoloških značajki područja. Kvartarni vodonosnici razvijeni su u područjima svih istraživanih terasastih područja što ističe njihovu regionalnu pojavnost. Terasasta područja su također i područja napajanja podzemnih voda koje se dreniraju i procjeduju na površinu u dolinama i nižim riječnim terasama, te predstavljaju osnovno napajanje tekućica u sušnom razdoblju. Prema raspoloživim podacima može se zaključiti da iznosi napajanja podzemnih voda višestruko premašuju sadašnje količine crpljenja na analiziranim crpilištima.

Abstract

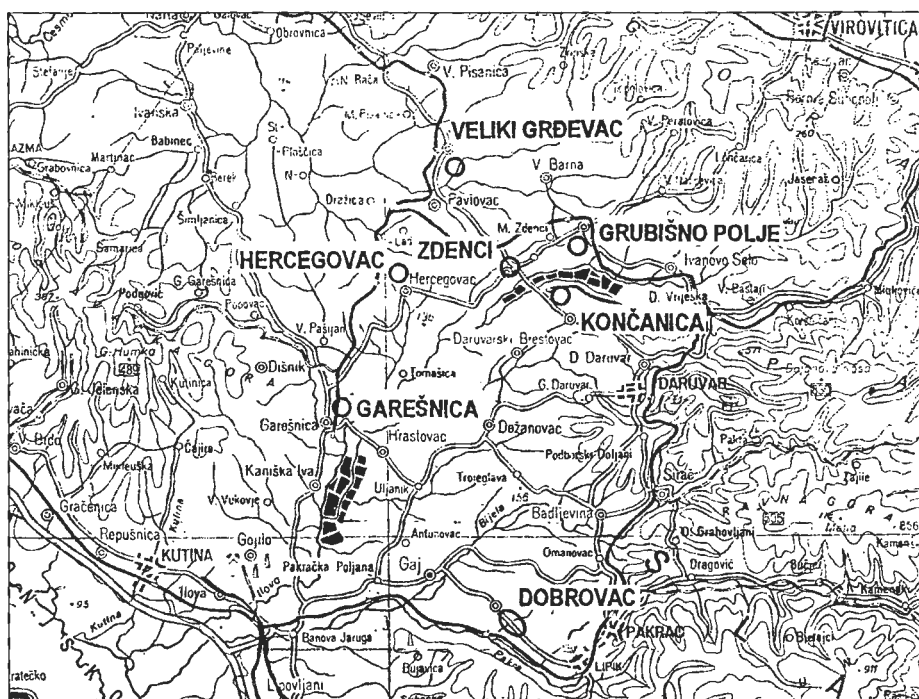
Basic data on the local hydrogeological explorations of a number of well-fields are given in this paper. These data enable the hydraulic correlation of the studied aquifers from the recharge area to the area of discharge, together with interpretation of the regional hydrogeologic characteristics. Quaternary aquifers are developed in all the explored terrace areas, which emphasises their regional occurrence. The groundwater recharge takes place in the terrace areas, while these waters are drained and leak to the surface in the valleys and less elevated terraces which makes the principal recharge of the stream waters in the dry season. In accordance to the available data, a conclusion can be drawn that the groundwater recharge exceeds the present pumping rates of the analysed well-fields by several times.

1. UVOD

Područje ilovske depresije geotektonski je smješteno između srednjoslavnskog gorja Papuka i Psunja na zapadu, Moslovačkoga gorja na jugoistoku, te bilogorske strukture na sjeveru. U hidrografskom smislu središnjim dijelom prolazi rijeka Ilova s brojnim pritokama, u jugozapadnom dijelu je Pakra koja se u donjem dijelu toka toliko približava Ilovi da predstavljaju dva bliska korita koji paralelno teku sve do Crnac polja u savskoj dolini. Zapadni dio hidrografski pripada rijeci Čazmi. U površinskoj morfologiji ove geološke depresije prevladavaju terasaste zaravni koje se mjestimice izdižu u brežuljke, a izbrazdane su uskim dolinama ovih glavnih rijeka i njihovih pritoka.

Površinu terena prekrivaju isključivo kvartarne naslage predstavljene kopnenim i močvarnim praporima koji prekrivaju starije naslage, te uski pojasevi aluvijalnih nanosa pojedinih tekućica. To je glavni razlog što u ovim prostorima nije bilo puno geoloških istraživanja. Postoji tek prikaz područja na OGK list Daruvar (JA-

MIČIĆ, 1989; JAMIČIĆ et al., 1989). Dubinsku gradu je detaljnije istraživao BLAŠKOVIĆ (1982), koristeći pri tome kako podatke o geološkoj građi rubnih gorja, tako i brojna istraživanja dubinske građe koja su se provodila u okviru istraživanja nafte i plina, a i raspoložive podatke o bušenju za potrebe vodoopskrbe. On procjenjuje da bi u središnjim dijelovima depresije debljina kvartarnih naslaga mogla iznositi od 40 do 130 m, te naglašava pojave slojeva i leća pijeska i šljunka, posebice u nižim dijelovima kvartarnih naslaga. U tim gruboklastičnim naslagama formirani su vodonosnici koji su zahvaćeni zdencima za potrebe vodoopskrbe Garešnice, Hercegovca, Velikih i Malih Zdenaca, Grubišnoga Polja, Lipika, izgrađeni su i zdenci za vodoopskrbu Velikoga Grdevca, te bi se trebali uskoro uključiti u lokalni vodoopskrbni sustav koji je u izgradnji, a istraživano je i potencijalno crpilište u području Končanica-Ivanovo Selo. U ovom su radu prikazani oni od raspoloživih hidrogeoloških podataka o crpilištima na temelju kojih je moguća hidraulička korelacija zahvaćenih vodonosnika od područja napajanja do područja praž-



Sl. 1 Položaj crpilišta.

Fig. 1 Situation of the wellfield.

njenja i interpretacija regionalnih hidrogeoloških značajki područja.

2. OSNOVNA SVOJSTVA VODONOSNIKA NA POSTOJEĆIM CRPILIŠTIMA

Istraživanja pojedinih crpilišta provedena su s različitim opsegom radova, a za neke od provedenih ostalo je malo očuvanih tragova. Neki od provedenih radova odnosili su se samo na izvedbu zdenaca različite uspješnosti, a na ponekim od crpilišta provedena su opsežna istraživanja u više navrata, no rezultati istraživanja nisu objavljeni. U izvedbi istraživačkih bušotina i zdenaca sudjelovao je veliki broj tvrtki, najviše Geotehnika, IGH, Geofizika i Drill co. iz Zagreba, te Vodovod iz Osijeka. Ovdje će se prvo iznijeti oni od osnovnih hidrogeoloških podataka o zahvaćenim vodonosnicima koji omogućuju interpretaciju regionalnih hidrogeoloških odnosa.

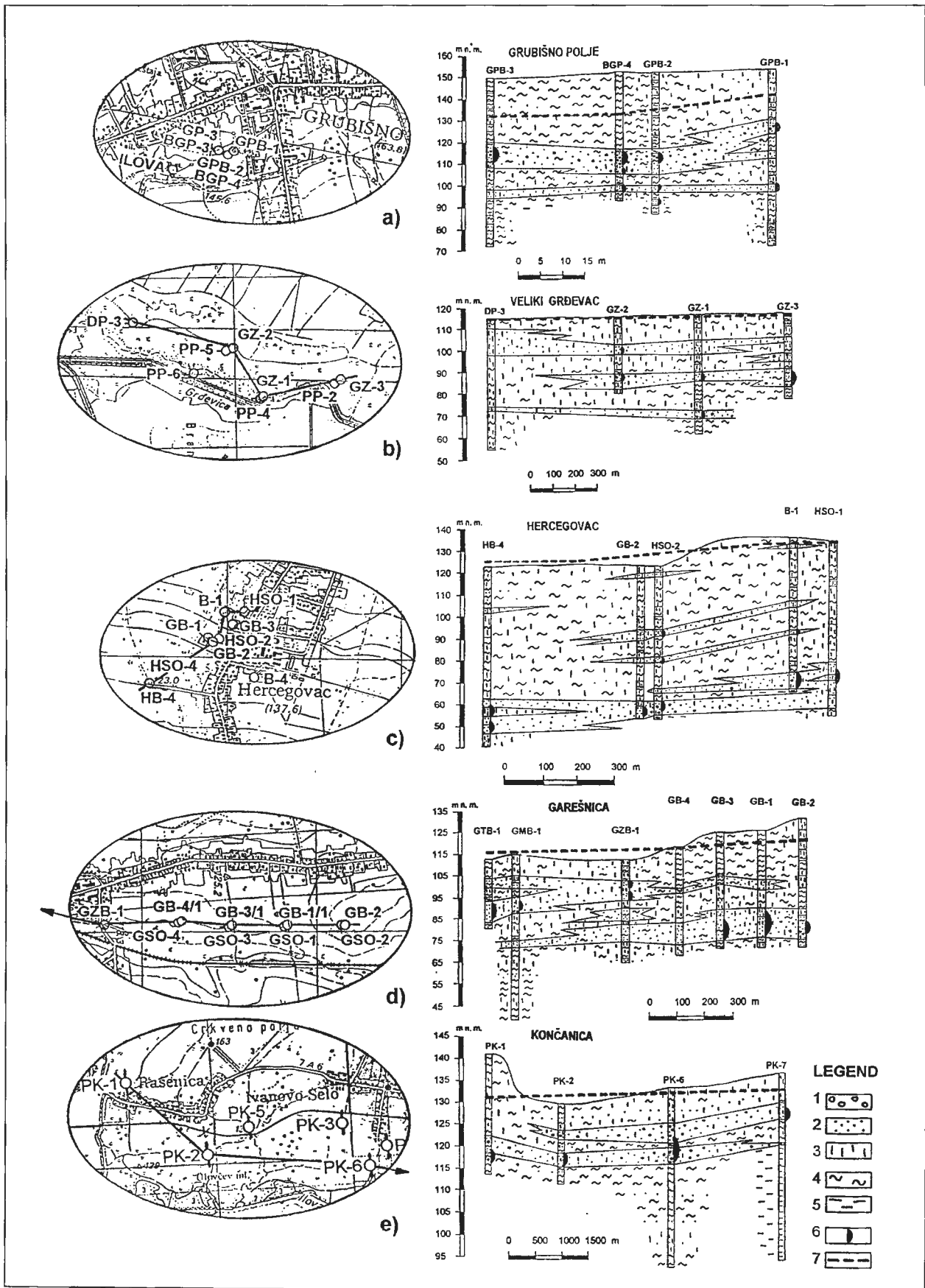
Crpilište Grubišno Polje

Crpilište se nalazi u južnom dijelu naselja, između magistralne ceste i gornjeg dijela potocića Šovarnica. Teren je zaravnjen i u regionalnom smislu morfološki odgovara gornjoj terasi iznad doline Ilove (sl. 1 i 2a). Teren je blago nagnut s kotama nešto preko 150 m n.m., što je preko 20 m iznad doline Ilove. Na crpilištu je izvedena strukturna bušotina GP-3 i četiri zdenca: GPB-1, GPB-2, BGP-3 i BGP-4 (sl. 2a). Pojavljuju se dva vodonosna sloja između 25 i 61 m dubine. Izgrađeni su od sitno do srednjozrnatoga pijeska, u kojima se ponegdje pojavljuje i sitni šljunak. Razina podzemne vode u prirodnim uvjetima bila je na dubini od oko 15 m, odnosno na oko 135 m n.m. Prvi zdenac je izbušen

1966. godine, a ostali zdenca izvedeni su do 1984. godine. Danas se koriste tri zdenca. Zdencima je zahvaćen vodonosnik na dubinskom intervalu od 25,4-61 m, koji na lokacijama odnosnih zdenaca ima efektivnu debljinu 11,5-14,5 m. Maksimalna crpna količina pri pokusnom crpljenju iznosila je od 3,3-10 l/s, a ostvarene su specifične izdašnosti od 0,57-1,4 l/s/m. U sustav su uključena 3 zdenca, a procjenjuje se potrošnja od oko 4-5 l/s. Kakvoća podzemne vode nije detaljnije snimana, no prema raspoloživim podacima očekuje se da ima kakvoću pitke vode.

Crpilište Veliki Grđevac

Crpilište se nalazi u dolini potoka Grđevica koji nešto nizvodno prima potoke Barna i Grbavac te formira rijeku Česmu. Relativno široka zamočvarena dolina usječena je u terasaste terene. Zdenca su položena sredinom doline u smjeru sjever-jug, a kote terena su oko 118 m n.m. Izerodirani terasasti predjeli 20-ak metara nadvisuju dolinu. Na crpilištu su izvedene 4 plitke i jedna duboka istraživačko-piezometarska bušotina i 3 pokusno-eksploatacijska zdenca (sl. 2b). Svi su izvedeni 1995/96. god. Registrirana su tri vodonosna sloja između 13 i 48 m dubine. Izgrađeni su od sitno do krupnozrnatoga pijeska koji ponegdje prelaze u šljunke s pijeskom. Razina podzemne vode u prirodnim uvjetima bila je 0,3 m ispod površine u najnižem zdenca (GZ-1) smještenom uz korito potoka, a u ostala dva zdenca (GZ-2 i GZ-3), koji su na nešto višem terenu, razina vode je na 1 do 1,7 m dubine. Kako se ta mjerenja odnose na stanje nakon osvajanja zdenca, to se može očekivati da je u nekim "hidrostatskim" uvjetima razina podzemne vode iznad razine terena i da se održava procjeđivanje podzemne vode na površinu. Zdenca još nisu uključeni



Sl. 2 Položaj zdenaca na crpilištu i litološki profil vodonosnika. Oznake: 1) šljunak; 2) pijesak; 3) prah; 4) glina; 5) lapor; 6) položaj zdenačkoga sita; 7) razina podzemne vode.

Fig. 2 Situation of the wells (left) and lithological cross section of aquifer (right). Legend: 1) gravel; 2) sand; 3) silt; 4) clay; 5) marl; 6) position of well screen; 7) head of groundwater.

u vodoopskrbni sustav. Maksimalna crpna količina pri pokusnom crpljenju iznosila je od 15-20 l/s, a ostvarene su specifične izdašnosti od 1,2-1,6 l/s/m. Za kakvoću podzemne vode karakterističan je niski utrošak KMnO_4 i značajan sadržaj amonijaka, dok je sadržaj željeza i mangana ponekad i u nekim od zdenaca iznad MDK. Vjerojatno će biti potrebna obradba vode.

Crpilište Zdenci

Crpilište se nalazi između naselja Mali i Veliki Zdenci, istočno od magistralne ceste, a s obje strane odvojka za Daruvar. Teren je zaravnjen i u regionalnom smislu morfološki odgovara donjoj terasi iznad doline Ilove. Kote terena su oko 135 m n.m., što je oko 15 m iznad doline Ilove. Na crpilištu su izvedena 3 zdenca od kojih je jedan plitki kopani dubine 18,86 m, a za jedan od bušenih zdenaca nema podataka. Za kopani zdenac nema litoloških podataka no spominje se sloj debljine 5,5 m, mirna razina vode na 14,78 m, a radna razina na 17,56 m dubine pri crpljenju s 6,2 l/s, dakle specifična izdašnost od 2,23 l/s/m. Za bušeni zdenac udaljen oko 100 m od kopanoga navodi se sloj na 21,2 do 31,5 m dubine izgrađen od pijeska koji u donjem dijelu prelazi u šljunak s pijeskom. Mirna razina vode bila je 12,87 m, koja je pri crpljenju s 4,5 l/s opala na 13,94 m, pa je specifična izdašnost iznosila 4,2 l/s/m. U vodoopskrbi se koristi oko 3-4 l/s. Kakvoća podzemne vode nije detaljnije snimana, no prema raspoloživim podacima pretpostavlja se da ima kakvoću pitke vode. Zanimljiv je sadržaj nitrata koji je ispod MDK, ali znatno iznad prirodnog sadržaja.

Crpilište Hercegovac

Crpilište se nalazi u središtu naselja u području tvornice "Franck" i pilane "Garstil" s obje strane magistralne ceste. Područje morfološki pripada donjoj terasi iznad doline Ilove, a izbrazdano je potokom Tomašica i njenim pritokama koje su usječene u terasaste predjele. Izerodirani djelovi su na kotama oko 123 m n.m., a terasa doseže do oko 135 m n.m., što je oko 15 m iznad doline Ilove. U razdoblju od 1974. do 1990. god. izvedene su četiri istraživačko-piezometarske bušotine i tri zdenca. Ustanovljen je jedan heterogeni eksploatabilni vodonosnik na dubini od 60 do 75 m, a u plićim djelovima postoji više proslojaka i leća sitnoga i prašinastoga pijeska koje je teško pratiti u prostornom raširenju (sl. 2c). Jedna strukturna bušotina dubine od 170 m nabušila je i jedan dublji vodonosnik na 157-160 m. Vodonosnik je prema starim zdcencima (GB-1 i GB-2) izvedenim 1976. god. izgrađen od sitnozrnatoga i prašinastoga pijeska, a prema novome zdcencu (GB-4) izbušenom 1990. god. vodonosnik je izgrađen od sitno do krupnozrnatoga pijeska. Razina podzemne vode u prirodnim uvjetima je u svim zdcencima bila iznad razine tla, u starim zdcencima oko +3,0 m, a novom zdcencu +2,5 m. Preljev na oko +0,1 m iznosio je oko 2 l/s. Maksimalna količina pokusnoga crpljenja staroga zdenca iznosila je 6,0 l/s uz specifično sniženje oko 0,7 l/s/m, a novoga

zdenca do 20 l/s uz specifično sniženje od 1,0 do 1,6 l/s/m. U sadašnjem pogonu rabe se dva zdenca, a instalirani kapacitet iznosi 10 l/s. Postoje uređaji za obradbu vode. Za kakvoću podzemne vode značajan je visoki utrošak KMnO_4 , sadržaj amonijaka nije registriran, sadržaj nitrata je vrlo niski, željeza je nešto povišen, a sadržaj mangana nije analiziran.

Crpilište Garešnica

Crpilište se nalazi između naselja i željezničke pruge (sl. 2d), na najnižoj terasi koja odvaja dolinu rijeke Ilove od doline potoka Garešnica. Kote doline su oko 109 m n.m., a terasasti predjeli 20-tak metara nadvisuju dolinu. Zdenci su smješteni na desnoj strani potočića Sovica dolina kojega je udubljena u osnovnoj terasi. Najjužniji zdenac GZB-1 je uz rub potočića na koti oko 114 m n.m., a ostali se pružaju točno prema sjeveru postupno se penjući prema vršnim dijelovima terase, pa je najsjevemiji zdenac GB-2 na koti oko 132 m n.m. Pojavljuju se dva značajnija vodonosnika (sl. 2d) između 10 i 60 m dubine. Izgrađeni su od sitno do srednjozrnatoga pijeska, u kojima se ponegdje u donjem dijelu pojavljuje nešto sitnoga šljunka. Postoji i veći broj tankih leća pijeska ograničenoga pružanja. Razina podzemne vode u prirodnim uvjetima bila je iznad 115 m n.m., tj. nešto iznad površine terena u dolini potočića Sovica, a znatno iznad površine terena u dolini Ilove i Garešnice. Prvi zdenac je izbušen 1973. god., a kasnije je izveden veći broj zdenaca i istraživačkih bušotina. Sada se u vodoopskrbi koriste tri zdenca, GB-1, GB-3 i GB-4. Sva tri zdenca zahvaćaju vodonosnik na dubinskom intervalu od 35-52 m, koji je na lokaciji odnosnih zdenaca debljine od 8 do 14 m, a izgrađen je od pijeska i nešto šljunka. Maksimalna crpna količina pri pokusnom crpljenju iznosila je od 10-16 l/s, a ostvarene su specifične izdašnosti od 0,86-2,6 l/s/m. U zdcencima su instalirane crpke ukupna izdašnost kojih se kreće od 14-18 l/s, a maksimalno se crpi ukupno 14 l/s. Za kakvoću podzemne vode problematičan je povišeni utrošak KMnO_4 , te sadržaj amonijaka, dok je sadržaj željeza i mangana ponekad u nekim od zdenaca iznad MDK. Postoje i rabe se uređaji za obradbu vode.

Potencijalno crpilište Končanica

Istraživana su dva lokaliteta. Jedno je područje doline Ilove nizvodno od Ivanova Sela pa do ribnjaka i desna najniža ilovska terasa. Kote ilovske doline su oko 130 m n.m., a terasa za 15-tak metara nadvišuje dolinu. Vodonosnik se sastoji od dvaju slojeva srednjo i krupnozrnastog pijeska koji ponegdje prelazi u šljunak, a sadrži i nešto sitnijih čestica (sl. 2e). Na bušotini u središtu doline voda se preljeva iz bušotine s količinom oko 1,2 l/s, a razina podzemne vode oko 2-3 m nadvišuje razinu terena. Na ovoj lokaciji još nije izveden pokusno-eksploatacijski zdenac. Druga lokacije je sjeverno od Končanice u dolini potočića koji je usječen u visoku terasu s južne strane doline Ilove (ribnjaka). Tijekom 1997. god. izvedena je jedna istraživačko-piezo-

Crpilište	Razine (m n.m.)		Specifična izdašnost zdenaca $q = Q/s$ (l/s/m)
	h_p , obližnje doline	h_v , podzemne vode	
Končanica	130	133	0,93
Grubišno Polje	125	135	0,57 - 2,17
Veliki Grđevac	117	118	1,19 - 1,63
Zdenci	122	123	4,2
Hercegovac	117	125	0,7 - 1,63
Garešnica	108	115	0,67 - 2,6
Dobrovac	131	141	0,7-1.1

Tablica 1 Razine podzemne vode (h_v) i specifične izdašnosti zdenaca (q).Table 1 Head of groundwater (h_v) and specific discharge of the wells (q).

metarska bušotina dubine 78 m i pokusno-eksploatacijski zdenac dubine 30,5 m. Kota terena je na oko 130 m n.m. Nabušena su dva vodonosna sloja, na 16,7-19,3 m dubine je srednjo do krupnozrnati pijesak, a na 24,5-28,3 m dubine je krupni pijesak i sitni šljunak. Maksimalna izdašnost pri pokusnom crpljenju iznosila je 16,1 l/s, a dogotrajnim crpljenjem ostvarena je specifična izdašnost od 0,93 l/s/m. Zanimljivo je spomenuti da je na ovom pokusnom polju interpretacijom pokusnog crpljenja procijenjeno da je visoka lokalna transmisivnost zahvaćenog šljunčanog dijela vodonosnika oko 3 puta veća od referentne regionalne transmisivnosti. Za kakvoću podzemne vode obaju lokaliteta karakterističan je niski utrošak $KMnO_4$, te sadržaj amonijaka i željeza, dok je sadržaj mangana vjerojatno iznad MDK. Načinjeni zdenac još nije uključen u vodoopskrbu.

Crpilište Dobrovac

Ovo crpilište pripada slijevu rijeke Pakre, a nalazi se u naselju Dobrovac kod Lipika. Smješteno je na blagoj padini kojom se najniža terasa spušta prema dolini Pakre. Crpilište je izgrađeno 1992. god., kada je načinjena jedna istraživačko-piezometarska bušotina i jedan pokusno-eksploatacijski zdenac (Z-1), koji je odmah uključen u vodoopskrbni sustav radi obnove Lipika u uvjetima Domovinskog rata. Kasnije je na području terase načinjeno još 11 strukturnih bušotina i drugi zdenac (Z-2). Vodonosnik je izgrađen od pijeska i šljunka na dubinskom intervalu 8,2-12,3 m (Z-1) odnosno 7,1-8,8 m (Z-2). Mjerna razina podzemne vode na Z-1 bila je neznatno iznad razine terena (141 m n.m.), a na Z-2 na 3.1 m dubine (133 m n.m.), zbog utjecaja obližnje površinske drenaže. U krovini vodonosnika dolaze prašinasiti pijesak i zaglinjeni prah kroz koje se voda procjeđivala i zamočarivala blago nagnuti teren oko zdenca Z-1. Maksimalna izdašnost pokusnoga crpljenja iznosila je 7,1 l/s (Z-1) odnosno 3,6 l/s (Z-2), a specifična izdašnost 0,6-1,0 l/s/m (Z-1) odnosno 0,7-1,1 l/s/m (Z-2). Za kakvoću podzemne vode karakterističan je niski utrošak $KMnO_4$ i niski sadržaj amonijaka, dok je sadržaj željeza niži, a mangana ponekad i u nekim od bušotina iznad MDK.

3. RASPRAVA

Raspoloživi podaci o parcijalnim istraživačkim i vodozahvatnim radovima omogućuju raspravu koja vodi interpretaciji regionalnih hidrogeoloških uvjeta, iako u ovom području nije bilo sustavnih regionalnih istraživanja. U prvom redu je zanimljivo rašireno pojavljivanje leća slojeva grubo klastičnih materijala od prašinasitoga i sitnozrnatoga pijeska do šljunka unutar kvartarnih naslaga koje su pretežito izgrađene od gline i praha. Lokacije postojećih crpilišta uvjetovane su lokalnim potrebama vodoopskrbe, a ističe se dobra uspješnost u otkrivanju eksploataibilnih vodonosnika i stječe se dojam da su neuspješni zdenci više posljedice tehnologije njihove izvedbe nego hidrogeoloških prilika. Protezanje vodonosnika je nepravilno, pa je ponekad otežana i lokalna korelacija pojedinih slojeva na crpilištu. Zanimljivo je da su vodonosnici otkriveni u područjima dolina pojedinih tekućica, te u svim istraživanim terasastim predjelima. Iako se ne raspolaže s dostatnim podacima za rigoroznu geostatističku analizu, stječe se dojam određenog sustava u općenito nasumičnom protezanju pojedinih vodonosnika što upućuje na analizu njihovoga hidrauličkog kontinuiteta.

Ako se pokuša provesti neka hidraulička korelacija razina podzemnih voda prema raspoloživim podacima o mjerenjima pri izradbi prvih zdenaca na ovome području onda se zapaža da je razina podzemnih voda vodonosnika u prirodnim uvjetima znatno viša od razine terena u obližnjim dolinama (tablica 1). Podzemna voda se drenira upravo prema dolinama glavnih tekućica i na površinu izlazi raspršeno kao što je to slučaj kraj Dobrovca i V. Grdevca ili koncentrirano kakav je primjer zapažen uz korito Lonje kraj Ivanova Sela. Sličan su primjer i jezerca u dolini Česme nizvodno od Grdevice koja se zapažaju na starim zemljovidima. Brojni potoci koji nastaju u dolinama glavnih tekućica, ali i neki na nižim terasama, također se mogu pripisati pojavi procjeđivanja podzemnih voda. Napajanje podzemnih voda vjerojatno se odvija poniranjem padalina poglavito u terasastim predjelima. Hidraulički kontinuitet vodonos-

Parametri	1	2	3	4	5	6	7
Vodljivost (mS/cm)	593-613	735	725-812	601-654	560	857-1020	510
Tvrdoća vode (mg/l CaCO ₃)	310-362	400	144-162	311	192-348	336	294
Utrošak KMnO ₄ (mg/l O ₂)	0,075-0,65	0,82	0,42-1,81	0,71-0,87	2,2-3,075	0,6-6,1	0,32
NH ₄ (mgN/l)	0	0,197	0-1,03	0	0	2,1-3,08	0,07
NO ₂ (mgN/l)	0,001	0	0	0	0	0,012-0,042	0
NO ₃ (mgN/l)	0,23-7,71	0,163	0-1,07	6,98-9,59	0,23	0,07-0,4	< 0,04
Fe (mFe/l)	22	217,8	377-765	22-30	300-810	50-338	190
Mn (mMn/l)		406	5-100			15-20	150

Tablica 2 Kakvoća podzemne vode. Oznake crpilišta: 1) Grubišno Polje; 2) Končanica; 3) Veliki Grđevac; 4) Zdenci; 5) Hercegovac; 6) Garešnica; 7) Dobrovac.

Table 2 Quality of groundwater. Legend: 1) Grubišno Polje; 2) Končanica; 3) Veliki Grđevac; 4) Zdenci; 5) Hercegovac; 6) Garešnica; 7) Dobrovac.

nika duž pojedinih terasa nije isključen, ali je prema raspoloživim podacima teško o tome raspravljati prvenstveno zbog toga što visina razine podzemne vode izgleda prvenstveno raste s udaljenošću od glavnih dolina. S obzirom na potencijalnu površinu područja napajanja mogu se očekivati značajne obnovljive zalihe podzemnih voda, svakako višestruko veće od onih koje se sada koriste na postojećim crpilištima. Ostvarene specifične izdašnosti upućuju na relativno malu transmisivnost prvenstveno zbog malih debljina vodonosnika, pa se uglavnom mogu očekivati eksploatacijske izdašnosti zdenaca oko ili nešto ispod 10 l/s.

Zanimljiva je relativno velika sličnost kakvoće podzemnih voda (tablica 2). Stječe se dojam da su vodonosnici nastajali u vrlo ujednačenim uvjetima koji su bili više oksidativni nego reduktivni. Glede vodopskrbe najpovoljnija je kakvoća podzemnih voda u najvišim predjelima kao što je Grubišno Polje, a najnepovoljnija je u najnižim predjelima kao što je Garešnica.

4. LITERATURA

- BLAŠKOVIĆ, I. (1982): The neogen of the Ilova River depression (northern Croatia).- *Acta geol.*, 12/2, 23-67, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1989): Osnovna geološka karta 1:100 000. List Daruvar L33-95.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1975-1988), Sav. Geol. Zavod Beograd.
- JAMIČIĆ, D., VRAGOVIĆ, M. & MATIČEC, D. (1989): Osnovna geološka karta 1:100 000. Tumač za list Daruvar L33-95.- Institut za geološka istraživanja Zagreb (1988), Sav. Geol. Zavod Beograd, 55 str.



Kemizam voda kao indikator regionalnog kretanja podzemne vode u krškim vodonosnicima: izvor Sv. Ivan, Istra

Chemistry of Water as Indicator of Regional Movement of Groundwater in Karstic Aquifers: the Spring Sv. Ivan, Istria

Tatjana VLAHOVIĆ

Ključne riječi: krški vodonosnici, kemizam voda, kretanje podzemnih voda, Istra, Hrvatska.

Key words: Karstic aquifers, Chemistry of water, Movement of groundwater, Istria, Croatia.

Sažetak

U dosadašnjim interpretacijama kretanja podzemnih voda u krškim vodonosnicima Istarskog poluotoka pretpostavljena su relativno mala i pretežito odvojena priljevna područja pojedinih izvora. Novija istraživanja pokazala su određene nejasnoće glede takovih rješenja priljevnih područja što je bio poticaj da se pri interpretaciji kretanja podzemne vode posebna pozornost posveti proučavanju kemizma vode, i to kako onih pokazatelja koji ukazuju na varijacije prirodnog kemijskog sastava podzemne vode, tako i onih koji izražavaju njenu promjenu uslijed antropogenog utjecaja. Značaj i rezultati proučavanja kemizma vode prikazani su na primjeru izvora Sv. Ivan u Istri. Na osnovu prirodnog kemijskog sastava podzemne vode interpretirano je porijeklo vode izvora, dok su posljedice antropogenog utjecaja ukazale kako na složenost zadržavanja vode u podzemlju tako i na dosezanje regionalnog komuniciranja podzemnih voda, odnosno da u napajanju izvora sudjeluju znatno širi regionalni tokovi i da stvarno priljevno područje izvora seže do najviših predjela karbonatne zaravnj, odnosno planinskog masiva Ćićarije.

Abstract

According to previous studies on the groundwater movement in karstic aquifers of Istrian peninsula relatively small and mostly separated drainage area for particular spring was interpreted. More recent explorations, however, showed that drainage-spring relations are more complicated than previously assumed and hence stimulated the study of groundwater chemistry as additional method to interpret the groundwater movement, both in respect to parameters depicting its natural chemistry and those illustrating some later modification due to anthropogenic impact. Both the importance and the results of the method tested on the spring of Sv. Ivan in Istria are presented in this paper. The origin of groundwater was interpreted due to its natural geochemistry while chemical modifications caused by anthropogenic impact illustrated the complexity of groundwater residence time relations and the extend of regional groundwater communication. Additionally, it points to the fact that more regional flows also contribute to the spring recharge, and that the real spring drainage area extends up to the highest region of carbonate plateau, i.e. up to the Ćićarija massif.

1. UVOD

Izvor Sv. Ivan nalazi se u dnu ljevkaste doline rijeke Mirne, oko 1 km jugoistočno od Buzeta. Kaptazna armirano-betonska građevina iznad izvora kružnog je oblika s polumjerom od 22 m, a temeljena je u laporima na oko 4-5 m ispod razine terena. Osim zahvaćenog izvora Sv. Ivan u neposrednoj blizini nalazi se još desetak manjih ili većih jezeraca iz kojih povremeno ili stalno istječe voda. Svi zajedno čine izvorišnu zonu. Kod većih voda prorade svi okolni izvori kao preljevne vode glavnog izvora. Priljevno područje izvora određeno je na osnovu podataka o sigurno utvrđenim svezama pon-

ora i izvora pomoću trasiranja, zatim hidrogeoloških karakteristika stijena i strukturnih odnosa, te hidrološke analize, a u okviru nje poglavito korelacije količine istjecanja vode i količine padalina na odnosnom području. Tako određena slijevna površina iznosi oko 70 km² (BONACCI & MAGDALENIĆ, 1993) i općenito se može reći da izvor Sv. Ivan drenira jugozapadne dijelove planinskog masiva Ćićarije. Novija istraživanja povezana s problemima povećanja korištenja, kao i ugroženosti podzemnih voda u uvjetima prometnog i općega gospodarskog razvitka kraja pokazala su da je to područje pretežitog dreniranja prema izvoru, odnosno da dio voda pri visokim vodostajima otječe povr-

Mutnoća mg SiO ₂ /l	T °C	pH	Isparni ostatak mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	EV µS/cm	SiO ₂ mg/l	Ukupna tvrdoća °nj
5-2000	10-15	7,0-8,3	145-465	189-336	7-50	0,3-30	54-90	3-26	2,2-5	0,7-1,5	208-784	0,02-15	8,4-17,36

Tablica 1 Osnovne hidrogeokemijske značajke izvora Sv. Ivan.

Table 1 General hydrogeochemical characteristics of the Sv. Ivan spring.

šinski, a dio podzemnih voda otječe i prema drugim izvorima, pa prema tome razvođe ima zonarni karakter (URUMOVIĆ et al., 1997). Stoga i priljevno područje izvora može znatno premašiti površinu ustanovljenu trasiranjima ponora, a ta okolnost upućuje na proučavanje i detaljno snimanje kemizma podzemnih voda, i to kako onih pokazatelja koji se odnose na varijacije njenog prirodnog kemijskog sastava, tako i onih koji izražavaju njenu promjenu uslijed antropogenog utjecaja (VAZDAR & URUMOVIĆ, 1995).

2. UVJETI POJAVLJIVANJA I REŽIM IZVORA

Izdašnost izvora Sv. Ivan je relativno ravnomjerna. U sušnom razdoblju ona opadne na crpnu količinu koja se kreće u rasponu od 150 do 220 l/s, a maksimalna povremeno premašuje 2000 l/s. Odnos minimalne i maksimalne izdašnosti izvora kreće se oko 10, a odnos Q_{max}/Q_{min} , zbog mogućnosti sniženja vodostaja ispod razine terena, više ovisi o crpnoj količini u sušnom razdoblju nego o maksimalnim izdašnostima. Osnovne značajke režima izvora su relativno velika minimalna izdašnost i relativna ujednačenost maksimalnih izdašnosti u odnosu na uobičajene hidrološke uvjete na krškim izvorima. To je omogućeno formiranim rubnim uvjetima i visokom propusnošću krškog vodonosnika. Pri tome presudnu ulogu u regulaciji maksimalnih izdašnosti ima povremeni krški izvor Tombazin, na rubu doline uz kontakt fliša i vapnenaca, koji u stvari predstavlja preljevanje podzemnih voda iz krškog vodonosnika pri ekstremnim vodostajima (HLEVNJAK et al., 1995).

U priljevnom području izvora, na višem morfološkom platou, nalazi se i izvor Pivke koji se aktivira samo pri vrlo obilnim kišnim razdobljima kada količina poniranja vode premaši prijenosne domete krškog podzemlja. U svim ostalim prilikama podzemna voda cirkulira kroz vapnence ispod fliških naslaga i redovito se izliva na izvoru Sv. Ivan. Pri visokim vodostajima, kada razina podzemne vode poraste iznad razine površinskog dodira fliških naslaga u dolini Mirne i rubnih vapnenaca, aktiviraju se rubni izvori. Ovi izvori, kao i cijeli niz izvora uz korito Mirne, vjerojatno predstavljaju široku i raznoliku izvorišnu zonu istoga krškog vodonosnika značajnu s gospodarskog stajališta, budući da predstavlja značajnu akumulaciju podzemnih voda u sušnom razdoblju.

3. KEMIZAM VODA

Kemizam voda izvora Sv. Ivan praćen je preko osnovnih, proširenih i periodičkih kompletnih kemijskih analiza provedenih u Zavodu za javno zdravstvo Istarske županije - Pula, Hrvatskom zavodu za javno zdravstvo - Zagreb, te u Istarskom vodovodu Buzet. Obuhvaćeno razdoblje praćenja je od 1988. do zaključno 1998. godine.

3.1. HIDROGEOKEMIJSKE ZNAČAJKE

Pretežiti anioni u vodi izvora Sv. Ivan su hidrogenkarbonati, a pretežiti kation je kalcij, što je i razumljivo budući da na kemijski sastav voda u krškim vodonosnicima najviše utječe otapanje karbonatnih minerala - kalcita i dolomita. Međutim, udio osnovnih pokazatelja u vodi tijekom godine se mijenja u skladu s hidrološkim uvjetima i vegetacijskim stanjem (tablica 1), te je pri razmatranju hidrogeokemijskih značajki krških izvora potrebno razlikovati razdoblja sa i bez vegetacije, zbog njenog utjecaja na produkciju CO₂ u tlu, zatim razdoblja visokih, srednjih i niskih voda, te s tim u svezi i mehanizam toka vode u vodonosniku. Stoga, za točnije razumijevanje međusobnih odnosa i zavisnosti između pojedinih pokazatelja načinjena je korelacijska analiza (tablica 2) i izračunati uvjeti zasićenosti s obzirom na kalcitnu i dolomitnu mineralnu fazu (VLAHOVIĆ, 1999).

Jasna korelacijska veza između HCO₃⁻ i Ca²⁺, a poznavajući litologiju šireg područja izvora Sv. Ivan, ukazuje da je porijeklo kalcija u izvorskoj vodi najvećim dijelom vezano za otapanje karbonatnih minerala i to poglavito kalcita u vapnencima, a manjim dijelom i za otapanje kalcita u karbonatnoj frakciji naslaga fliša. Slaba i tek naznačena korelacijska veza između HCO₃⁻ i Mg²⁺, te Na⁺ i K⁺ upućuje da trošenje dolomita i klastičnih frakcija fliša znatno manje doprinosi osnovnom ionskom sastavu vode izvora Sv. Ivan. Sadržaj Mg²⁺ veći od 0,5 mmoleq/l javlja se u vrijeme malih i srednjih voda na izvoru i ima za posljedicu smanjenje sadržaja Ca²⁺ u vodi, što navodi na zaključak da se izvor tada drenira iz područja gdje je u vapnencima veći dio Ca²⁺ u kristalnoj rešetci kalcita zamijenjen s Mg²⁺, odnosno da se drenira vodonosnik koji u svom sastavu ima i dolomitične vapnence, dolomite i dolomitne breče, što pak znači da se drenira vodonosnik s područja Čičarije. Manji dio magnezija može također potjecati i od izluživa-

Jasna korelacijska veza	Slaba korelacijska veza	Naznačena korelacijska veza
HCO_3^- & Ca^{2+} ($r=0,95$)	HCO_3^- & Mg^{2+} ($r=0,74$)	HCO_3^- & $\text{Na}^+ + \text{K}^+$
ukupna tvrdoća & HCO_3^- ($r=0,75$)	ukupna tvrdoća & Mg^{2+} ($r=0,65$)	Cl^- & Ca^{2+} , Cl^- & Mg^{2+} , Cl^- & $\text{Na}^+ + \text{K}^+$
ukupna tvrdoća & Ca^{2+} ($r=0,79$)	električna vodljivost & Cl^- ($r=0,66$)	SO_4^{2-} & Ca^{2+} , SO_4^{2-} & Mg^{2+} , SO_4^{2-} & $\text{Na}^+ + \text{K}^+$
električna vodljivost & HCO_3^- ($r=0,94$)	električna vodljivost & Mg^{2+} ($r=0,63$)	HCO_3^- & Cl^- , HCO_3^- & SO_4^{2-} , Cl^- & SO_4^{2-}
električna vodljivost & Ca^{2+} ($r=0,88$)		ukupna tvrdoća & Cl^- , ukupna tvrdoća & SO_4^{2-}
Ca^{2+} & Mg^{2+} ($r=0,93$) → → $\text{Mg}^{2+} \geq 0,5$ mmoleq/l		ukupna tvrdoća & $\text{Na}^+ + \text{K}^+$
		električna vodljivost & SO_4^{2-}
		električna vodljivost & $\text{Na}^+ + \text{K}^+$
		Ca^{2+} & $\text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Mg}^{2+} < 0,5$ mmoleq/l

Tablica 2 Korelacijska analiza glavnih pokazatelja u vodi izvora Sv. Ivan.

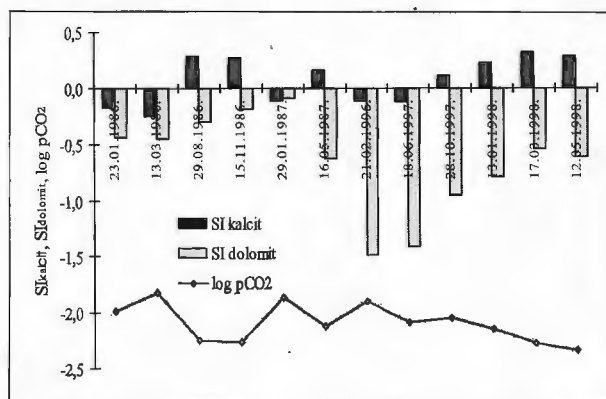
Table 2 correlation analysis of the basic parameters in the Sv. Ivan spring water.

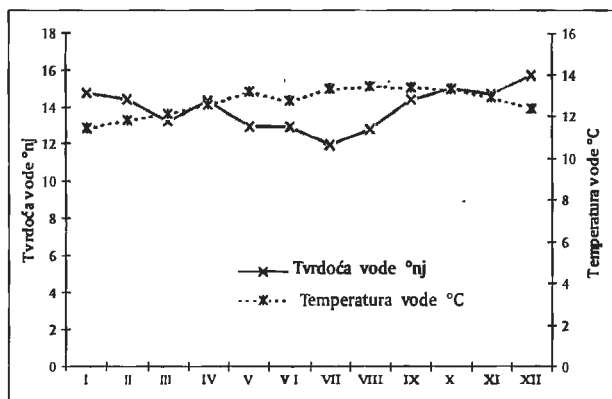
nja magnezija iz fliških naslaga koje u svom sastavu sadrže Mg-alumosilikate. Hidrolizom alumosilikata iz fliša ili tla, u vodu dolaze i male koncentracije Na^+ i K^+ što pokazuje omjer $\text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{Cl}^-$ koji je uglavnom veći od 0,55 (HEM, 1985). Da su u vodi prisutne u većoj mjeri uglavnom Ca-soli ukazuje i jasna korelacijska veza između ukupne tvrdoće i Ca^{2+} , dok je sa Mg^{2+} ta veza slaba, a Na^+ i K^+ ne utječu na vrijednost ukupne tvrdoće vode. Nadalje, jasna korelacijska veza između ukupne tvrdoće i HCO_3^- , te naznačena s kloridima i sulfatima, govori u prilog da pretežiti dio tvrdoće pripada karbonatnoj tvrdoći, točnije hidrogenkarbonatima. Daljnji prilog tome je i jasna ovisnost između električne vodljivosti i HCO_3^- i električne vodljivosti i Ca^{2+} , te slaba korelacijska veza električne vodljivosti s kloridima i Mg^{2+} , dok sa sulfatima i Na^+ i K^+ , budući da je njihov sadržaj u vodi relativno nizak, ne utječe bitnije na vrijednost električne vodljivosti.

Jedan od pokazatelja vladajućih hidrogeokemijskih i hidrodinamičkih uvjeta u podzemnoj vodi su i promjene ravnotežnih uvjeta između krute i tekuće faze, koje se izražavaju indeksima zasićenosti vode s obzirom na kalcitnu i dolomitnu mineralnu fazu, te promjenljivost parcijalnog tlaka CO_2 (sl. 1). Tijekom godine voda izvora Sv. Ivan pokazuje promjenljivost parcijalnog tlaka CO_2 . Do njegova porasta dolazi tijekom kišnog razdoblja, točnije nakon intenzivnih padalina kada se iz tla i nesaturirane zone podstiče izluživanje u vodu CO_2 nastalog raspadom organske materije i respiracijom bilja. To ima za posljedicu i nezasićenost vode s kalcitom mineralnom fazom. To se pak može tumačiti i razrijeđivanjem s padalinskim vodama, a ukazuje na aktiviranje privilegiranih tokova kretanja podzemne vode čime se ostvaruje direktan i brz kontakt između područja napajanja i izvorišta, te na kratko vrijeme zadržava-

nja vode u podzemlju. Nameće se zaključak da tijekom izrazitog kišnog razdoblja postoji prevladavajući udjel voda koje dotječu iz neposrednog priljevnog područja izvora. Međutim, kako do nezasićenosti može doći i zbog miješanja vode iz različitih dijelova vodonosnika, tako i u razdoblju visokih voda ima tečenja i s područja Čičarije, odnosno postoji istovremeni utjecaj privilegiranih tokova i procjedne cirkulacije, ali je njihov udio u ukupnoj količini istjecanja daleko manji. Pri nižim vodostajima, kada nastupa dreniranje voda iz uskih pukotina i prslina; vode su slabo zasićene do zasićene kalcitom. Glede dolomitne mineralne faze, vode su neovisno o hidrološkim uvjetima nezasićene s dolomitom.

Važan pokazatelj tipa tečenja u krškim vodonosnicima je i ukupna tvrdoća i temperatura vode. Srednja mjesečna ukupna tvrdoća, a posebice temperatura vode

Sl. 1 Promjenljivost log pCO₂, zasićenosti kalcitom i dolomitom u vodi izvora Sv. Ivan.Fig. 1. Variability of log pCO₂ and saturation with respect to the calcite and dolomite in the Sv. Ivan spring water



Sl. 2 Kretanje prosječne temperature vode i ukupne tvrdoće vode izvora Sv. Ivan tijekom godine.

Fig. 2 Annual variation of the average water temperature and total hardness of the Sv. Ivan spring water.

izvora Sv. Ivan (sl. 2), relativno je ujednačena tijekom godine, u odnosu na druge izvore na području Istre, što ukazuje na duže zadržavanje glavne vodene mase u vodonosniku i na dobru homogenizaciju novih voda s već postojećim vodama u vodonosniku, što je obilježje raspršenog tipa tečenja, odnosno povećane uloge procijeđne cirkulacije podzemnih voda. Stoga i glavina vode koja istječe na izvoru dolazi s područja Čićarije, što je posebice izraženo tijekom sušnog razdoblja.

3.2. ANTROPOGENI UTJECAJ

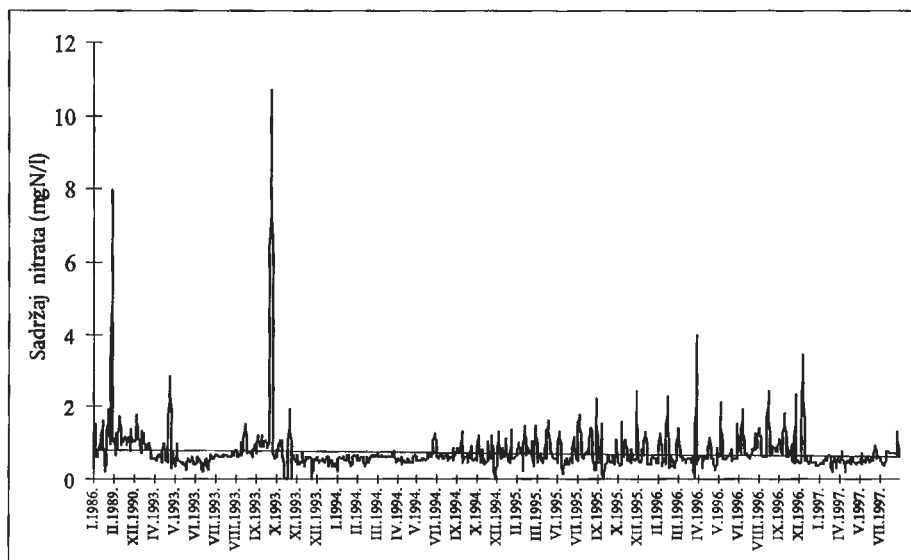
Pod antropogenim utjecajem podrazumijeva se onečišćenje vode najčešće putem poljoprivredne djelatnosti, industrije, otpadnih voda naselja, odlagališta otpada, te prometnih površina. Ukoliko takovo onečišćenje postoji ono se očituje uglavnom povećanim sadržajem nitrata, teških kovina, fenola, ukupnih masnoća i mineralnih ulja.

U vodi obrađenog izvora Sv. Ivan sadržaj nitrata tijekom godina je relativno nizak i nema naznake značaj-

nijeg povećanja tijekom narednih godina i utjecaja na kemizam, odnosno kakvoću izvorske vode. To se objašnjava činjenicom da je veći dio područja napajanja ovog izvora na relativno visokoj nadmorskoj visini i zahvaća područje gdje pokrov tla nije razvijen, pa stoga nema ni većih obradivih površina, niti mogućnosti znatnijeg opterećenja voda nitratima. Zabilježena dva ekstrema, od obrađenih 1027 analiza, od kojih jedan s koncentracijom koja premašuje MDK (10,7 mgN/l) karakteristična su za kišno razdoblje i visoku razinu podzemne vode (ispiranje i procijeđivanje nitrata iz pokrova do podzemne vode), ali isto tako nije isključeno da su odraz analitičke greške (sl. 3).

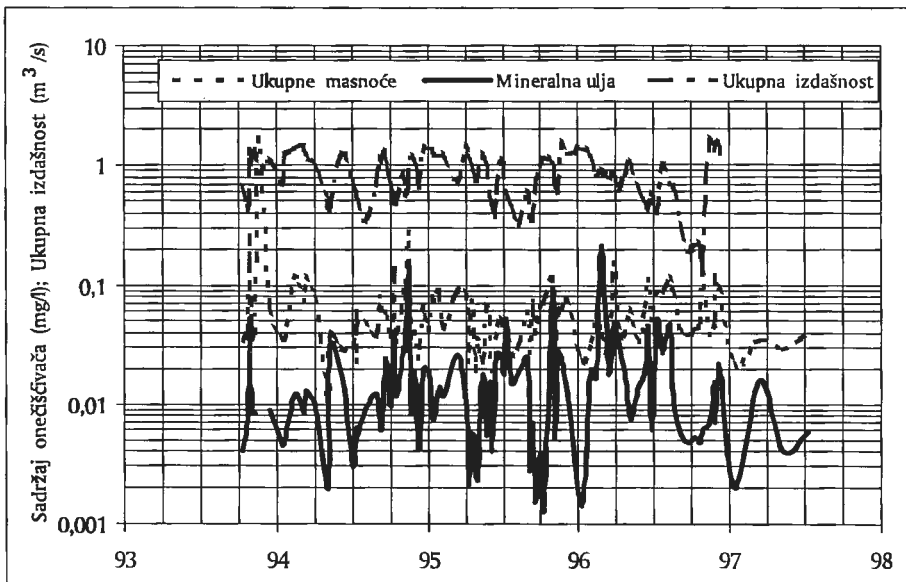
S druge pak strane, povremeno povišena koncentracija teških kovina, posebice željeza, te gotovo redovita pojava povećanih koncentracija fenola, neovisno o hidrološkim uvjetima, zasigurno je posljedica antropogenog utjecaja, i to u manjoj mjeri poljodjelstva, a u većoj zagađenja industrijskim otpadnim vodama i otpadnim vodama s prometnica.

Na koncu, koncentracije ukupnih masnoća i mineralnih ulja u vodi izvora Sv. Ivan, budući da su u kombinaciji s hidrološkim promjenama korištene kao prirodni traseri, pružile su najbolji uvid u kretanje podzemnih voda i o području napajanja izvora (URUMOVIĆ et al., 1999; VLAHOVIĆ, 1999). Naime, koncem 1994. godine došlo je do akcidentnog prodiranja nafte u slovenskom Krasu (kraj Obrova na Čićariji), a kako su podaci trasiranja ponora Jezerina (KRIVIC et al., 1989), udaljenog oko 1 km od mjesta akcidenta, ostavili sumnju o njegovoj povezanosti s izvorom Sv. Ivan, započela su učestala praćenja ukupnih masnoća i mineralnih ulja. Rezultati analiza potvrdili su pojavu zagađenja, pri čemu je prvi kratkotrajni val onečišćene vode posljedica koncentriranih tokova prema izvoru i analogan je podacima dobivenim trasiranjem spomenutog ponora, naravno s razlikama koje proizlaze iz fizikalnih svojstva trasera, odnosno onečišćivača. Naredni valovi onečišćene vode predstavljaju posljedice regionalne degradacije



Sl. 3 Kretanje sadržaja nitrata u vodi izvora Sv. Ivan u funkciji vremena (1988-1997).

Fig. 3 The nitrate trends in Sv. Ivan spring water as the function of time (1988-1997).



Sl. 4 Usporedni dijagram sadržaja onečišćivača i ukupne izdašnosti izvora Sv. Ivan u funkciji vremena.

Fig. 4 Concentration of pollutants in water and total discharge of the Sv. Ivan spring as the function of time.

kakvoće podzemne vode nastalim akcidentom, no ne isključuje se i mogućnost ostalih utjecaja. Naime, u zabilježenim sadržajima ukupnih masnoća i mineralnih ulja nesumnjivo sudjeluje i onečišćenje od drugih izvora, ali analizirano onečišćenje je po količini onečišćivača daleko najmasovnije, a njegove posljedice su najopsežnije kako u regionalnom tako i u vremenskom smislu (URUMOVIĆ & VLAHOVIĆ, 1999).

Pojave prekomjernih sadržaja onečišćivača, s amplitudama koje i višestruko premašuju propisane dozvoljene iznose, u velikoj mjeri imaju nasumičan karakter regionalnog pojavljivanja, ali u pravilu su povezane sa malim i srednjim vodama (sl. 4). Do smanjenja koncentracije onečišćivača dolazi pri visokim izdašnostima izvora, što se može povezati djelomice s razrijeđenjem količine onečišćenja, djelomice sa zadržavanjem hidrofobnih tvari na česticama sedimenata i stijenci pukotina, ali i s pretežitim dreniranjem vodonosnika koji nije onečišćen (uže područje napajanja izvora).

Stoga, može se zaključiti da je nastalo zagađenje uzrokovalo trajnije i regionalno zagađenje podzemnih voda, što znači da je sveza ponora na slovenskom dijelu Ćićarije i izvora Sv. Ivan složenija i zamršenija od sadašnjeg tumačenja rezultata provedenih trasiranja. To se odnosi kako na složenost zadržavanja vode u podzemlju tako i na dosezanje regionalnog komuniciranja podzemnih voda.

4. ZAKLJUČAK

Analizom hidrogeokemijskih značajki izvorišta i antropogenog utjecaja, a uvažavajući geološke, hidrološke i hidrogeološke značajke, te trasiranja podzemnih voda ustanovljeno je da je porijeklo vode izvora Sv. Ivan vezano uglavnom za čisti karbonatni vodonosnik. Glavnina vode koja tijekom godine istječe na izvoru dolazi s područja Ćićarije, izuzev tijekom izrazito kiš-

nog razdoblja kada postoji prevladavajući udjel voda koje dotječu iz neposrednog priljevnog područja izvora. To ne znači da i tada nema tečenja s područja Ćićarije, ali je njihov udio u ukupnoj količini istjecanja daleko manji. Može se zaključiti da postoji istovremeni utjecaj privilegiranih tokova i procjedne cirkulacije. To nadalje znači da je stvarno priljevno područje izvora veće od ranije okonturenog razvoda i u stvarnosti doseže do najviših predjela karbonatne zaravni, odnosno masiva Ćićarije. Pri tome postoje široke površine zajedničkog slijeva s drugim izvorima u Istri, ali s različitim udjelom otjecanja, s tim da se udjeli otjecanja prema pojedinim izvorima mijenjaju tijekom vremena ovisno o vodostaju u podzemlju i distribuciji pluviometrijskog režima.

Zaključno se može istaknuti da je regionalno kretanje podzemnih voda pretežito uvjetovano geološkom gradom, a hidraulički uvjeti pojavljivanja izvora upravljani su odnosom morfologije terena i hidrogeoloških struktura. U takvim se okolnostima izvor Sv. Ivan pretežito napaja na užem slijevnom području tijekom kišnih razdoblja i pri povišenim vodostajima, budući da su tokovi podzemne vode brzi i orijentirani na okršenu gornju zonu vodonosnika, što ima za posljedicu povišenu izdašnost izvora, ali i kratko vrijeme zadržavanja vode u vodonosniku i brzi prijenos onečišćivača od mjesta onečišćenja do izvora. Brzo otjecanje velikih količina podzemnih voda dovodi do promjene hidrauličkih odnosa, pa regionalni odnosi u sušnom razdoblju mogu biti bitno promijenjeni. Naime, hidraulički se stvaraju takve relacije da se slijev izvora postupno širi prema dijelovima vodonosnika u kojima je otjecanje smanjeno relativno nižom regionalnom propusnošću naslaga, te voda koja tada istječe na izvorima pripada tzv. temeljnom toku ("base flow") i obilježena je relativno dužim vremenom zadržavanja u vodonosniku.

6. LITERATURA

- BONACCI, O. & MAGDALENIĆ, A. (1993): The catchment area of the karst spring Sv. Ivan in Istria (Croatia).- *Ground Water*, 31/5, 767-773.
- HEM, J.D. (1985): Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water.- U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper, 2254, 3rd ed., Washington, 263 str.
- HLEVNJAK, B., MAGDALENIĆ, A., VAZDAR, T., URUMOVIĆ, K. & DRAGIČEVIĆ, I. (1995): Uloga izvora Tombazin u regulaciji izvora Sv. Ivan u Istri.- 1. hrvatska konferencija o vodama "Održivi razvoj i upravljanje vodama", Zbornik radova, 2, 53-64, Dubrovnik.
- KRIVIC, P., BRICELJ, M. & ZUPAN, M. (1989): Podzemne vodne zveze na području Čičarije in osrednjega dela Istre.- *Acta carsologica*, 18, 265-295, Ljubljana.
- URUMOVIĆ, K., VAZDAR, T., DRAGIČEVIĆ, I. & TOMLJENOVIĆ, B. (1997): Environmental impact on karstic aquifers in Istria in Western Croatia.- U: 5th International Symposium and Field Seminar on Karst Waters and Environmental Impacts, Beldibi-Antalya, Proceedings, 45-53, Balkema, Rotterdam.
- URUMOVIĆ, K., VLAHOVIĆ, T. & TOMLJENOVIĆ, B. (1999): Consequences of accidental pollution as indicator of regional ground water flow in karstic aquifers, Istria, Croatia.- U: XXIX IAH Congress: Hydrogeology and land use management, Proceedings, 553-558, Bratislava.
- URUMOVIĆ, K. & VLAHOVIĆ, T. (1999): Hidrogeološka studija. Interpretacija učinka zagađenja na Obrovu na izvore u središnjoj Istri.- Fond stručne dokumentacije RGN fakulteta, Zagreb.
- VAZDAR, T. & URUMOVIĆ, K. (1995): Hidrogeološka interpretacija utjecaja okoliša na krške vodonosnike središnje Istre.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, Zbornik radova, 2, 635-640, Zagreb.
- VLAHOVIĆ, T. (1999): Utjecaj okoliša na podzemne vode u Istri.- Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 232 str.

Geotermalni kolektori hrvatskog dijela Murske depresije

The Geothermal Reservoirs in Croatian Part of the Mura Depression

Mario WEISSER, Srećko MARETIĆ, Miroslav VESELINOVIĆ, Maja PETOŠIĆ
& Ninoslav TRGOVEC-GREIF

Ključne riječi: Murska depresija, druga hidrogeološka zona, geotermalni kolektori.

Key words: Mura Depression, Second hydrogeological zone, Geothermal reservoirs.

Sažetak

Obavljena je vertikalna i lateralna raščlamba geotermalnih kolektora unutar druge hidrogeološke zone područja hrvatskog dijela Murske depresije i područja Lunjkovec-Kutnjak. Temeljem stratigrafskih, sedimentacijsko-okolišnih i petrofizikalnih karakteristika izdvojene su dvije kolektorske skupine unutar neogensko-kvartarnog stijenskog kompleksa - *Klastiti I* i *Klastiti II*, i jedna kolektorska skupina unutar predtercijarnog stijenskog kompleksa - *Karbonati*. Raspoloživi bušotinski podaci omogućuju opću geološku karakterizaciju pojedinačnih litofacijesa unutar izdvojenih rezervoarskih skupina, kao i procjenu geotermalnog potencijala.

Abstract

Vertical and lateral definition and division of geothermal reservoir rocks of the second hydrogeological zone in Croatian part of Mura Depression and Lunjkovec-Kutnjak area have been accomplished. Taking into consideration stratigraphic, sedimentary-environmental and petrophysical characteristics, two reservoir groups in Neogene-Quaternary rock complex are singled out - *Clastites I* and *Clastites II*, and one reservoir group in pre-Tertiary rock complex - *Carbonates*. On the basis of available well data general geological characterisation and estimation of geothermal potential of the individual reservoir lithofacies was done.

1. UVOD

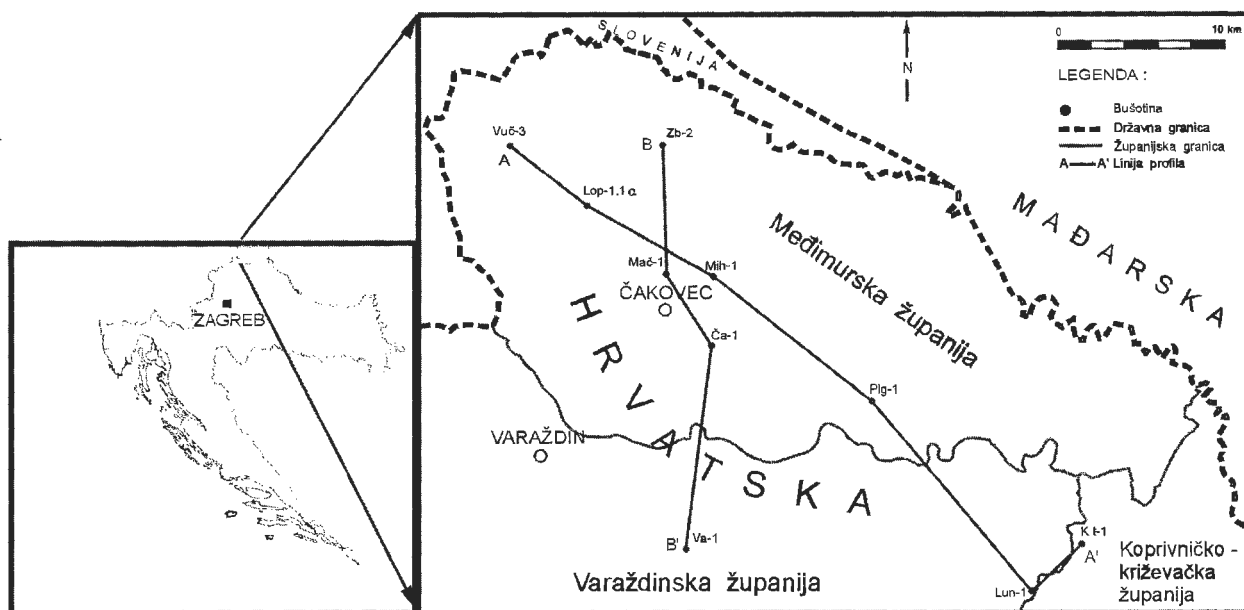
Industrijskim napretkom i razvojem problem očuvanja i korištenja podzemnih voda sve češće dolazi u fokus znanstvenih i različitih društveno-ekonomskih interesa. Mogućnosti njihova korištenja su iznimno raznolike - od vodoopskrbe industrije i stanovništva do najraznorodnije uporabe u nizu privrednih grana, uključujući i energetiku.

U posljednje vrijeme javio se i kod nas hvale vrijedan interes i briga pojedinih jedinica lokalne samouprave i gospodarskih subjekata za upoznavanjem mogućnosti korištenja geotermalne energije, što je rezultiralo i sve većim zanimanjem stručnjaka INA-Naftaplina za ovu problematiku. Unutar Službe za razradu 1998. godine započet je sustavan rad na procjeni geotermalnog potencijala panonskog dijela Hrvatske. Već pri definiranju ciljeva istraživanja šire područje Međimurja se nametnulo kao posebno zanimljivo područje, kako zbog

nekoliko otprije poznatih geotermalnih lokaliteta, tako i zbog obilja bušotinskih i geofizičkih podataka. U prvoj fazi rada na procjeni geotermalnog potencijala ove regije obavljena je procjena zalijeganja druge hidrogeološke zone na osnovi bušotinskih podataka, kao i vertikalna litofacijesna raščlamba i petrofizikalna karakterizacija kolektorskih stijena.

2. ZEMLJOPISNI POLOŽAJ I PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Istraživano područje (sl. 1) obuhvaća Međimurje i sjeverozapadni dio Podravine, nizinsku do brežuljkastu regiju sjeverozapadne Hrvatske, odnosno hrvatski dio Murske depresije i dijela Legradskog praga, koji ju odvaja od Dravske depresije na istoku, površine cca 1200 km². Sa zapadne strane omeđeno je kopnenom granicom s Republikom Slovenijom, dok sjeverna granica sa



Sl. 1 Položajna karta.

Fig. 1 Location map.

Slovenijom odnosno Republikom Mađarskom prati tok rijeke Mure. Južna granica generalno koincidira s protezanjem dravske nizine, a istočna je granica predstavljena linijom Legrad - Koprivnica.

Geološki radovi na širem području Međimurja započinj u drugoj plovici 19. stoljeća a povezani su uglavnom s istraživanjima ugljena, nafte i nešto kasnije termomineralnih voda. Na području sela Peklenica zabilježeno je prvo organizirano crpljenje nafte još 1856. godine. Sustavna istraživanja ugljikovodika počinju međutim tek 40-ih godina dvadesetog stoljeća, kada se provode opsežna gravimetrijska, geomagnetska, geoelektrična i seizmička mjerenja te duboka istražna bušenja, o kojima postoje brojni zapisi u fondu stručne dokumentacije INA-Naftaplina. Međutim, publiciranih radova koji se bave isključivo Murskom depresijom relativno je malo. Geološka karta na ovom prostoru izvodili su GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1902) i ŠIMUNIĆ et al. (1981). Regionalni geotektonski prikazi šireg područja sadržani su u radovima VONČINE (1965), HERAKA (1986), ROYDEN & HORVÁTHA (1988) i PRELOGOVIĆA et al. (1995), a doprinose poznavanju dubinskih strukturno-tektonskih i naftogeoloških odnosa dali su KISOVAR (1979), MARTINEC & DEUR (1979), PANDŽIĆ (1986), PAMIĆ (1992, 1998), RUNJIĆ et al. (1995), SELJAN & PARLOV (1995) i BARIĆ et al. (1996). Hidrogeološke prikaze su dali MILETIĆ (1969), MILETIĆ et al. (1975), MAGDALENIĆ (1987), URUMOVIĆ et al. (1990) ŠARIN et al. (1995) i ŠIMUNIĆ & HEČIMOVIĆ (1999), dok razmatranja o temperaturnim odnosima i mogućnostima uporabe geotermalne energije nalazimo u radovima ČUBRIĆA (1984, 1987), JELIĆA (1987), DRAGAŠA et al. (1991) i JELIĆA et al. (1995, 1999).

3. PREGLED GEOLOŠKE GRAĐE

Hrvatski dio Murske depresije pripada zapadnoj rubnoj zoni Panonskog bazena (PRELOGOVIĆ et al., 1995), no u njezinoj građi zapažaju se i strukturne značajke Dinarida i Istočnih Alpa. Ističu se dvije strukturne jedinice nižeg ranga - Čakovečka uleknina i Ormoško-selnički antiklinorij ("Međimurske gorice") koji ju odvaja od Ljutomerske uleknine u Sloveniji. S istoka je odijeljena od Dravske depresije tzv. Legradskim pragom koji generalno koincidira s protezanjem zone perijadranske dislokacije (lineamenta), odnosno rasjedne zone Ivanščica - Nagykanizsa. Južna granica Murske depresije određena je nastavkom zone dravskog rasjeda (rasjedi Maribor - Varaždin - Koprivnica) s izraženom horizontalnom komponentom kretanja blokova. Izdvajaju se dva karakteristična strukturna i litološka kompleksa. Stariji kompleks predtercijarne podloge predstavlja platformsku osnovu konsolidiranu prije alpinske orogeneze. Izgrađen je od mezozojskih, poglavito srednjo- i gornjotrijaskih karbonata i paleozojsko-trijaskog magmatsko-metamorfno-sedimentnog kompleksa. Mlađi, pokrovni kompleks predstavlja uglavnom klastičnu bazensku ispunu i tektonostratigrafski je određen neogensko-kvartarnim nastankom i evolucijom Panonskog bazena.

4. GEOTERMALNI KOLEKTORI I HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Budući je primaran cilj ovog rada bio vertikalna i lateralna raščlamba, te petrofizikalna karakterizacija

geotermalnih kolektora hrvatskog dijela Murske depresije, već su u prvoj fazi istraživanja, koja je uključivala definiranje dubinskog zalijeganja granice između prve i druge hidrogeološke zone, prikupljeni izuzetno zanimljivi podaci. Uvjetna krovina druge hidrogeološke zone, kao litološkog kompleksa zasićenog mineraliziranom vodom određena je isključivo na temelju interpretacije karotažnih mjerenja (EL, DLL-krivulje SP i Rt), pošto plići bušotinski intervali nisu ispitivani na dotok. Kriteriji odvajanja bili su korelativna sličnost oblika i karaktera krivulja SP i Rt. Utvrđena je izuzetna podudarnost njenog zalijeganja i strukturnog zalijeganja regionalnih karotažnih repera α i Δ , posebice u istočnom i centralnom dijelu istraživanog područja. Potrebno je, međutim, napomenuti da spomenuti litološki horizonti ne predstavljaju vremenski kontinuitet, odnosno kronostratigrafske granice, što je vidljivo na sl. 2. Na području Legradskog praga elektrokarotažni reper α , koji u Dravskoj depresiji odjeljuje Lonja i Bilogorsku formaciju i otprilike odgovara granici između miocena i pliocena, kronostratigrafski odgovara donjopontskim naslagama, dok bi na području strukture Vučkovec, gdje odjeljuje Mura i Lendavsku formaciju kronostratigrafski mogao biti pozicioniran u gornji baden. Dubinsko zalijeganje druge hidrogeološke zone registrirano je na istraživanom području od 350 do 1100 m.

Unutar druge hidrogeološke zone izdvojene su temeljem stratigrafskih, sedimentacijsko-okolišnih i petrofizikalnih značajki tri karakteristične rezervoarske skupine. Dvije strukturno pliće skupine (litološka kompleksa) pripadaju neogensko-kvartarnoj bazenskoj ispuni i pošto su uglavnom zastupljeni klastitima, iz praktičnih razloga su u ovom radu nazvani *Klastiti I* i *Klastiti II*. Na shematskom geološkom profilu (sl. 2) prikazani su svjetlijim nijansama sive boje i zajednička im je značajka dominantna prisutnost intergranularnog poroziteta. Treća rezervoarska skupina izdvojena je unutar predtercijarnog stijenskog kompleksa i prema najznačajnijem regionalnom kolektoru je nazvana *Karbonati*. Za razliku od *Klastita I* i *Klastita II* ovu skupinu kolektora karakterizira dominantna prisutnost sekundarnog, odnosno pukotinskog poroziteta.

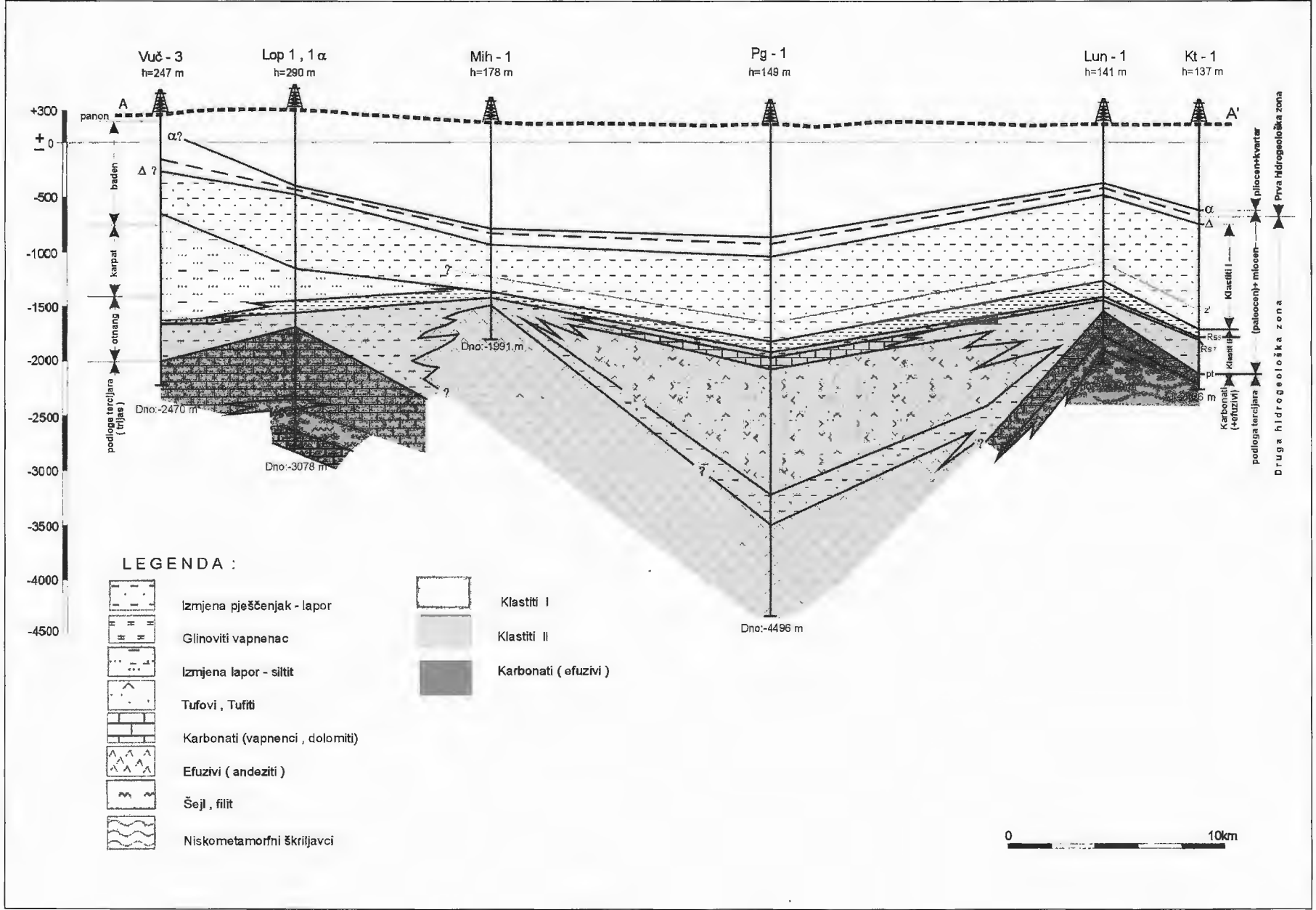
Rezervoarska skupina *Klastiti I* predstavlja strukturno-batimetrijski najplići potencijalni geotermalni objekt. Na većem dijelu istražnog prostora ovaj je stijenski kompleks kronostratigrafski, litološki i okolišno-sedimentacijski nehomogen. Izgrađen je gotovo isključivo od pješčenjaka i lapora. Krovina mu je definirana prvim pješčanom slojem, odnosno paketom pješčanih slojeva unutar druge hidrogeološke zone i arealno otprilike odgovara zalijeganju elektrokarotažnog repera Δ . Podinu *Klastita I* predstavlja lapor dekametarskih iznosa debljina, razvijen na čitavom istraživanom području izuzev polja Vučkovec, gdje barijeru između *Klastita I* i *Klastita II* čini i do 1000 m debeo kompleks silita i glinovitih silita. Zbog manjkavih biostratigrafskih podataka starost izdvojene serije moguće je tek približno geokronološki pozicionirati u istočnom dijelu u srednji-

gornji miocen, dok je u zapadnom dijelu dokazana njihova badenska starost. *Klastite I* u istočnom i središnjem dijelu karakterizira visok sadržaj pješčane komponente (60-70 %). Generalno predstavljaju produkte delte i podređeno fluvijalne sedimentacije. U zapadnom dijelu istraživanog područja ove naslage su karakterizirane znatnim smanjenjem udjela arenitne komponente (manje od 20 %), i predstavljaju tipične dubokomorske, turbiditnim mehanizmom taložene naslage. Debljina čitave serije varira između 400 m u području Ormoško-selničnog antiklinorija, cca 600 m u centralnom dijelu Čakovečke uleknine, do 800 m u području Legradskog praga, a debljina je pojedinačnih pješčanih slojeva od 1 do 10 m. Petrofizikalne karakteristike tih pješčanih tijela su procijenjene isključivo na temelju karotažnih podataka, izuzev bušotina Vuč-1, Vuč-2 i E-17, koje su ispitivane DST-metodom, no generalno ih karakterizira relativno slaba propusnost, odnosno dnevna davanja do maksimalno 250 m³ termomineralne vode saliniteta između 3 i 11 g NaCl/l, s procijenjenom temperaturom na površini između 15 i 40°C, ovisno o produktivnosti bušotina.

Klastiti II predstavljaju litološki heterogeniju skupinu potencijalnih geotermalnih kolektora. Krovina *Klastita II* definirana je prethodno spomenutom laporovito-siltinom serijom, dok je podina predstavljena tektonsko-erozijskom diskordancijom s predtercijarnim stijenskim kompleksom. Kronostratigrafski odgovaraju srednjomiocenskim i starijemiocenskim naslagama. Kao ležišni litofacijesi izdvojeni su raspucani vapnoviti lapori ili glinoviti vapnenci, petromiktini konglomerati i konglomeratični pješčenjaci, koji predstavljaju krovinske rezervoarske litofacijese u središnjem i istočnom dijelu, odnosno zapadnom dijelu istražnog prostora. Također su prisutni sitno- do srednjozrnati grauvakni pješčenjaci, tufovi i efuzivi, čija je badenska starost superpozicijski određena (PAMIĆ, 1992). Bioklastični vapnenci su u tipičnom grebenskom razvoju utvrđeni samo na bušotini Prelog-1. Kao i u slučaju *Klastita I* generalno niti jedan od izdvojenih litofacijesa ne pokazuje posebno dobra ležišna svojstva. To se poglavito odnosi na tufove i donjomiocenske efuzive, uglavnom andezite-dacite, koji predstavljaju potencijalne geotermalne objekte samo u tektonski zdrobljenim zonama (npr. interval 2635-2645 m bušotine Pg-1). Dubinsko zalijeganje *Klastita II* varira od cca 1300 m do cca 2000 m, dok im ukupne debljine iznose od 250 m u području Legradskog praga i Ormoško-selničnog antiklinorija do preko 2000 m u središnjem dijelu Čakovečke uleknine.

Karbonate, treću i najznačajniju skupinu geotermalnih kolektora, kao i *Klastite II* također karakterizira litološka raznolikost i izrazito dominantna prisutnost pukotinskog poroziteta. Naziv skupine je odabran prema najperspektivnijem rezervoarskom litofacijesu - kataklaziranim dolomitima i vapnencima, te dolomitno-vapnencima prisutnim u krovini ove rezervoarske serije na većem dijelu prostora. Ovaj rezervoarski kompleks uvjetno je ograničen regionalnom tektonsko-ero-

Sl. 2. Shematski geološki profil A-A'.
 Fig. 2. Schematic geological profile A-A'.



ijskom diskordancijom, preko koje je sigurno u mjestičnom hidrodinamičkom kontinuitetu s *Klastitima II*, a vertikalno dubinsko prostiranje mu je nepoznato. Starost pojedinih rezervoarskih litofacijesa je problematična, uključujući karbonatni litofacijes, kojem je srednjogornjotrijaska starost paleontološki dokazana samo na području strukture Vučkovec, ali se na osnovi superpozicijske korelacije s okolnim gorskim masivima (Ravna gora, Ivanščica, Kalnik) može i u nutrini Murske depresije pretpostaviti prisutnost paleogenskih naslaga s rezervoarskim karakteristikama (eocenske karbonatne breče). U podini mezozojskog karbonatnog kompleksa evidentirani su laminirani do pseudoškrljavi pelitno-siltitni metasedimenti (Kt-1), s katkad značajnim udjelom grafitične supstancije (Lun-1). Superpozicijski i litofacijesno, ove naslage bi mogle odgovarati donjotrijaskom, odnosno permotrijaskom produktivnom kompleksu strukturnog niza Molve-Kalinovac-Stari Gradac u Dravskoj depresiji. Trijaski vulkaniti i piroklastiti (PAMIĆ, 1998) registrirani su u bušotinama Lunjkovec-1, Hodošan-1 i Lopatinec-1 α . Dubinsko zalijeganje ove rezervoarske skupine varira od 1600 do 2000 m na području Ormoško-selničkog antiklinorija i Legradskog praga do više od 4000 m u centralnim dijelovima Čakovečke uleknine. Dolomitne i vapneno-dolomitne breče za sada predstavljaju jedini, ispitivanjima na dotok dokazani rezervoarski litofacijes. Za ostale spomenute litofacijese (efuzive, piroklastite i metapješčenjak-kvarcite), zbog njihove krstosti, rezervoarske karakteristike se za sada mogu samo pretpostaviti u tektoniziranim i rasjednim zonama. Prosječni poroziteti ovih ležišnih stijena variraju između 6 i 15 %, a permeabiliteti produktivnih zona od 20 do 500 mD. Karakterizirani su visokom ležišnom temperaturom, koja ovisno o dubini zalijeganja kolektora varira od 120-150 °C, a na površini je za najproduktivnije intervale (500-1500 m³/d) na lokalitetima Lunjkovec i Kutnjak tek nešto niža (96-117 °C). Osim Lunjkovca i Kutnjaka izuzetno je zanimljiv i lokalitet Lopatinec, međutim nedovoljno ispitan.

4. ZAKLJUČAK

Hrvatski dio Murske depresije, kao i čitav prostor Panonskog bazena karakteriziran je iznadprosječnim temperaturnim parametrima. Prosječan temperaturni gradijent za ovo područje kreće se od 6 do 6.5 °C/100 m, a toplinski tok od 60 do 90 mW/m². Ležišta skupina *Klastiti I* i *Klastiti II* ne odlikuju se izrazitim kolektorskim karakteristikama, no s obzirom na dubinu njihova zalijeganja i pretpostavljenu prosječnu produktivnost od 50-250 m³/d, s temperaturom vode na površini od 15-40 °C, mogu eventualno biti od interesa za korištenje u poljoprivredne, balneološke i turističko-rekreativne svrhe. Ležišta treće rezervoarske skupine, poglavito različiti varijeteti karbonata, zahvaljujući dobrim kolektorskim svojstvima, odnosno davanjima i visokim temperaturama na površini (80-125 °C) predstavljaju neupit-

no ekonomski interesantne geotermalne objekte iskoristive u optimalnim okolnostima i u energetske svrhe.

5. LITERATURA

- BARIĆ, G., BRITVIĆ, V. & DRAGAŠ, M. (1996): Source rocks and hydrocarbon accumulation in the Mura depression, Republic of Croatia.- *Nafta*, 47/1, 25-34, Zagreb.
- ČUBRIĆ, S. (1984): O klasifikaciji rezervi geotermalne energije.- *DIT - stručni časopis INA-Naftaplina*, 4/15, 15-20, Zagreb.
- ČUBRIĆ, S. (1987): Istraživanje i proizvodnja geotermijske energije.- *Nafta*, 38/11-12, 675-677, Zagreb.
- DRAGAŠ, M., OPIĆ, I. & BRITVIĆ, V. (1991): Analiza raspodjele temperatura u istražnom području Naftaplina, temeljena na podacima mjerenja u bušotinama.- *Nafta*, 42/7-8, 269-285, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1902): Geologijska prijedlogna karta Hrvatske i Slavonije, 1: 75000. Tumač geologijske karte Vinica, Zona 20, Col. XIV.- Naklada Kraljevske zemaljske vlade, Odjel za unutarnje poslove, 30 str., Zagreb.
- HERAK, M. (1986): A New Concept of Geotectonics of the Dinarides.- *Acta Geologica*, 16/1, 1-42, Zagreb.
- JELIĆ, K. (1987): Stacionarna geotermijska energija u Savskoj i Dravskoj potolini Panonskog bazena Hrvatske.- *Nafta*, 38/6, 333-340, Zagreb.
- JELIĆ, K., KEVRIĆ, I. & KRASIĆ, O. (1995): Temperatura i toplinski tok u tlu Hrvatske.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 1, 245-250, Zagreb.
- JELIĆ, K. & PAVIČIĆ, H. (1999): Heat flow and hydrocarbon reservoirs in Croatia.- *Nafta*, 50/7-8, 257-260, Zagreb.
- KISOVAR, M. (1979): Prilog rješavanju strukturnih odnosa našeg dijela Murske depresije.- III god. naučni skup Znanstvenog savjeta za naftu JAZU, Zbornik radova, 311-322, Novi Sad.
- MAGDALENIĆ, A. (1987): Podzemne vode Međimurja.- *Međimurje - časopis za društvena pitanja i kulturu*, 12, 43-51, Čakovec.
- MARTINEC, R. & DEUR, I. (1979): Otkrića novih akumulacija ugljikovodika u Murskoj depresiji.- III god. naučni skup Znanstvenog savjeta za naftu JAZU, Zbornik radova, 323-332, Novi Sad.
- MILETIĆ, P. (1969): Hidrogeološke karakteristike Sjeverne Hrvatske.- *Geol. vjesnik*, 511-524, Zagreb.
- MILETIĆ, P., NOWINSKI, A. & URUMOVIĆ, K. (1975): O drugoj hidrogeološkoj zoni sjeverne Hrvatske.- *Zbornik radova Rud. geol. naft. fakulteta u Zagrebu*, 97-100, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1992): Trijaski i tercijarne vulkanske i piroklastične stijene iz Murske depresije u Hrvatskoj.- *Nafta*, 43/6, 295-304, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1998): Crystalline basement of the South Pannonian Basin based on surface and subsurface data.- *Nafta*, 12/98, 371-390, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SANTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 481-486, Zagreb.
- ROYDEN, L.H. & HORVÁTH, F. (ur.) (1988): The Pannonian Basin. A Study in Basin Evolution.- *AAPG Memoir*, 45, 394 str., Tulsa - Budapest.
- RUNJIĆ, Š., DRAGAŠ, M., HUNDRIĆ, V. & KEDMENEĆ, A. (1995): Nova otkrića plina i kondenzata u Murskoj depresiji na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 523 - 527, Zagreb.
- SELJAN, Đ. & PARLOV, B. (1995): Strukturno-tektonski odnosi na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 535 - 540, Zagreb.

- ŠARIN A., URUMOVIĆ, K., MRAZ, V., BRKIĆ, Ž. & HLEVNJAK, B. (1995): Hidrogeološki aspekti korištenja i ugroženosti podzemne vode u sjevernoj Hrvatskoj.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 563-567, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, An., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. & ŠIMUNIĆ, Al. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, L33-69. Tumač za list Varaždin.- Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd, 74 str.
- ŠIMUNIĆ, A. & HEĆIMOVIĆ, I. (1999): Geological aspects of thermal and mineral water occurrences of northwestern Croatia.- Nafta, 3/99, 95-102, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., HLEVNJAK, B., PRELOGOVIĆ, E. & MAYER, D. (1990): Hidrogeološki uvjeti varaždinskog vodonosnika.- Geološki vjesnik, 43, 149-158, Zagreb.
- VONČINA, Z. (1965): Prikaz geotektonske rajonizacije Murske potoline.- Nafta, 16/1, 1-3, Zagreb.

Plinska ležišta polja Bilogora

The Gas Reservoirs on Bilogora Field

Mario WEISSER¹, Franjo ŠUMANOVAC² & Želimir ŠIKONJA¹

Ključne riječi: Bilogora, Bjelovarska uleknina, Dravska depresija, ugljikovodici, magnetotelursko istraživanje.

Key words: Bilogora, Bjelovar Depression, Drava Depression, Hydrocarbons, Magnetotelluric exploration.

Sažetak

Nafta se proizvodi na polju Bilogora od 1972. godine iz 5 najznačajnijih od ukupno 26 identificiranih pješčenjačkih ležišnih horizonata. Rezerve plina su utvrđene i prijavljene u ležištima C₂, F'', F₁, F₂ i P, no ležišta plina su prisutna u još nekolicini horizonata. Napose se ističu najpliće smještena donjopontska ležišta A i B na istočnom dijelu polja. Zbog izrazite neseizmičnosti Bilogore i složene geometrije donjopontskih naslaga predlaže se izvedba magnetotelurskih profiliranja u cilju definiranja strukturno-tektonskih i ležišnih odnosa.

Abstract

Oil has been produced at Bilogora field from 5 of 26 registered reservoir horizons since 1972. The gas reserves have been elaborated for C₂, F'', F₁, F₂ and P reservoirs, but substantial gas accumulations are present in several other horizons, especially in the shallowest lower Pontian sandstone layers A and B in eastern part of the field. Because of a significant aseismicity of the Bilogora region and complex geometry of the lower Pontian deposits, the application of magnetotelluric exploration is recommended for structural and reservoir conditions determination.

1. UVOD

Premda je u proizvodnji već 28 godina, naftno-plinsko polje Bilogora po mnogo čemu još uvijek zavrijeđuje svekoliku pažnju, kako u smislu nastavka rentabilne proizvodnje nafte i privođenja proizvodnji ležišta plina, tako i zbog niza lokalnih i regionalno-geoloških indicija i saznanja o prisutnosti neotkrivenih ležišta nafte i naročito plina. Međutim, važeći geološki model proizvodnih objekata polja Bilogora iz ranih 70-ih pokazao se u nizu elemenata nedostatnim i nedorečenim, te nije mogao predstavljati temelj za sustavnu procjenu preostalog ugljikovodičnog potencijala. Prije svega, to se odnosi na nedostatak okolišno-taložne karakterizacije probušenog stijenskog kompleksa, odnosno za to doba karakteristično pojednostavljenje geometrije pješčenih kolektora kao prostorno neograničenih tabularnih tijela, zatim problematičnu korelaciju ležišnih litofacijesa i neriješene lokalne i regionalne migracijsko-akumulacijske odnose. S obzirom na izrazitu aseizmičnost čitavog prostora Bilogore, značajnu prisutnost tektonike

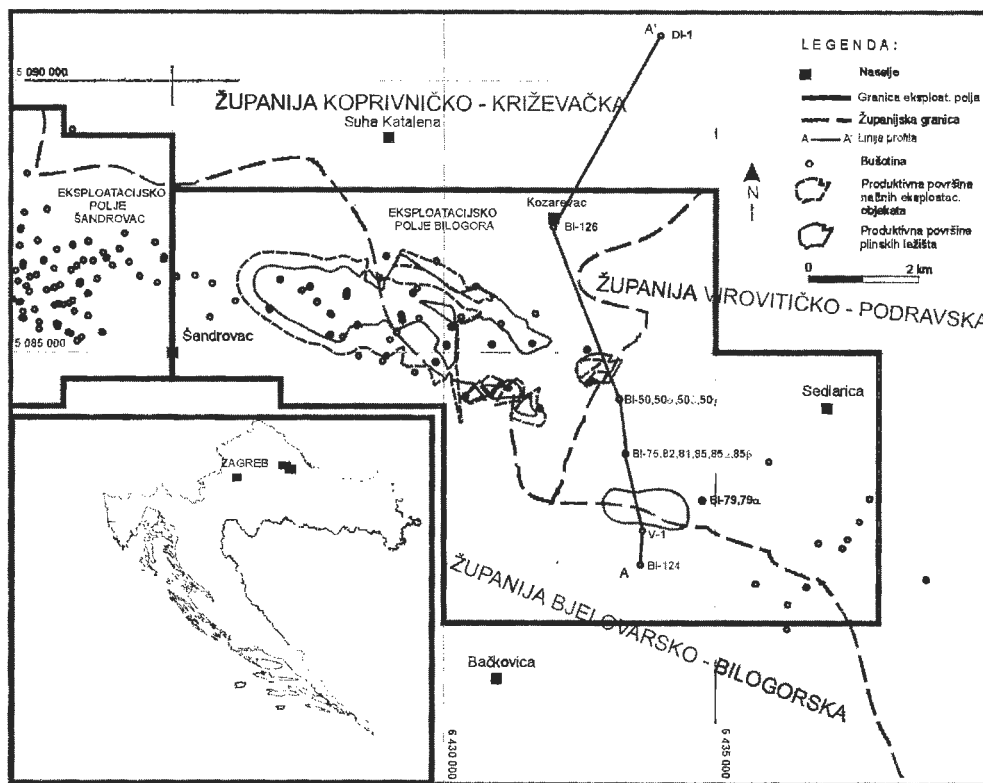
te neprimjeren i nedostatan obim raspoloživog jezgroganog materijala, došlo se do zaključka da potrebe zadovoljavajućeg definiranja strukturno-tektonskih i ležišnih odnosa plitkih i veoma dubokih plinskih horizonata zahtijevaju razmatranje uporabe i drugih geofizičkih metoda. Stoga ova rasprava, uz prikaz stanja geološke razrade ležišta i nekih novih spoznaja o naftno- i plinskogeološkim odnosima, predstavlja i programski okvir za revizijsku studiju polja Bilogora.

2. GEOGRAFSKI SMJEŠTAJ I PREGLED ISTRAŽNIH RADOVA

Eksploatacijsko polje Bilogora smješteno je u središnjem dijelu bilogorskog masiva, petnaestak do dvadeset kilometara istočno od Bjelovara. Zauzima površinu od 74 km², pripadajući trima županijama: Bjelovarsko-bilogorskoj, Kopriivničko-križevačkoj i Virovitičko-podravskoj (sl. 1). Morfologija terena je brežuljkasto-brdovita, s nadmorskim visinama u rasponu 150-288 m.

¹INA Industrija Nafta Naftaplín, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Položajna karta eksploatacijskog polja Bilogora.

Fig. 1 Location map of the Bilogora exploitation area.

Geološki i rudarski radovi na širem području Bilogore započinju već krajem prošlog stoljeća izradom nekolicine plitkih okana i bušotina kod Velikog Pogana, no sustavna istraživanja ugljikovodika uslijedila su tek nakon 1939. godine i prvih gravimetrijskih mjerenja. Tada su izvedena i duboka istražna bušenja u predjelima dubokih struktura (Ludbreg, Subotica, Lepavina, Grubišno Polje), no bez otkrića ekonomskih količina ugljikovodika. Nakon drugog svjetskog rata, u periodu 1949-1950., na području obližnjeg lokaliteta Sedlarica izrađena je nekolicina bušotina iz kojih su proizvedene manje količine nafte. Zamah u istražnim radovima nastupa koncem 50-ih i početkom 60-ih godina kada su izvedena prva refleksijska seizmička mjerenja, detaljni gravimetrijski premjeri i fotogeološka istraživanja. Tih godina se provodi i opsežan program istražnog bušenja, u najvećoj mjeri na područjima pozitivnih gravimetrijskih anomalija, koji je na širem prostoru Bilogore i Bjelovarske uleknine rezultirao otkrićem polja Jagnjedovac (1961), Šandrovac (1962), Mosti (1963), Gakovo (1964), Čepelovac-Hampovica (1966) i konačno Bilogora (1969).

Objavljenih radova o ovom području je malo. Pregledni rezultati naftogeoloških istraživanja na širem prostoru sadržani su u radovima OŽEGOVIĆA (1955) i PLETIKAPIĆA et al. (1964). Značajnije doprinose poznavanju regionalnih strukturno-tektonskih i naftogeoloških odnosa dali su KRANJEC et al. (1971, 1976), KRANJEC (1972), PRELOGOVIĆ (1974), BLAŠKOVIĆ (1975), NAJDENOVSKI (1976), PRELOGOVIĆ & VELIĆ (1988), BARIĆ et al. (1992), WEISSER

(1994) i PRELOGOVIĆ et al. (1995). Vrijedni podaci o stijenama podloge i vulkanitima šireg područja sadržani su u radovima PANDŽIĆA (1986) i PAMIĆA (1997, 1998).

3. PREGLED STRUKTURNIH ODNOSA I GEOLOŠKE GRAĐE

Razmatrano područje smješteno je u Dravskoj depresiji i pripada strukturnoj jedinici Bilogora, horst-antiklinoriju pravca pružanja SZ-JI koji razdvaja Bjelovarsko-Ilovsku subdepresiju na jugozapadu od glavne potolinske zone Dravske depresije na sjeveroistoku. Sjeverozapadno je rasjedom Legrad-Nagykanizsa odijeljena od istoimene strukturne jedinice, dok na jugoistoku graniči sa Slavanskim planinama (prema PRELOGOVIĆU et al., 1995). Geneza razvitka strukture Bilogora povezana je s cjelokupnim slijedom događaja tijekom neogensko-kvartarne evolucije Panonskog bazena, uz najznačajniji udjel neotektonskog kompresivnog stresa u stvaranju recentnog strukturnog sklopa, što je izraženo mjestimičnim razvojem tipičnih "flower" struktura ograničenih reverznim rasjedima suprotnih vergencija. Kao i u ostalim depresijama Panonskog bazena, izdvajaju se dva karakteristična litološka kompleksa: neogensko-kvartarni i kompleks podloge tercijara. Općenito, neogenska sedimentacija na području Dravske depresije započinje u donjem miocenu - otnangu ili karpatu, tijekom početne, ekstenzijske faze razvoja Panonskog bazena i traje uz povremene prekide do kvartara. Biostra-

tigrafski dokazane naslage srednjeg i mlađeg miocena te starijeg pliocena zastupljene su jednoličnom izmjenom sitnozrnastih pješčenjaka i različitih varijeteta lapora, dok se starije miocenske naslage odlikuju izraženošću litološkom raznolikošću - prisutni su i krupozrnasti klastiti, karbonati i vulkaniti. Zbog značajnog neotektonskog izdizanja, mlađi pliocenski i kvartarni sedimenti su ponajčešće erodirani. Stijenski kompleks predtercijarnih naslaga prema PAMIĆU (1999) pripada južnotisijском megabloku, izgrađenom pretežno od paleozojskih, te djelomično mezozojskih formacija. Paleozojske formacije u petrološkom pogledu su veoma raznovrsne. Predstavljene su regionalnometamornim sekvencijama vrlo niskog (anhimetamornog), niskog i srednjeg stupnja metamorfizma, te migmatitima i granitima. Mezozojske formacije su uglavnom zastupljene trijaskim i jurskim karbonatima i najvjerojatnije predstavljaju izolirane alohtone blokove.

4. OPĆI PODACI O POLJU

Naftno-plinsko polje Bilogora otkriveno je 1969. godine bušotinom B1-3, a u proizvodnji je od 1972. godine. Na polju su ukupno izrađene 164 bušotine od kojih je trenutno 33 u proizvodnom fondu, 9 je utisno-vodnih bušotina, 74 su mjerne i 48 je likvidiranih. Ukupno je identificirano 26 kolektorskih horizonata koji na pojedinim dijelovima polja predstavljaju ležišta nafte i plina. Većina ležišta formirana je u zamkama strukturnog tipa, nastalim boranjem i rasjedanjem, no značajan je i udjel kombiniranih strukturno-stratigrafskih zamki. Kolektorske stijene su različiti varijeteti sitnozrnastih pješčenjaka, izuzev najdublje smještenog ležišta P, kod kojeg se uz pješčenjake pojavljuju i konglomeratični pješčenjaci i breče. Pješčani kolektori, koji se u stručnoj dokumentaciji vode pod nazivima A, B, C, C₂, E₁, E, E', E'', E''', F'', F, F₁, F₂, G, G-G', G'-G'', GH₁, GH₂, H, H₁, H₂, H₃ i H₄, su prema sadašnjim spoznajama donjopontske starosti. Postoje, međutim, indicije da bi strukturno najbliži horizonti A i B mogli pripadati gornjem pontu. Pješčenjaci H₅ i H₆ su gornjopanonske starosti, dok krupni klastiti ležišta P najvjerojatnije pripadaju starijem miocenu.

Nafta se proizvodi iz 5 ležišta (C₂, F'', F, F₁ i H₅), dok ostala nisu geološki i fizikalno razrađivana. Utvrđena su 33 tektonska bloka, na osnovi kojih je tijekom proizvodne povijesti polja izdvojeno 16 hidrodinamičkih jedinica. Primarna faza iskorištavanja polja trajala je do 1984. godine, s vršnom proizvodnjom nafte 1976. godine (145.000 m³) kada počinje primjena zavodnjavanja na pojedinim hidrodinamičkim jedinicama. Utvrđena su četiri objekta zavodnjavanja na 82 % preostalih bilančnih rezervi nafte. Projektom je predviđeno povećanje iscrpka za 2,9 %, ali zbog nepovoljnog razvoja procesa zavodnjavanja cilj se neće moći u potpunosti ostvariti.

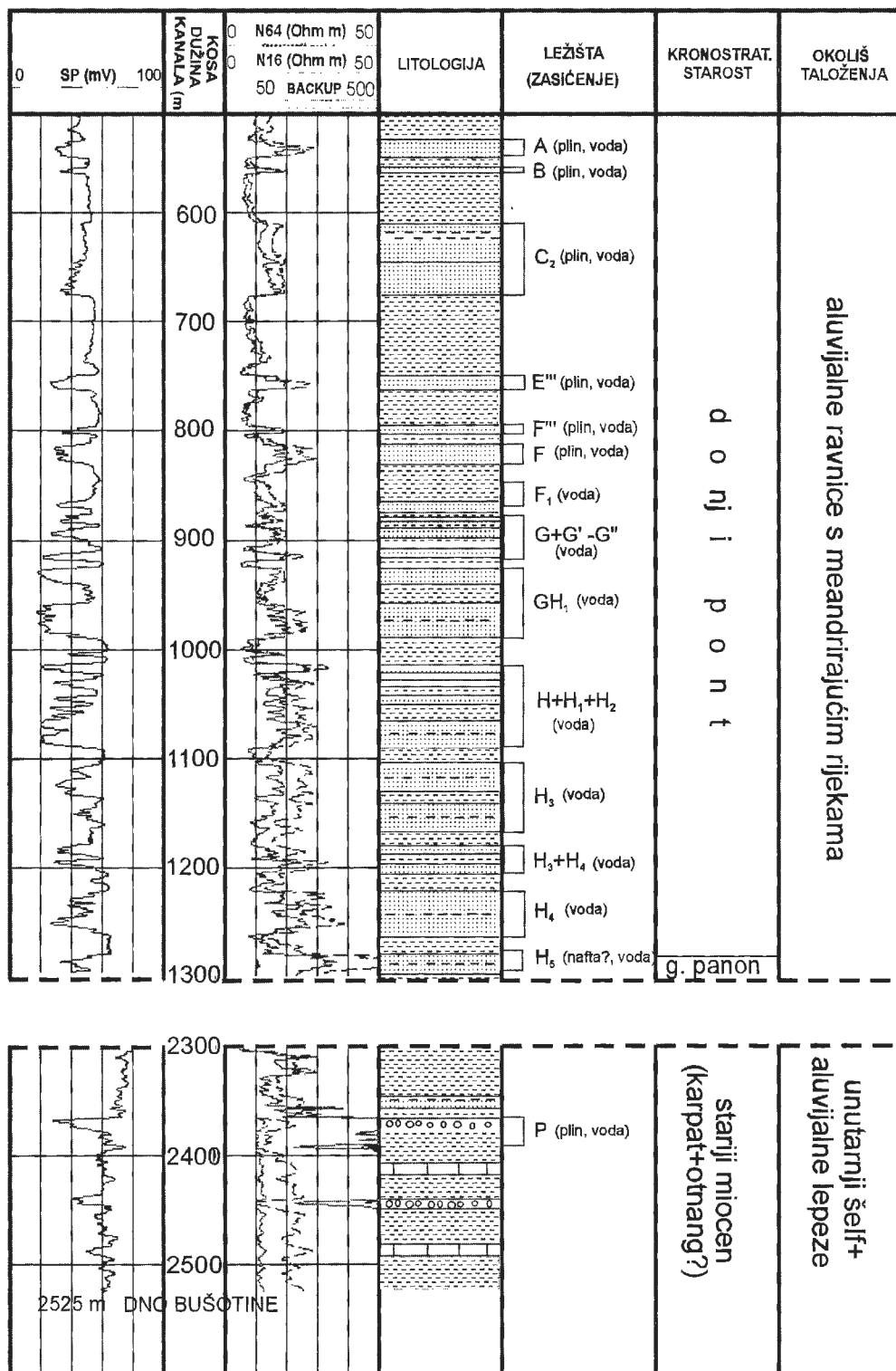
5. PLINSKA LEŽIŠTA POLJA BILOGORA

Donjopontske naslage kao najznačajniji nositelji komercijalnih količina ugljikovodika na području Bilogore, ali i starije naslage, naftno- i plinskogeološki su slabo istražene. Dubinski strukturni odnosi su izrazito nejasni, biostratigrafska i sedimentacijsko-okolišna vertikalna zonacija većeg dijela bušotinskog fonda problematična je i nepotpuna, dok geokemijska karakterizacija naslaga i plinskih ugljikovodika na području čitavog polja uglavnom nedostaje.

Plinska ležišta na polju Bilogora su utvrđena i razrađena u pješčenjacima donjopontske starosti (ležišta C₂, F'', F₁ i F₂) i starijemiocenskim krupnijeklastičnim sedimentima (ležište P). Međutim, na osnovi interpretacije karotažnih mjerenja, ali i ispitivanjima na dotok, plinsko zasićenje je utvrđeno i u većini ostalih donjopontskih ležišnih horizonata. Posebice se ističu pješčani slojevi A i B na istočnom dijelu polja. Ove naslage su gotovo isključivo zastupljene sitno- do srednjezrnastim pješčenjacima koji su interkalirani silitima i tinjčastim laporima. Prema novijim istraživanjima (MARJANAC & MARJANAC, 1997), taložene su u okolišu aluvijalnih ravnic s meandrirajućim rijekama. Debljine pješčanih slojeva su uglavnom u rasponu od 0,5 do 10 m, osim u slučajevima amalgamacije kanalskih ispuna, kada im debljine iznose i nekoliko desetaka metara (sl. 2). Petrofizikalna svojstva dotičnih ležišta su općenito zadovoljavajuća. Prosječni poroziteti se kreću od 20 do 32 %, a propusnosti od 0,5 do 50 mD, mjestimice i preko 300 mD. Utvrđene rezerve (OGIP) su uvrštene u C₁-kategoriju i procijenjene na 196 x 10⁶ m³. Ležište P je utvrđeno samo u području bušotine B1-82 i predstavlja ležište mokrog plina s razmjerno visokim sadržajem ugljičnog dioksida (18 mol %), za razliku od donjopontskih ležišta koja sadržavaju suhi plin. Rezerve plina u iznosu od 78,6 x 10⁶ m³ su određene na temelju interpretacije rezultata "Reservoir limit testa", i uvrštene su u A - kategoriju.

Matične stijene na polju Bilogora, s obzirom na starost bušotina, nisu analitički utvrđene. Međutim, evidentirane sekvencije pelitnih sedimenata unutar donjopanonskih i starijih miocenskih naslaga gotovo u potpunosti odgovaraju istovremenim naslagama polja Šandrovac, koje predstavljaju matične stijene. Na bušotini Ša-1Dα kalcitični lapori ovog stratigrafskog nivoa odlikuju se vrlo dobrim generirajućim svojstvima. Organski facijes procijenjen iz pirolitičkih parametara je vodikom bogati kerogen tipa II, koji se nalazi u zreloj katagenetskoj fazi pretvorbe. Razmjerno mala dubina zalijeganja ovih naslaga (cca 1100-1300 m) potvrđuje značajno pliokvartarno uzdizanje bilogorske strukturne jedinice.

Na polju Bilogora se po vertikali mogu izdvojiti dvije skupine razradnih, odnosno istražno-razradnih plinskih objekata (sl. 3). Prvu skupinu sačinjavaju donjopontski pješčani kolektori, čije strukturno zalijeganje na polju Bilogora varira između 400 i 900 m relativne dubine, dok drugu skupinu čine pretpostavljene zam-

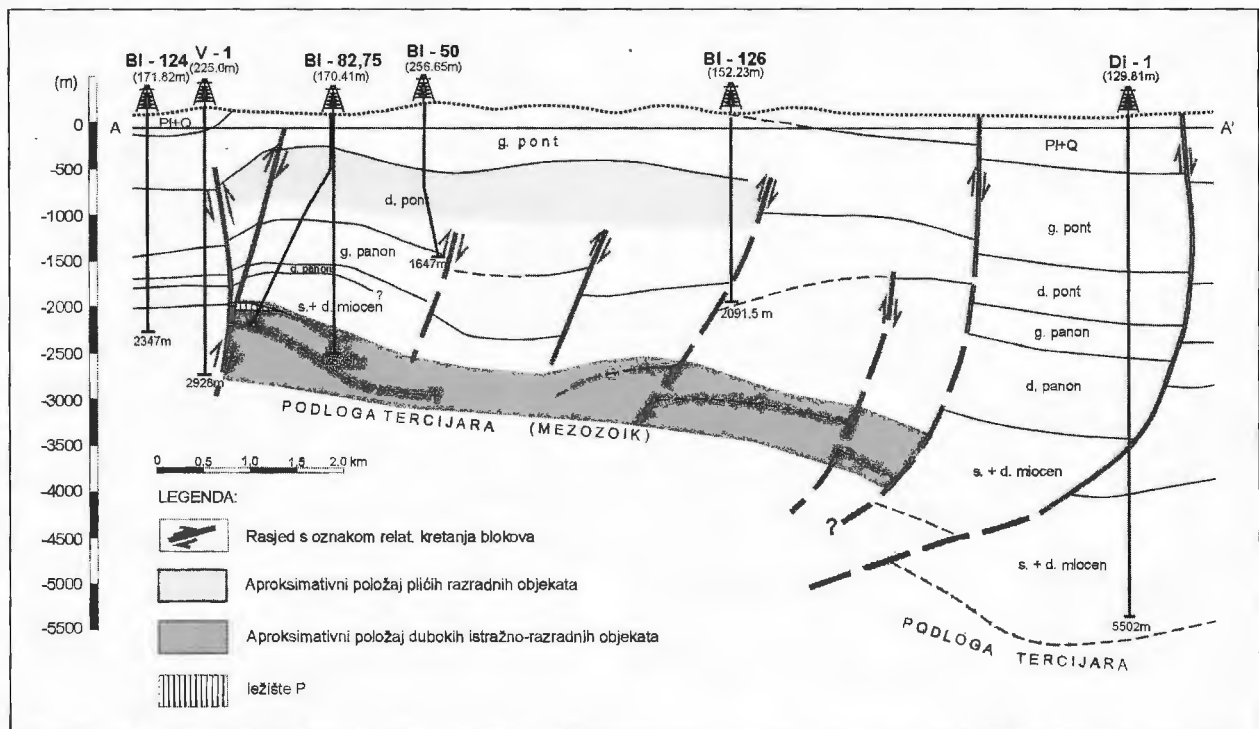


Sl. 2. Plinska ležišta na bušotini BI-82.

Fig. 2 Gas reservoirs on BI-82 Well.

ke u starijemiocenskim krupnim klastitima i eventualno mezozojskim karbonatima, koje se mogu očekivati u dubinskom intervalu između 1800 i 3500 m. Sadašnji stupanj stanja geološke razrade naftnih ležišta polja Bilogora ne može predstavljati temelj za razradu plinskih ležišta prvenstveno zbog neriješenih strukturno-tektonskih odnosa i problematične korelacije pješčanih kolektora. Ovaj problem je u istočnom - plinskogeološki značajnijem - dijelu polja izraženiji zbog rjeđe mre-

že bušotina. Dobri proizvodni pokazatelji bušotine BI-82, dobiveni tijekom ispitivanja ležišta P (250.000 - 300.000 m³ plina) skreću pozornost i na potencijalne strukturno-rasjedne i paleogeomorfološke zamke unutar predtercijarnog stijenskog kompleksa Bilogore, posebice u uvjetima prisutnosti raspucanih karbonata mezozoika, koji su se na području Bilogore pokazali kao izvrsni kolektori. Međutim, plinovi u ovom ležištu nisu geokemijski determinirani, odnosno nije provedeno od-



Sl. 3 Shematski geološki profil AA'.

Fig. 3 Schematic geological profile AA'.

ređivanje zrelosti ugljikovodika, kao ni podrijetla prisutnog ugljičnog dioksida. Nedostatak ovih podataka onemogućuje korelaciju s ugljikovodicima u obližnjim poljima i lokalitetima, kao i odredbu putova migracije. Ipak, s obzirom na ekstenzijski karakter razvoja Dravske depresije tijekom starijeg miocena i znatnih iznosa debljina istovremenih naslaga taloženih u tektonskom rovu duboke Drave, moguće je pretpostaviti migraciju plinskih ugljikovodika s područja tektonskog rova prema Bilogori, koja se mogla odvijati već tijekom srednjeg miocena uzduž predtercijarne tektonsko-erozijske diskordancije. U tom slučaju realno je pretpostaviti postojanje značajnih plinskih ili plinsko-kondenzatnih akumulacija unutar predtercijarnog kompleksa Bilogore.

ZAKLJUČAK

Višegodišnji izostanak značajnijih otkrića, uz kontinuirani trend pada proizvodnje ugljikovodika u Hrvatskoj usmjerili su napore Službe za razradu INA-Naftaplina prema realizaciji dugoročnog ali ambicioznog projekta revizije i revitalizacije naftnih i plinskih polja u Hrvatskoj u cilju privođenja proizvodnji svih mimoizdenih i nebilanciranih rezervi ugljikovodika. Premda se za postojanje plinskih ležišta na polju Bilogora zna od konca 60-ih godina i prvih istražnih bušenja, ona su do sada bila potpuno u drugom planu. U elaboratima o rezervama geološki-fizikalno su razrađena ležišta C₂, F^{''}, F₁, F₂ i ležište P, koje je dosegnuto samo bušotinom BI-82, međutim prisutnost plinskog zasićenja (plinske kape

i ležišta slobodnog plina) je evidentirana u gotovo svim identificiranim ležišnim horizontima, od kojih se posebno ističu najpliće smještena ležišta A i B.

Zbog svog geotektonskog smještaja, površinske morfologije terena i izrazite aseizmičnosti, šire područje Bilogore pokazalo se izuzetno zahtjevnim u razradno-geološkom smislu. Polje Bilogora je možda najizrazitiji primjer, a realizacija projekta zavodnjavanja najznačajnijih naftnih ležišta potvrdila je sumnje u kvalitetu još uvijek važećeg geološkog modela iz 70-ih godina. Stoga će razrada plitkih, ali i dublje smještenih plinskih ležišta morati podrazumijevati cjelovitu reviziju i reinterpretaciju svih geoloških, geofizičkih, geokemijskih i ležišno-inženjerskih podataka. No, zbog elementarnog nepoznavanja dubinskih strukturno-tektonskih odnosa i složene geometrije donjopontskih kolektora (meandrirajuća korita!) ležišne odnose neće biti moguće na zadovoljavajući način definirati bez primjene odgovarajuće geofizičke metode.

U novije vrijeme metoda magnetotelurskog profiliranja se pokazala izuzetno korisnom u aseizmičkim područjima (ARIC et al., 1997; MITSUHATA et al., 1999). Metoda se temelji na mjerenju omjera horizontalnih komponenti prirodnog električnog (telurnog) i magnetnog polja na površini, koji je za danu frekvenciju konstantan za konstantnu otpornost. Dubinski zahvat ovisi o otpornosti stijene i korištenoj frekvenciji, te se primjenjujući niske frekvencije mogu zahvatiti velike dubine. Premda moć razlučivanja opada brže nego kod refleksijske seizmičke metode, primjenom ove metode bi u optimalnim uvjetima bilo moguće definirati gene-

ralni strukturni plan podloge tercijara Bilogorske strukturne jedinice i njene kontaktne zone s tektonskim rovom duboke Drave. Ostvarenje primarnog cilja primjene magnetotelurike i 3D magnetotelurskog modeliranja - definiranje strukturnih odnosa i geometrije plićih plinskih horizonata polja Bilogora - smatramo neupitnim.

LITERATURA

- ARIC, K., ADAM, A. & SMYTHE, K. (1997): Combined seismic and magnetotelluric imaging of upper crystalline crust in the Southern Bohemian Massif.- *First Break*, 15/8, 265-271.
- BARIĆ, G., MESIĆ, I. & JUNGWIRTH, M. (1992): Sedimentary and geochemical characteristics of rocks and fluids of the western part of Drava depression.- *Nafta*, 43/4-5, 225-238, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1975): The Neogene of the Ilova Depression (Northern Croatia).- *Acta Geol.*, 12/2, 26-67, Zagreb.
- KRANJEC, V. (1972): O utvrđivanju najnovijih tektonskih pokreta i njihovom naftno-geološkom značenju u savsko-dravskom području.- *Nafta*, 23/10, 463-474, Zagreb.
- KRANJEC, V., HERNITZ, Z., REŠČEC, T. & VELIĆ, J. (1976): Neki rezultati dubinskog geološkog kartiranja u Dravskoj potolini.- *Nafta*, 27/3, 123-141, Zagreb.
- KRANJEC, V., PRELOGOVIĆ, E., HERNITZ, Z. & BLAŠKOVIĆ, I. (1971): O litofacijalnim odnosima mlađih neogenskih i kvartarnih sedimenata u širem području Bilogore.- *Geol. vjesnik*, 24, 47-56, Zagreb.
- MARJANAC, T. & MARJANAC, Lj. (1997): Sedimentološka interpretacija ležišta u donjopontskim klastitima Bjelovarske depresije i rekonstrukcija taložnih okoliša.- *Prirod.-matematički fakultet u Zagrebu*, 78 str.
- MITSUHATA, Y., MATSUO, K. & MINEGISHI, M. (1999): Magnetotelluric survey for exploration of a volcanic rock reservoir in the Yurihara oil and gas field, Japan.- *Geophysical Prospecting*, 47/2, 195-218.
- NAJĐENOVSKI, J. (1976): Strukturni odnosi tercijarnih naslaga Dravske potoline.- *Nafta*, 27/6, 305-328, Zagreb.
- OŽEGOVIĆ, F. (1955): Geološka i geofizička istraživanja na perspektivnim naftnim područjima FNRJ od 1945. do 1955.- *Nafta*, 6/8, 243-248, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1997): Vulkanske stijene Savsko-dravskog međurječja i Baranje (Hrvatska).- *Nafta, Posebno izdanje*, Zagreb, 192 str.
- PAMIĆ, J. (1998): Crystalline basement of the South Pannonian Basin based on surface and subsurface data.- *Nafta*, 49/12, 371-390, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1999): Kristalina podloga južnih dijelova panonskog bazena - temeljena na površinskim i bušotinskim podacima.- *Nafta*, 50/9, 291-310, Zagreb.
- PANDŽIĆ, J. (1986): Pretercijar jugozapadnog dijela Panonskog bazena.- *INA-Naftaplin OOUR GIR*, Zagreb, 183 str.
- PLETIKAPIĆ, Ž., GJETVAJ, I., JURKOVIĆ, M., URBIHA, H. & HRNČIĆ, Lj. (1964): Geologija i naftoplinonosnost Dravske potoline.- *Geološki vjesnik*, 17, 49-78, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. (1974): Neotektonski strukturni odnosi u dravskom području.- *Doktorska disertacija*, RGN fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 150 str.
- PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIĆ, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M. (1995): Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.- 1. hrvatski geološki kongres, Opatija, *Zbornik radova*, 2, 481-486, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & VELIĆ, J. (1988): Kvartarna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline.- *Geološki vjesnik*, 41, 237-253, Zagreb.
- WEISSER, M. (1994): Neke značajke strukturno-tektonskih i naftno-geoloških odnosa starijih miocenskih naslaga u zapadnom dijelu Dravske depresije.- *Magistarski rad*, Rud.-geol.-naftni i Prirod.-matem. fakultet Sveuč. u Zagrebu, VI+98 str.



Zaštita kakvoće podzemne vode i obalnog mora na primjeru odvodnje autoceste Rijeka-Trst

Groundwater and Coastal Sea Water Quality Protection in the Case of Drainage from the Rijeka-Trieste Highway

Franjo DUKARIĆ & Ranko BIONDIĆ

Ključne riječi: sustav odvodnje, upojni kanali, vodni sustavi, krški izvori.

Key words: Drainage system, Cleansing channels, Water systems, Karst springs.

SAŽETAK

Izgradnjom autocesta uvijek su prisutni problemi onečišćenja vodnih sustava od stalnog utjecaja prometa, odnosno transporta opasnih i škodljivih tvari, ali i od nepredvidivih prometnih nezgoda, pri čemu se mogu izazvati katastrofe regionalnih razmjera. Po prvi put se iznose hidrogeološki aspekti odvodnje autoceste Rijeka-Trst, na dijelu Rijeka-granica Republike Slovenije u sklopu zaštite krških izvorišta pitke vode i obalnog mora. Djelomično izgrađena autocesta, dionica Rijeka-Jušići ima izuzetno važno geoprometno značenje, jer se preko nje ostvaruje najkraća i najkvalitetnija veza JZ Europe sa SZ Hrvatskom i Jadranom. Ta cesta, kao linijski objekat, cijelom dužinom presjeca tipična krška vodosabirna i vodonosna područja priobalnih stalnih i većim dijelom povremenih izvora i vrulja Opatije i Preluke. Otjecanje je s ovog područja veoma složeno i odvija se uglavnom višeslojnim podzemnim drenažnim tokovima. Kako su obalno more i podzemna voda u ovom području međusobno povezani sustavi, sva onečišćenja koja se infiltriraju u krško podzemlje relativno brzo dospijevaju u more, koje je njihov konačni recipient (prijamnik). Lako je zaključiti da je stanje obalnog mora za korištenje u turističkoj privredi od izuzetne važnosti za gospodarski prosperitet ovog kraja. S druge pak strane, nekontroliranom se odvodnjom mogu ugroziti potencijalna crpilišta pitke vode koja se planiraju zahvatiti za javnu vodoopskrbu grada Opatije i okolnih naselja.

Na temelju rezultata provedenih hidrogeoloških istraživanja predloženo je da se odvodnja otpadne vode s kolovoznih površina autoceste izvede zatvorenim, kon-

ABSTRACT

During the construction of highways there are always groundwater pollution problems present as a consequence of traffic and transport of hazardous materials, as well as unpredicted accident events, which could cause catastrophes of regional extent. This is the first presentation of the hydrogeological aspects of highway drainage in respect to protection of karst springs with potable water and coastal seawater along the route of the Rijeka-Trieste highway, in the section from Rijeka to the Slovenian border. The partially constructed highway, the section Rijeka-Jušići is of immense importance since it is the shortest link from the south-western regions of Europe to north-western Croatia and the Adriatic sea. This road as a linear object intersects along its route typical karst catchments and water-bearing regions, which supply water for the permanent and intermittent coastal springs and submarine springs in the region of Opatija and Preluka. The drainage from this region is complex and involves multi-layered flow through subsurface conduits. Since the sea and the groundwater are tightly linked systems in this region all infiltrated pollutants reach the sea in a relatively short time. Therefore the quality of the coastal seawater is of prime importance to this area of highly developed tourism. On the other hand, uncontrolled drainage could threaten potential potable water springs, which are planned to be used for the water supply of Opatija and surrounding settlements.

On the basis of the performed hydrogeological studies it was recommended that the drainage from the road surfaces should be performed with the aid of closed,

troliranim i nepropusnim kanalizacijskim sustavom s uređajem za pročišćavanje i upojem u krško podzemlje. U uređajima za pročišćavanje (separatorima) vrši se mehaničko pročišćavanje i taloženje krutih tvari te odvajanje ulja i masti. Kako se u terenskim uvjetima nisu mogle tehnički simulirati upojne količine vode, koje su dobivene hidrauličkim računom, predložili smo umjesto točkastog upoja (negativnog zdenca) izvođenje linijskog upoja (horizontalne upojne kanale) po obodu ponikava. Razlog tome je što horizontalni upojni kanali imaju veću dodirnu površinu s temeljnim stijena, a samim tim i veći drenažni učinak, što nije slučaj s negativnim zdenčima. Naime, pročišćena otpadna voda se iz uređaja za pročišćavanje ispušta u upojne kanale, čija je mikrolokacija određena detaljnim hidrogeološkim radovima. Pomoću upojnih kanala će se veći dio dotočne količine pročišćene otpadne vode s kolovoznih površina izravno infiltrirati u krško podzemlje, dok će se neupojene količine (kod rijetkih ekstremnih dotoka) preko preljeva slijevati u ponikvu, koja u takvim uvjetima ima ulogu privremene retencije. U slučajevima kada nema prirodnih morfoloških oblika hidrotehničari projektiraju građevine za prihvata tih voda (retencije, lagune i sl.). Da bi se omogućio upoj u horizontalne kanale se ugrađuju drenažne betonske cijevi izbušene do polovine opsega. Opisani sustav odvodnje osim što prikuplja otpadnu vodu služi i za prihvata opasnih i škodljivih tekućih tereta, koji se mogu izliti na cestovnu prometnicu prilikom nezgode vozila-autocisterna. Na izgrađenom dijelu autoceste opisani sustav odvodnje funkcionira veoma učinkovito. Premda odvodnja (posebno u fazi izvedbe i održavanja) predstavlja značajno financijsko opterećenje, smatramo da je ono opravdano, jer su posljedice onečišćenja vodnih sustava velikih razmjera, a koji puta i nesagledive. Brojnim primjerima je dokazano da su troškovi zaštite vodnih sustava daleko niži od troškova njihove sanacije, ali neki puta je njihov ishod i neizvjestan. Ovakav se način odvodnje može primjeniti i na drugim cestama ako su projektirane preko krških terena.

I na kraju, važno je istaknuti da su hidrogeološka istraživanja neophodna u svim fazama razvijanja projekta. Na temelju njih određuje se primjereno i ekonomski racionalno rješenje odvodnje autoceste, u svrhu smanjivanja negativnih utjecaja na prihvatljivu razinu rizika, kako u vodoprivrednom tako i općenito u ekološkom pogledu.

controlled and impermeable drainage system with a purification facility (mechanical purification, sedimentation of the solid matter, separation of oils) and discharge into the karst underground. Since it was not possible to perform field simulations of the discharged cleansed water quantities, which were obtained by hydraulic calculations, it was recommended that the linear drain (channel) along the edge of the sinkholes should be used instead of a point drain (negative well). The advantage of a linear type of drain channel is that it has a larger contact surface with the bedrock and therefore higher drainage efficiency than the well type of drain. The purified road waters will be drained through these channels (location determined by hydrogeological research) into the subsurface while excess water during extreme flows will flood the sinkholes which act as temporary retentions during these conditions. In a hydrotechnical sense it is necessary to construct channels that allow draining with the aid of concrete pipes, which are perforated in the lower part of their diameter. The described drainage system, besides its application as a drain water collector also serves as a recipient for pollutants that are spilled on the road during accidental events. This system functions efficiently on the completed part of the highway and can be applied on some other roads which will be constructed through karst terrains. Although the construction of an efficient drainage system is a financial load, it is justified because the pollution of the water systems would be enormous. It has been proven that the costs of mitigation are far higher than that of pollution prevention.

It is necessary to stress that hydrogeological studies are an unavoidable part of all the phases of development of a project. On the basis of these studies a rational system of water drainage from the roads can be developed, and the degree of hazard potential can be minimized in view of water supply and ecology.



Geološki prikaz naftnih polja Slavonsko-Srijemske depresije

Geological Review of Oil Fields of the Slavonija-Srijem Depression

Niko FILIPOVIĆ

Ključne riječi: Slavonsko-Srijemska depresija, Đeletovci, Ilača, Privlaka.

Key words: Slavonija-Srijem depression, Đeletovci, Ilača, Privlaka.

SAŽETAK

Cjeloviti geološki prikaz naftnih polja Slavonsko-Srijemske depresije (Đeletovci, Ilača i Privlaka) nastao je kao rezultat geološke razrade ležišta i geološke interpretacije u sklopu istražnog projekta "Slavonsko-Srijemska" prema podjeli Hrvatske na istražne blokove (autor - voditelj projekta) u naftnoj kompaniji INA.

Na posteru se nalaze grafički prikazi geološke interpretacije s ciljem potpune vizualizacije otkrivenih polja Đeletovci, Ilača i Privlaka. Razne vrste geoloških karata, pregledne karte, geografska karta, satelitska snimka, geološki profili i stupovi, seizmički profili, 3-D modeli ležišta, analiza karotažnih mjerenja, prikazi geokemijske interpretacije i grafički prikazi rezervi izradeni su pomoću kompjuterskih programa na Landmark radnoj stanici, Express-u, CPS, Surferu i dodatnih dizajnerskih programa Auto Cad i Corel.

Popratnim tekstom daju se osnovni podaci polja Đeletovci, Ilača i Privlaka i šireg prostora depresije (geografski položaj, povijest istraživanja, geologija, opis ležišta i matičnih stijena, stratigrafija, tektonika i seizmički podaci. U tablicama se nalaze osnovni parametri ležišta.

ABSTRACT

Complete geological review of the oil fields in the Slavonija-Srijem depression (Đeletovci, Ilača and Privlaka) is the result of reservoir development and geological interpretation performed for the purposes of the exploration project "Slavonsko-Srijemska", and based on the division of Croatia into exploration blocks (the author is project leader) in INA oil company.

The poster shows graphic presentation of geological interpretation with the purpose of total visualization of the discovered oil fields Đeletovci, Ilača and Privlaka. Different types of geological maps, index maps, topographic maps, satellite images, geological cross sections and lithological columns, seismic lines, 3-D reservoir models, well log analyses, geochemical interpretation results, and graphic presentation of reserves were all made by computer programs on the Landmark workstation, Express, CPS, Surfer and additional design programs Auto Cad and Corel.

The accompanying text reveals basic data on the oil fields Đeletovci, Ilača and Privlaka, including the wider depression area (geographical position, exploration history, geology, description of reservoirs and source rocks, stratigraphy, tectonics and seismic data). The tables contain basic reservoir parameters.



Ston-Slano Earthquake Sequence of 1996

Davorka HERAK¹, Marijan HERAK¹ & Eduard PRELOGOVIĆ²

Key words: Earthquake, Seismicity, Croatia, Ston, Dubrovnik.

ABSTRACT

The Ston-Slano earthquake sequence (main shock September 5, 1996, $M_L = 6.0$, $I_{max} = VIII$ °MSK) is the largest seismic series in the greater Dubrovnik area since the catastrophic earthquake ($I_{max} = X$ °MCS) of 1667. The earthquake almost completely destroyed three villages, and caused heavy damage in a number of southern Dalmatian cities. The peak near-field ground acceleration recorded in Ston was as high as 0.65 g. The main shock was followed by thousands of aftershocks, of which 1,350 could have been reliably locat-

ed. The aftershock epicentres fall into a well defined elongated ellipse with a major axis directed NE-SW. The a posteriori analysis of seismicity pattern in a larger area of Southern External Dinarides (using the CN algorithm) revealed significant seismicity anomalies (TIP) one year prior to this earthquake. The microseismic data (arrival times of various local and regional phases) have been used to assess the velocities of seismic waves within the seismogenic volume, whereas geological data, hypocentral locations, and fault-plane solutions are used to identify main geotectonic features of this seismic source zone.

¹Department of Geophysics, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Faculty of Mining and Petrology, University of Zagreb, Pierottijeva 6/IV, HR-10000 Zagreb, Croatia.



Zaštita i očuvanje hrvatske geološke baštine

Protection and Conservation of Croatian Geological Heritage

Marija BRAJKOVIĆ

Ključne riječi: geološka baština, geološka raznolikost, geotop, zaštita i očuvanje geološke baštine, strategija zaštite geološke baštine, Zakon o zaštiti prirode.

Key words: Geological heritage, Geological diversity, Geotop, Protection and conservation of geological heritage, Geological heritage protection strategy, Law on Nature Protection.

Sažetak

Zaštita i očuvanje hrvatske geološke baštine, nedjelotvorna je na svim razinama i po svim osnovama (zakonska, institucionalna i fizička), što omogućava nesankcionirano uništavanje i otuđivanje geološke baštine. Uzroci nedjelotvorne zaštite su nedovoljna spoznaja o vrijednosti i značaju geološke baštine na svim razinama, neadekvatni obrazovni programi, nedovoljna medijska promidžba te manjkavost zakonske regulative i institucijskog okvira glede zaštite i očuvanja geološke baštine. Značajan iskorak prema djelotvornijoj zaštiti geološke baštine je izrada Strategije zaštite okoliša Republike Hrvatske, koja kao zasebno tematsko područje uključuje i strategiju zaštite geološke baštine.

Abstract

Protection and conservation of geological heritage is ineffective at all levels (legislative, institutional and physical), which allows space for its unsanctioned destruction and appropriation. Causes of such protection inefficiency lie in the poor knowledge of the value and importance of geological heritage, inadequate education and training on this subject, insufficient media coverage and incompleteness of legislative and institutional frameworks for geological heritage protection and conservation. An important step towards a more effective protection of geological heritage is the development of Environmental Strategy for the Republic of Croatia, which also includes, as a separate thematic area, protection strategy for geological heritage.

1. OSNOVNE ZNAČAJKE HRVATSKE GEOLOŠKE BAŠTINE

Geološka baština, odnosno "neživa priroda" Republike Hrvatske je sve ono što je sačuvano i "zapisano" u strukturi i teksturi stijena i terena kao produkata djelovanja unutarnjih i vanjskih sila na ovom prostoru u dugom geološkom razdoblju od prekambrija do danas (BRAJKOVIĆ et al., 1999).

Naša geološka baština je vrijedna, bogata i raznolika. Ova kvalifikacija se posebno odnosi na krške pojave i oblike te paleontološki sadržaj stijena, dok je mineraloški i petrološki sadržaj znatno oskudniji. Pojedini dijelovi geološke baštine su vidljivi i dostupni na površini terena ili u podzemlju, dok se drugi otkrivaju slučajno, bilo zemljanim radovima pri izgradnji ili rekonstrukciji infrastrukturnih i drugih objekata, ili tijekom istraživanja i eksploatacije mineralnih sirovina.

Posebna vrijednost naše geološke baštine je to što na relativno malom prostoru nalazimo veliku raznoliko-

st geo(morfo)loških oblika, stijena, minerala, fosilnog sadržaja i dr.

Pojedini dijelovi geološke baštine su vrlo vrijedni objekti i/ili lokaliteti ne samo nacionalnog i/ili europskog već i svjetskog, odnosno iznimnog i univerzalnog značaja (nalazište fosilnih ostataka pračovjeka Hušnjakovo-Krapina, nalazi kostura i fosilnih otisaka stopala krednih dinosaura u Istri te vrlo pristupačne i duboke krške jame i jezera kao Lukina jama-trojama, Crveno jezero i dr.).

2. POTREBA ZAŠTITE I OČUVANJA

Geološku baštinu treba zaštititi i očuvati jer na temelju geoloških nalaza možemo rekonstruirati povijest Zemlje kao i razvoj života na njoj.

Mnogi geološki objekti i/ili lokaliteti imaju i obrazovni značaj, pa studenti, učenici i svi drugi mogu u prirodi (na terenu) vidjeti različite vrste izdanaka stijene

na, rasjede, bore, krške pojave i oblike, fosiliferne izdanki i dr., a u muzejskim i privatnim zbirka fosile i fosilne ostatke ili replike kostura praživotinja, uzorke različitih vrsta stijena, minerala i dr. (WILDERMUTH, 1994).

Geološke pojave i objekti, a osobito oni u kršu, turistički su vrlo atraktivni. Otkrića dubokih jama (preko tisuću metara) u relativno pristupačnim planinama Hrvatske privukla su brojne domaće i strane speleologe, turiste i druge istraživače.

Geološka baština je bitan sadržaj krajobraza pa se degradiranjem i uništavanjem geološke baštine prirodnim procesima i/ili antropogenom djelatnošću trajno mijenja izgled krajobraza i tako smanjuje krajobrazna i geološka raznolikost.

Geološka baština je ujedno i podloga koja svojom raznolikošću osigurava opstanak brojnih autohtonih biljnih i životinjskih svojiti. Pojedine biljne i životinjske svojite mogu opstati i razvijati se samo na određenim staništima - "geotopu" (vegetacija sipara i mobilnih pijesaka, životinje špilja i jama i dr.), pa se degradiranjem i uništavanjem geološke baštine smanjuje i biološka raznolikost (HOFMANN, 1997).

Hrvatsku geološku baštinu treba zaštititi i očuvati, jer je ona sastavni dio identiteta naše zemlje i naroda, a i zato što "Zemlja ima pravo na sjećanje" (Međunarodna deklaracija o pravu Zemlje na sjećanje, Digne, Francuska, 1991).

3. OCJENA STANJA ZAŠTITE I OČUVANJA

Hrvatska ima dugu tradiciju zaštite geološke baštine. Tako je Zakon o zaštiti pećina donešen još 1900. godine, a prvi geološki (Rupnica-Voćin) i prvi paleontološki (Hušnjakovo-Krapina) spomenici prirode proglašeni su već 1948. godine. Ipak, dosadašnja zaštita geološke baštine bila je stihijska, bez određene koncepcije zaštite s gledišta geološke znanosti, ugroženosti, rijetkosti i značaja. Zaštiti geološke baštine u Hrvatskoj ne posvećuje se odgovarajuća pozornost pa je geološka baština samo spomenuta u Strategiji prostornog uređenja Republike Hrvatske i to u okviru zaštite prirode. Nacionalna strategija i akcijski plan zaštite biološke i krajobrazne raznolikosti tretira geološku baštinu samo kao stanište, odnosno krški i podzemni "geotop".

Zaštita i očuvanje geološke baštine Republike Hrvatske regulirana je uglavnom odredbama Zakona o zaštiti prirode, ali i pojedinim odredbama Zakona o zaštiti okoliša, Zakona o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara, Zakona o muzejima te Konvencije o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine. Međutim pojedine dijelove geološke baštine moguće je zaštititi i kroz dokumente prostornog uređenja županija, općina ili gradova. O zaštiti geološke baštine skrbi Uprava za zaštitu prirode Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja i javne ustanove za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode.

Zakonom o zaštiti prirode propisano je devet kategorija zaštite, a pretežiti dio geološke baštine zaštićen je u kategoriji "spomenik prirode" ili "posebni rezervat". Dosad je zaštićeno 50 objekata geološke baštine i to 45 u kategoriji "spomenik prirode" i 5 u kategoriji "posebni rezervat", što čini cca 7% od ukupnog broja zaštićenih dijelova prirode u Hrvatskoj. Zaštićena geološka baština nalazi se na području 12 županija.

Treba naglasiti da to nije pravo stanje zaštite geološke baštine, jer znatan dio geološke baštine uživa zakonsku zaštitu i zato što se nalazi unutar područja zaštićenih temeljem drugih, negeoloških značajki. Stupanj zaštite tako zaštićenih dijelova geološke baštine određen je stupnjem zaštite tih područja, odnosno kategorija zaštite prirode. Tako su najbolje zaštićeni oni dijelovi geološke baštine koji se nalaze u strogim rezervatima, nešto slabije zaštićeni su oni u nacionalnim parkovima i posebnim rezervatima, jer u okviru ovih kategorija zaštite nije dopuštena gospodarska aktivnost. Znatno slabije zaštićeni i očuvani su oni dijelovi geološke baštine koji se nalaze u zaštićenim krajolicima, parkovima prirode i dr., jer je u području navedenih kategorija zaštite ili njihovih pojedinih dijelova dopuštena gospodarska aktivnost.

Što se tiče geološke baštine, odnosno njenih dijelova koji nisu obuhvaćeni navedenim vidovima zaštite, najbolje su očuvani oni dijelovi koji se nalaze u rijetko naseljenim područjima i/ili izvan glavnih komunikacijskih pravaca. Najugroženiji su oni dijelovi geološke baštine koji se nalaze u urbanim područjima i njihovom neposrednom okruženju.

Krš, kao najkrhkiji ekosustav svijeta (*fragile ecosystem*) je najnepoznatiji i najneistraženiji dio geološke baštine. Naša krška područja su još uvijek zadovoljavajuće očuvana, ali znatno ugrožena nestručnim istraživanjima, neorganiziranim i neovlaštenim posjećivanjima speleoloških objekata te njihovim nestručnim uređenjem u turističke svrhe. Isto tako krška područja su ugrožena upuštanjem u podzemlje otpadnih i fekalnih voda domaćinstava i industrije, korištenjem umjetnih gnojiva u poljodjelstvu te gradnjom brojnih infrastrukturnih i drugih objekata.

Za bolju zaštitu krških pojava i objekata između ostalog potrebno je intenzivirati znanstvena i stručna istraživanja krša i podzakonskim aktima regulirati turističke obilaske speleoloških pojava i objekata, speleoronjenje, speleološka i druga znanstvena i stručna istraživanja i uzorkovanja. Isto tako potrebno je propisati uvjete pod kojim inozemne ekspedicije mogu sudjelovati u istraživanju i posjećivanju (spuštanje u jamu i dr.) zaštićenih speleoloških pojava i objekata (GARAŠIĆ, 1995).

Stanje očuvanosti mnogih dijelova vrijedne geološke baštine na južnom Velebitu, u sjevernoj Dalmaciji, pojedinim dijelovima Like, Korduna, Banije i Slavonije nije nam poznato, jer su ta područja minirana, a proces razminiranja je vrlo spor i skup.

I paleontološka baština je relativno dobro očuvana, iako je i zaštita fosila također provedena nesistematski i

nedostatno, pa samo 10% zaštićene geološke baštine otpada na paleontološku baštinu. Zakon o zaštiti prirode nije regulirao zaštitu fosila na isti način kao zaštitu biljnih i životinjskih svojti, iako su fosili samo paleo-biljke i paleoživotinje, ali znatno ugroženije i podložnije trajnom uništenju. Upravo je manjkavost zakonske regulative omogućila nekažnjeno uništavanje i otuđivanje fosila posebno onih "in-situ" (kosti i drugi fosilni materijal krednih dinosaura iz Istre još uvijek se nelegalno nalazi u Italiji). Zaštita fosila "ex-situ" je nešto bolja, jer postoje brojne zbirke (muzejske, fakultetske, privatne i dr.), a čuvanje fosilnog materijala regulirano je propisima iz oblasti zaštite i očuvanja kulturnih dobara.

Za djelotvornu zaštitu paleontološke baštine bilo bi potrebno, između ostalog, Zakonom o zaštiti prirode regulirati prijavu nalaza vrijednih dijelova geološke baštine (geoloških struktura, izdanaka, fosila i fosilnih ostataka i dr.), sankcionirati uništavanje i degradiranje geološke baštine, te uvesti posebnu kategoriju zaštite "pojedine vrste minerala (stijena) i fosila" (BRAJKOVIĆ et al., 1999).

Nedovoljna spoznaja o vrijednosti i značaju geološke baštine nije znakovita samo za Hrvatsku već i za pretežiti dio Europe i Svijeta. Najbolji primjer za rečeno je Popis svjetske baštine na kojem nema nijednog objekta i/ili lokaliteta uvrštenog na Popis zbog geoloških značajki (paleontoloških, geomorfoloških i dr.), a da je deklariran kao geološka baština.

Da bi ispravili ovu nelogičnost IUGS i UNESCO pokrenuli su dugoročni projekt zaštite geološke baštine "Geosites Inventory and Database" (JOHANSSON et al., 1997). Cilj ovog projekta je izrada baza podataka geoobjekata i/ili lokaliteta, odnosno izrada nacionalnih i regionalnih popisa geološke baštine po usvojenim jednakim kriterijima. S ovih popisa nominirat će se geološka baština iznimnog i univerzalnog značaja za uvrštenje na Popis europske baštine, odnosno Popis svjetske baštine (GRIGORESCU & ANDRASANU, 1997).

Značajan iskorak glede djelotvornije zaštite geološke baštine je izrada Strategije zaštite okoliša Republike Hrvatske (Strategiju donosi Sabor na prijedlog Vlade), koja kao zasebno tematsko područje uključuje i strategiju zaštite geološke baštine. Ovo je prvi dokument kojim Republika Hrvatska između ostalog, sustavno i cjelovito planira i zaštitu, očuvanje, korištenje i promicanje geološke baštine.

4. SRATEGIJA ZAŠTITE I OČUVANJA

Osnovni cilj strategije zaštite geološke baštine Hrvatske je djelotvorna zaštita i očuvanje geološke baštine znanstvenog, obrazovnog, estetskog, turističkog, odnosno iznimnog i univerzalnog značaja "in situ" i "ex situ", po svim osnovama i na svim razinama (BRAJKOVIĆ et al., 1999).

Za provedbu ovog cilja potrebno je, prije svega, senzibilizirati javnost za zaštitu i očuvanje geološke ba-

štine, stvoriti zakonski i institucionalni okvir za zaštitu, provesti inventarizaciju geološke baštine i izraditi odgovarajuću bazu podataka. Isto tako neophodno je potrebno uključiti geologe, odnosno geološke institucije u izradu strateških dokumenata.

Geologe odgovarajućih usmjerenja treba uključiti u rad javnih ustanova za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode i drugih institucija na državnoj i lokalnoj razini koje na bilo koji način tretiraju geološku baštinu i o njoj odlučuju.

Kako je više od 95% teritorija naše zemlje izgrađeno od sedimentnih stijena (cca 60% je krš), a ostatak od manje od 5% od magmatskih i metamorfnih stijena, strategija zaštite geološke baštine Hrvatske koncipirana je po tematskim cjelinama:

- zaštita i očuvanje geoloških objekata i/ili lokaliteta u kršu,
- zaštita i očuvanje geoloških objekata i/ili lokaliteta u ostalim stijenama,
- zaštita i očuvanje fosila i fosilnih tragova.

Pojedini dijelovi geološke baštine su staništa biljnih i životinjskih vrsta, podloge za različite gradnje, eksploataciju mineralnih sirovina i drugih prirodnih dobara, turističku eksploataciju i dr., pa je problematika zaštite i očuvanja geološke baštine vezana gotovo za sva područja ljudske djelatnosti (BRAJKOVIĆ, 1996). Stoga je potrebno dokumentirati sve čimbenike koji utječu na geološku baštinu i izraditi prateći akcijski plan za provedbu strategije zaštite i očuvanja geološke baštine.

5. KLJUČNI PROBLEMI

Ključni problemi zaštite i očuvanja hrvatske geološke baštine su:

- nedovoljna spoznaja o vrijednosti i značaju geološke baštine na svim razinama,
- manjkavost zakonske regulative i institucionalnog okvira zaštite i očuvanja geološke baštine,
- nepostojanje baze podataka o geološkim objektima i/ili lokalitetima,
- osjetljivost, odnosno lakoća uništavanja i trajnog nestanka pojedinih dijelova geološke baštine,
- neadekvatni obrazovni programi svih razina obrazovanja glede zaštite i očuvanja geološke baštine,
- neovlašteno i nestručno istraživanje speleoloških pojava i objekata te njihovo neovlašteno i neorganizirano posjećivanje,
- nestručna sanacija i uređenja speleoloških objekata i pojava u turističke svrhe,
- nedopušteno uzorkovanje stijena i fosilnog materijala te njihovo otuđivanje i protuzakoniti iznos iz Hrvatske,
- neracionalno trošenje neobnovljivih mineralnih sirovina,

- neadekvatan izbor lokacija za otvaranje kopova i njihova neodgovarajuća sanacija, te
- donošenje dokumenata prostornog uređenja, strategija gospodarskog razvoja i drugih strateških dokumenata i poduzimanje različitih zahvata u prostoru bez konzultacija geoznanstvenika glede zaštite i očuvanja geološke baštine.

6. PRIORITETNE ZADACÉ

Prioritetne zadace u zaštiti i očuvanju hrvatske geološke baštine su:

- stvaranje zakonskog i institucijskog okvira za djelotvornu zaštitu i očuvanje geološke baštine,
- senzibilizacija javnosti na svim razinama za djelotvornu zaštitu i očuvanje geološke baštine,
- inventarizacija i valorizacija geoloških objekata i/ili lokaliteta te izrada baze podataka,
- izrada Nacionalnog popisa vrijedne geološke baštine,
- nominiranje geoloških objekata i/ili lokaliteta za uvrštenje na Popis europske, odnosno Popis svjetske baštine,
- cjelovita zaštita fosilnih ostataka krednih dinosaura,
- cjelovita zaštita i očuvanje fenomena hrvatskog krša,
- osnivanje "Instituta za krš".
- potrajno iskorištavanje mineralnih sirovina,
- očuvanje geološke raznolikosti,
- uključivanje problematike zaštite i očuvanja geološke baštine u obrazovne programe,
- uključivanje geoznanstvenika u donošenje strateških dokumenata i rad institucija na državnoj i lokalnoj razini koje na bilo koji način tretiraju geološku baštinu i o njoj odlučuju, te
- intenziviranje suradnje sa stručnim i znanstvenim geološkim i negeološkim institucijama, vladinim i nevladinim udrugama u zemlji i inozemstvu glede djelotvornije zaštite i očuvanja geološke baštine.

7. ZAKLJUČAK

Naša geološka baština je vrijedna, bogata i raznolika. Ova kvalifikacija se posebno odnosi na krške pojave i oblike te paleontološki sadržaj stijena, dok je mineraloški i petrološki sadržaj znatno oskudniji.

Geološku baštinu treba štiti i očuvati, jer je ona bitan i vrlo osjetljiv dio okoliša, značajan za očuvanje biološke i krajobrazne raznolikosti, za razvoj znanosti, obrazovanja, turizma, sporta i rekreacije.

Zaštita i očuvanje geološke baštine regulirana je uglavnom odredbama Zakona o zaštiti prirode. O zaštiti geološke baštine skrbi Uprava za zaštitu prirode Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja i javne ustanove za upravljanje zaštićenim dijelovima prirode. Zaštita geološke baštine je nedjelotvorna na svim razini-

nama, jer na državnoj i lokalnoj razini ne postoji razvijena svijest o vrijednosti i važnosti geološke baštine i potrebi njezine zaštite i očuvanja.

Odredbama Zakona o zaštiti prirode nije obuhvaćena zaštita svih vidova vrijedne geološke baštine, niti je odgovarajuće zakonski sankcionirano ugrožavanje i uništavanje geološke baštine. Ne postoje ustrojstvene jedinice unutar tijela državne uprave, lokalne uprave i samouprave koja bi se bavila isključivo zaštitom i očuvanjem geološke baštine.

U Republici Hrvatskoj još nisu riješeni vlasnički odnosi, niti su osigurani izvori sredstava za obeštećivanje vlasnika zbog ograničenja korištenja njihovih posjeda, odnosno objekata stavljenih pod zaštitu, što značajno utječe na provedbu djelotvorne zaštite prirode, odnosno i geološke baštine.

Kako su pojedini dijelovi geološke baštine staništa biljnih i životinjskih vrsta, podloge za različite gradnje, eksploataciju mineralnih sirovina i drugih prirodnih dobara, turističku eksploataciju i dr., problematika zaštite geološke baštine vezana je gotovo za sva područja ljudske djelatnosti.

Strategija zaštite okoliša, odnosno strategija zaštite geološke baštine prvi je dokument kojim Republika Hrvatska sustavno i cjelovito planira djelatnost zaštite, očuvanja, korištenja i promicanja geološke baštine. Ovo je značajna prekretnica u tretmanu geološke baštine i shvaćanju njenog značaja za znanost, obrazovanje, turizam, održanje biološke i krajobrazne raznolikosti i dr.

Izradu strategije zaštite okoliša, odnosno geološke baštine prati i izrada Nacionalnog akcijskog plana za okoliš, odnosno akcijskog plana za geološku baštinu (financira se sredstvima darovnice Međunarodnog razvojnog fonda Svjetske banke za institucijsko jačanje u resoru zaštite okoliša), koji ima za cilj provedbu strategije zaštite okoliša usporedno sa gospodarskim razvojem naše zemlje.

Za djelotvorniju zaštitu i očuvanje geološke baštine potrebno je između ostalog žurno izmijeniti i dopuniti zakonsku i podzakonsku regulativu te formirati posebne ustrojstvene jedinice za zaštitu i očuvanje geološke baštine na lokalnoj razini. Potrebno je intenzivirati stručna i znanstvena istraživanja i pojačati medijsku promidžbu geološke baštine te osigurati dugoročnu podršku javnosti i institucija zaštiti geološke baštine. Isto tako treba nadzirati procese, radnje i djelatnosti koje ugrožavaju geološku baštinu i osigurati mehanizme za očuvanje i zaštitu geološke baštine. Odredbama novog Zakona o geološkoj djelatnosti bilo bi potrebno regulirati i zaštitu i očuvanje vrijedne geološke baštine.

Troškovi istraživanja i očuvanja geološke baštine, posebice krških (eko)sustava vrlo su veliki, pa je Hrvatskoj neophodna međunarodna pomoć i suradnja.

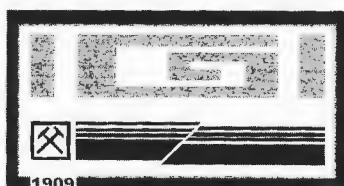
Kako je u našoj zemlji u tijeku proces obnove i intenzivne izgradnje infrastrukturnih i drugih objekata za očekivati je značajnije otkrivanje zasada nedostupnih vrijednih dijelova geološke baštine, posebice onih u podzemlju i podmorju.

8. LITERATURA

- BRAJKOVIĆ, M. (1996): Zaštita prirode glede eksploatacije mineralnih sirovina, Zakon o zaštiti prirode, Zakon o rudarstvu.- Znanstveno-stručni skup Zaštita prirode i okoliša i eksploatacija mineralnih sirovina, Priopćenje, 97-109, Varaždin.
- BRAJKOVIĆ, M., VELIĆ, I., GARAŠIĆ, M. & MARJANAC, T. (1999): Strategija zaštite okoliša, 9.2. Geološka baština, nacrt. - Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, Zagreb.
- GARAŠIĆ, M. (1995): Speleogeneza u okviru hidrogeologije krša i procesa karstifikacije.- 1. hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, 1, 177-182, Zagreb.
- GRIGORESCU, D. & ANDRASANU, A. (1997): Geosite database.- Proceedings of the Second General Assembly of the European Association for the Conservation of the Geological Heritage, Scientific conference, 10-14, Tallinn.
- HOFMANN, T. (1997): Nature is more than geo(topes) and bio(topes) - some holistic considerations.- Proceedings of the Second General Assembly of the European Association for the Conservation of the Geological Heritage, Scientific conference, 15-17, Tallinn.
- JOHANSSON, C.E. & WIMBLETON, W.A.P. (1997): Progeo: The European association for conservation of the geological heritage.- Proceedings of the Second General Assembly of the European Association for the Conservation of the Geological Heritage, Scientific conference, 29-31, Tallinn.
- WILDERMUTH, H. (1994): Priroda kao zadaća, priručnik praktične zaštite prirode u općinama, prijevod.- Državna uprava za zaštitu kulturne i prirodne baštine, 230-240, Zagreb.

9. IZVORI

- Earth science conservation in Great Britain, A strategy.- Nature conservancy council, 1990, 1991.
- Geološka naravna dediščina, Geotrip 97, Zbornik posveta.- Republika Slovenija, Ministarstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za varstvo naravo, Ljubljana, 1998.
- International declaration of the rights of the memory of the Earth.- 1st International Symposium on the Conservation of our Geological Heritage, Digne, France, 1991.
- Izješće o stanju okoliša Republici Hrvatskoj.- Državna uprava za zaštitu prirode i okoliša, 113-125, Zagreb, 1997.
- Strategija i akcijski plan zaštite biološke i krajobrazne raznolikosti Republike Hrvatske.- "Narodne novine", br. 81/94.
- Očito vanje o očuvanju i zaštiti geoloških spomenika prirode.- Institut za geološka istraživanja, Arhiv Ministarstva zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb, 1998.
- Propisi o zaštiti okoliša.- Sabor republike Hrvatske, Zastupnički dom, Odbor za prostorno uređenje i zaštitu okoliša, Stručna i poslovna knjiga d.o.o., Zagreb, 1997.
- Strategija prostornog uređenja Republike Hrvatske.- Ministarstvo prostornog uređenja, graditeljstva i stanovanja, Zavod za prostorno planiranje, 138-157, Zagreb, 1997.
- Upisnik zaštićenih dijelova prirode.- Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja, Zagreb.





Children's Geo-workshops in Geoconservation Programme - New Approach for Better Understanding of Geological Heritage

Ljerka MARJANAC¹ & Tihomir MARJANAC²

Key words: Geological heritage, Children, Workshop, Methodology, Education.

Abstract

Geo-workshops for children in primary and secondary schools have been organized for several times as special activity of the ProGEO Group of the Croatian Geological Society. Since May 1999 the Croatian Geological Society has been granted a financial support for the project "Geosites/geoparks - a list and database" by the State Office for non-governmental organizations. Three field geo-workshops and one indoor workshop have been successfully organized by now. The basic concept of the geo-workshops was to show professional methods of exploration or to give knowledge about the planet Earth through fun and entertainment. Participation in geo-workshops will, hopefully, result in growing awareness of the valuable geological heritage in Croatia and extending knowledge about our dynamic planet Earth.

FIELD GEO-WORKSHOPS

Three Children's workshops have been successfully organized by now, with intention to test children's research motivation on an artificial paleontological site. The workshop was a hole-day activity and involved children from four to 13-year-olds. We wanted to test their interest in paleontological exploration, and ability of understanding and concentration.

Children are motivated for all kinds of research, but we wanted to introduce them to professional scientific research methods. To save the valuable paleontological sites with fossil vertebrates from devastation, and still to introduce children to vertebrate research, we have decided to construct an artificial site which would resemble a real site as well as possible. The "site" was constructed next to an old degraded ditch behind a mountain hut in the foothills of the Medvednica Mt. near Zagreb.

The artificial outcrop was prepared by putting several layers of variously coloured soil and rock debris in total thickness of ca. 0.5 m over a surface of ca. 3 m, to

look as natural sediment. Fossil bones of various small and large mammals were placed in the deepest (the "oldest") layer simulating a real finding. These bones were surplus material donated by our Institute of Quaternary Palaeontology and Geology, with no scientific value. When the last layer of soil was set, we put some grass to get the natural appearance of the site.

A group of children was invited to the paleontological excavation site, and given a short introduction to the research methods and aims. They were given equipment (brushes and trowels) and taught how to prepare the site for excavation (construct the net) and how to "dig" for fossils and record layer thicknesses and composition, and how to mark their findings on the millimetre-paper, according to the methodology of professional paleontologists and archaeologists. The photographs show various steps of excavation.

After a few hours, when the fossil material was collected, they numerated their bones and drew them on the paper. Fossil bones were determined with help of volunteers from geological institutions. An exhibit about their work was set afterwards.

Results

- very natural appearance of the site was achieved, but it took a day's work of four;
- children have shown great interest regardless their age;
- their concentrated work on the "excavation site" lasted for three whole hours;
- they learned how to carefully excavate and how to treat fossil material;
- after a break they were able to concentrate for another two hours on determination and drawing the fossils that each of them found;
- children learned about fossil vertebrates, their anatomy and basic taxonomy - when the workshop finished, the involved children invited other kids to show them where and what they were doing, and they were very successful leaders.

¹Institute of Quaternary Paleontology and Geology, Croatian Academy of Sciences and Arts, A. Kovačića 5, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Division of Geology and Paleontology, Faculty of Sciences, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

INDOOR GEO-WORKSHOPS

A geo-workshop "GEO-radionica 2000" has been organized in Zagreb in cooperation with the Centre of Culture and Education Susedgrad. The programme planned for a whole day was assigned mainly to children of primary and secondary schools. It was based on practical work like modelling, drawing, constructing, casting within the following practicals:

- the structure and dynamics of a volcano (modelling a volcano in clay);
- make your own "fossil" (producing moulds of shells in plaster);
- your fantasy in rocks (making figures by gluing pebbles);
- geology in a puzzle (puzzles with pictures of dinosaur's world);
- geology in art work (drawing or painting geological motives like volcanoes, dinos etc.).

Students-animators, majoring for teachers of geology - geography, were instructed how to conduct groups of children interested in a particular task and how to introduce children to the topics shown on exhibited posters, by slide-shows or video-films.

Results

There were about 150 children participating in all practicals. The organized group of 50 came from several schools out of Zagreb. Many came upon announcement on the radio. Most of them stayed whole day. Children were predominantly interested in practical work while teachers and parents were concentrated on exhibited posters and expressed great interest in further happenings of this kind. Some discovered geology for the first time. Ability to concentrate more than two hours on a single task was amazing as well as their imagination.

CONCLUSION

Both types of geo-workshops for children have been very successful. Expressed interest from both sides, the children and the parents, was unexpectedly high. That gave guidelines how to prepare workshops in the future having in mind the number of participants.

The field geo-workshop was an interesting experiment which gave positive results and now we have a permanent location for the paleontological workshops where children learn about fossils and how to look for them and how to excavate them. The site is close to the town, but still in the natural environment. This workshop is a low-cost activity and an introduction to a geotrip which introduces children to real outcrops and focuses on geology, processes and structures.

The indoor geo-workshop showed how much children appreciate activities exceeding their school curriculum. Children in secondary school learn geology today as a part of the geography curriculum, but it is not told about by a geologist. Usually, there are no alternatives in geo sciences but the regular textbook. Not even the GLOBE project is covering geology yet.

An overall conclusion is that such geo-workshops are a very good methodological approach in order to make one learn more about geology of our planet Earth and especially recognize the geological heritage of our home-country and learn about its value and significance for the future.



Prirодно izvorište ugljikovodika kod Mikleuške - potencijalni rudarski spomenik u prirodi

The Natural Source of Hydrocarbons near Mikleuška - Potential Mining Monument in Nature

Berislav ŠEBEČIĆ¹, Zdenko ŠMIT² & Milan BELUŠIĆ³

Ključne riječi: bitumen, nafta, plin, onečišćenje, zagađenje, voda, tlo, Moslavina.

Key words: Bitumen, Crude oil, Gas, Contamination, Pollution, Water, Soil, Moslavina Region.

Sažetak

Prirодно onečišćenje i zagađenje vode i tla ugljikovodicima stalno se događa na nekoliko mjesta u dolini potoka Paklenice kod Mikleuške u Moslavini. Na devastiranom, napuštenom i dijelom zatrpanom ali neograđenom rudarskom oknu "Martin" postoji opasnost za ljude i životinje. Izlazeća voda iz okna nije za uporabu, a također i tlo uz curak vode s bitumenom. Voda je onečišćena tekućim ugljikovodicima.

Predlaže se sanirati ovo izvorište prirodnih ugljikovodika te pretvoriti ga u rudarski odnosno naftaški spomenik u prirodi.

Abstract

Natural contamination and pollution of water and soil with hydrocarbons is permanently occurring at several localities in the valley of the brook Paklenica near Mikleuška in the Moslavina Region. Humans and animals are endangered on the devastated abandoned, and partly filled-up, yet unfenced mining shaft named "Martin". The water outflowing from the shaft is not to be used, the same applies to the soil with bitumen close to the outflowing water. The water is contaminated with liquid hydrocarbons.

It is suggested that this source of natural hydrocarbons be reclaimed and transformed into a mining, or rather, crude oil monument in nature.

UVOD

U skladu sa strategijom zaštite okoliša iz "Zakona o zaštiti okoliša" (NARODNE NOVINE, 1994) predlažemo usmjeriti znanstveno-istraživački rad i na područje zaštite okoliša, gdje su vidljiva prirodna onečišćenja i zagađenja vode i tla ugljikovodicima, t.j. bitumenom, naftom i plinom na nekoliko mjesta u Moslavini, Slavoniji, Međimurju i dr. Kolika su takva zagađenja ili onečišćenja danas, o tome malo znamo ili ne znamo, jer takva sistematska ispitivanja nisu obavljena. Cilj takvih ispitivanja bio bi utvrditi koliko ugrožavaju lokalnu hidrografsku mrežu, odnosno bliske izvore vode. Što se tiče zagađenja tla, potrebno ga je ispitati uz vidljivo kretanje zagađene vode s bitumenom i naftom.

Svrha ispitivanja onečišćenih ili zagađenih voda i tla je da se ustanovi kolika su ona i koliko ugrožavaju život ljudi, životinja i bilja, te do kuda dopiru. Tamo gdje izvire nafta i bitumen u prošlosti su pretežno izvo-

deni rudarski radovi, odnosno kopana su rudarska okna, koja su danas većim dijelom zatrpana. Kako su takvi rudnici konfiscirani u bivšem državnom sustavu, to bi za sigurnost na takvim područjima trebala brinuti Vlada Republike Hrvatske iz svog izvanproračunskog fonda, koji bi se za takve potrebe mogao osnovati, te njeno odgovarajuće ministarstvo, državna uprava i županija (konkretno Sisačko-moslavačka) na području gdje se ovakvi prirodni izvori nalaze.

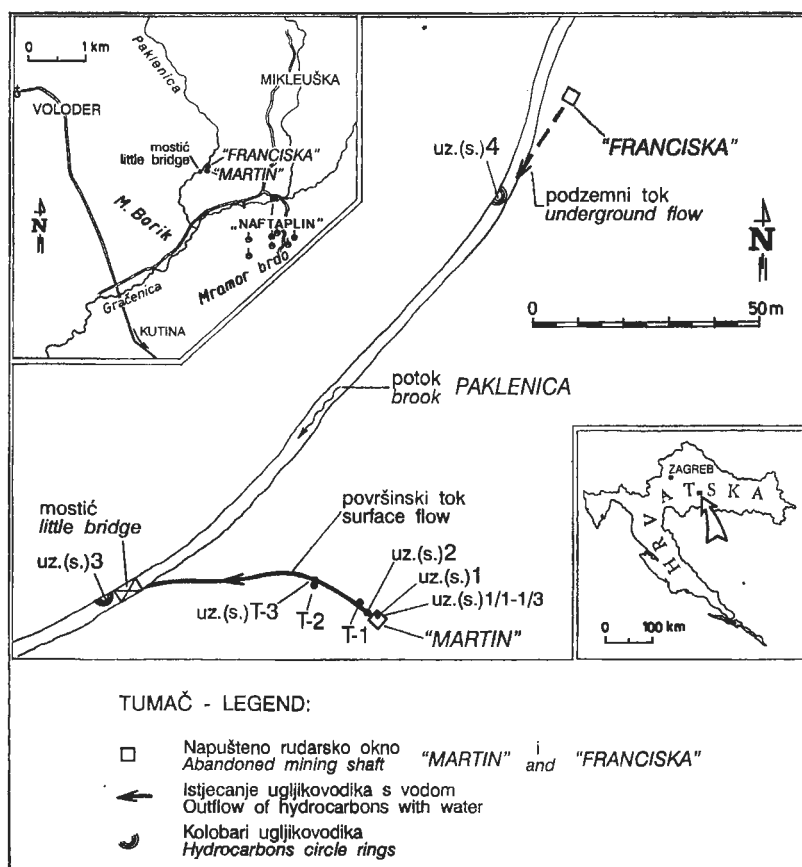
POZNATI NAPUŠTENI RUDNICI MOGU BITI TEHNIČKI SPOMENICI KULTURE, ODNOSNO RUDARSKI SPOMENICI U PRIRODI

U sklop graditeljske, odnosno šire tehničke baštine mogli bi se uvrstiti i poznati rudarski objekti ili njeni dijelovi, koje je čovjek učinio na površini i podzemlju tražeći i eksploatirajući neku sirovinu. Ti dijelovi ili

¹INA, Industrija nafte d.d., Sektor strateškog razvoja i istraživanja, Savska cesta 41/X, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

²Zavod za javno zdravstvo grada Zagreba, Služba za zdravstvenu ekologiju, Mirogojska 16, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

³"Polimeri" d.o.o., Laboratorij za ispitivanje polimera, analitiku i ekologiju, Žitnjak b.b., HR-10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Položajna karta napuštenih rudarskih okana "Martin" i "Franciska", gdje su eksploatirani ugljikovodici (nafta i bitumen).

Fig. 1 Location map of the abandoned mining shafts "Martin" and "Franciska" in which hydrocarbons (crude oil, bitumen) used to be exploited.

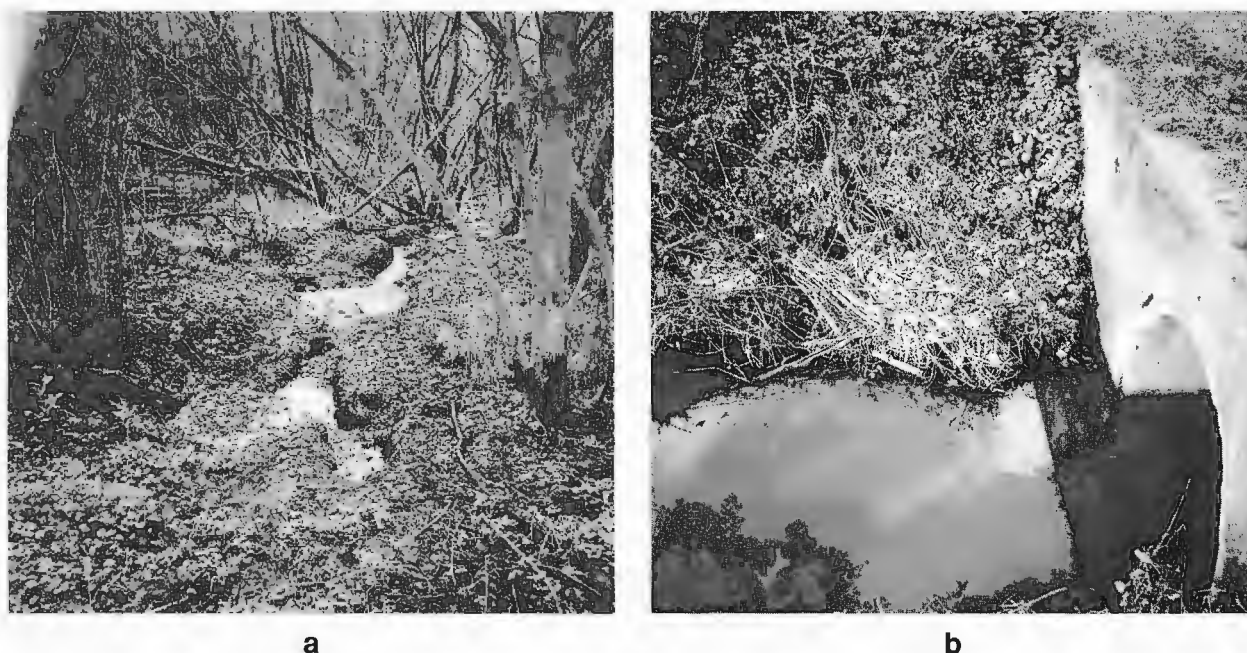
cjeline mogu se proglasiti rudarskim muzejom u prirodi, jer su oni spomenici tehničke gradnje rudarskih objekata, koji mogu imati i svoje kulturno obilježje, kao na pr. halštatska kultura pronadena u istoimenom rudniku soli u Austriji. Tu spadaju tehnička obilježja određenog vremena tj. stari rudarski alati, rudarske svjetiljke, tip gradnje rudarskih radova, i druga materijalna sredstva čime su se koristili rudari i sl.

Spomenik prirode je geološki, **minerološki (ili u užem smislu rudni)**, paleontološki, geomorfološki, hidrološki, botanički i zoološki spomenik u kojem, ili na kojem, u njegovoj blizini nisu dopuštene radnje što ugrožavaju njegova obilježja. Spomenik prirode proglašava županijska skupština ili Gradska skupština (za grad Zagreb) uz prethodno pribavljenu suglasnost Ministarstva kulture za kulturno-povijesnu vrijednost spomenika. Po novom to čini Ministarstvo zaštite okoliša i prostornog uređenja. Za dijelove prirode, koje proglašava županijska skupština, obavijest o pokretanju postupka dostavlja poglavarstvo.

Stručni i turistički obilazak rudarskog muzeja u prirodi ili nekoliko bliskih rudarskih muzeja u prirodi, uključujući i rudarske zbirke u muzejima koji ih sadrže, može proširiti dnevnu ponudu turističkih agencija ili hotela, te dati novi sadržaj seoskom ili gradskom turizmu. U sklopu sanacije jednog jačeg onečišćenja, kao što je okoliš okna "Martin", mogao bi se rekonstruirati mali rudarski pogon za dobivanje bitumena i nafte iz XIX. ili XX. stoljeća. On bi mogao poslužiti kao muzej

u prirodi, tj. biti turistička atrakcija i mjesto za edukaciju daka i studenata. Naime, to hrvatsko naftno rudarstvo i zaslužuje s obzirom na dugo strateško značenje bitumena, a zatim nafte u gospodarstvu Hrvatske. U izgradnji rudarskog, odnosno naftnog muzeja u prirodi mogla bi učestvovati INA - Industrija nafte d.d., poglavito Naftaplin, zatim Croscio i dr., jer je to interdisciplinarni i financijski zahtjevan posao (ŠEBEČIĆ, 1998).

Potrebno je istaknuti da je okno "Martin" bilo eksploatirano od 1865-1943., a crpljenje je obavljalo pet do šest radnika najprije ručno, pa konjskom zapregom, te konačno motorom. Dnevno je vađeno 600-1000 litara sirovine, koja je prerađivana u "šmirani", tj. tvornici kolomasti u kojoj je radilo 20-tak radnika iz obližnjih sela do 1890., a zatim je sirovina bila prevažana u 200 litarskim bačvama na željezničku stanicu, gdje je pretakana u cisterne, a potom prevažana u rafinerije Zidani Most i Beč. Okno "Martin" bilo je duboko 72 m, a od 54 m dubine okna vodio je 54,5 m dugi hodnik s 9 pobočnih hodnika dužine 10-15 m (-20 m). Kroz ove hodnike bitumen, odnosno oksidirana nafta se cijedila u 17 m dubok taložnik, odakle je vadena na površinu (ŽGALJIĆ, 1984). Okno "Franciska" udaljeno je 120 m od okna "Martin". Bilo je pliće i znatno manje izdašno. Iz opaske u PODJELBENOJ KNJIZI (1859-1865) može se konstatirati da je u rudarskom oknu "Martin" i "Franciska" bilo više zastoja u radu 6-8 mjeseci (1866-1868.), pa i više godina što je uredno produljavano od 1905-1915 god. Bilo je također poziva za obnavljanje



Sl. 2 a) Istjecanje ugljikovodika s vodom iz napuštenog okna "Martin". Onečišćenje potoka Paklenica ugljikovodicima iz okna "Martin".

Fig. 2 a) Outflow of hydrocarbons with the water from the abandoned shaft "Martin". b) The Paklenica brook pollution with hydrocarbons from the "Martin" shaft.

rada u rudarskim oknima između 1905-1911. Posljednje obustave rada su dozvoljene na oba rudarska okna do 30.VI.1938. U zaleđu Mikleuške je otkriveno 1949. naftno-plinsko polje "Mramor Brdo" i 1958. naftno-plinsko polje "Voloder". Dnevno je proizvađano 200-300 t nafte (BOBIĆ & GRETIĆ, 1994).

U sklopu organiziranog posjeta rudarskom oknu "Martin" s autobusom ili minibusom, moglo bi se posjetiti eksploatacijsko polje "Mramor Brdo" i/ili obližnja jezgraona. Tu bi posjetilac mogao steći zorniji uvid u dio naftno-geoloških istraživanja, a uz film o INI d.d. potpunije sagledati njen doprinos u gospodarstvu Hrvatske. Cilj naftaškog muzeja u prirodi nije samo pokazati kako je nekada eksploatirana nafta i bitumen, već i kako zbrinuti prirodna onečišćenja i zagađenja vode i tla ugljikovodicima na jednom njihovom izvoru.

LOKACIJE ONEČIŠĆENJA I ZAGAĐENJA VODE I TLA TE NJIHOVO UZORKOVANJE I METODE ISPITIVANJA

Na istočnoj padini doline potoka Paklenice (sl. 1), na širem području Mikeuške, prospektirana su 2 davno napuštena i pretežno zatrpana rudarska okna "Martin" i "Franciska". U njima ima vode s time da iz okna "Martin" ona izlazi na površinu zajedno s ugljikovodicima i utječe u potok Paklenicu 42 m od okna. U oknu "Franciska" na površini stajaće vode nisu vidljivi kolobari od ugljikovodika, ali su vidljivi 26 m od okna u potoku Paklenici gdje izlaze s podzemnom vodom.

Uzorkovanja vode s kolobarima ugljikovodika, što su obavljena početkom listopada 1998. i krajem ožujka

1999. ukazuju da se vrlo bliske lokacije pojavljivanja ugljikovodika kod mosta (sl. 1) u potoku Paklenica (sl. 2b) vežu za curak vode s oksidiranom naftom, odnosno bitumenom iz napuštenog rudarskog okna "Martin" (sl. 2a), a kolobari u potoku jugozapadno od napuštenog rudarskog okna "Franciska" za moguće podzemno istjecanje iz tog okna. U oba navrata prospekcije je konstatirano da vidljivih tragova ugljikovodika na površini vode okna "Franciska" nema. Pri zabadanju dugačke drvene motke u okno došlo je do vidljivog izlaženja plina, tj. metana.

Iz okna "Martin" uzorkovan je prirodni bitumen, odnosno smjesa ugljikovodika s 0,2 m dubine (uzorak 1/1), s 2 m (- 0 m, tj. do ušća okna) dubine (uz. 1/2) i s 4 m (- 0 m) dubine (uz. 1/3). S dubinom uzorkovanja povećava se sadržaj vode u litrenom uzorku, što ukazuje da bi se eventualno mogli povremeno eksploatirati pripovršinski dijelovi napuštenog okna "Martin", ili da se iscrpi voda (s bitumenom) iz okna, te obavlja eksploatacija na način kako je to nekada obavljano (ŽGALJIĆ, 1984).

Uzrokovanja tla zagađenog i onečišćenog curkom (az. 315-320°) vode s ugljikovodicima iz okna "Martin" obavljena su nakon raskopavanja tla lateralno od toka curka, a bio je i jedan pokušaj uzorkovanja u curku s vodom i bitumenom. Zagađenje s bitumenom najveće je u pripovršinskom dijelu curka i ono se smanjuje s dubinom. Zbog stalnog dotoka vode s bitumenom nije se mogla ručno otkopati sredina curka da se ustanovi koliko duboko doseže, odnosno penetrira bitumen u tlo. Sigurno je da u sredini curka bitumen penetrira u dubinu oko 0,5 m. Zagađenje je jakog intenziteta do 4 cm dubine, djelomičnog intenziteta od 4 do 15 cm, a slabog

1. Gustoća (Density)	0,960 cm ³ /g na 15°C	ASTM D 1 298 / 90
2. Viskoznost (Viscosity) ¹	30,8 mm ² /s	ASTM D 446 / 93
3. Sadržaj vode (Water content)	0,3 % vol	ASTM D 95 / 90
4. Točka tečenja (Pour point)	-5°C	ASTM D 97 / 93
5. Zatvoreno plamište (Closed flash point)	> 110°C	ASTM D 93 / 94
6. Otvoreno plamište - Cleveland (Open flash point)	140°C	ASTM D 92 / 90

Tablica 1 Fizička svojstva ugljikovodika iz okna "Martin". ¹Viskoznost se nije mogla odrediti u izvornom materijalu radi prisutnosti lakih ugljikovodika i vode. Navedena vrijednost odgovara uzorku koji je nekoliko dana bio na sobnoj temperaturi.

Table 1 Physical properties of hydrocarbons from the "Martin" shaft. ¹Viscosity in the original material could not be determined due to the presence of light hydrocarbons and water. The stated value corresponds to the sample staying a few days at the room temperature.

intenziteta dublje od 15 cm. Širina curka je oko 0,5-1,0 m. Lateralno od curka po 0,5 m na obe bočne strane gubi se zagadenje i onečišćenje s bitumenom.

Određena je količina ugljikovodika u uzorcima vode i tla primjenom metode infracrvene spektroskopije (IR) te kombinacijom plinske kromatografije i spektrometrije masa (GC - MS) (US EPA METHOD, 8270). Također su određena fizikalna svojstva smjese ugljikovodika i to gustoća, viskoznost, sadržaj vode, točka tečenja, zatvoreno i otvoreno plamište, te specifična vodljivost, kemijska potrošnja kisika, sadržaj fenola, ulja i aromata u uzorcima vode.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA O NJIMA

U dolini potoka Paklenice postoji nekoliko nalazišta ugljikovodika, koja su istraživana, a najveća od njih bila su i eksploatirana rudarskim oknima u XIX. i XX. stoljeću. Nakon prekida eksploatacije u II svjetskom ratu i konfiskacije rudnika, malo se brinulo o zaštiti devastiranih rudarskih objekata, tako da je njihov okoliš sada neograđen i slabo osiguran pa predstavlja latentnu opasnost za ljude i životinje, a što se protivi Zakonu o

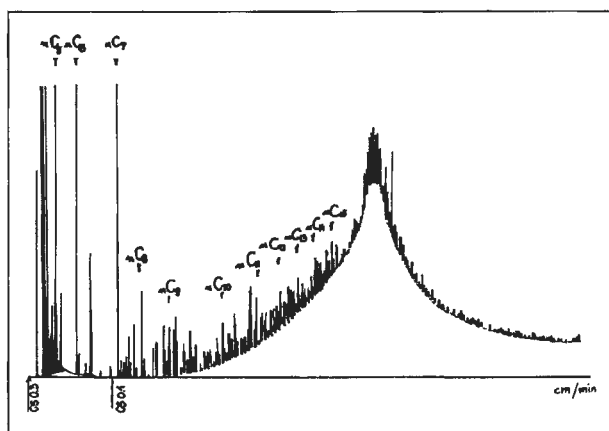
rudarstvu (NARODNE NOVINE, 1995). O konkretnom primjeru trebala bi brinuti Sisačko-moslavačka županija, međutim ako bi se brinulo o sanaciji više napuštenih rudarskih okana u različitim dijelovima Hrvatske, tada bi to trebala učiniti Vlada Republike Hrvatske, tj. navedeno Ministarstvo i Državna uprava za vode. S tim u vezi trebala bi Vlada oformiti komisiju, koja bi na temelju studije utjecaja na okoliš donijela rješenja za svaki pojedinačni zahvat. Katastar takvih onečišćenja i zagadenja trebao bi utemeljiti županijski ured nadležan za poslove zaštite okoliša, u suradnji sa Ministarstvom zaštite okoliša i prostornog uređenja, a u skladu sa Zakonom o zaštiti okoliša (NARODNE NOVINE, 1994).

Uzorku smjese ugljikovodika s dubine 0,2 m iz okna "Martin" ispitana su neka fizička svojstva, čije su veličine prikazane u tablici 1. Uzorak sadrži nešto lakih ugljikovodika i vode.

Na temelju ovih analiza (tablica 1) ne može se još dovoljno zaključiti o uporabi smjesa ugljikovodika iz okna "Martin", pa bi stoga trebalo provesti još raznovrsnija njihova ispitivanja.

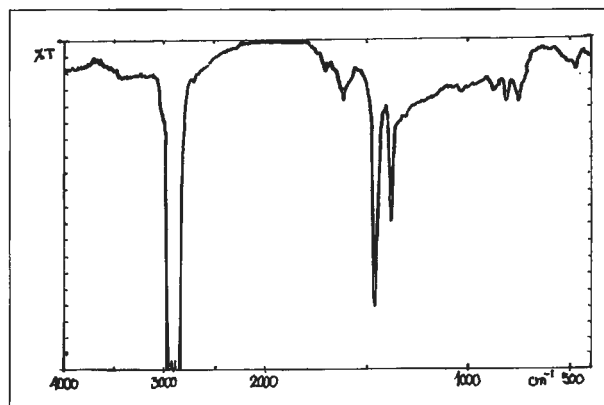
Uzorcima vode s ugljikovodicima

Sadržaji fenola u uzorcima vode sa 2 m i 4 m iz okna "Martin", te iz okna "Franciska" su < 0,01 mg/L (ASTM D 1783/94). Sadržaji mineralnih ulja u vodi iz okna "Martin" na 2 m je 16 mg/kg, a na 4 m je 4,5



Sl. 3 Kromatogram plinske faze bitumena (Head space, 100°C). Kolona DB-1, 30 m x 0.53 mm.

Fig 3 Chromatogram of the bitumen gaseous phase. Column DB-1, 30 m x 0.53 mm.



Sl. 4 IR-spektar smjese ugljikovodika iz uzorka 1.

Fig 4 IR-spectrum of the hydrocarbon masses from sample 1.

Redni broj Ord. No.	Vrsta i opis uzorka Type and description of sample	Rezultat identifikacije i količina sastojaka Identification result and quantity of components
1.	ulje (oil), okno (shaft) "Martin" uzorak (sample) 1, sl. (fig.) 1, 2a	smjesa ugljikovodika (hydrocarbon mixture)
2.	voda (water), okno "Martin", uzorak (sample) 1	smjesa ugljikovodika, ukupne masti i ulja 54,0 mg/L (total lipids and oils) mineralna ulja (mineral oils) 27,0 mg/L
3.	voda, potok Paklenica površinski utok iz okna "Martin" kod mostića (surface inflow from the "Martin" shaft by the little bridge), uzorak 3, sl. 1, 2b	smjesa ugljikovodika i oksidacijskih produkata (mixture of hydrocarbons and oxidation products) ukupne masti i ulja 31,3 mg/L mineralna ulja 20,8 mg/L
4.	voda (water), potok Paklenica, podzemni utok iz okna "Franciska" (underground inflow from the "Franciska" shaft), uzorak 4, sl. 1	smjesa ugljikovodika i oksidacijskih produkata ukupne masti i ulja 30,0 mg/L mineralna ulja 20,0 mg/L
5.	tlo (soil), nedaleko okna "Martin" (in the vicinity of "Martin" shaft), uzorak T-1, sl. 1	smjesa ugljikovodika
6.	tlo, nedaleko okna "Martin" uzorak T-2, sredina curka (the central part surface inflow), 0,2 m	smjesa ugljikovodika
7.	tlo, nedaleko okna "Martin" uzorak T-2, sredina curka, 0,5 m	smjesa ugljikovodika

Tablica 2 Rezultati ispitivanja vode, tla i ulja iz nalazišta kod Mikleuške u Moslavini.

Table 2 Water, soil and oil investigations results from occurrences Mikleuška in Moslavina.

mg/kg, te iz vode okna "Franciska" 3,6 mg/L (DIN 38 409/90). Sadržaji aromata su < 0,1 mg/L. Kemijska potrošnja kisika (KPK) u oknu "Martin" je na 2 m dubine 110 mg O₂/L, a na 4m 40 mg O₂/L, dok u oknu "Franciska" KPK = 20 mg O₂/L. Mjerenjem specifične vodljivosti vode iz rudarskog okna "Martin" utvrđeno je da se one ne razlikuju na 2 m i 4 m dubine od ušća okna, jer su 559 μS/cm, međutim malo se razlikuju u pH, jer im je 7,2 na 2 m i 7,0 na 4 m dubine.

U pripovršinskom uzorku vode iz okna "Franciska" specifična vodljivost je 423 μS/cm, što ukazuje da je ona tu manja, međutim pH joj je malo veći, tj. 7,4. Sadržaj ulja u vodi iz okna "Franciska" je 3,6 mg/kg, a aromata < 0,1 mg/L.

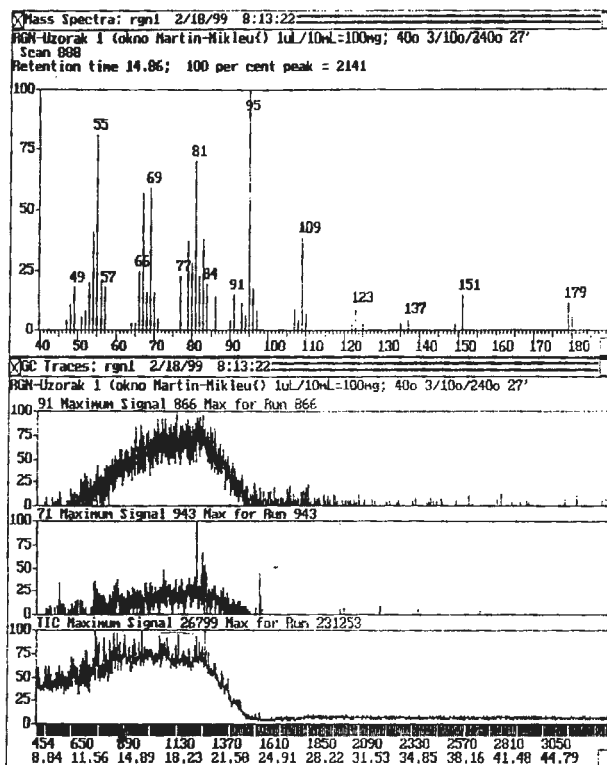
Prema Uredbi o klasifikaciji voda (NARODNE NOVINE 1998) zbog visokog sadržaja mineralnih ulja i visoke potrošnje kisika ispitani uzorci spadaju u V. i IV. vrstu voda, pa se ne mogu rabiti ni za kakvu namjenu, bez obzira što su im pH i specifična provodljivost vrlo povoljni (I. i II. vrsta voda). Prirodno onečišćenje s fenolima i aromatima također ne dozvoljava primjenu ove vode za piće i u industrijama gdje se zahtjeva kvalitetna voda.

Sadržaj ugljikovodika u uzorku vode i bitumena

Prema kvalitativnoj "head space" analizi u uzorku vode i bitumena prisutni su laki ugljikovodici (C₁ - C₅) i ugljikovodici nafte (sl. 3) te ugljikovodici bitumena. Iz odnosa lakih ugljikovodika proizlazi da su okna "Martin", a vjerojatno i "Franciska" povezani dubinski s naftom i prirodnim plinom.

Ispitani su uzorci iz rudarskog okna "Martin", uzorci iz potoka Paklenice te uzorci tla uz curak i iz sredine curka iz okna "Martin" (sl. 1). Pregled tih ispitivanja prikazan je u tablici 2.

Svi ispitani uzorci vode i tla su prema utvrđenim osobitostima kontaminirani ugljikovodicima. Osobitosti u uzorcima vode u potoku Paklenica nastale su najvjerojatnije uslijed uobičajenih reakcijskih produkata fotokemijskih reakcija. Količina lipofilnih tvari u ispitanim uzorcima vode varira od 30 do 54 mg/L, a za ugljikovodike (mineralna ulja) od 20 do 27 mg/L. Na sl. 4 prikazan je karakteristični IR-spekter uzoraka 1, a na sl. 5 spektrogram masa, također uzorka 1.



Sl. 5 Spektrogram masa ugljikovodika uzorka 1.

Fig. 5 Spectrogram of the sample 1 hydrocarbon masses.

LITERATURA

- BOBIĆ, N. & GRETIĆ, N. (1994): Moslavina, kolijevka proizvodnje nafte, Godina 1917. - prvo plinsko polje Bujavica uz tešku grmljavinu (7).- Vjesnik INE, 18. lipnja, Zagreb.
- NARODNE NOVINE (1994): Zakon o zaštiti okoliša.- Narodne novine, 82, 2373-2383, Zagreb.
- NARODNE NOVINE (1995): Zakon o rudarstvu, pročišćen tekst.- Narodne novine, 35, 1093-1102, Zagreb.
- NARODNE NOVINE (1998): Uredba o klasifikaciji voda.- Narodne novine, 77, 1754-1759, Zagreb.
- PODJELBENA KNJIGA (1859-1865): Podjelbena knjiga II (109).- Rudarsko satništvo Zagreb, Hrvatski državni arhiv.
- ŠEBEČIĆ, B. (1998): Rudarski muzeji u prirodi.- Rudarstvo, geologija i nafta na kraju XX. stoljeća. Konferencija rudarske, geološke i naftne struke, XXIII. Skok preko kože, 11, Zagreb.
- ŽGALJIĆ, J. (1984): Nafta na našem tlu.- Razvoj naftne privrede. 2. dopunjeno izdanje, Zagreb, 283 str.



FILBIS d.o.o.

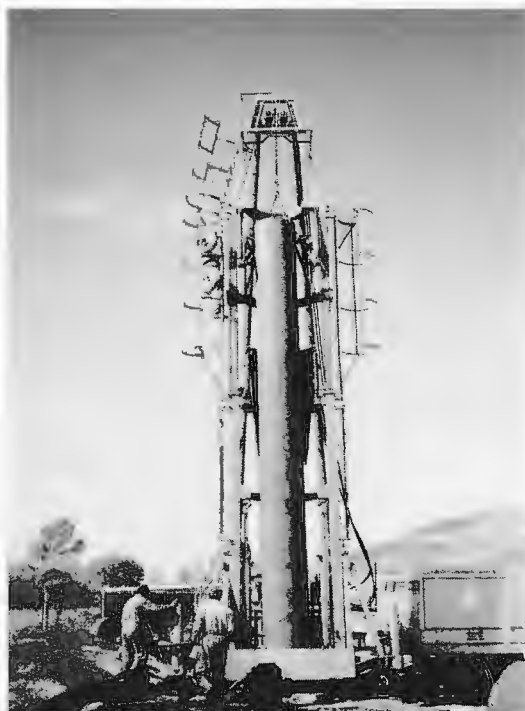
ZA INŽENJERING PROIZVODNJU I TRGOVINU

Sjedište : 10020 Zagreb, Šrapčeva 5; tel/fax 01 2338 793, 2338 794, 228 437

Predstavništvo: 33404 Korja; Nazorova c. 1, tel 033 738 088, 738 189, fax 033 738 188

E-mail filbis: filbis@zg.tel.hr

VODOISTRAŽNI I VODOZAHVATNI RADOVI



METODA :

- udarna
- rotacijska
(direktna, reversna)
- laviranjem
- hammer drill

PROMJER BUŠENJA :

- do 1500 mm

DUBINA BUŠENJA :

- do 800 m

SMJER BUŠENJA :

- vertikalno
- horizontalno
- koso

ZASTUPSTVO I PRODAJA PUMPI ZA VODU I SISTEMA ZA NAVODNJAVANJE

PUMPE, proizvod :

- caprari, Italija
- Nijhuis, Nizozemska

SISTEMI ZA NAVODNJAVANJE, proizvod :

- Pioggia Carnevali, Italija

Tragovi koje smo ostavili po brojnim lokalitetima



geotehnički studio

10 000 Zagreb / Milivoja Matošeca 3

Tel. / Fax.:
385 / 1 / 37 35 483, 37 35 227, 37 34 323

E mail:
geotehnicki-studio@zg.tel.hr



karst

d.o.o. za geotehničke radove

Sjedište Zagreb

10 000 Zagreb / Milivoja Matošeca 3

Tel. / Fax. : 385 / 1 /
37 35 483, 37 35 227, 37 34 323

E mail:
geotehnicki-studio@zg.tel.hr

Podružnica Pula

52 000 Pula / Arsena Vivode 29

Tel. / Fax.
385 / 52 / 506 917

Djelatnosti Geotehničkog studija d.o.o. ;

geotehnički istražni radovi, geotehničko projektiranje, geotehnički nadzor, konzultanske geotehničke usluge.

Djelatnosti Karsta d.o.o. ;

provedba istražnih radova, mikropiloti, piloti srednjeg i velikog promjera, geotehnička sidra, bušeni drenovi, hidrotehničke konstrukcije, zaštite građevinskih jama, duboke temeljne konstrukcije, potporne konstrukcije, injektiranje, sanacija spomenika kulture.



d.o.o. za građevinarstvo i usluge

**istraživački programi,
studije, projekti,
konzalting, nadzor
monitoring, atesti**

**laboratorijsko testiranje
injekcijskih smjesa**

**izvođenje
injekcijskih radova
konsolidacijsko
injektiranje,
injekcijske zavjese,
probna injekcijska,
polja, sidra,
injektiranje tunela,
sanacija**

**projektiranje stambenih
i poslovnih građevina**

akumulacije

**nasute
brane**

**injekcijske
zavjese**

nasipi

**hidrotehničke
građevine**

kanali

klizišta



**Okučanska 30
10000 Zagreb
Croatia**

Tel/fax:

**+ 385 1/ 25 81 21
+ 385 1/ 25 81 20
+ 385 1/ 298 94 17**

E-mail:

hidroinzenjering@zg.tel.hr

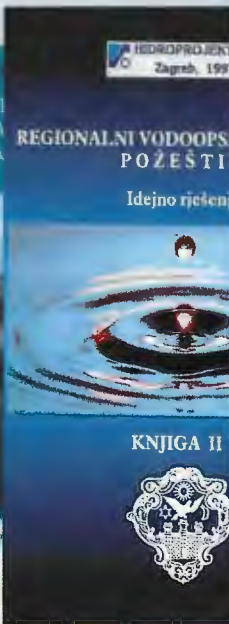


HIDROPROJEKT-ING

10000 Zagreb, Draškovićeva 35/1, tel./fax: 01/4553-141, 4553-146



GRADA METKOVA



2000





HRVATSKE VODE

Ulica grada Vukovara 220
10000 Zagreb - Hrvatska

Telefon 01 6307 333
Telefax 01 6151 793

HRVATSKE VODE
SU TVRTKA KOJA UPRAVLJA
DRŽAVNIM I LOKALNIM VODAMA

DJELUJE ŠIROM HRVATSKE
KROZ VODNOGOSPODARSTVENE
ODJELE I ISPOSTAVE U TRIDESETIDVA GRADA

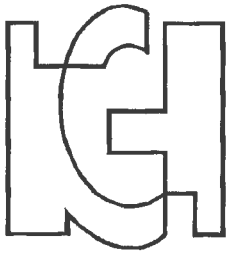


KAMEN PAZIN

Poduzeće za proizvodnju, obradu i montažu arhitektonsko-građevnog kamena
The firm for the production, elaboration and montage of architectural-building stone

Trg Slobode, 2 - 51400 PAZIN - phone 00385 52 624-242 - fax 00385 52 624-441





Obavlja radove iz sljedećih područja:

TERENSKI ISTRAŽNI RADOVI

- Inženjerska geologija i hidrogeologija
- Geotehničko istražno bušenje
- Ispitivanje tla "in situ"
 - Geofizička ispitivanja
 - Ispitivanje svojstava tla statičkim penetrometrom, presiometrom, dilatometrom i krilnom sondom
 - Ispitivanje vodopropusnosti presio-permeametrom i pokusnim crpljenjem

LABORATORIJSKA ISPITIVANJA

- Klasifikacijska ispitivanja tla
- Statička ispitivanja mehaničkih osobina tla i stijena
- Dinamička ispitivanja mehaničkih osobina tla

VISOKOGRADNJA

Projektiranje i nadzor nad izvedbom.

- Plitko i duboko temeljenje
- Osiguranje građevnih jama

HIDROTEHNIČKE GRAĐEVINE

Projektiranje, kontrolna i tekuća ispitivanja i nadzor nad izvedbom.

- Nasute brane

- Hidrotehnički tuneli
- Hidrotehnički nasipi
- Temeljenje crpnih stanica
- Pokusni i eksploatacijski bunari malog promjera

PROMETNE GRAĐEVINE

Geotehničko projektiranje, kontrolna i tekuća ispitivanja i nadzor nad izvedbom.

- Usjeci, zasjeci i nasipi
- Temeljenje mostova
- Potporne konstrukcije
- Stabilizacija klizenja
- Tuneli i podzemne prostorije

POSEBNE AKTIVNOSTI

- Geotehnika u zaštiti okoliša
- Seizmička mikrozonacija
- Pokusno opterećenje pilota
- Motrenje građevina u izgradnji i korištenju
- Mehanika stijena u naftnom inženjerstvu
- Revizije, vještačenja
- Razvoj geotehničke opreme i mjernih uređaja

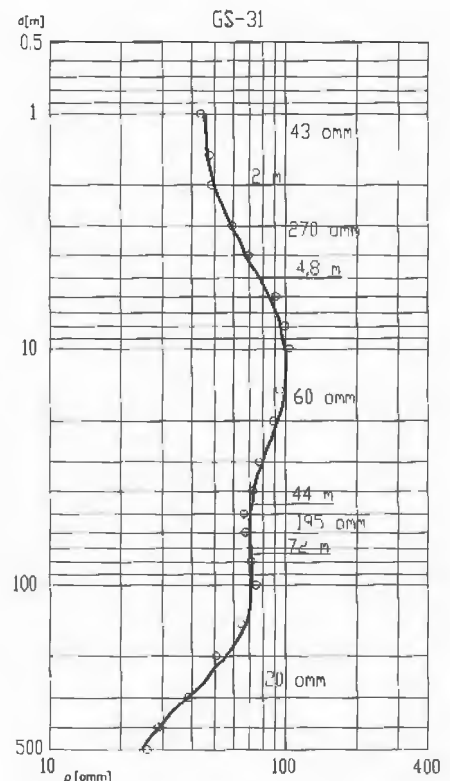


d.o.o.

ZA PRIMJENJENU GEOFIZIKU, PROJEKTIRANJE, ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ZAGREB

GEOFIZIČKA ISTRAŽIVANJA PRIMJENJENA NA:

- regionalnim hidrogeološkim istraživanjima
- regulaciji vodenih tokova
- konstrukcijama autocesta i željezničkih pruga, tunela, mostova i vijadukata
- branama, nasipima i akumulacijama
- konstrukcijama industrijskih objekata, luka, stambenih naselja i turističkih objekata
- studijama i sanacionim radovima klizišta
- sanacionim radovima spomenika kulture
- istraživanju rudnih ležišta
- radovima otvorenih kopova i kamenoloma
- seizmološkim opažanjima
- seizmičkim i geotehničkim kategorizacijama gradskih područja, područja brana, industrijskih i povijesnih objekata
- ekološkim i arheološkim istraživanjima
- istraživanjima na odlagalištima otpadnih materijala



Moho: Mohorovičićev diskontinuitet, seizmički diskontinuitet koji razdvaja koru Zemlje od njene unutarnje ljuske. Nalazi se 25 - 40 km ispod kontinenata, a 50 do 60 km ispod pojedinih planinskih područja. Svojestven mu je skokovit porast brzine P - valova sa 6.5 - 7.2 km/s na 7.8 - 8.5 km/s, porast brzine S - valova sa 3.7 - 3.8 km/s na 4.8 km/s i porast gustoće sa približno 2.9 g/cm³ na 3.3 g/cm³. Kontinentalni moho je vjerojatno različit od oceanskog. Refraktirani val označava se sa Pn. Nazvan po hrvatskom seizmologu Andriji Mohorovičiću.

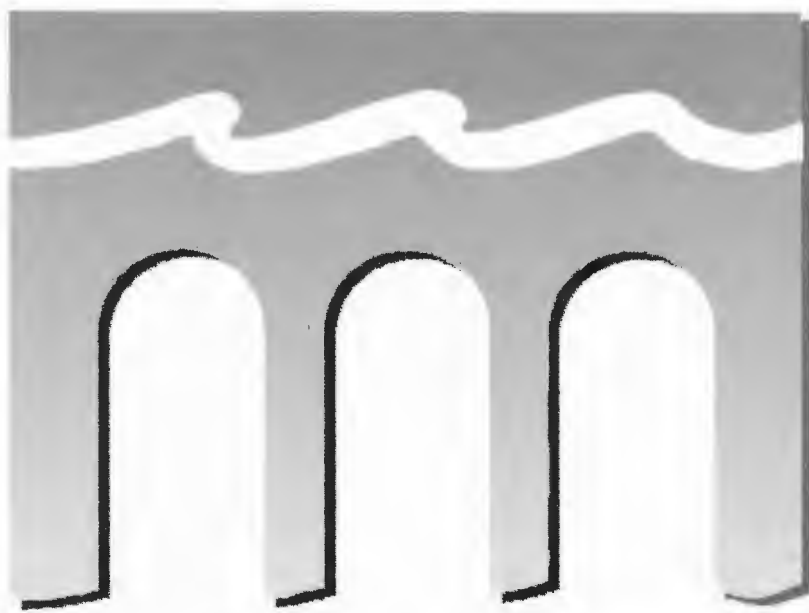
Izvor: Robert E. Sheriff, Encyclopedic Dictionary of Exploration Geophysics, 1984.

MOHO d.o.o. Sv. Mateja 127, 10 000 Zagreb

tel: 683 586, 660 27 46 ; faks: 683 586;

mobitel: 098 410 820;

e-mail: moho@zg.tel.hr



VODOVOD I
KANALIZACIJA



S P L I T