

**3. Hrvatski geološki kongres**  
Third Croatian Geological Congress  
Opatija, 29.09.–01.10.2005.

# **Knjiga sažetaka** **Abstracts Book**



**Urednici – Editors:**

**Ivo Velić, Igor Vlahović & Ranko Biondić**

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society

Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

Prirodoslovno-matematički fakultet – Faculty of Science

Rudarsko-geološko-naftni fakultet – Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

INA-Industrija nafte d.d.

ZAGREB, 2005

### **3. Hrvatski geološki kongres**

#### **Third Croatian Geological Congress**

Opatija, 29.09.–01.10.2005.

#### **Organizatori – Organized by:**

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society  
Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey  
Prirodoslovno-matematički fakultet – Faculty of Science  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet – Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
INA-Industrija nafte d.d.

#### **Pokrovitelji – Sponsored by:**

Ministarstvo znanosti, prosvjete i športa – Ministry of Science, Education and Sport  
of the Republic of Croatia  
Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva – Ministry of Economy, Labour and Entrepreneurship  
of the Republic of Croatia  
Sveučilište u Zagrebu – University of Zagreb

#### **Organizacijski odbor Organizing Committee**

Dubravko MATIČEC – President  
Mato PIKIJA – Vice President  
Ranko BIONDIĆ – Treasurer  
Vladimir BERMANEC  
Renata BREZINŠČAK  
Renato BULJAN  
Dinko DUJMIĆ  
Vladimir JURAK  
Tomislav MALVIĆ  
Jasenka SREMAC  
Damir TAKAČ  
Bruno TOMLJENOVIĆ

#### **Počasni odbor Honorary Committee**

Ivan GUŠIĆ  
Milan HERAK  
Ivan JURKOVIĆ  
Vladimir MAJER  
Branko SOKAČ  
Stjepan ŠČAVNIČAR

#### **Znanstveni odbor Scientific Committee**

Ivo VELIĆ - President  
Andrea BAČANI  
Vlasta ČOSOVIĆ  
Domagoj JAMIČIĆ  
Vladimir JURAK  
Ladislav PALINKAŠ  
Ante PAVIČIĆ  
Darko RUKAVINA  
Josip SEČEN  
Darko TIBLJAŠ  
Josip TIŠLJAR  
Josipa VELIĆ  
Igor VLAHOVIĆ

**ISBN 953-6907-07-0**

**Izdavač – Published by:** Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

**Urednici – Edited by:** Ivo Velić, Igor Vlahović & Ranko Biondić

**Tisak – Printed by:** PAGIgraf – Tipomat, Zagreb

**Izdano – Issued:** rujan 2005, 350 primjeraka – September 2005, 350 copies

**3. Hrvatski geološki kongres**  
Third Croatian Geological Congress  
Opatija, 29.09.–01.10.2005.

# **KNJIGA SAŽETAKA**

# **ABSTRACTS BOOK**

Urednici – Editors:

Ivo Velić, Igor Vlahović & Ranko Biondić

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society  
Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey  
Prirodoslovno-matematički fakultet – Faculty of Science  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet – Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering  
INA-Industrija nafte d.d.

**Autori su odgovorni za sadržaj svojih sažetaka**  
**The authors are responsible for the contents of their abstracts**

## SADRŽAJ – CONTENTS

### Geologija – Geology

ALJINOVIĆ, D., BARUDŽIJA, U., KUŠAN-ŠPALJ, D. & NEMETH-EHRLICH, D.: Litotipovi travertina na arheološkom lokalitetu <i>Aquae Iassae</i> – Varaždinske Toplice, Hrvatska ( <i>Travertine Lithotypes of the Archaeological Site Aquae Iassae – Varaždinske Toplice, Croatia</i> ).....	3
AVANIĆ, R., PÉCSKAY, Z., WACHA, L. & PALINKAŠ, L.: K–Ar Dating of Glauconitic Sediments in Macelj Mt. (NW Croatia).....	5
BALEN, D.: New Pieces to the Croatian Part of Tisia Jigsaw Puzzle: Role of Age Dating, Geothermobarometry and Accessory Minerals in Transforming of “Simple” Insight Into a Future Complex Model.....	7
BALEN, D., HORVÁTH, P., TOMLJENOVIĆ, B., FINGER, F., HUMER, B., PAMIĆ, J. & ÁRKAI, P.: P-T Conditions and Age of Medium-Grade Metamorphism in the Micaschists from the Kutjevačka Rijeka Transect (Slavonian Mts., Croatia).....	9
BARIŠIĆ, M.: Višekomponentna (4C) seizmika i primjena 4C seizmičkih podataka ( <i>Multicomponent (4C) Seismics and Using 4C Seismic Data</i> ).....	11
BELAK, M., KOCH, B., GRGASOVIĆ, T., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I., SOKAČ, B. & BENČEK, Đ.: Novi prinos stratigrafiji evaporitno–karbonatno–klastično–vulkanogenog kompleksa Komiškog zaljeva (otok Vis, Hrvatska) ( <i>New Contribution to the Stratigraphy of Evaporitic–Carbonate–Clastic–Volcanogenic Complex of Komiža Bay (Island of Vis, Croatia)</i> ).....	13
BIŠEVAC, V., BALEN, D., TIBLJAŠ, D., ŠPANIĆ, D., JUDIK, K. & ÁRKAI, P.: Determination of Thermal Alterations in Metapelites from the “Radlovac Formation” (Slavonian Mts.) Using Illite Kübler Index, Chlorite “Crystallinity” and Vitrinite Reflectance: Preliminary Results.....	15
BRAJKOVIĆ, D., MALEZ, V., MAUCHLENARDIĆ, J., KARAVANIĆ, I. & MICULINIĆ, M.: Rezultati dosadašnjih istraživanja novog pleistocenskog lokaliteta na Marleri u južnoj Istri ( <i>The Recent Results of Investigations of a New Pleistocene Locality on Marlera in Southern Istria</i> ).....	17
BUCKOVIĆ, D.: The Repetition of the Cycles – Another Autocyclic Explanation.....	19
CHIKÁN, G.: The Role of Geological Mapping in the Economic Evaluation of a Territory (The New Map of Mecsek Mts., Hungary).....	21
CRNJAKOVIĆ, M., ŠOUFEK, M., MIKULČIĆ PAVLAKOVIĆ, S., BUKOVEC, D. & LACKOVIĆ, D.: O pelagozitu iz petrografske zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja ( <i>On Pelagosite from the Petrographic Collection of the Croatian Natural History Museum</i> ).....	23
CVETKO TEŠOVIĆ, B., BUCKOVIĆ, D., KORBAR, T., JELASKA, V. & GUŠIĆ, I.: Facies Diversity and Environmental Significance of Aptian–Albian Platform Deposits of Mt. Svilaja (Dalmatia, Croatia).....	25
ČIČIĆ, S. & SKOPLJAK, F.: Stratigrafija i tektonika terena u području slapa Skakavac kod Sarajeva ( <i>Stratigraphy and Tectonics of the Area of Waterfall Skakavac near Sarajevo</i> ).....	27
ĆOSOVIĆ, V., BOČKAJ, D., ŽEŽELJ, K., ČUIĆ, M., KOCŠIS, L., TIBLJAŠ, D. & MORO, A.: Distributional Trends of <i>Globigerinoides ruber</i> vs. <i>Globigerina bulloides</i> in the Sediments Recovered from Piston Core Amici 99–02 from the Mid Adriatic Deep (Adriatic Sea).....	29
DALIĆ, N., MALVIĆ, T. & VELIĆ, J.: Različiti udjeli u povećanju ukupnog iscrpka iz paleozojsko–mezozojskih litofacijesa na poljima Molve i Kalinovac ( <i>Different Portions in Increment of Total Recovery Obtained from Paleozoic–Mesozoic Lithofacies at the Fields Molve and Kalinovac</i> ).....	31
ĐEREK, T. & JAPUNDŽIĆ, S.: Interpretacija paleoklime na temelju fiziognomije fosilnih listova lokaliteta Radoboj (Hrvatsko zagorje, Hrvatska) ( <i>Paleoclimate Interpretation of Radoboj (Hrvatsko Zagorje, Croatia) Based on the Fossil Leaves Physiognomy</i> ).....	33
ENOS, P., WASHBURN, E.L., FRANSEEN, E.K. & HERMAN, D.A.: Carbonate-Filled Incised Valleys, Upper Carboniferous, Midcontinent, USA.....	35
GARAŠIĆ, V., VRKLJAN, M., TADEJ, N., MAJER, V., ĐOMLIJA, P. & GARAPIĆ ŠIFTAR, G.: Volcanic Rocks of the Island Vis (Adriatic Sea, Croatia).....	37
GLUMAC, B., CVETKO TEŠOVIĆ, B., MEZGA, A. & TEWKSBURY, C.M.: Reconstructing the Environments of a Jurassic Park: Petrographic and Stable Isotope Analysis of Carbonate Rocks with Dinosaur Footprints from Istria.....	39
GRANDIĆ, S. & KOLBAH, S.: Mesozoic–Early Tertiary Carbonate Platforms and Intraplatform Basins of the Wider Periadriatic Area.....	41

GRGASOVIĆ, T., HALAMIĆ, J., SLOVENEC, D., GORIČAN, Š., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & FILJAK, R.: Dezintegracija ruba trijaskе karbonatne platforme: primjer iz Belskog dola, Ivanščica (SZ Hrvatska) ( <i>Triassic Platform-Edge Disintegration: A Case Study from Belski Dol, Ivanščica Mt. (NW Croatia)</i> ).....	43
GRIZELJ, A., TIBLJAŠ, A., MIKNIĆ, M. & KOVAČIĆ, M.: Carbon and Oxygen Isotope Characteristics of Pannonian–Pontian Marl and Ostracode Samples of Hrvatsko Zagorje, Croatia.....	45
GRIZELJ, A., TIBLJAŠ, D. & KOVAČIĆ, M.: Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Upper Miocene Pelitic Sediments of Hrvatsko Zagorje.....	47
HAJEK-TADESSE, V., MIKO, S. & SOKAČ, A.: Koncentracija i omjer Ca, Mg, Sr i Mn u ljušturama gornjobadenskih ostrakoda, Pokupsko – Hrvatska ( <i>Concentrations and the Ratios of Ca, Mg, Sr and Mn in the Upper Badenian Ostracods Valves, Pokupsko – Croatia</i> ).....	49
HASIOTIS, S.T.: Utility of Continental Trace Fossils for Paleoenvironmental, Paleoecologic, Paleohydrologic and Paleoclimatic Reconstructions.....	51
HEĆIMOVIĆ, I.: Morfostrukturna građa Baranje ( <i>Morphostructural Fabric of Baranja</i> ).....	53
HERNITZ KUČENJAK, M., PREMEC FUČEK, V. & SLAVKOVIĆ, R.: Planktonic Foraminiferal Turnover at the Eocene/Oligocene Boundary (Palmyra Region, Syria).....	55
HRVATOVIĆ, H.: Zlatonosno područje Bakovići–Kreševo (centralna Bosna) ( <i>Bakovići–Kreševo Auriferous Area (Central Bosnia)</i> ).....	57
HUSINEC, A. & READ, J.F.: Fischer Plots Track Accommodation Changes in Mesozoic Adriatic Platform.....	59
HUSINEC, A. & READ, J.F.: Late Jurassic Facies Stacking Patterns in the Interior of the Adriatic Platform: Evidence for Greenhouse Climate in Mesozoic Cool Mode.....	61
JELASKA, V., BUCKOVIĆ, D., CVETKO TEŠOVIĆ, B., GUŠIĆ, I., JURKOVŠEK, B., KOLAR JURKOVŠEK, T. & KORBAR, T.: Mesozoic Succession of Mt. Svilaja and Signatures of the Main Geodynamic Events..	63
JOVANOVIĆ, R.: Alluvial Fan of Crvene Stene (Permian–Lower Triassic, Western Serbia).....	65
JURAČIĆ, M. & BENAC, Č.: Tidal Notches and Recent Tectonics.....	67
JURKOVIĆ, I.: Paleozoic Iron Ore Occurrences in the Medvednica Mountain, Croatia.....	69
KLEIN, V. & JOVIČIĆ, D.: Zamaskirana prstenasta struktura Poreč ( <i>Masked Ring-Like Structure of Poreč</i> ).....	71
KORBAR, T., HUSINEC, A., PALENIK, D., FUČEK, L., VLAHOVIĆ, I. & SOKAČ, B.: Stratigrafija krednih naslaga otoka Visa (Jadransko more, Hrvatska) ( <i>Stratigraphy of Cretaceous Deposits of the Island of Vis (Adriatic Sea, Croatia)</i> ).....	73
KOVAČIĆ, M., MIKNIĆ, M., BAKRAČ, K., GRIZELJ, A., WACHA, L. & VRSALJKO, D.: Gornjomiocenska regresija u jugozapadnom rubnom području Panonskog bazena (Žumberak, Republika Hrvatska) ( <i>Late Miocene Regression on the SW Margin of the Pannonian Basin (Mt. Žumberak, Croatia)</i> ).....	75
KOVAČIĆ, M., AVANIĆ, R., BAKRAČ, K., HEĆIMOVIĆ, I., FILJAK, R. & MORIĆ, M.: Gornjomiocenski sedimenti Dilj gore ( <i>Late Miocene Sediments of Dilj Mt.</i> ).....	77
KRIŽ, J., FORŠEK, G., IVKOVIĆ, Ž. & LUČIĆ, D.: Otkriće ugljikovodika u Siriji – karbonski, permski i trijaski naftno-geološki sustavi ( <i>Hydrocarbon Discoveries in Syria – Carboniferous, Permian and Triassic Petroleum Systems</i> ).....	79
KUKAVICA, V., IVANOVIĆ, I. & JANKOV, J.: Seizmičke karakteristike gornjopanonskih ležišta u Savskoj depresiji ( <i>Seismic Characteristics of the Upper Pannonian Reservoirs in the Sava Depression</i> ).....	81
KUKAVICA, V., DAL ZOTTO, O. & VIDAČEK, R.: 3D seizmička interpretacija plinskog polja Annamaria ( <i>3D Seismic Interpretation of the Annamaria Gas Field</i> ).....	83
LEŠKO, J., JASNIĆ, L., KREŠIĆ, A., TOMAŠIĆ, D., ŠPANIĆ, D. & TROSKOT-ČORBIĆ, T.: Basin Modeling and Hydrocarbon Potential of Northwestern Part of the Hayan Block, Syria.....	85
LUGOVIĆ, B., TARI KOVAČIĆ, V. & MILETIĆ, M.: Voluminous Lower Pleistocene Volcaniclastic Deposits from the Central and Northern Adriatic Off-Shore (Croatia): Where Were the Edifices?.....	87
LUKŠIĆ, B., MRINJEK, E., PENCINGER, V. & SREMAC, J.: Benkovac Stone – Storm Influenced Shallow Shelf Sediments of Promina Group.....	89
LUŽAR-OBERITER, B., CRNJAKOVIĆ, M., BABIĆ, Lj. & ZUPANIĆ, J.: Provenance of Beach Sands from the Island of Rab: Evidence from Heavy Minerals.....	91
MÁRTON, E., MORO, A. & ČOSOVIĆ, V.: A Preliminary Report on Paleomagnetic Investigations of the Cretaceous Limestones, Istria.....	93
MATEJ, S., KUNŠTEK, Z., MATKOVIĆ, M. & VANIČEK, V.: Utjecaj tektonike na raznolikost facijesa u području bazena istočne Drave ( <i>Tectonic Controls on Facies Variability in East Drava Area</i> ).....	95
MEZGA, A., CVETKO TEŠOVIĆ, B. & BAJRAKTAREVIĆ, Z.: New Discovered Dinosaur Tracks in the Upper Albian of Istria, Croatia.....	97

MIKO, S., MESIĆ, S., FORENBAHER, S. & BELAK, M.: Archeometric Analysis of Bronze Age Potsherds from Vrana Lake (Cres Island): A Study of Provenance and Dating of Slope Processes.....	99
MIKŠA, G., MEZGA, A. & ĆOSOVIĆ, V.: An Example of Mixed Echinoid Fauna from the Lutetian of Grdoselo, Central Istria.....	101
MIKULČIĆ PAVLAKOVIĆ, S., CRNJAKOVIĆ, M. & TIBLJAŠ, D.: Redeterminacija uzoraka kvartarnih sedimentata otoka Suska iz petrografske zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja ( <i>Redetermination of the Samples of Susak Island Quaternary Sediments from the Petrographic Collection of the Croatian Natural History Museum</i> ).....	103
MIKUŽ, V.: Eocenski ježinci Istre ( <i>Eocene Echinoids from Istria</i> ).....	105
PALENIK, D., KORBAR, T., BELAK, M., FUČEK, L., MATIČEC, D. & VLAHOVIĆ, I.: Strukturni sklop otoka Visa ( <i>Structural Complex of the Island of Vis</i> ).....	107
PEZELJ, Đ.: Late Badenian Deep-Water Microfossil Association from the Locality St. Barbara in Medvednica Mt. (Croatia).....	109
PIKELJ, K., JURAČIĆ, M. & TIBLJAŠ, D.: The Origin of Sediments Surrounding Jabuka Islet and Jabuka Shoal. 111	111
PIKIJA, M., VRSALJKO, D., MIKNIĆ, M., HORVAT, M., GALOVIĆ, I. & SLOVENEK, D.: Sedimenti nižeg miocena Dilj gore ( <i>Lower Part of Miocene Deposits of Dilj Mt.</i> ).....	113
PLEIĆ, M. & SMOLJANOVIĆ, S.: Seizmička interpretacija i geološki model plinskog polja Vučkovec ( <i>Seismic Interpretation and Geological Model of Vučkovec Gas Field</i> ).....	115
PREMEC-FUČEK, V. & ŽIVKOVIĆ, S.: Paleoeological and Paleogeographical Controls on the Middle to Late Eocene Planktonic Foraminiferal Assemblages of the Southwestern Croatia.....	117
PRLJ-ŠIMIĆ, N. & KRIZMANIĆ, K.: Prvi nalaz fosilne zmijače u donjem trijasu Hrvatske (Zmijavac, Gornji Muć) ( <i>First Finding of the Fossil Ophiuroidea from the Early Triassic of Croatia (Zmijavac, Gornji Muć)</i> )... 119	119
RAŠKAJ, N., DJAČANIN, D., IVANIČEK, Z. & SOKOLOVIĆ, B.: Sedimentary Architecture and Reservoir Properties of Middle Triassic Carbonates: Examples From the Syrian Well MRAH-2 (Core No. 3).....	121
SAFTIĆ, B. & VELIĆ, J.: Mogućnosti geološkog odlaganja otpada iz naftnog rudarstva u hrvatskom dijelu Panonskog bazena ( <i>Possibilities for Geological Sequestration of Waste from Petroleum Engineering in Croatian part of the Pannonian Basin</i> ).....	123
SLADOVIĆ, Ž., FUTIVIĆ, I. & DURN, T.: New Technique in Attribute Analysis on Bačkovica Gas Field.....	125
SLAVKOVIĆ, R., PREMEC-FUČEK, V. & HERNITZ KUČENJAK, M.: Osobitosti građe kućica eocenskih planktonskih foraminifera snimljenih skenirajućim elektronskim mikroskopom (SEM) ( <i>Wall Textural Elements of the Eocene Planktonic Foraminifera Examined Under the Scanning Electron Microscope (SEM)</i> ).....	127
SLOVENEK, D. & LUGOVIĆ, B.: Pumpellyiti u mafitnim ekstruzivnim stijenama iz ofiolitnog melanža Medvednice (Hrvatska) ( <i>Pumpellyite in the Extrusive Mafic Rocks from the Ophiolite Mélange of the Medvednica Mt. (Croatia)</i> ).....	129
SOKOLIĆ, M.M. & SAHADŽIĆ, S.: Geological Model of Annamaria Gas Field.....	131
SREMAC, J., PEZELJ, Đ., MILETIĆ, D., VESELI, V., BRAJKOVIĆ, D., MIKŠA, G., ZEČEVIĆ, M., JUNGWIRTH, E., TUKAC, I. & MRINJEK, E.: Miocene Sediments in the Quarry Donje Orešje in SE Medvednica Mt. (N Croatia).....	133
STANKOVIĆ, D., MESIĆ, I.A., IVANIČEK, Z., HERNITZ KUČENJAK, M. & PREMEC-FUČEK, V.: Upper Campanian to Maastrichtian Foraminiferal Assemblages of the Palmyra Region, Syria.....	135
STRMIĆ PALINKAŠ, S., BOROJEVIĆ ŠOŠTARIĆ, S., PALINKAŠ, L., BERMANEC, V. & BOEV, B.: The Ore Forming Fluids in the Allchar Polymetallic Ore Field, FYR Macedonia.....	137
STRMIĆ PALINKAŠ, S., PALINKAŠ, L. & SPANGENBERG, J.E.: Organic Geochemistry of Lokve Stratabound Barite Deposit, Gorski Kotar, Croatia.....	139
SURIĆ, M., JURAČIĆ, M. & HORVATINČIĆ, N.: Kvartarni okoliši: zapisi promjena uvjeta u okolišu u sigama iz podmorja istočnog Jadrana ( <i>Quaternary Environment: Records of Environmental Changes from the Submarine Speleothems in Eastern Adriatic</i> ).....	141
ŠEGVIĆ, B., LUGOVIĆ, B. & IGNJATIĆ, S.: Petrochemical and Geotectonic Characteristics of Amphibolites from the Zagorje–Mid-Transdanubian Shear Zone (Mt. Kalnik, Croatia).....	143
ŠORŠA, A. & HALAMIĆ, J.: GIS Technology as a Tool for Production of Basic Geological Map of the Republic of Croatia, Scale 1:50,000.....	145
ŠPARICA, M., KOCH, G., IBRAHIMPAŠIĆ, H., GALOVIĆ, I. & BERGANT, S.: Novi prinosi stratigrafiji paleogenskih klastično-karbonatnih naslaga jugoistočnog dijela Istre, Hrvatska ( <i>New Contributions to Stratigraphy of Paleogene Clastic–Carbonate Deposits from Southeastern Istria, Croatia</i> ).....	147

ŠPARICA, M., KOCH, G., MIKO, S., ŠPARICA-MIKO, M., BERGANT, S., BAČANI, A., ALAJBEG, A., VILIČIĆ, D., DOLENEC, T., GALOVIĆ, I. & IBRAHIMPAŠIĆ, H.: Recentni sedimenti Morinjskog zaljeva (Srednji Jadran, Hrvatska): njihovo podrijetlo i problem antropogenog onečišćenja ( <i>Holocene Sediments from Morinje Bay (Central Adriatic, Croatia): Their Features and Problem of Anthropogenetic Pollution</i> )....	149
ŠUMANOVAC, F., FILIPOVIĆ, I., OREŠKOVIĆ, J. & ALP 2002–RADNA GRUPA: ALP 2002 – Dvodimenzionalno seizmičko modeliranje na profilima ALP01 i ALP02 ( <i>ALP 2002 – Two-Dimensional Seismic Modelling on ALP01 and ALP02 Profiles</i> ).....	151
ŠUMANOVAC, F. & ALP 2002–RADNA GRUPA: ALP 2002 – Istraživanja litosfere na području Alpa i Dinarida ( <i>ALP 2002 – Exploration of Lithosphere in the Area of Alps and Dinarides</i> ).....	153
TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I.: Paleogeografija i okoliši taloženja u juri zapadnog dijela Jadranske karbonatne platforme na području Hrvatske ( <i>Jurassic Paleogeography and Depositional Environments of Western Part of the Adriatic Carbonate Platform in Croatia</i> ).....	155
TOMLJENOVIĆ, B.: Sinmetamorfni stukturalni sklop niskometamorfni stijena središnjeg dijela Medvednice ( <i>Synmetamorphic Structural Fabric in Low-Grade Metamorphic Rocks from the Central Part of Mt. Medvednica</i> ).....	157
VELIĆ, I.: "Misterij dogera": foraminiferske zajednice i stratigrafska raščlamba srednjorskih naslaga u krškim Dinaridima (Jadranska karbonatna platforma) ( <i>Benthic Foraminifera Assemblages and Stratigraphic Subdivision of the Middle Jurassic in Karst Dinarides (Adriatic Carbonate Platform)</i> ).....	159
VRBANAC, B. & VANIČEK, V.: Facies of the Upper Pannonian Sediments in Sava Depression (Northern Croatia)	161
ŽIVKOVIĆ, S. & GLUMAC, B.: Stable Isotope Composition of Middle Eocene Benthic Foraminifera from the Pazin Basin (Istria, Croatia): A Record of Paleocyanographic Changes.....	163

### Geološko inženjerstvo – Geological Engineering

ANDRIĆ, M.: Značaj metode seizmičke plitke refleksije u istraživanjima podzemlja u kršu ( <i>Importance of Shallow Seismic Reflection Method for Underground Explorations in Karst</i> ).....	167
BABINKA, S., SUCKOW, A., HORVATINČIĆ, N., KAPELJ, J. & KAPELJ, S.: Multi-Tracer Approach in the Karst Waters and Lake Sediments in the Plitvice Lakes and Una River (EU Project ICA2–ct–2002–10009)..	169
BAŠAGIĆ, M. & SKOPLJAK, F.: Vodonosnost kvartarnih naslaga Sarajevskog polja ( <i>Yield of the Quaternary Sediments in the Sarajevo Field</i> ).....	171
BENAC, Č., JURAK, V., OŠTRIĆ, M., HOLJEVIĆ, D. & PETROVIĆ, G.: Pojava prekomjerne erozije u području Slanog potoka (Vinodolska dolina) ( <i>The Phenomenon of Excessive Erosion in the Area of Slani Potok (Vinodol Valley)</i> ).....	173
BERMANEC, V. & TOMAŠIĆ, N.: Mineral Composition of Sediments Along Highway Section Krapina–Macelj, NW Croatia.....	175
BIONDIĆ, D. & BARBALIĆ, D.: Količine površinskih voda na izvorišnoj zoni Gacke ( <i>Surface Water Quantities at the Gacka Spring Zone</i> ).....	177
BIONDIĆ, R., PRESTOR, J., KAPELJ, S. & DOLIĆ, S.: Slovenski Snežnik – visoka zona sliva izvora grada Rijeke ( <i>Slovenian Mt. Snežnik – Upper Zone of Rijeka Springs Catchment Area</i> ).....	179
BIONDIĆ, R., BIONDIĆ, B. & DUKARIĆ, F.: Hidrogeološki model zaslanjenja na crpilištu Dobrica u Bakarskom zaljevu ( <i>Hydrogeological Model of Salinization on Water-Supply Spring Dobrica in Bakar Bay</i> ).....	181
BORTEK, Ž. & PODUNAVAC, B.: Mineralne sirovine za cementnu industriju tvrtke Našicecement d.d. – Nexe Grupa ( <i>Mineral Raw Material for Cement Industry in Našicecement d.d. – Nexe Group</i> ).....	183
BULJAN, R., POLLAK, D. & PEŠT, D.: Inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke stijenske mase duž hidrotehničkog tunela Čiovo ( <i>Engineering-Geological and Hydrogeological Rock Mass Characteristics Along the Hydrotechnical Tunnel Čiovo</i> ).....	185
DUIĆ, Ž.: Neki načini primjene geostatističkih analiza u hidrogeologiji ( <i>Some Aspects of Geostatistical Analysis Applying in Hydrogeological Structures</i> ).....	187
DUKARIĆ, F., BIONDIĆ, R., BLAGUS, Z. & KOLARIĆ, J.: Utjecaj ponora na onečišćenje podzemne vode u slivu izvorišta Kupice i Zeleni Vir ( <i>The Influence of Ponnors on Pollution of the Groundwater in the Springs Area of Kupica and Zeleni Vir</i> ).....	189
GARAŠIĆ, M.: Speleogeološko istraživanje kaverni uz trase autocesta u hrvatskom kršu ( <i>Speleogeological Research of Caverns in Trace of the Highways in Croatian Karst</i> ).....	191
HALAMIĆ, J., ŠAJN, R., PEH, Z., GOSAR, M. & GALOVIĆ, L.: Heavy Metals in the Alluvial Sediments of the River Drava (Croatia, Slovenia).....	193

HORVAT, S. & VESELINOVIĆ, M.: Identifikacija grešaka i nedostataka informacija u bazi hidrogeoloških objekata korištenjem TLP aplikacije ( <i>Identification of Data Errors or Data Deficiency in Hydrogeological Database Using TLP Application</i> ).....	195
KAPELJ, S., KAPELJ, J., BIONDIĆ, R., SINGER, D. & PICER, M.: The Approach of the Groundwater Vulnerability Assessment in the Area of the Zadar Town with Regard to PCB and Other Contaminants.....	197
KOVAČIĆ, M.: Osvrt na trenutno korištenje geotermalnih voda u Hrvatskoj ( <i>Exploitation of Geothermal Waters in Croatia – A Review</i> ).....	199
KRUK, B., LUKŠIĆ, B., KASTMÜLLER, Ž., PENCINGER, V., KRUK, Lj., CRNOGAJ, S. & PEH, Z.: The Map of Mineral Resources of Croatia and GIS.....	201
KUHTA, M. & BRKIĆ, Ž.: Ispitivanje pojave zaslanjenja vodozahvata Dobrica spuštanjem razine preljeva ( <i>Assessment of Salinization by Spillway Lowering at Dobrica Water Supply Facility</i> ).....	203
KUHTA, M., STROJ, A. & TOMAŠIĆ, M.: Ocjena iskoristivosti rudničkih voda na primjeru okna Labin ( <i>Evaluation of Mining Water Usability on the Example of the Labin Shaft</i> ).....	205
MARKOVIĆ, T., LARVA, O., KAPELJ, S. & BRKIĆ, Ž.: Istraživanje uslojenosti vodonosnika primjenom hidrogeokemijskih pokazatelja na primjeru zagrebačkog vodonosnika ( <i>Hydrochemistry of a Layered Aquifer: Case Study of Zagreb's Aquifer</i> ).....	207
MAUKO, A., MLADENOVIĆ, A., BRUNDIN, J.A. & MIRTIČ, B.: Deterioration of Ventilated Stone Facades with Special Emphasis on Bowing Phenomena – Field Examples from Slovenia.....	209
MIHALIĆ, S.: Geološki informacijski sustav ( <i>Geological Information System</i> ).....	211
MIHALIĆ, S. & VUJNOVIĆ, T.: Zoniranje po opasnosti od klizanja na području sliva potoka Starča (Samoborsko gorje) ( <i>Landslide Hazard Zonation of Starča Basin (Mt. Samoborsko Gorje)</i> ).....	213
MIKLIN, Ž., SORIĆ, O. & DOLIĆ, M.: Model klizišta u naslagama ponta na području Medvednice ( <i>Landslides Model for Pontian Deposits on Medvednica Mt.</i> ).....	215
MIKO, S., ŠPARICA MIKO, M., PEH, MESIĆ, S., HASAN, O. & BUKOVEC, D.: Atmospheric Lead Pollution of Croatian Mountain Karst: Geochemical Mapping and Lead Isotope Evidence.....	217
MIRKOVIĆ, O. & NOVOSEL, T.: Primjena georadara u istraživanju krša – primjer s vijadukta Božiči, dionica Tunel Sv. Rok–Maslenica ( <i>Application of GPR in Karst Exploration – An Example from Božiči Viaduct, Section Tunel Sv. Rok–Maslenica</i> ).....	219
MRAZ, V. & KRSNIK, M.: Utjecaj temperature podzemne vode na geoelektričnu otpornost u karbonatnim vodonosnicima na primjeru Harine Zlake – Hrvatsko zagorje ( <i>The Influence of Groundwater Temperature on Electrical Resistivity in Carbonate Aquifers in Harina Zlaka – Hrvatsko Zagorje</i> ).....	221
MUNDA, B. & MATIĆ, N.: Vodoistražni radovi na otoku Olib ( <i>The Water Investigations on the Island Olib</i> ).....	223
NAKIĆ, Z.: Application of the Analytic Element Model in the Delineation of the Well Field Protection Zones: The Case of Lužani, Croatia.....	225
NAVRATIL, D., BLAGUS, Z. & MLINAR, Ž.: Inženjerskogeološke značajke lokacije mosta “Cetina” ( <i>Engineering Geological Properties on Location of The Bridge “Cetina”</i> ).....	227
PAVIČIĆ, A., KAPELJ, S. & KAPELJ, J.: Hidrogeološki i hidrogeokemijski aspekt zaštite krških izvorišta Muškovci i Berberi buk ( <i>Hydrogeological and Hydrogeochemical Aspect of Sanitary Protection of Karst Springs Muškovci and Berberi Buk</i> ).....	229
POLLAK, D., VUIĆ, V. & MITROVIĆ, G.: Inženjerskogeološke značajke područja tunela “Grič” ( <i>Engineering-Geological Characteristics of the Tunnel “Grič” Area</i> ).....	231
RUBINIĆ, J. & ZWICKER, G.: Dinamika recentnog rasta sedrenih barijera Plitvičkih jezera ( <i>Recent Growth Dynamics of Travertine Barriers of the Plitvice Lakes</i> ).....	233
SCHUBERT, G.: The New Hydrogeological Map of Austria 1:500.000.....	235
SLIŠKOVIĆ, I., BULJAN, R. & GULAM, V.: Hidrogeologija sliva Imotskog polja i gornjeg toka rijeke Tihaljine ( <i>Hydrogeology of the Imotsko Polje Catchment Area and the Upper Part of the Tihaljina River</i> ).....	237
ŠAJN, R. & GOSAR, M.: Pollution in Slovenia Owing to Mining and Metallurgy.....	239
ŠAJN, R., GOSAR, M. & TERŠIČ, T.: Environmental Impacts of An Abandoned Mercury Mine St. Ana (Slovenia).....	241
ŠAJN, R., PEH, Z., HALAMIĆ, J., MIKO, S. & GALOVIĆ, L.: Experimental Geochemical Map of Croatia and Slovenia.....	243
ŠESTANOVIĆ, S., BARČOT, D. & DEČMAN, A.: Špilje u hidrotehničkom tunelu “Vela Luka” ( <i>The Natural Caves in the “Vela Luka” Hydrotechnical Tunnel</i> ).....	245
TERZIĆ, J., KAPELJ, J., BERGANT, S., MITROVIĆ, G. & KRSNIK, M.: Hidrogeološki istraživački radovi na sjevernom dijelu otoka Silbe ( <i>Hydrogeological Research of the Northern Part of the Island of Silba</i> ).....	247

URUMOVIĆ, K.: Značenje Darcyjevih pokusa 150 godina poslije ( <i>Significance of Darcy's Experiments 150 Years Later</i> ).....	249
VLAHOVIĆ, T. & BAČANI, A.: Zalihe podzemnih voda Blatskog polja na otoku Korčula ( <i>Groundwater Resources of Blatsko Polje, Island of Korčula</i> ).....	251
VUJIĆ, S., BAČKALIĆ, Z. & POPOV, K.: Anthropological Effects, Land-Reclamation and Spatial Arrangement after Completion of Clay Surface Exploitation at the Locality "Garajevac-Zapad", "Polet" Novi Bečej.....	253
ŽIBRET, G. & ŠAJN, R.: Historical Air Transport of Heavy Metals in the Vicinity of Abandoned Zinc Smelter (Celje, Slovenia).....	255

### Slobodne teme iz područja geoznanosti – Miscellaneous Topics Related to Geosciences

BUKOVEC, D. & BREZINŠČAK, R.: Preporuka REC (2004)3 o zaštiti geološke baštine i područjima od posebne geološke važnosti ( <i>Recommendation REC (2004)3 on Conservation of the Geological Heritage and Areas of Special Geological Interest in Europe</i> ).....	259
INKRET, I.: Geologija u srednjim školama ( <i>Geology in Secondary Schools</i> ).....	261
JUNGWIRTH, E. & ZEČEVIĆ, M.: Značaj i uloga vojne geologije ( <i>Importance and the Role of Military Geology</i> ).....	263
KRKLEC, V.: Ljetna geološka škola u Muzeju evolucije i nalazištu pračovjeka "Hušnjakovo" ( <i>Summer Geological School at the Museum of the Evolution and Early Men Finding Site "Hušnjakovo", Krapina, Croatia</i> )....	265
LACKOVIĆ, D.: Predstavljanje i zaštita geološke baštine – primjeri poučnih geoloških staza u Parku prirode Biokovo i u Parku prirode Učka ( <i>Presentation and Protection of Geological Heritage – Examples of Geological Educational Trails from Biokovo Nature Park and Učka Nature Park</i> ).....	267
MARTEK, A. & PILAŠ, I.: Elektronički izvori informacija u geoznanostima ( <i>Electronic Information Sources in Geosciences</i> ).....	269
RADONIĆ, G.: Hrvatska u kontekstu zaštite europske i svjetske geološke baštine ( <i>Croatia in Frame of Protection European and World Geological Heritage</i> ).....	271
RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G.: Park prirode Papuk kao geopark ( <i>Nature Park Papuk as Geopark</i> ).....	273
RADONIĆ, G., TRENC, N. & ŽEGER, I.: Međunarodna godina planeta Zemlje – Geoznanosti za društvo ( <i>International Year of Planet Earth – Earth Sciences for Society</i> ).....	275
SLOVENEK, D., LUGOVIĆ, B., SEKELJ IVANČAN, T. & TKALČEC, T.: Mineraloško-petrografske značajke ranosrednjovjekovne keramike iz arheološkog lokaliteta Torčec-Ledine kraj Koprivnice ( <i>Mineralogical-Petrographical Characteristics of Early Medieval Ceramics from the Archaeological Site Torčec-Ledine near Koprivnica</i> ).....	277
ŠEBEČIĆ, B. & MITROVIĆ, G.: Za hrvatski geološki rječnik ( <i>For Croatian Geological Dictionary</i> ).....	279
VUJNOVIĆ, T.: Edukacija o geološkoj baštini Parka prirode Žumberak-Samoborsko gorje ( <i>Education on Geological Heritage of the Žumberak-Samoborsko Gorje Nature Park</i> ).....	281

## **Geologija – Geology**



## Litotipovi travertina na arheološkom lokalitetu *Aquae lassae* – Varaždinske Toplice, Hrvatska

### Travertine Lithotypes of the Archaeological Site *Aquae lassae* – Varaždinske Toplice, Croatia

Dunja Aljinović<sup>1</sup>, Uroš Barudžija<sup>1</sup>, Dora Kušan-Špalj<sup>2</sup> & Dorica Nemeth-Ehrlich<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: daljin@rgn.hr

<sup>2</sup> Arheološki muzej u Zagrebu, Trg Nikole Šubića Zrinskog 19, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** travertin, geoarheologija, termalna voda, Varaždinske Toplice, *Aqua lassae*, Hrvatska.  
**Key words:** Travertine, Geoarchaeology, Thermal water, Varaždinske Toplice, *Aqua lassae*, Croatia.

Na terasastom brežuljku visine cca 200 m, u središtu Varaždinskih Toplica arheološka iskapanja otkrila su rimsko naselje – *Aquae Lassae* čije se egzistiranje veže za razdoblje od I do IV st. n.e. Zahvaljujući arheološkim radovima na nivou jedne od najviših terasa, na površini od cca 6000 m<sup>2</sup> otkopan je veći dio rimskog naselja koje se sastojalo od kupališnog dijela (*thermae*), bazilike, hramova na Kapitolu te foruma posebnost kojeg je da se na njemu nalazio bazen u kojem je izvirala termalna voda bogata sumporom. Preljevne vode toga izvora bile su u rimsko doba drenirane kamenim odvodima prema jugozapadu i jugu. Opsežnim arheološkim radovima provedenim 2004. godine u jugoistočnom dijelu rimskog naselja otkopana je bazilika i dio građevina oko nje. Pod trijema koji se nalazio uz baziliku bio je prekriven 3 m debelim slijedom sedimenata čije su karakteristike opisane u ovom radu. Istraženi talozi predstavljaju travertine čije je izlučivanje vezano uz termalnu vodu. Taloženje se dogodilo u lokalno spušenom II dijelu rimskog naselja, a kako naslage prekrivaju pod trijema bazilike, pretpostavlja se taloženje nakon što je rimsko naselje bilo napušteno (IV st. n.e.), čime se starost naslage procjenjuje na 1600 godina. Iako je slijed nastao na stanovitoj udaljenosti od samog termalnog izvora na forumu, karakteristike travertina, međutim, jasno su uočljive. XRD analizom ustanovljen je kalcit kao jedina mineralna komponenta. Na arheološkom zasjeku uočena je izmjena nekoliko nepravilnih slojeva različite boje i bitno različite poroznosti.

Na početku travertinske sukcesije nalazi se gusti, laminirani, desetak centimetara debeli travertin koji je izdvojen kao litotip L-1. Laminirana struktura predstavlja kristalaste travertinske kore uz mjestimično prisutne mikrobakterijske lamine koje pretpostavljaju koloniziranje anorganskih travertinskih precipitata mikroorganizmima (cijanobakterije?). Mjestimično su između lamina vidljivi “duhovi” pizoida. Travertinski talozi litotipa L-1 smatraju se anor-

ganskim precipitatima taloženim uz utjecaj mikroorganizama u plitkoj depresiji ili na kosini uz periodičke subaerske uvjete (formiranje pizoida). Na taloženje sljedećeg izdvojenog litotipa L-2 značajnu ulogu je odigralo prisustvo višeg bilja. Šupljikavi talozi predstavljaju stabljike šaša ili trstike inkrustirane kalcitom u vrijeme rasta. Na mjestima stabljika ostale su subvertikalne, izdužene, kalupne šupljine. Taloženje ovog litotipa događalo se u bitno rashlađenoj i razrijeđenoj vodi obližnje depresije. Ta je depresija povremeno bila potpuno prekrivena vodom na čijoj se površini kristalizirala mineralna kora. Razlomljeni fragmenti kore padali su na dno depresije ili između stabljiki biljaka, a njihovom akumulacijom u znatnijoj količini stvarali su se nepravilno šupljikavi travertini izdvojeni kao litotip L-3. Vertikalna izmjena litotipova L-2 i L-3 ukazuje na uvjete taloženja koji su se mijenjali od taloženja na više ili manje suhim, biljem obraslim zaravnima do taloženja u plitkim depresijama prekrivenim vodom stajaćicom. Proslojci travertina bijele boje koji se izmjenjuju s litotipovima L-2 i L-3 predstavljaju nakupine klasta kristalaste strukture, pješćanih dimenzija. Ovaj je litotip izdvojen kao litoklastični travertin L-4. Kristalasta struktura čestica sugerira primarne anorganske i tek djelomično organske precipitate. U sastavu klasta uočeni su i fragmenti s očuvanim skeletima dijatomeja. Očito je da podrijetlo klasta pretpostavlja istovremenu bočnu egzistenciju travertinskih kristalastih kora i dijatomitnih jezerskih ispuna, moguće na hipsometrijski višim terasama. Uslijed mehaničke erozije tih taloga ili djelomičnog otapanja u atmosferskim uvjetima preostale čestice transportirane su u obližnju depresiju gdje su akumulirane u znatnijoj količini i tvore litotip travertina L-4.

Sastav vode termalnog izvora, količina vode, miješanje termalne i hladne oborinske vode, kao i humidni klimatski efekti te subaersko prerađivanje materijala odredili su grad i morfologiju opisanih litotipova travertina.



## K–Ar Dating of Glauconitic Sediments in Macelj Mt. (NW Croatia)

Radovan Avanić<sup>1</sup>, Zoltán Pécskay<sup>2</sup>, Lara Wacha<sup>1</sup> & Ladislav Palinkaš<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: ravanic@igi.hr

<sup>2</sup> Institute of Nuclear Research Hungarian Academy of Sciences (ATOMKI), Bem tér 18/c, H-4026 Debrecen, Hungary

<sup>3</sup> University of Zagreb, Institute for Mineralogy and Petrology, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** K–Ar dating, Glauconitic sediments, Macelj Formation, Eggenburgian, NW Croatia.

### Introduction

Glauconitic sandstones of the Macelj region (NW Croatia) have been researched by numerous geologists. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1904) extracted “green-gray dusty sandstones” and named them “Macelj sandstones” on the geological map, sheet Rogatec–Kozje. KIŠPATIĆ (1909) described younger eruptive rocks with associated tuffs and sandstones with oysters. Later on ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ (1978) accomplished petrography of “Macelj sandstones” and affiliated them to Burdigalian. BOJANIĆ et al. (1978) distinguished sandstones, conglomerates and tuffaceous sandstones on the basis of grain size and composition (quantity of lithic fragments and volcanic material). TIŠLJAR & ŠIMUNIĆ (1978) interpreted “Macelj sandstones” along the road Macelj–Trakošćan as lithic-arenites in alternation with tuffaceous sandstones, conglomerates, clays and marls, deposited in a shallow water, nearshore environment. ŠIMUNIĆ et al. (1988) considered source rocks of the detrital particals of “Macelj sandstones” as metamorphic, acidic volcanic rocks, sediments and contemporaneous tuffs and eruptives. Sediments were deposited within protected marine nearshore, influenced by tidal streams and fluvial contribution. Marine environment favored glaucony formation, supported by volcanic activity. ŠIMUNIĆ et al. (1995) affiliated Macelj sandstones, in western part of the Hrvatsko Zagorje area, to the Macelj formation, on the lithostratigraphic map of the Republic of Croatia. The Macelj formation consists of Vučji Jarek, Čemernica and Lipni Vrh members.

### Geological characteristics of the Macelj formation

The Macelj formation is situated in the northwestern part of Croatia along the Sutla river (from Hum on the Sutla river to Strmec Humski), and north of the line Hromec–Lukovčak–Koprivnica Zagorska–Gornje Jesenje–Brlići to the Donja Višnjica on the northern slopes of Ravna gora Mt.

Besides the previously mentioned Vučji Jarek, Čemernica and Lipni Vrh members, the formation also includes Vrbno member. The Vučji Jarek is the lowermost member of the Macelj formation laid transgressively on an erosional unconformity over Eggerian sediments of the Golubovec formation. The Vučji Jarek sediments were deposited within a marine, nearshore environment under tidal influence. The sediments are characterized by horizontal-bedded and cross-bedded glaucony sandstones and tuffs. The

Čemernica member succeeds the Vučji Jarek member. It consists of clayey and silty sediments affected by intensive bioturbation, and silty marls rich on ichnofossils. The deposits were formed in the offshore-transition zone between shoreface and offshore. The Lipni Vrh member is made of fine-grained polymictic and coarse-grained monomictic conglomerates, coarse-grained sandstone with planar cross and trough cross bedding, and with channel structures. The sediments were deposited in a nearshore environment with significant contribution of terrigenous material, probably in deltaic environment. The Vrbno member comprises polymictic conglomerates, marls, tuffs and bentonite clays settled in an intertidal environment. The Macelj formation deposits were formed in Eggenburgian and in the lower part of Ottangian time. The formation builds up a vast syncline, bordered by anticlinal extrusions on the south and north (ŠIMUNIĆ et al. 1995).

### K–Ar dating of glaucony sediments

Analytical procedure comprised sampling, sample preparation and mass spectrometric measurements. Four naturally occurring, fresh samples of glaucony sediments, weighing 10 to 20 kg, were submitted to laboratory preparation, which included crushing, treatment with acetic acid, sieving, mechanical cleaning, and separation with heavy liquids to obtain heavy and light mineral fractions, followed by electromagnetic and electrostatic separation. Those separated samples contained 80–90% of glauconite. The final mono-mineral concentration was done by hand, getting 2 g of 98% pure glauconites.

Mass spectrometric measurements were done in the Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences in Debrecen.

The basic principle of the method is to measure concentration of <sup>40</sup>K and radiogenic <sup>40</sup>Ar (in cm<sup>3</sup>(STP)/g sample or mol/g), and to calculate the radiometric age by the following equation (FAURE, 1977):

$$t = 1/\lambda_{\text{total}} \ln [(\lambda_{\text{total}}/\lambda_{\text{c.c.}}) \times ({}^{40}\text{Ar}^*/{}^{40}\text{K}) + 1]$$

Analytical data are presented in the Table 1.

In the last half of the century a lot of new K–Ar dating and observations on the process of glauconitization have been reported (ODIN & DODSON, 1982). The process of glauconitization in continuum follows stages: (1) nascent glaucony (2–4% K), (2) slightly evolved glaucony (4–6% K), (3) evolved glaucony (6–8% K), and (4) highly evolved glaucony (more than 8% K). Our samples belong to the

No. of sample	K (%)	<sup>40</sup> Ar rad (%)	<sup>40</sup> Ar rad (cc/STP/g)	K–Ar (Ma)
6b/1	6.44	44.3	5.696x10 <sup>-6</sup>	22.62±0.86
6b/2	6.67	61.4	5.005x10 <sup>-6</sup>	19.21±0.64
Mac6	5.18	55.1	4.535x10 <sup>-6</sup>	22.38±0.77
Mac7	4.63	51.2	4.189x10 <sup>-6</sup>	23.14±0.82

Table 1 Ages of glaucony of the Macelj formation yielded by K–Ar method.

second stage which probably contains initial substrate with inherited Ar at the time zero. Glauconite with K<sub>2</sub>O less than 7% may be used only with reservation (ODIN, 1982). The data show regular decrease of apparent age with increase of K<sub>2</sub>O, approaching value of 19.21±0.64 Ma in the sample 6b/2, which appropriates to Eggenburgian time. The increased value of Ar in the sample 6b/1 could be the result of the concentration of Ar present in the detrital grains of the initial substrate. Reliability of the age will be ascertained after XRD analysis and electron microscopy to testify on presence of initial substrate, which was used as glauconitization material.

### Conclusion

Glauconites of the Macelj formation were dated by K–Ar method. The ages vary from 23.14 Ma to 19.21 Ma and decrease with increasing K<sub>2</sub>O content, as expected. Variability was caused by incomplete glauconitization of the mineral precursors, bringing excess Ar at the time zero. The lowest value is the most probable and belongs to Eggenburgian time.

### References

- BOJANIĆ, A., TIŠLJAR, J. & MAJER, V. (1978): Klastični miocenski sedimenti sjeverozapadnog dijela Maceljske gore (Hrvatska, Jugoslavija).– *Geološki vjesnik*, 30/1, 445–452, Zagreb.
- FAURE, G. (1977): *Principles of Isotope Geology*.– John Wiley & Sons, New York.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1904): *Geologijska prijeledna karta Kraljevine Hrvatske–Slavonije. Tumač geologijske karte Rogatec–Kozje*.– Nakl. Kralj. zemalj. vlade, Odjel za unutarnje poslove, 25 p., Zagreb.
- KIŠPATIĆ, M. (1909): *Mlađe eruptivno kamenje u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske*.– *Rad Jugoslav. Akad. znan. umjetn.*, 177, 7–145, Zagreb.
- ODIN, G.S. (1982): *How to measure glaucony ages*.– In: ODIN, G.S. (ed.): *Numerical Dating in Stratigraphy*. 387–403, John Wiley & Sons, New York.
- ODIN, G.S. & DODSON, M.H. (1982): *Zero isotopic age of glauconies*.– In: ODIN, G.S. (ed.): *Numerical Dating in Stratigraphy*. 277–305, John Wiley & Sons, New York
- ŠIMUNIĆ, Al., ŠIMUNIĆ, An., PIKIJA, M. & AVANIĆ, R. (1988). *Utjecaj vulkanizma na sastav "maceljskih pješčenjaka"* (sjeverozapadna Hrvatska).– *Geološki glasnik, posebno izdanje, knjiga VI, Zbornik radova VI skupa sedimentologa Jugoslavije, Cetinje*.
- ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, Al. (1978): *Pregled geološke građe Ivanščice i Ravne gore*.– *Vodič ekscurzije 4. Znanstvenog skupa Sekcije za primj. geol. geofiz. i geokem. Znanstvenog savjeta za naftu JAZU. Stubičke toplice*, 1–27, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, An., AVANIĆ, R., ŠIMUNIĆ, Al. & HEĆIMOVIĆ, I. (1995): *Litostratigrafska raščlamba donjomiocenskih klastita u Hrvatskom zagorju*.– In: VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 1. *Hrvatski geološki kongres, Zbornik radova, Opatija*, 581–584, Zagreb.
- TIŠLJAR, J. & ŠIMUNIĆ, Al. (1978): *Maceljski pješčenjaci*.– *Vodič ekscurzije III skupa sedimentologa Jugoslavije, Zagreb*, 32–36, Zagreb.

## New Pieces to the Croatian Part of Tisia Jigsaw Puzzle: Role of Age Dating, Geothermobarometry and Accessory Minerals in Transforming of “Simple” Insight Into a Future Complex Model

Dražen Balen

*Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: drbalen@jagor.srce.hr*

**Key words:** Age dating, Geothermobarometry, Zircon, Monazite, Tisia, Croatia.

Several current research projects (see at the bottom) dealing with the still enigmatic **Tisia** are focused to age distinction of different and not in detail studied metamorphic and magmatic events, which broadly occurred during pre-Variscan, Variscan and Alpine orogeny. At the moment, available data collected all over the Tisia (not only in Croatia) are too scarce to be used for reliable geodynamic interpretation of the particular metamorphic and/or igneous event(s). Therefore, the aim of present work in the area is confronted with the challenge to separate different stages of metamorphism/magmatism and to derive PT data together with metamorphic isogrades for different events separately.

Igneous, mainly granitic, rocks together with metamorphic rocks outcropping in the Moslavačka Gora area and the Slavonian Mts. area represent an important crystalline lithology which provide geological information through their mineralogical, geochemical and isotopic signatures with special focus to the accessory minerals (monazite, zircon, ...) as important recorders of evolution.

### Moslavačka Gora area

Recent age dating in the Moslavačka Gora area applying Ar–Ar, Rb–Sr and Sm–Nd methods provided, as a rule, Cretaceous ages (BALEN et al., 2001, 2003). First data provided by microprobe monazite geochronology gave also Cretaceous crystallization age for Pleterac granite  $74 \pm 17$  Ma, and Cretaceous metamorphism ( $93 \pm 12$  Ma) for cordierite–garnet–K–feldspar metapelite from Kamenjača Stelovača. However, metapelite with andalusite from Jaska potok show two ages: Permian  $269 \pm 24$  Ma (relict monazite) and Cretaceous  $116 \pm 31$  Ma (newly grown monazite).

STARJIAŠ et al. (2004) distinguished two different groups of Cretaceous age fine-grained biotite–granites (biotite contents 4–10 vol.%), i.e. the Pleterac type (PT) and the Garić-grad type (GGT). The PT granites are mostly undeformed, chemically correspond to peraluminous S-type granite and comprise muscovite (2–4 vol.%). GGT granites often show a slight foliation and their chemistry point to igneous lower crustal sources. The differences between two granite groups are shown also in zircon typology. The PT granites show unusual zircon morphology patterns with two maxima, one in the right upper corner of the Pupin diagram, where {101} is combined with {110} i.e. I-type morphology, the other one showing steep {211} pyramids combined with the {110} prism. Such bimodal patterns may be indicative for felsic I-type granite melts that were

chemically modified and driven towards S-type compositions through assimilation of meta-sedimentary material. The GGT granites have zircons with large {100} prisms and a dominant {101} pyramids, in accordance with their chemical I-type signatures. In summary, zircon typology of Moslavačka Gora introduces three clusters which indicate (1) the presence of at least two groups of granitoids in the crystalline core of Moslavačka Gora, and (2) mixing of mantle/lower crust material with a crustal material. That conclusion is supported also with trace element geochemistry (STARJIAŠ, pers. comm.).

The age results combined with PT data which point to high-temperature metamorphism (up to amphibolite/granulite facies transition) put a question mark on geodynamic evolution of Moslavačka Gora as a part of Tisia and push it more likely toward a Cretaceous high-heat-flow belt.

### Slavonian Mts. area

Microprobe monazite geochronology in the Slavonian area show rather unexpected results. In the *Psunj (Kutjevo) metamorphic complex* Th, U, Pb contents of yttrium-rich accessory monazites indicate a pre-Variscan, i.e. Silurian ( $428 \pm 25$  and  $444 \pm 19$  Ma) age for the medium-grade metamorphism of garnet-bearing micaschists exposed along the Kutjevačka Rijeka transect. Furthermore, andalusite and staurolite bearing micaschists from “Krndija quarry” (near village Gradište) comprise mainly Variscan monazite (broadly 350 Ma), and two monazite grains showed a Permian age. Since for Krndija quarry these are preliminary data, the significance of the latter remains unclear: either it is a true crystallization age indicative of a Permian thermal event or the age is the result of Pb loss.

In the *Papuk (Jankovac) metamorphic complex* igneous rocks represented by Šandrovac granite yielded  $340 \pm 15$  Ma.

Thermobarometric calculations were performed on the peak assemblages of micaschist, gneiss and amphibolite from Kutjevačka Rijeka transect. The micaschist THERMOCALC calculations yielded  $600\text{--}630^\circ\text{C}$  and 9–11 kbar while gneiss yielded  $600\text{--}630^\circ\text{C}$  and 6.5–7.5 kbar. Additionally, results for Grt+Hbl+Pl assemblage of gneiss are  $500\text{--}580^\circ\text{C}$  and 8–10 kbar,  $640^\circ\text{C}$  (Hbl+Pl) and  $650^\circ\text{C}$  (Grt+Bt). In the amphibolites calculated T values range between 590 and  $620^\circ\text{C}$  for edenite–richterite and edenite–tremolite reactions, respectively. In addition, Grt+Hbl thermometry yielded  $490\text{--}570^\circ\text{C}$ , while using Grt+Hbl+Pl barometry we obtained 7–10 kbar.

Preliminary calculation for micaschist from “Krndija quarry” gives 520–570°C and low pressures of 3–4 kbar (HORVÁTH, pers. comm.)

*Radlovac metamorphic complex* is recently a subject of intensive study of illite (IC) and chlorite (ChC) “crystallinity” (BIŠEVAC, pers. comm.). Illite and chlorite “crystallinity” indices, obtained on the <2 μm fractions, show that thermal alterations (regional metamorphism) range from the upper anchizone (approximately 250°C) to the low temperature part of epizone (300°C). The results of vitrinite reflectance measurements show good correlation with IC and ChC data.

The presented petrological and PT data together with additional microstructural, paragenetic, mineral chemistry and age data from Croatian part of Tisia can not be directly correlated with results obtained in the nearby parts of the Tisia in Hungary, and clearly show to us that Tisia puzzle is certainly far from being solved.

Presentation is result of research referred to recent project leading and/or participating by author:

- *MZOŠ RH project no. 0119412*: Crystalline complexes of Sava–Drava interfluve (coworkers: Mirko Belak, Vanja Biševac, Darko Tibljaš, Darko Španić);
- *HAS & HAZU*: Comparative metamorphic petrogenetic study of the complexes in the southern part of the Tisia Unit, as well as the Internal Dinarides and the Bükk Unit and their relative position during metamorphism (Péter Árkai, Péter Horváth, Katalin Judik, Darko Tibljaš, Bruno Tomljenović);
- *Austria–Croatia bilateral scientific project*: Correlation of Variscan crust in Austria and Croatia: Variscan evolution of the southern part of the Tisia unit (Croatia) with special reference to the time relation of igneous and metamorphic rocks (Friedrich Finger, Bernhard Humer, Biljana Starijaš, Gudrun Riegler);
- *Informal cooperation* with Vesnica Garašić, Marija Horvat and Ralf Schuster.

## References

- BALEN, D., SCHUSTER, R. & GARAŠIĆ, V. (2001): A new contribution to the geochronology of Mt. Moslavačka Gora (Croatia).– PANCARDI 2001 Abstracts, DP–2, Sopron.
- BALEN, D., SCHUSTER, R., GARAŠIĆ, V. & MAJER, V. (2003): The Kamenjača olivine gabbro from Moslavačka Gora (South Tisia, Croatia).– Rad HAZU, 486, 27, 57–76.
- STARIJAS, B., BALEN, D., TIBLJAŠ, D., SCHUSTER, R., HUMER, B. & FINGER, F. (2004): The Moslavačka Gora Massif in Croatia: part of a Late Cretaceous high-heat-flow zone in the Alpine–Balkan–Carpathian–Dinaride collision belt.– Ber. Inst. Erdwiss. K.-F.-Univ. Graz, 9, 453–454, Graz.

## P-T Conditions and Age of Medium-Grade Metamorphism in the Micaschists from the Kutjevačka Rijeka Transect (Slavonian Mts., Croatia)

Dražen Balen<sup>1</sup>, Péter Horváth<sup>2</sup>, Bruno Tomljenović<sup>3</sup>, Friedrich Finger<sup>4</sup>, Bernhard Humer<sup>4</sup>,  
**Jakob Pamić<sup>5</sup>** & Péter Árkai<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: drbalen@jagor.srce.hr

<sup>2</sup> Institute for Geochemical Research, Hungarian Academy of Sciences, Budaörsi út 45, H-1112 Budapest, Hungary

<sup>3</sup> Faculty of Mining, Geology & Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>4</sup> Abteilung Mineralogie und Materialwissenschaften, Universität Salzburg, Helbrunnerstrasse 34, A-5020 Salzburg, Austria

<sup>5</sup> Croatian Academy of Sciences and Arts, Zagreb, deceased

**Key words:** Zoned garnet, Geothermobarometry, Monazite dating, Silurian, Tisia, Croatia.

In this abstract we provide new data on P–T conditions and metamorphic age of the medium-grade part of progressively metamorphosed sequence exposed along the Kutjevačka Rijeka transect in the eastern part of the Slavonian Mts. obtained by means of microstructural data, garnet compositional zoning and electron-microprobe age dating on monazite grains of garnet-bearing micaschists.

The N–S striking transect in the Slavonian Mts. with a zoned distribution of index minerals along the Kutjevačka Rijeka valley is a section where the prograde metamorphic sequence can be studied in great detail. Along this transect heading north, the prograde metamorphic sequence is firstly represented by its medium-grade (amphibolite facies) part largely composed of garnet-bearing micaschists and paragneisses with subordinate orthoamphibolite intercalations and granitoid intrusions. Further north, this grades into greenschist facies schists comprising the low-grade part (chlorite zone) of the prograde metamorphic sequence, which is firstly covered by sub-greenschist facies rocks of the Radlovac metamorphic complex and then by a non-metamorphic clastic–carbonate succession of Permian and Triassic age (for details see JAMIČIĆ, 1983, 1988; JAMIČIĆ & BRKIĆ, 1987; JAMIČIĆ et al., 1987).

Mesoscopic observations in the prograde metamorphic sequence reveal evidence of two foliations that predate Alpine deformation. An older ( $S_1$ ) foliation is only locally recognized and is marked by a metamorphic layering characterized by a cm-scale alternation of micaschist, paragneiss and amphibolite, all containing mm-scale garnet trails parallel to the metamorphic layering. This relationship and the mineral assemblage indicate that amphibolite facies conditions took place during formation of  $S_1$  foliation. By passing from  $F_2$  fold hinges into strongly attenuated limbs  $S_1$  becomes sub-parallel and parallel to a younger ( $S_2$ ) planar fabric, which is the most evident mesoscopic foliation in these rocks. This foliation is either parallel or show consistent geometrical relationship with the axial planes of predominantly E–W trending, isoclinal  $F_2$  folds. Hence, it is interpreted as to represent an axial plane cleavage of  $F_2$  folds related to  $D_2$  deformational event, which resulted in greenschist facies retrogression of the prograde metamorphic sequence. Sporadically along the transect,  $S_2$  is found to dip in opposite directions, which is interpreted as a result

of a subsequent post- $D_2$  folding event attributed to Alpine deformation.

*Micaschists* have a well preserved metamorphic fabric ( $S_1$ ) with a peak metamorphic assemblage of garnet, biotite, muscovite, plagioclase and quartz corresponding to amphibolite facies conditions. This foliation is predominantly marked by preferentially oriented biotite, muscovite and abundant garnet trails. Garnets are hypidioblastic and partly fractured, and typically surrounded by asymmetric pressure shadows filled with chlorite, biotite, muscovite, epidote and quartz. Regarding the grain size garnets form two distinct groups comprising relatively larger- and smaller-sized populations, respectively. Large-sized (~1 mm) garnet population clearly preserves a complex growth history. Here, garnet cores are characterized by: (1) inclusion trails of ilmenite, apatite and quartz, which are characteristically oblique to external foliation and restricted to garnet cores, and (2) fracture sets, some of which not extending into the garnet rims. Hence, both features indicate that growth of garnet rims postdates some earlier cataclastic deformations preserved only within the garnet cores. Smaller garnets do not show such cataclastic deformations.  $S_2$  is marked by extensive chloritization of biotite and garnet, pointing to a retrograde process. Thus, the formation of  $S_2$  ductile fabric is linked to the younger deformational event that took place after the amphibolite facies PT conditions.

Large-sized garnet population in micaschists is represented by relatively large hypidioblastic, discontinuously zoned garnets, which have Mn-rich cores (here referred to as garnet I:  $X_{\text{Alm}}=0.690$ ,  $X_{\text{Sps}}=0.102$ ,  $X_{\text{Prp}}=0.117$ ,  $X_{\text{Grs}}=0.091$ ) and Ca-rich rims (here referred to as garnet II:  $X_{\text{Alm}}=0.717$ ,  $X_{\text{Sps}}=0.008$ ,  $X_{\text{Prp}}=0.094$ ,  $X_{\text{Grs}}=0.181$ ). The “textural” garnet core and rim correspond to the “chemical” core and rim. The second, small-sized garnet population (up to 0.5 mm in size) has the same chemical composition as observed in the rims of the large garnets. Complex compositional zoning of garnet can be well observed in back scattered electron images. In their cores garnet I usually exhibit prograde (saddle) shaped compositional profile and are rich in Mn, Mg and poor in Ca compared to the rims composition (garnet II). There is an abrupt change in chemical composition between garnet I and II, indicating discontinuous zoning. The distribution of chemical elements in the garnet profile

shows the same trend but with a rapid “Ca jump” in the core–rim transitional area. The small garnets and the rims of large garnets show continuously decreasing  $X_{\text{Grs}}$ ,  $X_{\text{Sps}}$ , and Fe/(Fe+Mg) ratio and increasing  $X_{\text{Prp}}$  and  $X_{\text{Alm}}$  toward garnet rim. Such patterns suggest prograde metamorphic conditions during the crystallization of garnet rims. The same, but less prominent, prograde pattern is also present in the core region up to the “Ca jump”. The rapid change of calcium content and the discontinuous character of garnet zoning probably involve a breakdown and a consummation of earlier-formed calcium-bearing phase (apatite, An-rich plagioclase, calcite?).

Thermobarometric calculations are performed on the peak assemblages with garnet II (rims and small-grained garnets) using THERMOCALC yielded 600–630°C and 9–11 kbar.

In an attempt to constrain the age of the medium-grade metamorphism in the Kutjevačka Rijeka transect by means of electron-microprobe based monazite dating two micaschists containing a few small monazite grains were analyzed. The monazites occurred isolated in the matrix and showed quite unusual shapes, forming elongate crystals with ~2–3  $\mu\text{m}$  width and ~10–15  $\mu\text{m}$  length. Nineteen such monazites have been analyzed. The measured Th–U–Pb concentrations imply, surprisingly, a formation of the monazites in the Silurian and not during the Variscan orogeny. The single point ages are all consistent within error and cluster around weighted averages of  $428 \pm 25$  and  $444 \pm 19$  Ma in the two sections. There is no evidence for a polygenetic nature of the monazite populations. The most plausible interpretation is that the obtained average ages date the medium-grade metamorphism in these rocks. This interpretation is additionally supported by the partly very high yttrium contents of the monazites (almost 3 wt.%  $\text{Y}_2\text{O}_3$ !). Such high yttrium contents are indicative of monazite growth at middle or upper amphibolite facies conditions, and accord with the PT estimates derived for the host rocks by means of geothermobarometric calculations. In such way of interpretation some of Variscan mica and amphibole ages for Barrovian-type metamorphic sequences in Slavonian Mts. (PAMIĆ & JURKOVIĆ, 2002) can be possibly attributed to the  $D_2$  event.

The presented peak metamorphic data together with additional microstructural, paragenetic, mineral chemical and age data can not be directly correlated with results obtained in the nearby parts of the Tisia in Hungary. At the moment, available data all around the Tisia are too scarce to be used for reliable geodynamic interpretation of the Silurian medium-grade metamorphism in the area.

## References

- JAMIČIĆ, D. (1983): Strukturni sklop metamorfih stijena Krndije i južnih padina Papuka (Structural fabric of the metamorphosed rocks of Mt. Krndija and the eastern part of Mt. Papuk).– Geol. vjesnik, 36, 51–72 (in Croatian).
- JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturni sklop slavonskih planina (sjeverni Psunj, Papuk, Krndija) (Structural pattern of the Slavonian Mountains (Krndija, Papuk and Psunj Mountains)).– Unpubl. PhD Thesis, University of Zagreb, 152p. (in Croatian).
- JAMIČIĆ, D. & BRKIĆ, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. List Orahovica L33–96. (Basic Geological Map of Yugoslavia in scale 1:100.000, sheet Orahovica).– Geol. zavod Zagreb (1971–1986), Sav. geol. zavod Beograd.
- JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J., VRAGOVIĆ, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Orahovica L33–96 (Basic Geological Map of Yugoslavia – Explanatory notes for sheet Orahovica).– Geol. zavod Zagreb (1986), Sav. geol. zavod Beograd, 72 p. (in Croatian).
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (2002): Paleozoic tectonostratigraphic units in the northwest and central Dinarides and the adjoining South Tisia.– Intern. J. Earth Sci., 91, 538–554.

## Višekomponentna (4C) seizmika i primjena 4C seizmičkih podataka Multicomponent (4C) Seismics and Using 4C Seismic Data

Miroslav Barišić

INA-Naftaplin, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: miroslav.barisic@ina.hr

**Ključne riječi:** višekomponentna (4C) seizmika, uzdužni P-valovi, karakteristike kolektora.  
**Key words:** Multicomponent (4C) seismic, Longitudinal P-wave, Reservoir characteristics.

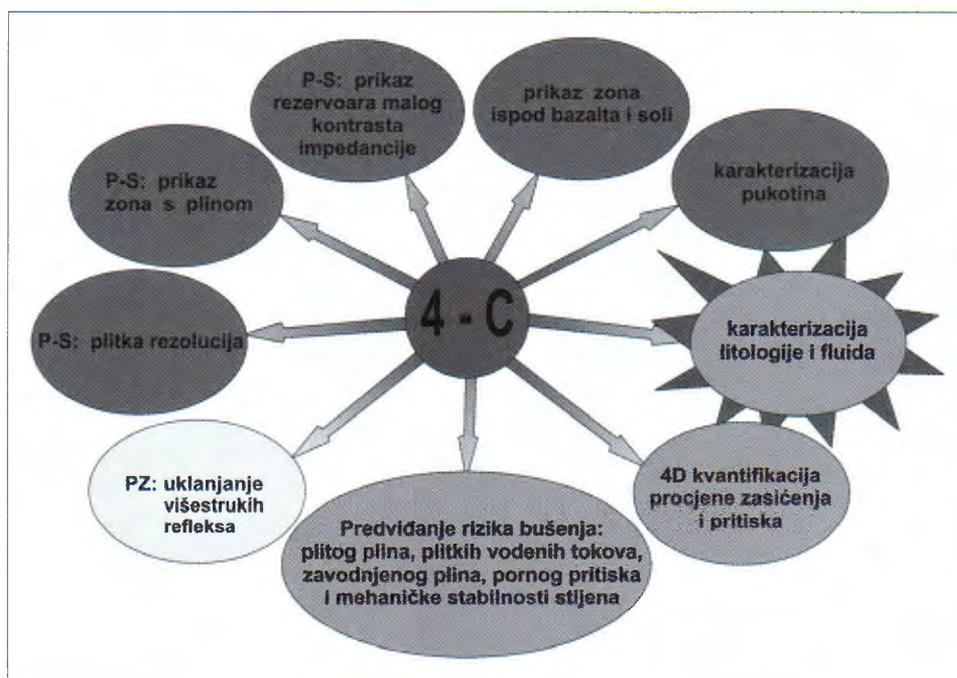
4C seizmička mjerenja i projekti datiraju od 1996. godine (CHARNOOCK, 1998). Međutim bilo je poznato i ranije (SHERIFF, 1984, 1989; ALFORD, 1986) da transverzalni S-valovi daju vrijedne informacije. Transverzalni S-valovi kao i pretvoreni PS-valovi omogućuju direktnu i mnogo točniju informaciju o podzemlju. Jednu od ključnih uloga u mogućnosti primjene (4C) seizmike odigrali su upravo pretvoreni PS-valovi. Nedovoljna energija S-valova predstavljala je problem za njihovu širu primjenu. Za razliku od njih pretvoreni PS-valovi koji nastaju na granici sredstava pretvorbom iz uzdužnih P-valova te preuzevši njihovu znatno veću energiju vraćaju se prema površini kao PS-valovi. Na taj način riješen je problem nedostatne energije dotad korištenih transverzalnih valova. Sol i bazalt poznati su kao glavni pretvarači, tako da pretvoreni PS-valovi daju dobar odziv odnosno seizmičke refleksije ispod ovih sredstava, što kod korištenja uobičajenih uzdužnih P i transverzalnih S-valova nije bilo moguće. S-valovi se ne mogu širiti kroz vodu kao i kroz ostale fluide. Poradi toga prilikom snimanja na moru tražene su udaljenosti od točke pucanja do točke na kojoj se nalazi geofon ili prijamnik (*offset*), kod kojih se optimalno dolje širena energija P-valova na litološkim granicama pretvara u energiju transverzalnih valova. U ovom slučaju potrebni su trokomponentni prijammnici s hidrofonom na dnu mora, koji registriraju horizontalne x,y

i vertikalnu z komponentu P i PS-valova te hidrofoni koji bilježi promjene pritiska kao četvrtu komponentu. Posljednjih su godina na kopnu uspješno i rutinski izdvajani PS-valovi budući su S-valovi često vrlo slabe kvalitete. Kod snimanja na kopnu ukratko rečeno koriste se vertikalno i horizontalno polarizirani izvori energije koji generiraju prema dolje širene uzdužne i transverzalne valove.

Međutim potreban je bio opći tehnološki razvoj da višekomponentna seizmika postane praktična metoda. To se uz nove gore spomenute izvore energije s mogućnošću pojedinačnog pucanja, pojedinačne senzore ili prijammike fiber optičke tehnologije s digitalnim zapisom prije svega odnosi na napredak u računarskoj tehnologiji. Novi računarski kapaciteti omogućuju obradu tako povećanog broja podataka u realnom vremenu s prihvatljivom cijenom koštanja.

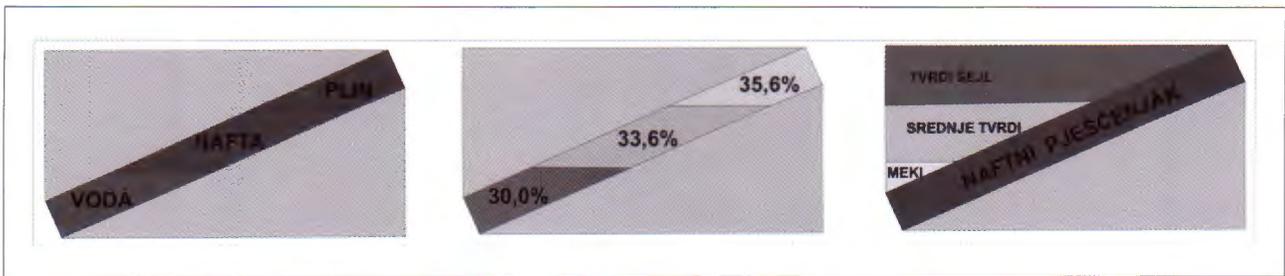
4C seizmički podaci imaju različitu primjenu (ENGELMARK, 2001), a taj je raspon prikazan na sl. 1. Za uklanjanje višestrukih refleksa koriste se samo P-valovi pri čemu se istovremeno registrira pritisak (P) i vertikalna brzina (Z) te njihovom kombinacijom poznatom kao PZ prikaz oslabljuju višestruki refleksi.

Primjena samo pretvorenih PS-valova uključuje PS rezoluciju malih dubina koja je veća od rezolucije P podataka



Sl. 1 Raspon primjena 4C seizmike.

Fig. 1 The range of 4C seismic applications.



Sl. 2 Tri modela: različiti fluidi (voda, nafta, plin) u pješčenjaku s porozitetom od 30% i šejlom kao pokrovom (lijevo); pješčenjak zasićen vodom poroziteta 30,0%, 33,6% i 35,6% i šejlom kao pokrovom (u sredini); naftni pješčenjak s mekim, srednje tvrdim i tvrdim šejlom kao pokrovom (desno).

Fig. 2 The three models: variations in pore fluid (brine, oil, gas) in a sandstone reservoir with 30% porosity and shale as a seal (left); a brine-saturated sandstone reservoir with 30.0%, 33.6% and 35.6% porosity and shale as a seal (the middle); oil sandstone with the soft, medium and hard shale as seal variation (right).

kroz kraću valnu dužinu transverzalnih valova. Najuspješnija primjena PS-valova je predstavljanje i istraživanje područja s prisutnošću plina. Budući da oni nisu osjetljivi na fluide nema promjene u njihovom odzivu uslijed utjecaja plina, te na taj način daju realnu sliku podzemlja. S druge strane upravo to njihovo svojstvo omogućuje da se utvrdi da li je izraženo naglo povećanje amplituda ili "bright spot" rezultat zasićenja ili litološke promjene. Dakle, ako postoji takva anomalija na profilu P-valova a nedostaje na profilu transverzalnih valova, gotovo je sigurno da se radi o plinskom zasićenju.

Prikazivanje kolektora malog kontrasta impedancije je slijedeća primjena PS-valova. Naime P-valovi su osjetljiviji na promjenu akustične impedancije te ne mogu prikazati kolektore malog kontrasta impedancije, ali je to moguće pomoću PS-valova koji su osjetljiviji na promjene Poissonovog odnosa, t.j. odnosa brzina uzdužnih i transverzalnih valova  $V_p/V_s$ . Prikazivanje solnih zona i zona ispod soli i bazalta je vrlo važna primjena PS-valova o čemu je već prije ono glavno rečeno. Kroz veću točnost snimanja kao i mogućnost snimanja u svim azimutima moguća je karakterizacija pukotina u smislu njihovog smjera i učestalosti u prostoru.

Promatrati ćemo kako se kombinacijom analiza uzdužnih P i pretvorenih PS-valova mogu ukloniti nejasnoće karakterizacije litologije i fluida. Slijedi 4D kvantifikacija promjena zasićenja i pritiska omogućena činjenicom da su P-valovi osjetljivi na obadvije promjene, dok su PS-valovi skoro isključivo osjetljivi na pritisak. Interaktivnim programskim paketom inverzije pritiska i zasićenja moguće je podatke 4D setova pretvoriti u kvantitativne procjene promjena pritiska i zasićenja u kolektoru. Fizikalnim analizama stijene i fluida iz jezgre odrede se parametri volumnog modula  $k$  i modula smicanja  $\mu$  kao funkcija poroziteta, sadržaja gline i pritiska. Budući postoji i mogućnost njihove odredbe iz seizmičkih podataka kroz interakciju jednih s drugima moguće je predvidjeti i kvantificirati promjene pritiska i zasićenja u kolektoru.

Predviđanje rizika bušenja je slijedeća važna primjena višekomponentne seizmike. MEMS mikroelektromehanički sustav 4C senzora promjera oko 20 mm omogućuje njihovu ugradnju između dviju kolona u završnim operacijama bušenja. Na taj način izbjegavaju se rizici visokih

tlakova, temperatura i remećenja mehaničke stabilnosti stijena.

No, da se vratimo na glavnu temu ovog rada, a to je karakterizacija litologije i fluida. Tri modela različitih odnosa pokrova i rezervoara prikazani su na sl. 2. Vrijednosti koeficijenta refleksije jednake za sva tri modela (vidljivo iz tablice I koja će biti prezentirana na izlaganju), što nam govori da se korištenjem samo P-valova ne može razlučiti o kakvim se promjenama radi, budući su rezultirale identičnim odzivom.

Posljednjih 20 godina AVO (*amplitude versus offset*) metoda upotrebljavala se s različitim uspjehom u odredbi da li je promjena u amplitudi rezultat varijacije fluida ili litologije. Problem je u tome da AVO analize sadrže značajne nesigurnosti.

U tome je i važnost doprinosa (4C) seizmike budući P-valovi registriraju promjene fluida i građe stijena s jednakom osjetljivošću, dok su PS-valovi skoro isključivo osjetljivi na građu stijena. Dakle, kombinacijom ova dva seta podataka moguće je riješiti nesigurnosti koje AVO metoda nije mogla riješiti.

Raspolažemo i odnosima koeficijenta P-valova, S-valova i AVO odziva za gore navedene modele u boji te će biti prezentirani na izlaganju budući da na crno bijelom prikazu nisu vidljivi.

## Literatura

- ALFORD, R.M. (1986): Shear data in the presence of azimuthal anisotropy.– 56th Am. Internat. Mtg. Dilly, Texas., Soc. Expl. Geophys., Houston, Expanded Abstracts, 476–479.
- CHARNOOCK, G. (1998): Multicomponent seismic acquisition brings a new insight into reservoir characterization.– Hart's Petroleum Engineer International, June 1998, 59–63.
- ENGELMARK, F. (2001): Using 4-C to characterize lithologies and fluids in clastic reservoirs.– The Leading Edge, September 2001, 1053–1055.
- SHERIFF, R.E. (1984): Encyclopedic dictionary of exploration geophysics, 2nd Ed.– Soc. Exploration Geophysicists, Tulsa, 239 str.
- SHERIFF, R.E. (1989): Geophysical methods.– Prentice Hall, New Jersey, 304–310.

## Novi prinos stratigrafiji evaporitno–karbonatno–klastično–vulkanogenog kompleksa Komiškog zaljeva (otok Vis, Hrvatska)

### New Contribution to the Stratigraphy of Evaporitic–Carbonate–Clastic–Volcanogenic Complex of Komiža Bay (Island of Vis, Croatia)

Mirko Belak, Georg Koch, Tonći Grgasović, Igor Vlahović, Ivo Velić,  
Branko Sokač & Đuro Benček

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, PO Box 268, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: mbelak@igi.hr

**Ključne riječi:** dijapir, ladinik, karnik, Komiški zaljev, otok Vis, Hrvatska.

**Key words:** Diapire, Ladinian, Carnian, Komiža Bay, Island of Vis, Croatia.

U Komiškom zaljevu dijapirskim prodorom izbijaju na površinu evaporitno–karbonatno–klastično–vulkanogene stijene koje su u rasjednom kontaktu s okolnim krednim karbonatima. U istraživanjima za Geološku kartu Republike Hrvatske 1:50.000 otoka Visa u dijapirskom kompleksu Komiškog zaljeva izdvojeno je više neformalnih litostratigrafskih (litolitoloških) jedinica. Na temelju mikropaleontološke obrade, prvenstveno palinoflore, kronostratigrafski su datirane samo neformalne litostratigrafske jedinice “Uvala Pištica” i “Uvala Nova Pošta”, a njihova starost odgovara približnom rasponu trijaskih rabeljskih naslaga, kako to navodi i SALOPEK (1939). Litostratigrafska jedinica “Uvala Pištica” je izgrađena od karbonata (dolomita, kalcitičnih dolomita i vapnenaca), lapora, siltita, tufova i tufita s pojavama autigenog i sekundarnog gipsa, a određena joj je starost gornji ladinik, dok je litostratigrafska jedinica “Uvala Nova Pošta” izgrađena od gipsno–dolomitnih breča starosti gornji karnik–donji norik (KOCH & BELAK, 2003). U ovom je radu opisan lokalitet u komiškopolju na kojem je snimljen geološki stup “Salopek” debljine oko 40 m (SA na sl. 1A). U cijelom profilu dominiraju laminirani vapnenci i zelenkasti lapori, dok su rjeđi tufitični vapnenci, brečoliki vapnenci, vitrokristaloklastični tufovi i kalcitični siltiti (sl. 1B).

Zelenkasti lapori prema sadržaju  $\text{CaCO}_3$  variraju od kalcitičnih pelita do glinovitih vapnenaca. U siltitima dominira terigeni kvarc, podređeniji je feldspat, a matriks je kalcitni. Tufovi su izgrađeni od feldspata, dok je devitificirano vulkansko staklo slabije zastupljeno. Također, pojedini su slojevi vapnenaca slabo tufitični (sadrže piroklastične feldspate, vulkansko staklo, vulkanske litoklaste). Na temelju sastava tufova i terigenog detritusa ove se naslage mogu usporediti s naslagama litostratigrafske jedinice “Uvala Pištica”. Već je i ŠČAVNIČAR (1980) na temelju sastava tufova, terigene siliciklastične komponente i akcesornih teških minerala ove stijene vremenski korelirala s gipsno–karbonatnim stijenama koje su otkrivene uz obalu Komiškog zaljeva.

U snimljenom geološkom stupu u uzorku SA–5 pronađen je problematični fosil mrežaste strukture *Plexoramea cerebriiformis* (1–3 na sl. 1). Ovaj fosil pojavljuje se od srednjeg anizika (pelsona), a čest je u anizičkim i ladiničkim grebenskim karbonatima. Utvrđeni su i mogući jako rekristalizirani fragmenti dazikladalne alge *Diplopore*

*nodosa*, čiji je raspon gornji anizik (ilir)–ladinik, a također je česta u grebenskim karbonatima. U uzorku SA–10B u dva preparata nađeni su dobro očuvani primjerci bentičke foraminifere *Aulotortus sinuosus* (8–9 na sl. 1). Ova je vrsta raspona srednji anizik (pelson)–ret, pri čemu su nalazi u aniziku vrlo rijetki, relativno rijetka je u ladiniku, dok je u gornjem trijasu rasprostranjena u čitavom području Tetisa.

Autohtona palinoflora svih uzoraka u stupu “Salopek” sadrži kozmopolitski pelud *Ovalipollis pseudoalatus* (6 na sl. 1) čija se početna stratigrafska distribucija veže uz granicu anizik–ladinik. Palinoflora nekolicine uzoraka sadrži i pelud *Staurosaccites quadrifidus*, *Samaropolitenites speciosus* i *Partitisorites* sp.div. koji se također pojavljuje početkom ladinika. U tom smislu, analizirani uzorci naslaga stupa “Salopek” nisu stariji od ladinika, što dodatno potvrđuju i nalazi spore *Kyrtomisoris ervei* (4 na sl. 1) kao i peluda *Duplicisorites* sp.div. i *Camerosporites secatus* (7 na sl. 1), koji se pojavljuju u gornjem fasanu (gornji dio donjeg ladinika). Znatno precizniju stratigrafsku odredbu omogućuje razmjerno raznovrsna i dobro očuvana palinoflora uzoraka SA–6 i SA–7 koja se može korelirati s europskom palinoflorom langobarda (gornji ladinik) čija je starost definirana peludom *Heliosaccus dimorphus* (5 na sl. 1). Gotovo identični palinofloristički odnosi, poput ovih iz uzorka stupa “Salopek”, utvrđeni su i u naslagama neformalne litostratigrafske jedinice “Uvala Pištica” (KOCH & BELAK, 2003).

Na obližnjem lokalitetu (KM–55 na sl. 1A) utvrđena su tri primjerka foraminifere *Lamelliconus procerus* (10–11 na sl. 1), stratigrafskog raspona gornji ladinik (langobard)–karnik (čiji su nalazi u noriku vrlo upitni). Taj je oblik najčešći u karniku, pa se može pretpostaviti da starost uzorka s ovoga izdanka odgovara starosti neformalne litostratigrafske jedinice “Uvala Nova Pošta” (KOCH & BELAK, 2003).

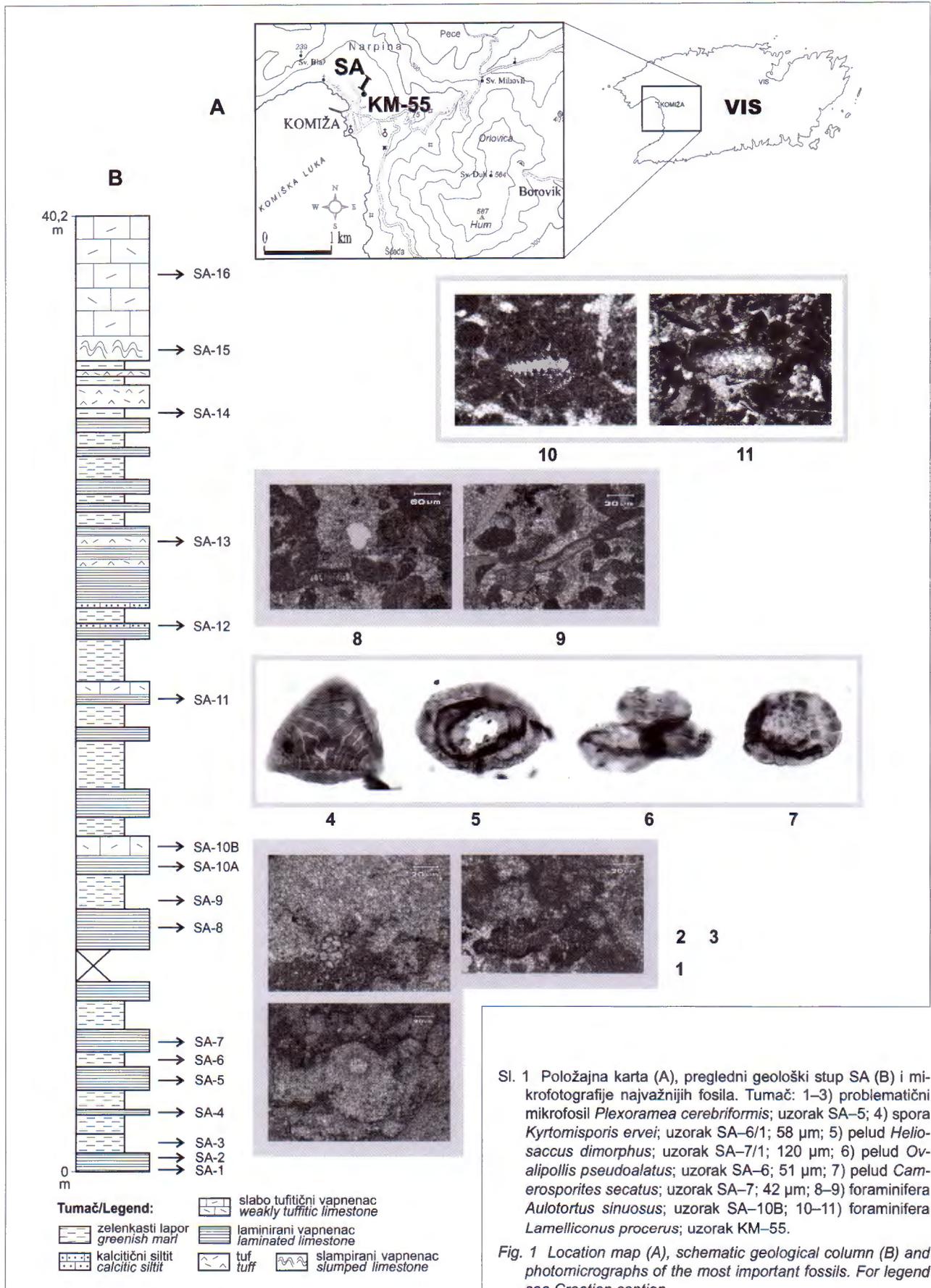
Novi podaci o stijenama evaporitno–karbonatno–klastično–vulkanogenog kompleksa područja Komiškog zaljeva na otoku Visu potvrđuju pretpostavku da su dijapirizmom zahvaćene i na površinu iznešene trijasko–stijene različite starosti – za sada su dokazane naslage gornjega ladinika i karnika. Također, položaj naslaga u istraživanom prostoru ukazuje na kaotičan raspored velikih blokova uzrokovan samim procesom dijapirizma.

## Literatura

KOCH, G. & BELAK, M. (2003): Evaporitic-carbonate deposits of Komiža diapiric structure (Island of Vis, Croatia): Their palynostratigraphy and sedimentological features.– 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija. Abstracts Book, 96.

SALOPEK, M. (1939): O tektonskom okviru trijasa u Komiškom zalivu.– Rad, JAZU, 263 (82), 1–26, Zagreb.

ŠČAVNIČAR, B. (1980): Sedimenti u evapornom kompleksu Komiže (otok Vis).– Geol. vjesnik, 32, 213–227, Zagreb.



## Determination of Thermal Alterations in Metapelites from the “Radlovac Formation” (Slavonian Mts.) Using Illite Kübler Index, Chlorite “Crystallinity” and Vitrinite Reflectance: Preliminary Results

Vanja Biševac<sup>1</sup>, Dražen Balen<sup>1</sup>, Darko Tibljaš<sup>1</sup>, Darko Španić<sup>2</sup>,  
Katalin Judik<sup>3</sup> & Péter Árkai<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: vabisevac@gfz.hr

<sup>2</sup> INA, Geological Exploration & Development Division, Lovinčičeva 1, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup> Institute for Geochemical Research, Hungarian Academy of Sciences, Budaörsi út 45. H-1112 Budapest, Hungary

**Key words:** Radlovac Formation, Croatia, Very-low grade metamorphism, XRPD, Illite Kübler index, Chlorite “crystallinity”, Vitrinite reflectance.

“Radlovac Formation”, also named in literature as Radlovac metamorphic complex, comprises sub-greenschist facies rocks, mainly slates, metasandstones, metaconglomerates and phyllites, locally intruded by metadiabases and metagabbros. At present, a wide set of age constraints based on paleontological evidences, K–Ar radioisotopic age data and the pre-Alpine structural position of the unit, point to the Variscan very-low grade metamorphism (JAMIČIĆ, 1988; PAMIĆ & LANPHERE, 1991).

Illite Kübler index (“crystallinity”) (KIC) (KÜBLER, 1968), is defined as the full width at half maximum (FWHM) of the first basal X-ray powder diffraction maximum of illite or muscovite measured in  $\Delta^{\circ}2\theta$ . KIC has been widely used for determining diagenetic and low-grade metamorphic zones (anchizone–epizone) for fine-grained rocks that lack typical metamorphic index minerals. In the last few decades, measurements of chlorite “crystallinity” (ChC), based on the full width of half maximum of the 001 and 002 basal “reflections” of chlorite, have been also successfully applied to determine thermal changes that affected rocks during their geological history (ÁRKAI, 1991). Since the occurrence of other phyllosilicates, such as detrital K white mica, paragonite, margarite and pyrophyllite, may often affect the 10 Å peak profile, the petrogenetic interpretation of the KIC data has to be carried out with caution. Thus, simultaneous measurements of IC and ChC are recommended (ÁRKAI et al., 1995).

Vitrinite reflectance is a simple and widely used optical technique for assessing the level of thermal maturity of organic matter (vitrinite) and often shows good correlation with illite Kübler index and chlorite “crystallinity” data (KISCH, 1987). Values of vitrinite reflectance increase with depth in response to increasing temperature in an irreversible way.

Illite and chlorite “crystallinity” indices and vitrinite reflectance data were used for the present evaluation of metamorphic grade of rocks, mostly phyllites, metasandstones, metaconglomerates and slates from the “Radlovac Formation” situated in Radlovačka rijeka valley, Mt. Papuk. Six samples were studied by X-ray powder diffraction method (XRPD) to determine the mineral composition and the degree of thermal alteration that affected these rocks. The mineral composition of the studied rocks comprises illite and/or muscovite, chlorite, plagioclase and quartz, with low quantity of calcite. Percentage of organic carbon (%TOC) was determined in order to eliminate the samples that are not suitable for vitrinite reflectance measurements (Table 1). Vitrinite particles were found in four samples in very low quantity. Only one sample was suitable for vitrinite reflectance measurements (Fig. 1a), while vitrinite in other three samples was fine-grained, thus not suitable for the analyses (Fig. 1b).

Illite and chlorite “crystallinity” indices (Table 1), obtained on the <2 $\mu$ m fractions, show that thermal alterations

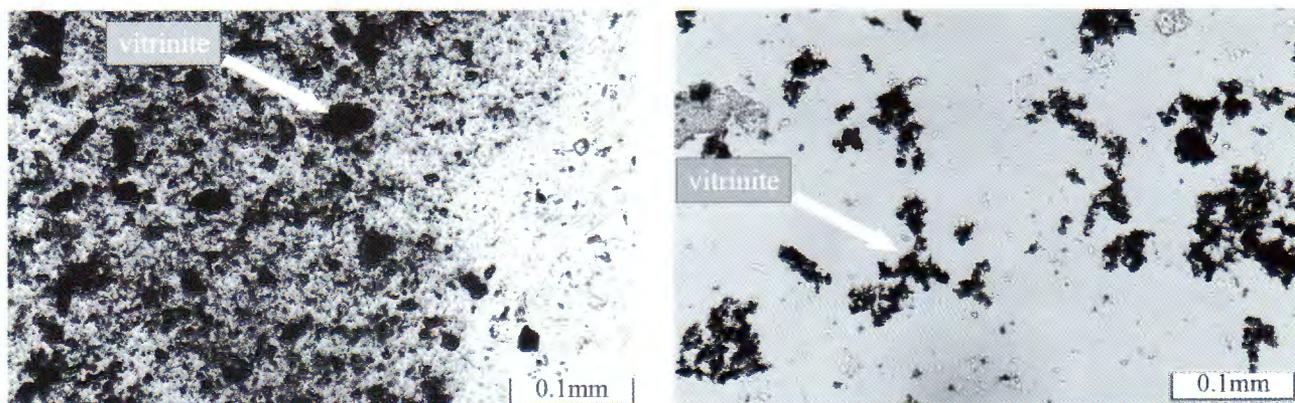


Fig. 1 (a) Grains of vitrinite in sample RA–12 suitable for vitrinite reflectance measurements, and (b) fine-grained vitrinite in sample RA–11 not suitable for vitrinite reflectance measurements.

SAMPLE	ROCK TYPE	KIC ( $\Delta^{\circ}2\theta$ )	ChC (001) ( $\Delta^{\circ}2\theta$ )	ChC (002) ( $\Delta^{\circ}2\theta$ )	TOC (%)	VITRINITE REFLECTANCE (%)
RA-1B	Phyllite	0.250	0.234	0.241	0.02	–
RA-2	Metasandstone	0.240	0.253	0.240	0.00	–
RA-3	Metasandstone	0.239	0.236	0.234	0.10	–
RA-8	Metaconglomerate	0.239	0.221	0.232	0.00	–
RA-11	Metasandstone	0.244	0.291	0.259	0.20	–
RA-12	Phyllite	0.249	0.259	0.238	0.12	4.6

Table 1 Results of illite Kübler index and chlorite "crystallinity" (IC and ChC) measurements, percentage of organic carbon (%TOC) and vitrinite reflectance from samples from Radlovac formation.

(regional metamorphism) range from the upper anchizone (approximately 250°C) to the low temperature part of epizone (300°C), thus all samples are slightly metamorphosed. The results of vitrinite reflectance measurements on sample RA-12 indicates meta-anthracite coal rank and shows good correlation with KIC and ChC data.

### References

- ÁRKAI, P. (1991): Chlorite crystallinity: an empirical approach and correlation with illite crystallinity, coal rank and mineral facies as exemplified by Palaeozoic and Mesozoic rocks of northeast Hungary.– *J. Metamorphic Geol.*, 9, 723–734.
- ÁRKAI, P., SASSI, P.F. & SASSI, R. (1995): Simultaneous measurements of chlorite and illite crystallinity: a more reliable tool for monitoring low- to very low grade metamorphisms in metapelites. A case study from the Southern Alps (NE Italy).– *Eur. J. Mineral.*, 7, 1115–1128.
- JAMIČIĆ, D. (1988): Tectonics of the Slavonian Mts. (in Croatian).– Unpubl. PhD Thesis, University of Zagreb.
- KISCH, H.J. (1987): Correlation between indicators of very low-grade metamorphism.– In: FREY, M. (ed.): *Low-temperature metamorphism*. Blackie and Son Ltd, Glasgow, 227–301.
- KÜBLER, B. (1968): Évaluation quantitative du métamorphisme par la cristallinité de l'illite.– *Bull. Centre Rech. Pau-SNPA*, 2, 385–397.
- PAMIĆ, J. & LANPHERE, M. (1991): Hercynian granites and metamorphic rocks from Papuk, Psunj, Krndija and surrounding basement of the Pannonian Basin (northern Croatia) (in Croatian).– *Geologija*, 34, 81–253.

## Rezultati dosadašnjih istraživanja novog pleistocenskog lokaliteta na Marleri u južnoj Istri

### The Recent Results of Investigations of a New Pleistocene Locality on Marlera in Southern Istria

Dejana Brajković<sup>1</sup>, Vesna Malez<sup>1</sup>, Jadranka Mauch Lenardić<sup>1</sup>,  
Ivor Karavanić<sup>2</sup> & Kazimir Miculinić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zavod za paleontologiju i geologiju kvartara Hrvatske akademije znanosti i umjetnosti, Ante Kovačića 5/II, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: zpgkvarar@hazu.hr

<sup>2</sup>Odsjek za arheologiju Filozofskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Ivana Lučića 3, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** gornji pleistocen, vertebrati, Marlera, južna Istra, Hrvatska.

**Key words:** Upper Pleistocene, Vertebrates, Marlera, Southern Istria, Croatia.

Na poluotoku Marlera, nedaleko Ližnjana u južnoj Istri, tijekom eksploatacije u aktivnom kamenolomu otvorena su dva profila (Marlera I, Marlera II) međusobno udaljena oko 120 m i zapunjena izrazito fosilifernim, karakterističnim pleistocenskim sedimentima. Istraživanjima započetim 2000. godine, utvrđeno je da se vjerojatno radi o dijelovima istog špiljskog sustava, čiji prvobitni oblik, zbog dosadašnjih radova u kamenolomu, nije moguće u potpunosti rekonstruirati. Zemljopisne koordinate su 44°48'60" sjeverne zemljopisne širine i 13°58'40" istočne zemljopisne dužine. Višegodišnjim terenskim istraživanjima obuhvaćena su oba profila (Sl. 1). Sedimenti Marlere I do sada su preliminarno istraženi do dubine od oko 8 m, no njegova potpuna visina još nije utvrđena.

Sedimentološkim analizama ustanovljena je razlika u vrsti sedimenata Marlere I i Marlere II, koji su na oba profila podijeljeni u tri cjeline. Općenito, sedimenti na profilu Marlera I su rastresitiji (pjeskovito–glinoviti silt) od onih na profilu Marlera II (uglavnom siltna glina), gdje je u najdonjoj cjelini ustanovljen visoki postotak kalcita, a i željezovita komponenta je zastupljenija nego u sedimentima na profilu Marlera I. Fosilni ostaci životinja, pronađeni na oba

profila, potvrđuju gornjopleistocensku faunsku asocijaciju, u kojoj su determinirani pripadnici nižih vertebrata (Pisces), ptica (Aves), mikrosisavaca (Insectivora, Chiroptera i Rodentia) i makrosisavaca (Carnivora, Ungulata). Fosilni skeletni materijal koji je ekstrahiran iz sedimenata Marlere I sa dubine od oko 3 m, radiometrijski je datiran (AMS; VERA–2336), te je dobiven podatak od 41.600±1.300/1.100 godina prije sadašnjosti.



Sl. 1 Kamenolom Marlera s profilima Marlera I (a) i Marlera II (b).  
Fig. 1 Marlera quarry with the profiles Marlera I (a) and Marlera II (b).

Za razliku od samo jednog, specifički neodredivog nalaza ribe (Pisces), ptice (Aves) su zastupljene s 44 vrste i grupirane u 24 porodice. Najveći broj članova ove avifaunske zajednice (35 vrsta ili 79,5%) su predstavnici umjerene klimatske zone. Determinirano je i nekoliko subrecentnih vrsta, značajnih predstavnika hladnije klime (tundra–borealna zona). Od mikrosisavaca (Insectivora /*Talpa* sp./ i Chiroptera /*Rhinolophus ferrumequinum*/) samo su preliminarno određeni neki skeletni ostaci, dok su od glodavaca (Rodentia) detaljno morfometrijski analizirani zubi voluharica (porodica Arvicolidae) sljedećih vrsta i grupa vrsta: *Microtus ex gr. arvalis/agrestis* (poljske/livadne voluharice), *M. ex gr. subterraneus/multiplex* (podzemni/alpski voluharići), *Arvicola terrestris* (vodeni voluhar) i *Clethrionomys glareolus* (riđa voluharica). Najbrojnija je grupa vrsta *Microtus ex gr. arvalis/agrestis*, znatno manje prisutna (svega 12 zuba) je grupa vrsta *M. ex gr. subterraneus/multiplex*, dok je od vodenog voluhara, kao i riđe voluharice određen po jedan zub. Iako malobrojan, uzorak grupe vrsta *M. ex gr. subterraneus/multiplex* dao je najveće srednje vrijednosti duljine prvih donjih kutnjaka, kao i duljine anterokonidnog kompleksa u usporedbi s istim podacima za druge hrvatske (Vindija i Mujina pećina), kao i kasnoglacialne europske lokalitete (npr. Große Badlhöhle – Štajerska, Austrija). Može se pretpostaviti da ti zubi, zbog svoje veličine, više odgovaraju zubima vrste *Microtus multiplex*, danas žive u nekim sjevernijim dijelovima Istarskog poluotoka.

U osteološkom i odontološkom materijalu Marlere I i II određene su neke vrste životinja koje i danas nastanjuju širu okolicu lokaliteta. Cijele godine prisutno je 27 vrsta ptica stanarica, zec (*Lepus* sp.), neke zvijeri (npr. *Martes* sp., *Vulpes vulpes*) i ungulati (*Sus scrofa*, *Cervus elaphus*, *Capreolus capreolus*). Zbog klimatskih promjena krajem pleistocena i početkom holocena, neki elementi faunske asocijacije Marlere migrirali su u druga, biotopski pogodnija područja. Tako su paleontološki dokazane dvije vrste ptica (*Grus grus* i *Tetrax tetrax*), koje danas nastaju

otvorene predjele stepske klimatske zone. I poljske, odnosno livadne voluharice danas obitavaju na otvorenim, travnatim staništima i nisu dio recentne faune ovog lokaliteta i njegove okolice. Isto se može zaključiti i za drugu grupu vrsta arvikolida (*Microtus ex gr. subterraneus/multiplex* – podzemni/alpski voluharići), neke zvijeri (*Ursus arctos*, *Canis lupus* i *Felis silvestris*) i jelena lopatara (*Dama dama*). Posebno je za naglasiti prisutnost izumrlih fosilnih vrsta utvrđenih u oba istraživana profila: *Panthera spelaea*, *Bos primigenius* i *Equus caballus*.

Prema određenoj fauni mikrosisavaca, tijekom gornjeg pleistocena u okolini lokaliteta Marlere prevladavala su otvorena, travnata staništa. Također se zaključuje da se tada areal rasprostranjenosti voluharica prostirao južnije od današnjeg. Prema tome, prostori istočnog Jadrana bili su pribježišta takvim vrstama, osobito tijekom zadnjih gornjopleistocenskih oledbi.

Pripadnici skupine ungulata (*Bos primigenius*, *Equus caballus*, *Cervus elaphus*, *Dama dama*) vrlo su širokog dnevnog i sezonskog područja migracije, te uz travnata prostranstva indiciraju i prisustvo otvorenih, primarno bjelegoričnih šuma. Može se zaključiti da su tijekom završne faze Würm II stadijala pa sve do kraja Würm III stadijala na području južne Istre vladali relativno povoljni klimatski uvjeti.

Prisutnost čovjeka na ovim prostorima potvrđuju nalazi više komadića rožnjaka iz okoliša, nedvojbeno modificiranih ljudskom rukom. Ovaj litički materijal je sukcesivno vertikalno distribuiran kroz sedimente profila Marlere I, do sada istražene dubine od oko 8 m.

Rezultati dosadašnjih istraživanja oba profila na lokalitetu Marlere, dopunjuju ranije spoznaje i omogućuju podrobnije rekonstruiranje faunskih zajednica i paleookoliša šireg područja tijekom gornjeg pleistocena. Istovremeno se otvara i pitanje prve pojave pripadnika roda *Homo* u ovim prostorima.

## The Repetition of the Cycles – Another Autocyclic Explanation

Damir Bucković

*Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Ulica kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: damir.buckovic@zg.t-com.hr*

**Key words:** Middle Lower Jurassic, Autocyclicity, Adriatic–Dinaric carbonate platform, Mt. Velika Kapela, Croatia.

Middle Lower Jurassic carbonate succession of Mt. Velika Kapela is composed of coarsening-upward cycles. Analysis of facies alternation and stacking pattern reveals a sporadic appearance of oolitic facies indicating oolitic shoal progradation from neighboring topographic highs. These progradations interrupted the constant “in situ” carbonate sediment aggradation, which produced typical coarsening-upward architecture. Two types of coarsening-upward cycles can be distinguished: (1) cycles with peloidal–bioclastic upper cycle members, and (2) cycles with oolitic upper cycle members. It can be presumed that these facies differences, i.e. cycle architecture, are mainly the result of autocyclic processes operating within the Adriatic–Dinaric carbonate platform (ADCP). Among those processes, aggradation of subtidal carbonate deposits and progradation of small ooid shoals appear to be the most important.

During periods when the water depth (i.e., accommodation space) on many ADCP parts was greater than one-half of the wavelength, there was no movement of sediment particles at the sea bottom except during storm events. Therefore, in quiet subtidal environments below the fair-weather wave-base, peloids and calcareous mud, as well as benthic forams occasionally associated with various bioclasts, were predominantly accumulated, producing muddy carbonate deposits (“catch up” phase sensu KENDALL & SCHLAGER, 1981).

It is presumed that the carbonate production rate exceeded both the rate of subsidence and the rate of eustatic sea-level rise (i.e. relative sea-level rise). Such high carbonate accumulation rate caused gradual reducing of accommodation space, i.e., decrease of water depth. When the water depth became less than one-half of the wavelength, there were occasional motions of sediment particles by waves on the sea-bottom. Under such shallower-water and higher energy conditions, various coarser-grained calcareous particles were formed, producing grain supported deposits. With continuing carbonate production, accommodation space further decreased and the sea-bottom continues to aggrade (“keep up” phase sensu KENDALL & SCHLAGER, 1981). Yet, such environment with agitated water, supersaturated with  $\text{CaCO}_3$ , became unfavorable for the majority of carbonate-producing benthic organisms (e.g. foraminifera, mollusks). Also, highly oxygenated pore waters and high water exchange rates enhanced the process of cementation. Under such conditions, the rate of new carbonate sediment production slowed down, i.e. the carbonate accumulation was easily outpaced by continued relative sea-level rise, and sea-bottom was lowered below the fair-weather wave base. After this “lag phase” (READ

et al., 1986; SCHLAGER, 1992), carbonate-producing organisms (mostly mass faecal pellets producers, e.g. worms, ostracodes, gastropods) colonized the sea-bottom drowned below the fair-weather wave base, and carbonate production was re-established (“start-up” phase sensu KENDALL & SCHLAGER, 1981; or “lag phase” sensu SCHLAGER, 1992); a new cycle with a muddy lower member started to accumulate (“catch-up” phase sensu KENDALL & SCHLAGER, 1981). Such autocyclic mechanism would explain the origin of the coarsening-upward cycles with peloidal–bioclastic upper cycle members.

In contrast to that, environmental conditions within sporadically presented subtidal topographic highs were rather different. In these places, the water was shallower and the wavelengths were consequently shortened, so the sea-bottom was positioned closer to the fair-weather wave-base. Thus, when the water depth became less than one-half of the wavelength, water temperature and pH as well as the carbonate saturation level and water energy increased, favoring the formation of ooids (e.g., GONZALES, 1996). In such conditions, the ooids are in constant motion allowing them to grow around a nucleus forming an oolitic shoal. With continuing production of ooids the accommodation space decreases. When oolitic shoals aggraded close to the sea level, they begin to prograde laterally under influence of tidal and/or storm currents (when distinct cross- and/or horizontal lamination was formed), covering the adjacent deposits below and/or above the fair-weather wave-base and forming the coarsening-upward cycles with distinct upper oolitic and/or oolitic–bioclastic cycle members. Therefore, the occurrence of cycles with ooids reflects the oolitic shoal progradations. These oolitic shoal progradations were random, episodic processes that depended on physical factors within the sedimentary environment. Among those, the most important was the formation of subtidal topographic highs on which the water depth was reduced. It is presumed that small-scale syndimentary uplifts created these topographic highs. These small-scale uplifts were random events, with no predictable periodicity and place of occurring. Thus, in periods when small topographic highs existed, oolitic shoals also existed and prograded over the subtidal below the fair-weather wave-base when one coarsening-upward cycle with ooid grainstone as the upper cycle member was formed. Analogously, in periods when oolitic shoals prograded over the subtidal above the fair-weather wave-base, one coarsening-upward cycle with ooid–bioclastic packstones to grainstones as the upper cycle member was formed. In periods when high energy storm events triggered progradation, i.e. rapid migration of

oolites, these currents succeeded to erode subtidal bottom when erosive bases of the oolites were formed.

During periods without oolitic shoal progradations, only vertical aggradation of subtidal carbonate deposits occurred, producing successive series of coarsening-upward cycles with peloidal–bioclastic upper cycle members.

### References

- GONZALES, R. (1996): Response of shallow-marine carbonate facies to third-order and high-frequency sea-level fluctuations: Hauptrogenstein Formation, northern Switzerland.– *Sedimentary Geology*, 102, 111–130.
- KENDALL, C.G.St.C. & SCHLAGER, W. (1981): Carbonates and relative changes in sea level.– *Marine Geology*, 44, 181–212.
- READ, J.F., GROTZINGER, J.P., BOVA J.A. & KOERSCHNER, W.F. (1986): Models for generation of carbonate cycles.– *Geology*, 14, 107–110.
- SCHLAGER, W. (1992): Sedimentology and sequence stratigraphy of reefs and carbonate platforms.– *Am. Assoc. Petrol. Geol., Contin. Educ. Course Note Ser. 34*.

## The Role of Geological Mapping in the Economic Evaluation of a Territory (The New Map of Mecsek Mts., Hungary)

Géza Chikán

*Geological Institute of Hungary, Stefánia út 14, H-1143 Budapest, Hungary; e-mail: chikan@mafi.hu*

**Key words:** Geological mapping, Mesozoic, Tertiary, Quaternary, Economic geology.

The Mecsek hills in southern part of Hungary with the highest peak of 682 m is a folded and broken area. The oldest rocks on the surface are more than 300 M year old, and Quaternary sediments cover it with different thickness. The geological section of mountain is beginning with Paleozoic granite (Mórágý Complex). The age of the Complex is 330 to 350 Ma. The oldest sedimentary rocks are Permian sandstones with some rhyolite subvolcanic rocks (Korpád, Cserdi, Boda and Gyúrúfű Formation; maximal thickness of this formations is 2800 m). The Mesozoic sequence is consisting of sandstones, limestone, dolomite and other sedimentary rocks with some coal-bearing strata in the Jurassic. Mesozoic sediments have about 5000 m thickness. On the end of the Mesozoic were deposited Cretaceous sediments. They consist of mostly worked up volcanic rocks, partly different limestone and marl (Márévár, Hidasivölgy, Magyaregregy, Apátvarasd Formations). A special deep marine basin facies represents the Upper Cretaceous Vékény Formation.

After the Cretaceous follows a long terrestrial period without sediments: the next formations were deposited in Miocene. This period begins with variegated terrestrial (fluvial) conglomerate, sandstone and siltstone (Szászvár Formation, about 700 m thick), and after it begins a new transgression with some volcanic events (Budafa Formation, mainly sandstone, 700 m, Gyulakeszi Formation, rhyolite tuff, 30–100 m, Tar Formation, dacite tuff, 15–50 m, Mecsek Andesite Formation, about 300 m). The marine sediments of Miocene are schlier (Tekeres Formation), limestone (Pécsszabolcs Formation), clay marl (Szilágy Formation), paralic-brackish lignite (Hidas Formation), brackish-shoreline limestone (Tinnye Formation) and marl (Kozárd Formation, Csákvár Formation). Thickness of marine Miocene sediments is maximum 800 m.

The closing sediments of Miocene are Kálla and Somló Formations ("Pannonian beds"), marginal sand, sandstone and fine-grained, well-rounded gravel. They have together about 150 m thickness.

In the Quaternary were deposited 5–100 m thick sediments in different way. Most frequent and thick is loess (it could be 70 m thick) and different type of slope-sediments.

Our new map is on a 1:50000 scale. It shows a semi-surface situation: on the higher part of mountain are drawn those formations, which have significant thickness.

This new map is suitable for economic evaluation of geological formations of an area; my poster presents first attempt of this evaluation on western part of this area.

The economic geology is the geology of mineral deposits in the everyday practice as it is written by BATES & JACKSON (1987): "The study and analysis of geologic bodies and materials that can be utilized profitably by man including fuels, metals, nonmetallic minerals and water; the application of geologic knowledge and theory to the search for and the understanding of mineral deposits."

It is plausible for a geologist that geological formations have any social usefulness in that case too if they aren't "classical" raw materials. What is more we can say that the usefulness of exploitation of a formation as raw material could be less than the in situ value. Geological formations and the geodiversity (formation's great variety influencing pedological, morphological, hydrological and biogeographical picture of an area) play important role in construction of our environment. Therefore we can and have to give economic value to geological formations, and the total value of a formation is aggregation of value of raw materials, hydrogeological, engineering geological, environmental geological, touristic and scientific value of a formation. It means that in the close future we have to use a new conception of economic geology. My conception is that the economic geology is:

"Analyzing of composition, strata, structure and relations of geological formations from that point of view that we can recognize the possibilities determining of most profitable rate of exploitation, sustainability and conservation of a formation for both of social usefulness and natural balance."

The poster shows a case study using of practical apply of this definition on a region of Hungary. The result of this study shows that this definition is useful and important for evaluating of natural resources of an area, and it plays important role in increasing of social knowledge about our science too.

### Reference

BATES, R.L. & JACKSON, J.A. (Eds.) (1987): *Glossary of Geology*.—3rd edition, Am. Geol. Inst. Alexandria, VA.



## O pelagozitu iz petrografske zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja

### On Pelagosite from the Petrographic Collection of the Croatian Natural History Museum

Marta Crnjaković, Marin Šoufek, Snježana Mikulčić Pavlaković,  
Dragan Bukovec & Damir Lacković

Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: marta.crnjakovic@hpm.hr

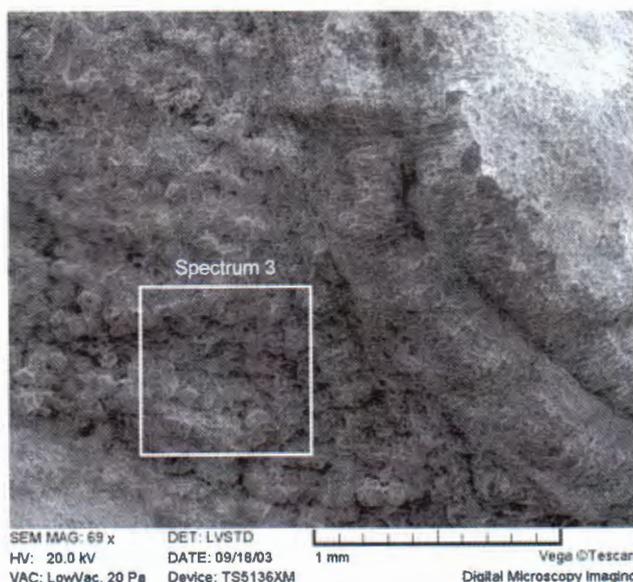
**Ključne riječi:** pelagoziti, aragonit, kalcit, jadranski otoci, petrografska zbirka, Hrvatski prirodoslovni muzej.  
**Key words:** Pelagosite, Aragonite, Calcite, Adriatic Islands, Petrographic collection, Croatian Natural History Museum.

Na stijenama u zoni prskanja valova javlja se crna ili sivkasta prevlaka, koja izgleda poput stakla. STOSSICH (1878) je prema otoku Palagruži (Pelagosa) pojavu nazvao pelagoziti. Priroda pelagozita zbunjivala je prve istraživače. VÉLAIN (1874) je mislio da se radi o silikatnoj tvari, MARCHESETTI (1876) piše o crnom opsidijanu, BIANCONI (1877/78 – prema BARIĆ, 1974) ga smatra fulguritom, a CAPELLINI (1878) produktom izgaranja nekog plina (prema BARIĆ, 1974). TSCHERMAK (1878) je pojavu pokušao objasniti utjecajem morske vode na vapnence i dolomite u podlozi, no već ga DES CLOIZEAUX (1874) i VÉLAIN (1878) nalaze i na feldspatskim stijenama Korzike i obalama Orana, te na bazaltima Réuniona. Na jadranskim otocima pelagoziti se osim na vapnencima i dolomitima također javlja i na eruptivima, pa ga tako GÖNNER (1916) spominje na Brusniku. Već prve kemijske analize pelagozita pokazale su da se radi o karbonatnom mineralu – CLOËZ (1877), VIERTHALER (1878), STOSSICH (1878), SQUINABOL & ONGARO (1901), te ONORATO (1926). GÖNNER (1916) opisuje i gotovo bijele prevlake na Biševu za koje je bojenjem utvrdio da

se sastoje od kalcita, a bijeli pelagoziti našao je i na otoku Sv. Andrija (Svetac). Slijedi niz radova kojima se nastojalo saznati radi li se o kalcitu ili aragonitu, da bi konačno CLERICI (1921) i ONORATO (1926) utvrdili aragonit. Rendgenske analize pelagozita s otočića Kamik kod Visa (inv. br. 6699:MPI), te školja kod otoka Svetac pokazale su nedvosmisleno da se u tim primjerima radi o aragonitu (BARIĆ, 1972/1973, 1974).

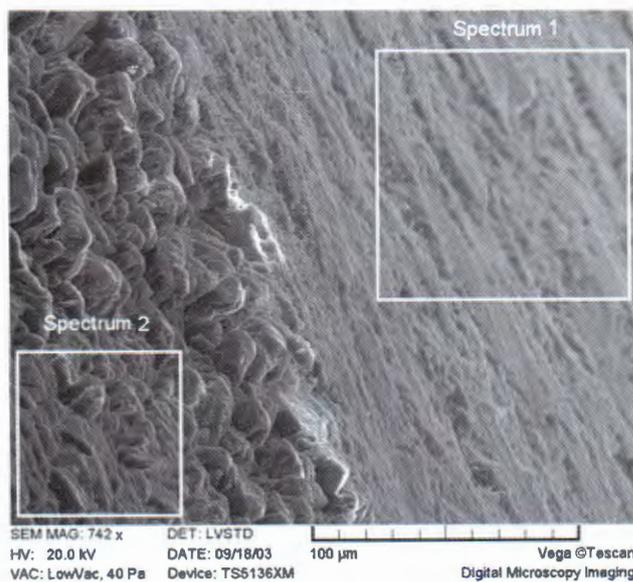
U sklopu projekta “Hrvatski otoci Jadrana” prikupljeni su uzorci pelagozita na otocima Velika i Mala Palagruža, Svetac, Kamik kod Sveca, Brusnik, te na našem najudaljenijem otočiću Galijulu. Izdvojeno je više morfoloških tipova koji su istraženi optički, a vrsta karbonata određena je bojenjem. Detaljna istraživanja provedena su skenirajućom elektronskom mikroskopijom, a kemizam glavnih komponenti energetsko disperzivnom spektroskopijom. Dobiveni podaci daju uvid u primarnu i dijagenozom izmijenjenu strukturu pelagozita.

Pelagoziti se na prikupljenim uzorcima javlja u raznolikim oblicima, a boja mu varira od gotovo crne do svjetlo sive. Izuzetno, mogu se naći i bijeli poput neglaziranog



Sl. 1 SEM slika pelagozita (desno) i dolomita (lijevo) s V. Palagruže.

Fig. 1 SEM image of pelagosite (right), and dolomite (left) from V. Palagruža Island.



Sl. 2 SEM slika krupnozrnatih i fino zrnatih slojeva pelagozita s V. Palagruže.

Fig. 2 SEM image of coarse grained and fine grained laminae of pelagosite from V. Palagruža Island.

Rezultat EDS	Kemijski sastav/Chemical composition (%)							Total
	Ca	Mg	K	Al	Si	C	O	
Spektar 1	28,49	1,20				15,87	54,44	100,00
Spektar 2	20,42	1,07	0,26		0,78	18,47	59,01	100,00
Spektar 3	20,87	7,20	0,65	0,82	1,85	14,34	54,26	100,00

Tablica 1 Kemijski sastav pelagozita (Spektar 1 – finozmata dio; Spektar 2 – krupnozrnasta lamina; Spektar 3 – dolomitna podloga pelagozita) (uzorak V. Palagruža; inv. broj 8177).

Table 1 Chemical composition of pelagosite (Spectrum 1 – fine-grained part; Spectrum 2 – coarse-grained laminae; Spectrum 3 – dolomite base) (sample, V. Palagruža; inv. number 8177).

porculana. Na mnogim tamnim varijetetima vidljivi su sićušni kristalići gipsa, često u obliku sraslaca.

Analiziran je gotovo crni pelagozit, s otočića Brusnika i bijeli iz uvale Maldefust na otoku Velika Palagruža. Brusnički pelagozit istražen je optički, a oba su testirana na aragonit Feigl-ovom otopinom. Na uzorku s Palagruže analizirana je dolomitna podloga (sl. 1; tablica 1), te krupnozrnasta i sitnozrnasta lamina pelagozita. Dobiveni energetsko disperzivni spektri (EDS) obuhvaćaju K, L i M tranzicije unutar 10 KeV s mogućnošću identifikacije lakih elemenata kao što su kisik i ugljik. Elementarni sastav izračunat je pomoću programa INCA 200. Iz sadržaja Ca i Mg izračunat je udio karbonatnih minerala i njihov kemizam, a ugljik (C), predstavlja "suvišak", koji ne ulazi u sastav dobivenih faza, tj. organski ugljik.

Brusnički pelagozit je aragonitni, svjetlosmeđ, s laminama debljine oko 3 μm. Vlakanca aragonita su okomita na laminu, a setovi lamina izmjenjuju se s pojedinačnim tamnim i gotovo neprozirnim "slojčićima".

Bijeli, kalcitni pelagozit s V. Palagruže građen je od lamina s "krupnijim" ekvidimenzionalnim kristalićima i paketa vrlo fine vlaknaste građe (sl. 2). Preračun EDS spektra pokazuje da vlaknasta lamina sadrži kalcit s nešto malo magnezija ( $\text{Ca}_{0,934}\text{Mg}_{0,073}\text{CO}_3$ ) i organski ugljik (tablica 1, spektar 1; sl. 2, spektar 1). Lamina s većim kristalima kalcita sadrži nešto više magnezijске komponente ( $\text{Ca}_{0,921}\text{Mg}_{0,079}\text{CO}_3$ ), više slobodnog (organskog) ugljika i neznatnu količinu kalija i silicija (tablica 1, spektar 2; sl. 2, spektar 2).

Različita boja lamina aragonitnog pelagozita vjerojatno odražava različiti udio organske tvari. Sitnozrnasta lamina kalcitnog pelagozita s manje magnezija i manje organskog ugljika, usporedljiva je s paketom svjetlije obojenih lamina aragonitnog pelagozita, dok je krupnozrnasta lamina kalcitnog pelagozita s većim "suviškom" ugljika usporedljiva s tamnom, organskom tvari bogatijom laminom u brusničkom aragonitnom pelagozitu. Stoga se može pretpostaviti da je bijeli oblik, u vadoznim uvjetima izmijenjeni i kalcitizirani primarno aragonitni pelagozit.

## Literatura

- BARIĆ, Lj. (1972/1973): Novi i navodno novi minerali sa područja Jugoslavije.– Glasnik Zemalj. muz., 11–12, 7–31, Sarajevo.
- BARIĆ, Lj. (1974): Pelagozit je prema Debye–Scherrerovoj metodi aragonit (Pelagosit ist nach der Debye–Scherrer-methode Aragonit).– Vijesti muzealaca i konzervatora Hrvatske, 23/5–6, 44–56, Zagreb.
- CLERICI, E. (1921): Pelagosite di Canalgrande nell'Iglesiente.– Atti R. Accad. dei Lincei, ser. 5, 29, I., 462–465, Roma.
- CLOËZ, S. (1877): Note sur une matière minérale d'apparence vitreuse qui se dépose sur les rochers du littoral de la Méditerranée.– Bull. soc. géol. France, 6 (III. serie), 84–85.
- DES CLOIZEAUX, A. (1874): Manuel de minéralogie.– Tome II, 1. Edit. Dunod, Paris.
- GÖNNER, O. (1916): Über Pelagosit von der Insel Busi und einiger benachbarten Inseln und Scoglien.– Denkschr. Akad. Wiss. (Math. naturwiss. Kl.), 92, 289–294, Wien.
- MARCHESETTI, C. (1876): Descrizione dell'isola di Pelagosa.– Boll. Soc. Adriat. sc. nat., 33, 283–306, Trieste.
- ONORATO, E. (1926): Sulla pelagosite delle Isole Tremiti nell'Adriatico.– Boll. Soc. geol. Ital. 45, 17–31, Roma.
- SQUINABOL, S. & ONGARO, G. (1901): Sulla pelagosite.– Rivista di mineralogia e cristallografia Italiana, 26, 44–57, Padova.
- STOSSICH, M. (1878): Sulla geologia e zoologia dell'isola di Pelagosa.– Boll. Soc. Adriat. sc. nat., 3/2, 184–192, Trieste.
- TSCHERMAK, G. (1878): Pelagosit.– Min. petrogr. Mitt. (Neue Folge), 1, 174–175, Wien.
- VÉLAIN, C. (1874): Discussion.– Bull. soc. géol. France; III. série, 6, 86.
- VIERTHALER, A. (1878): Analisi della pelagosite.– Boll. Soc. Adriat. sc. nat., 3, 529–530, Trieste.

## Facies Diversity and Environmental Significance of Aptian–Albian Platform Deposits of Mt. Svilaja (Dalmatia, Croatia)

Blanka Cvetko Tešović<sup>1</sup>, Damir Bucković<sup>1</sup>, Tvrtko Korbar<sup>2</sup>, Vladimir Jelaska<sup>1</sup> & Ivan Gušić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Ulica kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: blankacvetko@yahoo.com

<sup>2</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Key words:** Facies, Lower Cretaceous, Caprinids, Aptian emersion, Mt. Svilaja, Croatia.

Within the Lower Cretaceous (Aptian–Albian) carbonate platform deposits of Mt. Svilaja, two chronostratigraphically equivalent successions were analyzed – Milešina and Jarebinjak, situated on the southern and southeastern slopes, respectively (CVETKO TEŠOVIĆ et al., 2003). They are only 7 km apart from each other but differ in facies composition and in Aptian emersion features. Both localities reveal similar microfacies characteristic of the Lower Aptian interval, but differ from each other in thickness (Fig. 1). Both are composed of wackestones, oncoid–bioclastic floatstones with *Bacinella irregularis* RADOIČIĆ and requieniid rudist fragments. Characteristic species include *Praeorbitolina cormyi* SCHROEDER, *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH), and *Voloshinoides murgensis* LUPERTO SINNI & MASSE, as well as *Novallesia distorta* ARNAUD-VANNEAU, *Debarina hahounerensis* FOURCADE et al., *Spiroloculina cretacea* REUSS, *Istrilocolina* cf. *elliptica* (IOVCHEVA), *Rumano-loculina robusta* (NEAGU) and very rare *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ.

However, at the Jarebinjak locality, as distinct from the Milešina locality, at the beginning of the Lower Aptian, a species-rich rudist assemblage occurs embedded within bioclastic floatstones (Fig. 1). At weathered surfaces, caprinid, caprotinid and probably monopleurid transverse sections can be recognized. Unfortunately, the caprinid inner shell layers that include diagnostic pallial canals were originally aragonitic and are thus frequently heavily recrystallized. Nevertheless, a few caprinid transverse sections could be referred to *Offneria nicolinae* (MAINELLI), *O.* cf. *murgensis* MASSE, *O.* cf. *interrupta* (PAQUIER), caprotinids to *Glossomyophorus costatus* MASSE et al., and monopleurids to ?*Agriopleura*, indicating an Early Aptian age (MASSE, 2003). The caprinid assemblages, as well as the thicker Lower Aptian interval, indicates an influence of open sea circulation and a more pronounced accommodation space, respectively, probably as a result of synsedimentary tectonic.

On the Milešina locality, several metres thick sequence of algal wackestones, peloid–miliolid packstone–grainstones and peloid–miliolid wackestones with very frequent *Salpingoporella urladanasi* CONRAD et al., *S. hasi* CONRAD et al., and rare *S. dinarica* RADOIČIĆ, as well as foraminiferal taxa; *Pseudonummoloculina aurigerica* CALVEZ, *Glomospira urgoniana* ARNAUD-VANNEAU, *Istrilocolina granumtrici* NEAGU, *Sabaudia minuta* (HOF-

KER), *Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO), *V. immaturata* HE and *V. laurentii* (SARTONI & CRESCENTI), directly overlie certain Lower Aptian strata. Regressive trend and subaerial exposure features, which are usually characteristic for this horizon elsewhere in the Karst Dinarides (VELIĆ et al., 1989), occur here too. The regressive trend is marked by a thin layer of breccia and/or frequent charophytes, which reflect a change in environmental condition: an increasing fresh water influence.

Contrary to that, at the Jarebinjak locality, that horizon exhibit more distinct regressive trends and 7 to 8 thin beds of clay and marl associated with subaerial exposure features. The limestone beds within this occasionally emergent horizon are characterized by algal wackestones with common to dominant *Salpingoporella dinarica*, rare *Orbitolina* (*Mesorbitolina*) *parva* DOUGLASS, *O. (M.) texana* (ROEMER), *Pseudonummoloculina aurigerica* and *Glomospira urgoniana*.

Above the emergence horizon, the Upper Aptian?–Lower Albian successions at both localities comprise micritic limestones with variable amounts of calcareous mud pellets, peloids and skeletal grains (rare miliolids and ostracods). They irregularly alternate with thin layers of peloid–intraclastic–skeletal packstone–grainstones and peloid wackestone–packstones with fragments of molluscs (usually gastropods) and benthic foraminifera: *Orbitolina* (*Mesorbitolina*) *texana*, *Vercorsella scarsellai*, *V.* cf. *immaturata*, *Sabaudia minuta*, *Cuneolina sliteri* ARNAUD-VANNEAU & PREMOLI SILVA, *Istrilocolina* cf. *granumtrici*, *Debarina* cf. *D. hahounerensis* FOURCADE et al. and others.

### References

- CVETKO TEŠOVIĆ, B., BUCKOVIĆ, D., JELASKA, V., GUŠIĆ, I. & KORBAR, T. (2003): Lower Cretaceous Platform Deposits of Mt. Svilaja. – In: VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (eds.): Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin, 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija 2003, Field Trip Guidebook, Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- MASSE, J-P. (2003): Integrated stratigraphy of the Lower Aptian and applications to carbonate platforms: a state of the art. – In: GILI, E., NEGRA, M.H. & SKELTON, P.W. (eds.): North African Cretaceous Carbonate Platform Systems, 203–214, Kluwer Academic Publisher.

VELIĆ, I., TIŠLIJAR, 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.

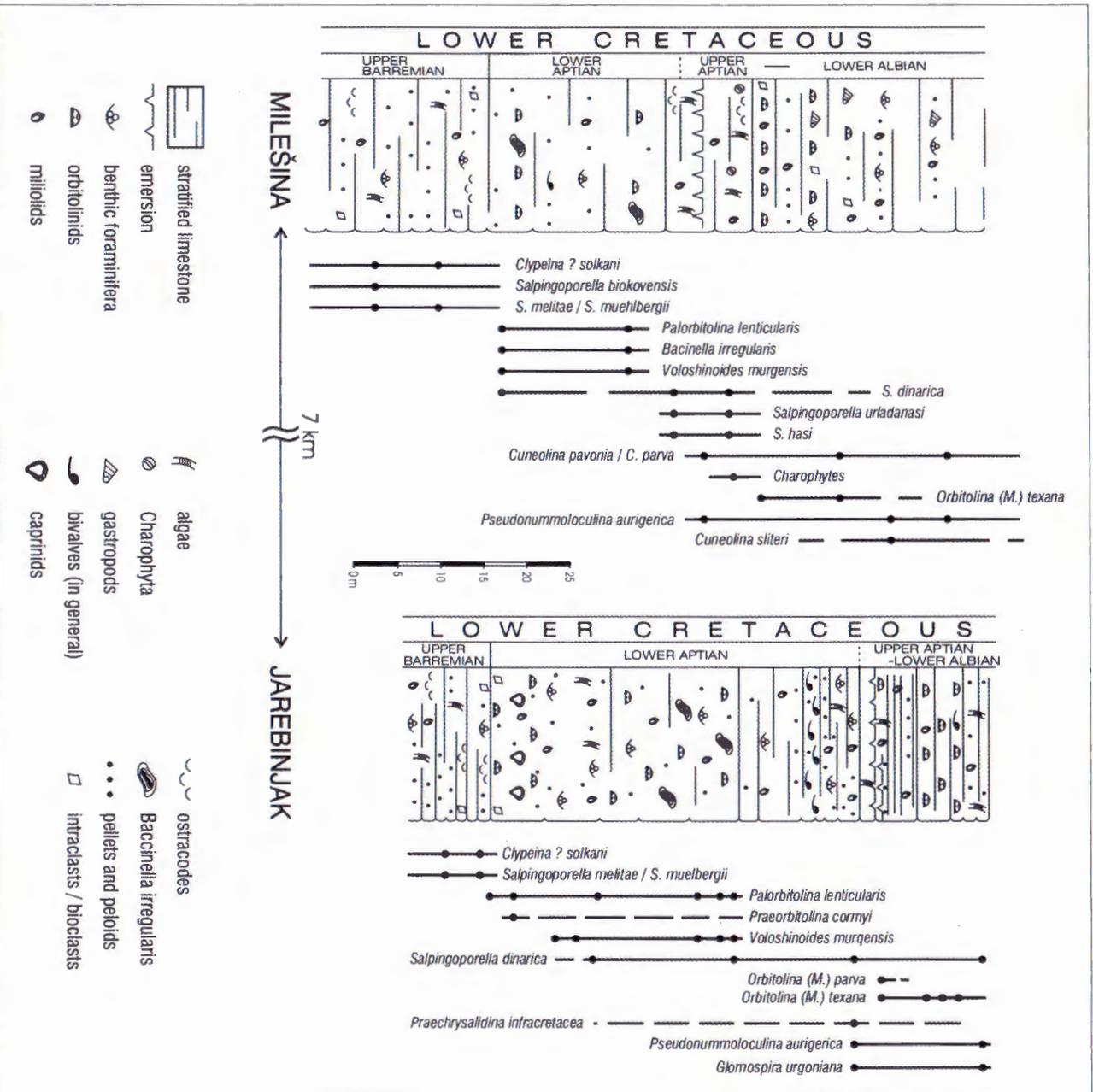


Fig. 1 Geological columns of the Lower Cretaceous deposits (Upper Barremian–Lower Albian) of Milešina and Jarebinjak localities, Mt. Svrljaja.

# Stratigrafija i tektonika terena u području slapa Skakavac kod Sarajeva

## Stratigraphy and Tectonics of the Area of Waterfall Skakavac near Sarajevo

Safet Čičić<sup>1</sup> & Ferid Skopljak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Grbavička 127, BIH-71000, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

<sup>2</sup> Stjepana Tomića 3, BIH-71000, Sarajevo, Bosna i Hercegovina

**Ključne riječi:** slap Skakavac, trijas, jura–kreda, sinklinala Ozren–Luka, perački rasjed, durmitorska navlaka.  
**Key words:** Skakavac waterfall, Triassic, Jurassic–Cretaceous, Ozren–Luka syncline, Perački fault, Durmitor overthrust.

Slap Skakavac je jedan od najvećih slapova u Dinaridima Bosne i Hercegovine. Autori su proučavanje ove raritetne prirodne cjeline izvršili tokom 2004. godine u cilju pripreme plana zaštite slapa Skakavac. Tom prilikom su uočene, i u osnovi riješene, mnoge bitne karakteristike terena, a posebno u vezi s genezom vrela i slapa. U ovom radu su prezentirani neki novi rezultati proučavanja stratigrafije i tektonike ovog terena.

Slap Skakavac se nalazi u sjeverozapadnom dijelu planine Ozren, sjeverno od Sarajeva. Teren i njegova okolina imaju planinski karakter, a najizrazitija geomorfološka točka terena je Bukovik (1532 m n.m.). Izražena odlika cijelog kraja je prisustvo planinskih grebena. Svi grebeni prate kontakte karbonatnih stijena trijasa i, uglavnom, naslaga jursko–krednog fliša. Glavni vodni tok je Perački potok, koji se nalazi u zoni većeg regionalnog rasjeda, a njegove pritoke imaju korito u trijaskim klastičnim stijenama. U dolini Peračkog potoka je, na dužini od oko 3,5 km, formirana klisura čije vrlo strme strane, na kratkom rastojanju, imaju visine od 500–750 m. Potok Skakavac je formiran od istoimenog vrela i nekoliko povremenih potoka. Njegova dolina ima klisurasti oblik koja pri ušću u Perački potok iz smjera SZ–JI prelazi u smjer sjever–jug. Donji dio toka je u pješčenjacima donjeg trijasa i vapnencima anizika, koji se oko 600 m od njegovog ušća u Perački potok javljaju u vidu grebena na kojem je formiran istoimeni slap. Slap Skakavac je visok 98 m. Količina vode koja se obrušava niz okomitu liticu varira od 5–20 l/s.

### 1. Stratigrafija

U geološkom sastavu terena užeg područja Skakavca učestvuju sedimentne stijene donjeg ( $T_1$ ) i srednjeg trijasa ( $T_2^1$  i  $T_2^2$ ) i jursko–kredni fliš (J,K).

#### Trijas

**Sedimenti donjeg trijasa** se javljaju u vidu pojasa između krutih karbonatnih masa srednjeg trijasa u njegovoj unutrašnjosti i jursko–krednog fliša s vanjske strane. U sastavu donjeg trijasa učestvuju pješčenjaci, glinci, laporci i vapnenci. Oni su jako tektonski oštećeni, a uslijed dugotrajnog djelovanja egzogenih faktora raspadnuti i promijenjeni. U zoni slapa prevladavaju kvarcni pješčenjaci, u subokomitom položaju, gdje su neposredno podina vapnencima anizika (Sl. 1).

**Karbonati anizika** su razvijeni na obje strane Peračkog potoka. U karbonatnom paketu su izdvojene tri zone: a) zona sa krinoidskim vapnencima (*Dadocrinus gracilis*); b) zona sa brahiopodskim vapnencima (*Rhynchonella decurtata*) i c) sa crvenim brečastim vapnencima zone *Ceratites trinodosus*. Debljina karbonata anizika u punom razvoju varira od 250–300 m. Kontakt sa pretežno klastičnim sedimentima donjeg trijasa je, obično, normalan sa kontinualnim prijelazom. Karbonati anizika su na lijevoj strani Peračkog potoka očuvani u obliku sinklinale.

**Litofacijesi ladinskog kata** se nalaze u dvije cjeline, očuvane u dnu sinklinale Ozren–Luka. Prema dosadašnjim saznanjima zastupljene su samo starije ladiničke tvorevine ( $T_2^2$ ) predstavljene glincima, laporcima, tuftičnim pješčenjacima, rožnacima i, sasvim podređeno, pločastim, često silificiranim vapnencima sa nodulama rožnaca. KITTL (1904) iz izdanaka sivih vapnenaca u Sič potoku, na SZ strani Ozrena, navodi sljedeće fosile: *Cidaris roemeri*, *Cidaris* sp., *Encrinus* cf. *cassianus*, *Waldheimia*? sp. i *Retzia* sp., sa fragmentima amonita. Autor smatra da su u pitanju stijene ladinske starosti ( $T_2^2$ ), ali ne isključuje mogućnost da su vjerovatno, i stariji – anizijski “Muschelkalkalter” (KITTL, 1904).

#### Jura–kreda

Najveći dio terena na sjeverozapadnim padinama Ozrena izgrađuju flišne naslage jursko–kredne starosti. U građi flišnih sekvencija prevladavaju kalkareniti, pješčenjaci i laporci. Rjeđe su sekvencije sa brečastim vapnencima, a glinci su prisutni u značajnoj mjeri (JOVANOVIĆ et al., 1978). U rejonu Skakavca u građi sekvenci fliša učestvuju laporci, škriljavi glinci, vapnenci i pješčenjaci. Jursko–kredni fliš je, pouzdano, u eroziono–tektonskoj diskordanciji prema starijim trijaskim naslagama, a da li je njihov kontakt navlačni i ovdje, to sada nije deciderano konstatirano. Debljina J,K fliša ovih terena nije egzaktno određena. Razlog je velika poremećenost i ubranost. U njima su česte izoklinale bore, pa procjene debljine variraju od oko 200–600 m.

### 2. Tektonika

U tektonskoj rejonizaciji sarajevskog regiona obrađivani teren pripada strukturno–facijalnoj jedinici Ledići–Ozren. Kako je izloženo, u građi ovog terena učestvuju tvorevine



Sl. 1 Slap Skakavac (Foto: S. Čičić, 2004).  
Fig. 1 The waterfall Skakavac (Photo: S. Čičić, 2004).

donjeg i srednjeg trijasa. Bitna osobenost tektonske strukture ove jedinice je da su kruti trijaski, pretežno anizijski karbonati, navučeni na jursko–kredni fliš. Na osnovi toga, kao i rezultata naših promatranja, izdvojili smo sljedeće strukture: 1) sinklinalu Ozren–Luka, 2) Perački rasjed i 3) navlaku trijasa na J,K flišu.

– **Sinklinala Ozren–Luka** pruža se smjerom JZ–SI, od Krševa, preko Bukovika i Bijele Ravni, do Luka, na dužini oko 4,5 km. U njenim krilima su klastiti donjeg trijasa, preko kojih su anizijski karbonati, i, u samoj jezgri sinklinala, rožnaci, glinci, laporci, pješčenjaci i vapnenci starijeg dijela ladinskog kata. Raspon krila na tom smjeru je oko 2,5 km. Ukupna površina sinklinala i trijaskih vapnenaca u njoj je oko 8 km<sup>2</sup>. Sinklinala je deformirana rasjedima smjera SSZ–JJI i SI–JZ, usljed čega je zadobila blokovsku strukturu. Jedan od njih je i rasjed smjerom korita potoka Skakavac. Sinklinala tone prema SI, gdje

je pokrivena mladim jursko–krednim flišom. Osobnost sinklinala Ozren–Luka je u tome da se ona pojavljuje i kao tektonski prozor ispod mlađih naslaga jursko–krednog fliša, sa kojim je na svim smjerovima u navlačnom i / ili rasjednom kontaktu.

- **Perački rasjed** je najveća rupturna struktura na obuhvaćenom terenu. Pruža se, približno, smjerom zapad–istok, sa povijanjem prema jugozapadu između Jasikovine i Perca. U zoni ovog rasjeda je Perački potok izgradio klišuru i, ispod J,K fliša, otkrio anizijske karbonate.
- **Navlaka trijasa na J,K fliš** je dio regionalne tektonske strukture ove oblasti. To je, u stvari, dio čela Durmitorske navlake, kojom su kruti trijaski karbonati navučeni preko mekših i plastičnijih sedimenata fliša. Ovdje su, po svoj prilici, u fazi izdizanja Ozrena sa Bukovikom, karbonati trijasa izdignuti, a potom rasjednuti peračkim i drugim rasjedima. Ovi vrlo složeni strukturni odnosi moći će da dobiju plauzibilnije tumačenje, kada se ostvari faza obuhvatnijeg detaljnog geološkog kartiranja ovih terena.

Slap Skakavac i klišura Peračkog potoka su geološka prirodna atrakcija prvog stupnja, po čemu zaslužuju znatno potpunije angažiranje svih znanstvenih i turističkih čimbenika u cilju njihove pune valorizacije i budućeg korištenja.

### 3. Literatura

- JOVANOVIĆ, R., MOJIĆEVIĆ, M., TOKIĆ, S. & ROKIĆ, Lj. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Sarajevo, K 34–1.– Savezni geološki zavod, Beograd, 52 str.
- KITTL, E. (1904): Geologie der Umgebung von Sarajevo.– Reichsanstalt., Wien, 53, 515– 748.

## Distributional Trends of *Globigerinoides ruber* vs. *Globigerina bulloides* in the Sediments Recovered from Piston Core Amici 99–02 from the Mid Adriatic Deep (Adriatic Sea)

Vlasta Čosović<sup>1</sup>, Dražen Bočkaj<sup>1</sup>, Kristijan Žeželj<sup>1</sup>, Maja Čuić<sup>1</sup>, László Kocsis<sup>1</sup>, Darko Tibiljaš<sup>2</sup> & Alan Moro<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: vlasta.cosovic@public.srce.hr

<sup>2</sup> Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Planktonic foraminifera, Adriatic Sea, Late Pleistocene, Holocene, Ecozones.

The material for this study came from a giant piston core that was collected aboard the Italian research vessel URANIA in September 1999. The sediment core is 11.2 m long and was taken in a water depth of 259.2 m in the Mid Adriatic Deep (MAD) at 43°1.57' N and 15°02.05' E. Core recovery was excellent and provides a continuous Late Quaternary record dominated by clays, silty clays, sandy muds and thinner package of tephra layers. The samples were taken every 5 cm except for the interval 6.5 m down to the core bottom which was sampled every 10 cm because of a suspected no fossil content. Each sample consists of 1 cm thick slice, and was washed over 63 µm sieves and dried. At least 300 planktonic specimens were counted and identified in order to define assemblage composition and biochronology.

Tephra grains were analyzed separately. The X-ray diffraction analysis on glass shards of tephra (intervals 630–631 cm and 633–634 cm) allowed age estimation (ČOSOVIĆ et al., 2002) based on known marine tephra from the Late Quaternary sediment of the central Adriatic Sea (ASIOLI, 1996; CALANCHI et al., 1996; LANGONE et al., 1996).

Six species of planktonic foraminifera dominate in assemblage in the coretop sample: *Globigerinoides ruber* (D'ORBIGNY), *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY, *Turborotalita quinqueloba* (NATLAND), *Globigerinoides sacculifer* (BRADY), *Globigerinoides gomitulus* (SEGUEIRA) and *Orbulina universa* D'ORBIGNY. Downcore distribution shows enrichment in species numbers. Fourteen species, along with above mentioned are found, *Neogloboquadrina pachyderma* (EHRENBERG), *Neogloboquadrina dutertrei* (D'ORBIGNY), *Globorotalia inflata* (D'ORBIGNY), *Globigerinella calida* (PARKER), *Orbulina bilobata* (D'ORBIGNY), *Globigerinella aequilateralis* (BRADY), *Globorotalia scitula* (BRADY) and *Globigerinoides elongatus* D'ORBIGNY. The relative abundances of cold water species (*G. bulloides* and *T. quinqueloba*) are compared to the percent of one warm water species (*G. ruber*) across the Late Pleistocene to Holocene samples. Several central Adriatic Ecozones of the Late Pleistocene to Holocene age (ASIOLI, 1996) are recognized. Ecozone I is characterized by the high frequencies of tropical to subtropical, shallow dwelling *G. ruber*. Specimens of *G. ruber*, *G. bulloides* and *T. quinqueloba* are equally numerous in Ecozone II. High percentage of transitional to polar

upwelling *G. bulloides* and absence of *G. ruber* define the Ecozone IV. Ecozone VI represents time of great disturbances. Tephra event is recorded through strong increase of *G. ruber* specimens and disappearance of *T. quinqueloba* from sediments. Apart from this, *T. quinqueloba* specimens are dominant in Ecozone VI (reaching values of 91%). From present day to 6 Kyr BP (Ecozone I) the central Adriatic is characterized by oligotrophic surface water documented by symbiont-bearing species during this interval. The co-occurrences of warm and transitional to coldwater species in Ecozone II (around 6–8 kyr BP) suggest the influence of strong winter and summer seasons (influence of Mediterranean waters according to CAPOTONDI et al., 1994). Composition of planktonic assemblage in Ecozone IV testifies the cooling of water column around 10.6 kyr BP. During the Ecozone VI (14.3–20 kyr BP) basin was characterized by cold water. Such condition was interrupted by the abundant re-occurrences of *G. ruber* indicating the warm and stratified surface water around tephra event.

### References

- ASIOLI, A. (1996): High resolution foraminifera biostratigraphy in the central Adriatic basin during the last deglaciation: a contribution to the PALICLAS project.– In: GUILIZZONI, P. & OLDFIELD, F. (eds.): Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic sediments. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 55, 197–217.
- CALANCHI, N., DINELLI, E., LUCCHINI F. & MORDENTI, A. (1996): Chemostratigraphy of late Quaternary sediment from Lake Albano and central Adriatic Sea cores (PALICLAS Project).– In: GUILIZZONI, P. & OLDFIELD, F. (eds.): Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic sediments. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 55, 247–263.
- CAPOTONDI, L., ASIOLI, A. & BORSETTI, A.M. (1994): Ecozonazione a Foraminiferi planktonici e paleoceanografia dell'ultima deglaciazione nel Mediterraneo Centrale.– Atti X Congresso A.I.O.L. (Alassio, 4–6 Novembre 1992), 107–115.
- ČOSOVIĆ, V., JURAČIĆ, M., TIBLJAŠ, D. & HERNITZ KUČENJAK, M. (2002): Foraminiferal record in the Mid Adriatic Deep (Adriatic Sea) during the Late Quaternary to Holocene.– In: YANKO-HOMBACH, V., ARNOLD, A., HALLOCK, P., ISHMAN, S., MCGANN, M. & PARKER, W.C. (eds.): EMMM'2002, The Third International Congress "Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meio-benthology" (Vienna, 1–6 September 2002), 66–67.

Sediment sample – Ecozone I–VI (ASIOLI, 1996)	<i>Globigerinoides ruber</i>	<i>Globigerina bulloides</i>	<i>Globigerina quinquloba</i>
0–1 cm – I	48%	0%	0%
40–41 cm – I	34%	25%	0%
65–66 cm – I	31%	19%	1%
70–71 cm – I	36%	13%	0%
100–101 cm – I	30%	26%	1%
180–181 cm – I	15%	17%	17%
270–271 cm – II	25%	17%	19%
470–471 cm – IV	0%	71%	10%
580–581 cm – VI	10%	25%	51%
625–626 cm – VI	18%	66%	0%
640–641 cm – VI	60%	30%	0%
668–669 cm – VI	0%	18%	57%
680–681 cm*	0%	2%	62%
780–781 cm*	0%	26%	46%
870–871 cm*	0%	2%	91%
880–881 cm*	2%	8%	63%

Table 1 Distributional pattern of *G. ruber*, *G. bulloides* and *T. quinqueloba* in samples from the piston core AMICI 99–02. Planktonic foraminifers are very scarce in sample from 680 cm downcore to 881 cm (\*). Elemental sulfur has been found in sediment from 680 cm sample indicating undersaturated pore water favouring dissolution of shells.

LANGONE, L., ASIOLI, A., CORREGGIARI, A. & TRINCARDI, F. (1996): Age–depth model through the late Quaternary deposit of the central Adriatic basin.– In: GUILIZZONI, P. & OLDFIELD, F. (eds.): Palaeoenvironmental Analysis of Italian Crater Lake and Adriatic sediments. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 55, 177–196.

*This contribution presents a compilation of Diploma Thesis of former students (in alphabetic order) of the Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science: Dražen Bočkaj, Maja Čuić and Kristijan Žeželj, and practical work of former student of Eltvos Lorand University Kocsis László, under supervision of the senior author.*

## Različiti udjeli u povećanju ukupnog iscrpka iz paleozojsko–mezozojskih litofacijesa na poljima Molve i Kalinovac

### Different Portions in Increment of Total Recovery Obtained from Paleozoic–Mesozoic Lithofacies at the Fields Molve and Kalinovac

Niko Dalić<sup>1</sup>, Tomislav Malvić<sup>2</sup> & Josipa Velić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>INA-Naftaplin, Executive Director Office, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: niko.dalic@ina.hr

<sup>2</sup>INA-Naftaplin, Development Department, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia

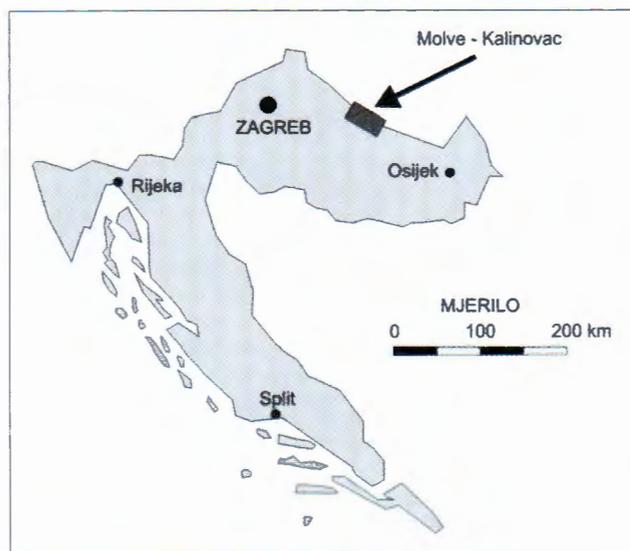
<sup>3</sup>Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Ključne riječi:** Molve, Kalinovac, paleozojsko–mezozojski litofacijesi, proizvodnja, analiza.

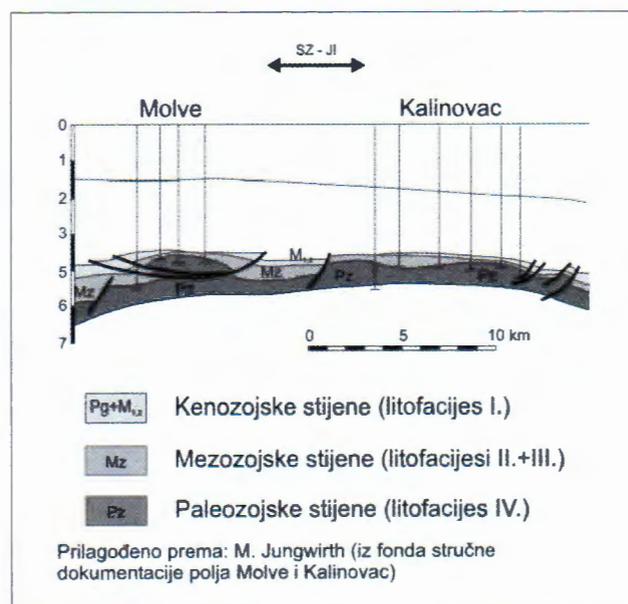
**Key words:** Molve, Kalinovac, Palaeozoic–Mesozoic lithofacies, Production, Analysis.

Molve i Kalinovac su najveća hrvatska plinsko–kondenzatna polja (sl. 1). S poljem Stari Gradac čine tehnološku cjelinu. Zajedno daju od 70 do 75% hrvatske proizvodnje plina i kondenzata godišnje, zadovoljavajući oko 50% potreba Republike Hrvatske. Ležište polja Molve otkriveno je 1974., Kalinovca 1978., a do sada je ukupno izrađeno 39, odnosno 21 bušotina. U Molvama se nalazi samo ležište plina uz malu količinu kondenzata, dok je polje Kalinovac plinsko–kondenzatno. Plinovi su mokri s udjelima viših homologa od 4,5 do 15,7%. Ležišta oba polja spadaju u tzv. “nadpritisnuti” tip, s početnim tlakovima od 480 bara, temperature od 182 do 190°C, a uz ugljikovodike karakteristična je prisutnost žive, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, klorida i merkaptana poznatih po agresivnosti i korozivnosti. O ovim poljima pisali su mnogi autori, primjerice BATUŠIĆ (1981), BARIĆ et al. (1990, 1992), PIKIJA et al. (1993), te FUTIVIĆ & PLEIĆ (2005). Ležišta oba polja izgrađuju asimetrične antiklinale pružanja duže osi pravcem SZ–JI, dužine od 13 do 14 km i širine od 4,5 do 5 km, rasprostirući se na dubinama većim od 3300 m (sl. 2). Visina strukturnog zatvaranja je 370, odnosno 395 m.

Litološka heterogenost ležišta je velika. Uz to, osim prvotne šupljikavosti veliki je udjel nepravilno raspoređene drugotne šupljikavosti – pukotinske, poglavito u dolomitima i brečama. Stoga se smatra da bi procjena ležišnih svojstava trebala biti uspješnija u dva dublja litofacijesa – III. (“kvarciti”) i IV. (“dijaftoriti”), odnosno da bi se udjeli u povećanju ukupnog iscrpka iz njih mogli eventualno točnije ocijeniti. Prema vrstama i njihovoj starosti ležišne su stijene razvrstane u 4 skupine (sl. 2). Najstarije i najdublje su magmatiti i metamorfiti prekambrijske i paleozojske starosti sastavljene od kataklaziranih granita, gnajsa i amfibolitnih škriljavaca nazvane litofacijes IV, “dijaftoriti” (sl. 2, vršni dio Pz stijena). Kao proizvodni interval prisutan je u 6 bušotina. Litofacijes III, “kvarciti” (ne radi se o izvornom metamorfitu) donjotrijaske je starosti i najizdašniji je (sl. 2, stijene Mz). Ovdje su uključeni metaareniti, metagrauvake i kvarciti. Iz njega se proizvodi u 10 bušotina. U litofacijes II. dolomiti uvršteni su srednjotrijaski rano- i kasnodijagenetski dolomiti, oolitni dolomiti, vapnenci i brečokonglomerati s najizraženijim subvertikalnim pukotinama (slik.a 2, također stijene Mz). Proizvodno je 14



Sl. 1 Položaj analiziranih polja.  
Fig. 1 Location of analysed fields.

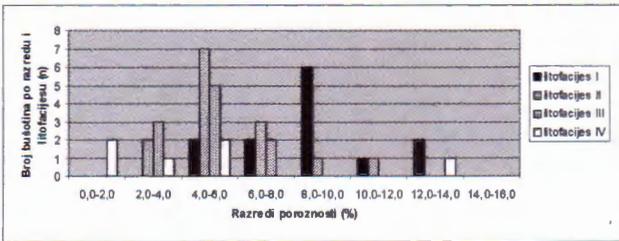


Sl. 2 Shematski profil Molve–Kalinovac.  
Fig. 2 Schematic cross-section Molve–Kalinovac.

litofacijes	prosječna efektivna debljina [m]	prosječna šupljikavost [%]	prosječno zasićenje vodom [%]	prosječna dnevna proizvodnja plina (m <sup>3</sup> /dan) po 1 m $h_{ef}$ litofacijesa
I., vapn. klastiti	58	8,95	32	1643
II., dolomiti	40,6	5,95	44,2	1223
III., kvarciti	83,4	4,80	38,6	1352
IV., dijaftoriti	41,5	4,62	48,15	1161

Tablica 1 Prosječne kolektorske vrijednosti po litofacijesima.

Table 1 Average reservoir properties by lithofacies.



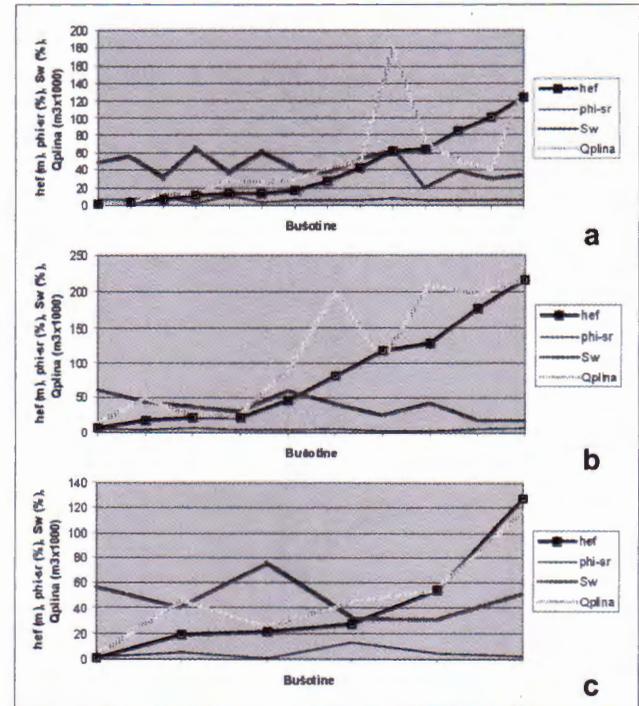
Sl. 3 Histogrami šupljikavosti.  
Fig. 3 Porosity histograms.

bušotina. Najmlađi je miocenski litofacijes I. U Molvama su to vapnenci, a u Kalinovcu polimiktna breče (sl. 1, neogenski sedimenti označeni  $M_{1,2}$ ). Utvrđeni su litotamnjski vapnenci, grejnstoni, vekstoni, pekstoni i floatstoni. Šupljikavost je uglavnom prvotna – međuzrnska. Prosječni ležišni podatci za 13 proizvodnih bušotina navedeni su u tablici 1.

Histogrami razdiobe šupljikavosti (sl. 3) mogu se aproksimirati normalnom razdiobom u prva tri litofacijesa (u IV. premali broj podataka za zaključivanje). Kako se za šupljikavost teoretski očekuje takva razdioba zaključili smo da su ulazni podatci vjerodostojni, a srednja vrijednost reprezentativna za prva tri litofacijesa. Prosječna šupljikavost i dnevna proizvodnja po 1 m  $h_{ef}$  litofacijesa očekivano opadaju s dubinom i starošću litofacijesa (tabl. 1). Litofacijes III. izuzetan je glede prosječne efektivne debljine, a I. odskaače zasićenjem. Smanjenje šupljikavosti i proizvodnosti je očekivano, dok ostala dva pokazatelja ( $h_{ef}$ ,  $S_w$ ) nisu u nekoj pravilnosti jer su ovisni o posljedicama paleogeografskog razvoja. Na sl. 4 uočavaju se u pojedinim bušotinama izrazita odstupanja od trenda zajedničkog porasta  $h_{ef}$  i  $Q$  (proizvodnje) koja su objašnjena znatnim lokalnim promjenama propusnosti u odnosu na prosjek te razlikom statičkog i dinamičkog tlaka na dnu bušotine (depresija). Litofacijes III. ("kvarciti") imat će sve veći udjel u proizvodnji zbog svoje velike propusnosti.

### Literatura

- BARIĆ, G., MESIĆ, I. & JUNGWIRTH, M. (1992): Sedimentary and geochemical characteristics of rocks and fluid of the western part of the Drava depression.– Nafta, 43/4–5, 225–238, Zagreb.
- BARIĆ, G., MESIĆ, I., JUNGWIRTH, M. & ŠPANIĆ, M. (1990): Plinsko i plinsko-kondenzatna polja Molve, Kalinovac i Stari Gradac.– Nafta, 41/2, 71–89, Zagreb.
- BATUŠIĆ, V. (1981): Rezultati istraživanja područja Molve–Kalinovac–Stari Gradac.– DIT, 7, 1–5, Zagreb.



Sl. 4 Odnos efektivne debljine i proizvodnje (Molve: a – litofacijes II., b – III., c – IV.).

Fig. 4 Relation of effective thickness and production (Molve: a – lithofacies II., b – III., c – IV.).

- FUTIVIĆ, I. & PLEIĆ, M. (2005): Interpretation of 3D seismic and attribute analysis in complex reservoir lithology on the fields in the Drava depression.– Nafta, 56/2, 65–71, Zagreb.

- PIKIJA, M., ŠIKIĆ, K., TIŠLJAR, J. & HRABAK, N. (1993): Miocene formations of the Molve–Kalinovac area (North Croatia).– Nafta, 44/12, 665–671, Zagreb.

# Interpretacija paleoklime na temelju fiziognomije fosilnih listova lokaliteta Radoboj (Hrvatsko zagorje, Hrvatska)

## Paleoclimate Interpretation of Radoboj (Hrvatsko Zagorje, Croatia) Based on the Fossil Leaves Physiognomy

Tamara Đerek & Sanja Japundžić

Hrvatski prirodoslovni muzej, Geološko-paleontološki odjel, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: tamara.derek@zg.htnet.hr

**Ključne riječi:** paleoklima, fosilni listovi, sarmat, Radoboj, Hrvatsko Zagorje, Hrvatska.

**Key words:** Paleoclimate, Fossil leaves, Sarmatian, Radoboj, Hrvatsko zagorje, Croatia.

Fosilne flore predstavljaju važan izvor podataka, pomoću kojih je moguće rekonstruirati paleoklimu određenog područja. U većini slučajeva u paleofitološkoj asocijaciji sačuvani su otisci listova, a upravo je list biljni organ koji ima najvažniju ulogu u prilagodbi na uvjete okoliša u kojima se nalazi. Ovu povezanost lista (točnije njegove morfologije) i klime znanstvenici su zamijetili već početkom 20. stoljeća (BAILEY & SINNOT, 1916).

Cilj istraživanja ovog rada je odrediti paleoklimu lokaliteta Radoboj za vrijeme sarmata, ne uzimajući u obzir taksonomsku odredbu vrsta, već isključivo morfologiju listova. U Geološko-paleontološkom odjelu Hrvatskoga prirodoslovnog muzeja pohranjena je bogata zbirka sarmatske fosilne flore prikupljene s lokaliteta Radoboj. Prevladavaju kopnene biljke, a najzastupljeniji su otisci listova. Pregled fosilnih biljnih vrsta ukazuje na vegetaciju koja se razlikuje od današnje fitozajednice ovoga područja, jer 116 vrsta pripada rodovima karakterističnim za tropske i suprotropske predjele (UNGER, 1869). Iz zbirke su izdvojeni fosilni listovi dikotiledona, koji su na temelju arhitektonskih karakteristika (veličine, oblika, nervature, oblika lobova, nazubljenosti itd.) grupirani u određene morfotipove – neformalne taksonomske kategorije neovisne od Linnaeovog sustava nomenklature (sustav morfotipova prvi put je upotrijebio JOHNSON, 1989). Od svih morfotipova izdvojeni su samo oni sa cjelovitim obodom i određen je P (postotak morfotipova sa cjelovitim obodom). Vrijednost P uvrštena je u sljedeću formulu (GREENWOOD, 1992) za izračunavanje prosječne godišnje temperature (MAT = mean annual temperature):

$$\text{MAT} = 4,4 + 0,22 \times P$$

Nakon toga iz svake grupe morfotipova izdvojen je najmanji i najveći uzorak te je za njih izračunata površina lista na sljedeći način: dužina x širina x 2/3. Površina je uspoređena sa tablicom pa je list svrstan u određene kategorije (tablica 1).

Zatim je izračunat postotak morfotipova sa mezofilnim, makrofilnim i megafilnim listovima koji je uvršten u sljedeću formulu (WILF et al., 1998) za izračunavanje prosječne godišnje količine oborina (MAP = mean annual precipitation):

$$\text{MAP} = 47,5 + 6,18 \times (\% \text{ mezofilnih} + \% \text{ makrofilnih} + \% \text{ megafilnih})$$

površina lista (mm <sup>2</sup> )	kategorija veličine
<25	leptofil
25–225	nanofil
225–2.025	mikrofil
2.025–4.500	notofil
4.500–18.225	mezofil
18.225–164.025	makrofil
>164.025	megafil

Tablica 1 Određivanje kategorije veličine lista (prema WEBB, 1955 – iz ASH et al., 1999).

Table 1 Determination of the leaf size (after WEBB, 1955 – from ASH et al., 1999).

Na temelju vrijednosti prosječne godišnje temperature i prosječne godišnje količine padalina prema Köppenovoj klasifikaciji klima (KÖPPEN, 1931) određena je na području Radoboja u vrijeme sarmata “Virdžinijska klima” (Cfa klima).

### Literatura

- ASH, A., ELLIS, B., HICKEY, L.J., JOHNSON, K., WILF, P. & WING, S. (1999): Manual of Leaf Architecture.– Leaf Architecture Working Group, Dpt. of Paleobiology, Smithsonian Institution, Washington, 65 str.
- BAILEY, I.W. & SINNOT, E.W. (1916): The climatic distribution of certain types of angiosperm leaves.– American Journal of Botany, 3, 24–39, St. Louis.
- GREENWOOD, D.R. (1992): Taphonomic constraints on foliar physiognomic interpretations of Late Cretaceous and Tertiary palaeoclimates.– Review of Palaeobotany and Palynology, 71, 149–190.
- JOHNSON, K.R. (1989): A high resolution megafloreal biostratigraphy spanning the Cretaceous–Tertiary boundary in the northern Great Plains.– Unpubl. PhD thesis, Yale University.
- KÖPPEN, W. (1931): Grundriss der Klimakunde.– 2. Aufl., Berlin–Leipzig, 388 str.
- UNGER, F. (1869): Die fossile Flora von Radoboj in ihrer Gesamtheit und nach ihrem Verhältnisse zur Entwicklung der Veg-

etation der Tertiärzeit.– Denkschr. Akad. Wiss. Math.-nat. Cl., 29, 125–170, Wien.

WEBB, L.J. (1955): A physiognomic classification of Australian rain forests.– *Journal of Ecology*, 47, 551–570.

WILF, P., WING, S.L., GREENWOOD, D.R. & GREENWOOD, C.L. (1998): Using fossil leaves as paleoprecipitation indicators: an Eocene example.– *Geology*, 26, 203–206.

## Carbonate-Filled Incised Valleys, Upper Carboniferous, Midcontinent, USA

Paul Enos<sup>1</sup>, Edward L. Washburn<sup>2</sup>, Evan K. Franseen<sup>3</sup> & Derek A. Herman<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Geology, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA; e-mail: enos@ku.edu

<sup>2</sup>ChevronTexaco, Bakersfield, California, USA

<sup>3</sup>Kansas Geological Survey, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA

<sup>4</sup>Flower Mound, Texas, USA

**Key words:** Incised valley, Cyclothem, Upper Carboniferous, Midcontinent USA.

Incised valleys are an important morpho-sedimentologic setting, especially in the context of sequence stratigraphy. Several sandstone-filled paleovalleys have been recognized in the Late Carboniferous cyclothem of the Midcontinent USA, reflecting repeated, moderate-amplitude, glacio-eustatic fluctuations in sea level (ARCHER et al., 1994). Carbonate-filled paleovalleys are rare here and throughout the geologic record, but they have been observed at the base of the Plattsburg cyclothem (Missourian) from 7 outcrop localities. These localities may be linked as three tributary or distributary channels. Limited data on channel orientation suggests NE/SW elongation. Adjacent marine limestones and channel sandstones have SW directed paleocurrents (HAMBLIN, 1969; ARCHER et al., 1994). The channel forms are small, with depths of 3 to 5 m and half-widths of a few hundred meters. Invariably only one flank of the channel is exposed. Channel fills are predominantly muddy limestones that lack current indicators, suggesting passive back filling of previously eroded channels during sea-level rise that initiated the cyclothem.

A sequence of particular interest and complexity consists of three superposed channel fills, well exposed in an interstate highway interchange near Kansas City, Kansas (ENOS et al., 1989; WASHBURN, 2004). The initial incision truncated a well-developed paleosol near the top of the Bonner Springs Shale, excavated the entire shale formation, and incised slightly into the top of the underlying limestone. The fill is cross-laminated fine sandstone with abundant small shale clasts. Maximum thickness is 8.7 m. Poorly preserved bivalves (possibly pectins) and high-spired gastropods are very rare. Brachiopod fragments at the base may be reworked from the underlying limestone. Poorly exposed ripple marks indicate paleocurrents toward ESE. Trough cross-stratification is common; possible herringbone cross-stratification is rare. This fill is sharply truncated by a second channel filled with pebbly sandstone and siltstone that grade upward to shale. Maximum preserved thickness is 2.6 m. Pebbles at the base are rusty-weathering carbonate, probably caliche from the Bonner Springs paleosol. Encrustation and small barnacle borings are common in the pebbles. Myalinid bivalves are abundant at the channel margins. Other fossils include pectins, *Pinna* (bivalves), gastropods, brachiopods, and fenestrate bryozoans. The third and final channel eroded all but the basal few decimeters of the second fill in most exposures. The third fill is limestone with one or two shale beds in the upper part. Maximum thickness is 4.0 m; average thick-

ness of the unit in the absence of channels is 0.9 m. The limestone is skeletal packstone and some wackestone containing a varied normal-marine biota; productid and *Composita* brachiopods are the most common. The limestone is well bedded and lacks current structures. Initial beds drape the channel wall; most of the beds are truncated by top lap beneath a shale interbed.

Despite the contrasts in lithology, all three channel-filling units appear to be marine, although evidence is scanty in the initial, sandstone fill. The initial channel, which truncates a paleosol, was likely eroded subaerially and filled in a tidal regime. The upper two channels, sandwiched between marine fills, are attributed to submarine erosion, most likely by tides. The pebbly siliciclastic fill of the second channel indicates some current energy during deposition. The uppermost channel, like the other channels observed at this level, was passively back filled by marine limestone during a major transgression that initiated the Plattsburg cyclothem. Collectively these channels mark a first-order sequence boundary with exposure to form a paleosol followed by at least 9 m of incision.

### References

- ARCHER, A.W., LANIER, W.P. & FELDMAN, H.R. (1994): Stratigraphy and depositional history within incised-paleovalley fills and related facies, Douglas Group (Missourian/Virgilian; Upper Carboniferous) of Kansas, U.S.A. – In: DALRYMPLE, R.W., BOYD, R. & ZAITLIN, B.A. (eds.): Incised-Valley Systems: Origin and Sedimentary Sequences. Soc. Econ. Paleon. Mineral., Spec. Publ., 51, 175–190.
- ENOS, P., HERMAN, D.A., WATNEY, W.L. & FRANSEEN, E.K. (1989): Stop 4 I70/I435 interchange: Bonner Springs Shale and Plattsburg Limestone. – In: WATNEY, W.L., FRENCH, J.A. & FRANSEEN, E.K. (eds.): Sequence Stratigraphic Interpretations and Modelling of Cyclothem in the Upper Pennsylvanian (Missourian) Lansing and Kansas City Groups in Eastern Kansas. Kansas Geological Society, 41st Annual Field Trip, 115–126.
- HAMBLIN, W.K. (1969): Marine paleocurrent directions in limestones of the Kansas City Group (Upper Pennsylvanian) in eastern Kansas. – Kansas Geological Survey, Bulletin, 194/2, 25 p., Lawrence.
- WASHBURN, E.L. (2004): Paleotopography and sea-level controls on facies distribution and stratal architecture in the Plattsburg Limestone (Upper Pennsylvanian) NE Kansas. – MSc Thesis, University of Kansas, Lawrence, Kansas, 368 p.



## Volcanic Rocks of the Island Vis (Adriatic Sea, Croatia)

Vesnica Garašić, Maja Vrkljan, Neven Tadej, Vladimir Majer,  
Petra Đomlija & Gordana Garapić Šiftar

*Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral Resources, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: vgarasic@rgrn.hr*

**Key words:** Vis, Basalt, Trachyandesite, Andesite, Calc-alkaline rocks, REE pattern.

### Introduction

The island Vis being situated on the Adriatic Carbonate Platform is dominantly composed of the carbonate rocks. However, in its western part near the small town Komiza different volcanic rocks occur, ranging in chemical composition from basalt, trachyandesite to andesite (TAS diagram of COX et al., 1979). The comprehensive investigation of this rocks was done by GOLUB & VRAGOVIĆ (1975). The aim of this study is to present additional details of the mineral and rock chemistry.

### Petrography and mineral chemistry

The most trachyandesite rocks are highly crystalline consisting of many plagioclase, augite and titanomagnetite phenocrysts of variable size. The groundmass contains the same minerals as microphenocrysts and additionally cryptocrystalline chlorite aggregates and fine-crystallized K-feldspar, albite and quartz. The augite phenocrysts are homogeneous in compositions ( $En_{42}Fs_{20}Wo_{38}$ ) except for the 50  $\mu m$  narrow rims ( $En_{34}Fs_{32}Wo_{34}$ ) showing resorption phenomena. Plagioclase phenocrysts are characterized by the wide cracked, mostly replaced, inclusion-filled core and clear rim of 20–80  $\mu m$  thickness. The cores ( $An_{82}$  to  $An_{75}$ ) are replaced by sericite, albite and pumpellyite and contain inclusions of titanomagnetite and augite ( $En_{34}Fs_{32}Wo_{34}$ ). The clear rims show normal zoning ( $An_{68}$  to  $An_{45}$ ). The plagioclase microphenocrysts of the groundmass are fresh and zoned ranging between  $An_{84}$  and  $An_{49}$ . The groundmass augite has almost identical composition ( $En_{34}Fs_{31}Wo_{35}$ ) as resorbed rims of augite phenocrysts. The described textural and chemical relationships may point to the intermittent rising of small batches of magma causing interaction with the pre-existing crystal mush.

However, there are also trachyandesite rocks with different structural and mineral relationships. They are characterized by albite phenocrysts and glomeroporphyritic clusters of albite, clinopyroxene and rarely magnetite phenocrysts scattered throughout a groundmass consisting of albite microlites, intergranular clinopyroxene, magnetite and sphene granules and interstitial glass being mostly devitrificated to chlorite. Additionally, the vesicles and amygdules occur within this groundmass. They range in size from 0.3 to 2 mm and prehnite, pumpellyite and rare calcite are common in amygdules. Albite phenocrysts and microlites are partly replaced by sericite. Clinopyroxene phenocrysts are augites showing slightly zonation ( $En_{41}Fs_{48}Wo_{11}$  in core to  $En_{30}Fs_{53}Wo_{17}$  in rim). Additionally Al and

Ti abundances in augite rims are higher than those in cores. The groundmass augite has similar composition ( $En_{34}Fs_{51}Wo_{15}$ ) to those of the rims of phenocrysts.

The sample having basalt composition contains large albite phenocrysts (up to 3.5 mm) in relatively coarse groundmass consisting of albite microlites, clinopyroxene, Ti-magnetite mantled with magnetite and sphene, and interstitial glass being mostly devitrificated to chlorite. The amygdules up to size of 3 mm are present too. They are partly filled with residual melt segregated from the surrounding magma. Prehnite, pumpellyite, chlorite and K-feldspar occur as amygdule infills and also as minute patches in the groundmass. Albite phenocrysts are largely replaced by sericite, prehnite and chlorite and contain numerous complex inclusions consisting of glass, clinopyroxene, Ti-magnetite and chlorite. Groundmass and inclusion clinopyroxenes have similar composition ( $En_{37}Fs_{40}Wo_{23}$ ).

Andesite rock consists of albite phenocrysts and glomeroporphyritic clusters of albite, intensively altered clinopyroxene and Ti-magnetite phenocrysts in fine grained groundmass containing plagioclase microlites, Ti-magnetite and sphene granules, apatite needles, quartz, K-feldspar and chlorite. Irregular small areas of darker groundmass occur in the vicinity of many glomeroporphyritic clusters as also scattered throughout the main groundmass. Darker groundmass consists of the same plagioclase microlites, Ti-magnetite, apatite needles and glass being mostly devitrificated to chlorite. Albite phenocrysts are usually mantled with narrow rim (10  $\mu m$ ) of andesine ( $An_{40}$  to  $An_{57}$ ) and contain inclusions of Ti-magnetite, sphene, quartz, patches of plagioclase ( $An_{40}$  to  $An_{57}$ ), sericite, K-feldspar and quartz. Plagioclase microlites ( $An_{40}$  to  $An_{57}$ ) of both groundmasses contain in the core irregular patches of albite. Clinopyroxene phenocrysts are augite ( $En_{37}Fs_{37}Wo_{26}$ ), but they are almost completely altered to chlorite.

### Rock chemistry

On a total alkalis–silica diagram studied rocks plot on the both side of the dividing line between alkalic and subalkalic magma. Due to the amygdaloidal/vesicular character and the hydrothermal alteration of the rocks plotting in the alkaline field it was concluded that this rocks are primary members of the subalkalic magma series too. A clear distinction between tholeiitic and calc-alkaline nature of this rocks using variation diagrams based on major elements could not be done. In Th–Hf–Ta discrimination diagram of WOOD (1980) all rocks plot in field of volcanic arc calc-alkaline basalts. A plot of Th/Yb versus Ta/Yb (PEARCE,

1983) also reveals calc-alkaline nature of the investigated rocks. This is in accordance with high  $Al_2O_3$  content specially in trachyandesites (~20 wt.%).

C1-chondrite normalized REE pattern of all studied rocks display enriched (up to 80 times) monotonically decreasing REE abundances except of the pronounced negative Eu anomaly. Only one trachyandesite sample does not show Eu anomaly. Described REE patterns are typical for the continental crust, but also for the mantle source being intensively contaminated by crustal material.

Primitive mantle-normalized spidergrams of all investigated rocks are characterized by strong enrichment of LILE and weak enrichment of HFSE with pronounced negative Nb and positive Sr spikes. Such features are typical for continental materials or subduction related volcanic rocks.

### Conclusion

The REE patterns, spidergrams and different discrimination diagrams based on the immobile trace elements point to the calc-alkaline nature of the investigated rocks and their possible genesis in the subduction environment.

### References

- COX, K.G., BELL, J.D. & RANKHURST, R.J. (1979): The interpretation of igneous rocks.– Allen and Unwin, London, 450 p.
- GOLUB, Lj. & VRAGOVIĆ, M. (1975): Eruptivne stijene dalmatinskih otoka (Vis, Jabuka i Brusnik).– Acta geologica, 41, 19–63, Zagreb.
- PEARCE, J.A. (1983): Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins.– In: HAWKESWORTH, C.J. & NORRY, M.J. (eds.): Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva Publishing Limited, 230–249.
- WOOD, D.A. (1980): The application of a Th–Hf–Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province.– Earth and Planetary Science Letters, 50, 11–30.

## Reconstructing the Environments of a Jurassic Park: Petrographic and Stable Isotope Analysis of Carbonate Rocks with Dinosaur Footprints from Istria

Bosiljka Glumac<sup>1</sup>, Blanka Cvetko Tešović<sup>2</sup>, Aleksandar Mezga<sup>2</sup> & Carolyn M. Tewksbury<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Smith College, Northampton, Massachusetts, USA; e-mail: bglumac@email.smith.edu

<sup>2</sup> Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Stable isotopes, Carbonate rocks, Environments, Sauropod dinosaurs, Late Tithonian, Istria.

The objective of this research was to use stable isotopes of oxygen and carbon in conjunction with careful petrographic observations of carbonate rocks to unravel details about marginal marine or coastal environments in which large quadrupedal sauropod dinosaurs left their footprints during the Late Tithonian (MEZGA et al., 2003). The study was carried out on a 14.5 m thick succession of strata that belong to the Kirmenjak Member of the Poreč Formation (VLAHOVIĆ, 1999) exposed in the Kirmenjak Quarry of western Istria (Fig. 1). The focus was on a horizon with abundant dinosaur footprints located approximately in the middle of the succession.

Rocks from the dinosaur footprint horizon and from the laterally adjacent area without footprints are very similar. They are mudstones with small fenestrae, faint lamination and rather large subvertical to irregular desiccation cracks

and voids, suggesting their intertidal origin. A thin layer of peloidal packstone/grainstone is found in the uppermost part of the footprint horizon. Rocks directly overlying the footprint horizon, on the other hand, are quite different. They are massive stylonitic mudstones without prominent fenestrae and other indicators of subaerial exposures, which suggest formation in a subtidal setting. Thus, the footprints formed on top of a shallowing upward succession in intertidal fenestral mudstones capped with a thin peloidal packstone/grainstone layer and overlain by subtidal mudstone. Petrographic observations do not explain why there are no footprints along the same intertidal horizon in different places in the quarry. It is possible that there were minor differences in water depth, which are not reflected by lithological changes. Footprints are also not observed in other similar rock types in the quarry because most other tops of

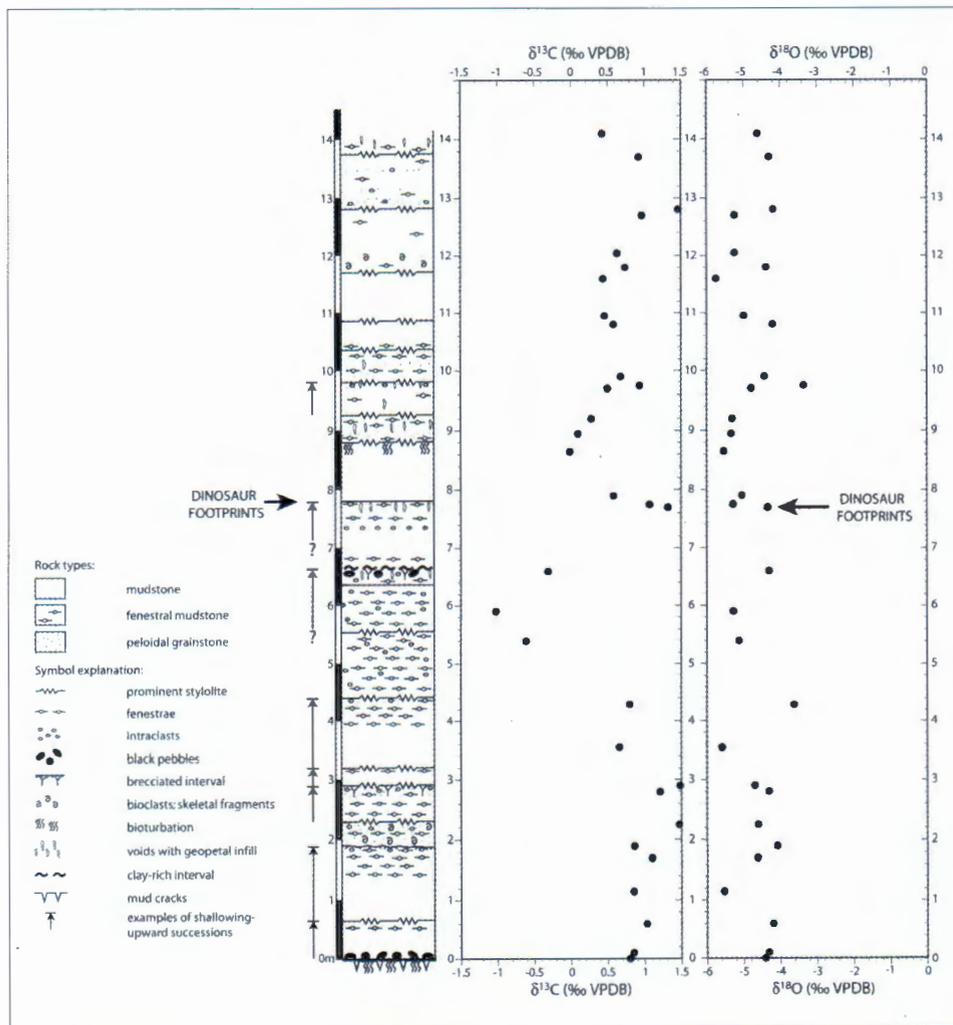
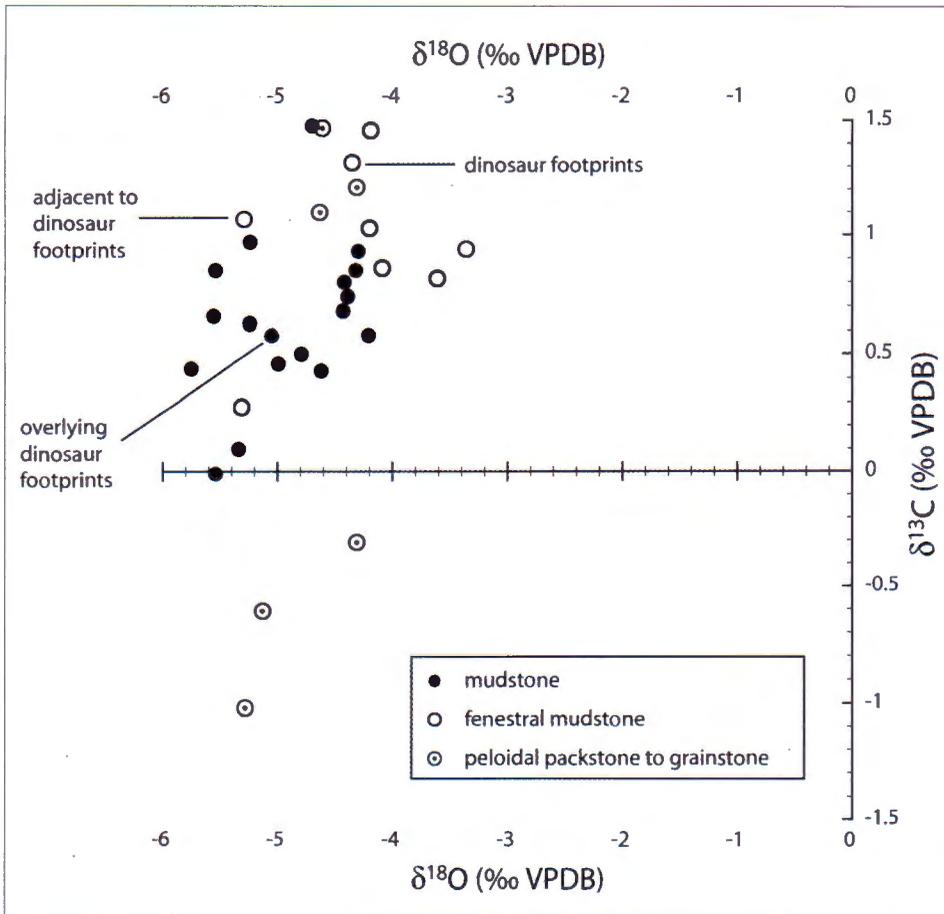


Fig. 1 Schematic lithologic column of the Kirmenjak quarry with measured  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values.

Fig. 2  $\delta^{13}\text{C}$  vs.  $\delta^{18}\text{O}$  values.

shallowing upward successions are now prominent stylolites. Furthermore, it may be significant that the shallowing upward succession with dinosaur footprints terminated in fenestral mudstone (with only a very thin cap of peloidal packstone/grainstone) rather than in thicker shallow intertidal to supratidal grainstone deposits with substantial evidence for modification during subaerial exposure. The formation and preservation of footprints may have been favored by the short duration of exposure of muddy sediment and its rapid burial underneath more mud. The absence of substantial pressure dissolution (stylolites) along the bedding plane with footprints, unearthed by quarry operations, further aided in footprint preservation.

Stable isotope values of the samples analyzed are lower than estimated values of Upper Jurassic unaltered normal marine calcite (Fig. 2;  $\delta^{18}\text{O} = -2$  to  $-1\%$ ;  $\delta^{13}\text{C} = +3\%$ ; LOHMANN & WALKER, 1989), suggesting post-depositional or diagenetic modifications. All samples have positive  $\delta^{13}\text{C}$  values except the three whole-rock samples of peloidal packstone-grainstone from below a prominent subaerial exposure horizon with black pebbles in the middle of the section. The negative  $\delta^{13}\text{C}$  values of these samples reflect diagenesis under subaerial conditions in the presence of terrestrially derived decaying organic matter. The rest of the data points show a general covariance between  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values and an overlap between compositional fields representing different rock types. With a few exceptions, however, the subtidal mudstones tend to cluster towards more negative  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values, and intertidal fenestral mudstone and peloidal packstone/grainstone plot towards

more positive values. This may reflect restricted conditions and increased water residence time on a broad tidal flat where  $\delta^{18}\text{O}$  values can be increased by evaporation and  $\delta^{13}\text{C}$  values by the uptake of  $^{12}\text{C}$  by organisms.

The isotopic composition of the sample with the dinosaur footprints is not substantially different from those of an adjacent area without footprints and from the overlying mudstone (Figs. 1 & 2). Stable isotope analysis supports petrographic observations that the conditions on the carbonate tidal flat during formation of rocks with dinosaur footprints were not necessarily unique. Documented variations in stable isotope compositions, on the other hand, reflect minor differences in depositional and diagenetic history of strata from this stratigraphic succession.

### References

- LOHMANN, K.C. & WALKER, J.C.G. (1989): The  $\delta^{18}\text{O}$  record of Phanerozoic abiogenic marine calcite cements. – *Geophysical Research Letters*, 16, 319–322.
- MEZGA, A., BAJRAKTAREVIĆ, Z., CVETKO TEŠOVIĆ, B. & GUŠIĆ, I. (2003): Dinosaur tracks as an evidence for terrestriality in the Late Jurassic sediments of Istria, Croatia. – Abstracts, 22<sup>nd</sup> IAS Meeting of Sedimentology, Opatija 2003, 126.
- VLAHOVIĆ, I. (1999): Karbonatni facijesi plitkovodnih taložnih sustava od kimeridža do gornjega alba u zapadnoj Istri. – Unpublished PhD Thesis, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, 327 p. (with extended english summary).

## Mesozoic–Early Tertiary Carbonate Platforms and Intraplatform Basins of the Wider Peri-Adriatic Area

Sanjin Grandić & Slobodan Kolbah

<sup>1</sup> Viktora Kovačića 14, HR-10020 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> INA - Naftaplin, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Key words:** Carbonate platforms, Intra-basins–troughs.

In Peri-Adriatic realm there were developed several carbonate platforms separated by intrabasins and troughs as part of the Neo-Tethyan system of the carbonate shelves. In this work will be considered External Dinarides carbonate platform surrounded by Apulian platform on the west side, Albanides platform on the SE, and smaller platforms in the Bosnia, Slavonia, Julian platform in Slovenia and Friuli platform in north Italy.

Among this platform systems External Dinarides Platform (EDKP) of the prevalently Mesozoic–M. Eocene, is well known by its great dimension and thickness of the carbonate and carbonate anhydrite sequences. In terms of the paleo-geomorphological characteristic EDKP represent type of the inter-oceanic detach platform of the Bahamas type (GRANDIĆ, 1974; GRANDIĆ et al., 1999).

In the margin it was characterised by relatively reduced thickness, open shelf carbonates and frequent bauxite occurrences. Contrary to this in the Central Zone (CZ) of EDCP (Fig. 1) the thickness of carbonate anhydrite sequences exceed 7000 m.

From the NE side EDCP was bordered by so called Vardar Ocean (VO) characterised by deep pelagic sedimentation and synsedimentary magmatism of the ophiolitic type. Within VO magmatic activity results by creation of the sea-guyots, atolls and small shelves. Drilling in Slavonia (Velika Ciglena-1) proved that Mesozoic platform despite restricted distribution could have considerable thickness over 2.500 m.

The EDCP and Apulian platform were during Middle–Late Triassic connected representing unique platform. As a consequence of tectonic extension at the end of Lias the platform was separated giving place to Belluno–Adriatic and Ionian basin.

The East and West Adriatic (EAS, WAS) basin slope along platform edges represent place of the periplatform slope deposits known as good hydrocarbon reservoir and trap in Italian offshore SE of peninsula Gargano, Aquila, Rowesti and Falco.

Beside the BAI troughs there were several intraplatform troughs of the Tongue of Ocean type, which intruded from VO oceanic realm into EDCP domain. In the NW well known is Slovenian Trough, on the SE Budva–Cukali (BC) trough, which shows many similarities to the Lagonegro–Molise trough in Southern Italy. Second to detail ‘stratimetric survey’ and seismic profili (BOSELLINI et al., 2000) Second to detail “stratimetric survey” and seismic profiling the BC trough towards Dubrovnik area was closing.

### References

- BOSELLINI, A., MORSILLI, M. & NERI, C. (2000): The Eastern Margin of the Apulia Platform. The Gargano Transect (Guide Book).– Crer Working Group 4.
- GRANDIĆ, S. (1974): Some regional Petroleum-Geological characteristic of the deposits in External Dinarides Area.– Nafta 25/3, 111–120, Zagreb.
- GRANDIĆ, S., BOROMISA E., ŠUŠTERČIĆ, M. & KOLBAH, S. (1999): Hydrocarbon possibilities in the Eastern Adriatic Slope zone of Croatian offshore.– Nafta, 50/2, 51–73, Zagreb.

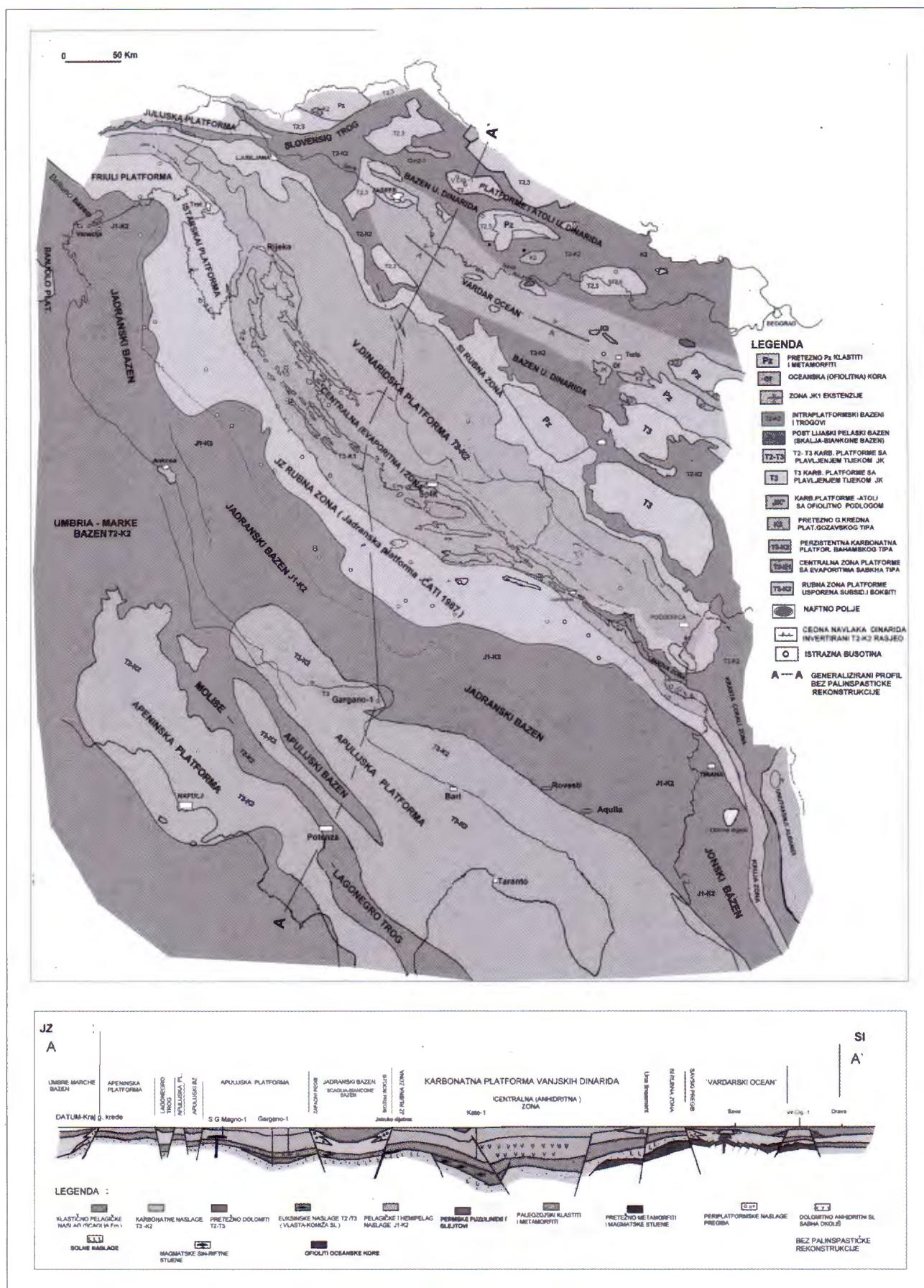


Fig. 1 Distribution of the Mesozoic–Early Tertiary platforms and troughs in the Peri-Adriatic

## Dezintegracija ruba trijaskog karbonatne platforme: primjer iz Belskog dola, Ivanščica (SZ Hrvatska)

### Triassic Platform-Edge Disintegration: A Case Study from Belski Dol, Ivanščica Mt. (NW Croatia)

Tonći Grgasović<sup>1</sup>, Josip Halamić<sup>1</sup>, Damir Slovenec<sup>1</sup>, Špela Goričan<sup>2</sup>,  
Tea Kolar-Jurkovšek<sup>3</sup> & Radovan Filjak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: tonci.grgasovic@igi.hr

<sup>2</sup> Paleontološki inštitut ZRC SAZU, Gosposka 13, SLO-1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup> Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SLO-1000 Ljubljana, Slovenija

**Ključne riječi:** srednji trijas, karbonatna platforma, dezintegracija, Ivanščica, Hrvatska.

**Key words:** Middle Triassic, Carbonate platform, Disintegration, Ivanščica, Croatia.

#### 1. Uvod

Kamenolom Belski dol smješten je na Ivanščici, na cesti Breznički Hum–Podrute–Bela–Ivanec. Ovaj lokalitet poznat je iz ranijih radova (ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ, 1997). Napredovanjem radova u kamenolomu srednjotrijaske naslage otvorene su u većoj debljini (sl. 1–2), omogućujući nova istraživanja (GRGASOVIĆ et al., 2000, 2002; GORIČAN et al., 2005). Dok je u spomenutim radovima težište bilo na evoluciji prostora i međusobnoj korelaciji različitih naslaga, ovdje će biti detaljnije prikazana dezintegracija ruba karbonatne platforme u srednjem trijasu na primjeru iz Belskog dola.

#### 2. Opis naslaga

Na čelu kamenoloma (sl. 1) dobro se mogu razlikovati različiti litofacijesi. Na sjevernoj strani nalaze se masivni vapnenci, koji prema zapadu prelaze u dolomitne vapnence, a uz rasjed koji brazdi dolinom u dolomite. Ovi vapnenci imaju vrlo karakterističnu građu prožetu nepravilnim gnijezdima kalcitnog cementa. Gnijezda podsjećaju na krupne fenestre, no mikroskopski se

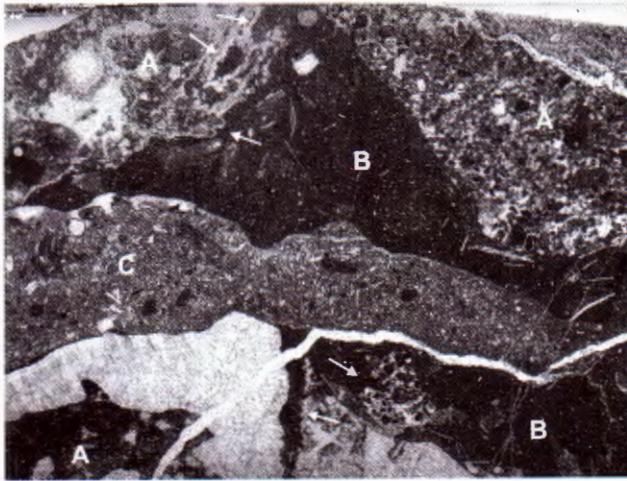
uočava da ona ne sijeku alokeme (npr. intraklaste, alge i drugo), već ih zaobilaze, a geopetalna ispuna ne postoji. Najčešće se cementi sastoje od dvije ili tri generacije. Uz rub “gnijezda” su sitni kratkoprizmatični, dok glavninu zauzimaju dugoprizmatični kristali kalcita. Preostali dio šupljine obično zauzima krupni prozirni sparit koji je na površini stijene tamne boje. Spomenuta građa jako nalikuje na “Evinosponge” iz ladiničkog Esino vapnenca iz Lombardije (Italija) (FRISIA-BRUNI et al., 1989), kao i ladiničkog Marmolada vapnenca iz Južnih Alpa (Italija) (RUSSO et al., 2000), interpretirane kao sinsedimentni cement vanjskog ruba platforme i gornje padine, razvijen kroz proces otapanja i reprecipitacije tijekom rane i dubinske dijageneze (FRISIA-BRUNI et al., 1989). Da se i u primjeru iz Belskog dola radi o rubu karbonatne platforme potvrđuju očuvani primarni odnosi naslaga u kamenolomu (sl. 1). Foraminifere i vapnenačke alge iz vapnenaca i klasta vapnenaca unutar breča indiciraju anizičku starost platformnih naslaga, točnije raspon pelson–donji ilir (GORIČAN et al., 2005).

Središnji dio kamenoloma zauzimaju breče nastale na strmoj padini uz rub platforme. Prijelaz između platform-



Sl. 1 Kamenolom Belski dol: platformni vapnenac (anizik, pelson–donji ilir), rub, padinska breča (gornji anizik–donji ladinik, ilir–donji fasan), silicificirani vapnenci i rožnjaci (donji ladinik, fasan), siliti (gornji ladinik, ?donji longobard), kristalinični dolomiti (gornji ladinik, ?gornji longobard).

Fig. 1 Belski dol quarry: platform limestone (Anisian, Pelsonian–Lower Illyrian), edge, slope breccia (Upper Anisian–Lower Ladinian, Illyrian–Lower Fassanian), silicified limestone and chert (Lower Ladinian, Fassanian), siltite (Upper Ladinian, ?Lower Longobardian), crystalline dolomite (Upper Ladinian, ?Lower Longobardian).



Sl. 2 Mikrofotografija breče s klastima platformnog vapnenca (A, vidi kalcitni cement) unutar tamnijeg pelagičkog vapnenca s filamentima kao veziva (B, vidi kontakt veziva i klasta i ispunu šupljina – strelice), pretaložene u svjetliji pelagički vapnenac s brojnim filamentima (C).

Fig. 2 Microphotography of breccia with clasts of platform limestone (A, see calcite cement) in matrix composed of darker pelagic limestone with filaments (B, see the contact between matrix and clasts, and cavity filling – arrows), resedimented into lighter pelagic limestone with numerous filaments (C).

nih vapnenaca i breča je relativno oštar. Breče su klastoporne s uglatim ili vrlo slabo zaobljenim klastima cm–dm dimenzija. Javljaju se i metarski “megaklasti”, koji su slabo zaobljeni. Breče imaju vrlo složenu građu zbog višefazne dezintegracije platforme i transporta klasta. Vezivo breča može biti dvojako. Jedna vrsta su različito obojeni pelecipodni vapnenci s “filamentima” pelagičkih školjkaša, a druga vrsta su zelenkasti tuftiti. U prvoj vrsti veziva klasti su uglavnom sivi platformni vapnenci. Vrlo je karakterističan odnos veziva i klasta, gdje se uočava “nagrizanje” i “prodiranje” veziva u klast i postupan prijelaz u breču, moguće vezano uz kiselost sredine povezanu s vulkanizmom (sl. 2). U klastima sivog pelagičkog vapnenca unutar breča nađena je zajednica konodonata raspona pelson–ilir, dok uzorak breče sa sivkastim klastima i crvenkastim vezivom, uz spomenute sadrži i oblike karakteristične za donji ladinik (GORIČAN et al., 2005), što je još jedna potvrda pretaložavanja breča. Klase spomenute breče nalazimo unutar tufnog veziva. Prisutne su, dakle, barem dvije faze stvaranja breča, no moguće je da ih je bilo i više.

Na brečama leži do 5 m debela izmjena smedkasto-crvenkastih tanko uslojenih radiolarijskih rožnjaka i silicificiranih pelecipodnih vapnenaca s proslojcima piroklastita i siltita. U radiolarijskim rožnjacima nađena je bogata radiolarijska zajednica donjoladiničke (fasanske) starosti.

Slijede vrlo tamni glinoviti siltiti i finozmatni pješčenjaci s proslojcima silicificiranih sivih vapnenaca i piroklastita, vjerojatno sedimenti mutnih tokova. Granica klastita i rožnjaka je neravna, a slojevi pokazuju blagu kutnu nekonformnost. Vjerojatno je ova granica primarno normalna, naknadno tektonski deformirana. Diskordantna granica unutar istog dubokovodnog okoliša teže je objašnjiva. U ovom dijelu nisu nađeni provodni fosili. U krovini nalazimo svijetlosive kristalaste dolomite, koji po svemu sudeći leže konformno na spomenutom intervalu, iako je sam

kontakt pokriven. Unutar izdanka opažaju se rasjedi (sl. 1), no pomaci po njima su manji i ne remete bitno istraživane naslage.

### 3. Interpretacija

Kroz anizik je na ovom području egzistirala karbonatna platformna sedimentacija. Pojavom ekstenzijske tektonike u gornjem dijelu anizika dolazi do dezintegracije platforme i otvaranja dubljih područja. Na rubovima platforme stvaraju se vapnenci karakteristične građe, a u dubljim dijelovima talože se pelecipodni vapnenci. Jačanjem tektonske aktivnosti pojačava se i dezintegracija ruba, te dolazi do stvaranja padinskih breča, uz još nerazjašnjen mehanizam otapanja klasta platformnih vapnenaca. U donjem ladiniku intenzivira se vulkanska aktivnost i dolazi do pretaložavanja već litificiranih breča u tuftni materijal, dok platformni okoliši prestaju egzistirati, o čemu svjedoči odsustvo plitkovodnih ladinčkih fosila. Nakon toga se na potopljenim dijelovima platforme i njenog ruba talože donjoladinički vapnenci, siltiti i rožnjaci. Promjenom taložnih uvjeta, vjerojatno u najstarijem dijelu mlađeg ladinika, javlja se turbiditna sedimentacija sitnozrnih klastita s proslojcima piroklastita. Značajnim relativnim snižavanjem nivoa mora krajem ladinika dolazi do nagle progradacije karbonatne platforme i ponovne uspostave plitkovodne karbonatne sedimentacije koja se kontinuirano nastavlja u mlađi trijas.

### 4. Literatura

- 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, Oxford.
- GORIČAN, S., HALAMIĆ, J., GRGASOVIĆ, T. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (2005): Stratigraphic evolution of Triassic arc-backarc system in northwestern Croatia. – *Bull. Soc. géol. France*, 176/1, 3–22.
- GRGASOVIĆ, T., HALAMIĆ, J., GORIČAN, Š., SLOVENEC, D. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (2000): Trijasko dubokovodne naslage odabranih lokaliteta u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. – U: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (ur.): 2. hrvatski geološki kongres (Cavtat–Dubrovnik, 17–21.05.2000.), Zbornik radova, 181–188, Zagreb.
- GRGASOVIĆ, T., SOKAČ, B. & HALAMIĆ, J. (2002): *Scindarella scopuliformis* nov.gen., nov.sp. (Dasycladales, Green Algae) from the middle Triassic of Croatia. – *Geobios*, 35, 303–312, Lyon.
- RUSSO, F., MASTANDREA, A., STEFANI, M. & NERI, C. (2000): Carbonate facies dominated by syndepositional cements: a key component of Middle Triassic platforms. The Marmolada case history (Dolomites, Italy). – *Facies*, 42, 211–226, Erlangen.
- ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, Al. (1997): Triassic deposits of Hrvatsko Zagorje. – *Geologia Croatica*, 50/2, 243–250, Zagreb.

## Carbon and Oxygen Isotope Characteristics of Pannonian–Pontian Marl and Ostracode Samples of Hrvatsko Zagorje, Croatia

Anita Grizelj<sup>1</sup>, Darko Tipljaš<sup>2</sup>, Mirjana Miknić<sup>1</sup> & Marijan Kovačić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: anita.grizelj@igi.hr

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Carbon isotope, Oxygen isotope, Ostracode, Marl, Pannonian Lake, Hrvatsko Zagorje.

Carbon and oxygen isotope analyses were made on carbonate component of marls (ten samples) and ostracode shells (three samples). Investigations included deposits from two outcrops in the south-western part of Hrvatsko Zagorje, located close to villages Donja Pušća and Kupljenski Hruševac. The measurements were made on a Finnning MAT Delta S stable-isotope-ratio mass spectrometer in Laboratory for Geochemical Research of Hungarian Academy of Science in Budapest. Upper Pannonian age was determined on the lower and middle part of Pušća outcrop by ostracodes: *Hugarocypris hieroglyphica* (MEHES), *Amplocypris recta* (REUSS), *A. acuta* KRSTIĆ, *Cyprideis heterostigma* (REUSS), *Candona (Lineocypris) nonreticulata* SOKAČ, *C. (Thaminocypris) improbus* KRSTIĆ, *C. (Sinigubiella) illyrica* KRSTIĆ, *Hemicynthia dubokensis* KRSTIĆ and on Kupljenski Hruševac outcrop by: *Hemicynthia cf. marginata* SOKAČ, *H. reticulata* SOKAČ, *Cyprideis spinosa* SOKAČ, *Candona (Thaminocypris) cf. labiata* (ZAL.), *C. (Zalanyiella) longissima* KRSTIĆ, and *C. (Bakunella) balcanica* (ZAL.). Lower Pontian age on

upper part of the Pušća outcrop was determined by *Amplocypris nonreticulata* (ZAL.) KR. and *Candona (Lineocypris) cf. inflexa* SOKAČ. Early Pontian age of the lower part of the Kupljenski Hruševac outcrop was determined by Upper Pannonian ostracod *Candona (Lineocypris) reticulata* (MEHES).

The XRD analyses on marl samples revealed presence of calcite and low magnesium calcite (1–5% MgCO<sub>3</sub>) indicating lesser diagenetic changes.

The measured  $\delta^{13}\text{C}$  values are 1.26‰ to 3.42‰ for Pannonian and 0.77‰ to 3.52‰ for Pontian samples respectively. The values of  $\delta^{18}\text{O}$  for Pannonian samples are -4.91‰ to -0.79‰, and for Pontian samples -6.16‰ to 0.10‰.

The results of oxygen and carbon isotope analysis are comparable with the results for the Miocene Pannonian Lake from MÁTYÁS et al. (1996) and GEARY et al. (1989) (Fig. 1). Observed lowered  $\delta^{18}\text{O}$  values probably are result of lesser diagenetic changes (DEMÉNY, A., pers. comm.;

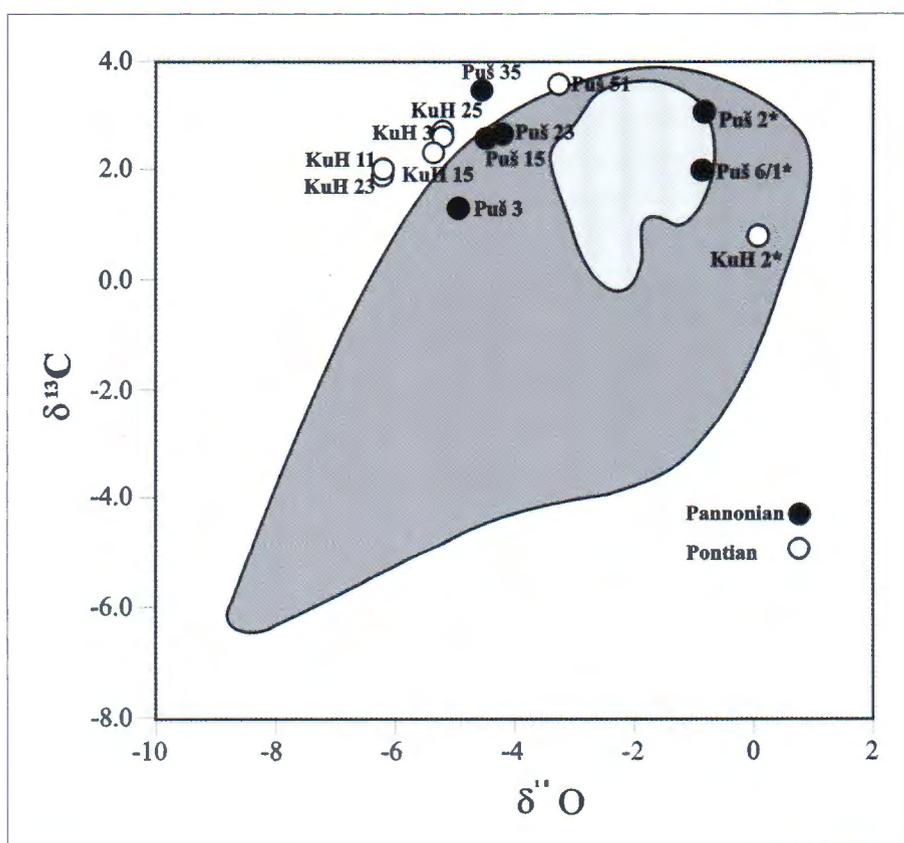


Fig. 1 The results of stable isotope analysis of marl and ostracode (marked with star sign) samples from southwestern part of Hrvatsko Zagorje compared with data for Miocene from MÁTYÁS et al. (1996) (dark grey shaded) and GEARY et al. (1989) (light grey shaded).

PARRISH, 1998). MÁTYÁS et al. (1996) considered the lowered values of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  at the Pannonian–Pontian border as results of increased humidity.

Positive  $\delta^{18}\text{O}$  values of about 0.10‰ for ostracode samples probably indicate less saline water in Pontian Lake than in the Pannonian Lake. These results are in accordance with  $\delta^{18}\text{O}$  values (+0.3‰ to +2.5‰) for fresh water ostracodes given by XIA et al. (1997), von GRAFENSTEIN et al. (1999) and HOLMES & CHIVAS (2002).

## References

- GEARY, D.H., RICH, J., VALLEY, J.W. & BAKER, K. (1989): Stable isotopic evidence of salinity change: Influence on the evolution of melanopsid gastropods in the Late Miocene Pannonian basin.– *Geology*, 17, 981–985.
- HOLMES, J.A. & CHIVAS, A.R. (2002): Ostracod shell chemistry – overview. In the ostracoda: applications in Quaternary research.– *Geophysical Monograph* 131, 185–204.
- MÁTYÁS, J., BURNS, J.S., MÜLLER, P. & MAGYAR, I. (1996): What can stable isotopes say about salinity? An example from the Late Miocene Pannonian Lake.– *Palaios*, 11/1, 31–39.
- PARRISH, J.T. (1998): *Interpreting Pre-Quaternary Climate from the Geologic Record*.– Columbia University Press, New York, 338 p.
- Von GRAFENSTEIN, U., ERLLENKEUSER, H. & TRIMBORN, P. (1999): Oxygen and carbon isotopes in modern freshwater ostracode valves: assessing vital offset and autecological effects of interest for paleoclimate studies.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 148, 133–152.
- XIA, J., ITO, E. & ENGSTROM, D.R. (1997): Geochemistry of ostracode calcite: Part 1: an experimental determination of oxygen isotope fractionation.– *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 377–382.

## Mineralogical and Geochemical Characteristics of the Upper Miocene Pelitic Sediments of Hrvatsko Zagorje

Anita Grizelj<sup>1</sup>, Darko Tibljaš<sup>2</sup> & Marijan Kovačić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: agrizelj@igi.hr

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Pelitic sediments, Late Pannonian, Early Pontian, X-ray diffraction, Pannonian Basin.

Mineralogical and geochemical investigations of the Late Pannonian and Early Pontian pelitic deposits were performed on samples from two outcrops from southwestern part of Hrvatsko zagorje located near villages Pušća and Kupljenski Hruševac.

Mineralogical investigations included X-ray diffraction analysis (XRD) on insoluble rock residue and <2 µm fraction of this residue. The X-ray diffraction analysis was performed on randomly orientated and orientated aggregates of air-dried material, material treated with ethyleneglycol for at least 4 hours by vapor pressure method, material heated to 400°C and 550°C for at least 30 minutes, and insoluble residue obtained after boiling in 2N hydrochloric acid for 30 minutes (STARKEY et al., 1984). The quantitative analyses were made according to the procedure described by SCHULTZ (1964). Modal analysis of 0.045 to 0.16 mm fraction was done on polarizing microscope.

Chemical analyses were made by ICP–AES for major elements and ICP–MS for trace elements in ACME Analytical Laboratories LTD, Vancouver, Canada. The content of CaCO<sub>3</sub> was determined by EDTA titration.

The composition of insoluble rock residue, as determined by XRD analysis (Table 1), shows that all rocks have the same mineral assemblages but the proportions of clay minerals and other phases like calcite, quartz and feldspars vary considerably. Dominant minerals in investigated rocks are calcite (31–74%), quartz (5–21%), feldspars (1–5%) and clay minerals (18–50%). Some samples also contain dolomite and pyrite (Table 1).

In the <2µm fraction of insoluble rock residue smectite, illite and chlorite were determined, while the presence of kaolinite was not established unambiguously (Table 2). Observed mineral composition of marls is in accordance with the results for Miocene pelitic sediments of the Hungarian part of Pannonian Basin and clay minerals (illite, smectite, chlorite and kaolinite?) are essentially detrital (VICZIÁN, 2002).

Dominant constituents in silt size fraction are quartz, feldspars, rock fragments (chert, quartzite and schists) and micas. Chlorite, limonite, pyrite, garnet, tourmaline, zircon, epidote and staurolite are present in small amounts.

Observed differences in chemical composition of analyzed rocks are primarily due to changes in proportions of silt and clay fractions.

According to mineral content of insoluble rock residue and CaCO<sub>3</sub> content, Late Pannonian pelitic samples can be mainly classified as marls and Early Pontian samples as silty marls (Table 1). Observed gradual decrease of carbonate content and simultaneous increase of clay and silt content from Late Pannonian to Early Pontian pelitic deposits are results of increasing terrigenous influence resulting from progradation of clastic systems in the south–southeastern direction (KOVAČIĆ et al., 2004). According to KOVAČIĆ (2004) direction of this progradation as well as mineral composition of silt size fraction suggest Alpine provenance.

SAMPLE	CaCO <sub>3</sub>	clays	quartz	feldspar	dolomite	pyrite	classification
Puš 3	62	30	6	2			marl
Puš 15	63	28	8	1			marl
<b>Puš 23</b>	56	35	7	2			marl
<b>Puš 29</b>	74	19	6	1		+	marl
<b>Puš 35</b>	70	18	6	3	3	+	silty marl
<b>Puš 41</b>	60	32	7	1		+	marl
Puš 45	51	37	8	3	1	+	silty marl
<b>Puš 51</b>	49	38	10	3		+	silty marl
KuH 3	55	25	12	4	4		silty marl
KuH 11	39	34	22	5		+	silty marl
<b>KuH 15</b>	31	51	12	6		+	silty marl
<b>KuH 23</b>	54	33	9	4			silty marl
<b>KuH 25</b>	57	29	10	4			silty marl

Table 1 Semi-quantitative mineralogical composition (%) and classification according to KONTA (1973) of Upper Miocene pelitic sediments from Hrvatsko zagorje. Legend: + – traces.

SAMPLE	illite	chlorite	kaolinite	smectite
Puš 3	**	*	?	****
Puš 15	***	*	?	****
<b>Puš 23</b>	**	*	?	****
<b>Puš 29</b>	**	*		****
<b>Puš 35</b>	***	*		***
<b>Puš 41</b>	***	**		***
Puš 45	***	*		***
<b>Puš 51</b>	***	*		***
KuH 3	****	***		*
KuH 11	***	**		***
<b>KuH 15</b>	***	*		***
<b>KuH 23</b>	**	*	?	****
<b>KuH 25</b>	***	**		***

Table 2 Semi-quantitative composition of clay minerals of the <2 µm fraction of insoluble rock residue. Legend: \*\*\*\* – dominant (60–100%), \*\*\* – abundant (30–60%), \*\* – considerable (10–30%), \* – subordinate (1–10%), + – traces, ? – not determined unambiguously.

## References

- KONTA, J. (1973): Kvantitativni sistem reziduálnih hornin, sedimentu a vulkanoklastickich usazenin.– Univ. Karlova, Praha, 375 p.
- KOVAČIĆ, M. (2004): Sedimentology of the Upper Miocene deposits from the southwest part of the Pannonian Basin (in Croatian).– Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 216 p.
- KOVAČIĆ, M., ZUPANIĆ, J., BABIĆ, Lj., VRSALJKO, D., MIKNIĆ, M., BAKRAČ, K., HEĆIMOVIĆ, I., AVANIĆ, R. & BRKIĆ, M. (2004): Lacustrine basin to delta evolution in the Zagorje Basin a Pannonian sub-basin (Late Miocene: Pontian, NW Croatia).– *Facies* 50, 19–33.
- SCHULTZ, L.G. (1964): Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierre Shale.– U.S. Geological Survey Professional Paper 391–C, 31 p.
- STARKEY, H.C., BLACKMON, P.D. & HAUFF P.L. (1984): The routine mineralogical analysis of clay-bearing samples.– U. S. Geological Survey Bulletin 1563, Washington, 31 p.
- VICZIÁN, I. (2002): Mineralogy of Pliocene to Pleistocene pelitic sediments of the Great Hungarian Plain.– *Acta Mineralogica Petrographica* 43, 39–53.

## Koncentracija i omjer Ca, Mg, Sr i Mn u ljušturama gornjobadenskih ostrakoda, Pokupsko – Hrvatska

### Concentrations and the Ratios of Ca, Mg, Sr and Mn in the Upper Badenian Ostracods Valves, Pokupsko – Croatia

Valentina Hajek-Tadesse<sup>1</sup>, Slobodan Miko<sup>1</sup> & Ana Sokač<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb, Hrvatska; tadesse@igi.hr

<sup>2</sup> Kumičićeva 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Glavne riječi:** ostrakodi, Sr/Ca, Mg/Ca, Mn, Sr, paleoekologija.  
**Key words:** Ostracods, Sr/Ca, Mg/Ca, Mn, Sr, Palaeoecology.

Ostrakodi su organizmi osjetljivi na promjene okolišnih uvjeta, koji kontroliraju njihovo pojavljivanje, raspodjelu i razmnožavanje (BARBIERI et al., 1999). CHIVAS et al. (1983) među prvima ukazuju da neki geokemijski parametri ljuštura ostrakoda daju detaljnije informacije o paleo-kolišju u kojemu je fauna živjela.

Istraživanjem faune Sjevernog mora DWEYER et al. (1995) među prvima dovode u vezu varijacije omjera Mg/Ca u ljušturama dubokovodnog roda *Krithe* i dubine mora u kojoj je taj rod živio. Zaključeno je da nižim temperaturama odgovaraju niže vrijednosti omjera Mg/Ca u ljušturama, a višim temperaturama više. Omjer koncentracija Sr/Ca i Mg/Ca u ljušturama ostrakoda ostaje nepromijenjen ako je konstantan sastav vode tj. temperatura i salinitet. Ako vrijednost omjera Mg/Ca varira, a omjer Sr/Ca je konstantan, temperatura vode varira, a salinitet je konstantan. Konačno ako varira omjer Sr/Ca i Mg/Ca pretpostavlja se promjena saliniteta i neznatne promjene temperature vode. Količina Mg u ljušturama ostrakoda ovisna je o temperaturi i koncentraciji Mg<sup>2+</sup> u vodi, dok je sadržaj Sr izravno ovisan o količini Sr<sup>2+</sup> u vodi (CHIVAS et al., 1983). Više koncentracije Mn uzrokovane su povećanim dotokom terigenog materijala (PRASADA, 1996).

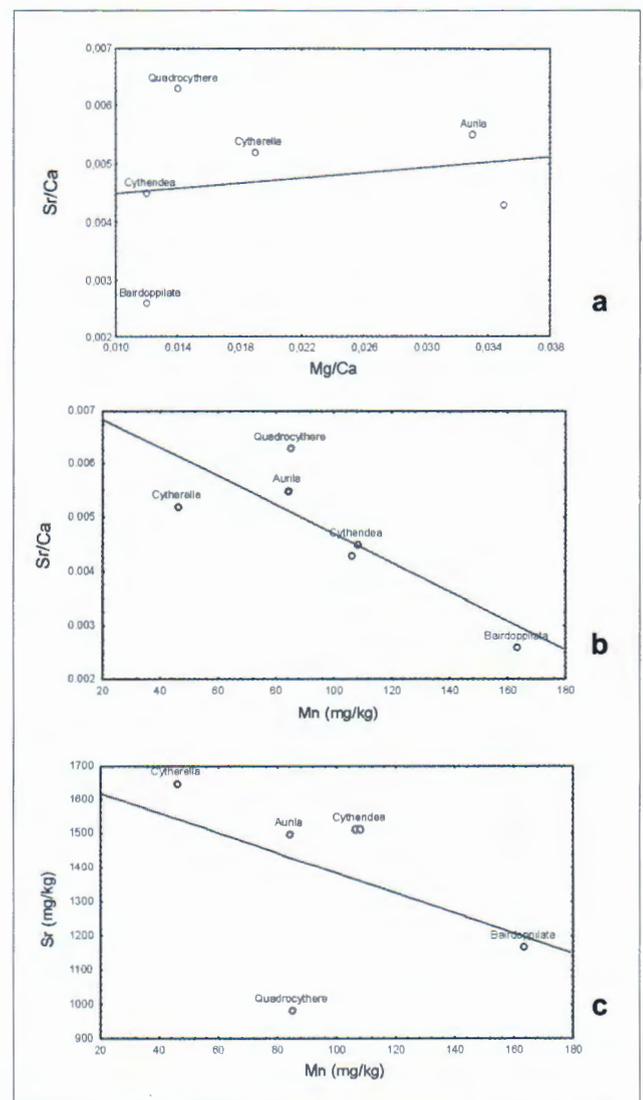
Analizom koncentracije i omjera elemenata Ca, Mg, Sr i Mn u ljušturama gornjobadenskih ostrakoda okoliša Pokupskog dobiveni su podaci koji mogu pomoći rekonstrukciji paleoekoliša.

Za geokemijsku analizu izdvojene su ljuštire marinskih rodova *Aurila*, *Cytherella*, *Cytheridea*, *Bairdoppilata* i *Quadracythere*. Odabirom rodova, a ne vrsta nije učinjena greška jer vrste jednog roda ili pak filogenetski vezani rodovi imaju sličan sadržaj Sr i Mg (BARBIERI et al., 1999).

Odabrani rodovi *Aurila*, *Cytherella*, *Cytheridea*, *Bairdoppilata* i *Quadracythere* stanovnici su plitkomorskih okoliša, izuzev roda *Cytherella* i *Bairdoppilata* koji mogu naseljavati i dubokomorske okoliše.

Geokemijske analize ljuštura ostrakoda načinjene su na Hrvatskom geološkom institutu u Zagrebu, pomoću simultanog ICP atomskog emisionog spektroskopa. Statistička obrada podataka obavljena je pomoću statističkog paketa STATISTICA. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 1 i na sl. 1.

Najveća odstupanja u dobivenim vrijednostima od skupine analiziranih rodova pokazuje rod *Bairdoppilata*. Niži omjer Mg/Ca, Sr/Ca kao i povišena koncentracija Mn (163 mg/kg) izdvajaju ovaj rod od skupine ostalih rodova.



Sl. 1 (a) varijacije omjera Mg/Ca i Sr/Ca; (b) odnos omjera Sr/Ca i Mn; (c) odnos Sr i Mn u ostrakodima.

Fig. 1 (a) Variations in Mg/Ca and Sr/Ca ratios; (b) Sr/Ca versus Mn; (c) Sr versus Mn in analysed ostracoda.

	Mg mg/kg	Mn mg/kg	Sr mg/kg	Mg/Ca	Sr/Ca
<i>Aurila</i>	9214	84	1497	0,033	0,0055
<i>Cytherella</i>	5942	46	1650	0,019	0,0052
<i>Bairdoppilata</i>	5327	163	1170	0,012	0,0026
<i>Cytheridea</i>	3868	108	1512	0,012	0,0045
<i>Quadracythere</i>	2935	85	983	0,014	0,0063

Tablica 1 Rezultati geokemijskih analiza.

Table 1 The results of geochemical analyses.

Poznato je da rod *Bairdoppilata* živi u plitkim ali i dubokim marinskim okolišima. Prema geokemijskim analizama uzoraka može se sugerirati plitkovodni okoliš sa značajnim dotokom terigenog materijala, t.j. obližnjim izljevima slatke vode koja je odgovorna za porast koncentracije Mn, ali i snižavanje saliniteta vode koja se očituje nižim odnosom vrijednosti Mg/Ca i Sr/Ca. Najniža koncentracija stroncija (985 mg/kg) kao i niska koncentracija magnezija zabilježena je u ljušturama roda *Quadracythere*, što ukazuje na promjenu saliniteta vode. Kako se radi o marinskom obliku, ovakva odstupanja mogu se objasniti smanjenjem vrijednosti magnezija i stroncija u odnosu na smanjenje kristalnog rasta (PRASADA, 1996).

Kod ostala tri analizirana roda nisu uočena veća odstupanja u koncentracijama elemenata, osim kod roda *Cytherella* kod kojeg je zabilježena najmanja koncentracija Mn (46 mg/kg) i najveća koncentracija Sr (1650 mg/kg). Odstupanja koncentracija elemenata Mn i Sr mogu se tumačiti na dva načina. Jedno rješenje nalazi se u prilagodljivosti ovog roda većim dubinama, a drugo u životnom okolišu zaštićenog morskog pličaka bez dotoka slatke vode. Odbir prvog ili drugog ponuđenog rješenja prihvatljiv je tek nakon detaljne sedimentološke analize i analize zajednice ostrakoda u kojoj je rod *Cytherella* nađen.

Različite vrijednosti koncentracije i omjera elemenata Ca, Mg, Sr, Mn u ljušturama gornjobadenskih rodova *Aurila*, *Cytherella*, *Cytheridea*, *Bairdoppilata* i *Quadracythere* mogu se protumačiti životnim okolišem koji odgovara modelu otvorene/poluzatvorene lagune s povremenim dotokom slatke vode.

### Literatura

- BARBIERI, M., CARRARA, C., CASTORINA, F., DAI PRA, G., ESU, D., GLIOZZI, E., PAGANIN, G. & SADORI, L. (1999): Multidisciplinary study of Middle–Upper Pleistocene deposits in a core from the Piana Pontina (central Italy).– *Giornale di Geologia*, 61/3a, 47–73, Bologna.
- CHIVAS, A., DE DECKER, P. & SHELLY, J.M.G. (1983): Magnesium, strontium and barium partitioning in non marine ostracode shells and their use in paleoenvironmental reconstructions. A preliminary study.– U: MADDOCKS, R.F. (ur.): *Application of Ostracoda*. University of Huston Geosciences, 238–249.
- DWEYER, G.S., CRONIN, T.M., BAKER, P.A., RAYMO, M.E., BUSAZ, J.S. & CORREGE, T. (1995): North Atlantic deep-water temperature change during Late Quaternary climatic cycles.– *Science*, 270, 1347–1350.
- PRASADA RAO, C. (1996): *Modern carbonates, tropical, temperate, polar*. Introduction to sedimentology and geochemistry. Arts of Tasmania, 1–205, Tasmania.

## Utility of Continental Trace Fossils for Paleoenvironmental, Paleoecologic, Paleohydrologic and Paleoclimatic Reconstructions

Stephen T. Hasiotis

University of Kansas, Department of Geology and Natural History Museum and Biodiversity Research Center, 1475 Jayhawk Blvd., 120 Lindley Hall, Lawrence, KS 66045-7613; e-mail: hasiotis@ku.edu

**Key words:** Continental trace fossils, Paleoenvironments, Paleoecology.

Organism–substrate interactions and resultant ichnofabrics in continental environments are unique compared to those in the marine realm. The majority of organisms and biodiversity in the continental realm lives above the water table in well-drained terrestrial settings. Proximal and distal floodplains contain the greatest diversity of organisms, dominated by arthropods, particularly insects. Continental aquatic environments are occupied by much fewer organisms and are depauperate in ichnodiversity compared to the marine realm. This low diversity is due to the fact that continental aquatic environments are geologically short lived. The high depositional energy and shifting substrates in fluvial systems precludes the occurrence of burrowing organisms, except for those living along or above the water line.

A four-part division of burrowing behavior categorizes ichnofossils into groups with different moisture requirements as well as space and trophic use. Organisms living above the water table in the uppermost parts of the vadose zone construct *Terraphilic* traces. These organisms have low tolerance for areas of prolonged high moisture levels, tolerate short periods of 100% soil moisture, and live in areas with relatively little available water. Surface-dwelling

and trackway-making organisms construct surface traces and are termed *Epiterraphilic*. Organisms living within the intermediate and lower parts of the vadose zone construct *Hygrophilic* traces. These organisms live aboveground but burrow to this level for reproduction and obtain oxygen from the soil atmosphere. *Hydrophilic* traces are constructed by organisms that live below the water table within a soil and below the substrate in open bodies of water where the water table intersects the land surface to form rivers and lakes. These organisms obtain oxygen from the water but can also use high levels of soil moisture to keep their gills wet for short periods of time. This category includes organisms that burrow below the water table and maintain the burrow entrance at the surface.

In general, continental trace fossils indicate: (1) the presence of large numbers of plants, invertebrates, and vertebrates as hidden biodiversity, whose body fossils are absent or underrepresented in sedimentary deposits; (2) *in-situ* evidence of food-web and other ecological relations between fossorial, terrestrial, and aquatic communities; (3) soil moisture and water-table levels and their fluctuations through time; and (4) precipitation and runoff and its seasonality for a specific climatic setting.



## Morfostrukturalna građa Baranje Morphostructural Fabric of Baranja

Ivan Hećimović

*Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska*

**Ključne riječi:** strukturalno-geomorfološka istraživanja, reljef, morfostrukture, rasjedi, Baranja.  
**Key words:** Structural-geomorphological investigation, Relief, Morphostructures, Faults, Baranja.

U području između Drave, Dunava i mađarske granice, a koja pripada hrvatskom dijelu Baranje provedena su strukturalno-geomorfološka istraživanja. Glavno morfološko obilježje tog prostora čini pretežito zaravnjen i neraščlanjen reljef. Izuzetak predstavlja pobrde Banskog (Baranjskog) brda koje se nalazi u središnjem dijelu Baranje i u kojem je reljef uglavnom do slabo raščlanjen. Geološkim kartiranjem u području Baranje ustanovljene su pleistocenske i holocenske naslage koje genetski pripadaju eolskom, fluvijalnom i barskom tipu sedimenata (HEĆIMOVIĆ, 1984; MAGAŠ, 1987; PIKIJA et al., 1995). Sukladno tome sudjeluju i geomorfološki procesi kojima je reljef oblikovan te se razlikuje fluvijalni, eolski i fluvijalno-močvarni tip reljefa (BOGNAR, 1990). Fluvijalni tip reljefa razvijen je na najmlađoj, holocenskoj akumulacijskoj površini koju izgrađuju pjeskovite naslage Drave i Dunava. Ona se nalazi na nadmorskoj visini između 80 i 90 metara, a pečat joj daju terase, inundacijske površine, meandri, mrtvaje, ade i plaže. Manjim dijelom fluvijalni reljefni oblici prisutni su i na pleistocenskoj, dravskoj denudacijsko-akumulacijskoj terasi. Eolski tip reljefa zastupljen je na Banskom brdu (100–244 m n.v.), na lesnim platoima (90–100 m n.v.) i na pleistocenskim riječnim terasama. Fluvijalno-močvarni tip reljefa predstavljen je močvarištima koja se nalaze u najspuštenijim dijelovima terena.

U takvim geološko-morfološkim uvjetima geološko kartiranje nije polučilo zadovoljavajuće rezultate o strukturalnoj građi i neotektonskoj aktivnosti. Zato je cilj provedenih strukturalno-geomorfoloških istraživanja bio pridobivanje dovoljnog broja podataka na temelju kojih će se moći spoznati recentni strukturalni sklop odnosno ustanoviti položaj, tip i karakter mogućih strukturala i rasjeda što će ujedno biti i izravna dopuna geološkoj karti. Metodološki pristup strukturalno-geomorfološkoj razradi bazira se na utvrđivanju uzročnih veza između najmlađih tektonskih pokreta i reljefa. Pri tome se posebna pozornost ukazuje na uočavanje, izdvajanje i definiranje onih tipova i oblika reljefa koji su nastali kao izravna posljedica tektonske aktivnosti. To se ponajprije odnosi na analizu erozijske (drenažne) mreže koja je osnovna forma reljefa. Pri tome je najvažnije prepoznati i izdvojiti one tipove i oblike erozijske mreže koji su nastali kao posljedica izdizanja, spuštanja ili rasjedanja. Klasifikacijom tako izdvojenih oblika i prema njihovoj istaknutosti u reljefu okonturiraju se područja koja se nalaze u fazi izdizanja ili spuštanja te postavljaju trase rasjeda. Okonturena područja ustvari predstavljaju strukturalne ili njihove dijelove. Kada se izdvojene strukturalne morfološki ističu u reljefu one tada predstavljaju morfostrukture. Svi glavni podaci proizašli iz strukturalno-geomorfološke

razrade čine osnovu za izradu strukturalno-geomorfološke karte.

Glavni pečat morfostrukturnom sklopu Baranje daju morfostrukturne jedinice odnosno morfostrukture i rasjedi koji ih ograničavaju. Izdvojene su dvije morfostrukturne jedinice, Baranja i Drava. Baranja predstavlja izdignutu morfostrukturnu jedinicu promjenjiva pružanja od pravca NW–SE prema pravcu NE–SW. Nju čine tri morfostrukture koje su međusobno razdvojene reversnim rasjedima. To su morfostrukturalna Banskog brda koja se nalazi u središnjem dijelu jedinice te morfostrukture Bolman–Grabovac i Branjin Vrh–Draž, koje obuhvaćaju jugoistočni odnosno sjeverozapadni dio. Posebno se ističe morfostrukturalna Banskog brda. Ona predstavlja najistaknutiji dio Baranje, a glavno strukturalno obilježje daju joj reversni rasjedi suprotnih vergencija. Unutar morfostrukturne jedinice Drava, koja je pružanja NW–SE, posebno se ističe spuštana morfostrukturalna Kopačkog rita.

Najznačajniji rasjedi su oni koji su granični morfostrukturnim jedinicama i morfostrukturnama. Od njih se ističe rasjed, zapravo rasjedna zona koja odvaja Baranjsku od Dravske morfostrukturne jedinice, a pruža se od Torjanaca prema Dardi (PRELOGOVIĆ & CVIJANOVIĆ, 1983). U reljefu se odražava u terasnim odsjecima, uzvišenjima duž krovinskog krila rasjeda i naglim skretanjima vodotoka. Rasjed Baranjsko Petrovo Selo–Kneževi Vinogradi–Batina odvaja morfostrukture Bansko brdo i Bolman–Grabovac i predstavlja ogranak rasjeda Torjanci–Darda. Markiran je ravnocrtnim terasnim odsjekom. Konveksna povijanja trasa rasjeda kod Grabovca odnosno kod Kozarca ukazuju na reversna kretanja duž oba rasjeda i to u smjeru jugoistoka. Na sjeverozapadnoj strani Banskog brda vrlo strmi obronci trasiraju Popovački rasjed. Njegova povijanja također su posljedica mogućih reversnih kretanja, ali sjeverozapadnih vergencija.

Zaključuje se da jasna odraženost morfostrukture i glavnih rasjeda u reljefu ukazuje na prisutnost recentne tektonske aktivnosti u području Baranje. Ona je posljedica kretanja Baranjske strukturalne jedinice prema jugoistoku (URUMOVIĆ et al., 2003) uslijed čega dolazi do kompresije prostora i pojave reversnih strukturala s reversnim rasjedima suprotnih vergencija.

### Literatura

BOGNAR, A. (1990): Geomorfologija Baranje, Znanstvena monografija.– Savez. geogr. društva Hrvatske, Posebna izdanja, 7, 1–312, Zagreb.

- HEĆIMOVIĆ, I. (1984): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Donji Miholjac L 34-73.– Geološki zavod Zagreb i Savezni geološki zavod Beograd.
- MAGAŠ, N. (1987): Osnovna geološka karta 1:100.000. List Osijek L 34-86.– Geološki zavod Zagreb i Savezni geološki zavod Beograd.
- PIKIJA, M., ŠIKIĆ, K., SARKOTIĆ-ŠLAT, M. & MAGAŠ, N. (1995): Geologija hrvatskog dijela Baranje.– U: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): 1. hrvatski geološki kongres, Opatija 1995, Zbornik radova, 2, 447–451, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & CVIJANOVIĆ, D. (1983): Prikaz neotektonske aktivnosti dijela Slavonije, Baranje i Bačke.– Geol. vjesnik, 36, 241–254, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., DUIĆ, Ž. & PRELOGOVIĆ, E. (2003): Hidrogeološki uvjeti oblikovanja Kopačkog rita.– 3. Hrvat. konf. o vodama “Hrv. vode u 21. stoljeću”. Zbornik radova, 131–141, Zagreb.

## Planktonic Foraminiferal Turnover at the Eocene/Oligocene Boundary (Palmyra Region, Syria)

Morana Hernitz Kučenjak, Vlasta Premec Fuček & Renata Slavković

INA-Industrija nafte d.d., Sektor istraživanja i razvoja, Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: morana.hernitz-kucenjakk@ina.hr

**Key words:** Planktonic foraminifera, Eocen/Oligocen boundary.

A detailed micropaleontological investigation was performed on planktonic foraminiferal assemblages, spanning the interval from Zone P15 (Late Eocene) to Zone P22 (Late Oligocene) in three deep exploration wells (Jihar-1, Jihar-4 and Jihar-5) in Palmyra region in Syria. As all analyses have been done from drill-cuttings, biostratigraphical zonal boundaries are based on the last occurrence of the index taxa.

Late Eocene sediments are composed of argillaceous limestones of wackestone type, sporadically silicified. Oligocene sediments consist of marls and argillaceous limestones, wackestone and wackestone/packstone types with occasional occurrences of calcareous marls.

The changes of planktonic foraminiferal assemblages indicate a general cooling trend and eutrophication of the euphotic zone between Middle Eocene and Oligocene time (KELLER, 1983; BOERSMA & PREMOLI SILVA, 1991). Highly diversified, subtropical to warm fauna, where K-mode life strategy predominated, were gradually replaced by low diversified assemblages with dominance of cooler r-strategists taxa. The observed extinctions began with the onset of global cooling in the middle Eocene, and culminated near the Eocene–Oligocene boundary. Changes in composition of planktonic foraminiferal assemblages occurred at the Middle/Upper Eocene boundary (Zones P14 and P15) are marked by the extinction of muricate forms, except small acarinids as *Acarinina medizzai* TOUMARKINE & BOLLI (Fig. 1a). In the Upper Eocene of the investigated wells some new species of the planktonic foraminifera made their first appearances, such as *Tenuitella gemma* (JENKINS), *Tenuitellinata angustiumbilitata* (BOLLI), *Turborotalia coccoensis* (CUSHMAN), "*Globigerina*" *venezuelana* HEDBERG and *Globoturborotalita ouachitaensis* (HOWE & WALLACE). Beside these, *Globigerinatheka index* (FINLAY), *Turborotalia cerroaz-*

*zulensis* (COLE) (Fig. 1b), *T. pomeroli* (TOUMARKINE & BOLLI), *Subotina eocaena* (GUMBEL), *Pseudohastigerina micra* (COLE) and some other species have been found. Extinction of the *Hantkenina alabamensis* CUSHMAN signify the top of the Zone P15 (PREMOLI SILVA et al., 2003). Most of the previously mentioned species (with the exception of the *H. alabamensis*) exceeded in Zone P16/17. Furthermore, in this interval *Turborotalia ampliapertura* (BOLLI), *Globigerina praebulloides* BLOW, "*Globigerina*" *tapuriensis* BLOW & BANNER and *Paragloborotalia nana* (BOLLI) have been determined.

The Eocene/Oligocene boundary is marked by ocean temperature droop, which is the result of the formation of sea ice sheets around the Antarctic, and of the development of heavy cold water circulation locally on the bottom of the ocean (CAVELIER et al., 1981). Faunal overturn is indicated by the extinction of specialized Eocene forms (K-strategists), such as turborotalids, globigerinathekids, hantkeninids, and their replacement by generalized globigerinid form species. In addition, the decrease in the size of specimens is remarkable, as well as increased abundances of the opportunistic taxa and cool water indices, increased numbers of the non spinose, deeper dwelling forms and decrease of the diversity (PREMOLI SILVA & BOERSMA, 1988; BOERSMA & PREMOLI SILVA, 1991). The Early Oligocene (Zone P17/18) foraminiferal association of Palmyra region includes *Tenuitella gemma* (JENKINS), *T. munda* (JENKINS), "*Globigerina*" *venezuelana* HEDBERG, "*G.*" *rohri* BOLLI, *Paragloborotalia nana* (BOLLI), *Pseudohastigerina micra* (COLE), *Chilogumbelina cubensis* (PALMER) and *Turborotalia ampliapertura* (BOLLI). The end of Zone P18/19 is marked by the extinction of *Pseudohastigerina micra* (COLE). Planktonic foraminiferal association of Zone P20 consists of "*Globigerina*" *tapuriensis* BLOW & BANNER, "*G.*" *rohri* BOLLI, *Turborotalia ampliapertura* (BOLLI), *Cas-*

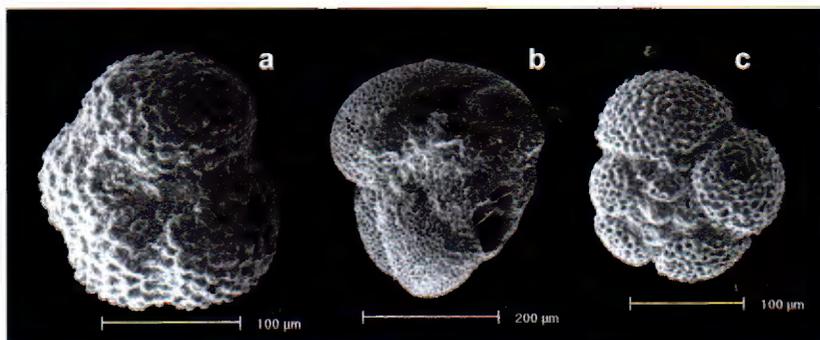


Fig. 1 (a) *Acarinina medizzai* TOUMARKINE & BOLLI, Jihar-1, 460–470 m, umbilical view; (b) *Turborotalia pomeroli* (TOUMARKINE & BOLLI) – *Turborotalia cerroazulensis* (COLE) transition form, Jihar-1, 460–470 m, side view; (c) *Globoturborotalita angulisuturalis* BOLLI, Jihar-1, 220–230 m, spiral view.

*sigerinella chipolensis* (CUSHMAN & PONTON), *Chiloguembelina cubensis* (PALMER), *Globoturborotalita ouchitaensis gnaucki* (BLOW & BANNER), *Catapsydrax martini* (BLOW & BANNER), and tenuitellids. The association of the next biozone (P21a) is very well preserved and diversified. Species *Globoturborotalita anguliofficialis* (BLOW), *G. ciperoensis* (BOLLI), *G. anguliofficialis* (BOLLI) (Fig. 1c), *Paragloborotalia opima opima* (BOLLI) made their first appearances, but *Cassigerinella chipolensis* (CUSHMAN & PONTON), *Chiloguembelina cubensis* (PALMER), globigerinids and tenuitellids have been observed as well. The disappearance of *Chiloguembelina cubensis* is signified in the Early/Late Oligocene boundary (IACCARINO et al., 2005). In the investigated Syrian wells, the planktonic foraminiferal assemblage in the lower part of the Late Oligocene (Zone P21b) is characterised by the following species: *Paragloborotalia opima opima* (BOLLI), "*Globigerina*" *rohri* BOLLI, "*G.*" *tripartita* KOCH, *Cassigerinella chipolensis* (CUSHMAN & PONTON), *Globigerina officinalis* SUBBOTINA, *Globigerina praebulloides* BLOW and some others forms. The planktonic foraminiferal association of the Late Oligocene (Zone P22) consists of globigerinids, globoturborotalitids, tenuitellids and some large "globigerinids".

Planktonic foraminiferal assemblages dominated by turborotalids, pseudohastigerinids, small acarinids and rare tenuitellids prevail in Late Eocene. Very low number of benthic foraminifera implies sedimentation in deep, open sea environment. Gradual increase of the benthic foraminifera proportions going upwards through the Oligocene interval indicates shallowing of the sedimentary environment. At the Eocene/Oligocene boundary specialized, subtropical planktonic foraminifera were replaced by opportunistic, cooler forms, such as globigerinids, cassigerinelids and globoturborotalitids that coincide with global maximum cooling event.

## References

- BOERSMA, A. & PREMOLI SILVA, I. (1991): Distribution of Paleogene planktonic foraminifera – analogies with the Recent?– Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 83, 29–48.
- CAVELIER, C., CHATEAUNEUF, J., POMEROL, C., RABUSIER, D., RENARD, M. & VERGNAUD-GRAZZINI, C. (1981): The geological events at the Eocene/Oligocene boundary.– Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 36, 223–248.
- IACCARINO, S.M., PREMOLI SILVA, I., BIOLZI, M., FORESI, M., LIRER, F. & PETRIZZO, M.R. (2005): Practical Manual of Oligocene to Middle Miocene planktonic foraminifera.– Università degli Studi di Perugia, Università degli Studi di Parma, Università degli Studi di Milano, Perugia–Parma–Milano, 124 p.
- KELLER, G. (1983): Biochronology and paleoclimatic implications of Middle Eocene to Oligocene planktonic foraminiferal faunas.– Marine Micropaleontology, 7, 463–486.
- PREMOLI SILVA, I., RETTORI, R. & VERGA, D. (2003): Practical Manual of Paleocene and Eocene planktonic foraminifera.– Dipartimento di Science della Terra, University of Perugia, Perugia, 153 p.

## Zlatonosno područje Bakovići–Kreševo (centralna Bosna) Bakovići–Kreševo Auriferous Area (Central Bosnia)

Hazim Hrvatović

Zavod za geologiju Sarajevo, Ustanička 11, BIH-71210 Ilidža, Bosna i Hercegovina; e-mail: zgeolbih@bih.net.ba

**Ključne riječi:** zlato, Srednjobosansko škriljavo gorje, Bakovići, Berberuša, Kreševo.

**Key words:** Gold, Mid-Bosnian schist Mts., Bakovići, Berberuša, Kreševo.

Zlatonosno područje Bakovići–Kreševo, nalazi se u jugozapadnom dijelu paleozojskog kompleksa Srednjobosanskog škriljavog gorja. Najstarije stijene pripadaju ordovicijskim(?) i silursko–devonskim metamorfnim sekvencama, uglavnom grinšist i podređeno epidot–amfibolskoj faciji. Metamorfne sekvence su predstavljene kvarc–muskovitnim, hloritnim, amfibolskim i hloritoidnim škriljcima, metapješčenjacima, kvarcitima i mramorima. U ove metamorfne stijene su smještene manje ili veće mase riolita i piroklastita koji indiciraju sinsedimentni karakter riolitnog vulkanizma, što je naročito vidljivo na zlatonosnom području Bakovića kod Fojnice i planine Berberuše kod Kreševa. Preko ovih stijena paleozojske starosti leže gornjopermski klastiti i evaporiti te trijaski klastiti i karbonati (sl. 1). Ležišta i pojave zlata su vezane za paleozojske paleovulkanske centre u čijem se centralnom dijelu nalaze piroklastiti i metarioliti dok se u obodnom dijelu nalaze silursko–devonski metamorfiti.

O zlatonosnom području Bakovići–Kreševo pisali su KATZER (1925), JURKOVIĆ (1957, 1963, 1995), RAMOVIĆ (1979) i ĐURIĆ (1985). Posljednja istraživanja na ležištu zlata u Bakovićima vršena su 2004. godine (HRVATOVIĆ, 2004). Ta istraživanja su obuhvatila geološko kartiranje, uzimanje uzoraka iz starih rudarskih radova i izdanaka stijena za laboratorijska ispitivanja.

U Bakovićima se nalazi najveće ležište zlata u Bosni i Hercegovini. Ležište je predstavljeno kvarcno–piritnim zlatonosnim žicama debljine do 2,5 m. Rudna masa se sastoji od 40–75% pirita a ostalo je kvarc–sideritna masa i uklopici okolnih stijena. Eksploatacijom je utvrđeno da je rudna masa limonitizirana do 50 m dubine. Prema JURKOVIĆU (1957, 1995) primarni nosioci zlata su pirit, tetraedrit i antiminit, a u oksidacionoj zoni limonit. Sadržaj zlata varira i po pružanju i po zalijeganju rudnog tijela. Istraživanjem urana, na području Bakovića, aerogamaspektrometrijskim mjerenjima utvrđena je najveća anomalija radioaktivnog kalijuma u Dinaridima Bosne i Hercegovine. Rezerve zlata variraju od 91000 do 106000 tona sa srednjim sadržajem zlata od 12 gr/t (JURKOVIĆ, 1963). Potrebno je naglasiti da je u obračun ovih rezervi uzet minimalni sadržaj zlata od 5 gr/t. Minimalni sadržaj zlata od 5 gr/t ukazuje na znatno veće rezerve rude u ležištu Bakovići. Na značajan potencijal ovog ležišta ukazuje i geološkim kartiranjem utvrđena debljina rudne mase od preko 10 m (HRVATOVIĆ, 2004). Rudna masa je osim piritno–sideritne žice predstavljena zonom riolitnih breča debljine 3–10 m. Hemijskim analizama iz 2004 godine, u riolitnim brečama starog potkopa Filban, utvrđen je slijedeći sadržaj (u ppm): Ag–09,2;

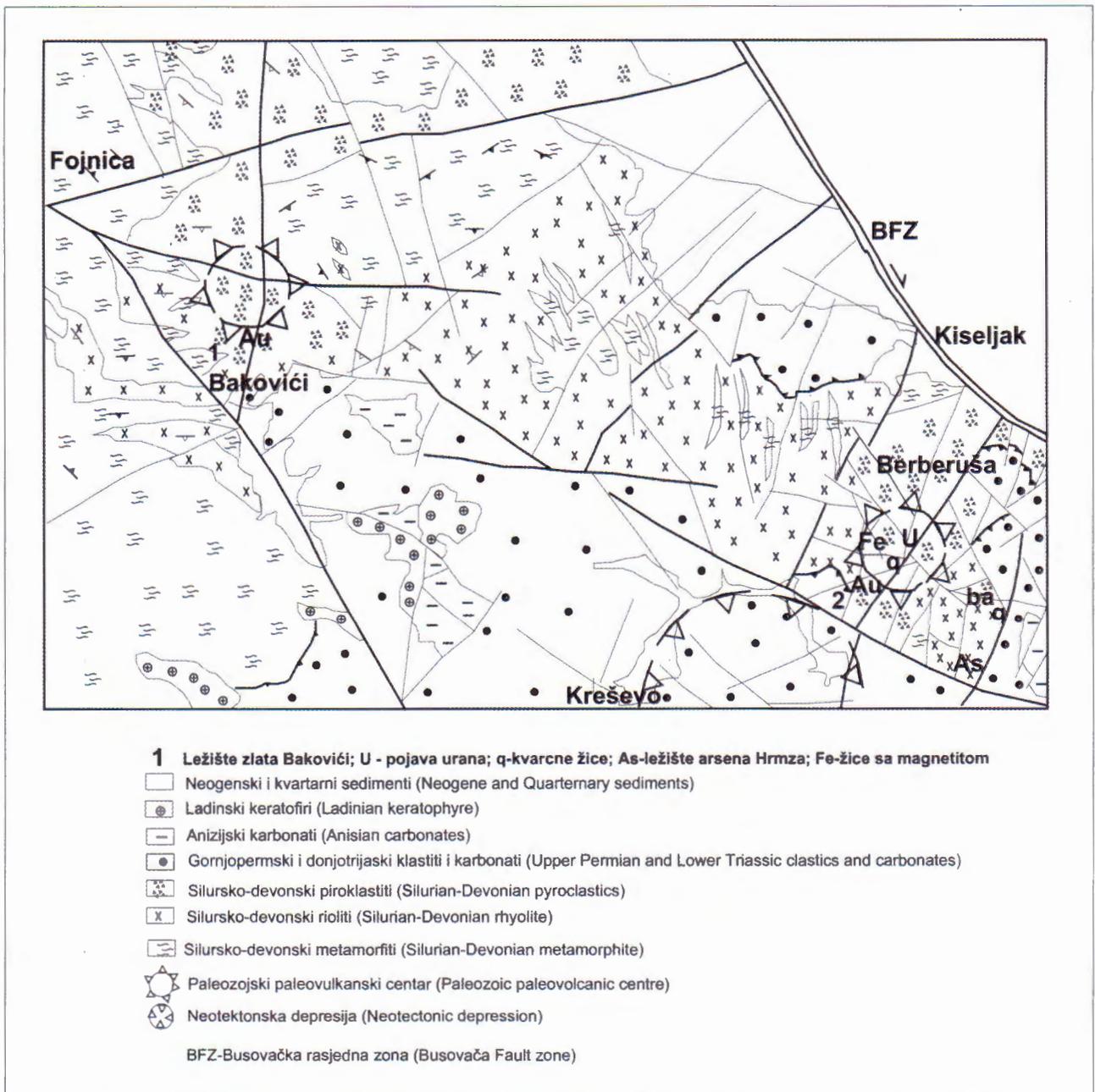
Al–0,22; B–781; Bi–77,6; Cd–0,1; Cs–28; Cu–103,5; Ga–1,56; Hf–0,08; Ge–0,25; Hg–0,91; La–7,4; Li–1,4; Mo–65; Nb–0,24; Ni–3,5; Pb–520; Rb–7,7; Re–0,001; Sb–24,9; Se–0,8; Sr–1,2; Te–0,23; Th–2,2; Tl–0,06; U–0,55; W–8,00; Y–1,02; Zn–13; Zr–2,8; S–0,12 % i Au–6,5 gr/t. Geološkim kartiranjem (HRVATOVIĆ, 2004) utvrđeno je pojavljivanje zlatonosnih kvarcno–sideritno–piritnih žica debljine 1–10 cm koje su smještene u ravni folijacije; zatim žice debljine 2–5 cm (međusobnog rastojanja 4–6 cm) koje sijeku folijaciju po uglom 30–60° koji bi se mogao nazvati “zebra tip” orudnjenja.

U drugom paleozojskom riolitnom paleovulkanskom centru na planini Berberuši kod Kreševa otkrivene su piritno–limonitne žice, debljine do 30 cm, sa sadržajem zlata od 22,8 gr/t, 8 gr/t u limonitu i okolnoj stijeni 4 gr/t. Istraživanjem urana na planini Berberuši utvrđen je sadržaj urana od 360 gr/t.

U narednom periodu istraživanje zlata treba usmjeriti na dva paleovulkanska centra, u Bakovićima i na Berberuši, i to naročito na određivanje sadržaja zlata u riolitima i brečama.

### Literatura

- ĐURIĆ, S. (1985): Elaborat o detaljnom istraživanju zlatonosnih jalovišta rudnika Bakovići kod Fojnice u Srednjoj Bosni sa proračunom bilansnih rezervi C<sub>1</sub> kategorije.– FSD–Zavod za geologiju, Sarajevo.
- HRVATOVIĆ, H. (1999): Geološki vodič kroz Bosnu i Hercegovinu.– Posebno izdanje Geološkog glasnika, 203 str., Sarajevo.
- HRVATOVIĆ, H. (2004): Geološko kartiranje područja Bakovići.– FSD–Zavod za geologiju, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I. (1957): The basic characteristics of the metallogenic region of the Mid-Bosnian Ore Mountains.– Zbornik (Proceedings), II Kongres geologa FNRJ, 504–519, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I. (1963): Proračun rezervi rudišta Bakovići.– FSD–Zavod za geologiju, Sarajevo.
- JURKOVIĆ, I. (1995): Bakovići, the biggest gold deposit of Bosnia and Herzegovina.– Rudarsko–geološko–naftni zbornik, 7, 1–15, Zagreb.
- KATZER, F. (1925): Geologija Bosne i Hercegovine.– Sarajevo.
- RAMOVIĆ, M. (1979): Mineralne sirovine Bosne i Hercegovine. Knjiga II, ležišta obojenih i crnih metala.– 105–116. Sarajevo.



Sl. 1 Geološka karta područja Bakovići-Kreševo 1:200.000.

Fig. 1 Geological map of Baskovići-Kreševo area 1:200.000.

## Fischer Plots Track Accommodation Changes in Mesozoic Adriatic Platform

Antun Husinec<sup>1</sup> & J. Fred Read<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: antun.husinec@fulbrightweb.org

<sup>2</sup> Dept. Geological Sciences, 4044 Derring Hall, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia 24061, USA

**Key words:** Fischer plots, Late Jurassic, Carbonate platform, Croatia.

The Tithonian carbonates of the southern part of the Adriatic Platform are more than 700 meters thick, and have an accumulation rate of up to 15 cm/k.y. during a time of relatively uniform subsidence. The platform interior consists of numerous shallowing upward parasequences 1 to 3 meters thick. Facies include dasyclad and oncoid wackestone, skeletal packstone–grainstone, lime mudstone, and microbial and fenestral laminites. Late Tithonian parasequences commonly contain radial-oid grainstone that occurs at transgressive bases of parasequences, or less commonly, in upper regressive parts of parasequences.

Fischer plots are a simple graphical method to define relative sea level changes on “cyclic” carbonate platforms, by graphing cumulative departure from mean cycle thickness (corrected for subsidence) as a function of time. The preliminary plots of the Late Jurassic data suggest that the Fischer plots are effective in extracting 3rd order accommodation cycles from the data, but there is only a weak 4<sup>th</sup> order (100 and 400 k.y. signal) evident. The accommoda-

tion plots measure the combined effects of sea-level plus subsidence. Accommodation (Fischer) plots of the Late Jurassic cyclic succession show four 3<sup>rd</sup> order accommodation events (0.5 to 5 m.y. long). Differences between the plots for the Adriatic Platform, the Arabian Platform and the HAQ & AL-QAHTANI (2005) curve may in part be due to the effects of local tectonics. A combination of spectral analysis of time series constructed using some measure of relative water depth plotted against stratigraphic thickness, plot of cycle thickness vs. cycle number, and Fischer plots are being used to examine the possible influence of Milankovitch forcing on the formation of the platform interior cycles.

### References

- HAQ, B.U. & AL-QAHTANI, A.M. (2005): Phanerozoic cycles of sea-level change on the Arabian Platform.—*GeoArabia*, 10, 127–160.



## Late Jurassic Facies Stacking Patterns in the Interior of the Adriatic Platform: Evidence for Greenhouse Climate in Mesozoic Cool Mode

Antun Husinec<sup>1</sup> & J. Fred Read<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; antun.husinec@fulbrightweb.org

<sup>2</sup> Dept. Geological Sciences, 4044 Derring Hall, Virginia Tech, Blacksburg, Virginia 24061, USA

**Key words:** Facies stacking patterns, Precessional cycles, Late Jurassic, Adriatic Platform, Croatia.

Although the Mesozoic has long been considered greenhouse, the stacking patterns on Jurassic–Cretaceous platforms suggest that some intervals have formed under sea level changes that are too large for an ice free world. This is manifested in juxtaposition of facies or biotas in parasequences that represent 10 to 30 m shifts in water depths in excess of that expected from simple shallowing of several meters (the parasequence thickness). The presence of obliquity and short and long term eccentricity cycles also is suggestive of ice rather than the abundant precessional cycles that typify greenhouse platforms. We present data showing that the Late Tithonian of the Adriatic Platform represents a greenhouse phase.

Well exposed Mesozoic sections along the southern Dalmatian islands (southern Croatia) can be used to evaluate the Jurassic–Cretaceous paleoclimate. The detailed stacking patterns of facies within the Late Jurassic (Tithonian) shallow platform interior (over 700 m thick) were examined. Facies include deeper lagoon dasyclad wackestone, oncoid wackestone, shoal-water skeletal and radial ooid packstone–grainstone, restricted lagoon lime mudstone, tidal flat microbial and fenestral laminites. They are arranged in 1 to 3 m thick parasequences. Parasequences likely are precessional (roughly 20 k.y. given the accumulation rates). They are arranged in sets 8 to 15 m thick composed of 3 to 6 parasequences, and possibly 100 k.y. duration. Lower Tithonian sets are dominated by subtidal parasequences passing up into thin, more shallow water

parasequences. Upper Tithonian parasequences commonly have radial ooid grainstones at the base, and less commonly in upper regressive parts. Upper Tithonian parasequence sets have well developed tidal flat facies in upper parts.

Estimation of water depths using the fenestral/microbial carbonate as a sea-level datum, shows that the subtidal facies formed in water depths of less than 5 m, and had overlapping depth ranges, implying mosaic-like facies patterns. These shallow water depths support very small precessional sea level changes forming the parasequences, compatible with very warm greenhouse climate. The high Tithonian subsidence rates favored relatively complete preservation of precessional cycles with few missing beats; this also required that any eccentricity signal was very small, otherwise many precessional beats would not have been deposited on the platform top. Emergence near the Jurassic/Cretaceous boundary formed extensive sequence-bounding subaerial clayey and limestone breccia horizons interstratified with lowermost Cretaceous (Berriasian) cyclic carbonates. These Early Cretaceous emergence events were due to long term relative sea level fall, coupled with decreased subsidence rates. Thus the Late Tithonian appears to be a very warm greenhouse phase in the mid-Jurassic–Early Cretaceous cool mode. The Jurassic–Cretaceous sections of the Adriatic Platform in Croatia may provide important paleoclimatic data for this time interval during which some of the world's major petroleum reservoirs were generated.



## Mesozoic Succession of Mt. Svilaja and Signatures of the Main Geodynamic Events

Vladimir Jelaska<sup>1</sup>, Damir Bucković<sup>1</sup>, Blanka Cvetko Tešović<sup>1</sup>, Ivan Gušić<sup>1</sup>,  
Bogdan Jurkovšek<sup>2</sup>, Tea Kolar Jurkovšek<sup>2</sup> & Tvrtko Korbar<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Ulica kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: damir.buckovic@zg.t-com.hr

<sup>2</sup> Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SLO-1001 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Key words:** Carbonate deposits, Triassic, Jurassic, Cretaceous, Mt. Svilaja, Croatia.

Within the Mesozoic “layer cake” succession exposed on the southwestern slope of Mt. Svilaja, Triassic, Jurassic and Cretaceous sequences were investigated. The succession reveals signatures of the main geodynamic events that took place within the Periadriatic region through the Mesozoic. The Lower Triassic carbonate–siliciclastic sequence deposited on the Gondwana shelf comprises two units: (1) the lower unit, that consists of thin-bedded, calcareous and micaceous, fine-grained sandstones, siltstones and silty or calcareous pelites, and (2) the upper unit, that consists of alternating skeletal grainstones, silty and/or argillaceous wackestones to packstones, and marls. The boundary between the Lower Triassic and Middle Triassic is locally marked by the disconformity, i.e. by the “Otarik” intraformational carbonate breccias and mud-pebble conglomerate that laterally pass into the “Diplopora Limestone”. Near the Anisian–Ladinian boundary, the Middle Triassic sequence contains platy pelagic limestones accompanied with vitrocrysoloclastic tuffs (“pietra verde”), cherts, sandstones and shales. The “pietra verde” interval contains bioclastic limestones characterized by an abundance of calcareous algal skeletons, but also fragments of corals, mollusks and brachiopods (JAECKS et al., 2003). It can be interpreted as the result of rift tectonics (JELASKA, 2003) and accompanying basalt magmatism (ŠČAVNIČAR et al., 1983; BELAK, 2000) that indicate progressive separation and differentiation processes on the Gondwana shelf. These limestones represent the termination of the Middle Triassic sequence whose thickness here amounts up to ca. 200 metres. The topmost surface of the Middle Triassic sequence is intensely karstified during the Late Ladinian–Norian (Rhaetian?) emergence phase. On the karstified surface there are some occurrences of bauxites and terrigenous materials, including conglomerates deposited during the Late Triassic transgression. These conglomerates, with pebbles of Middle Triassic algal limestones, are overlain by an 8 m thick interval of grain-supported limestones. This is followed by a 60 m thick sequence of dolomites with planar and corrugated stromatolitic lamination. By their general appearance, these dolomites correspond to the well-known Alpine Norian–Rhaetian Hauptdolomite. Here it represents the beginning of the shallow-water carbonate deposition on the Adriatic–Dinaridic Carbonate Platform (GUŠIĆ & JELASKA, 1993; JELASKA, 2003) that became more evidently separated from the Apulian Carbonate Platform during the Early Jurassic.

The Triassic–Jurassic transition is continuous and characterized by ever more frequent intercalations of micritic limestone, which alternate with dolomite. The sequence of the middle Lower Jurassic is composed of thicker, muddy beds in alternation with thinner and grainier ones that clearly reveals coarsening-upward trend. In the upper part of middle Lower Jurassic sequence, few tempestite coquina beds with large *Lithiotidae* bivalve shells occur. The shells are inserted in carbonate mud and oriented parallel to bedding. The Upper Jurassic sequence is exposed in total thickness of ca. 500 m. This succession can be divided into four units: (1) “Cladocoropsis” wackestones; (2) “Lemeš beds” with bioclastic wackestone/packstones to packstone/floatstones; (3) “Lemeš beds” with intercalations of chert; and (4) bioclastic packstone/floatstones to wackestone/packstones. The composition of these units in vertical succession shows that during the Late Jurassic some inner platform parts have been sunken when intraplatform troughs were formed. These troughs were gradually filled with bioclastic material derived from the margins of the trough until the shallow-water conditions were re-established, and continued to exist during the Early Cretaceous.

The Lower Cretaceous sequence is exposed in thickness of ca. 830 metres. The Neocomian sequence is represented by mudstones and fenestral mudstones with rare, thin intercalations of *Favreina* packstones–grainstones. The Barremian is characterized by massive mudstones, mostly with ostracode and variable amounts of pellets and foraminifera. They are intercalated with skeletal–intraclastic packstones–grainstones with algal assemblage that in the upper part of the Barremian sequence becomes frequent. The Lower Aptian sequence is represented by *Praeorbitolina/Palorbitolina* wackestones and *Bacinella* floatstones, deposited in somewhat deeper subtidal environments, because of a relative sea level rise. On the southeastern slope of Mt. Svilaja, there are numerous rudists embedded within Lower Aptian bioclastic floatstones which are recognized as caprinid-rudist facies. Above the Lower Aptian sequence, there is a several meters thick interval of algal wackestones, followed by a series of minor or major exposure events or, in places, charophytic wackestones. Both features clearly exhibit regressive trends with fresh water influences and/or subaerial exposure features within Upper Aptian, that is a well-known fact throughout the Karst Dinarides (e.g. VELIĆ et al., 1989). The Upper Aptian–Lower Albian sequence is marked by mudstones

that irregularly alternate with peloid–intraclastic–skeletal packstones–grainstones and peloid wackestones–packstones with molluscs and benthic foraminifera (*Orbitolina* (*Mesorbitolina*) *texana* (ROEMER)). The Upper Albian sequence is characterized by mudstones, fenestral mudstones, and rare stromatolites, alternating with peloid–skeletal wackestone–packstones and peloid–bioclastic–intraclastic packstones to grainstones with bivalves, gastropods, benthic foraminifera (“primitive” orbitolinids and others), hydrozoans, and “algal balls”.

The Lower to Upper Cretaceous transition is marked by a sequence of laminated late-diagenetic dolomites, fenestral mudstones and intraformational breccias. This succession is overlain by Cenomanian deposits characterized by irregular alternation of micritic laminated carbonates, micritic limestones followed by fenestral mudstones and peloid–bioclastic packstone–grainstones with *Broeckina* (*Pastrikella*) *balcanica* CHERCHI et al. and *Chrysalidina gradata* d'ORBIGNY.

## References

- BELAK, M. (2000): Profil Sutina–Zelovo Sutinsko. Kristalo-klastični i vitroklastični tufovi (pietra verde) s proslojcima silificiranih dolomita, vapnenca, tufta, rožnjaka (In: JELASKA, V. et al.: Geološka povijest i strukturna evolucija Vanjskih Dinarida).– 2. Hrvatski geološki kongres, Cavtat–Dubrovnik, 17.–20.5.2000., Vodič ekscurzija, A–1, 6–10.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1993): Upper Cenomanian–Lower Turonian sea-level rise and its consequences on the Adriatic–Dinaric carbonate platform.– *Geol. Rundsch.*, 82/4, 676–686.
- JAECKES, G.S., LEIGHTON, L.R., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JELASKA, V. (2003): Phylogenetic analysis of a likely productide from the Triassic, and the implications for survival through the Permo–Triassic extinction.– Geological Society of America, 2003 Seattle Annual Meeting, Abstracts with Program, 66–1.
- JELASKA, V. (2003): Carbonate platforms of the External Dinarides.– In: VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (eds.): Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin. 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija – September 17–19, 2003, Field Trip Guidebook, 67–71.
- ŠČAVNIČAR, B., ŠUŠNJARA, A. & PROHIĆ, E. (1983): The geologic column of the Lower Triassic in the Zmijavac Valley (Muć, Southern Croatia).– In: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (eds.): Contribution to sedimentology of some carbonate and clastic units of the coastal Dinarides. 4th IAS Regional Meeting, Split, 1983, Excursion Guidebook, 87–97.
- 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.

## Alluvial Fan of Crvene Stene (Permian–Lower Triassic, Western Serbia)

Radmilo Jovanović

NIS Naftagas, Narodnog fronta 12, SCG-21000 Novi sad, Serbia and Montenegro; radmilo.j@mail.nis-naftagas.co.yu

**Key words:** Continental Red Beds, Fluvial sedimentology, Alluvial fan, Permian–Lower Triassic, Western Serbia.

During the mapping of Geological Map of Serbia and Montenegro 1:50000 in Western and Southwestern part of Serbia the Continental Red Beds are investigated. They are Permian–Lower Triassic in age and discordantly overlaying Carboniferous metasediments and low grade metamorphic rock and in tectonic (partially decolmanic) contact below the rocks of Triassic Carbonate Platform and various rocks of Diabaz–Chert Formation. According to the geotectonical reorganization investigated area belong to the Drina–Ivanjica Element to the Drina Block.

The best exposed Continental Red Beds which are determined as an alluvial fan are on the locality Crvene Stene. They were recognized, interpreted and defined as a proximal, medial and distal part of alluvial fan.

As a deposits of gravity flow (mud flow and debris flow) are defined proximal part of alluvial fan with architectural elements type gravel bars and bedforms (GB), and characteristic association of lithofacies Gms, Gm, Gp, (Sh, Sp, St) and Gms, Gm (Gt) and hierarchy of bounding surfaces 2, 3 and 4 in order. There are periodical appearance of architectural elements type of sandy bedforms (SB) interbedded with architectural elements type gravel bars and bedforms with characteristic association of lithofacies Gm, Gp, Gt, Sh, Sp, St and hierarchy of bounding surfaces of 2, 3 and 4 in order (after MIALL, 1996). In proximal part of alluvial fan in higher concentration of liquid fine grained component with gravity flow of debris are formed

architectural elements of sediment gravity flow type with characteristic association of lithofacies of Gm–Fm (Sp, St, Gp, Gt, Fl), and hierarchy of bounding surfaces of 2, 3 and 4 in order.

Architectural elements of channel type (CH) with characteristic association of lithofacies Gm, Gp, Sh, Sp (Gt, St, Se) and defined hierarchy of bounding surfaces of 2, 3, 4 and 5 in order are characterized of higher (gravely) medial part of alluvial fan with a gradational filling of channel with braided streams. Lower (sandy) medial part of alluvial fan with braided streams are characterized with architectural elements of downstream accretion macroforms – lateral accretion macroforms type (DA–LA) and sandy bedforms with characteristic association of lithofacies Sp, Sh, St, Se, Sr, Fl and hierarchy of bounding surfaces of 2, 3, 4 and 5 order.

Distal part of alluvial fan are defined with architectural elements of overbank fines type (OF) with characteristic association of lithofacies Fl, Fm and Sh and hierarchy of bounding surfaces of 2 and 3 in order and this is product of periodical gradational filling of overbank space.

### Reference

- MIALL, A.D. (1996): *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin and Petroleum Geology*.– Springer-Verlag Heidelberg, 582 p.



## Tidal Notches and Recent Tectonics

Mladen Juračić<sup>1</sup> & Čedomir Benac<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: mjuracic@geol.pmf.hr

<sup>2</sup> Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, V.Cara-Emina 5, HR-51000 Rijeka, Hrvatska

**Key words:** Recent tectonics, Sea-level change, Bioerosion, Tidal notch, Adriatic Sea, Kvarner area.

The coasts of Rijeka Bay and Vinodol channel, including Bakar and Omišalj Bays (located within Kvarner area) are formed in Cretaceous and Paleogene carbonate and clastic sedimentary rocks. Carbonate rocks (limestones, dolomites, and carbonate breccias) predominate in the coastal area, whereas flysch sediments are of subordinate importance. The prevailing limestones are quite pure (92 to 99% of calcite). However, dolomites and partly dolomitic limestones are also present (BENAC & JURAJČIĆ, 1998). Tectogenesis of the Kvarner region reflects the subduction of Adriatic carbonate platform beneath the Dinaric platform. The main tectonic structures strike NW–SE as the result of NE–SW compression during the Tertiary. Intensive transpression tectonics, which has a vertical component too, is dominant during the Quaternary period (BLAŠKOVIĆ, 1999).

Biological zone limits are well expressed on carbonate coasts in the Kvarner area. These zones reflect the local biological mean sea-level. Two distinct zones could be recognized: the white zone (WE) and, below it, the green zone (GN). The vertical span of the white zone is approximately 30 cm, which is in accordance with the average tidal amplitude in the Kvarner area. The border between green and white zone marks the biological mean sea-level (BMSL), and it is 20 cm below hydrographic mean sea-level (MSL). The tidal notches are developed primarily by bioerosion within the tidal zone on relatively sheltered limestone coasts with small tidal range. Tidal notches are considered to be one of the best indicators of the local sea-level change (PIRAZZOLI, 1986). In the coasts of the Kvarner area, a well developed tidal notch below MSL has already been recognized. It is ubiquitous U-shaped tidal notch approximately 0.6 m below MSL (BENAC et al., 2004). Moreover, U-shaped to V-shaped notches at 18 m depth were observed indicating substantial sea-level changes during the Holocene (BENAC & JURAJČIĆ, 1998).

During a detailed survey of the Rijeka Bay and Vinodol Channel coasts, including Bakar and Omišalj Bays, compact carbonate rocks were selected for measurements. On these rocky parts of the coast, a detailed search has been performed by snorkelling and SCUBA diving, in order to find and measure tidal notches. Measurements were done according to PIRAZZOLI (1986). Measurements of tidal notch position were done from the upper limit of the WE zone to the roof top of tidal notch. Metal bar with cm division and in-built spirit level was used for measurements in order to achieve better vertical and horizontal accuracy. Only tidal notches with horizontal extension larger than one meter were measured. The roof of tidal notches was always at least 25 cm below recent BMSL and 45 cm

below hydrographic MSL. Tidal notches had asymmetric shape, height (H) between 55 and 390 cm, and depth ( $D_R$ ) between 25 and 160 cm. Characteristic profile of the tidal notch indicates the complexity of determination of retreat point B (PIRAZZOLI, 1986). Therefore the apparent retreat point B' was introduced as a characteristic measurable point. Measurement from B' to the roof top (point A) is reported as the roof height ( $H'_R$ ) and it was from 5 to 20 cm (Fig. 1).

On the west coast of Rijeka Bay (Liburnian coast) the position of tidal notches (former biological mean sea-level – FBMSL) was between 50 and 57 cm below recent BMSL (E on Fig. 1). On the east coast of Rijeka Bay (west coast of Krk Island) the position of tidal notches was between 49 and 67 cm below recent BMSL. On the north-eastern coast, west of the Rječina River mouth the position of notches was 52 to 56 cm, while eastern from the Rječina River mouth the position was from 60 to 75 cm below BMSL. Around the entrance to the Bakar Bay the position of notches was

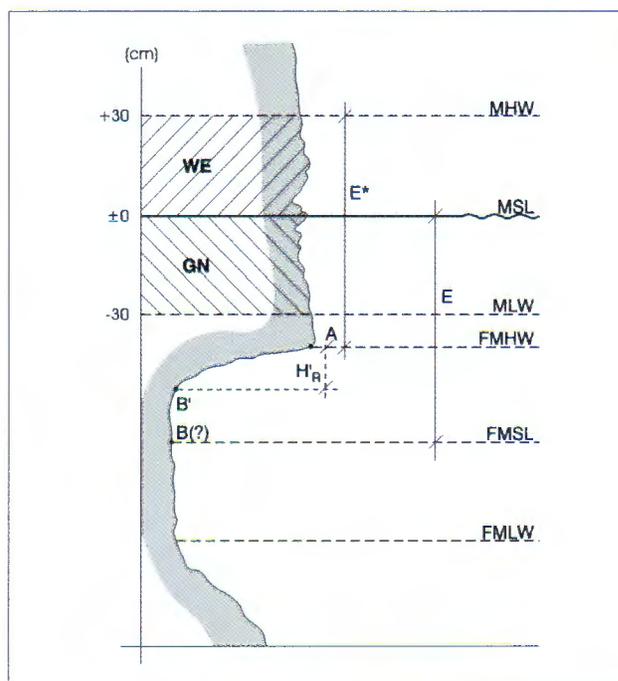


Fig. 1 Submerged tidal notch profile with correlation between biological zone limits, sea level marks and notch points. Legend: WE – white zone; GN – green zone; ULWE – upper limit of WE zone; FULWE – former upper limit of WE zone; A – point of roof top of the notch; B – retreat point; B' – apparent retreat point;  $H'_R$  – apparent roof height; E – elevation; E\* – measured elevation; MSL – hydrographical mean sea-level; BMSL – biological mean sea-level; FBMSL – former biological mean sea-level.

69 to 97 cm below BMSL. Within the Bakar Bay the position was between 100 and 115 cm. Within the Omišalj Bay the position was between 49 and 62 cm below BMSL. On the north-eastern coast of Vinodol Channel the position of notches was 48 to 55 cm. On the southwest coast of Vinodol Channel (NE coast of the island of Krk) the position of notches was 55 to 66 cm below BMSL, but around Šilo peninsula the position was shallower: between 45 and 58 cm below BMSL.

Regional occurrence of well preserved tidal notches at 0.4–0.6 m below BMSL (Rijeka Bay, Istrian Peninsula, Kvarner islands, and Vinodol and Velebit Channels) indicates their possible coseismic origin (rapid tectonic subsidence). It is possible that this regional coseismic subsidence occurred in 4<sup>th</sup> century AD, which is simultaneous with the presumed uplift in the Eastern Mediterranean (PIRAZZOLI et al., 1996). Deeper positions of tidal notches in NE part of Rijeka Bay and within Bakar Bay and also different position of tidal notch between NE and SW coasts of Vinodol Channel indicate enhanced subsidence on the foot-wall of the Vinodol thrust. This zone was assumed to be the most seismotectonically active.

## References

- BENAC, Č. & JURAČIĆ, M. (1998): Geomorphological indicators of the sea level changes during Upper Pleistocene (Wurm) and Holocene in the Kvarner region.– *Acta Geographica Croatica*, 33, 27–45.
- BENAC, Č., JURAČIĆ, M. & BAKRAN-PETRICIOLI, T. (2004): Submerged tidal notches in the Rijeka Bay NE Adriatic Sea: Indicators of relative sea-level change of recent tectonic movements.– *Marine Geology*, 212, 21–33.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1999): Tectonics of part of the Vinodol Valley within the model of the continental crust subduction.– *Geologia Croatica*, 52/2, 153–189.
- PIRAZZOLI, P.A. (1986): Marine Notches.– In: van de PLASSCHE, O. (ed.): *Sea-Level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data*. Geo Books, Norwich, 361–400.
- PIRAZZOLI, P.A., LABOREL, J. & STIROS, S.C. (1996): Coastal indicators of rapid uplift and subsidence: examples from Crete and other eastern Mediterranean sites.– *Zeitschrift für Geomorphologie*, 102, 21–35.

# Paleozoic Iron Ore Occurrences in the Medvednica Mountain, Croatia

Ivan Jurković

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Iron deposits, SEDEX-type, Paleozoic, Medvednica Mt., Croatia.

## Introduction

The central part of the Medvednica Mt. (1033 m) is composed of metamorphic rocks (greenschists), Paleozoic in age. The bigger part is represented by parascists: greywackes, subgraywackes, metasiltstones, crystalline limestones and dolomites, slates, phyllites, quartzites, marbles, and cipolins.

In the parascists, especially in carbonate rocks were found and determined fossils which range from Uppermost Ordovician to Upper Permian in range.

Orthometamorphic rocks (metabasalts, greenschists rock *senso stricto*, and subordinate epidote–sericite schist, stiplnomelane schists and amphibole schists) have a basic character with pronounced olivine – tholeiitic affinity.

The whole Paleozoic unit was affected by Cretaceous (122–110 Ma) very low to low-grade and medium pressure (3–3.5 kbar, 400–350°C) regional metamorphism.

Discovery of conglomerate beds, about 10 m thick, indicates on the strong orogenic phase during the Carboniferous and on the probable formation of olistostromes. Such events took place in the Una–Sana Paleozoic complex, Drina–Ivanjica complex, etc.

## Ore deposits

Magnetite–hematite ore occurrences are situated on the south-western slopes of the Medvednica Mt. (Fig. 1). They occur in the Paleozoic greenschists along the contact or very close with the Paleozoic sedimentary complex. Ore zone is 6 km long and strikes from Pustodol–Adolfovac to the Tisova Peć. First 1.5 km (Adolfovac–Bliznec Potok) contains the majority of 20 ore outcrops. Ore zone consists of discontinuous decameters long and 2 to 3.5 m thick bedded lenses, poorly mineralized (20–35 % Fe). The ore bearing zone is characterized by muscovite–chloritoid schists, quartz–stiplnomelane–magnetite schists, quartz–stiplnomelane–chlorite–magnetite schists and iron-ore bearing schists. First detailed geological, geophysical and mining investigations took place between 1954 and 1956, but with negative results.

Ore minerals are concentrated in certain thin beds (1–2 mm). The strongly mineralized thin beds are significantly fewer than the weakly mineralized beds and bands. In places strongly and weakly mineralized bed and bands alternate at very short intervals. Locally we may observe that one or more thin rich beds are followed by a thicker series of weakly mineralized beds that are sometimes almost sterile.

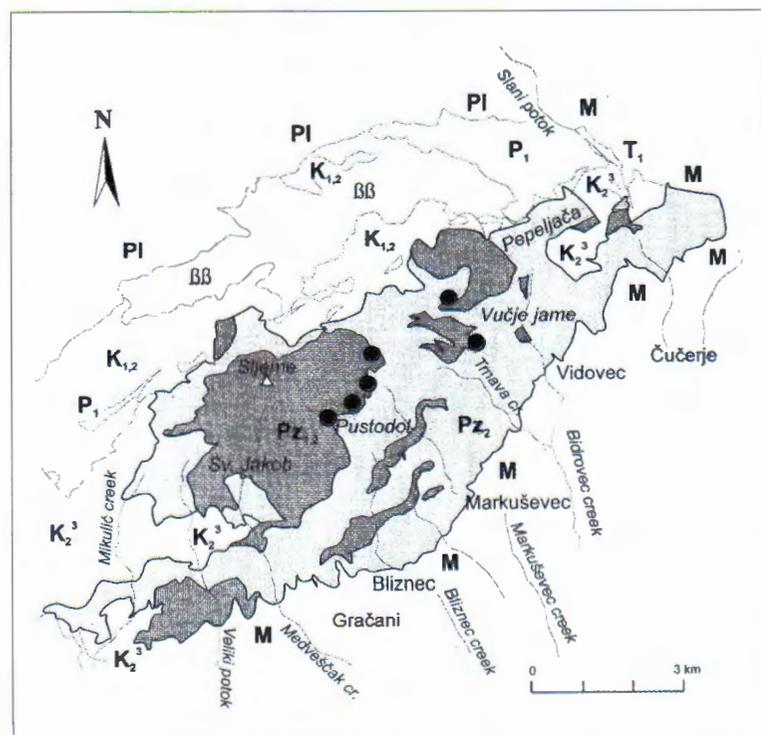


Fig. 1 Schematic geological map of Medvednica Mt. Legend:  $\beta\beta$  – Jurassic magmatic rocks (ophiolites); • – Volcanogeno–sedimentary iron ores; PI – Pliocene; M – Miocene;  $K_2^2$  – Upper Cretaceous;  $K_{1,2}$  – Lower Cretaceous;  $T_1$  – Lower Triassic;  $P_1$  – Lower Permian;  $Pz_{1,2}$  – Silurian–Devonian–Carboniferous parascist complex;  $Pz_{1,2}$  – Ordovician(?)–Silurian (metamorphosed basic volcanogeno–sedimentary formation).

### Microscopic investigations

#### a) Transparent light

By microscopic investigations of the rock samples, in the profile vertically on the stretching of the beds, an entire transitive series of the rocks ranging from pure quartzites to actual chlorite-schists has been found. We have identified beds that are barely 0.5 mm to 1 mm thick, as well as those reaching a thickness of several centimeters or even several decimeters.

The main petrogenic minerals are finegrained **quartz** and **chlorite substance**. Their respective quantities determine the petrographic character of a member in a "mineral series". Among the more important minor mineral components, we emphasize: **muscovite**, **epidote**, **actinolite**, **stilpnomelane**, **garnet** and **tourmaline**.

#### b) Reflected light

We have identified **magnetite**, **hematite**, **lepidocrocite** and common "**limonite**". The most abundant is hematite, then magnetite, while lepidocrocite and "limonite" are minor components. Some hematite occurs in the form of **martite**.

**Magnetite** crystals are developed idiomorphically. Individuals of magnetite are of considerable size, appearing like porphyroblasts (idioblasts) in a finegrained mass of other ore and gangue minerals. Size varies in average between 0.2 and 0.5 mm.

Magnetite is concentrated in certain beds of varying thickness. Its distribution in these beds is of uneven density. While some thin beds contain magnetite in over half of their volume, others contain only isolated, rarely dispersed grains. We have observed quite a few hematite-rich beds that do not contain any magnetite. Magnetite is visibly cataclased.

Magnetite is affected by the process of martitization in various stages of development. Martitization begins at the margins of crystals and advances either frontally or along the octahedral structural planes, or both.

The formation of **lepidocrocites** has also been observed along the younger cracks of magnetite.

**Hematite** is concentrated in thin beds of varying thickness and with varying density of distribution. Individuals of hematite are either plated or short columnar. They are in average less than 50 micrometers long and less than 10 micrometers wide. In many hematite beds, the hematite is spatially oriented. The crystals are arranged so that their longer edges are parallel to the schistosity. In certain beds hematite plates are bent, folded and often in bundles. It points to a metamorphic character of the ore deposit.

In those beds where hematite is very densely crystallized, we may also detect initial signs of recrystallization of hematite. This fact would also point to the so-called "Durchlagerungs-metamorphose".

### Origin of ore deposits

In our opinion iron ores of the Medvednica Mt. are genetically in correlation with the Ordovician-Silurian volcano-gene-sedimentary series, basic in character. Similar iron ore deposits have been formed in Lower Paleozoic, especially in Ordovician.

In the South-East Serbia (Žitni Potok-Čar Sedlar), magnetite-hematite ores occur in the Neo-Proterozoic amphibolites (metamorphosed volcano-sedimentary series) and in the Riphean-Cambrian-Ordovician volcano-sedimentary formation (Crna Trava-Vlasina).

In the West Macedonia magnetite-hematite ore deposits are situated in the Cambrian-Ordovician volcano-sedimentary series (Stogovo-Karaorman Mts.).

In the Drina-Ivanjica Formation iron deposits are genetically related to the Early Paleozoic basic magmatic rocks.

## Zamaskirana prstenasta struktura Poreč Masked Ring-Like Structure of Poreč

Vilko Klein & Dragomir Jovičić

GEO-KAMEN d.o.o., Omiška 18, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: geo-kamen@zg.htnet.hr

**Ključne riječi:** daljinsko istraživanje, prstenasta struktura Poreč, sinklinorij, mezozojski karbonati, paleogenski fliš, Istra, Hrvatska.

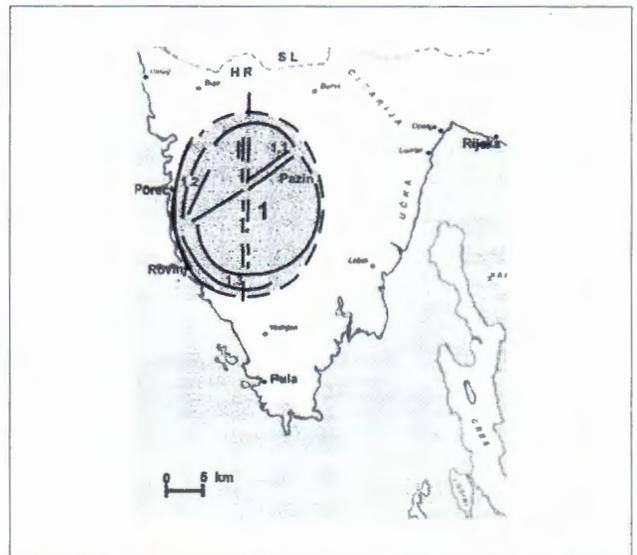
**Key words:** Remote sensing, Ring structure Poreč, Synclynorium, Mesozoic carbonates, Palaeogene flysch, Istria, Croatia.

Unutar reljefa poluotoka Istre, izgrađenog od mezozojsko-karbonatnih i paleogensko-fliških sedimenata, već su izdvojene prstenaste strukture. Među njima ističe se prstenasta struktura brahiantiklinalnog ocrta Rovinj te manja kružna struktura u području Pazina (KOŠČEC, 1988). Prilikom daljinskog rekognosciranja reljefa poluotoka Istre na upotrijebljenoj Landsat TM kolor snimci kanala 4, 5 i 7 izdvojena je razmjerno veća zamaskirana prstenasta strukturu nazvana Poreč promjera približno 35–40 km. Ona prekriva značajan dio središnjih dijelova zapadne Istre i predstavlja složeni reljefni sklop. Reljefna brazda rasjednog obilježja dijeli ju na SZ i JI dio. U svom pružanju prema JZ, nadovezuje se na pružanje osi jursko–kredne odnosno rovinjske antiklinale (POLŠAK & ŠIKIĆ, 1973). Zapadni priobalni lučni obod izdvojene jedinice rebrasto je raščlanjen nizom skrašenih dolina koje streme prema obali.

Jedinica Poreč, obzirom na svoj ocr i dimenzije, išla bi u red prstenastih struktura dijapirskog tipa. U značajnoj je mjeri preoblikovala strukturne komplekse Istre. U tom smislu zahvaća i rovinjsku antiklinalu. Njezin sjeverni dio zadire u naslage fliša paleogenskog sinklinorija. Da li je oblikovanje prstenaste morfostrukture Poreč uslijedilo nakon podvlačenja istarskog dijela Jadranske karbonatne platforme i fliških naslaga paleogena pod masive Čićarije i Učke predstavlja otvoreno pitanje. Inače se izdvojena prstenasta struktura skladno uklapa u širi lučno–klinasto povinuti predsubkcijski pojas reljefa poluotoka Istre konveksno izbočenog prema SI, a koji popratno slijedi lučno povinut luskavo–navlačni pojas kojeg čini orografski sklop Čićarije i Učke.

### Literatura

- KOŠČEC, B. (1986): Primjena daljinskih metoda u naftnogeološkim istraživanjima Istre i podmorja sjeveroistočnog Jadrana. – Doktorska disertacija, Sveučilište u Beogradu, 276 str.
- ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list list Rovinj, L 33–101. – Inst.geol. istraž. Zagreb (1963), Sav. geol. zavod, Beograd, 51 str.



Sl. 1 Zamaskirana prstenasta struktura Poreč složene reljefne građe prekriva zapadne dijelove poluotoka Istre, a označena je zasjenjenom površinom omeđenom zakrivljenim crtama; 1.1 Reljefna brazda rasjednog obilježja pružanja SI–JZ dijeli izdvojenu jedinicu na SZ i JI dio; 1.2 Reljefno jako raščlanjen zapadno istarski lučno povinut priobalni rub jedinice Poreč; 1.3 Rasjedno pukotinska zona pružanja S–J.

Fig. 1 Masked ring-like structure Poreč of complex relief composition covering the western parts of the Istrian peninsula, designated by shaded surface of bended lines; 1.1. relief scar with fault characteristic of NE–SW strike separating the singled out unit to its NW and SE part; 1.2. in relief strongly dissected Istrian arched coastal rim of the unit Poreč bended towards west; 1.3. Fault fissure zone of the N–S strike.



## Stratigrafija krednih naslaga otoka Visa (Jadransko more, Hrvatska) Stratigraphy of Cretaceous Deposits of the Island of Vis (Adriatic Sea, Croatia)

Tvrtko Korbar, Antun Husinec, Damir Palenik, Ladislav Fuček,  
Igor Vlahović & Branko Sokač

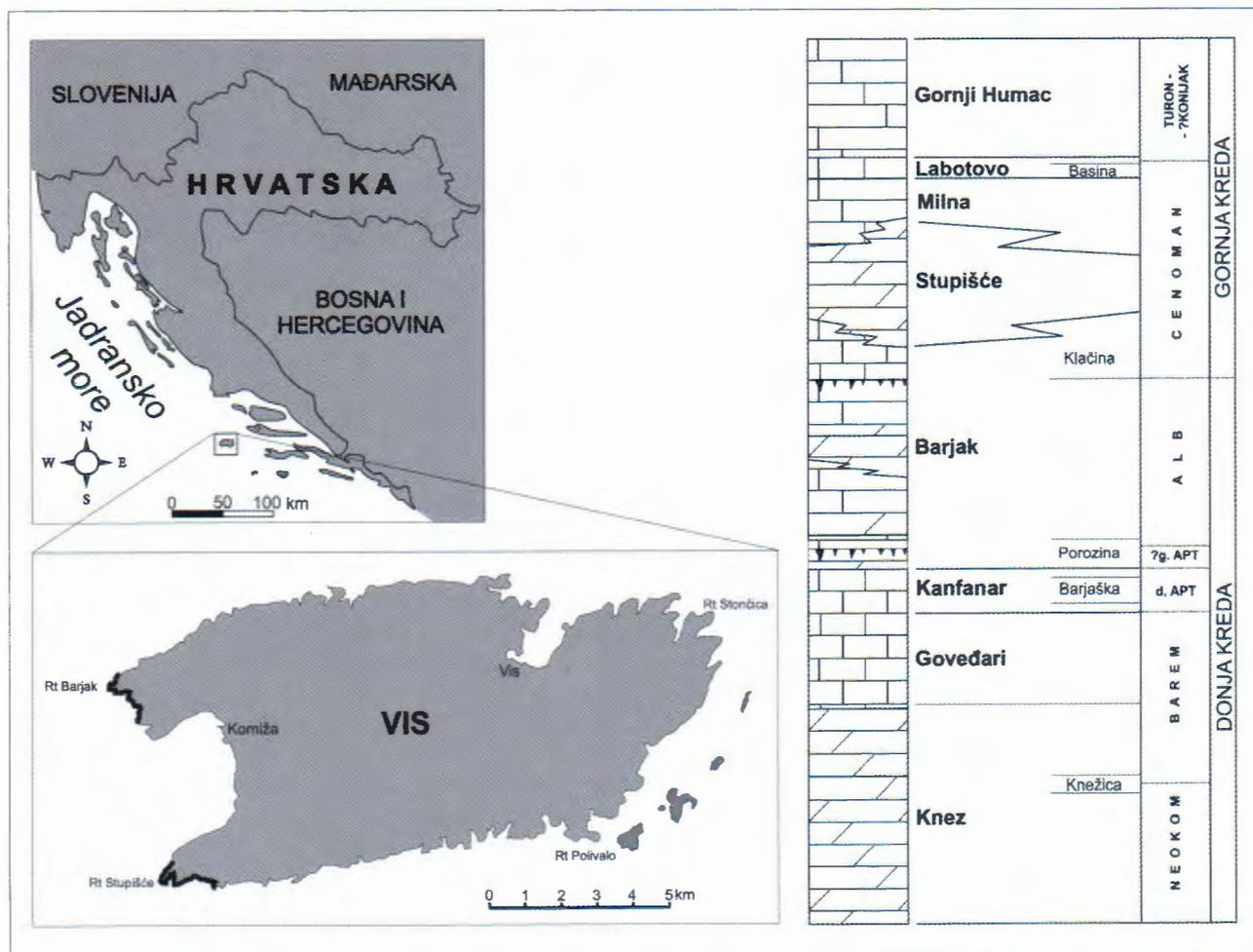
*Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb, Hrvatska; e-mail: korbar@igi.hr*

**Ključne riječi:** kreda, stratigrafija, plitkomorski karbonati, otok Vis, Hrvatska.

**Key words:** Cretaceous, Stratigraphy, Shallow marine carbonates, Island of Vis, Croatia.

Premda su sveobuhvatna temeljna geološka istraživanja u okviru izrade OGK SFRJ 1:100.000 provedena na otoku Visu prije više od 30 godina, neki su lokaliteti mogli biti detaljno istraženi tek nakon demilitarizacije otoka. Tako su i najzanimljiviji obalni profili s izdancima krednih naslaga postali dostupni za detaljna geološka istraživanja, koja se provode za OGK RH 1:50.000. Otok Vis čini prostranu anti-formnu strukturu, pravca pružanja istok–zapad. U području Komiškog zaljeva u krilima nalazimo slijed naslaga kredne

starosti, koji je u tektonskom (dijapirskom) kontaktu s trijaskim vulkanogeno–sedimentno–evaporitnim kompleksom u jezgri. Detaljni litostratigrafski stupovi snimljeni su kroz kredne plitkomorske karbonate duž zapadnih obala otoka Visa (sl. 1). Analizom lito- i biostratigrafskih podataka prikupljenih tijekom snimanja i obrade stupova dobiven je jasan uvid u stratigrafiju, te su izdvojene neformalne jedinice koje odgovaraju formacijama i članovima. Neke jedinice litološki i stratigrafskim položajem odgovaraju ra-



Sl. 1 Položajna karta otoka Visa (lijevo gore) i snimljenih stupova (lijevo dolje; debele linije): Barjak (SZ obala) i Stupišće (JZ obala). Objedinjeni shematski stup litostratigrafskih jedinica kreda (desno).

Fig. 1 Location map of the island of Vis (top left) and investigated stratigraphic sections (bottom left; thick lines): Barjak (NW coast) and Stupišće (SW coast). Composite schematic column of Cretaceous lithostratigraphic units (on the right).

nije izdvojenim jedinicama na širem području, pa su neformalni nazivi tih jedinica preuzeti iz ranijih radova.

Najstarije naslage karbonatnog slijeda čine oko 400 m debeli dolomiti peritajdalnih obilježja (jedinica **Knez**). Mikropaleontološkim analizama uzoraka iz 5 m debelog uloška vapnenca (jedinica **Knežica**) na 270 m od baze, određena je gornjoootrivsko–donjobaremska starost tih vapnenaca, iz čega proizlazi općenito neokomska starost jedinice Knez. U krovini slijede baremski peritajdalni vapnenci jedinice **Govedari**, s učestalim naznakama izronjavanja i cijanobakterijskim laminitima. Monotoni slijed peritajdalnih ciklusa metarskih debljina prekinut je izmjenom nekoliko litotipova vapnenaca istaloženih u uvjetima izražene paleookolišne dinamike. Debeloslojeviti donjoaptski onkoidni (*Bacinella*) vapnenci odgovaraju jedinici **Kanfanar**, dok je središnji dio s izmjenama orbitolinskih tempestita, pločastih vapnenaca s laporovitim proslojcima i bioturbacijama, bioklastično–skeletnih floutstona do radstona bogatih rudistima, gastropodima, hondrodontidama i koraljima te proslojcima i nodulama rožnjaka, izdvojen kao jedinica nižeg ranga – **Barjaška**. Početak albsko–cenomanske jedinice **Barjak** mjestimice je obilježen s nekoliko desetaka metara debelim slijedom raspucanih vapnenaca, kasnodijagenetskih dolomita, debelih horizonata laporovitog materijala, vapnenačkih breča (često s crnim intraklastima), što sve upućuje na opetovana dugotrajna izronjavanja, te je izdvojen kao jedinica nižeg ranga – **Porozina** (dijelom možda i gornjoaptske starosti). Navise nalazimo tanjeslojevite vapnence i kasnodijagenetske dolomite peritajdalnih obilježja s tipičnim albskim mikrofosilima. U gornjem dijelu jedinice nalazi se paket kojeg obilježavaju jedinstvena orbitolinidno–radiolitidna litosoma i decimetarski horizonti laporovitog materijala, koji odgovaraju stratigrafskoj razini tzv. “kvarcnih pijesaka” (gornji alb). Nekoliko metara debeli emerzijski sedimenti s poluzao-bljenim valuticama karbonata unutar laporovitih lateritnih materijala, generalno odjeljuju naslage donje i gornje krede. Iako stratigrafija cenomanskih vapnenaca na Visu odgovara trodjelnoj podjeli cenomana na Braču, donji, do

100 m debeli paket tankoslojevitih, donjo–srednjocenomanskih, često laminiranih vapnenaca oskudnog fosilnog sadržaja, izdvojen je kao jedinica nižeg ranga – **Klačina**, koja pripada jedinici Barjak. Oštar kontakt s paketom kasnodijagenetskih (mjestimice i ranodijagenetskih) dolomita u krovini, obilježava donju granicu srednjocenomanske jedinice **Stupišće**. U krovini jedinice Stupišće nalazimo peritajdalne vapnence s radiolitidnim i hondrodontnim litosomama, koji sadrže mikrofosilnu zajednicu srednjeg–gornjeg cenomana, te obilježavaju tipični razvoj jedinice **Milna**, kakav nalazimo na širem području. Izostanak peritajdalnih ciklusa s naznakama otvorenije cirkulacije obilježava početak gornjocenomanske–?donjoturanske jedinice **Labotovo**, odnosno njezinog donjeg dijela – jedinice **Basina**, koju čine masivni i nodularni vapnenci s većim ili manjim udjelom bioklasta školjkaša, debelolužturastih radiolitida i kaprinida. Izostanak debljeg paketa vapnenaca s izraženim pučinskim utjecajem razlikuje jedinicu Labotovo od vremenski ekvivalentne, regionalno utvrđene jedinice Sveti Duh. Štoviše, unutar jedinice Labotovo zabilježena je i emerzija (gornja granica jedinice Basina). Međutim, lateralno se unutar jedinice Labotovo nalaze i tanji paketi (slojevi) kalciferskih vekstona, tako da je i ova jedinica najvjerojatnije odraz istih događaja preplavlivanja. Pojava fenestralnih madstona s vrlo oskudnim fosilnim sadržajem, a navise i brojnih eolisakusa, obilježava početak najmlađe (turon – ?konijak) kredne jedinice na otoku Visu, koja odgovara donjem dijelu jedinice **Gornji Humac**.

Na kraju želimo naglasiti značaj pažljivog izdvajanja litostratigrafskih jedinica koje kartiramo na terenu, jer bez dobro definiranih jedinica prikazanih na geološkoj karti ne bi bilo moguće kvalitetno prikazati strukturno–tektonske odnose istraživanog otoka. Kvalitetna strukturno–tektonska slika svakog otoka nužan je preduvjet za interpretaciju strukturnih odnosa šireg područja, osobito onog koje je danas prekriveno Jadranskim morem. Bez dobrog poznavanja stratigrafije i međusobnih prostornih odnosa jedinica koje nalazimo na površini, ne mogu se kvalitetno interpretirati dubinski podaci.

## Gornjomiocenska regresija u jugozapadnom rubnom području Panonskog bazena (Žumberak, Republika Hrvatska)

### Late Miocene Regression on the SW Margin of the Pannonian Basin (Mt. Žumberak, Croatia)

Marijan Kovačić, Mirjana Miknić, Koraljka Bakrač, Anita Grizelj, Lara Wacha & Davor Vrsaljko

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: marijan.kovacic@igi.hr

**Ključne riječi:** gornji miocen, regresija, Panonski bazen, Žumberak, jezero, delta, progradacija.  
**Key words:** Late Miocene, Regression, Pannonian Basin, Mt. Žumberak, Lake, Delta, Progradation.

U ovome radu prikazana je dinamika taložnog sustava tijekom gornjeg miocena u jugozapadnom rubnom području Panonskog bazena (sl. 1), te sastav i podrijetlo klastičnog detritusa kojim je taj dio bazena zapunjavao. Istraživanja su izvršena na geološkom stupu Malunje-I (Mal-I) smještenom na jugoistočnim padinama Žumberka (sl. 2).

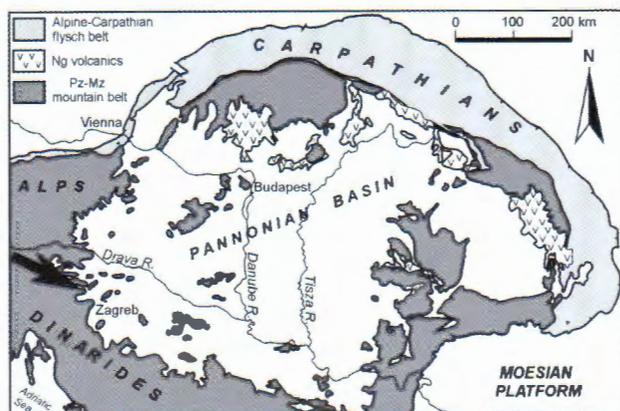
Najniži dio istraživanih naslaga sastoji se od masivnih lapora s bogatom zajednicom ostrakoda i dinocista koja ukazuje na gornjopanonsku starost naslaga i dubljevodni bazenski okoliš sedimentacije, gotovo bez terigenog utjecaja (sl. 3). Središnji i viši dio slijeda stratigrafski pripada pontu (sl. 3). Središnji dio slijeda sastoji se od izmjene siltoznih lapora, kalcitičnih siltova, siltova i siltoznih pijesaka. Njihovo taloženje se, prema bogatoj zajednici ostrakoda, dinocista i mekušaca, odvijalo u distalnijem jezerskom okolišu sa slabim terigenim utjecajem (prodelta – sl. 3). Viši dio istraživanih naslaga sastoji se od izmjene pijesaka i siltova pri čemu udio pijesaka raste idući u mlađi dio naslaga (sl. 3). Fosilna zajednica mekušaca, ostrakoda i dinocista sugerira plići proksimalni jezerski okoliš taloženja sa stalnim, povremeno snažnim terigenim utjecajem (čelo delte – sl. 3). Najviši dio istraživanih naslaga sastoji se od bezfosilnih, siltozno-glinovitih i pjeskovitih sedimentata, najvjerojatnije taloženih u okolišu deltne ravnice.

Sastav klastičnog detritusa karakterizira postupna promjena zajednice teških minerala (sl. 3). U nižem dijelu

naslaga dominiraju dolomit i najrezistentniji prozirni teški minerali (turmalin, cirkon, rutil). Njihov udio u središnjem dijelu naslaga opada, a raste udio granata i epidota. Detritus najvišeg dijela naslaga karakterizira nestanak granatsko-epidotske mineralne asocijacije uz istovremeno povećanje udjela distensko-staurolijske mineralne asocijacije.

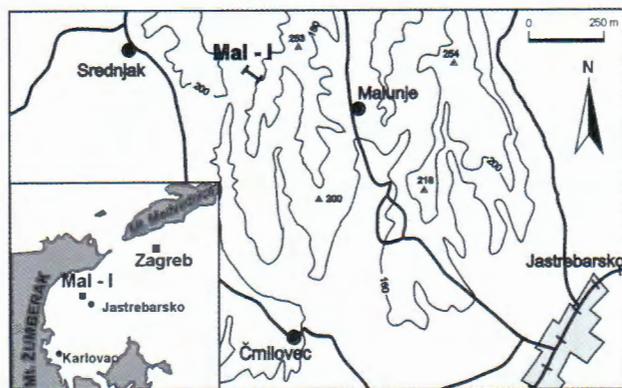
Izvor klastičnog detritusa nižeg dijela naslaga najvjerojatnije su bile stijene mezozojske karbonatne platforme i kredne siliciklastične stijene sa Žumberka (ŠIKIĆ et al., 1979). Klastični detritus iz višeg dijela naslaga sadrži mineralnu zajednicu karakterističnu za stijene regionalnog metamorfizma koje nisu poznate na Žumberku niti u njegovoj blizini i najvjerojatnije potječe iz udaljenijih izvorišta. Ta je zajednica poznata iz gornjeg miocena i donjeg pliocena Hrvatskog zagorja gdje je pretpostavljena njena Alpska provenijencija (KOVAČIĆ, 2004). Miješanje materijala lokalnog i regionalnog podrijetla u središnjem dijelu stupa (sl. 3) ukazuje na istovremeni donos klastičnog detritusa iz dva različita izvorišta.

Promjene fosilne zajednice mekušaca, ostrakoda i palinomorfa, kao i promjene okoliša taloženja iz dubljevodnog bazenskog, preko prodeltnog i čela delte u okoliš deltne ravnice, od gornjeg panona do kraja ponta, ukazuju na oplićavanje i zatrpavanje sedimentacijskog prostora, tj. regresiju. Generalni trend pokrupnjavanja čestica pokazatelj je jačanja terigenog utjecaja. Sastav terigenog detritusa in-



Sl. 1 Shematski prikaz Panonskog bazena i okolnog područja. Strelicom je označen položaj Žumberačkog gorja.

Fig. 1 Sketch of the Pannonian Basin and its surroundings with location of Žumberak Mt. (marked with an arrow).



Sl. 2 Lokacija geološkog profila Malunje-I (Mal-I).

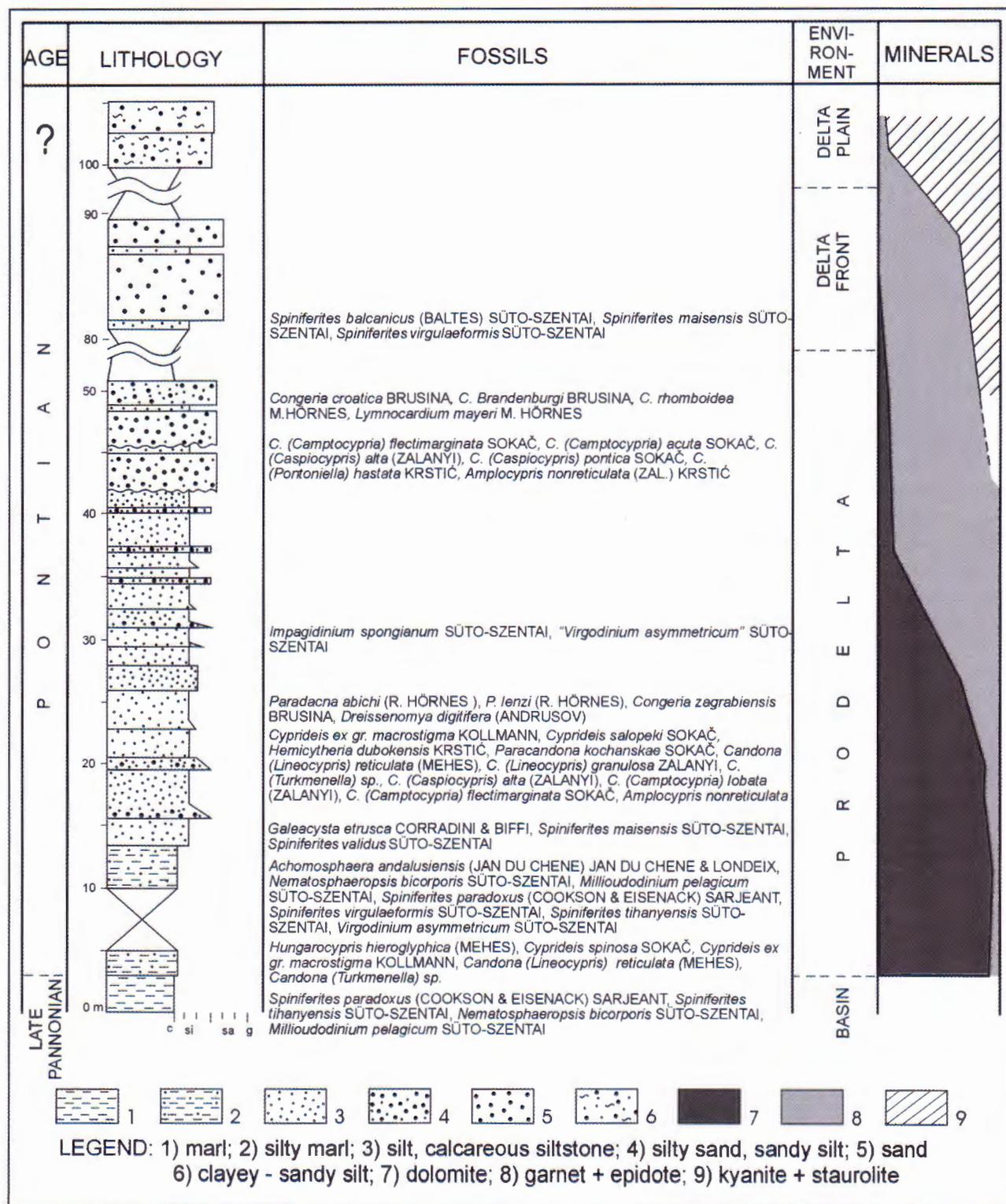
Fig. 2 Map showing the position of the geological column Malunje-I (Mal-I).

dicira da su tijekom gornjeg miocena karbonatno-siliciklastične izvorne stijene lokalne provenijencije zamijenjene siliciklastično-metamorfnim stijenama regionalne provenijencije. Postupnost svih navedenih promjena sugerira kontinuitet regresivnog sedimentacijskog slijeda od gornjeg panona do kraja panta.

### Literatura

KOVAČIĆ, M. (2004): Sedimentologija gornjomiocenskih naslaga jugozapadnog dijela Panonskog bazena.– Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 203 str.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač lista Zagreb.– Geol. zavod, Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd, 1–81.



Sl. 3 Geološki profil Malunje-I.

Fig. 3 Geological column of Malunje-I.

## Gornjomiocenski sedimenti Dilj gore Late Miocene Sediments of Dilj Mt.

Marijan Kovačić, Radovan Avanić, Koraljka Bakrač, Ivan Hećimović,  
Radovan Filjak & Adriano Morić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: marijan.kovacic@igi.hr

**Ključne riječi:** Dilj gora, gornji miocen, litostratigrafija, Geološka karta Republike Hrvatske.  
**Key words:** Dilj Mt., Late Miocene, Lithostratigraphy, Geological Map of the Republic of Croatia.

Gornjomiocenski sedimenti prekrivaju najveći dio površine Dilj gore i u dosadašnjim su istraživanjima pripisivani panonu (Croatica slojevi, Banatica slojevi) i pontu (Abihi slojevi, Romboidea slojevi) (JENKO, 1944; ŠPARICA et al., 1980). U okviru izrade Osnovne geološke karte Republike Hrvatske 1:50.000, u do sada istraženom središnjem i zapadnom dijelu planine (sl. 1), unutar gornjomiocenskih naslaga izdvojene su četiri neformalne litostratigrfske jedinice ranga formacije: Croatica, Pavlovci, Andraševac i Nova Gradiška.

Jedinica Croatica pretežno je sastavljena od tanko uslojenih glinovatih vapnenaca i kalcitom bogatih lapora taloženih u plitkom jezerskom okolišu smanjenog saliniteta (sl. 2). Rijetki proslojci vapnenačkog pijeska rezultat su povremenog donosa klastičnog detritusa s obalnog zaleđa ili otoka. Jedinica stratigrafski pripada donjem panonu, a debljina joj ne prelazi 25 m. Granica prema podinskim jedinicama Glogovica i Kasonja je oštra i u pravilu konformna, a rjeđe diskonformna s kraćom emerzijom. Gornja granica je konformna s postupnim prijelazom u jedinicu Pavlovci (sl. 2).

Jedinica Pavlovci se u nižem dijelu sastoji od izmjenice kalcitom bogatih lapora i glinovatih vapnenaca, u središnjem dijelu od lapora, a u višem dijelu od siltoznih i glinom bogatih lapora (sl. 2). Postanak jedinice vezan je uz dublje i distalnije dijelove brakičnog jezera, a karakterizira ga izostanak značajnijeg terigenog utjecaja. Stratigrafski obuhvaća gornji panon, donji pont, a mjestimice i najniži dio gornjeg pontu. Debljina joj se kreće između 100 i 150 m. Granica s podinskom jedinicom Croatica je konformna i postupna, a s krovinskom jedinicom Andraševac konformna i oštra. Mjestimice je utvrđen i diskonformni odnos s krovinskom jedinicom Nova Gradiška (sl. 2).

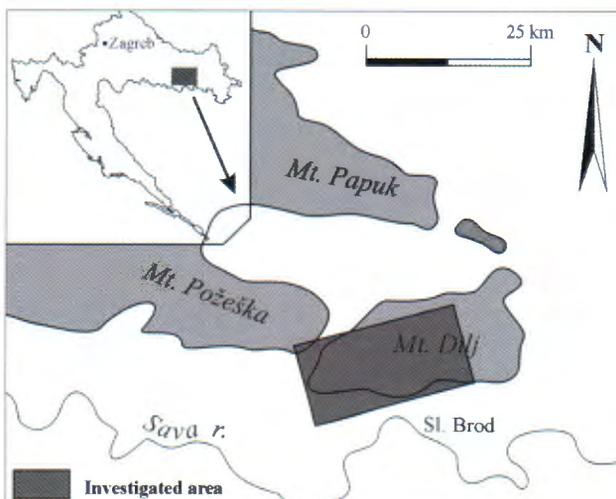
Jedinica Andraševac sastoji se od izmjenice slojeva pijeska, lapora i silta. Taloženje naslaga jedinice Andraševac odvijalo se na prijelazu iz plićeg u dublji brakični jezerski okoliš (prodelta), a povezano je s progradacijom klastičnih sustava iz smjera sjevera (KOVAČIĆ, 2004) (sl. 2). Jedinica stratigrafski obuhvaća niži dio gornjeg pontu, a debljina joj se kreće između 5 i 15 m. Granica s podinskom jedinicom Pavlovci je konformna i oštra, a s krovinskom jedinicom Nova Gradiška konformna i postupna.

Jedinica Nova Gradiška se najvećim dijelom sastoji od dobro sortiranih pijesaka, a manjim dijelom od šljunkovitih pijesaka, silita i pješčenjaka. Postanak jedinice vezan je uz plitki brakični jezerski okoliš koji je bio pod stalnim i snažnim utjecajem progradirajućih klastičnih sustava sa sjevera (čelo delte) (PAVELIĆ, 2001; KOVAČIĆ, 2004) (sl. 2). Stratigrafski pripada gornjem pontu, a debljina joj doseže 150 m. Granica prema podinskoj jedinici Andraševac je konformna i postupna, a prema jedinici Pavlovci diskonformna. Krovinu jedinice čine pliocenski sedimenti jedinice Cernik.

Vertikalni raspored opisanih litostratigrafskih jedinica ukazuje na transgresivno–regresivni sedimentacijski slijed tijekom gornjeg miocena na području Dilj gore.

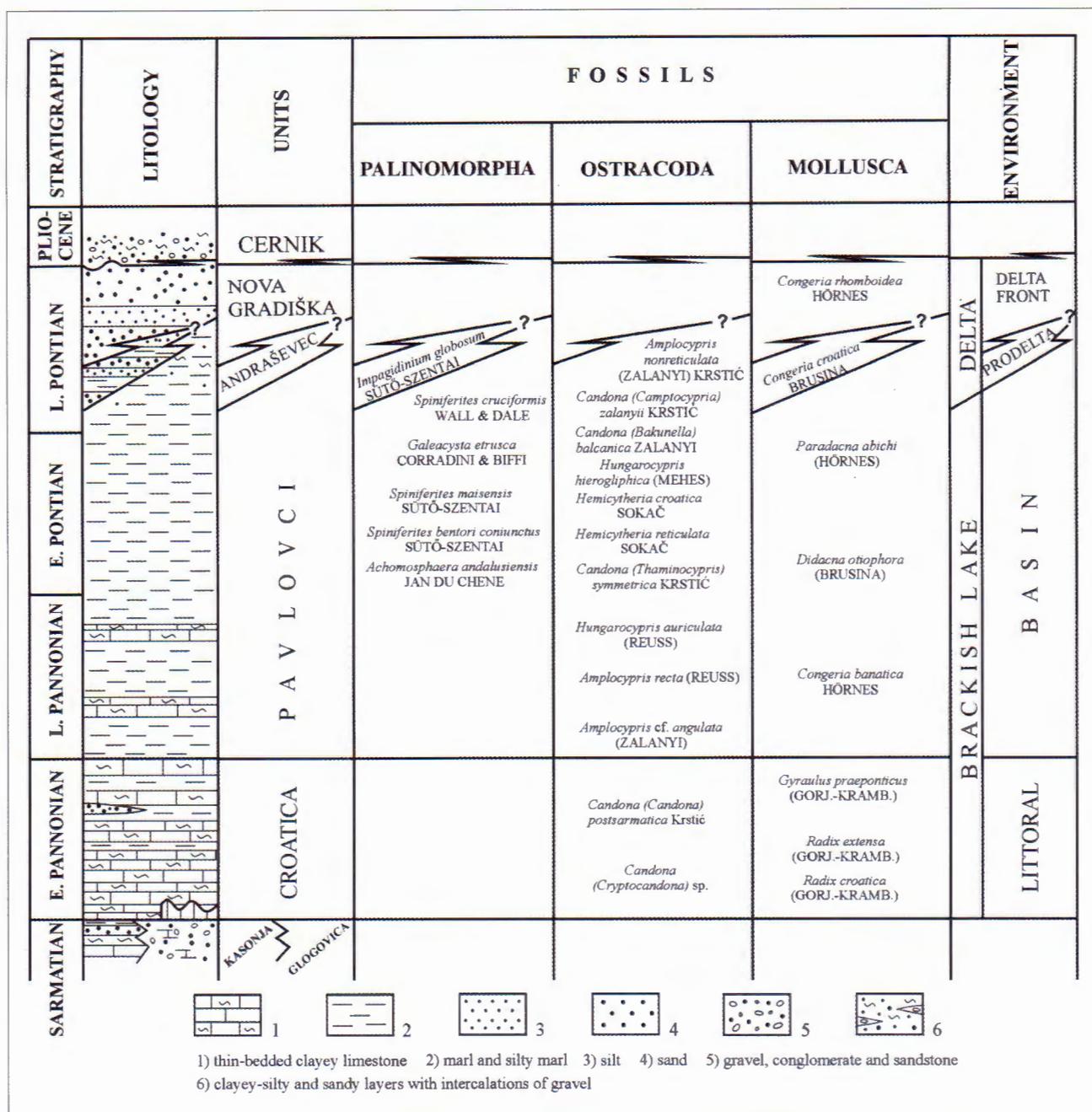
### Literatura

- JENKO, K. (1944): Stratigrafski i tektonski snošaj pliocena južnog pobočja Požeške gore i Kasonja brda.– Vjestnik Hrv. drž. geol. zav. i Hrv. drž. geol. muzeja, 2–3, 89–159.
- KOVAČIĆ, M. (2004): Sedimentologija gornjomiocenskih naslaga jugozapadnog dijela Panonskog bazena.– Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 203 str.



Sl. 1 Smještaj istraživanog područja.

Fig. 1 Map showing the position of the investigated area.



Sl. 2 Shematski geološki stup gornjomiocenskih naslaga Dilj gore.

Fig. 2 Schematic geological column of the Upper Miocene deposits of Dilj Mt.

PAVELIĆ, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System.– Basin Research, 13, 359–376.

ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, Č. & ŽIVANOVIĆ, D. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Nova Kapela.– Inst. za geol. istraž., Zagreb, Inst. za geol., Sarajevo, Sav. geol. zavod, 55 str., Beograd.

## Otkriće ugljikovodika u Siriji – karbonski, permski i trijaski naftno-geološki sustavi

### Hydrocarbon Discoveries in Syria – Carboniferous, Permian and Triassic Petroleum Systems

Josip Križ<sup>1</sup>, Goran Foršek<sup>2</sup>, Željko Ivković<sup>1</sup> & Dubravko Lučić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INA-Naftaplin, Sektor za istraživanje, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: josip.kriz@ina.hr

<sup>2</sup> INA-Naftaplin, Služba za istraživanje, Branch Office, Damascus, Syria

**Ključne riječi:** otkriće ugljikovodika, naftno-geološki sustavi, Palmiridi, Sirija.

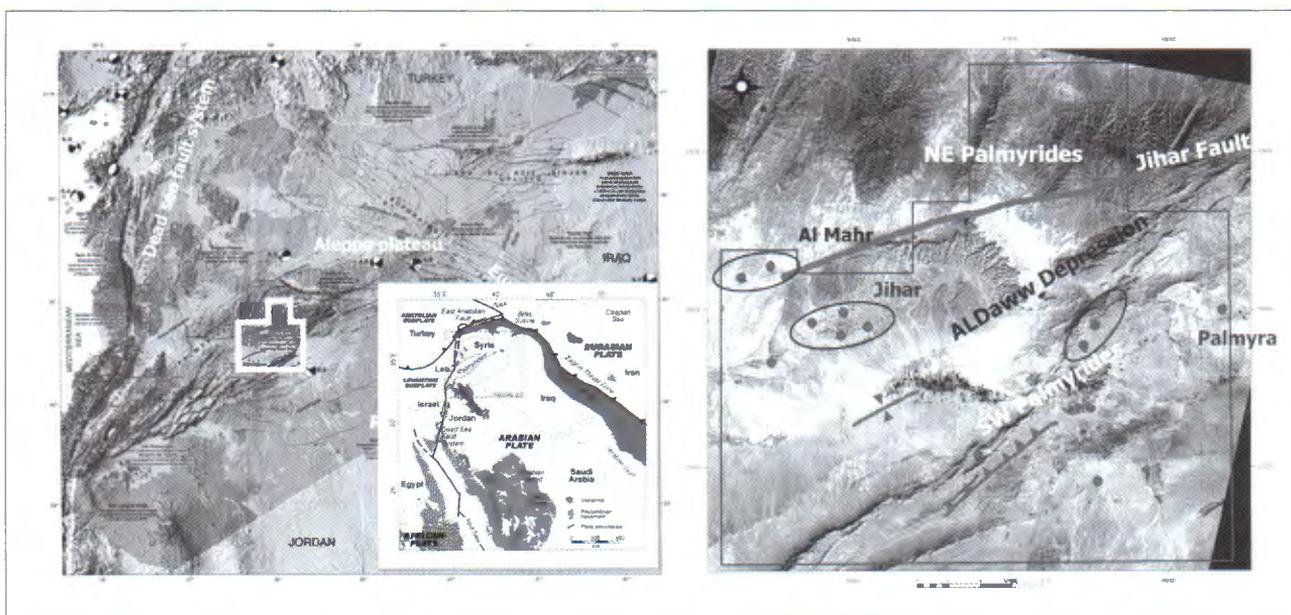
**Key words:** Hydrocarbon discoveries, Petroleum Systems, Palmyrides, Syria.

#### Uvod

Geolozi Sektora za istraživanje INA-Naftaplina od 1998. god. sustavno istražuju područje Hayan koncesije u središnjem dijelu Sirije (sl. 1). Nakon interpretacije geofizičkih i geoloških podataka izdvojeni su najperspektivniji istražni objekti, te je do danas izrađeno 12 istražnih i potvrđenih bušotina. Temeljem rezultata izdvojena su tri razradna područja (Jihar, Al Mahr i Palmira), te prijavljena komercijalna otkrića plina i kondenzata u karbonatnim ležištima Kurrachine Dolomit formacije (srednji–gornji trijas – ležište C2 i ležište D2), Amanus Shale formacije (donji trijas) te u klastičnim naslagama Markada formacije (karbon) i u Amanus Sand formaciji permske starosti. Nafta je otkrivena u Kurrachine Dolomit formaciji (srednji trijas – ležište D1), te u naslagama Amanus Sand formacije (perm). Važno je napomenuti da su komercijalne količine plina, kondenzata i nafte po prvi put u široj regiji otkrivene u ležištima D2, Amanus Shale i Amanus Sand formacijama.

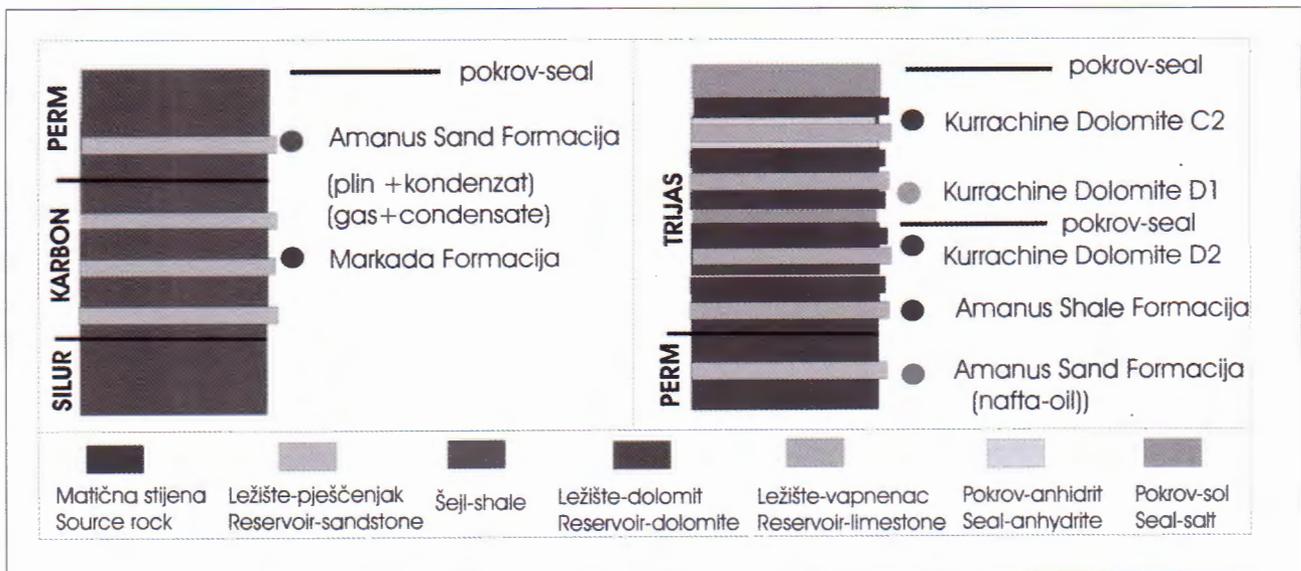
#### Geološko–tektonske značajke Palmirida

U regionalno-geološkom smislu područje Hayan koncesije pripada Palmiridima koji su primjer intrakontinentalnog transpresivnog planinskog lanca i predstavljaju najistaknutiju strukturnu cjelinu u središnjoj Siriji. Lanac je dužine 400 km i širine 100 km, maksimalne visine oko 1400 m, a pruža se pravcem jugozapad–sjeveroistok, povezujući planine Anti-Libanona i eufratsku depresiju. U smjeru sjeveroistoka gorje postaje sve niže da bi potpuno nestalo u eufratskom grabenu. Gorje je uklješteno između dva strukturna uzvišenja: Alepo na sjeverozapadu i Rutba na jugoistoku (sl. 1). Utvrđene geofizičke anomalije ispod i oko Palmirida ukazuju da je područje kroz cijeli paleozoik, mezozoik i dijelom kenozoika predstavljalo tektonski labilan depocentar – aulakogen. U Al Daww depresiji istaloženo je 11.000 m paleozojskih, mezozojskih i kenozojskih naslaga. Tijekom neogena, sinkronizirano u sklopu tektonskih pokreta na širem prostoru, otvaranjem Crvenog



Sl. 1 Pozicijska karta Hayan bloka, osnovni strukturno tektonski elementi, te lokacije bušotina i razradnih područja.

Fig. 1 Location map of Hayan Block, general structural and tectonic elements, wells and development area location.



Sl. 2 Karbonsko-permski i permsko-trijaski naftogeološki sustavi.

Fig. 2 Carboniferous-Permian and Permian-Triassic Petroleum Systems.

mora, aktivacijom rasjednog sustava uz Mrtvo more, otvaranjem istočnog Mediterana, navlačenjem u jugoistočnoj Turskoj i Iranu, te konačno kolizijom Arabijske i Euroazijske ploče, kompresijski dolazi do uzdizanja i inverzije bazena u današnji oblik. Uzevši u obzir različitost tektonskih stilova, Palmiride se načelno može podijeliti na sjeverne i južne, koje razdvajaju regionalni Jihar rasjed i prostrana Al Daw depresija (sl. 1).

Na području istražne koncesije najstarije nabušene naslage pripadaju Affendi Formaciji ordovicijске starosti, a sastoje se od marinskih priobalnih do fluvijalno-glacijalnih šejlova, pješčenjaka i silita. Diskordantno slijede dubokovodne postglacijalne naslage šejla silurske starosti (Tanf Formacija). Karbonske naslage, tj. Markada Formacija sastoje se od marinskih klastita i karbonata te kontinentalnih klastita. Naslage permske Amanus Sand Formacije sastoje se od kontinentalnih klastita. Naslage devona nedostaju u ovom dijelu Sirije.

Mezozojske naslage u cijelosti su zastupljene karbonatnim stijenama različitih varijeteta. Trijas se sastoji od Amanus Shale Fm. (donji trijas), Kurrachine Dolomite (srednji-gornji trijas), Kurrachine Anhydrite, Butmah, Adayah, Allan, Muss, Sergelu Fm. (gornji trijas). U trijasu su česte interkalacije evaporita, osobito u Kurrachine Anhydrite Fm., gdje naslage soli premašuju par stotina metara debljine, te u Kurrachine Dolomite Formaciji, D2. Jurska Haramoun Formacija je djelomično erodirana, a sastoji se od dolomita i vapnenaca. Naslage donje krede pripadaju Rutbah Formaciji, klastičnog su razvoja s pješčenjacima, šejlovima i vulkanoklastičnim stijenama, kontinentalno-fluvijalnog karaktera. Naslage gornje krede podijeljene su u plitkomorske platformske karbonate Hayan (cenoman-alb) i Judea Formacija (gornji cenoman-turon), du-

bljevodne karbonate i čertove Soukhne Formacije (gornji santon-donji kampan), te bazenske, laporovite vapnenice Shiranish Formacije (gornji kampan-mastriht).

Paleogenske naslage dubljevodnog su nastanka, a dijele se u laporovite vapnenice Kermav Formacije (paleocen), različite varijetete laporovitih vapnenaca, lapora i kredatih vapnenaca eocenske Jadała Formacije, te heterogenu oligocensku Chilou Formaciju. Neogenske naslage pored karbonata sadrže i proslojke gipsa.

### Naftno-geološki sustavi

Do sada su u Hayan koncesiji načelno izdvojena dva glavna naftno-geološka sustava: karbonsko-permski i permsko-trijaski (sl. 2). U karbonsko-permskom sustavu matične stijene su karbonske i silurske starosti ("Hot shale"). Ležišta predstavljaju pješčenjaci u krovinskom dijelu Markada Formacije i podinskom dijelu Amanus Sand Formacije. Pokrovne stijene su debeli paketi šejla između pojedinih pješčenanih tijela. Pješčenjaci su zasićeni plinom.

Permsko-trijaski sustav se može podijeliti u dva dijela. U donjem dijelu, pješčenjaci krovine Amanus Sand Formacije zasićeni su naftom, iznad njih slijede karbonati Amanus Shale Formacije i Kurrachine Dolomit Formacije, ležište D2 ispod soli, zasićeno plinom i kondenzatom. Sol unutar ležišta D2 predstavlja regionalnu pokrovnu stijenu, te dijeli permsko-trijaski sustav na dva dijela. U gornjem dijelu sustava karbonati D1 i podinskog dijela C2 ležišta unutar Kurrachine Dolomit Formacije zasićeni su naftom, a krovina C2 plinom i kondenzatom. Pokrov čine debele naslage soli Kurrachine Anhydrit Formacije. Matične stijene su podinski šejlovi Kurrachine Dolomit Formacije i/ili karbonski, te silurski "Hot shale" Tanf Formacije.

## Seizmičke karakteristike gornjopanonskih ležišta u Savskoj depresiji

### Seismic Characteristics of the Upper Pannonian Reservoirs in the Sava Depression

Vladislava Kukavica, Ivona Ivanović & Jura Jankov

INA-Naftaplin, Sektor za razradu, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: Vladislava.Kukavica@ina.hr

**Ključne riječi:** gornji panon, pješčenjačko–laporovita serija, Panonski bazen, seizmička interpretacija, analiza seizmičkih atributa.

**Key words:** Upper Pannonian, Sand–shale sequence, Pannonian basin, Seismic interpretation, Seismic attribute analysis.

Novosnimljenom 3D seizmikom u sklopu projekta “3D Sava–1 nastavak” obuhvaćeno je područje polja Ivanić, Okoli, Vežišće, Voloder i Žutica u Savskoj depresiji (sl. 1). U radu su prikazane specifičnosti dijela gornjopanonskih ležišta (Iva pješčenjaci formacije Ivanić-Grad), sa stajališta razradne geofizike, utvrđene seizmičkom interpretacijom i analizom atributa na navedenim poljima.

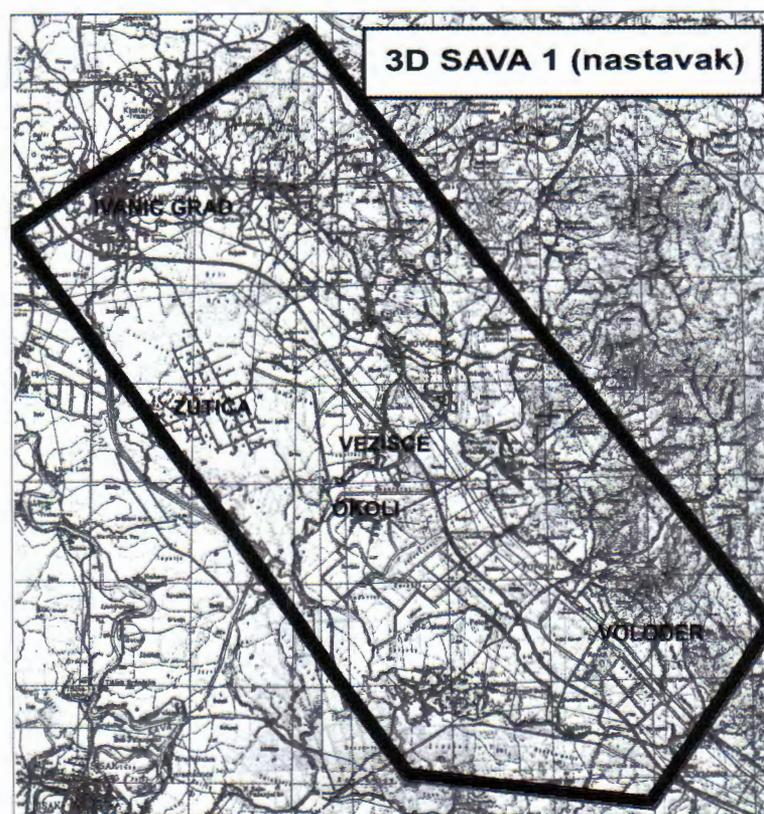
Strukturni niz interpretiranih polja Savske depresije počinje na sjeverozapadu sa strukturom Ivanić, a nastavlja se preko Žutice, Vežišća i Okola do Volodera (sl. 2).

Unutar gornjopanonskih naslaga Ivanić Grad formacije mogu se izdvojiti dva pješčenjačka člana koji predstavljaju proizvodne objekte: Iva pješčenjaci i Okoli pješčenjaci. Iva pješčenjaci su najznačajnije kolektorske stijene gornjopanonske starosti – sastoje se od sitnozmatih kvarcnih pješčenjaka u izmjeni s laporima. U ranijim interpretaci-

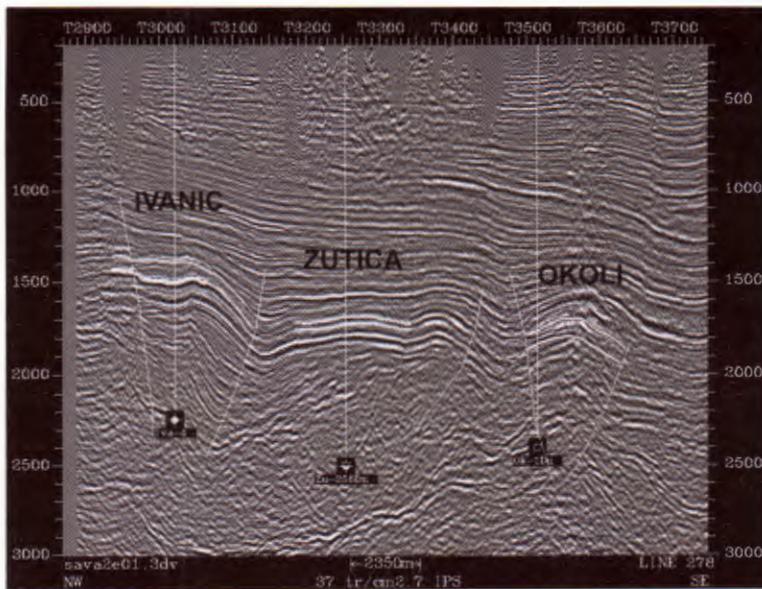
jama u sklopu razrade na poljima Ivanić, Vežišće, Žutica i Voloder opisani su kao ‘ $\gamma$ -serija’ dok su na području polja Okoli poznati kao ‘c-serija’.

Krovinu i podinu serije čine litološki homogeni, dobro uslojeni lapori, pa ulaz i izlaz iz ‘ $\gamma$ -serije’ najčešće daju jasne seizmičke refleksije. Različite dubine zalijeganja, strukturno–tektonski elementi, debljine i razvoji pješčenih tijela, te posebice tip zasićenja, preduvjet su različitih seizmičkih odraza i atributnih karakteristika ‘ $\gamma$ -serije’ na interpretiranom području.

Na polju Ivanić ulaz u ‘ $\gamma$ -seriju’ seizmički je vrlo jasan zbog kontakta pokrovnog lapora i pješčenjaka zasićenog plinom (plinska kapa). Analiza atributa definirala je zonu maksimalnih debljina pješčenih intervala. Utvrđen je i pozitivni trend ovisnosti poroziteta i pojedinih izdvojenih seizmičkih atributa. Na polju Ivanić utvrđena je i najveća



Sl. 1 Istražno područje 3D Sava 1 – nastavak.  
Fig. 1 3D Seismic Survey (Sava 1 – extension).



Sl. 2 Strukturni niz polja Savske depresije: Ivanić–Žutica–Okoli.

Fig. 2 Sava Depression Structures: Ivanić–Žutica–Okoli.

debljina 'γ-serije' od 150 m. Zbog povoljnih debljina pješčanih intervala unutar ove serije, osim krovine i podine, interpretiran je i horizont podine  $\gamma_3$  ležišta.

Na polju Žutica interpretacija seizmike omogućila je definiranje krovine i podine serije te rješenje strukturno–tektonskih elemenata. Cijelo južno područje polja prekriveno je seizmikom nedovoljne kvalitete za analizu atributa.

Na polju Vežišće 'γ-serija' prisutna je samo na zapadnom dijelu i predstavlja ostatke pješčanog razvoja s polja Žutica. Interpretirana je krovina ležišta  $\gamma_2$ . Analiza atributa uvjetovana je malim debljinama pješčanih intervala te potpunim isklinjenjem ove serije u smjeru sjeveroistoka. U zapadnom smjeru, između polja Vežišće i Žutica utvrđeno je područje amplitudne anomalije.

Ležište c1 kao prvi pješčani interval unutar 'c-serije' na polju Okoli razvijeno je tek mjestimično, debljina mu je ispod vertikalne rezolucije seizmike te je seizmički nejasno. Stoga je interpretirana krovina ležišta c2 koje je razvijeno na cijelom polju, te podina serije. Definirani su i strukturno–tektonski elementi dok je analiza atributa u tijeku.

Na polju Voloder kartirani su seizmički horizonti krovine i podine "γ-serije" te su riješeni strukturno–tektonski odnosi. Na istočnom dijelu polja uočava se isklinjenje 'γ-serije' gdje je granica između strukture Voloder i Moslavačke gore predstavljena rasjedom normalnog karaktera. Analiza atributa načinjena na cijelom polju ukazuje na zone potencijalnog zasićenja ugljikovodicima.

## 3D seizmička interpretacija plinskog polja Annamaria 3D Seismic Interpretation of the Annamaria Gas Field

Vladislava Kukavica<sup>1</sup>, Ombretta Dal Zotto<sup>2</sup> & Renata Vidaček<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INA-Naftaplin, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: Vladislava.Kukavica@ina.hr

<sup>2</sup> Eni, Agip Division, Via Emilia 1, I-20097 San Donato Milanese, Italija

**Ključne riječi:** amplitudne anomalije, pull-down efekt, vremenske karte, strukturne karte, Jadransko podmorje.

**Key words:** Amplitude anomalies, Pull-down effect, Isochrone maps, Structural maps, Adriatic off-shore.

Plinsko polje Annamaria nalazi se u sjevernom Jadranu na graničnoj liniji Hrvatske i Italije. U plićim ležištima pleistocenskih turbiditnih pješčenjaka formacije Carola zamke su strukturne. Dublja ležišta u turbiditima formacije Porto Garibaldi (d. pleistocen) karakteriziraju stratigrafsko-strukturne zamke.

Seizmička interpretacija napravljena je na seizmičkoj kocki 3D Adria pri čemu su korišteni podaci tri bušotine: Jadran-16/1, Annamaria-1 i Annamaria-2.

Na seizmičkoj kocki uočavaju se jake seizmičke anomalije: bright spot, pull-down efekti, te efekti apsorpcije ispod 1300 ms (sl. 1).

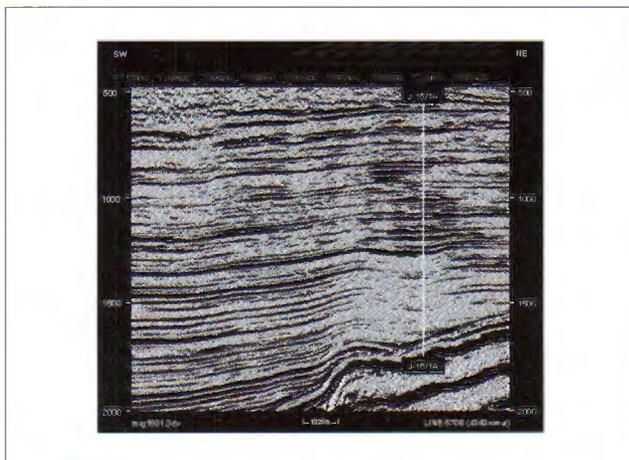
Vremenske karte 19 interpretiranih horizonata korištene su za prepoznavanje zona pod utjecajem pull-down efekta i za određivanje geometrije horizonata izvan tih zona.

Tijekom korelacije bušotina u plićim intervalima primjećene su lateralne heterogenosti. Postojanje kanala potvrđeno je ekstrahiranim seizmičkim atributom koherencije. Zbog jakog plinskog efekta polje je prikriveno i ne

moгу se definirati kanalni oblici kao što je to moguće na rubovima strukture gdje su kanali jasno vidljivi (sl. 2).

Amplitudne anomalije ekstrahirane su na šest horizonata. Obzirom da amplitudna anomalija odražava plinsko zasićenje u ležištu, granica anomalije interpretirana je kao kontakt plin/voda. Plinsko zasićenje u plićim ležištima uzrok je jake apsorpcije te amplitudne anomalije u dubljim ležištima nisu jasno prepoznatljive. Međutim, plinsko zasićenje u dubljim ležištima (ispod 1300 ms) potvrđeno je na sve tri bušotine.

Na temelju vremenskih karata, amplitudnih anomalija i kalibracije s bušotinskim podacima (krovine ležišta, kontakti plin/voda, podaci interpretacije dipmetra) napravljene su strukturne karte po krovinama ležišta: PLQ-A2, PLQ-A6a, PLQ-A9, PLQ-B1b, PLQ-C1 i PLQ-Q1. Strukturne karte po krovinama ležišta ukazuju na izduženu, blagu antiklinalu s dva strukturna uzvišenja i korištene su kao ulazni podaci za geološki model polja.



Sl. 1 Seizmički profil – line 5708.  
Fig. 1 Seismic section – line 5708.



Sl. 2 Atribut koherencije – vremenski presjek na 1196 ms.  
Fig. 2 Coherence cube – time slice at 1196 ms.



## Basin Modeling and Hydrocarbon Potential of Northwestern Part of the Hayan Block, Syria

Jadranka Leško<sup>1</sup>, Lidija Jasnić<sup>1</sup>, Augustin Krešić<sup>1</sup>, Darko Tomašić<sup>1</sup>,  
Darko Španić<sup>2</sup> & Tamara Troškot-Čorbić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INA-Naftaplín, Exploration Dept., Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: jadranka.lesko@ina.hr

<sup>2</sup> INA-Research and Laboratory Testing Dept., Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Basin modeling, Hayan block, Source rock.

The exploratory wells drilled so far in the Hayan contract area located in Palmyrides region in Central Syria proved the oil and gas & condensate discoveries already found on the Block. On the Northwestern part of the Block five exploratory wells were completed on the Jihar field and the two exploratory wells on the Al Mahr field. Hydrocarbon discoveries or shows were registered in the Middle Triassic carbonates – Kurrachine Dolomites formation (predominantly consisting of dolomite and limestone, evaporites, shale to claystone), in Lower Triassic sediments of Amanus shale formation, in Permian sediments of Amanus sand formation and in the Carboniferous sediments of Markada formation (shale to sandstone intercalation with minor siltstone and limestone). The subsidence and thermal and maturation history of the Jihar and Al Mahr fields have been modeled using the BMod-1D program in order to assess the condition of potential source rock. The model is based on the previous results including geological data from 2D and 3D seismic interpretation, stratigraphy, thermal and geochemical data available in order to create a conceptual model of the basin evolution to the depth of approx. 4500 m. The model was calibrated by the present day temperatures and Ro from the representative wells.

Eocene and Paleocene samples described as marls and clayey limestones (SR-I, SR-II, SR-III) predominantly with hydrogen rich kerogen of type II, show good to very good generative potential. Upper Cretaceous limestone (SR-IV) is richer in organic matter and classified as excellent source rock. Middle Triassic shales and dolomitized limestones (SR-V) contain kerogene type II-III. The mod-

el was made for the representative Jihar-2 and Al Mahr-2 exploratory well while the following inputs were considered: for thermal option geothermal calculation with gradients calculated on the basis of 10 temperatures; the maturity trend was calculated by Tmax vs. depth (VR LLNL method); the lithologies of formations were defined as a mixture of pure lithologies while the Simple-Ro maturity calculation (VR LLNL) was chosen.

The model shows that the deposits SR-I to SR-IV are immature having no possibilities to generate hydrocarbons. Maximum temperature of pyrolysis indicates thermal immaturity of organic matter on these samples (SR-I to SR-IV). Regarding history of thermal gradient, burial depth and time, Triassic sediments (SR-V) are being oil prone. Thermal and burial modeling of SR-V samples indicated on possible oil generation.

Having analyzed representative samples from Jihar and Al Mahr wells as model showed it is clear that only SR-V has potential to generate oil. However, there is a possibility that the younger source rocks could have generated hydrocarbons while being buried in the deeper parts of the depression where conditions were favorable for hydrocarbon generation. Also, the discovered hydrocarbons might have migrated from some other, older and deeper potential source rocks including the Carboniferous shales from Markada formation or from the regionally defined Tanf formation of Silurian age.

That gives the optimistic assumption to possibility of discovering new hydrocarbon reserves.



## Voluminous Lower Pleistocene Volcaniclastic Deposits from the Central and Northern Adriatic Off-Shore (Croatia): Where Were the Edifices?

Boško Lugović<sup>1</sup>, Vlasta Tari Kovačić<sup>2</sup> & Danica Miletić<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: blugovic@rgn.hr

<sup>2</sup>INA–Naftaplín, Department of Exploration and Development, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>INA–Industrija nafte, Department of Exploration and Development, Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Adriatic off-shore, Lower Pleistocene, Volcaniclastic deposits, Rhyolite and phonolite glasses, Palmarola source volcano(es).

The Adriatic offshore was perivolcanic area during the Quaternary. Relatively numerous tephra layers and volcaniclastic deposits of Quaternary age were reported throughout the region (TARI KOVAČIĆ, 1995; CALANCHI et al., 1998; NARCISI & VEZZOLLI, 1999). Volcanic areas from the Tyrrhenian belt of the central–southern Apennines were supposed as material source region for these layers although a speculation constraining tephra supply from presumed Quaternary volcanoes located east of the Central Adriatic Swell also exists (TARI KOVAČIĆ, 1995). We focused investigation on voluminous Lower Pleistocene volcaniclastic deposits recognized as marker beds in the middle and northern segment of the Croatian part of Adriatic offshore.

Pliocene and Quaternary marine sedimentary succession transgressively overlies strongly tectonized Upper Triassic to Miocene basement. It is predominantly composed of alternating marls and fine grained sandstones. Pliocene sediments are about 30–230 m thick whilst the Pleistocene segment of the succession ranges in depth from several hundred to about 1535 m. Transition from Pliocene to Pleistocene deposits was identified by the first appearance of planktonic foraminiferae *Globorotalia truncatulinoides* (D'ORBIGNY) and benthic foraminiferae *Hyalinea balthica* (KALAC & BAJRAKTAREVIĆ, 1989). Three Pleistocene marker beds GR, L3 and L2 were recognized on electric logs, and qualified later as volcanoclastics by qualitative interpretation of gamma radiation in about sixty wells drilled in the middle and northern Adriatic (TARI KOVAČIĆ, 1995). Marker beds L3 and L2 are composed of calcareous smectitic clays (bentonites) and have characteristic individual shapes on GR curve correlative within the area of about 500 km<sup>2</sup>. The increased natural radioactivity of these marker beds is ascribed to thin (<2 cm) yellowish severely altered pyroclastics interbedded within marine shale. The oldest marker GR was not cored, other two were available in few drill-hole cores.

Clayey core samples taken from the marker intervals were analysed after dissolving in 10% HCl to remove calcite. Zeolitized interliers were analysed in natural state. For mineral analysis samples were suspended and sieved to remove fraction less than 32 µm. Minerals in this fraction were identified by XRD. Individual minerals and glass shards in the fractions >32 µm were concentrated by separation in heavy liquids and by magnetic separation. Con-

centrated fractions were mixed with epoxy glove and polished for microprobe analysis.

Interval 929–931 m from Ksenija–1 well was chosen as the best representative of the younger marker layer L2. The layer is composed of loose calcareous montmorillonite clay containing abundantly fresh glass and volcanic crystals (biotite, sanidine, plagioclase, clinopyroxene, amphibole) and minor eolian particles commonly found in loess deposits (quartz, albite, epidote, muscovite, garnet, chlorite). No opaque phases were detected possibly due to eolian fractionation. Close to the bottom of the marker bed a light yellow dense 1 cm thick interlayer occurs composed entirely of volcanic glass and minerals. Glass particles in both units are pumice and compact glass shards showing various morphologies. They are fresh with microprobe totals ranging from 94.07 to 97.44 wt%. The glass particles are K-rich (K<sub>2</sub>O=4.41–6.67 wt%; K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=1.7–3.3). In diagrams (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) against SiO<sub>2</sub> and K<sub>2</sub>O against SiO<sub>2</sub> they plot in the field of rhyolite and shoshonitic rhyolites to high-K calc-alkaline rhyolites, respectively, as two separated groups. Chemical composition of volcanic minerals is consistent with a potassium very rich volcanism of the southern Italian Pliocene–Quaternary volcanic provinces.

The older marker layer L3 was sampled in J–15/6 and J–11/2 wells at depth of 915 m and 928 m, respectively. Both layers are composed of dense calcareous montmorillonite clays with a 1.5 cm thick dense ash interlier in the latter. Compared to the marker layer L2, in the selected drill-wells, the marker layer L3 is apparently less voluminous. Volcanic glass was extracted only in the drill-hole J–15/6 beside volcanic crystals which are especially abundant in the zeolitized (phillipsite, analcime) ash interlier. Glass fragments (mostly pumice) are hydrated (microprobe totals 93.01–94.19 wt%) but not virtually devitrified, possibly being too large (>80 µm) to be affected by alterations. In the diagram (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) against SiO<sub>2</sub> the glass fragments plot in the field of phonolite close to the field of trachyte and in the diagram K<sub>2</sub>O against SiO<sub>2</sub> cluster in the silica undersaturated potassic alkaline field (K<sub>2</sub>O=8.58–9.86 wt%; K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O=2.5–3.0). Volcanic crystal population comprises identical minerals as in the rhyolite tephra of the marker layer L2 but shows significantly different chemical compositions.

The tephtras, primarily deposited on-land, were redeposited into marine environment. Paleoenvinronmental re-

construction based on predominance of planktonic (*Globorotalia truncatulinoides* (D'ORBIGNY)) versus benthic foraminifera suggests Early Pleistocene (beginning of Donau–Ries interglacial) deposition in temperate water and different environments. The redeposited tephra from L3 marker interval were found in shallow segment of inner neritic (J–11/2 well) and in outer neritic setting (J–15/6 well). The association of benthic foraminifera of younger marker L2 in KSE–1 well is very instructive, showing how the depositional environment changes within three meters interval from inner neritic to outer neritic, due to the fast deepening.

Bimodal rhyolitic glasses of marker L2 suggest volcanic ashes of two different explosive events redeposited together into the single layer. That is very similar to case history of volcanoclastic turbidite layer vt–7538 on site 974, deposited around 1.8 Ma ago in Tyrrhenian basin (VAN DEN BOGAARD et al., 1999). The markers L2 and vt–7538 are nearly identical to PLM–2 rhyolite tephra from the large rhyolitic dome from Palmarola islet, Pontian islands, dated to 1.75 Ma (SAVELLI, 1987). For the older marker L3 we did not find any correlative Early Pleistocene tephra of the Mediterranean area described so far. Such high-K tephra, involving silica undersaturated phonolite to trachyte pumices, are very similar to younger volcanism in the Roman–Campanian Magmatic Province dated to 1.5 Ma (CAPALDI et al., 1985).

## References

- CALANCHI, N., CATTANEO, A., DINELLE, E., GASPAROTTO, G. & LUCCHINI, F. (1998): Tephra layers in Late Quaternary sediments of the central Adriatic Sea. – *Marine Geol.*, 149, 191–209.
- CAPALDI, G., CIVETTA, L., & GILLOT, P.Y. (1985): Geochronology of Plio–Pleistocene volcanic rocks from southern Italy. – *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 40, 25–44.
- KALAC, K. & BAJRAKTAREVIĆ, Z. (1989): Biostratigrafska istraživanja pliocena i pleistocena podmorja sjevernog Jadrana. – *Geol. vjesnik*, 42, 33–48.
- NARCISI, B. & VEZZOLI, L. (1999): Quaternary stratigraphy of distal tephra layers in the Mediterranean – an overview. – *Global and Planetary Change*, 21, 31–50.
- SAVELLI, C. (1987): K/Ar ages and chemical data of volcanism in the western Pontine Islands (Tyrrhenian Sea). – *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 106, 537–546.
- TARI KOVAČIĆ, V. (1995): Razvoj pliocenskih i pleistocenskih naslaga sjevernog i srednjeg Jadrana – karotazni markeri i korelacija. – *Zbornik radova 1. Hrvat. geol. kongresa*, 2, 609–612.
- VAN DEN BOGAARD, P., MOCEK, B. & STAVESAND, M. (1999): Chronology and composition of volcanoclastic ash layers in the central Tyrrhenian basin (site 947). – In: ZAHN, R., COMAS, M.C. & KLAUS, A. (Eds.): *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 161, 137–156.

## Benkovac Stone – Storm Influenced Shallow Shelf Sediments of Promina Group

Boris Lukšić<sup>1</sup>, Ervin Mrinjek<sup>2</sup>, Vili Pencinger<sup>1</sup> & Jasenka Sremac<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: bluksic@igi.hr

<sup>2</sup> Department of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Sedimentology, Trace fossils, Wave-dominated braid delta, Benkovac Stone, Upper Eocene, Promina Group, Northern Dalmatia.

### Introduction

Promina Group represent a significant, approximately 2000 m thick carbonate–clastic succession in southern Croatia. It was deposited in a complex sedimentary basin, ranging from deep-marine to shallow-marine and alluvial conditions, during the Middle–Late Eocene to Early Oligocene. Within this succession, 30 m thick, thin bedded Upper Eocene Benkovac Stone layers outcrop in a very narrow and long zone in the vicinity of Benkovac town. Due to its good quality, and decorative look they are exploited as building and decorative stone.

### Sedimentary features

Intimate interbedding of carbonate sandstones and fine-grained sediments is the typical feature of the Benkovac Stone.

Detailed study of logs enabled identification of 6 carbonate sandstone facies: (1) Parallel laminated to hummocky cross and flat laminated sandstones, (2) Hummocky cross to flat laminated sandstones, (3) Convolute laminated sandstones, (4) Amalgamated sandstones, (5) Normal graded thin sandstones, (6) Wave-rippled sandstones with 3 subfacies (A – Sandstones with migrating wave ripples, B – Sandstones with climbing wave ripples and C – Sandstones with pinch and swell lamination).

Fine-grained facies consists of calcareous mudstones and thin, from few mm to 1 cm thick silty streaks. The streaks form vary from flat to undulatory, and lens- or pinch-swell like. They were deposited under the influence of waves, geostrophic currents and density-induced flows, which have been active during the predepositional and depositional phase in the shore area, above and below the storm wave base.

### Trace fossils

Trace fossils are the most diverse in calcareous mudstones, where they form decorative textures on upper bed surfaces. Grazing traces are dominant, often showing well-organized patterns (*Helminthoida*, *Palaeodictyon*). Feeding burrows (e.g. *Chondrites*) are scarce, as well as dwelling burrows within beds. Therefore, a degree of bioturbation is sparse to moderate (1–3 sensu REINECK, 1963). The most of the determined ichnotaxa belong to *Zoophycos* and *Nereites*

ichnofacies. Some recent papers (ORR, 2003) suggest that water energy is the dominant factor influencing the distribution of ichnotaxa, instead of the water depth. This could explain the peculiar ichnofacies in Benkovac stone, where “deep-water” ichnotaxa are associated with shallow-water sedimentary textures.

### Facies interpretation

Due to the great numbers of available processes and factors, simple and straightforward interpretation of facies is not possible. However, on the basis of detailed outcrop analysis and interpretation founding on complex hydraulic setting it is possible to achieve the following conclusions:

- 1) All carbonate sandstone beds (except thin normal graded beds) display evidence of wave oscillations. Therefore various intimately combined currents have been active during their deposition (MYROW & SOUTHARD, 1991, 1996; WALKER et al., 1983);
- 2) Sedimentation in an open and broad shallow-marine (shelfal) micro-tidal environment was strongly influenced by frequent storm processes;
- 3) The major part of Benkovac Stone was deposited in offshore–transitional zone (between fairweather wave base and stormweather wave base), whereas considerably smaller part of layers (moderately bioturbated mudstones interbedded by thin normal graded sandstone beds and silty streaks) was sedimented in offshore zone (below storm wave base);
- 4) Shelf environment was steadily, but not amply fed by sands and finer material.

Benkovac Stone succession represents shelfal deposition within a broad and long-term braided-delta depositional setting during its retrogradational (wave-dominated) phase.

### References

- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. (1991): Combined-flow model for vertical stratification sequences in shallow marine storm-deposited beds.– *J. Sedim. Petrol.*, 61, 202–210.
- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. (1996): Tempestite deposition.– *Journal of Sedimentary Research*, 66/5, 875–887.

ORR, P.J. (2003): Bathymetric indicators.– In: BRIGGS, D.E. & CROWTHER (eds.): Palaeobiology II. Blackwell Science Ltd. 2nd ed., 475–478.

REINECK, H.E. (1963): Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsse.– Abh. Senckenber. Naturforsch. Ges., 505, 135 p.

WALKER, R.G, DUKE, W.L. & LECKIE, D.A. (1983): Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences: Discussion and reply.– Geological Society of America Bulletin, 94, 1245–1251.

## Provenance of Beach Sands from the Island of Rab: Evidence from Heavy Minerals

Borna Lužar-Oberiter<sup>1</sup>, Marta Crnjaković<sup>2</sup>, Ljubomir Babić<sup>1</sup> & Jožica Zupanič<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, Kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: bluzar@geol.pmf.hr

<sup>2</sup> Croatian Natural History Museum, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup> Institute of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Provenance, Beach sands, Heavy minerals, Rab island, Croatia.

### Introduction

Studying heavy mineral assemblages of beach sands and possible source rocks can often gain useful insight concerning supply patterns by which beaches are nourished with detritus. Beaches represent a delicate environment, one that is easily subject to destructive processes if imbalance is created between the supply of detritus and erosion. Such insights are thus of particular importance considering the rising pressure the Adriatic natural coast is experiencing with increased development of tourism and industry in recent years. Previous research on beach sands from the Island of Rab (CRNJAKOVIĆ et al., 1998) has shown that considerable variability exists in their heavy mineral compositions. The proposed sources of detritus were Eocene and Pleistocene siliciclastic rocks, which are present over

a considerable area of the Island. In the current study new data is being obtained from both ancient rocks and recent beach sands with the intent of more precisely defining the source–beach relationship.

### Materials and Methods

Beach sands have been sampled at 8 beach locations (Fig. 1). Several additional samples have been taken from Eocene and Pleistocene arenites to test similarities in heavy mineral associations. Obtaining heavy mineral concentrates was performed by commonly used procedures (MANGE & MAURER, 1992). Additionally, particle composition of arenites has been studied using thin sections made from artificially cemented sands.

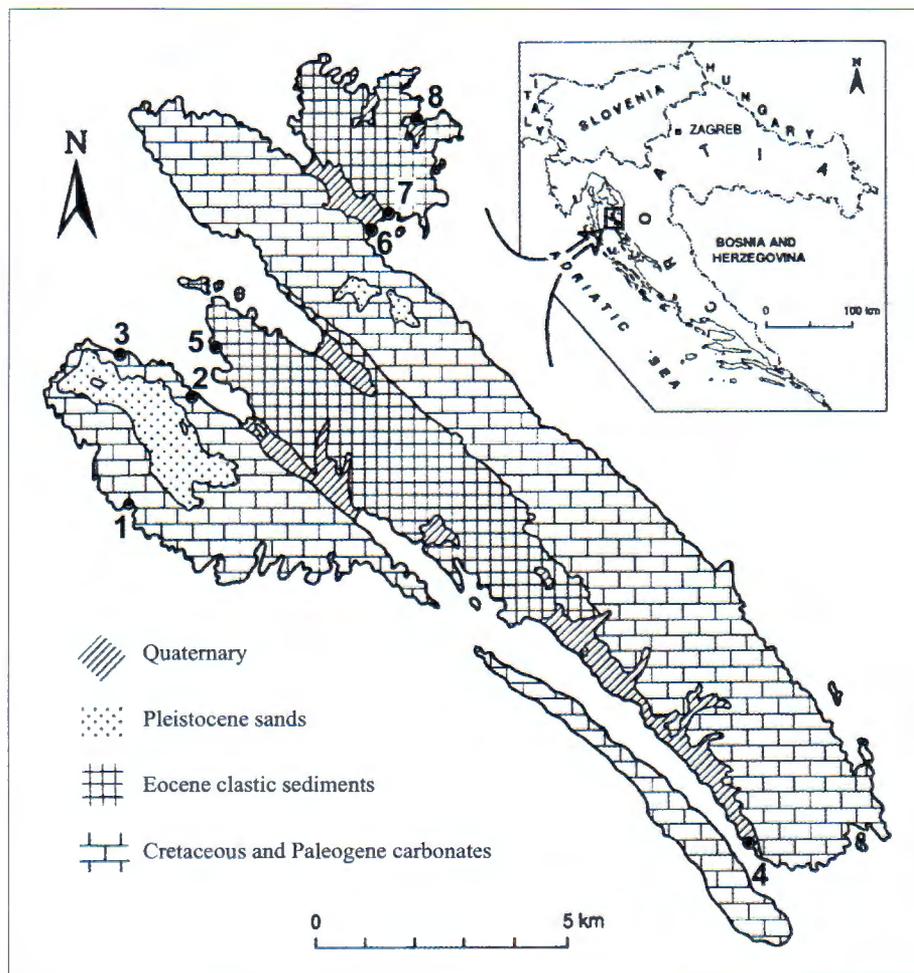


Fig. 1 The locations of sampled beach sands on the Island of Rab. Geological map after MAMUŽIĆ et al. (1969), simplified.

### Results

Transparent heavy mineral associations from beach sands show specific differences. Most conspicuous are the differences in the proportion of garnet and the ultrastable minerals zirkon, tourmaline and rutile. Garnet proportion varies between 12% and 72%, while ultrastable minerals vary from 11% to 67%. A higher proportion of garnet relates to a lower proportion of ultrastable minerals, and *vice versa*. Among the other most common heavy minerals are epidote/zoisite, Cr-spinel, staurolite and kyanite.

### Discussion and conclusion

The consistent variability in the garnet versus ultrastable mineral proportions in heavy mineral associations of the studied beach sands seems to be a consequence of the derivation of these sands. A comparison of Eocene and Pleistocene arenites shows similar difference. While the Eocene heavy mineral associations resemble that of the garnet-rich and ultrastable mineral-poor beach sands, the Pleistocene heavy mineral associations are similar to those beach sands rich in ultrastable minerals and poor in garnet. These relationships suggest that some beaches are dominantly supplied from source areas consisting of Eocene sandstones, some dominantly from source areas consisting of Pleistocene sands, while several beaches show HM associations suggesting a mixed source. Such relationships between beach sands and Eocene/Pleistocene arenites have previously been suggested based on the study of three beaches of the Island of Rab (CRNJAKOVIĆ et al., 1998), and the beaches in northern Dalmatia (PAVIČIĆ et al., 2000). This study confirms previously proposed interpretations and shows that the relevant consistencies in heavy mineral variability in beach sands represent a rule for the northern half of the Croatian Adriatic coast.

As the spatial relationship of beaches and their interpreted type of source areas show close vicinity, it follows that the supply of detritus to the beaches is greatly controlled by immediate hinterland erosion. Other possible supply paths such as longshore drift or a derivation from a distant source are much less significant.

In conclusion, the source areas and the natural nourishment pathways of beach sands for the studied coasts can be successfully identified using a heavy mineral approach. The result of this is useful knowledge gained pertaining to the problem of sustaining Croatian beaches (PAVIČIĆ et al., 2000). The need for evaluating how relevant natural processes will change with accelerated development of the coastal zone is growing. Otherwise, ignorance will inevitably bring damage to this natural and economic resource of the country.

### References

- CRNJAKOVIĆ, M., BABIĆ, Lj. & ZUPANIĆ, J. (1998): Održivost plaža hrvatske obale Jadrana: sediment kao glavni faktor.– In: ARKO-PIJEVAC, M., KOVAČIĆ, M. & CRNKOVIĆ, D. (eds.): Prirodoslovna istraživanja riječkog područja. Prirodoslovni muzej, Rijeka, 339–344.
- MANGE, M.A. & MAURER, H.F.W. (1992): Heavy Minerals in Colour.– Chapman & Hall, London, 147 p.
- MAMUŽIĆ, P., MILAN, A., KOROLJA, B., BOROVIĆ, I. & MAJCEN, Ž. (1969): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100000, Sheet Rab.– Institute of Geology, Zagreb, Federal Geol. Inst., Belgrade.
- PAVIČIĆ, Lj., BABIĆ, Lj., CRNJAKOVIĆ, M. & ZUPANIĆ, J. (2000): The provenance of sands on north Dalmatian beaches: between ignorance and the need for Coastal Zone Management.– Period. Biol., 102/1, 349–354.

## A Preliminary Report on Paleomagnetic Investigations of the Cretaceous Limestones, Istria

Emo Márton<sup>1</sup>, Alan Moro<sup>2</sup> & Vlasta Čosović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, Palaeomagnetic Laboratory, Columbus u. 17–23, H-1145 Budapest, Hungary; e-mail: paleo@elgi.hu

<sup>2</sup> University of Zagreb, Faculty of Sciences, Department of Geology and Palaeontology, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

**Key words:** Cretaceous, Palaeomagnetism, Istria.

In the 1980's, a numerous palaeomagnetic directions were published for the Cretaceous of Istria (MÁRTON & VELJOVIĆ, 1983) which were adequate to characterize its displacements in a general way. The motion and the degree of rigidity of the Adriatic region received lately a lot of attention. Palaeomagnetism can contribute to delineating the motion precisely and also to the rigidity problem, but for these purposes a large number of new, high-quality palaeomagnetic results are needed from the stable areas of the Adriatic region. One of them is "stable" Istria, where the rocks are mostly extremely weakly magnetic carbonates without terrigenous influence (POLŠAK, 1965, 1967; MORO, 1997). Experience taught us that without developing a sampling strategy, based on the knowledge of every slightest variation of depositional conditions and of secondary processes, a large portion of the drilled samples might be too weakly magnetic to yield result. That is why we opened a new palaeomagnetic campaign on Istria by testing different developments from selected localities. The ultimate goal, however, is to develop in the future an apparent polar wander curve of high resolution for stable Istria.

So far, we collected 13 horizons from mud-supported wackestone–packstone–floatstone type limestones, as well as from intertidal laminites. The ages of the beds were precisely known due to macrofossils (radiolitids), and microfossils (porcellaneous and agglutinated foraminifers).

Out of the collected horizons, only a subtidal limestone bed (too weak remanence) and a floatstone bed failed to yield paleomagnetic directions. Concerning the results, most of them are interpreted as primary magnetizations with normal polarity and counterclockwise rotated declinations. Some of the beds, however, are characterized by reversed polarity and non-rotated declination: they certainly were remagnetized, much after deposition and deformation. The remagnetized beds are either of purple color or are white, but recrystallized.

### References

- MÁRTON, E. & VELJOVIĆ, D. (1983): Palaeomagnetism of the Istria peninsula.– *Tectonophysics*, 91, 73–87.
- MORO, A. (1997): Stratigraphy, palaeoenvironments of rudist biostromes in the Upper Cretaceous (Turonian–Upper Santonian) limestones of southern Istria, Croatia.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 131, 113–131.
- POLŠAK, A. (1965): Geologija južne Istre s osobitim obzirom na biostratigrafiju krednih naslaga (Géologie de l'Istrie méridionale spécialement par rapport a la biostratigraphie des couches crétacées).– *Geološki Vjesnik*, 18, 415–509.
- POLŠAK, A. (1967): Kredna makrofauna južne Istre (Macrofaune crétacée de l'Istrie méridionale, Yugoslavie).– *Palaeontologia Jugoslavica*, 8, 219 p.



## Utjecaj tektonike na raznolikost facijesa u području bazena istočne Drave Tectonic Controls on Facies Variability in East Drava Area

Srebrenka Matej, Zoran Kunštek, Mario Matković & Vlatka Vaniček

*INA industrija nafte d.d., Naftaplin, Exploration Division, Exploration Department, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: srebrenka.matej@ina.hr*

**Ključne riječi:** Bazen istočne Drave, seizmički profili, sekvencijska stratigrafija.  
**Key words:** East Drava Area, Seismic profiles, Sequence stratigraphy.

Poznavanje seizmičke stratigrafije i smještaja facijesa u prostoru i vremenu izuzetno je važno za točniji i detaljniji opis rezervoarskih svojstava. Nove sedimentološke interpretacije i sekvencijska stratigrafija korišteni su za korelaciju bušotinskih podataka, kao i za kalibraciju seizmičkih profila i izradu modela seizmičkih sekvenci. Taj se pristup temelji na proširenoj sedimentološkoj reinterpetaciji jezgara i EK mjerenja za opisivanje sedimentoloških i tektonsko-stratigrafskih obilježja. Radi se o prvim radovima gdje je za interpretaciju korištena sekvencijalna stratigrafija na području Drava bazena. Utvrđene su nove diskordance u slijedu sedimenata, a djelomično se uspjelo utvrditi koji su vremenski rasponi pojedinih sekvenci kao i njihovi uvjeti taloženja. Na seizmičkim profilima utvrđeni su njihovi prostorni rasporedi kao i međusobni odnos tektonike i mehanizama sedimentacije. Interpretacijom seizmičkih profila ustanovljeno je da su sedimenti ovog bazena taloženi uglavnom u plitkomorskom i fluvijalnom facijesu.

Na seizmičkim profilima uočava se da se sjevero-sjeveroistočni dio padine bazena izdiže prema Mađarskoj kao posljedica regionalnog rasjedanja, a taj se sustav rasjeda može pratiti na seizmičkim profilima uzduž cijelog Dravskog bazena. Prema odnosima pojedinih paketa sedimenata pretpostavlja se da je rasjedni sustav vjerojatno promijenio svoj karakter iz normalnog u reversni, najvjerojatnije još tijekom mezozoika. Tektonski procesi od uglavnom ekstenzijskih prelaze u kompresijske, što mijenja i karakter i izgled bazena. Sustav je aktivan do srednjeg miocena, a taloženje plitkomorskih do fluvijalnih sedimenata je istovremeno s rasjedanjem, što se također uočava na profilima. Po odpraćenju rasjednoj plohi dolazi do naguravanja te izdizanja (početak navlačenja) i stvaraju se strukturna uzdignuća, potencijalno interesantna za istraživanje ugljikovodika. Na seizmičkim profilima mogu se ustanoviti dimenzije i prostorni razmještaj tih strukturnih uzdignuća tj. potencijalnih rezervoara.



## New Discovered Dinosaur Tracks in the Upper Albian of Istria, Croatia

Aleksandar Mezga, Blanka Cvetko Tešović & Zlatan Bajraktarević

Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia;  
e-mail: amezga@geol.pmf.hr

**Key words:** Dinosaur footprints, Theropods, Late Albian, Istria, Croatia.

The Late Albian in Istria is the period that bears the most abundant record of the dinosaur presence on the Adriatic–Dinaric carbonate platform. There are nearly a dozen sites with the dinosaur footprints which were found in the sediments that crop out along the shore in the Upper Albian sediments of the so-called West Istrian anticline (see e.g. DALLA VECCHIA & TARLAO, 2000). These sediments belong to the 3<sup>rd</sup> Istrian megasequence (Upper Albian–Upper Santonian – VELIĆ et al., 2003). The most numerous localities are situated near the town of Červar and on the Brijuni islands. The new site was discovered near the city of Pula, at the Zlatne Stijene locality. The outcrop is situated at the sea shore and during the stormy weather it is in direct contact with the sea water.

The footprint is tridactyl, mesaxonic, longer than wide (Fig. 1). The whole state of preservation is not ideal, the print is quite eroded. On the middle and left digit there are conspicuous V-shaped claw impressions. The footprint is 160 mm long and 120 mm wide with long and slender digits and straight digit axes. The middle digit is the largest

one (115 mm long and 40 mm wide) while the other two are of similar dimensions; the left digit is 70 mm long and 20 mm wide and the right one measure 70 mm in length and 30 mm in width. The right digit is somewhat detached from the other two and separated from the middle one by a pronounced bulge which could indicate that this digit is digit II. It is also less well preserved than the other two digits. The digits are widest in their middle part and become narrower proximodistally. The angle that the axis of the right digit closes with the axis of the middle digit ( $32^\circ$ ) is larger than the one between the axis of the middle and the left digit ( $15^\circ$ ). Total divarication between the outer digits is  $47^\circ$ . Around the footprint, especially its left side, there is a clearly pronounced expulsion rim, which resulted from the placing of the foot in the wet mud. Inside this rim, there are also clearly visible concentric grooves which probably formed due to cracking under the pressure ('load cracks'). We interpret the footprint as true track rather than under-track although it is relatively shallow, when compared to its average size, which means that the sediment was rather solid and firm, with the greater resistance to imprint. The heel print and the hallux impression are not visible. Regarding the position of the digit II, which is represented by a right digit, it is concluded that this print represents the track of the left foot. There are no visible trackways at the outcrop, the above described footprint is the only



Fig. 1 Theropod footprint from the Zlatne Stijene locality.

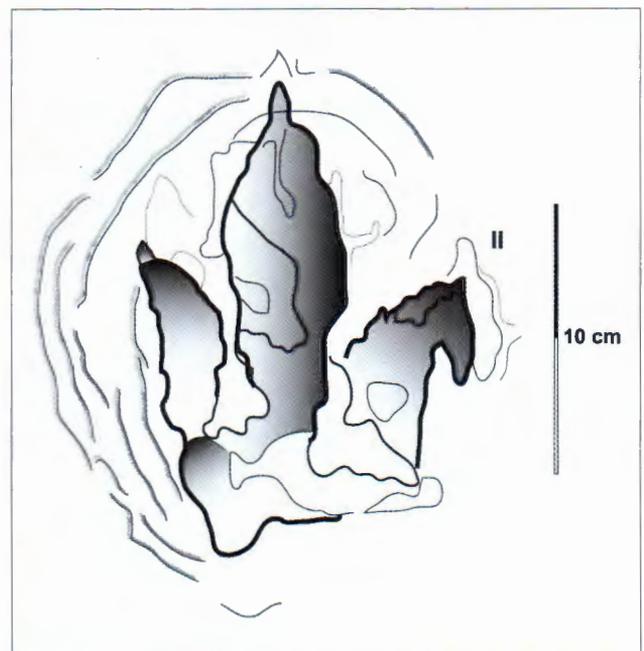


Fig. 2 Drawing of theropod footprint from the Zlatne Stijene locality.

footprint found. However, it is possible that this footprint is just a part of one trackway which could be tracked below the overlying layer. On the basis of the claw marks or pointed distal end of digital prints, relatively slender digit impressions and generally longer than wide footprint, we conclude that this print belongs to a medium-sized bipedal theropod dinosaur. Considering the footprint length, the calculated hip height of this theropod was 0.72 m, which indicates the length of the animal of app. 3 m.

The whole surface of the outcrop is quite eroded due to the sea water abrasion but also due to the human activity. The Upper Albian carbonate succession of Zlatne Stijene locality is similar to other Upper Albian localities in Istria. It is characterized by thin bedded limestones deposited in peritidal and foreshore environments. These are usually peloidal wackestones to peloidal packstone/grainstones, laminated peloidal wackestone/packstones with ostracods, miliolids and benthic foraminifera. Sporadic stromatolitic laminae, LLH stromatolites and intraformational breccias are also present. These breccias are probably formed in peritidal environments during severe storms. Just below the trackbearing layer there is a peloidal–bioclastic packstone/grainstone layer with ripple marks. The same sediment type also forms the layer in which the footprint is preserved, which proves occasional exposure to meteoric conditions. The microfossil assemblage is composed of *Protochrysalidina elongata* LUPERTO SINNI, *Pseudonummoloculina heimi* (BONET), *Istriloculina granumtrici* NEAGU, *Rumanoloculina minima* (TAPPAN), *Sigmoilina?* sp., *Axiopolina?* sp., *Scandonea* aff. *phoenissa* SAINT-MARC, *Glomospira* sp., *Cuneolina pavonia/parva*, *Nezzazata simplex* OMARA, *Vercorsella immaturata* HE, *Novallesia* cf. *angulosa* MAGNIEZ. This microfossil assemblage indicates a Late Albian age.

The Late Albian dinosaur ichnocoenoses from Istria are constituted of theropod, sauropod and ornithopod footprints found at different localities. Theropod footprints are the most common. When compared to the other Late Albian theropod footprints in Istria the footprint from Zlatne Stijene locality most closely resemble footprints found at the Solaris (DALLA VECCHIA & TARLAO, 2000) and Ploče locality (MEZGA & BAJRAKTAREVIĆ, 2004) due to its similarity in dimensions and morphology.

### References

- DALLA VECCHIA, F. M. & TARLAO, A. (2000): New Dinosaur track sites in the Albian (Early Cretaceous) of the Istrian Peninsula (Croatia) – Part II – Palaeontology.– *Memorie di Scienze Geologiche*, 52/2, 227–292, Padova.
- MEZGA, A. & BAJRAKTAREVIĆ, Z. (2004): Cenomanian dinosaur and turtle tracks on the island of Veli Brijun, Istria, Croatia.– *Geologica Carpathica*, 55/5, 355–370.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., MATIČEC, D. & BERGANT, S. (2003): Evolution of the Istrian part of the Adriatic Carbonate Platform from the Middle Jurassic to the Santonian and formation of the flysch basin during the Eocene: main events and regional comparison. – In: VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (eds.): *Evolution of Depositional Environments from the Palaeozoic to the Quaternary in the Karst Dinarides and the Pannonian Basin*. 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija 2003, Field Trip Guidebook, 3–17.

## Archeometric Analysis of Bronze Age Potsherds from Vrana Lake (Cres Island): A Study of Provenance and Dating of Slope Processes

Slobodan Miko<sup>1</sup>, Saša Mesić<sup>1</sup>, Stašo Forenbaher<sup>2</sup> & Mirko Belak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb, Croatia; e-mail: smiko@igi.hr

<sup>2</sup> Anthropological Institute, Amruševa 8, HR-10000, Zagreb, Croatia

**Key words:** Provenance, Potsherds, Geochemistry, Colluvium, Alluvial fan, Erosion, Soil, Holocene.

### Introduction

Petrography, mineralogy, and geochemistry are useful tools in provenance and technology studies of ancient pottery and their comparison. This approach was used to characterize potsherds from colluvial and alluvial fan deposits in the southern part of Vrana lake catchment. In general ceramics consist of two main components: plastic clay or the matrix and aplastic inclusions or temper (sand, small rock fragments, etc.). Geochemistry, combined with petrographic data, can be a useful, complimentary analytical technique in identification the origin of pottery.

Lake sediment profiles from the karstic Lake Vrana, located on the island of Cres, in the northern Adriatic show several intervals of siliciclastic deposition during Late Holocene (MESIĆ, 2004). The increased influx of soil dust indicated by sediment geochemistry was caused by soil erosion after forest clearing in the lake catchment, that started before the Roman times and peaked between 1400 and 1650 AD (MESIĆ, 2004). The island of Cres has a long history of settlement and hosts some very important Mesolithic and Neolithic sites in the Kvarner Islands (Jama na Sredi) as well as from the Roman times (Osor). In order to date the deforestation process in the lake Vrana catchment, a study of colluvial and alluvial deposits along the southern shores of the lake was performed.

### Materials and methods

In a colluvial profile located on the western slopes of the hill Hrib, 52 potsherds were found at a depth of 248 cm as well as 2 potsherds in a profile in alluvial fan floodplain sediments at a depth of 127 cm (Poje). The petrographic and geochemical analyses of potsherds were used to com-

pare those from the alluvium with the dated ones from the colluvium. The excavated potsherds do not contain any decorations and represent parts of some 5 or 6 more or less coarse pottery vessels. Also geochemical analyses were made of potential source materials for the clay that could have been used for the production of the pottery. Petrographic analyses were carried out under a polarized light microscope. Major and trace elements were determined by ICP–AES and ICP–MS after dissolution with  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ . The analysis performed gave results for the following chemical elements –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Sc}$ ,  $\text{V}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Rb}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Zr}$ ,  $\text{Nb}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Nd}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Th}$ ,  $\text{U}$ , and REE – which were considered for multivariate statistical treatment of pottery and soil data. Chemical data were statistically treated using various multivariate approaches. Cluster analyses were performed with the STATISTICA statistical package.

### Provenance of potsherds

Macroscopically, the potsherds are characterized by a black-colored fine-grained paste with fine sparry calcite, or bicolor type (reddish and black) with coarse calcite. Under the optical microscope, the potsherds are texturally homogeneous and display inclusions of similar type, abundance, and grain size. The groundmass is dark iron rich red-brownish to opaque with angular sparry calcite (up to 60%), white mica, zircon, turmaline and chert fragments and subangular quartz (20%). The firing temperatures as indicated by preserved sparry calcite were lower than 750°C. Chemical analyses focus on the elementary composition of the whole sherd, which provide a “mixed” chemical signal of the clay and aplastic inclusions (sparry calcite). Depending on the quantity and elementary composition of

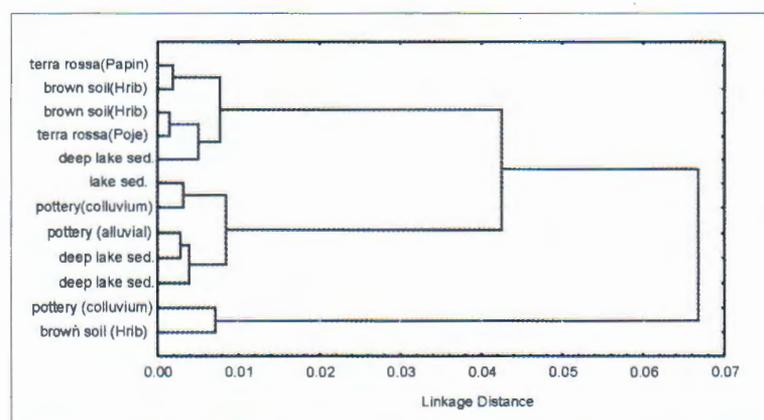


Fig. 1 Cluster dendrogram for potsherds, soils and sediments from Vrana lake catchment.

these aplastic clasts, the chemical signal of the potsherds may be so strongly influenced, that notwithstanding local production of the vessel, chemical signal does not fit the chemical pattern of local sediments (clays). The potsherds have SiO<sub>2</sub> content in the range of 37–47% (terra rossa soils 56%; soils derived on dolomite 35–40%). The potsherds have higher contents of Al and Fe in comparison to soils found in surrounding area of the supposed place of origin of the pottery despite chemical dilution due to sparry calcite temper. The enrichment of Al and Fe (as well as trace element content) in comparison to soils indicates that the raw materials (soils) used for pottery production were deliberately enriched in finer (clayey fractions), which lead to separation of more coarse quartz grains. In order to avoid the influence of dilution by calcite cluster analysis was performed on trace element/Ti ratios (Y/Ti, Zr/Ti, Hf/Ti, Ta/Ti, Nb/Ti, La/Ti, Ce/Ti).

The results of cluster analysis indicate (Fig. 1) that both the soils derived from dolomite and terra rossa types of soils were used for pottery production, the similarity of potsherds with deep lake sediments indicates similar as Al and Fe contents a process of enrichment of finer particles (lake-natural enrichment due to gravitational separation and pottery with artificial enrichment). The potsherd finds were further used to explain slope process during late Holocene in the Vrana lake catchment.

#### Holocene slope processes

The colluvial deposits are poorly stratified and contain poorly sorted dolomitic and limestone aggregates in a yellowish loam. The colluvium is linked with accelerated soil

erosion resulting from vegetation clearance. The base of the colluvium lies on weathered dolomite at a depth of 290 cm. Charcoal found in the soil containing potsherds was dated at Beta Analytic AMS facility (sample Beta-199264) and a calibrated <sup>14</sup>C date ranging from 2030 to 1870 BC was obtained. The position of the potsherds deposited in a loam colluvial sequence, which lacks any visible incipient soil development in the sequence from 220 cm to 290 cm indicates that soil erosion on the slope was an active process before the accumulation of the pottery fragments. Since accumulation rates in colluvium vary considerably the depth of a sequence cannot be as a proxy for time taken for it to accumulate but the relatively small thickness of soil accumulated after the horizon containing potsherds indicates that the slopes of Hrib were washed of soil at a time soon after the pottery was deposited (Late Bronze age?). Based on geochemistry, mineralogy and petrography potsherds as well as dating of the soils, colluvium and alluvial and lake sediments we can conclude that most of the soil cover in the southern part of the Vrana lake catchment was washed out during the Bronze age and that the erosion of dolomite bedrock has been active throughout most of the Late Holocene to the present day.

#### References

- MESIĆ, S. (2004): Anthropogenic influence on the geochemistry of Holocene sediments in lake Vrana on the island of Cres.– Unpubl. PhD Thesis, Faculty of Science, University of Zagreb, 186 p.

## An Example of Mixed Echinoid Fauna from the Lutetian of Grdoselo, Central Istria

Goran Mikša<sup>1</sup>, Aleksandar Mezga<sup>2</sup> & Vlasta Čosović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INA d.d. SSRII, Research and Laboratory Testing Department, Lovinčičeva bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; goran.miksa@ina.hr

<sup>2</sup> Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Echinoids, Spatangoids, Mixed fauna, Middle–Late Lutetian, Grdoselo, Istria.

During the Eocene time Istria was a part of the Adriatic–Dinaric carbonate platform (ADCP). The stratigraphic succession of this epoch comprises a relatively thick succession of carbonate and clastic rocks which crop out in the area of the Pazin basin and neighbouring areas. This succession belongs to the fourth megasequence as described by VELIĆ et al. (1995) and it can be divided into four principal units: *Liburnian deposits*, *Foraminifera limestones*, *Transitional beds* and *Flysch*. An immense bioproduction existed during the Eocene on the ADCP (HALLOCK et al., 1991) resulting in rich microfossil and macrofossil assemblages found at the diverse localities in central Istria. Recently, a new fossiliferous locality has been discovered in the vicinity of Grdoselo village in central Istria. The site is very rich in microfossils as well as in macrofossils, where the echinoids constitute the main part of the assemblage. The investigated outcrop consists of packstone layers intercalated by thin sandy intervals (part of the *Flysch* megasequence). Generally, echinoid faunas are strongly environmentally dependent. However, the assemblage found at the investigated locality indicates its origin from remarkably different environments. Some organisms, once lived in distant environment, were *post-mortally* dislocated, and then included in the taphocoenosis together with autochthonous fauna.

Numerous genera of benthic and planktonic foraminifera, gastropods and echinoids dominate in the investigated fauna. It also comprises different genera of bivalves, crustaceans, nautilid cephalopods, corallinae algae, corals, bryozoans, polychaeta, rare brachiopods and numerous ichnofossils. On the basis of orthophragminid foraminifer-

al association, the age of sediments is determined as Middle to Late Lutetian, i.e. SBZ 14/15 Zone after SERRA-KIEL et al. (1998) and P11–P12 Zone after BERGGREN et al. (1995). The echinoid fauna in the Eocene of ADCP is dominated by the genera *Eupatagus*, *Echinolampas*, *Macropneustes* and *Linthia* (MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1970). There is a complete absence of echinoid genera *Linthia* and *Eupatagus* in the Grdoselo fauna but very frequent occurrence of genus *Cyclaster* (Fig. 1). Contrary to this, *Linthia* and *Eupatagus* were found in almost every Eocene echinoid locality in Croatia (e.g. Island of Krk and Rab, Istria; KLEPAČ, 2003, MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1970) while the genus *Cyclaster* is absent from almost all of them (MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1970). Genus *Cyclaster* constitutes 30% of the Grdoselo echinoid fauna while the genus *Echinolampas* constitutes 63%. The rest of the fauna is composed of genera *Brissopsis*, *Conoclypus*, *Macropneustes*, *Pericosmus* and *Schizaster*.

*Conoclypus–Echinolampas* community prefers to live on the gravel substrate in shoal environments feeding on sea grasses and algae. Their massive, high-conical thecas are perfectly adapted to high-energy shoal environments. On the other hand, echinoid genera like *Macropneustes* and especially *Cyclaster* prefer to live on the fine-grained bottom in deeper water environments feeding on sediments in which they lived. Their thin and fragile skeleton was adapted to low-energy shallow bathial environments. The echinoids like *Linthia* and *Eupatagus* live in dominantly muddy substrate (MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1970). The absence of these genera in Grdoselo fauna could be explained by the fact that the share of the mud component

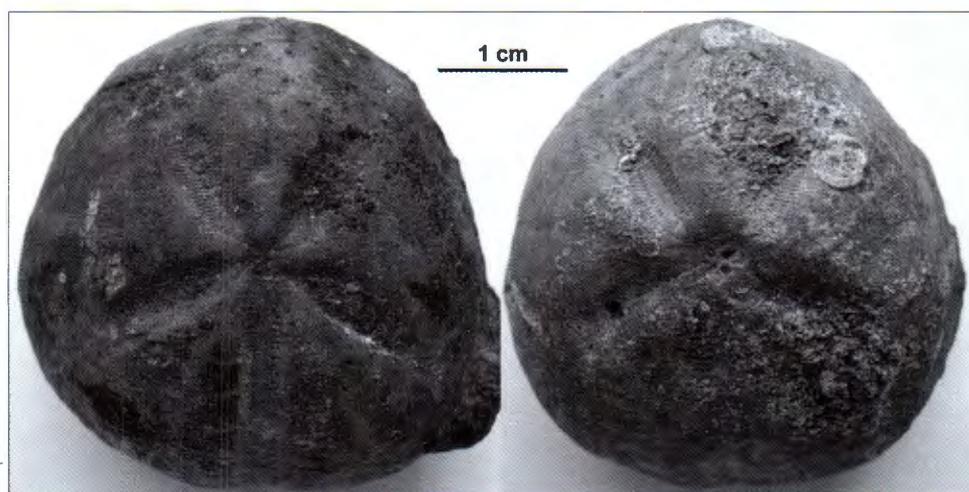


Fig. 1 Echinoid genus *Cyclaster* from the Lutetian limestones of Grdoselo.

in sediments is very low (MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1969) probably due to the minor input of mud material in this area of the Pazin basin.

The mixed fauna found at the outcrop belongs to at least two distinctive environments. Each environment is represented by its characteristic taxa and type of sediment. Autochthonous environment, in which the mentioned taphocoenosis has been found, is composed of fine-grained carbonate sands which have been intensively bioturbated. This environment represents deeper water conditions (somewhat deeper neritic or shallow bathial after MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1970). The main taxa present in this environment are planktonic foraminifera (e.g. *Subbotina* and *Turborotalia*), nautilid cephalopods and deeper water echinoids (*Cyclaster* and *Macropneustes*). Shallow water biota such as benthic foraminifera (e.g. *Nummulites* and *Discocyclusina*) and shallow water echinoids (*Echinolampas* and *Conoclypus*) were most probably brought to deeper environment by gravity or turbidity current. The fossils transported with these currents show the higher level of fragmentation and are more damaged than the autochthonous fossils. The resedimented fauna originated from the subtropic, oligotrophic sea environment of the deeper part of the photic zone. The genera probably linked to a slope environment like echinoid genus *Pericosmus* are also found within fauna. It was gathered on the slope by gravity or turbidity current and deposited in deeper environment. So, finally, we found mixed fauna with representatives of shallow-water, slope and deep-water environment. The sandy sediment was deposited in a deeper-water environment with occasional input of bioclastic carbonate sediment by the gravity or turbidity flow, what resulted in a mixed composed fossil fauna.

## References

- BERGGREN, W.A., KENT, D.V., SWISHER, C.C. III & AUBRY, M.P. (1995): A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy.– Soc. Econ. Paleont. Mineralog., Spec. Publ., 54, 129–212.
- HALLOCK, P., PREMOLI SILVA, I. & BOERSMA, A. (1991): Similarities between planktonic and larger foraminiferal evolutionary trends through Paleogene paleoceanographic changes.– Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 83, 49–64.
- KLEPAČ, K. (2003): Fosilna fauna otoka Krka, Atlas.– Prirodoslovna biblioteka 5, 578 p.
- MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. (1969): Rod *Eupatagus* Agassiz sa morfološkog, biostratigrafskog i paleoekološkog stanovišta.– Geol. anali Balk. pol., 34, 239–267.
- MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. (1970): Eocenski ehinidi Jugoslavije.– Geol. anali Balk. pol., 35, 151–190.
- SERRA-KIEL, J., HOTTINGER, L., CAUS, E., DROBNE, K., FERRÁNDEZ, C., JAUHRI, A.K., LESS, G., PAVLOVEC, R., PIGNATTI, J., SAMSS, J.M., SCHAUB, H., SIREL, E., STROUGO, A., TAMBAREAU, Y., TOSQUELLA, J. & ZAKREVSAYA, E. (1998): Larger foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene.– Bull. Soc. geol. France, 169/2, 281–299.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., MATIČEC, D. & VLAHOVIĆ, I. (1995): A review of the geology of Istria.– In: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (Eds.): Excursion Guide-Book of the First Croatian Geological Congress, 21–30.

## Redeterminacija uzoraka kvartarnih sedimenata otoka Suska iz petrografske zbirke Hrvatskog prirodoslovnog muzeja

### Redetermination of the Samples of Susak Island Quaternary Sediments from the Petrographic Collection of the Croatian Natural History Museum

Snježana Mikulčić Pavlaković<sup>1</sup>, Marta Crnjaković<sup>1</sup> & Darko Tibljaš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: snjezana.mikulcic@hpm.hr

<sup>2</sup> Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** kvartarne naslage, otok Susak, petrografska zbirka, Hrvatski prirodoslovni muzej.  
**Key words:** Quaternary sediments, Susak island, Petrographic collection, Croatian Natural History Museum.

#### Uvod

O porijeklu i genezi pjeskovito–lesnih sedimenata otoka Suska mnogi su istraživači iznosili različita mišljenja (citirani u BOGNAR et al., 1983, 2003). Većina ih smatra eolskim, fluvio-eolskim ili fluvio-marinskim naslagama. Za razliku od njih, KIŠPATIĆ (1910) je smatrao da predstavljaju netopljivi ostatak vapnenaca, koji je podzemnim vodenim tokovima transportiran i taložen na morskom dnu, te kasnije izdignut iz mora. Na njegovom originalnom materijalu koji se već gotovo stotinu godina čuva u Mineraloško-petrografskom odjelu Hrvatskog prirodoslovnog muzeja, načinjene su nove analize.

#### Analitički materijal i metode istraživanja

Redeterminacija 8 sačuvanih uzoraka pijeska s otoka Suska, koje je Kišpatić početkom 1910. prikupio na raznim mjestima i na različitim dubinama, obuhvatila je određivanje udjela netopljivog ostatka, separaciju teške i lake mineralne frakcije pomoću bromoforma, te njihovu analizu polarizacijskim mikroskopom. Za separaciju teških minerala korištena je frakcija 0,05–0,125 mm netopljivog ostatka. Udio pojedinih minerala izražen u postocima dobiven je brojanjem oko 400 zrna u svakom preparatu.

#### Rezultati i zaključak

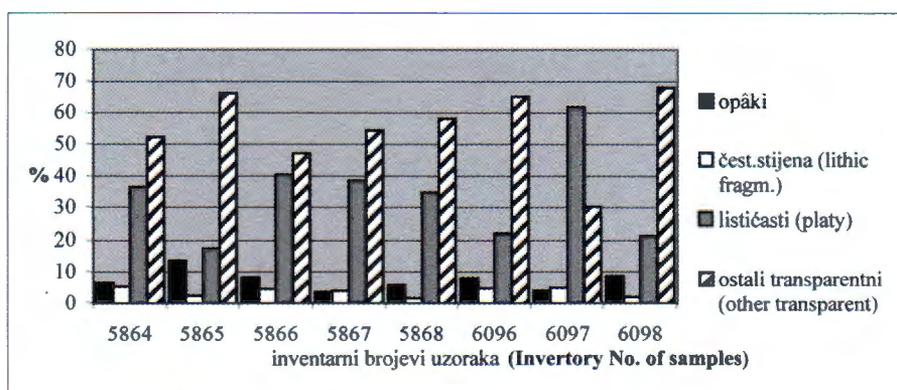
Udio karbonata u redeterminiranim uzorcima varira od 6,6 do 33,7%. Netopljivi ostatak sadrži 3,51–7,12% teške frak-

cije. U lakoj frakciji prevladava kvarc (do 60,5%), zatim čestice stijena (do 30%) i feldspati (do 13%).

Većina čestica stijena je rožnjačkog tipa, manje je čestica sericitnih škrljavaca i metamorfita s lističastim mineralima, te epidotom i coisitom. U nekim preparatima nalaze se još i grudice limonita i smeđe poluprozirne čestice, vjerojatno piroklastičnog podrijetla.

U teškoj frakciji čestice stijena su znatno manje zastupljene (1,5–8,1%), zatim slijede opaka zrna (3,4–13,6%), a najčešći su lističavi minerali – muskovit i flogopit, klorit, te biotit (17,5–61,9%) (Tablica 1). Ostali prozirni teški minerali čine 30,1–68,1% sastava (sl. 1). Među teškim mineralima najzastupljenija je skupina amfibola (aktinolit, hornblenda, glaukofan), epidot–coisita, te granati. Rjeđi su pirokseni i disten. Ultrastabilni minerali cirkon, turmalin i rutil čine <5% prozirnih teških minerala (sl. 2). Zrna su većinom slabo zaobljena, naročito u sitnijoj frakciji. Poneka zrna piroksena pokazuju nazubljene krajeve, kao posljedici dijagenetskih procesa.

KIŠPATIĆ (1910) je u pijescima otoka Suska mikroskopski determinirao 22 minerala, uključujući 19 koje danas ubrajamo u tešku frakciju. Vrlo je detaljno opisao njihove mikrofiziografske osobine, no stupanj abrazije, odnosno zaobljenosti, koji su bitni za utvrđivanje podrijetla materijala ne navodi (kao uostalom niti većina drugih istraživača toga vremena). Prve vrlo detaljne opise morfoloških osobina zrna i sastava nalazimo tek u radovima MAMUŽIĆ & MUTIĆ (1965) i MUTIĆ (1967). Osim minerala koje je našao Kišpatić, tijekom ovih istraživanja zapaženi su još silimanit, andaluzit, kloritoid, spinel i ser-



Sl. 1 Udio glavnih skupina teških minerala.

Fig. 1 Major heavy mineral groups in percentages.

Invent. broj uzorka	Ms i Phl	Bt	Chl	Zrn	Tur	Rt	Ukupno = 100%														
							Amp i Gln	Px*	Grt	Ep	Zo i Czo	Ky	St	Ttn	Brk	Sil*	And*	Cld*	Spl *	Srp *	
5864	18,9	7,3	10,2		0,7	1,5	13,6	5,5	6,2	9,1	9,5	2,9	1,8	0,4		0,4					
5865	8,5	3,9	5,1	2,3	0,4	0,4	14,3	4,7	16,7	9,7	10,5	3,5	1,2			0,4					
5866	17,2	5,3	17,8		1,1	0,8	16,4	4,4	5,8	6,4	8,3	1,7	1,1								
5867	17,5	3,7	17,2		0,6			1,2	6,6	6,6	8,7	2,8	0,6	1,6		0,9			0,3		
5868	11,7	10,2	12,9		1,2		14,8	6,1	9,5	7,9	7,9	4,9	0,4	1,9	1,1			0,4			
6096	12,1	1,8	8,2	0,3	2,1	0,7	15,3	6,8	11,7	11,7	11,4	2,5		2,5							
6097	35,2	10,9	15,8		0,9		9,2	2,7	5,2	4	4,6	1,7	0,4	1,2							
6098	12	4,7	4,7		2,2	1,3	13,2	5,4	15,1	11,7	9,1	2,8	0,3	2,8	0,6			0,6	0,6	0,6	0,3

Tablica 1 Mineralni sastav teške frakcije (\* – minerali koje Kišpatić nije pronašao niti opisao, oznake prema KRETZ, 1983; osim Amp – amfibol i Px – piroksen).

Table 1 The composition of heavy mineral association (\* – minerals not found or described by Kišpatić, mineral symbols after KRETZ, 1983; except Amp – amphibole and Px – pyroxene).

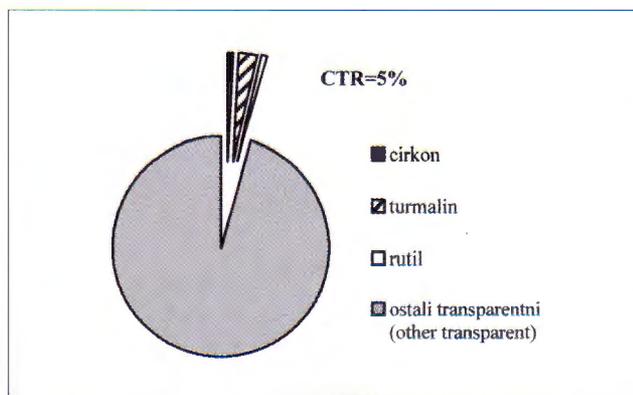
pentin. Značajna je i prisutnost piroksena, za koje Kišpatić navodi da nisu utvrđeni sa sigurnošću. Ono po čemu se Kišpatićeve analize bitno razlikuju od analiza novijih istraživača je nedostatak podataka o međusobnom količinskom udjelu pojedinih minerala. Naime, on je određivanja provodio na preparatima koji su sadržavali samo minerale slične gustoće, a ne ukupnu asocijaciju teških minerala. Otuda vjerojatno i konstatacija o obilnoj zastupljenosti cirkona. Vjerujemo da nedostatak piroksena u njegovim analizama znači da je preparat (od njih stotinjak) u kojemu su oni bili koncentrirani vjerojatno bio zagubljen ili ga je previdio.

Kišpatićevo uvjerenje da pijesak otoka Suska predstavlja netopljivi ostatak vapnenaca i dolomita zasniva se dijelom na Tučanovim podacima o netopljivim ostacima karbonata (TUČAN, 1911), s kojima je Kišpatić bio upoznat još prije objavljivanja. Prema njima, piroksen je vrlo rijedak, pa Kišpatić time objašnjava i “nedostatak” piroksena u susačkom pijesku. No, kako niti TUČAN (1911) ne navodi međusobni udio pojedinih minerala, CRNJAKOVIĆ (1994) je na temelju analize sačuvanog dijela Tučanovih preparata pretpostavila da se njihov udio može procijeniti na temelju broja uzoraka u kojima se oni javljaju. Također je utvrdila da većina detritičnih minerala (Tučan je smatrao

da su svi autigeni) potječe iz sedimentnih stijena, s obzirom na stupanj zaobljenosti, te razmjerno visok udio ultrastabilnih cirkona, turmalina i rutila. Stoga bi i u pijescima otoka Suska očekivali visok indeks CTR, što međutim nije slučaj (sl. 2). Dakle, vrlo nizak stupanj zrelosti sedimenta (izuzetno nizak CTR), sačuvani nestabilni minerali kao što su pirokseni, te razmjerno nizak stupanj abrazije, ukazuju na materijal prvog ciklusa sedimentacije, a mineralna asocijacija na metamorfite alpskog područja kao izvorišne stijene, što je u skladu s rezultatima drugih istraživača (BOGNAR et al., 1983, 2003; MUTIĆ, 1967).

## Literatura

- BOGNAR, A., KLEIN, V., TONČIĆ-GREGL, R., ŠERCELJ, A., MAGDALENIĆ, Z. & CULIBERG, M. (1983): Kvartarne naslage otoka Suska i Baške na otoku Krku i njihovo geomorfološko značenje u tumačenju morfološke evolucije kvarnerskog prostora. – Geografski glasnik, 45, 7–32, Zagreb.
- BOGNAR, A., SCHWEITZER, F. & SZOOR, G. (ur.) (2003): Susak – environmental reconstruction of a loess island in the Adriatic. – Geographical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 141 str.
- CRNJAKOVIĆ, M. (1994): The detrital versus authigenic origin and provenance of mineral particles in Mesozoic carbonates of Central Croatian karst area. – Geol. Croat., 47/2, 167–179, Zagreb.
- KIŠPATIĆ, M. (1910): Der Sand von der Insel Sansego (Susak) bei Lussin und dessen Herkunft. – Verhandl. geol. Reichsanst., 13, Wien.
- KRETZ, R. (1983): Symbols for rock-forming minerals. – Am. Miner., 68, 277–279.
- MAMUŽIĆ, P. & MUTIĆ, R. (1965): The sand of the island Susak. – Bull. Sci. Cons. Acad. Yougosl., (A) 10/7–8, 212–213, Zagreb.
- MUTIĆ, R. (1967): Pijesak otoka Suska. – Geološki vijesnik, 20, 41–57, Zagreb.
- TUČAN, F. (1911): Die Kalksteine und Dolomite des Kroatischen Karstgebietes. – Geološki anali Balkanskoga poluostrva, 6/2, 609–813, Beograd.



Sl. 2 Odnos između ultrastabilnih minerala (cirkon, turmalin, rutil) i ostalih proziranih minerala.

Fig. 2 Frequency of ultrastable heavy minerals in transparent heavy mineral association (%).

## Eocenski ježinci Istre

### Eocene Echinoids from Istria

Vasja Mikuž

Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija;  
e-mail: vasja.mikuz@ff.uni-lj.si

**Ključne riječi:** ježinci, eocen, Istra, Hrvatska, Slovenija.

**Key words:** Echinoids, Eocene, Istria, Croatia, Slovenia.

O eocenskim ježincima Istre i nalazištima ostale makrofaune, naročito iz flišnih bazena Buzeta, Pazina, Plomina i Labina priopćavaju brojni istraživači: STACHE (1864), TARAMELLI (1874), BITTNER (1880), DAINELLI (1905), SCHUBERT (1905), MANEK (1905 a, b), TONIOLO (1909), SALOPEK (1954), MITROVIĆ-PETROVIĆ (1970), POLŠAK & ŠIKIĆ (1973), ŠIKIĆ & POLŠAK (1973), MOOSLEITNER (1996), MIKUŽ (2002), MIKUŽ & KLEPAČ (2003) i MIKUŽ (2004). Od spomenutih autora saznajemo da su eocenski ježinci pronađeni u okolici gradova, krajeva, sela i brda: Debeli rtič, Kubed (kamenolom Griža), Buzet, Nugla, Forčići, Roč, Paz, Učka, Grdoselo, Pazin, Lindar, Gračišće, Pićan, izvor Bačva, Čopi, Kozljak, Čepić, Krapan, Labin i na drugim mjestima. Uglavnom ježinci su nađeni u eocenskom flišu odnosno olistostromama, neki od njih pronađeni su u alveolinskom i numulitnom vapnencu, također u eocenskom laporovitom vapnencu i pješčenjacima. Nakon pregleda rezultata, koje su utvrdili i zapisali stariji istraživači geološke građe Istre, i s podacima naših sadašnjih istraživanja u nalazištima u blizini Kubeda, Roča, Forčića, Grdosela, Gračišća i Pićana, možemo zaključiti da su eocenski ježinci u okolici spomenutih krajeva dosta česti i veoma različiti, što je karakteristično za cijeli i široki pojas područja istarskog paleogenskog bazena, od Debelog rtiča na sjeverozapadu do Labina na jugoistoku Istre.

Utvrđeni su ostaci dviju velikih skupina ježinaca, regularnih i iregularnih. Od regularnih ježinaca najčešće su dobro sačuvane njihove mnogobrojne i jako različite bodlje, rjeđe nalazimo dijelove njihovih čahura, još rjeđe cijele čahure. Među regularnim ježincima zabilježeno je šest rodova: *Rhabdocidaris*, *Porocidaris*, *Prionocidaris*, *Cidaris*, *Porosoma* i *Coelopleurus*. Među spomenutim rodovima nailazimo na 17 različitih oblika, najviše ih imaju rodovi *Cidaris* (7), *Coelopleurus* (4) i *Porocidaris* (3). Iz skupine iregularnih ježinaca pronađene su u glavnom njihove čahure ili dijelovi čahura. Utvrđeno je 20 rodova: *Conoclypus*, *Amblypygus*, *Echinocyamus*, *Echinolampas*, *Cassidulus*, *Rhyncholampas*, *Echinanthus*, *Hemiaster*, *Ditremaster*, *Pericosmus*, *Schizaster*, *Linthia*, *Prenaster*, *Brissus*, *Brissoopsis*, *Cyclaster*, *Eupatagus*, *Gualtieria*, *Macropneustes* i *Lovenia*. Među iregularnim oblicima ježinaca zabilježeno je 65 različitih vrsta. Najviše različitih oblika ima rod *Echinolampas* (18 vrsta), slijede rodovi *Linthia* (8 vrsta), *Cyclaster* (6 vrsta) te *Schizaster* i *Echinanthus* po pet vrsta. U Istri su pronađena 82 različita oblika eocenskih ježinaca. Najviše različitih vrsta pronađeno je na širem području

Pićana (Pićan, izvor Bačve, Čopi – 41 vrsta), slijedi bliže područje Gračišća (28 vrsta), okolica Labina (16 vrsta), područje Buzeta i Nugle (14 vrsta) i Grdosela (11 vrsta). Na kraju možemo utvrditi da su među eocenskim ježincima Istre geografski najraširenije vrste *Cidaris subularis* D'ARCHIAC i *Porosoma* aff. *cribrum* (AGASSIZ) među regularnim, a *Conoclypus conoideus* (LESKE), *Echinolampas istriana* BITTNER, *Rhyncholampas taramellii* (BITTNER), *Prenaster alpinus* DESOR, *Cyclaster stacheanus* (TARAMELLI) i *Macropneustes brissoides* (LESKE) među iregularnim ježincima.

#### Literatura

- BITTNER, A. (1880): Beiträge zur Kenntniss alttertiärer Echinidenfaunen der Südalpen. I. Echinidenfauna des istro-dalmatinischen Eocaens.– Beiträge Palaeont. Oesterreich.-Ungarn, 1, 43–71, Taf. 1–12, Wien.
- DAINELLI, G. (1905): L'Eocene Friulano.– Monogr. geol. paleont., "Mem. Geografiche", 1–723, Tav. 1–57, Firenze.
- MANEK, F. (1905a): Die Fundorte von Eocänfossilien bei Rozzo, unweit Pinguente.– Verh. Geol. R. A., 10, 218–221, Wien.
- MANEK, F. (1905b): Neue Fundorte von Eocänfossilien bei Rozzo (Istrien).– Verh. Geol. R. A., 16, 351–352, Wien.
- MIKUŽ, V. (2002): Nova najdba rakovice *Harpactoxanthopsis quadrilobata* (Desmarest) v eocenskom flišu pri Gračišću blizu Pazina v Istri (Hrvaška) (New finding of crab *Harpactoxanthopsis quadrilobata* (Desmarest) in the Eocene flysch at Gračišće near Pazin in Istria (Croatia).– Geologija, 45/1, 97–102, Ljubljana.
- MIKUŽ, V. (2004): Morski ježek *Amblypygus dilatatus* iz spodnjeeocenskega apnenca v kamenolomu Griža v dolini Rižane (Sea urchin *Amblypygus dilatatus* from Lower Eocene limestone in the Griža quarry in the Rižana valley, Western Slovenia).– Geologija, 47/1, 15–21, Ljubljana.
- MIKUŽ, V. & K. KLEPAČ (2003): Ježinci – Echinoidea.– U: KLEPAČ, K. (ur.): Fosilna fauna otoka Krka (Fossil fauna of the island of Krk). Prirodoslovni muzej Rijeka (Prirodoslovna biblioteka, 5), 191–198, 515–563, Rijeka.
- MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. (1970): Eocenski ehinidi Jugoslavije.– Geol. anali Balk. poluostrva, 35, 151–190, Tab. 1–37, Beograd.
- MOOSLEITNER, G. (1996): Fossilien aus dem Mittel-Eozän von Istrien.– Fossilien, 1996, 2, 105–110, Korb.
- POLŠAK, A. & D. ŠIKIĆ (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Rovinj.– Savezni geološki zavod Beograd, 51 str., Beograd.

- SALOPEK, M. (1954): Prilozi poznavanju geološke građe Labinskog i Pićanskog basena Istre (Beiträge zur Kenntnis der geologischen Baues der Becken von Labin und Pićan in Istrien).– Prirod. istraž., 26, 5–58, Zagreb.
- SCHUBERT, R.J. (1905): Zur Stratigraphie des istrisch–nord-dalmatinischen Mitteleocän.– Jb. Geol. R. A., 55, 153–188, Wien.
- STACHE, G. (1864): II. Die Eocängebiete in Inner-Krain und Istrien.– Jb. Geol. R. A., 14, 11–115, Wien.
- ŠIKIĆ, D. & A. POLŠAK (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Labin.– Savezni geološki zavod Beograd, 55 str., Beograd.
- TARAMELLI, T. (1874): Di alcuni Echinidi eocenici dell'Istria.– Atti R. Ist. Veneto Sci., 3, Tav. 1–2, Venezia.
- TONIOLO, A. R. (1909): L'Eocene dei dintorni di Rozzo in Istria e la sua fauna.– Palaeontographia Italica, 15, 237–295, Tav. 24–26 (1–3), Pisa.

## Strukturni sklop otoka Visa Structural Complex of the Island of Vis

Damir Palenik, Tvrtko Korbar, Mirko Belak, Ladislav Fuček, Dubravko Matičec  
& Igor Vlahović

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: dpalenik@igi.hr

**Ključne riječi:** strukturni sklop, strukturno-tektonske jedinice, tektonski ciklusi, Vis.  
**Key words:** Structural complex, Structural-tectonic units, Tectonic cycles, Island of Vis.

Tijekom izrade OGK RH M 1:50.000 na otoku Visu provedena su i detaljna strukturološka istraživanja u svrhu prikaza recentnog stanja strukturnog sklopa, kao i postanka pojedinih strukturnih oblika te tektogeneze prostora. Strukturni sklop otoka Visa određen je na temelju brojnih mjerenja strukturnih elemenata, njihovih orijentacija i međusobnih prostornih odnosa, statističke obrade i prikaza preko strukturnih dijagrama, te analizom tih dijagrama (PALENIK, 2005). Značajni geološki podaci dobiveni su i analizom postojeće OGK, list Vis (BOROVIĆ et al., 1975).

Otok Visa u strukturnom smislu predstavlja razbijenu antiklinalu kojoj se u središnjem dijelu na zapadnom dijelu otoka nalazi trijaski vulkanogeno–sedimentno–evaporitni kompleks. Krila antiklinale izgrađena su od karbonatnih naslaga donje i gornje krede. Os antiklinale se pruža, kao i duža os otoka, približno smjerom I–Z i tone prema istoku pod blagim kutom.

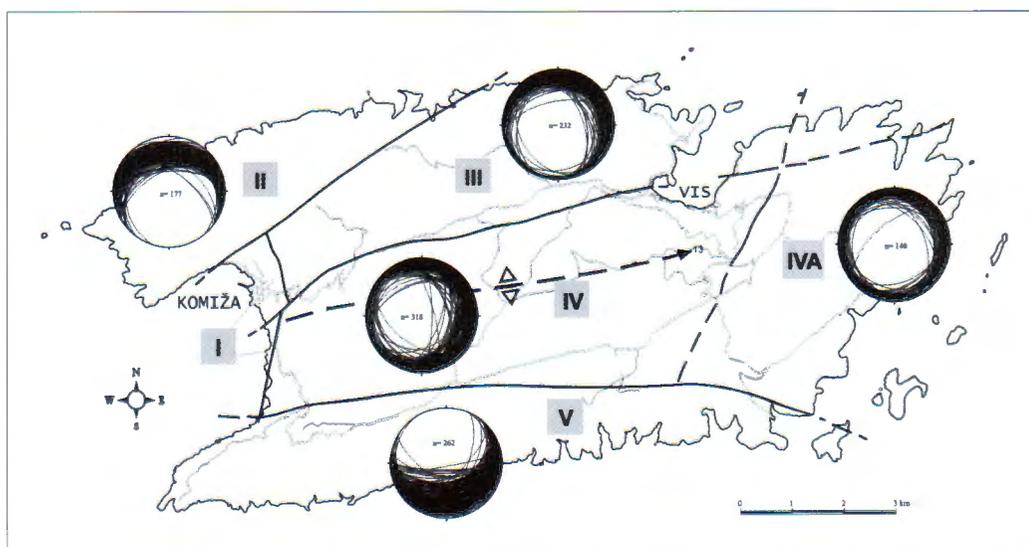
Područje otoka Visa, kao jedinstvenu strukturno-tektonsku cjelinu, možemo podijeliti na 6 lokalnih strukturno-tektonskih jedinica nižeg reda (Sl. 1). Lokalna strukturno-tektonska jedinica I obuhvaća trijaski vulkanogeno–sedimentno–evaporitni kompleks u području Komiškog zaljeva, koji je u rasjednom (dijapirskom) kontaktu s okolnim donjokrednim naslagama. Jedinica I predstavlja središnji dio razbijene Viške antiklinalne strukture na zapadnom dijelu. Evaporitni kompleks svojim izdizanjem siječe, ali i izdiže i ustrmljava krovinske naslage do vrlo strmih (mje-

stimice i subvertikalnih) nagiba slojeva. Zbog toga naslage na zapadnom dijelu otoka Visa imaju puno veći kut nagiba slojeva, a taj se kut smanjuje idući prema istoku.

Ostale jedinice su međusobno odijeljene s tri vrlo izražena rasjeda pružanja I(-SI)–Z(-JZ) te jednim, dijelom i pretpostavljenim rasjedom pružanja SI–JZ na istočnom dijelu otoka (Sl. 1). Ti rasjedi su subvertikalnog do vertikalnog nagiba, duž svojeg pružanja nerijetko su i ezetativnog karaktera (promjenljivog smjera nagiba), a njihovo često obilježje je da su markirani razmjerno širokim rasjednim zonama.

Za svaku od lokalnih strukturno-tektonskih jedinica, osim jedinice I, prikazani su strukturni dijagrami trasa slojnih ravnina (Sl. 1), konturni dijagrami polova tih ravnina, te dijagrami pukotina i pukotinskih sustava (PALENIK, 2005).

Lokalne strukturno-tektonske jedinice II i V odgovaraju sjevernom i južnom krilu strukture Viške antiklinalne, dok je njezin središnji (tjemeni) dio razdvojen u jedinice III i IV, te IVA, s time da jedinica III sadrži, osim dijela tjemena, i dio sjevernog krila antiklinale. Jedinica IVA je logičan nastavak jedinice IV, ali je specifična zbog činjenice da su sve morfološke depresije (polja i uvale) prekrivene pijescima, a takvih pojava nema od graničnog rasjeda prema zapadu, gdje su sve depresije prekrivene drugim kvartarnim pokrivačem (crvenicom, brečama, ili raznom trošinom). Najveći dio jedinice IVA izgrađen je od dolomita koji su



Sl. 1 Strukturno-tektonske jedinice otoka Visa s pripadajućim dijagramima slojevitosti

Fig. 1 Structural-tectonic units of Vis Island with diagrams showing orientation of bedding planes.

blago borani, odnosno undulirani, i zbog toga se unutar te jedinice gube obilježja antiformalne strukture.

Strukturni dijagrami pukotina i pukotinskih sustava svake lokalne strukturno-tektonske jedinice (vidi PALENIK, 2005) pokazuju dosta raznovrsne orijentacije tih diskontinuiteta kao posljedicu neplastičnosti naslaga, odnosno jake raspucanosti krčkog karbonatnog materijala, ali te podatke možemo sistematizirati u tri osnovne vrste pukotina: poprečne, uzdužne i dijagonalne u odnosu na b os Viške antiklinale. Uz navedeno, izrađeni su i dijagrami rasjednih površina s izmjerenim kutovima zakosa i utvrđenim karakterom kretanja za 22 točke opažanja (PALENIK, 2005). Za svaki od tih rasjeda izračunate su tektonske osi koje definiraju stres u pojedinoj točki. Srednja vrijednost lokalnih stresova pokazuje približnu vrijednost regionalnog stresa za područje otoka Visa, a vrijednosti njegovih tektonskih osi su:  $\sigma_1=33/24$ ;  $\sigma_2=254/56$  i  $\sigma_3=125/18$ . Osim toga obrađeni su i svi položaji slojeva izmjereni na otoku, te je na taj način statistički izračunata i orijentacija osi b Viške antiklinale koja iznosi 79/13.

Strukturni sklop, stvaranje i oblikovanje današnjeg izgleda otoka Visa formirano je kroz tri velika tektonska ciklusa – kredni, tercijarni i neotektonski, čije zapise i efekte djelovanja nalazimo unutar krednog karbonatnog kompleksa otoka. Svaki od tih ciklusa sastoji se od faze kompresije (djelovanja usmjerenog pritiska) i faze ekstenzije (popuštanja pritiska). Najstariji rasjed na otoku Visu je rasjed pružanja I–Z na južnom dijelu, koji odvaja lokalnu strukturno-tektonsku jedinicu V od jedinica IV i IVA. Taj rasjed je nastao vjerojatno tijekom krednog tektonskog ciklusa kad je orijentacija glavnog stresa bila I–Z. Vjerojatno u istom tektonskom ciklusu, ali kasnije, nastaju i lomne strukture pružanja SI–JZ na istočnoj strani otoka (pr. granični rasjed između jedinica IV i IVA). Granični rasjedi pru-

žanja ISI–ZJZ su vjerojatno nastali tijekom tercijarnog tektonskog ciklusa kad je smjer glavnog stresa bio SI–JZ kao tenzijske pukotine I reda. Diskontinuiteti pružanja SI–JZ i ISI–ZJZ reaktivirani su kao rasjedi tijekom neotektonskog ciklusa, kad im glavni stres smjera približno S–J daje lijevi karakter kretanja. Osim disjunktivnih struktura (rasjeda i pukotina), dokaz za postojanje tri velika tektonska ciklusa na ovom području daju i plikativne (borane) strukture orijentacijama svojih b osi (PALENIK, 2005). Upravo zbog reaktivacije starijih lomnih struktura, kao i preboravanja zatečenih plikativnih struktura neotektonski je ciklus sa stresom na pravcu djelovanja približno S–J imao najviše utjecaja na današnji izgled strukturnog sklopa otoka Visa.

Područje otoka Visa je i subrecentno tektonski vrlo aktivno, a dokazi za to su nam subhorizontalne strije na rasjednim površinama koje su dosta mlade jer nisu otopljene i korodirane. Sljedeći mogući pokazatelj novije tektonske aktivnosti su i pijesci u Velom Zlom Polju na istočnom dijelu otoka, čiji hipsometrijski položaj ukazuje na izdizanje. Na nekoliko mjesta u području Komiškog zaljeva gips se utiskuje u siparišne breče i brečokonglomerate kvartarne starosti, što također ukazuje na subrecentnu dijapirsku aktivnost.

#### Literatura

- BOROVIĆ, I., MARINČIĆ, S., MAJČEN, Ž., RAFFAELLI, P. & MAMUŽIĆ, P. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Vis (Jabuka, Svetac, Biševo) K33–33 (31, 32, 45).– Inst. geol. istraž. Zagreb (1967–68), Sav. geol. zavod, Beograd.
- PALENIK, D. (2005): Strukturni sklop otoka Visa.– Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 122 str., Zagreb.

## Late Badenian Deep-Water Microfossil Association from the Locality St. Barbara in Medvednica Mt. (Croatia)

Đurđica Pezelj

Department of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Benthic foraminifera, Ostracoda, Palaeoecology, Upper Badenian, Medvednica Mt.

Grey marls with rich microfossil community were sampled in Lipa creek trench at the locality St. Barbara (SE Medvednica Mt., NW Croatia). Samples have been analysed and palaeoecologically interpreted mostly on the basis of small benthic foraminifers and ostracods.

Planktonic/benthic ratio, Benthic Foraminiferal number, Ostracod number (tests /g dry sediment) and number of species of benthic foraminifera and ostracoda have been determined for each standardized sample. Dominant and common species were separated, and their variations across the profile were examined. Three diversity indices: Shannon–Weaver index, equitability and Fisher  $\alpha$  index have been used to define species diversity of benthic foraminifera. Dissolved oxygen indicators and Benthic foraminifera oxygen index (BFOI) were also estimated (KAIHO, 1991, 1994).

Foraminifera are the most abundant fossils with 36 benthic genera (49 species) and 3 planktonic genera (8 species). Ostracods are represented with 18 genera (21 species).

The studied sediments can be attributed to the Bulimina–Bolivina Zone in the Upper Badenian (Middle Miocene) on the basis of the presence of some index fossils like *Uvigerina liesingensis* TOULA and *U. costatoides* PAPP & SCHMID, as well as Badenian ostracod taxa *Cnestocythere lamellicostata* TRIEBEL, *Aurila haueri* (REUSS), *Loxoconcha punctatella* (REUSS) and *Xestoleberis margaritea* (BRADY) (BRESTENSKA & JIŘÍČEK, 1978; JIŘÍČEK & RIHA, 1991).

The quantitative study of benthic foraminifera and ostracod fauna composition and also planktonic/benthic ratio allow the recognition of three palaeoenvironments: middle shelf (P/B=41.47%), outer shelf (P/B=55.08%) and upper bathyal (P/B=81.40%). Along with the typical deep-water foraminiferal and ostracod communities, at the outer shelf and upper bathyal, specimens of benthic taxa transported from the shallow-water environment can be clearly observed. However, tests of these taxa appear always broken and/or corroded with respect to the well preserved deeper-water species.

Middle shelf is characterized by highly diverse fauna and high oxygen content at the bottom water surface (BFOI=65.04). Dominant species is *Cassidulina laevigata* D'ORBIGNY that is typical species for inner–middle shelf environments (MENDES et al., 2004). Common species *Globocassidulina oblonga* (REUSS) and *Cibicidoides pseudoungerianus* (D'ORBIGNY) are reported as not tolerating environmental stress, in particular oxygen deficiency at the bottom (JORISSEN, 1999).

Outer shelf microfossil community is less diversified and clear trend of dominance by few species is noticed, as well as an abrupt increase of the dysoxic indicators like *Bolivina dilatata* REUSS, *Chilostomella ovoidea* REUSS and *Globobulimina pyrula* (D'ORBIGNY). The low values of BFOI=11.72 reinforced conclusion that this community adapted to live in environment with oxygen depletion in bottom and pore water.

Typical deep-water species *Uvigerina venusta* FRANZENA, *Uvigerina semiornata* D'ORBIGNY and *B. dilatata* are dominant species in the upper bathyal environment (LOUBERE, 1997). Decrease in frequency of dysoxic indicators (BFOI=47.15), as well as increase in diversity and number of species indicate moderate oxygen conditions.

Ostracod specimens are scarce and relatively poorly preserved at middle and outer shelf, while upper bathyal ostracod community is very rich and characterized with great dominance of species *Argilloecia acuminata* MÜLLER and *Parakrithe dactylomorpha* RUGGIERI (WHATLEY, 1983).

The analyses have shown that the deepening of the depositional basin and the fluctuations of the oxygenation rate were the most important factors that influenced distribution of the microfossil faunas in St. Barbara profile. Outer shelf microfossil assemblage lived in more stressful environment with lower amounts of oxygen in the bottom water than the middle shelf and upper bathyal assemblage.

### References

- BRESTENSKA, E. & JIŘÍČEK, R. (1978): Ostrakoden des Badenien der Zentralen Paratethys.– In: PAPP, A., CICHÁ, I., SENEŠ, J. & STEININGER, F. (eds.): Chronostratigraphie und neostatotypen miozän der Zentralen Paratethys. Badenian. Verlag der Slowak. Akad. der Wissen., Bratislava, 405–439.
- JIŘÍČEK, R. & RIHA, J. (1991): Correlation of Ostracod Zones in the Paratethys and Tethys.– Saito Hoon Kai Spec. Publ., 3, 435–457.
- JORISSEN, F.J. (1999): Benthic foraminiferal successions across Late Quaternary Mediterranean sapropels.– Mar. Geol., 153, 91–101.
- KAIHO, K. (1991): Global changes of Paleogene aerobic/anaerobic benthic foraminifera and deep-sea circulation.– Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 83, 65–85.
- KAIHO, K. (1994): Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean.– Geology, 22, 719–722.

- LOUBERE, L. (1997): Benthic foraminiferal assemblage formation, organic carbon flux, and oxygen concentrations on the outer continental shelf and slope.– *J. Foram. Res.*, 27/2, 93–101.
- MENDES, I., GONZALES, R., DIAS, J.M.A., LOBO, F. & MARTINS, V. (2004): Factors influencing recent benthic foraminifera distribution on the Guadiana shelf (Southwestern Iberia).– *Mar. Micropaleontol.*, 51, 171–192.
- WHATLEY, R.C. (1983): The application of ostracoda to paleoenvironmental analysis.– In: MADDOCKS, R.F. (Ed.): *Applications of Ostracoda*, Univ. Houston, Texas, 51–77.

## The Origin of Sediments Surrounding Jabuka Islet and Jabuka Shoal

Kristina Pikelj, Mladen Juračić & Darko Tipljaš

Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia;  
e-mail: kpesut@geol.pmf.hr

**Key words:** Recent sediments, Gravelly sand, Bioclastic detritus, Jabuka Islet, Jabuka Shoal.

Together with Brusnik Islet and the area around Komiža on the Vis Island, Jabuka Islet is a rare example of igneous rocks cropping out at the surface. BALOGH et al. (1994) determine these rocks as medium-grained gabbro and consider the Jabuka Islet as a part of a magmatic body which intrudes into overlying sediments (CRNJAKOVIĆ, 1998). Measurement of K/Ar ages indicates the age of mentioned rocks, which corresponds to Triassic–Jurassic boundary (BALOGH et al., 1994) and therefore they are considered to be a result of rift-related magmatism.

Bathymetric map reveals few shoals around Jabuka Islet and Brusnik Islet which might also be composed of magmatic rocks (Fig. 1) (JURAČIĆ et al., 2004). Its lineation indicates possible tectonic fracture – the result of local bandage of Dinarides (HERAK et al., 2005). Alternatively, they might be interpreted as lithons in a diapiric structure similarly to Komiža andesites (KOCH & BELAK, 2003). The analysis of the samples from Jabuka Shoal, 2300 m away from Jabuka Islet has confirmed its magmatic origin. Rock samples were determined as gabbro and have similar structure as samples from Jabuka Islet (JURAČIĆ et al., 2004). It was assumed that the recent sediments surrounding Jabuka Islet and Jabuka Shoal differ from sediments around other Adriatic islands due to their lithologic differences.

The sampling around Jabuka Islet (Fig. 1) has been done in 1998 (three locations, 52 m, 54 m, 62 m) and around Jabuka Shoal (Fig. 1) in 2001 (one location, 52 m). Sedimentologic and micropaleontologic analyses were done. Granulometric analysis has been done using wet sieving in combination with particle Coulter counter. The carbonate share has been determined using gas volumetry by dissolving 0.5 g of sample in 1 M hydrochloric acid. Phase analysis of the sediments has been done in two steps. The first one was analysis of the whole sample and fractions 0.063–0.125 mm, 0.125–0.25 mm and 0.25–0.5 mm of the same sample, one from Jabuka Islet and Jabuka Shoal. The other one was analysis of the same samples after dissolving in acetic acid. Fractions 0.125–0.25 mm were chosen for quantitative and determinative analyses of foraminifera genera and their shell type. These analyses were used for the interpretation of the sedimentary environment.

All samples of recent sediments surrounding Jabuka Islet and Jabuka Shoal were poorly sorted gravelly sands (FOLK & WARD, 1957; FOLK, 1954), with mud share of only 5%. Carbonate share was greater than 80% and included mostly aragonite and Mg-calcite. There are no terrigenous carbonate sources near the investigated area and sampling depths are below wave base. Therefore, the

solely skeletal origin for carbonate material could be assumed. Non-carbonate fraction was less than 20% and included primary minerals from igneous rocks, and minerals which indicate their alteration to various degrees (plagioclase, pyroxene, amphibole, serpentine, chlorite, muscovite, prehnite and quartz). This confirms that igneous rocks are partial source for the sediments of Jabuka Islet and Jabuka Shoal, whereas their small share in sediments close to cliffs indicates high resistance of magmatic rocks to the erosion. Contrary to low share of mud fraction, hyaline foraminifera prevailed in sediment samples. They indicate low-energy environment. Therefore, the analyzed recent prevalently coarse bioclastic sediments were deposited below wave base.

### References

- BALOGH, K., COLANTONI, P., GUERRERA, F., MAJER, V., RAVASZ-BARANYAI, L., RENZULLI, A., VENERI, F. & ALBERINI, C. (1994): The medium-grained gabbro of the Jabuka Islet ("Scoglio del Pomo", Adriatic Sea).– *Gio. di Geol.*, ser.3a, 56/2, 13–25, Bologna.
- CRNJAKOVIĆ, M. (1998): Vulkani na jadranskim otocima?– Hrvatski prirodoslovni muzej, Zagreb.
- FOLK, R.L. (1954): The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature.– *J. Geol.*, 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.
- HERAK, D., HERAK, M., PRELOGOVIĆ, E., MARKUŠIĆ, S. & MARKULIN, Ž. (2005): Jabuka island (Central Adriatic Sea) earthquakes of 2003.– *Tectonophysics* 398, 167–180.
- HHI (1980): Pomorska karta Pescara–Split 300–33, M 1:300 000.– Hrvatski hidrografski institut.
- JURAČIĆ, M., NOVOSEL, A., TIBLJAŠ, D. & BALEN, D. (2004): Jabuka shoal, a new location with igneous rocks in the Adriatic Sea.– *Geol. Croat.*, 57/1, 1–5.
- KOCH, G. & BELAK, M. (2003): Evaporitic–carbonate deposits of Komiža diapiric structure (Island of Vis, Croatia): their palinostratigraphic and sedimentological features.– Abstracts Book, 22<sup>nd</sup> IAS Meeting of Sedimentology, 17–19 September, Opatija, Institute of Geology, Zagreb, 96.
- ZAVODNIK, D., JAKLIN, A., RADOŠEVIĆ, M. & ZAVODNIK, N. (2000): Distribution of benthos at Jabuka, an islet of volcanic rock (Adriatic Sea).– *Period. Biol.*, 102/2, 157–167.

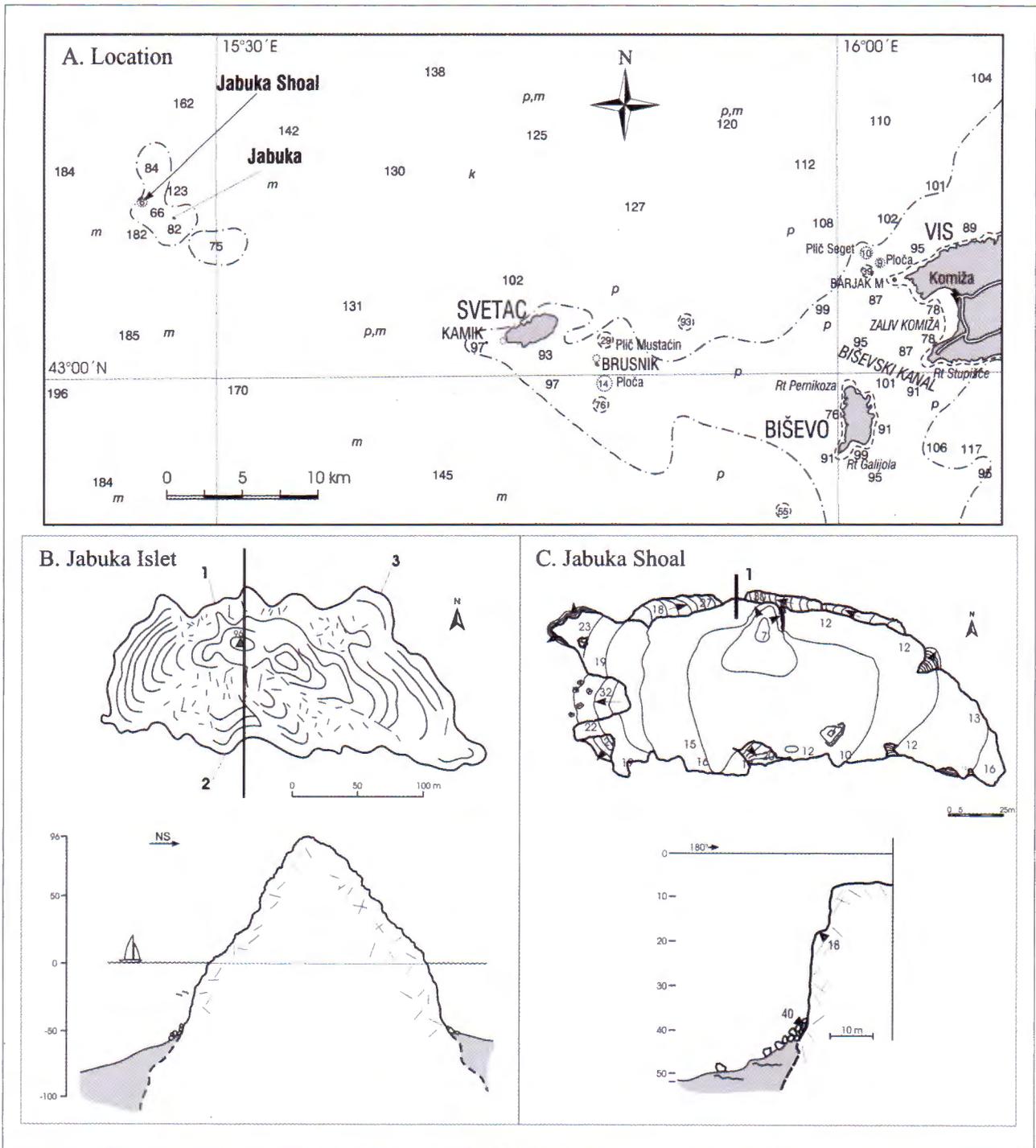


Fig. 1 (A) Location of Jabuka Islet and Shoal, after Nautical chart 300–33 Pescara–Split (HHI, 1980); (B) Sketch and profile of Jabuka Islet and sampling locations (1, 2 and 3); (C) Sketch and profile of Jabuka Shoal and sampling locations (1); (modified after ZAVODNIK et al., 2000; JURACIĆ et al., 2004, note different scales on figures).

## Sedimenti nižeg miocena Dilj gore

### Lower Part of Miocene Deposits of Dilj Mt.

Mato Pikija, Davor Vrsaljko, Mirjana Miknić, Marija Horvat,  
Ines Galović & Damir Slovenec

*Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: dvrsljko@igi.hr*

**Ključne riječi:** miocen, litostratigrafske jedinice, facijes, biostratigrafija, Dilj gora, geološka karta, Hrvatska.  
**Key words:** Miocene, Lithostratigraphic units, Facies, Biostratigraphy, Dilj Mt., Geological map, Croatia.

Dilj gora (Slavonija, Hrvatska) je razvedeno, brežuljkasto područje sjeverno od Slavenskog Broda, s najvišom kotom 461 m (sl. 1). Geološka istraživanja Dilj gore datiraju još od 19. stoljeća (PILAR, 1875; JENKO, 1944; ŠPARICA & CRNKO, 1973; ŠPARICA et al., 1980) a u okviru Geološke karte Republike Hrvatske 1:50000 započeta su 2003. godine.

U sedimentima nižeg i srednjeg miocena (?otnang, karp, baden) koji izgrađuju znatan dio centralnog i zapadnog dijela Dilj gore izdvojene su neformalne litostratigrafske jedinice ranga formacija, na temelju formacijske analize i odnosa utvrđenih snimanjem detaljnih geoloških stupova. Općenito, sedimenti izdvojenih jedinica dio su dvaju megaciklusa: jednog transgresivnog (donji dio) i jednog regresivnog (središnji prema gornjem dijelu stupa naslaga) (sl. 2).

Posebnu pozornost privlače dvije jedinice u nižem dijelu stupa, čiji sedimenti predstavljaju postupni prijelaz iz kontinentalne u marinsku sredinu (sl. 2). Prema dostupnim literaturnim podacima slični odnosi utvrđeni su u području Mecseka u Mađarskoj (BALDI et al., 2002).

Jedinica Ravan, dominantno aluvijalnog okoliša litoški je heterogena. Podina joj nije definirana. Među vulcanicima najčešći su vapnenci i pjeskoviti vapnenci, pješčenjaci i mramori. Podređeno su prisutni siltiti, slejt/filiti, graniti, breče, rožnjak i amfibolski škrljavac.

Jedinicu Tuk odlikuje izmjena slojeva lapora, pijesaka, pješčenjaka i šljunka. U jezerskim sedimentima ustanovljena je bogata zajednica slatkovodnih ostrakoda. U vršnim dijelovima jedinice izmjenjuju se slatkovodne naslage i marinske naslage estuarskog tipa ili naslage normalne marinske sredine šelfnog tipa. Mjestimično su zapaženi šljunkoviti sedimenti (?leće) sastavljeni pretežno od valutica i fragmenata kiselih vulkanita (slično kod BELAK et al., 1991).

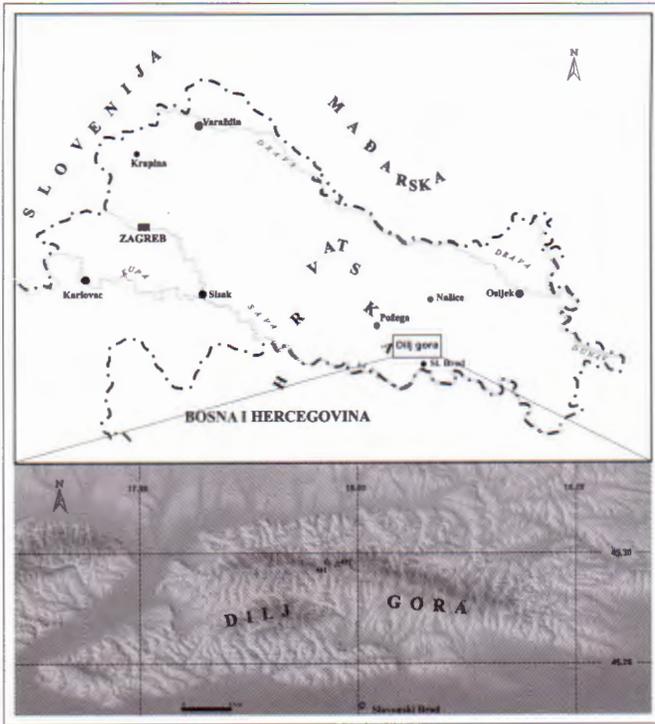
Tijekom većeg dijela badena odvija se potpuna marinska sedimentacija s dominantnim plitkovodnim karbonatnim facijesima (jedinica Zdenci) i klastično-karbonatnim

dubljevodnim facijesima (jedinica Dubovik). Uz regresivne tendencije, pa i mjestimične emerzije dolazi do smanjenja saliniteta taložne sredine u sarmatu, te povećanog udjela klastičnih sedimenata. Sedimentacija dubljevodnih facijesa badena dijelom se, bez vidljivog diskontinuiteta, nastavlja u sarmatu (jedinica Kasonja) (Sl. 2).

Krovinu opisanim naslagama predstavljaju sedimenti jedinice Croatica, koji se uz mogućnost mjestimične kraće emerzije kontinuirano nastavljaju na sedimente sarmata.

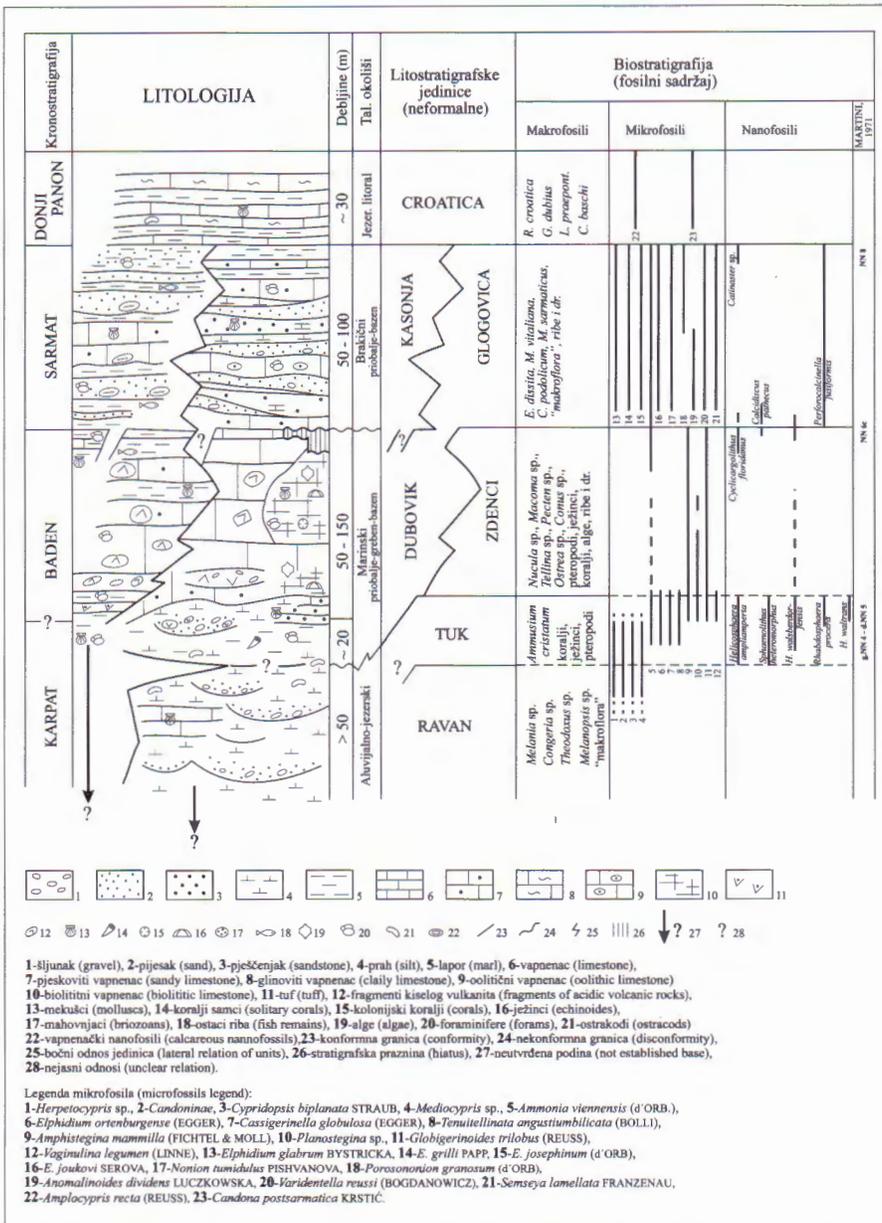
#### Literatura

- BALDI, K., BENKOVICS, L. & SZTANÓ, O. (2002): Badenian (Middle Miocene) basin development in SW Hungary: subsidence history based on quantitative paleobathymetry of foraminifera. – *Int. J. Earth Sci.*, 91, 490–504.
- 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, 151–159.
- JENKO, K. (1944): Stratigrafski i tektonski snošaj južnog pobočja Požeške gore i Kasonja brda. – *Vjestn. Hrv. Drž. Geol. zav. i Hrv. Drž. Geol. muz.*, 2–3, 89–159, Zagreb.
- LEMOINE, F.G. et al. (1998): NASA/TP–1998–206861. The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, U.S.A.
- PILAR, G. (1875): Podravina, Đakovština i Dilj gora. – *Rad JAZU*, 33, 38–57, Zagreb.
- ŠPARICA, M. & CRNKO, J. (1973): Geologija zapadnog dijela Dilj gore. – *Geol. vjesnik*, 26, 83–92, Zagreb.
- ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, C. & ŽIVANOVIĆ, D. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Nova Kapela, L33–108. – Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1972), Institut za geologiju, Sarajevo (1972), Savezni geološki zavod, Beograd.



Sl. 1 Satelitska snimka područja Dilj gore i njena pozicija u sjevernoj Hrvatskoj (LEMOINE et al., 1998).

Fig. 1 Dilj Mt. terrain segment imaged by NASA & NIMA (LEMOINE et al., 1998) and its position in the northern Croatia.



Sl. 2 Pregledni stup sedimenata nižeg miocena Dilj gore.  
Fig. 2 Schematic column of lower part Miocen sediments of Dilj Mt.

## Seizmička interpretacija i geološki model plinskog polja Vučkovec Seismic Interpretation and Geological Model of Vučkovec Gas Field

Marija Pleić & Saša Smoljanović

INA-Naftaplin, Sektor za razradu, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: marija.pleic@ina.hr

**Ključne riječi:** seizmička interpretacija, geološki model, petrofizikalni parametri, plinsko polje Vučkovec.  
**Key words:** Seismic interpretation, Geological model, Petrophysical parameters, Gas field Vučkovec.

Plinsko polje Vučkovec nalazi se u Međimurskoj županiji u blizini granice s Republikom Slovenijom, a od glavnog grada Županije, Čakovca, udaljeno je 15 km.

Istražnim bušenjem 1993/94. godine na tom prostoru utvrđeno je postojanje ugljikovodika u stijenama podloge tercijara. Na polju Vučkovec do sada su načinjene dvije duboke bušotine Vuč-1 i Vuč-3 koje su utvrdile zasićenje plinom u tektoniziranim dolomitima podloge tercijara (Pt). Ležište "Vučkovec" formirano je u strukturno-stratigrafskoj zamci u kombinaciji s tektonskim ekranom (prema klasifikaciji A.I. Levorsena). To je izdužena antiklinala pružanja jugozapad-sjeveroistok koja predstavlja paleoreljef trijaskih dolomita. Ležište se može uvrstiti u masivna ležišta s podinskom vodom (prema I.O. Brodu; INA, 2000).

3D seizmika na polju Vučkovec snimljena je 1994. godine u okviru projekta Vučkovec 3D. Zadatak 3D seizmičke interpretacije na plinskom polju Vučkovec je definiranje strukturno-tektonskih elemenata i interpretacija horizonta koji predstavlja krovinu ležišta tj. podlogu tercijara (Pt na sl 1)

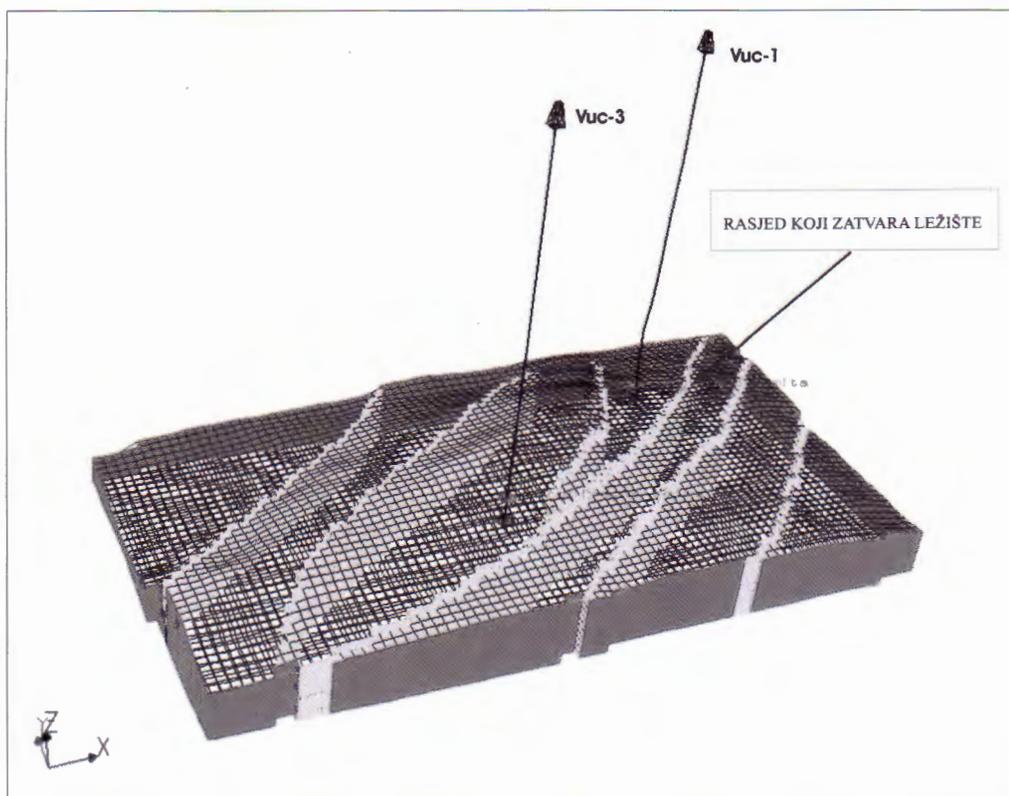
Za procjenu petrofizikalnih parametara korištene su bušotine Vučkovec-1 i Vučkovec-3 koje su nabušile ležište unutar trijaskih tektoniziranih dolomita.

Geološki model za polje Vučkovec napravljen je kao podloga dinamičkom modelu kojim će se simulirati buduća proizvodnja plina i kondenzata na ovom polju. S obzirom na znatan udio CO<sub>2</sub> takvo ležište je predviđeno kao izvor CO<sub>2</sub> za EOR metode povećanja iscrpka koje će se izvoditi na poljima Beničanci, Žutica i Ivanić. Geološka ljuska napravljena je na temelju novog strukturnog rješenja nakon reinterpretacije 3D seizmike. Interpretirana ploha krovine podloge tercijara ograničena je unutar AOI pravokutnika površine 4751x2561 m. Krovinska ploha nije kontinuirana već je rasjednuta sa 6 reverznih rasjeda skokova 50–100 m. Na temelju kontakta plin/voda na dubini od -2163 m (određenog na temelju karotažnih analiza) evidentno je da rasjed (sl 2) zatvara ležište.

Prvi korak pri izradi modela poroznosti je *upscaling* bušotinskih podataka poroznosti dobivenih analizom karotažnih dijagrama. Odabrana je metoda aritmetičke sredine. Osrednjene vrijednosti poroznosti pridružene su



Sl. 1 Interpretirani seizmički profil.  
Fig. 1 Interpreted seismic profile.



Sl. 2 Prikaz 3D grida krovinske plohe.

Fig. 2 3D grid of top horizon (Pt) of the Vučkovec reservoir.

ćelijama kroz koje prolaze trajektorije bušotina. Prosječna visina ćelija u modelu je 2,6 m. Prije inicijalizacije (*multi grid initialization*) postavljeno je ograničenje da bi vrijednosti poroznosti u ćelijama s izvornim bušotinskim podacima ostale nepromijenjene tijekom procesa interpolacije. Radi se o metodi *Discrete Smooth Interpolation* (MALLETT, 1989), gdje interpolirane vrijednosti unutar *grida* nisu dobivene određenom funkcijom primjenjivom za sve *grid nodove*, već se ovdje radi o iterativnom procesu gdje svaki *node* prima informaciju samo od sebi susjednih *nodova* te se kroz veći broj iteracija dolazi do prostorne raspodjele svojstava s blagim prijelazima od nižih k višim vrijednostima i obrnuto (*smoothness*). Vrijednosti poroznosti u modelu (za volumen iznad kontakta) kreću se u rasponu od 0,1 do 9% dok je *mean* vrijednost distribucije 3,2%. Zasićenja vodom u modelu definirana su iz odnosa zasićenja vodom dobivenog analizom karotažnih dijagrama i položaja ćelije u odnosu na kontakt. Model je određen odabirom trenda iz *cross plota* podataka (obje bušotine) o zasićenju vodom i visini iznad kontakta. Geološke rezerve plina procjenjene su volumetrijskom metodom uz *cut off* kriterij na poroznost od 1%, te su za 9% veće u odnosu na one prethodno obračunate.

## Literatura

- INA (2000): Plinsko polje Vučkovec, Elaborat o rezervama prirodnog plina i kondenzata istražnog prostora "Sjeverozapadna Hrvatska".– INA–Industrija nafte, Naftaplin, Služba za razradu, Zagreb.
- MALLETT, J-L. (1989): Discrete smooth interpolation.– ACM Transactions on Graphics (TOG), 8/2, 121–144, New York.

## Paleoecological and Paleogeographical Controls on the Middle to Late Eocene Planktonic Foraminiferal Assemblages of the Southwestern Croatia

Vlasta Premec-Fuček<sup>1</sup> & Sanja Živković<sup>2</sup>

<sup>1</sup>INA-industrija nafte, d.d., Research and Development Sector, Lovinčičeva bb, HR-10000 Zagreb, Croatia;  
e-mail: vlasta.premec-fucek@ina.hr

<sup>2</sup>Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia

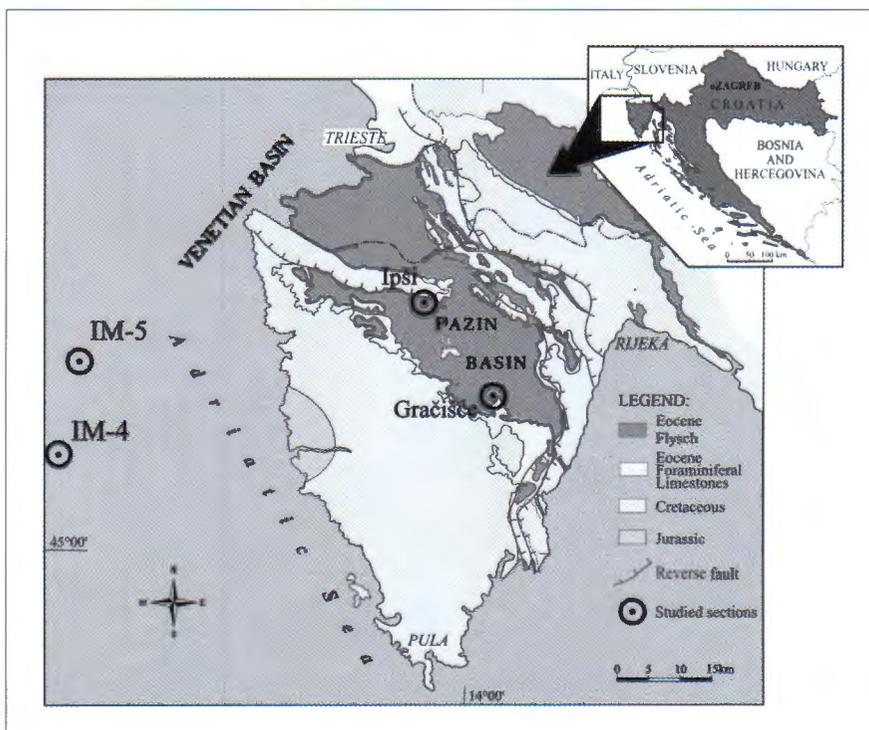
**Key words:** Planktonic foraminifera, Eocene, Paleoecology.

Composition and faunal characteristics of planktonic foraminiferal assemblages of the Middle to Late Eocene deep-sea sediments from deep exploration wells in the Venetian basin (northern Adriatic Sea) and from land outcrops within Pazin basin (Istria) have been compared. Open ocean Venetian basin and elongated Pazin foreland basin were separated by a narrow Istrian platform shelf. High diversity and equitability, and low dominance characterize planktonic foraminiferal associations from Venetian basin implying open ocean environment, whereas in the Pazin basin moderately high diversity and equitability, and low dominance are indicative for shelf-slope fauna.

During the Middle Eocene biozones P11–P13 muricate forms, subbotinids, globigerinathekids and turborotalids are the main constituents of the assemblages in both basins. Turborotalids are more abundant than globigerinathekids, while hantkeninids are rare. In P14 biozone in the Pazin basin small muricate forms, globigerinids and pseudohastigerinids are becoming more important than subbotinids and turborotalids. In the Venetian basin muricate forms, turborotalids and globigerinids are the most abundant constituents of the planktonic assemblage. At the Middle/Late

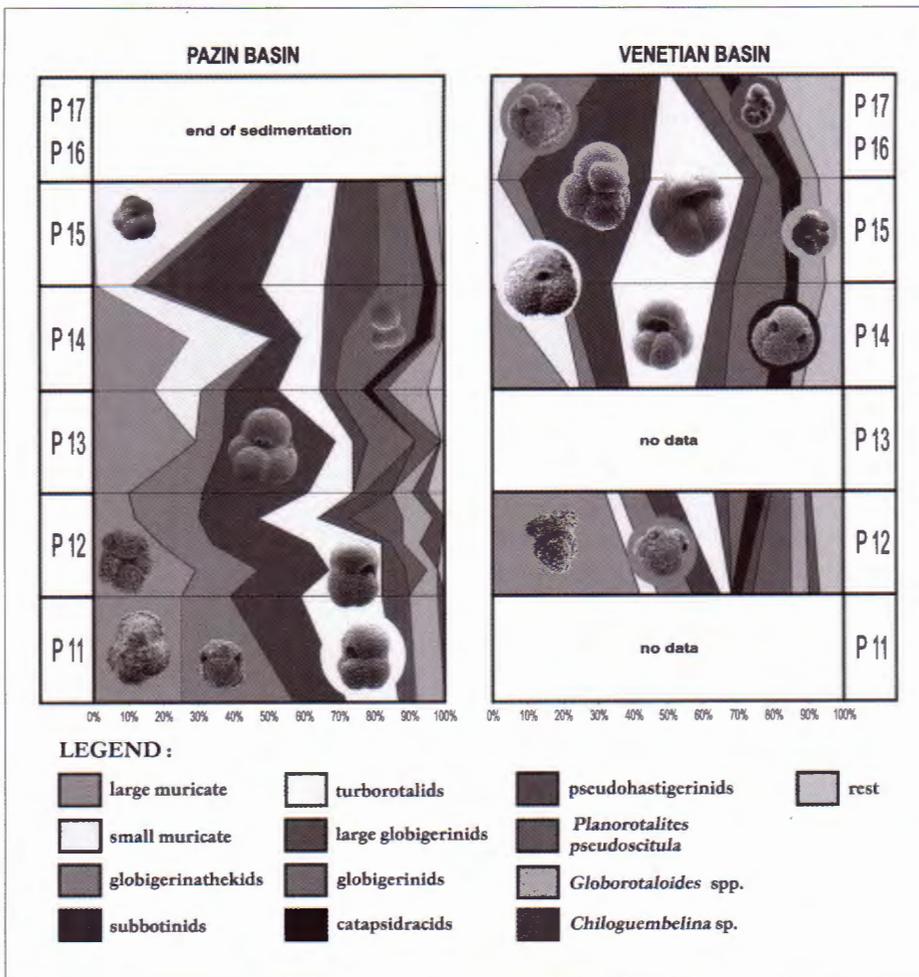
Eocene boundary large acarininids and morozovellids became extinct corresponding to global cooling and were replaced by subbotinids and turborotalids. In P15 biozone subbotinids, turborotalids, and large globigerinids show higher proportions in the Venetian basin than in the Pazin basin, where small muricate forms dominate the assemblage. Percentages of globigerinathekids decrease in the Pazin basin, whereas in the Venetian basin remained similar proportions. Shallowing of the sedimentary environment and finally ending of sedimentation have been documented during upper part of the P15 Zone in the Pazin basin. In the P16 biozone in the Venetian basin globigerinathekids are becoming more important whereas proportions of turborotalids and subbotinids decrease. Plankton/bentos ratio is very high in the Venetian basin during the whole Eocene period (up to 97%). On the other hand significant decrease of P/B ratio in P11 and P15 Zones in the Pazin basin is connected with evolution of this sedimentary area.

All these data suggest Mediterranean bioprovince with subtropical to warm-temperate climate for the whole investigated area. Differences between planktonic foraminiferal assemblages of the both basins imply influence of



Sl. 1 Pojednostavljena geološka karta (prema SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD, 1970) s položajem istraživanih geoloških stupova i istražnih bušotina.

Fig. 1 Simplified geological map (after SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD, 1970) showing localities of the sections and deep-exploration wells studied.



Sl. 2 Dijagrami koji pokazuju udjele važnih foraminiferskih grupa u Pazinskom i Venecijskom bazenu.

Fig. 2 Diagrams showing the percentages of the important foraminiferal groups in the Pazin basin and Venetian basin.

local ecological factors such as trophic resources, surface water temperature, as well as paleogeographical position and water circulation. In Venetian basin typical mid-latitude foraminiferal association dominated by acarininids, subbotinids and turborotalids indicate slightly lower water temperature, oligotrophic environment and open ocean circulation. However, the Pazin basin planktonic foraminiferal assemblages suggest warmer and well ventilated surface water as a result of good communication with open ocean water, that were favorable to distribution of symbionts bearing globigerinathekids and muricate taxa.

## References

- PREMEC FUČEK, V. (1995): Biostratigraphy of the Middle and Late Eocene in the Northern Adriatic offshore based on planktonic foraminifera (in Croatian, with English abstract).— Unpubl. MSc Thesis, University of Zagreb, 87 p.
- PREMEC-FUČEK, V., BABIĆ, Lj., BAJRAKTAREVIĆ, Z. & GUŠIĆ, I. (1998): Planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoecology of the Middle to Upper Eocene succession in the north Adriatic Sea.— *Dela-Opera SAZU* 4. Razr., 34/2, 255–271, Ljubljana.
- SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD (1970): Geološka karta SFRJ 1:500.000.— Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŽIVKOVIĆ, S. (2004): Smaller benthic foraminifera in the Eocene clastics of western Croatia: paleoecology of the sedimentary basin (in Croatian, with English summary).— Unpubl. PhD Thesis, University of Zagreb, 101 p.
- ŽIVKOVIĆ, S. & BABIĆ, Lj. (2003): Paleoceanographic implications of smaller benthic and planktonic foraminifera from the Eocene Pazin Basin (Coastal Dinarides, Croatia).— *Facies*, 49, 49–60.

## Prvi nalaz fosilne zmijače u donjem trijasu Hrvatske (Zmijavac, Gornji Muć)

### First Finding of the Fossil *Ophiuroidea* from the Early Triassic of Croatia (Zmijavac, Gornji Muć)

Nediljka Prlj-Šimić & Katarina Krizmanić

Hrvatski prirodoslovni muzej, Geološko-paleontološki odjel, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: katarina.krizmanic@geo-paleoz.htnet.hr

**Ključne riječi:** fosilna zmijača, amoniti, donji trijas, Zmijavac (Gornji Muć), Svilaja, Hrvatska.  
**Key words:** Fossil *Ophiuroidea*, Ammonoids, Lower Triassic, Zmijavac (Gornji Muć), Mt. Svilaja, Croatia.

U vapnenačko-laporovitom kompleksu naslaga donjeg trijasa uz potok Zmijavac u Gornjem Muću, na južnom obronku planine Svilaje, po prvi puta u Hrvatskoj pronađena je fosilna zmijača (sl. 1).

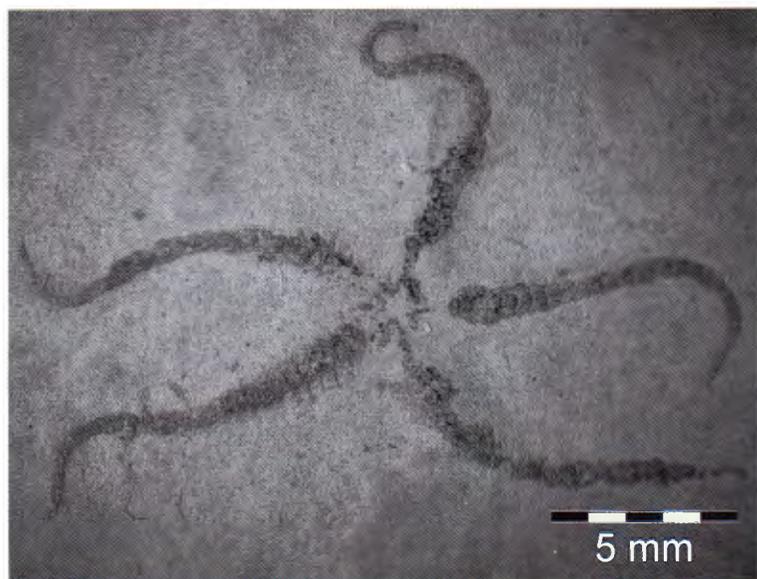
Lokalitet Gornji Muć već je više od stoljeća poznat u znanstvenome svijetu po izuzetno bogatoj fauni donjotrijaskih amonita (KITTL, 1903; KUMMEL, 1969; KRISTYN, 1974). Detaljnija geološka istraživanja donjeg trijasa u Muću obavljena su 1983. godine (HERAK et al., 1983; ŠČAVNIČAR & ŠUŠNJARA, 1983) u okviru Međunarodnoga geološkog korelacijskog programa (UNESCO-IUGS, projekt 4). Utvrđeno je da profil donjeg trijasa u Zmijavcu obuhvaća četiri neformalne litostratigrafske jedinice: permo-trijaski dolomitni vapnenci, smeđe-crvenkasti pješčenjačko-siltitni slojevi donjeg skita, sivi vapnenačko-laporoviti slojevi gornjeg skita, te kompleks stijena anizičkog dolomita. Tom je prigodom skupina autora (HERAK et al., 1983) predložila lokalitet Zmijavac u Gornjem Muću, zbog svojih litostratigrafskih i biostratigrafskih obilježja, za stratotip gornjeg skita područja zapadnog Tethysa. Ovaj prijedlog odnosi se upravo na vapnenačko-laporoviti slijed naslaga, koji je litološki dobro definiran, obilježen kontinuiranom sedimentacijom i izuzetno bogat fosilima. Posebice su brojni nalazi amonita, školjkaša, puževa, foraminifera i konodonta. Već je 1903. godine KITTL (1903) objavio opsežnu monografiju o do-

njotrijaskim amonitima Muća. Na temelju brojne i dobro očuvane amonitne faune načinjena je biostratigrafija, te je, nakon revizije, KRISTYN (1974) izdvojio dvije biostratigrafske zone karakterizirane vrstama *Tirolites cassianus* i *Tirolites carniolicus*.

Tijekom istraživanja donjotrijaskih naslaga Muća i prikupljanja amonitne faune, u gore spomenutom vapnenačko-laporovitom kompleksu gornjega skita pronađen je, iako bez većeg stratigrafskog značenja, vrlo rijedak i atraktivan primjerak fosilne zmijače. Primjerak je pronađen u žućkasto-sivom laporovitom vapnencu (Rock-Color Chart – 5 Y 7/2).

Na prvi pogled lijepo očuvanu zmijaču veličine oko 2 cm nažalost je nemoguće odrediti. Naime, trošenje je uzrokovalo nestanak skeletne supstance, naročito u području diska i proksimalnih dijelova krakova, koji su važni kriteriji pri odredbi fosilnih *Ophiuroidea*. Sačuvan je središnji, zvjezdasti dio diska promjera 1,5 mm, iz kojeg izlazi pet krakova. Nazire se segmentiranost krakova, ali točan broj (ima ih oko 30) i oblik segmenata teško je odrediti. Prosječna duljina kraka je 11,5 mm. Širina kraka u proksimalnom dijelu je 1 mm, a u distalnome 0,13 mm.

Činjenica da je zmijača uopće sačuvana ukazuje da se proces sedimentacije odvijao relativno brzo i u mirnoj sredini.



Sl. 1 Fosilna zmijača, gornji skit (donji trijas), Zmijavac, Gornji Muć, Hrvatska (foto: Morana HERNITZ-KUČENJAK).

Fig. 1 Fossil *Ophiuroidea*, Upper Scythian (Lower Triassic), Zmijavac, Gornji Muć, Croatia (photo: Morana HERNITZ-KUČENJAK).

S obzirom na sve navedeno teško je odrediti taksonomsku pripadnost fosilne zmijače, a problem postaje još izraženiji znajući da je, uslijed golemih problema u postojećoj sistematici *Ophiuroidea*, a posebice permo-trijaskih, nužna temeljita revizija gotovo svih rodova i familija.

### Literatura

- HERAK, M., ŠČAVNIČAR, B., ŠUŠNJARA, A., ĐURĐANOVIĆ, Ž., KRISTYN, L. & GRUBER, B. (1983): The Lower Triassic of Muć – Proposal for a standard section of the European Upper Scythian.– Österreich. Akad. Wiss., Schriftenreihe der Erdwiss. Kommissionen, Band 5, 93–106, Springer-Verlag, Wien–New York.
- KITTL, E. (1903): Die Cephalopoden der obener Werfener Schichten von Muć in Dalmatien sowie von anderen dalmatischen, bosnisch–herzegowinischen und alpinen Lokalitäten.– Abh. Geol. Reichsanst., 20, 77 str., Wien.
- KRISTYN, L. (1974): Die Tirolites-fauna (Ammonoidea) der untertriassischen Werfener Schichten Europas und ihre stratigraphische Bedeutung.– Sitzber. Österreich. Akademie Wiss., Mathem.- naturw. Kl., Abt. 1, 183/1–3, 29–50, Wien.
- KUMMEL, B. (1969): Ammonoids of the Late Scythian (Lower Triassic).– Bull. Mus. Comp. Zool., 137/3, 311–702, Cambridge (Mass.).
- ŠČAVNIČAR, B. & ŠUŠNJARA, A. (1983): The geologic column of the Lower Triassic at Muć (Southern Croatia) (Geološki stup donjeg trijasa kod Muća (južna Hrvatska)).– Acta geologica, 13/1 (Prir. istraž. Jugosl. akad. znan. umjetn. 47), 1–25, Zagreb.

## Sedimentary Architecture and Reservoir Properties of Middle Triassic Carbonates: Examples From the Syrian Well MRAH–2 (Core No. 3)

Nevenka Raškaj, Dubravka Djačanin, Zlata Ivaniček & Branko Sokolović

INA-Industrija nafte d.d., Sektor istraživanja i razvoja, Lovinčičeva bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: nevenka.raskaj@ina.hr

**Key words:** Nodular limestone, Anhydritization, Porosity, Middle Triassic, Syria.

Cored interval from the 2984–2993 m depth belongs to the lower part of the Kurrachine Dolomite formation. It consists of Middle Triassic Carbonates with patches of evaporite minerals. Common types of carbonates can be recognized in D1 subunit – nodular micrite (MS/WS), dolomicrite, and dolopelsparite to ooid dolopelsparite (PS/GS).

The analyzed interval is composed of 3 shallowing upward depositional units that pass from the shallow subtidal to the supratidal restricted marine environment. Subtidal sediments consist of nodular, mottled micrite, heavily stylolitized and burrowed, indicating deposition in a low energy environment. Intertidal and supratidal deposits mostly contain dolosparites/dolomicrites enriched in  $\text{CaCO}_3$  and with secondary evaporite minerals. Evidence of graded and cross bedding/lamination, ripple marks, intraclasts, peloids ooids and algal mats suggest a deposition under higher energy conditions. Secondary evaporite minerals within the underlying intertidal and subtidal sediments were mainly precipitated after leaching from the overlain deposits.

### Diagenesis

The following diagenetic processes have been recognized: early and late diagenetic dolomitization, anhydritization, recrystallization and stylolitization.

Late (secondary) dolomitization and anhydritization are often connected with the supratidal conditions. Circulation of hyper saline brines led the precipitation of dolomite, gypsum, anhydrite, and minor celestite within the voids (fractures, pore space) of the underlying sediments. Very often anhydrite is formed by dehydration of gypsum. Recrystallization of micrite/dolomicrite into microspar selectively occurred within the whole interval.

Stylolites and solution seams are abundant within the entire interval, but especially at nodular micrites. Knotted features i.e. “nodular” fabrics can be a result of depositional origin (TIŠLJAR, 2001). The late diagenetic processes such as compaction and pressure solution emphasized the nodular fabrics of limestone.

### Porosity and Reservoir characteristics

Reservoir characteristics of the analyzed interval show heterogeneous range of porosity and low values of permeability. Primary porosity (interparticle and fenestral) mostly occurred in the high-energy intertidal zone, between peloids, ooids, skeletal and algal relics. Secondary porosity is more evident. Vug, moldic and breccia porosity (collapse breccia) are developed as a result of dissolution of carbonates and evaporite minerals during the periodical subaerial exposure (MOORE, 2001). Some vugs (~10 mm) are partly replaced by coarse anhedral to subhedral dolomite and evaporite crystals.

Fracture porosity is developed within few generations of recognized fractures, which originated before pressure solution and are mostly cemented with calcite. The new fractures (after stylolitization) are empty or partly filled with dolomite, gypsum and anhydrite.

Stylolite porosity is presented due to incompletely filling of seams, and afterwards late diagenetic processes.

Intercrystal porosity is well developed. It occurs in the supratidal through shallow subtidal deposits as result of late diagenetic dolomitization of carbonate mud matrix.

Interval of nodular limestones, from 2993.0–2988.6 m, shows extremely low matrix porosity and permeability. Porosity increased in dolomite interval 2988.6–2993.0 m with hydrocarbons traces, and ranges approximately 6–14%. Permeability ranges  $\leq 0.05$ –37.0 mD. Low permeability is a result of the secondary cementation of fractures and poor interconnection of large pores and vugs through the matrix.

### References

- MOORE, C.H. (2001): Carbonate Reservoirs.– Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 338 p.
- TIŠLJAR, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 375 p.



## Mogućnosti geološkog odlaganja otpada iz naftnog rudarstva u hrvatskom dijelu Panonskog bazena

### Possibilities for Geological Sequestration of Waste from Petroleum Engineering in Croatian part of the Pannonian Basin

Bruno Saftić & Josipa Velić

*Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: bsaft@rgn.hr*

**Ključne riječi:** "geo-prostor", tehnološki otpad, podzemno odlaganje, miocenski sedimenti, Panonski bazen, Hrvatska.

**Key words:** "Geo-space", Technological waste, Underground disposal, Miocene sediments, Pannonian Basin, Croatia.

U posljednjih 30 godina sve veći dio Zemljine površine izložen je nagomilavanju raznih vrsta otpada koji se vrlo sporo razgrađuju i potencijalno su opasni izvori širenja onečišćenja. Rast populacije i industrijski razvoj nisu procesi koje bi se moglo usporiti, a resursi i prostor na planetu su nepromjenljivi. Nameće se stoga potreba ne samo za boljim planiranjem korištenja izvora vode, hrane i sirovina, nego i za racionalnijim gospodarenjem prostorom. Jedan od tehnoloških odgovora na ove probleme je u "geo-prostoru", pod čim se misli na alternativne načine upotrebe postojećih ili novih podzemnih prostora i instalacija. Određena istraživanja u tom smislu već postoje, a i industrijska praksa, prvenstveno u državama koje su proizvođaice najveći dio industrijskog i opasnog otpada. Rezultati su bili tajni i tek su nedavno opsežnije objavljeni (APPS & TSANG, 1996; RYBAL'CHENKO, 1998).

Za bilo koju vrstu zbrinjavanja pogodna su one količine otpada koje se mogu prikupiti na koncentriranim izvorima, znači da se prvenstveno radi o industrijskom otpadu. U Hrvatskoj je naftna industrija jedna od najrazvijenijih grana, a jedan njezin dio – naftno rudarstvo stvara značajne količine otpada koje su pogodna za zbrinjavanje utiskivanjem u podzemlje. Zašto? Zato što je najveći dio otpada iz naftnog rudarstva tekući i potječe iz podzemlja. Riječ je prvenstveno o slojnoj vodi iscrpljenoj zajedno s ugljikovodicima, zatim o isplaci korištenoj u izradi bušotina ili tijekom remontnih radova, te o manjim količinama raznovrsnih aditiva za obradu stijena na kontaktu između proizvodnog sloja i kanala bušotine. Prema postojećim propisima, u svakoj županiji u kojoj postoji naftnorudarska aktivnost INA je dužna pripremiti jednu od dubokih bušotina za utiskivanje tako stvorenog otpada. U tom su smislu tijekom protekle dvije godine rađena multidisciplinarna istraživanja u sklopu izrade studija utjecaja na okoliš za nekoliko županija – Zagrebačku, Sisačko-moslavačku, Virovitičko-podravsku i Vukovarsko-srijemsku.

Geološki segment ovih radova trebao je dati odgovore o pogodnosti predloženih bušotina i intervala za utiskivanje s obzirom na hidrogeološke odnose, aktivne rasjede te geološki sastav i građu ležišta. Zbog relativno malog

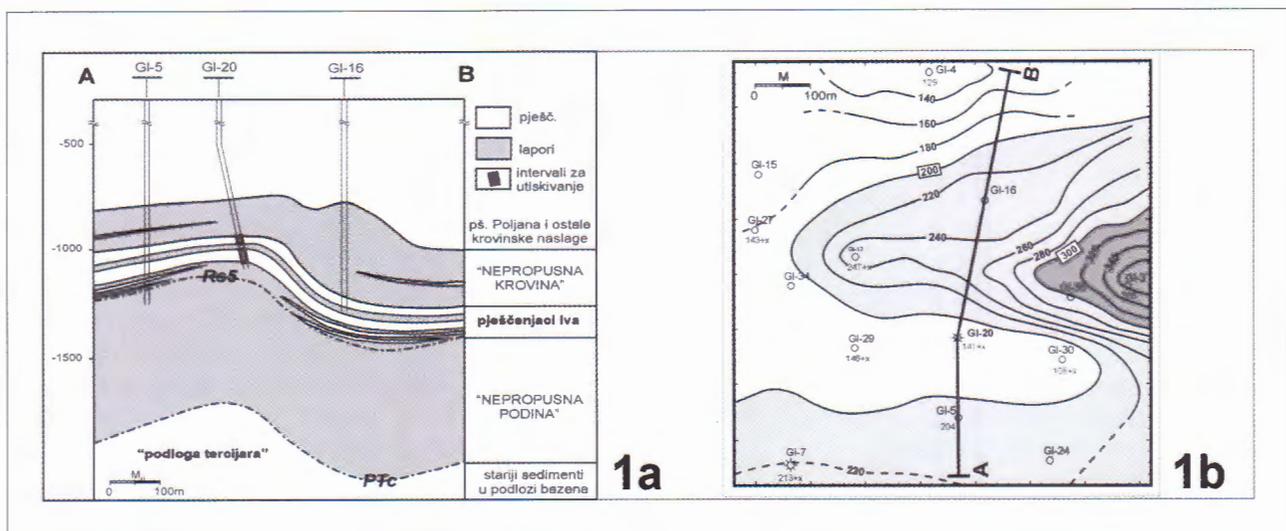
volumena tvari koje se planira utisnuti u odnosu na ukupni porini volumen odabranog sloja, najvažnijim se smatra dubinskogeološka građa ležišta koja uključuje prostorni raspored kolektorskih svojstava, nepropusnost krovinskih i podinskih izolatorskih slojeva i metode kojima se to može ustanoviti. Ukupno je obrađeno pet bušotina, a pregled rezultata nalazi se u tablici 1. Većina ispitanih intervala su slojevi sitno- do srednjozrnatih gornjomiocenskih pješčenjaka koji su kolektorske stijene najvećeg broja otkrivenih ležišta ugljikovodika u hrvatskom dijelu Panonskog bazena. Ti se slojevi smatraju pogodnim za utiskivanje iz više razloga: (1) imaju međuzrnstu šupljikavost i presječeni su manjim brojem pukotina i rasjeda tako da se može predviđati transport utisnutih fluida u podzemlju, (2) slojevi se pouzdano mogu korelirati na temelju bušotinskih podataka, (3) u pravilu i u krovini i u podini imaju nepropusne stijene kojima se može odrediti debljina sigurna za utiskivanje (>100 m smatra se dovoljnim). Donekle je nepogodno to što ovi slojevi nisu tako jako propusni jer su često proslojeni siltovitim laporima, tako da je efektivna debljina znatno manja od onih iskazanih u tablici. To znači da je interval za utiskivanje potrebno vrlo pažljivo locirati, a i planirana brzina utiskivanja ne smije biti prevelika kako ne bi došlo do sloma stijena u dubini. Na dvije lokacije testirani su i badenski brečokonglomerati (Đeletovci), te donjo- i srednjomiocenski bazalt-andezit (Pčelić). U oba slučaja intervali se smatraju nepovoljnim jer se ne može definirati nepropusne stijene u podini, ili čak i u krovini ovih formacija, a da i ne spominjemo prostorni raspored propusnosti.

Na primjeru polja Dugo Selo (sl. 1a, b) može se vidjeti kako se jedno iscrpljeno naftno ležište može s velikim stupnjem sigurnosti iskoristiti za podzemno odlaganje otpadnih fluida. Građa, svojstva i volumen ležišta su već definirani, a tako i nepropusne stijene u krovini i u podini. Lokacija bušotine na tjemenu antiklinale, zalijeganje ispod 1000 m i 9 okolnih bušotina za kontrolu migracije utisnutih fluida jamstvo su sigurnosti ove lokacije s obzirom na dubinskogeološke okolnosti.

Polje	Dugo Selo	Žutica	Đeletovci	Bokšić	–
<b>Bušotina</b>	Glavničica–20	Žutica–100	Đeletovci–44	Bokšić–9	Pčelić–1AL
<b>Relativna dubina sloja (m)</b>	1115–1247	1539–1625	1380–1450	1475–1494	1) 2002–2065 2) 4642–4716
<b>Litološki sastav</b>	sitnozrnati pješčenjaci	pješčenjaci	brečokongl. i pješčenjaci	sitnozrnati pješčenjaci	1) sitn. pješč. 2) efuz. stij.
<b>Litostratigrafska jedinica</b>	pš. Iva fm. Ivanić-Grad	pš. Bregi fm. Kloštar Ivanić	Vukovarska fm.	Osječki pš. Vukovarske fm.	Vukovarska fm.
<b>Starost</b>	g. panon	d. pont	baden	d. pont	1) d. pont 2) d. miocen
<b>Šupljikavost</b>	22–25%	25%	4–18%	21–28%	1) 15% 2) 9%
<b>Ukupna debljina sloja ili slojeva za utiskivanje (m)</b>	180–200	90–120	70–100 (?)	19	1) 63 2) 74
<b>Debljina nepropusne krovine (m)</b>	157	113	71	< 10 do 250	1) 4(!) 2) ?
<b>Debljina nepropusne podine (m)</b>	cca 600	175	?	?	1) 26 (?) 2) nema
<b>Kontrolne bušotine</b>	9 (300 m)	4 (700 m)	1 (200 m sjev.)	2 (1 km)	nema
<b>Strukturni položaj</b>	tjeme	kriilo antiklinale	kriilo antiklinale	os izdužene	strukturni
<b>utisne bušotine</b>	brahiantiklinale	(rub polja)	(rub polja)	antiklinale	nos
<b>Sloj</b>	iscrpljeno naftno ležište	zasićen vodom	zasićen vodom	zasićen vodom	zasićen vodom

Tablica 1 Osnovne značajke istraženih ležišta.

Table 1 Principal characteristics of investigated reservoirs.



Sl. 1 Naftno polje Dugo Selo: a – shematski profil, b – ukupna debljina formacije za utiskivanje.

Fig. 1 Dugo Selo oil field: a – schematic cross-section, b – gross pay map of injection interval.

### Literatura

APPS, J.A. & TSANG, C-F. (ur.) (1996): Deep injection disposal of hazardous and industrial waste: scientific and engineering aspects.– Academic Press Inc., San Diego, California, USA, 775 str.

RYBAL'CHENKO, A.I. (1998): Deep injection disposal of liquid radioactive waste in Russia.– U: FOLEY, M.G. & BALLOU, L.M.G. (ur.). Batelle Press, Columbus, Ohio, USA, 206 p.

## New Technique in Attribute Analysis on Bačkovica Gas Field

Željka Sladović, Igor Futivić & Tanja Durn

INA-Oil Industry Plc. (Naftaplín), Development Division, Geologic Reservoir Development Department, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: zeljka.sladovic@ina.hr

**Key words:** Seismic interpretation, Seismic attribute analysis, Multiattribute, Petrophysical parameters.

### 1. Introduction

The Bačkovica Field was discovered in 1997 with Bačkovica-1 (Bac-1) well based on bright-spot effect observed on 2D seismic lines. For the purpose of further exploration of the area 3D seismic was recorded and interpreted (1999). According to high amplitude response two new wells Bac-1Z and Bac-2 were drilled (2000) but without gas accumulation.

The aim of 3D seismic re-interpretation was new structural-tectonic solution and seismic attributes analysis, which provide detail characterization of reservoir.

Two gas horizons were interpreted: Top of Bregi sandstones and Top of Pepelana sandstones. Structure is brachianticline with four structural highs divided by normal faults (Fig. 1). All faults are NE-SW oriented. Gas-water contact is on -740 m in Bregi sandstones and on -840 m in Pepelana sandstones.

### 2. Methods and goal

Scope of this work is gas potential determination with new approach in seismic attribute analysis. The important application of 3D seismic data, especially in development phase is inner characterization of reservoir based on attribute analyses. In reservoirs with gas accumulation we do have change of seismic wavelet in time domain (amplitudes) and frequency domain (frequency and phase). The variations in amplitude are common used, but the reliability of this approach is not satisfied from gas accumulation, better porosity, and lower water saturation point of view. For the interval of Bregi sandstones of area Bačkovica, amplitudes, frequency and phase were extracted from 3D seismic cube. Multiattribute was created, which provide better information about reservoir properties. Multiattribute is quotient of normalized amplitude and frequency and their product with phase. This attribute specially delineates

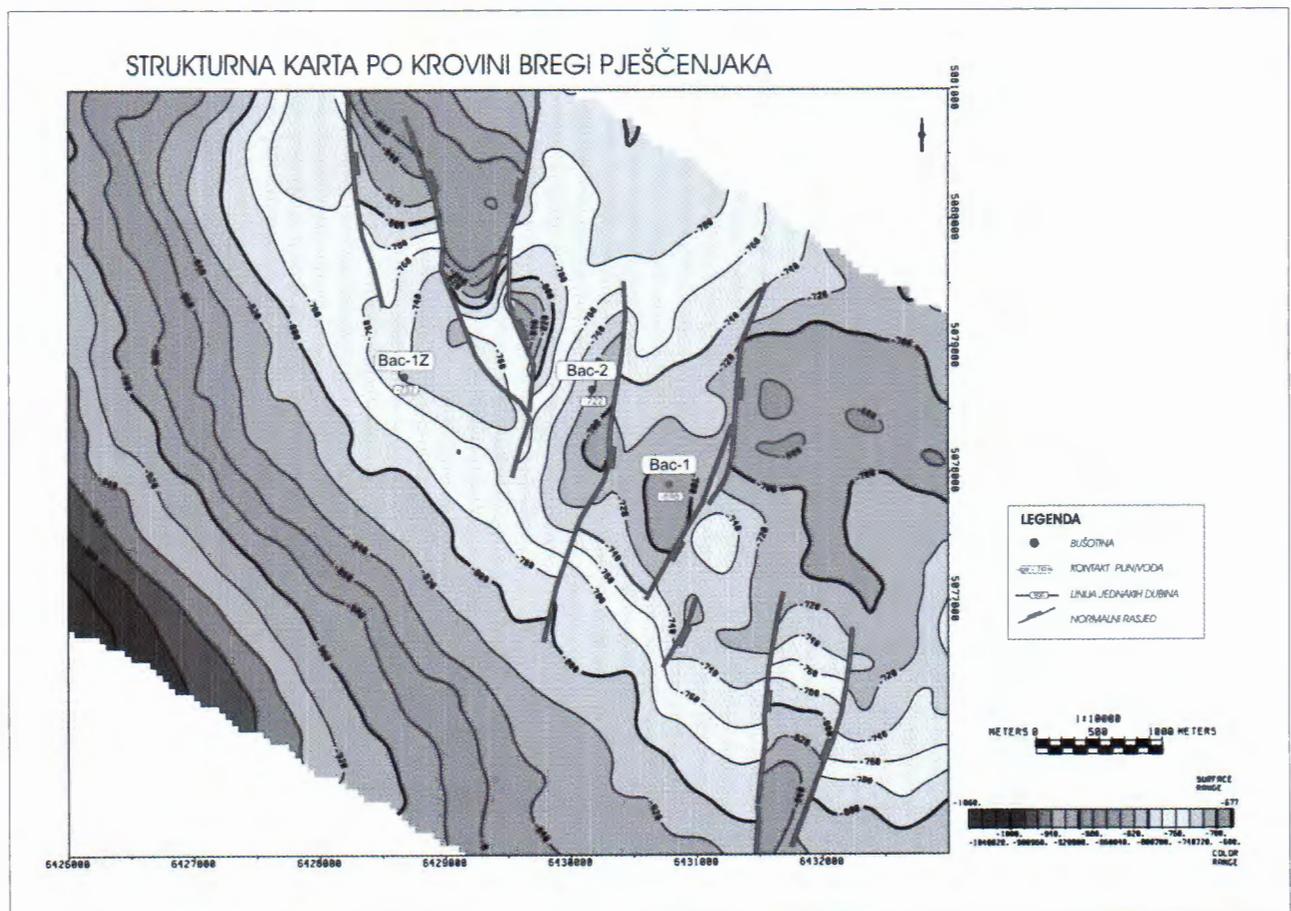


Fig. 1 Top of Bregi sandstones.

gas accumulation. Visualization of that attributes provide easily recognition of the area with better reservoir properties (Fig. 2).

Multiattribute shows channel geometry with typical meanders and characteristic channel sand deposits (Fig. 3). Bac-1Z is in the middle of the channel witch is shaley, while Bac-1 is on the out part with sand deposits.

### 3. Conclusion

- 1) Multiattribute provide the best information about reservoir properties.
- 2) The areas with higher gas accumulation were detected (Bačkovica East, Bačkovica South).
- 3) OGIP of these areas were calculated using Monte Carlo method.

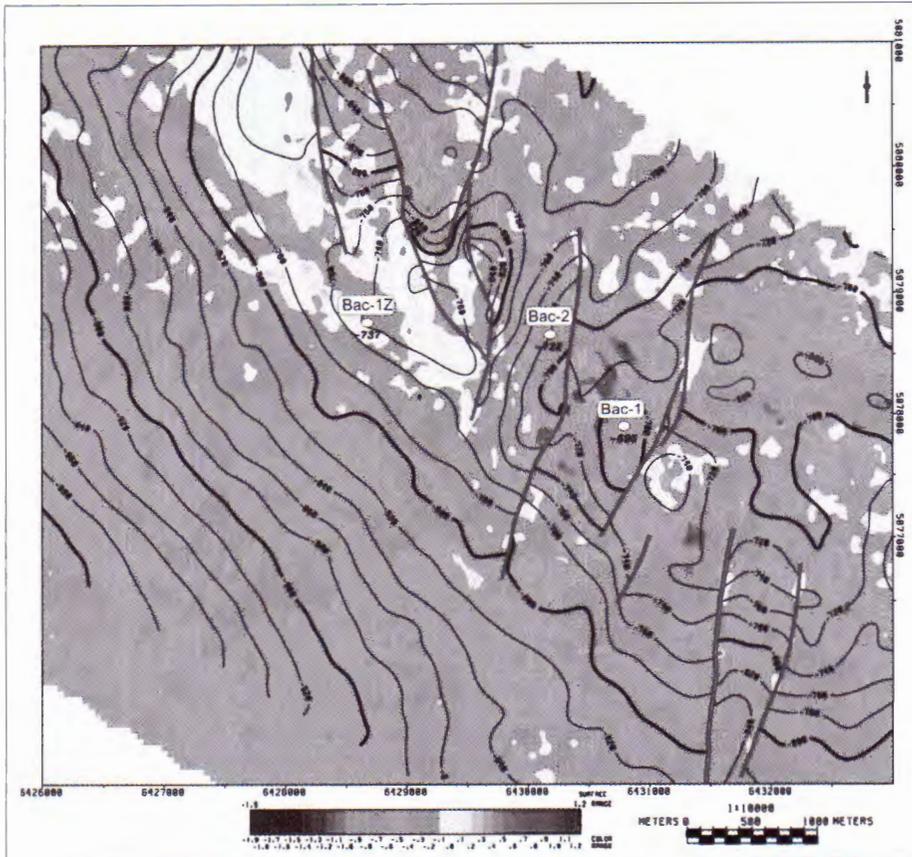


Fig. 2 Top of Bregi sandstones with ratio of amplitude, frequency and phase.

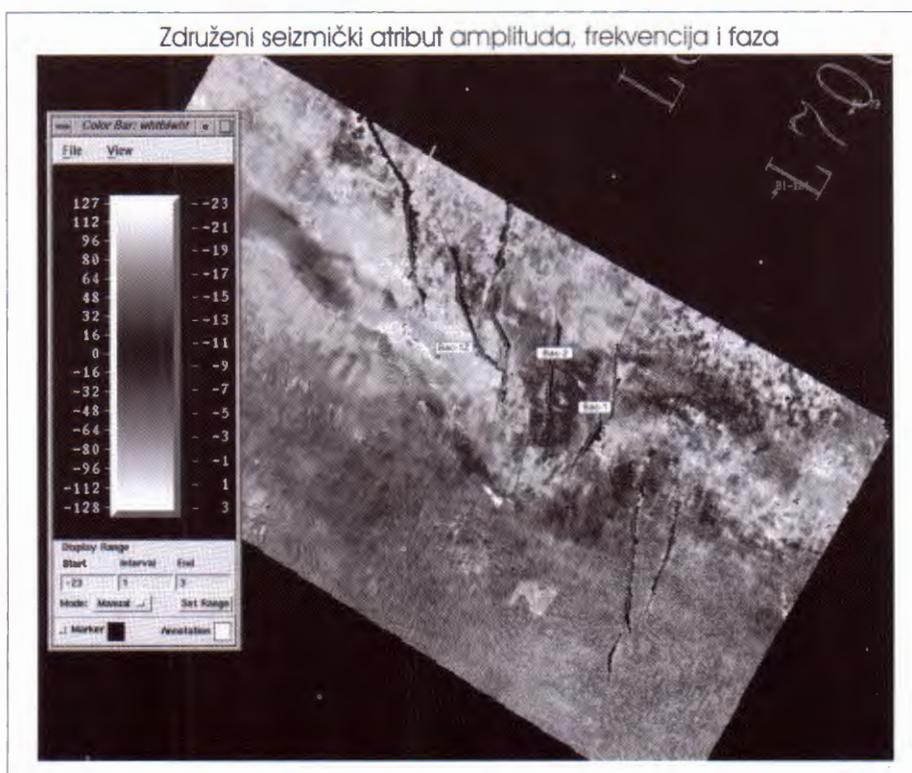


Fig. 3 Multiattribute of amplitude, frequency and phase.

## Osobitosti građe kućica eocenskih planktonskih foraminifera snimljenih skanirajućim elektronskim mikroskopom (SEM)

### Wall Textural Elements of the Eocene Planktonic Foraminifera Examined Under the Scanning Electron Microscope (SEM)

Renata Slavković, Vlasta Premec Fuček & Morana Hernitz Kučenjak

INA-Industrija nafte d.d., Sektor istraživanja i razvoja, Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: renata.slavkovic@ina.hr

**Ključne riječi:** planktonske foraminifere, građa stijenke, eocen, skanirajući elektronski mikroskop.  
**Key words:** Planktonic foraminifera, Wall texture, Eocene, Scanning electron microscope (SEM).

Kalcitne kućice planktonskih foraminifera predstavljaju jedan od najpotpunijih zapisa o ekološkim uvjetima nekadašnjih mora i oceana. Rana istraživanja kućica foraminifera vršena su pod svjetlosnim mikroskopima, a taksonomija se zasnivala na vanjskoj morfologiji kućica, odnosno modelu namatanja, obliku i rasporedu klijetaka, položaju ušća i sl. Razvojem skanirajućeg elektronskog mikroskopa (SEM) moguće je promatranje ultrastrukture stijenke i svih detalja na kućici.

Na temelju strukturnih obilježja stijenke bilo je moguće klasificirati pojedine taksone u prirodne skupine koje su posljedica evolucije i njihovih filogenetskih odnosa. Takva sistematika najbliža je tzv. prirodnoj klasifikaciji (PEARSON, 1993).

#### Razvoj paleogenskih planktonskih foraminifera

Nakon dramatičnih događaja na granici kreda/tercijar, kada izumire većina planktonskih foraminifera, u donjem paleocenu dolazi do temeljnih promjena u strukturi stijenke kao odgovor i prilagodba na nove uvjete tadašnjih mora i oceana. Promjene u strukturi stijenke prije svega odražavaju i drugačiju biološku aktivnost (OLSSON et al., 1999). Osnovna podjela je na mikroperforatne (promjer pora <1 μm) – razvile su se iz *Guembelitra cretacea*, i normalno perforirane (promjer pora 2–7 μm). U najdonjem paleocenu trohospiralni i biserijalni mikroperforirani taksoni razvili su se od triserijalnih oblika, ali struktura stijenke nije se bitno promijenila. Kod vrsta s normalnom perforacijom stijenke događaju se dramatične promjene. Razvili su se oblici koji posjeduju strukturu stijenke u obliku šesterokuta, poput pčelinjih saća, što je jedno od najvažnijih razlikovnih obilježja za planktonske foraminifere kenozoika. Tijekom paleocena javljaju se vrste sa saćastom stijenkom koja posjeduju spine ili tanke kalcitne bodlje. Ovo novo morfološko obilježje stijenke ukazuje da je biološka aktivnost planktonskih vrsta, koje posjeduju ovu strukturu, značajno različita od aktivnosti krednih vrsta koje nisu imale ovako razvijenu stijenku (HEMLEBEN et al., 1991; OLSSON et al., 1999). Druga, jednako značajna promjena u strukturi stijenke, bio je razvoj pseudospinozne ili murikatne stijenke.

Izotopnim analizama iz kojih su izvedene paleotemperature kalcifikacije kućica dokazano je da većina spinoznih i murikatnih vrsta nastanjuju površinski sloj mora i da posjeduju simbiote (PEARSON et al., 1993).

#### Tipovi strukture stijenke eocenskih planktonskih foraminifera

**1) Spinozna struktura.** Pojava spinoznih vrsta ukazala je na novu grupu planktonskih foraminifera koje su se nametnule u ekološkoj niši karnivora (OLSSON et al., 1999). Ovi mikroorganizmi bili su vrlo uspješni u hvatanju hrane pomoću dugih kalcitnih spina koje su ujedno podržavale izdužene dijelove citoplazme (rizopode). Spinozne vrste obično udomljuju simbiote i nastanjuju područje fotičke zone. U bušotinama sjevernog Jadrana pronađeni su izvanredno dobro sačuvani primjerci roda *Globigerinatheka* sa spinama, što je doista rijetkost za eocenske mikrofosile. Ostaci spina nađeni su i kod roda *Subbotina*. Spine su obično sačuvane ispod zadnje najveće klijetke. Većina spinoznih rodova imaju saćastu strukturu stijenki, kao npr. *Subbotina*, *Catapsydrax*, *Dentoglobigerina* i dr., dok rijetki, kao rod *Hantkenina*, imaju glatku stijenku sa spinama samo u ranom ontogenetskom stadiju.

**2) Nespinozna struktura.** Nespinozne foraminifere se razlikuju po dva osnovna tipa strukture stijenke – glatka stijenka i saćasta stijenka. Kod nespinoznih planktonskih foraminifera s glatkim tipom stijenke, ornamentacija u obliku čvorića obično je slabo razvijena ili eventualno malo jače, kao što je slučaj kod roda *Turborotalia* te kod recentnih globorotalija. S druge strane, jaka ornamentacija stijenke u obliku čvorića ili murica razvijena u paleocenu vodi prema "murikatnoj strukturi", što je karakteristično za eocenske rodove *Acarinina* i *Morozovella*. Saćasta tekstura razvija se lateralnim rastom malih murica u glatke grebene (hrptove) na kojima mogu nastati i dodatne murice. Ova tekstura zamijećena je kod recentne vrste *Neoglobobadrine dutertrei*.

**Glatka stijenka.** Globorotaloidne planktonske foraminifere karakterizira glatka nespinozna stijenka s više ili manje nepravilno raspoređenim čvorićima. Ti čvorići ili murice brojčano rastu za vrijeme ontogenije, pružajući na taj način uporišne točke za rizopode. Njihova učestalost varira od vrste do vrste. Prostor između murica je obično gladak ili lagano reljefan. Eocenski rodovi koji pripadaju ovoj grupi su *Pseudohastigerina* i *Planorotalites*, a od današnjih *Globorotalia hirsuta*, *G. menardii*, *G. truncatulinoides* i neke druge.

**Murikatna struktura.** Razvoj stijenke kod vrsta koje imaju murice (čvoriće ili pustule), različit je od onog koji

imaju spinozne vrste. Murice su slojevite strukture koje se formiraju za vrijeme ontogenije kao dio stijenske, što je različito od spina koje su izduženi pojedinačni kristali izrasli na stijenci kućice. Ovakva ornamentacija vrlo rijetko izraste na stijenci spinoznih planktonskih foraminifera. Na temelju ove osobite strukture stijenske, koja je svoj razvoj započela još u paleocenu, omogućena je klasifikacija vrsta u filogenetske nizove. Eocenski rodovi koji imaju ovakvu strukturu stijenci su *Acarinina*, *Morozovella* i *Igorina*.

**3) Mikroperforirana struktura.** U ovu grupu ubrajaju se sićušni oblici s fino perforiranom stijenkama na kojoj su nepravilno raspoređene pore manje od 1  $\mu\text{m}$  u promjeru kao kod rodova *Tenuitella* i *Tenuitellinata*.

### Dijagenetske promjene

Brojni čimbenici u morima i oceanima, kao što su otapanja u površinskim slojevima, utjecaj bakterija, efekt lizokline, te kompenzacijska dubina karbonata, utječu na očuvanost kućica foraminifera. Tijekom zatrpavanja i kompakcije sedimentata, kućice su izložene daljnjem uništenju slojevite strukture stijenske i rekristalizaciji. Izostanak pojedinih vrsta može biti zbog njihove veće osjetljivosti na otapanje, što zapravo vodi do gubitka informacija. Finije rekristalizacije i promjene na stijenci obično se uočavaju tek pod elektronskim mikroskopom. Posebno je važna očuvanost kućica planktonskih foraminifera kod izotopnih analiza koje nam daju dragocjene podatke o paleoceanografskim i paleoklimatološkim uvjetima pojedinih geoloških razdoblja, te kod velikog broja drugih analitičkih postupaka. Obzirom na spomenute utjecaje, rijetko se nalaze dobro očuvane kućice planktonskih foraminifera kao što je slučaj u eocenskim sedimentima u pojedinim bušotinama sjevernog Jadrana. Strukturne karakteristike još uvijek prozirnih kućica sačuvane su do u najsitnije detalje kao što su spine, pojedini slojevi stijenske, pore i mikropore i sl. Stijenska uglavnom nije rekristalizirana, što je osim proučavanja morfologije kućice, omogućilo detaljno biostratigrafsko zoniiranje, a analize stabilnih izotopa ugljika i kisika dale su do sada najtočnije rezultate o prosječnoj temperaturi mora (20–24°C) u eocenskoj zoni P14 (PEARSON et al., 2001). Planktonske foraminifere za svog života izlučuju kalcitnu kućicu, ugrađuju u nju i stabilne izotope u omjerima koji

se nalaze u morskoj vodi koja ih okružuje. Mjereći te omjere mogu se dobiti podaci o temperaturi i dubini stupca vode na kojoj je određena vrsta živjela. Istraživane naslage pripadaju pelagičkim i hemipelagičkim dubokovodnim sedimentima jugoistočnog dijela Venecijanskog bazena (PREMEC-FUČEK et al., 1995). Tajna očuvanosti ovih mikrofosila, koji su ujedno i veoma vrijedne provodne vrste, je u sastavu sedimentata iz kojih su izdvojeni. To su pretežno glinovito-laporoviti sedimenti taloženi distalno od obale, gotovo nepropusni za slojne fluide, tako da su onemogućili bilo kakva otapanja ili rekristalizacije kalcitnih ljušturica. Pod elektronskim mikroskopom analizirani su i prikazani svi detalji stijenci koji su pored ostalih nalaza u svijetu pridonijeli klasifikaciji i filogeniji eocenskih planktonskih foraminifera.

### Literatura

- HEMLEBEN, Ch., SPINDLER, M. & ANDERSON, O.R. (1989): Modern Planktonic Foraminifera.– Springer, New York, 363 str.
- HEMLEBEN, Ch., MUHLEN, D., OLSSON, R.K. & BERGGREN, W.B. (1991): Surface texture and the first occurrence of spines in planktonic foraminifera from Early Tertiary.– *Geologisches Jahrbuch*, 128, 117–146.
- OLSSON, R.K., HEMLEBEN, Ch., BERGGREN, W.A. & HUBER, B.T. (1999): Atlas of Paleocene Planktonic Foraminifera.– *Smithsonian Contribution to Paleobiology*, 85, 252 str., Washington, D.C.
- PEARSON, P.N., SHACKLETON, N.J. & HALL, M. (1993): Stable isotope paleoecology of middle Eocene planktonic foraminifera and multispecies isotope stratigraphy, DSDP Site 523, South Atlantic.– *Journal of Foraminiferal Research*, 23, 123–140.
- PEARSON, P.N., DITCHFIELD, P.W., SINGANO, J., HARCOURT-BROWN, K.G., NICHOLAS, Ch.J., OLSSON, R.K., SHACKLETON, N.J. & HALL, M.A. (2001): Warm tropical sea surface temperatures in the Late Cretaceous and Eocene epochs.– *Nature*, 413.
- PREMEC FUČEK, V., BABIĆ, Lj., BAJRAKTAREVIĆ, Z. & GUŠIĆ, I. (1998): Planktonic foraminiferal biostratigraphy and paleoecology of the Middle to Upper Eocene succession in the North Adriatic Sea.– *Dela-Opera SAZU*, 34/2, 255–271, Ljubljana.

## Pumpellyiti u mafitnim ekstruzivnim stijenama iz ofiolitnog melanža Medvednice (Hrvatska)

### Pumpellyite in the Extrusive Mafic Rocks from the Ophiolite Mélange of the Medvednica Mt. (Croatia)

Damir Slovenec<sup>1</sup> & Boško Lugović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; dslovenec@igi.hr

<sup>2</sup>Zavod za mineralogiju, petrologiju i mineralne sirovine, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

**Ključne riječi:** Medvednica, pumpellyit, ofiolitni mafitni ekstruzivi, hidrotermalna alteracija, oceansko dno.  
**Key words:** Medvednica Mt., Pumpellyite, Ophiolitic mafic extrusives, Hydrothermal alteration, Ocean floor.

Medvednica je smještena na završnom jugozapadnom dijelu Zagorje-srednjotransdanubijske smične zone i predstavlja područje gdje se u melanžu nalaze krajnji sjeverozapadni izdanci ofiolitnih stijena dinaridske provenijencije. Za ofiolitni melanž smatra se da pripada Sava segmentu Vardarske ofiolitne zone (PAMIĆ, 2002). Po svojoj litološkoj građi kao i veličini fragmenata ofiolitni melanž Medvednice je kaotičan sedimentno–magmatski kompleks. Izgrađen je od fragmenata mezozojske oceanske kore, čija je starost paleontološki i izotopno dokazana kao gornjotrijaska, srednjokredna i gornjokredna, u zajednici sa sinsedimentacijskim pješčenjacima, rožnjacima i siliciklastičnim stijenama trijasko i jurske starosti, kao i fragmentima vapnenaca i klastičnih stijena alb–cenomanske starosti, te senonskih breča koje predstavljaju najmlađe uključene fragmente. Ova jedinica je ranije interpretirana kao tektonski ofiolitni melanž gornjokredno–paleogenske starosti (PAMIĆ & TOMLJENIĆ, 1998). Fragmenti navedenih stijena raznorodnih s obzirom na starost i tektonski okoliš postanka uklopljeni su u pelitni (šejljni) do siltozni matriks čija je starost palinološki datirana u rasponu od donje jure do bajocija s gornjom granicom formiranja ofiolitnog melanža Medvednice postavljenoj u otriv (BABIĆ et al., 2002). Posljedično, svi fragmenti u olistostromnom melanžu mlađi od otriva interpretirani su kao fault-bounded inkluzije.

Fragmenti mafitnih vulkanskih stijena pripadaju toleilitnim bazaltima u značajnoj mjeri izmijenjenim u spilite. Najkrupnija koherentna cjelina vulkanskih stijena pojavljuje se u formi kilometarskog megabloka s jasnim višefaznim submarinskim izljevima, mjestimično obilježenim izrazitom pojavom jastučastih (pillow) lava.

Kora jastučaste lave, debljine od 0,5 do 1,0 cm, izgrađena je od vezikularnog vulkanskog stakla koje je devitificirano u različitoj mjeri. Unutar devitificirane osnove pumpellyit je identificiran metodom rendgenske difrakcije uz klorit, prehnit, titanit i kvarc. Nalazi se u formi igličastog ili češće sitnozrnatog agregata plavozelene boje, izraženog pleokroizma i živih interferencijskih boja. Stvaranje pumpellyita u kori jastučastih lava rezultat je devitifikacije stakla tijekom hidrotermalne aktivnosti na oceanskom dnu, na što upućuju relikti vulkanskog stakla. Osim u lavama, pumpellyit je utvrđen rentgenskom difrakcijom i u decimetarskim do dekametarskim dajkovima dolerita utisnutim u glavno vulkansko tijelo Medvednice. U jednom takvom

doleritu kvantitativni kemijski sastav pumpellyita analiziran je elektronskom mikroskopom.

Strukturne kemijske formule pumpellyita izračunate su na bazi osam kationa uz ukupno Fe izraženo kao FeO, odnosno Fe<sup>2+</sup> (Tablica 1). Izračun omjera Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup> uz fiksni broj atoma kisika u analiziranim pumpellyitima nije proveden jer uzorci pumpellyita imaju vrlo promjenjivu vrijednost omjera OH/O (DEER et al., 1997). Karakteristično obilježje analiziranih pumpellyita iz dolerita je dobra negativna korelacija sadržaja Al i Mg s Fe<sub>ukupno</sub>. Sadržaj MgO je nizak, a raste s porastom udjela tog elementa u matičnoj stijeni. Na temelju odnosa elemenata u trokomponentnom dijagramu Fe<sub>ukupno</sub>–Mg–Al analizirani pumpellyiti odgovaraju tipu s visokim udjelom Al karakterističnom za pumpellyite nastale iz plagioklasa tijekom hidrotermalnih procesa (ALLDAHAN, 1989; ISHIZUKA, 1991). Glavni izvor Al za tvorbu pumpellyita bili su bazični plagioklasi pri izmjeni u albit. Analizirani pumpellyiti s manjim udjelom Al nastali su izmjenom iz klinopiroksena i nalaze se u trokomponentnom dijagramu Fe<sub>ukupno</sub>–Mg–Al unutar klasičnog polja Fe-pumpellyita.

Prisustvo pumpellyita kao sporednog sadržaja u jastučastim lavama i akcesornog minerala u doleritnim dajkovi-

Uzorak broj	17	18	18
Vrsta stijene	Krupnozrnati dolerit	Albitni dolerit	Albitni dolerit
Si	3,064	3,021	3,016
Al	2,363	1,940	2,019
Ti	0,003	0,050	0,004
Cr	0,000	0,001	0,001
Fe <sup>2+</sup>	0,306	0,838	0,721
Mn	0,012	0,003	0,009
Mg	0,289	0,214	0,271
Ca	1,952	1,970	1,952
Na	0,006	0,008	0,008
K	0,004	0,000	0,000
Σ R	7,999	8,000	8,001

Tablica 1 Strukturne kemijske formule pumpellyita.  
Table 1 Structural chemical formulae of pumpellyites.

ma ofiolitnog melanža Medvednice važno je zbog njegovih genetskih dijagnostičkih značajka. Budući da u doleritima i kori jastučastih lava nisu zapaženi zeoliti, uvjeti hidrotermalnih alteracija bili su obilježeni višom temperaturom potrebnom za nastanak pumpellyita bogatijeg s Al (ISHIZUKA, 1991). Budući da povišeni tlak nije presudan čimbenik za nastajanje pumpellyita s vrlo niskim sadržajem Mg (MÉVEL, 1981) zaključuje se da u mafitnim ekstruzivnim stijinama ofiolitnog melanža Medvednice ovaj dijagnostički mineral pripada prehnit–pumpellyitnom facijesu (COOMBS et al., 1970) i da je nastao tijekom hidrotermalnih alteracija pri temperaturi ne većoj od 230°C i tlaku nižem od 0,1 GPa koje su za identične alteracijske parageneze odredili LIOU et al. (1987). Međutim, za pumpellyit iz krupnozrnatog dolerita, zbog visokog sadržaja Al (2,363 k.n.f.j.) i visokog omjera  $Al/Fe_{\text{ukupno}}$  (7,72), može se pretpostaviti kristalizacija pri povišenom tlaku karakterističnom za pumpellyit–aktinolitni facijes (COOMBS et al., 1976; MÉVEL, 1981) što podrazumijeva komparativno veću dubinu alteracije. Budući da pelitno–siltozni matriks ofiolitnog melanža Medvednice sadrži samo dijagenetske autigene minerale (JUDIK et al., 2004) može se zaključiti da su parageneze prehnit–pumpellyitnog i pumpellyit–aktinolitnog facijesa u mafitnim ekstruzivima melanža nastale hidrotermalnom alteracijom u oceanskom podmorju neposredno nakon ekstruzija.

## Literatura

- ALLDAHAN, A.A. (1989): The paragenesis of pumpellyite in granitic rocks from the Siljan area, central Sweden.– *N. Jahrb. Mineral. Mh.*, 367–383.
- BABIĆ, Lj., HOCHULI, P.A. & ZUPANIĆ, J. (2002): The Jurassic ophiolitic mélangé in the NE Dinarides: Dating, internal structure and geotectonic implications.– *Eclogae Geol. Helvetiae*, 95, 263–275.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1997): *Rock-Forming Minerals*; Vol. 1b. Alden Press, Osney Mead, Oxford, 629 p.
- COOMBS, D.S., HORODYSKI, R.J. & NAYLOR, R.S. (1970): Occurrence of prehnite–pumpellyite facies in northern Maine.– *Am. J. Sci.*, 268, 142–156.
- COOMBS, D.S., NAKAMURA, Y. & VUAGNAT, M. (1976): Pumpellyite–actinolite facies schist of the Taveyanne formation near Loeche, Valais, Switzerland.– *J. Petrol.*, 17, 440–447.
- ISHIZUKA, H. (1991): Pumpellyite from zeolite facies metabasites of the Horokanai ophiolite in the Kamuikotan zone, Hokkaido, Japan. *Contrib.– Miner. Petrol.*, 107, 1–7.
- JUDIK, K., ÁRKAI, P., HORVÁTH, P., DOBOSII, G., TIBLJAŠ, D., BALEN, D., TOMLJENVIĆ, B. & PAMIĆ, J. (2004): Diagenesis and low-temperature metamorphism of the Mt. Medvednica, Croatia: Mineral assemblages and phyllosilicate characteristics.– *Acta. Geol. Hungarica*, 47, 151–176.
- LIU, J.G., MARUYAMA, S. & CHO, M. (1987): Very low-grade metamorphism of volcanoclastic rocks – mineral assemblages and mineral facies.– U: Frey, M. (ur.): *Very Low-Grade Metamorphism*. Blackie and Son, New York, 59–113.
- MÉVEL, C. (1981): Occurrence of pumpellyite in hydrothermally altered basalts from Vema Fracture Zone (Mid-Atlantic Ridge).– *Contrib. Miner. Petrol.*, 76, 386–393.
- PAMIĆ, J. (2002): The Sava–Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean.– *Eclogae Geol. Helvetiae*, 95, 99–113.
- PAMIĆ, J. & TOMLJENVIĆ, B. (1998): Basic geologic data from the Croatian part of the Mid-Transdanubian Zone.– *Acta Geol. Hungarica*, 41, 389–400.

## Geological Model of Annamaria Gas Field

Maja Marija Sokolić & Saša Sahadžić

INA-Naftaplin, Sektor za razradu, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: maja-marija.sokolic@ina.hr

**Key words:** Adriatic gas field, Geological model, Thin sandy layers, "Thin Layer" Analysis.

Geological model of Annamaria field has been done based on results of 3D seismic interpretation and amplitude anomalies extraction as well as all the available well data and their analyses collected from three exploratory wells drilled in the field area. The key-well is AM2 with complete set of modern, high-resolution logs, Repeated Formation Tester (RFT) measurements, Computer Processed Interpretation (CPI) and some additional petrophysical analyses as Thin Layer Analysis (TLA) and Resistivity Model (RM).

A reservoir zonation has been done considering log data (SP, attenuation, resistivity, neutron density, sonic), results of petrophysical evaluation (CPI) for all three wells, results of Resistivity Model analyses performed on some intervals of AM2 well, gas shows during drilling, production tests performed in all three wells and RFT data from AM2 well. The zonation process resulted with 39 gas-bearing levels. Including 3D seismic interpretation and Thin Layer Analysis results, these levels can be grouped in three main groups. The shallowest group is characterised by sandy layers with an average thickness greater than 30 cm; the second one by sandy layers with an average thickness lower than 30 cm and the deepest one by very thin sandy layers that pinch out in the NE direction. Small thickness of sandy layers caused doubts in quality of petrophysical evaluation (especially water saturation) for two older wells due to low vertical resolution of their log measurements. Furthermore, most of available data indicate the predominant lateral homogeneity of the deposits what was argument for using petrophysi-

cal parameters inferred from the analysis on AM2 as valid for the whole field. Consequently, the geological model and final calculation of OGIP are based upon the values evaluated on AM2 well.

Geological framework has been done based on seven depth converted horizons (Fig. 1) and the relevant well tops. All the other intermediate horizons, except the deepest two, were built as conformable surfaces honouring the zonation at well locations. Two deepest zones that pinch out in NE direction were built as onlap. Due to limitation on cell numbers for numerical modelling additional sub-layers were not built.

Although the petrophysical evaluation (CPI) was run in all three wells the Porosity of the reservoir levels used for porosity model had been estimated from the CPI of AM2 well only, taking into account just the possible pay levels coming from the TLA Cut Off.

The Net Sand thicknesses have been computed on the bases of the TLA (Fig. 2) because it discriminate the sandy and silty-sand layers from the shaly interlayers. No other Cut Off was applied to the petrophysical parameters.

The definition of Water Saturation is one of the critical point of this study. The data that were considered for the Sw estimation are the CPI and Resistivity Model analyses performed on AM2 well. Many types of evaluations were done in order to find the more realistic Sw value for each reservoir level. At the end, the lowest water saturation value among the reservoir zones were pointed out (primarily

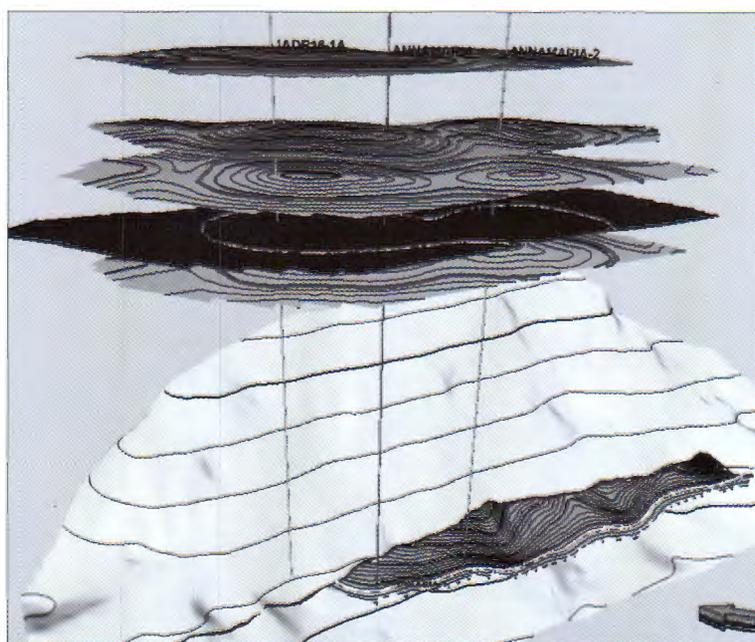


Fig. 1 Available data from Seismic Interpretation – Depth Converted Seismic Horizons (from up to down) top A2, top A6a, top 9, top B1b, top C1, top Q1 and respective Amplitude Anomaly borders; Base Onlap surface (Vertical scale 20 times horizontal scale).

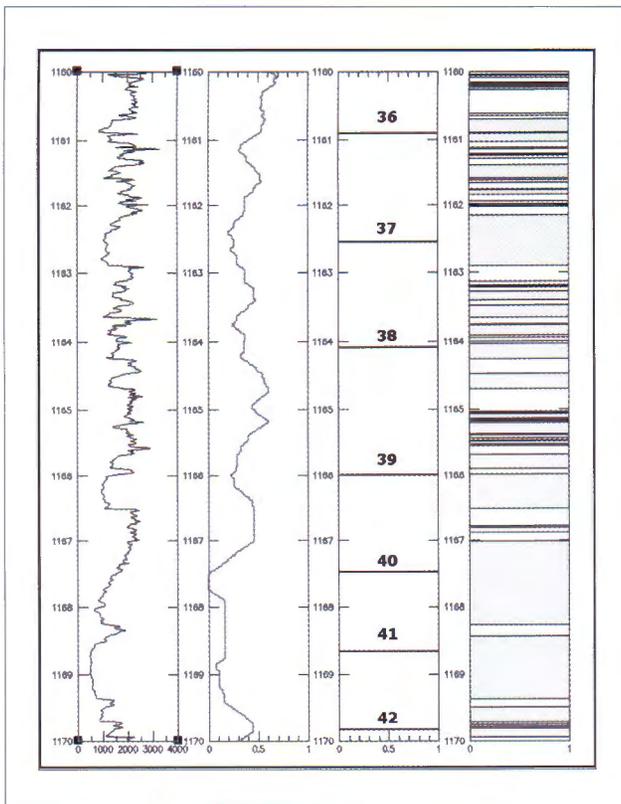


Fig. 2 Thin Layer Analysis – Vshale and total sand estimation.

from the Resistivity Model results, where it was run, and from the CPI curve in the other reservoir sections) and attributed to appropriate layer sequences.

The fluid contacts were finally defined by interference of structure and the border of the seismic anomalies with well data (raw and interpreted log data, RFT and well tests) in 3D model.

The evaluation of the OGIP (original gas in place) was given defining a Proven (P1) OGIP on the basis of the identified GWC or GDT, a Probable (P2) OGIP on the basis of the most likely GWC and the Possible (P3) OGIP on the basis of the relevant seismic anomaly.

Because fluid contacts would be the only variables in the calculations of different gas volume categories, only deterministic approach was used for the computation of the gas volumes.

## Miocene Sediments in the Quarry Donje Orešje in SE Medvednica Mt. (N Croatia)

Jasenka Sremac<sup>1</sup>, Đurđica Pezelj<sup>1</sup>, Danica Miletić<sup>2</sup>, Vladimir Veseli<sup>2</sup>, Dražen Brajković<sup>2</sup>, Goran Mikša<sup>2</sup>, Marko Zečević<sup>3</sup>, Enio Jungwirth<sup>4</sup>, Ivona Tukac<sup>5</sup> & Ervin Mrinjek<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology and Palaeontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: jsremac@inet.hr

<sup>2</sup> NA Industrija nafte, Department of Exploration and Development, Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup> Ministry of Defence, Republic of Croatia, Zvonimirova 12, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>4</sup> Ministry of Defence – IROS, Republic of Croatia, Illica 256, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>5</sup> Tucibati 33, HR-47000 Karlovac, Croatia

**Key words:** Microfossil community, Biostratigraphy, Palaeoecology, Miocene, Medvednica Mt.

In the Donje Orešje quarry, in SE Medvednica Mt., Miocene sediments transgressively overly Cretaceous limestones.

Uppermost Cretaceous deposits are in most cases composed of pelagic biomicrites, interstratified with scarce intercalations of biomicrites, of different thickness. Planktonic foraminifera are common in these deposits, including *Globotruncanita elevata* (BROTZEN), indicative for the Lower Campanian age (PREMOLI SILVA & SLITER, 1995). These sediments were deposited in low-energy sedimentary basin, in distal parts of reef-front, with temporary input of reefal detritus, probably due to the storm episodes.

Transgressive contact with Miocene sediments is exposed, showing well developed paleorelief of the Cretaceous land, at some places with *Lithiotis* borings, marking the shore-line. Basal conglomerates, ca. 2 m thick, with pebbles of different Cretaceous sediments, are present at northwestern edge of the quarry. They are overlain with *Lithothamnium* limestones, containing skeletal remnants of large mollusks (*Ostrea*). In most cases, marls directly overly Cretaceous limestones. These marls are yellowish in colour, with yellowish-brown intercalations in the upper portions of the column. Variations in clay content are present, but not very prominent, when observing in the field. Lithologically, these sediments show similar characteristics within the whole column.

In lower parts of the column Upper Badenian Zone *Bulimina-Bolivina* was determined on the basis of foraminiferal community (CICHA et al., 1998). The most common taxa are: *Bolivina dilatata* REUSS, *Cassidulina laevigata* d'ORBIGNY, *Globocassidulina oblonga* (REUSS), *Uvigerina venusta* FRANZENAU, *Cibicidoides pseudoungerianus* (d'ORBIGNY), *Planulina austriaca* (d'ORBIGNY), *Elphidium macellum* (FICHTEL & MOLL) and *Asterigerinata planorbis* (d'ORBIGNY). During the Upper Badenian, oscillations of the sea-level were common, reflecting in content of planktonic taxa, which varies from 1.59 to 85.81%. The most abundant planktonic taxa are *Orbulina universa* d'ORBIGNY, *Globigerinoides trilobus* (REUSS) and *Globigerina bulloides* d'ORBIGNY (BOLLI et al., 1985).

Lithologically similar, but palaeontologically markedly different, Sarmatian sediments were deposited continuously. They contain less abundant fossil communities, with generally smaller specimens. Content of planktonic foraminifera is significantly reduced, and varies from 0.68 to 16.28 %. These results are in concordance with global shallowing-upward trend, and fresh-water influence. On the basis of fossil community, Lower Sarmatian Zones *Anomalinoidea badenensis* and *Elphidium reginum*, as well as Middle Sarmatian Zone *Elphidium hauerinum* were recognized (PAPP et al., 1978). The most abundant species in these sediments are *Anomalinoidea badenensis* (d'ORBIGNY), *Elphidium reginum* (d'ORBIGNY), *Elphidium hauerinum* (d'ORBIGNY), *E. josephinum* (d'ORBIGNY), *Bolivina sarmatica* DIDIKOVSKIY, *Ammonia viennensis* (D'ORBIGNY), and *Rosalina obtusa* d'ORBIGNY.

Samples from the Badenian and Sarmatian marls were also studied on palinological content. Palinomorphs are rather scarce, except algal remnants and protophyta cysts. Climate shifts from almost subtropic to moderate can be observed. Cycadales and *Ambrosia* are markers of warmer periods, while *Artemisia*, *Fagus*, *Carpinus*, *Betula* and several other plant taxa indicate moderate climate periods (NAGY, 1985; REILLE, 1992). Organic content in samples varies from 5 to 35%. The dominant wind directions were from the land towards the sea.

### References

- BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PEARCH-NIELSEN, K. (1985): Plankton stratigraphy.– Cambridge Earth Science series, 1005 p.
- CICHA, I., RÖGL, F., RUPP, C. & CTYROKA, J. (1998): Oligocene–Miocene foraminifera of Central Paratethys.– Abh. Senckenberg. Naturforsch. Ges., 549, 1–325, Frankfurt am Main.
- NAGY, E. (1985): Sporomorphs of the Neogene in Hungary.– Geol. Hungar., Ser. Palaeont., 47, 470 p., Budapest.
- PAPP, A., CICHA, I. & ČTYROKA, J. (1978): Foraminifera.– In: PAPP, A., CICHA, I., SENEŠ, J. & STEININGER, F. (eds.): Chronostratigraphie und Neostratotypen. Miozän der

Zentralen Paratethys. Badenian. Verlag Slowak. Akad. Wiss., 263–325, Bratislava.

PREMOLI SILVA, I. & SLITER, W.V. (1995): Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy and evolutionary trends from the Bottaccione section Gubbio, Italy.– *Palaeontographia Italica* 82, 1–89, Pisa.

REILLE, M. (1992): *Pollen et Spores d'Europe et d'Afrique du nord.*– Edition du Laboratoire De Botanique Historique et Palynologie, 543 p., Marseille.

## Upper Campanian to Maastrichtian Foraminiferal Assemblages of the Palmyra Region, Syria

Damir Stanković, Ivan A. Mesić, Zlata Ivaniček, Morana Hernitz Kučenjak & Vlasta Premec Fuček

INA-Industrija nafte d.d., Sektor istraživanja i razvoja, Lovinčićeva bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: damir.stankovic@ina.hr

**Key words:** Planktonic foraminifera, Campanian, Maastrichtian, Palmyra region, Syria.

The biostratigraphical and sedimentological results were obtained from cutting samples from three exploration wells (Palmyra-1, Al Mahr-1 and Jihar-1) located in the Palmyra Region in Syria. The detailed micropaleontological analyses were performed on planktonic and benthonic foraminifera assemblages of the Campanian and Maastrichtian sediments.

Upper Campanian to Lower Maastrichtian sediments in the Palmyra-1 well are composed of marls to calcareous marls with occurrences of chert and glauconite, while in the Al Mahr-1 well argillaceous limestones of wackestone to wackestone/packstone types prevail. The Upper Maastrichtian interval of the Palmyra-1 well is represented by marls and limestones of mudstone/wackestone type, with occasional occurrences of dolomites. However, in the Jihar-1 and Al Mahr-1 wells sediments are mostly composed of dolomitized argillaceous wackestones and argillaceous limestones of mudstone/wackestone type, respectively.

The micropaleontological investigation was focused on the vertical distribution, diversity and composition of the planktonic and benthonic foraminiferal assemblages according to CARON (1985), KAIHO (1998), PESSAGNO (1967), PREMOLI SILVA & VERGA (2004) and ROBASZYNSKI et al. (1984).

The Upper Maastrichtian sediments are documented by the following index species of planktonic and benthonic foraminifera: *Abathomphalus mayaroensis* (BOLLI), *Globotruncanita conica* (WHITE), *Bolivinooides dracco* (MARSSON), *Gansserina gansseri* (BOLLI), *Globotruncanita stuarti* (DE LAPPARENT), *Globotruncanella pschadae*

(KELLER) and *Globotruncanella petaloidea* (GANDOLFI). In this assemblage, planktonic foraminiferal species, such as *Globotruncanella havanensis* (VOORWIJK), *Globotruncanita* cf. *fareedi* (EL NAGGAR), *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ), *Contusotruncana fornicata* (PLUMMER), *Archaeoglobigerina blowi* PESSAGNO, *Rugoglobigerina rugosa* (PLUMMER), *Pseudotextularia elegans* (RZEHAK), *Hedbergella holmdelensis* (OLSSON), *Pseudoguembelina costulata* (CUSHMAN), *Heterohelix* spp. as well as benthonic foraminiferal species, such as *Gaudryina laevigata* FRANKE, *Bolivina incrassata* REUSS, *Gyroidinoides globosus* (HAGENOW), *Cibicidoides primitivus* KAIHO, *Cibicidoides pseudoungerianus* (BYKOVA), *Lenticulina rotulata* (LAMARCK), *Lenticulina münsteri* (ROEMER), *Serovaina complanata* (CUSHMAN & STAINFORTH) and *Stensioeina pommerana* BROTZEN have been identified.

Upper Campanian to Lower Maastrichtian sediments also contain rich and well preserved foraminiferal assemblages, with the following planktonic species and genera: *Gansserina gansseri* (BOLLI), *Macroglobigerinelloides bollii* PESSAGNO, *Contusotruncana fornicata* (PLUMMER), *Globotruncanita stuarti* (DE LAPPARENT), *Macroglobigerinelloides prairiehillensis* PESSAGNO, *Globotruncanita stuartiformis* (DALBIEZ), *Globotruncanella petaloidea* (GANDOLFI), *Globotruncanella havanensis* (VOORWIJK), *Rugoglobigerina rugosa* (PLUMMER), *Archaeoglobigerina blowi* PESSAGNO, *Pseudotextularia elegans* (RZEHAK), *Globotruncana linneiana* (D'ORBIGNY), *Globotruncana bulloides* VOGLER, *Hedbergella* sp.,

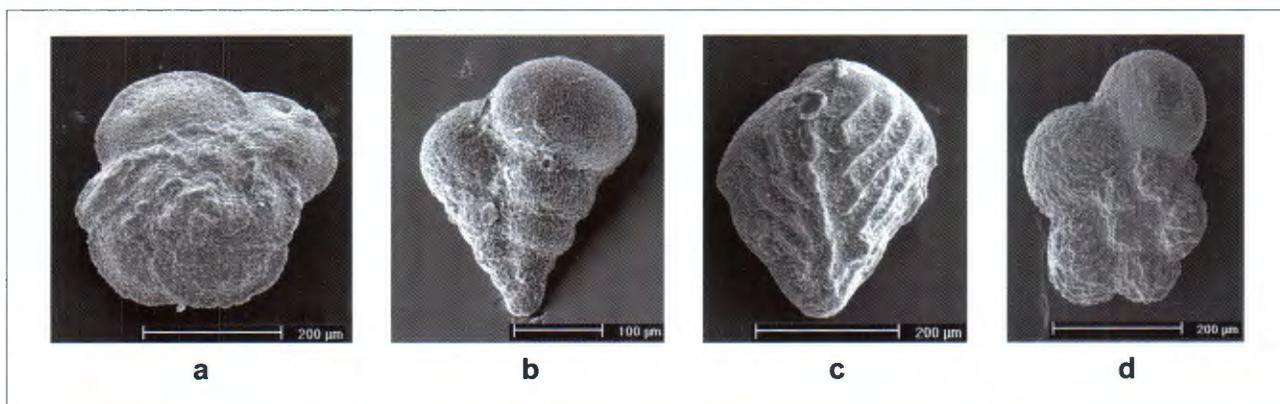


Fig. 1 (a) *Abathomphalus mayaroensis*, Palmyra-1, 40–50 m, Upper Maastrichtian. (b) *Abathomphalus mayaroensis*, Palmyra-1, 40–50 m, Upper Maastrichtian. (c) *Bolivinooides dracco*, Palmyra-1, 90–100 m, Campanian. (d) *Rugoglobigerina rugosa*, Palmyra-1, 90–100 m, Campanian.

*Pseudoguembelina costulata* (CUSHMAN), *Heterohelix* spp. and benthonic foraminiferal species and genera as well, such as *Angulogavelinella gracilis* (MARSSON), *Neoflabelina praereticulata* HILTERMANN, *Bolivinoidea miliaris* HILTERMANN & KOCH, *Bolivina incrassata* REUSS, *Gavelinella monterelensis* (MARIE), *Oridorsalis umbonatus* (REUSS), *Gyroidinoides globosus* HAGENOW, *Serovaina complanata* (CUSHMAN & STAINFORTH), *Lenticulina* sp., *Gavelinella* sp., *Eponides* sp. and others.

The rich and highly diversified foraminiferal association and lithological characteristics of the Campanian and Maastrichtian sediments suggest the Mediterranean bioprovince with tropical to subtropical climate, and the deposition in the outer shelf to deeper marine environment.

## References

- CARON, M. (1985): Cretaceous planktonic foraminifera.– In: BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (eds.): *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, 17–86, Cambridge.
- KAIHO, K. (1998): Phylogeny of deep-sea calcareous trochospiral benthic foraminifera: evolution and diversification.– *Micropaleont.*, 44/3, 291–311.
- PESSAGNO, Jr.E.A. (1967): Upper Cretaceous planktonic foraminifera from the western Gulf coastal plain.– *Palaeont. Americana*, 5/37, 245–445.
- PREMOLI SILVA, I. & VERGA, D. (2004): Practical manual of Cretaceous foraminifera.– In: VERGA & RETTORI (eds.): *International School on Planktonic Foraminifera, 3° Course: Cretaceous*. Universities of Perugia and Milan, Tipografia Pontefelcino, 283 p., Perugia.
- ROBASZYNSKI, F., CARON, M., GONZALES DONOSO, J.M. & WONDERS, A.A.H. (1984): *Atlas of Late Cretaceous Globotruncanids*.– *Plankt. Foram. Rev. Micropaleont.*, 3–4, 145–405.

## The Ore Forming Fluids in the Allchar Polymetallic Ore Field, FYR Macedonia

Sabina Strmić Palinkaš<sup>1</sup>, Sibila Borojević Šošarić<sup>1</sup>, Ladislav Palinkaš<sup>1</sup>,  
Vladimir Bermanec<sup>1</sup> & Blažo Boev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Zagreb, Faculty of Science, Institute of Mineralogy and Petrography, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia;  
e-mail: sabina.strmic@inet.hr

<sup>2</sup>University "Ss. Cyril and Methodius", Faculty of Mining and Geology, Goce Delcev 89, Skopje, Macedonia

**Key words:** Gold, Arsenic, Thallium, Carlin-type, Alteration.

### 1. Introduction

The Allchar polymetallic ore field is located at the southern margin of the Vardar zone, 110 km SE from Skopje, FYR Macedonia. Mineralization of Allchar is subdivided into three zones: (zone I) High temperature sulfide mineral paragenesis represented mainly by Sb and As mineralization; (zone II) Sulfide mineralization barren of Sb and enriched in As and Tl, and (zone III) low temperature mineral paragenesis represented by barite, native sulfur, calcite, chalcedony and opal (IVANOV, 1986). The Allchar deposit is related to a Pliocene volcano-intrusive complex which occurs along a major regional fault zone between the rigid Pellagonian block on the west and the labile Vardar zone on the east. The basement is composed of Triassic sediments, the Jurassic ophiolites and the Cretaceous sediments (JANKOVIĆ & JELENOVIĆ, 1994). The rocks of volcano-intrusive complex range from andesite–quartz latite to rhyolite and trachyte (BOEV, 1993). Mineralization is spatially related to zonal hydrothermal alterations. The main types of alterations are silicification and argillization. The silicification in the southern part of the ore field (zone I) represented by small quartz grains is related to antimony and gold mineralization. Argillitization is mainly developed in the volcanic rocks. In the northern part of the ore field (zone III) silicification is represented by occurrence of chalcedony and opal (BOEV, 1993).

### 2. Samples and methods

A fluid inclusion (FI) study was carried out to estimate the P–T conditions during mineralization and to characterize the mineralizing fluid. Microthermometric measurements were performed on primary FIs within doubly polished, ~0.5 mm thick, wafers of: (1) quartz associated with high temperature sulfide mineralization (zone I); (2) realgar and orpiment associated with sulfide mineralization barren of Sb and enriched in As and Tl (zone II), and (3) opal associated with low temperature mineralization (zone III).

Ultraviolet (UV) fluorescence microscopy was used to estimate the presence of hydrocarbons bearing inclusions.

Analyses of evaporate mounds by scanning electron microscope equipped with EDX (SEM/EDX) were performed in order to constrain the chemical composition of mineralizing fluid. Analyses were focused on realgar and orpiment used for microthermometry. Evaporate mounds

were prepared according to the procedure described by KONTAK (2004).

### 3. Results

Microscopic examination of quartz, realgar and orpiment revealed the following types of FIs: *Type I*. Two phases (L+V) aqueous FIs frequently show progressive formation of negative crystal forms. Degree of fill (F) is between 0.85 to 0.95; *Type II*. Monophase, secondary, liquid FIs show mostly irregular forms. In quartz samples the FIs of *Type III*. are also present (monophase, anisotropic solid inclusions, with prismatic habitus and of primary origin).

The following types of inclusion within opal were distinguish: *Type I*. Three phases (L<sub>1</sub>+L<sub>2</sub>+V) inclusions with irregular shapes and uniform degree of fill (0.95); *Type II*. Multiphase hydrocarbons inclusions usually occur as large, randomly distributed groups, restricted to healed fractures and sharp trails; *Type III*. Monophase organic solid inclusions coexist with *Type II* inclusions.

Microthermometric measurements were performed on FIs of *Type I* within quartz samples. Eutectic temperature (T<sub>e</sub>) between -44.0 and -58.0°C indicates presence of bivalent cations. Melting temperature of hydrate (T<sub>m,hyd1</sub>) varies between -42.0 and -24.2°C. Ice melting temperatures (T<sub>m,ice</sub>) in the range from -2.4 to -18.1°C points to salinity between 4.0 to 21.3 wt.% NaCl equ. Homogenization into liquid phase is recorded in interval between 131.0 to 201.0°C. Microthermometry measurements within realgar confirmed presence of two different fluid inclusion types. Phase transitions were observed only within inclusions of *Type I*. T<sub>e</sub> is recorded in interval between -50.3 and -54.2°C. Melting runs in the temperature range between -35 and 0°C revealed existence of two hydrates. Melting of the first hydrate (T<sub>m,hyd1</sub>) was recorded in temperature interval between -22.0 and -24.5°C. Temperature interval of the final melting of the second hydrate (T<sub>m,hyd2</sub>) is observed between -11.0 and -15.4°C. T<sub>m,ice</sub> between -1.5 and -4.1°C corresponds to salinity of 2.56 to 6.85 wt.% NaCl equ. Homogenization (T<sub>h</sub>) follows disappearance of vapor at 120–141.1°C. Microthermometry measurements performed on FIs within orpiment samples gave data in the same range as those within realgar. T<sub>h</sub> was not recorded due to massive decrepitation of FIs at lower temperatures. Heating/freezing runs were performed on FIs of *Type I* and *Type 3* within opal. *Type I*: Freezing was observed by

the collapse of vapor bubble. During melting runs the first phase change within FIs occur in temperature range from 2.4 to 7.0°C, by the abrupt appearance of vapor bubble. Total homogenization to liquid state was recorded at temperature range from 102.0 to 125.0°C. Complex hydrocarbons bearing inclusions of *Type 2* did not freeze even at minimum stage temperature of -180°C.  $T_h$  was not recorded due to massive decrepitation of FIs in the interval between 170 to 180°C.

Analyses of realgar samples indicate Na and K chlorides composition of evaporate mounds. The presence of Al is also observed. A comparison of composition of evaporates mounds and microthermometric measurements points to composition of hydrates present within frozen inclusions. Hydrate with final melting temperature between -22.0 and -24.5°C ( $T_{m,hyd1}$ ) is hydrohalite ( $NaCl \times 2H_2O$ ). Hydrate with temperature between -11.0 and -15.4°C ( $T_{m,hyd2}$ ) is  $KCl \times nH_2O$ . Analyses of orpiment samples point that evaporate mounds consist only of Na and K chlorides.

#### 4. Discussion and conclusion

The Allchar deposit shows characteristics of Carlin-type mineralization: (1) strong structural control of mineralization by faults and folds; (2) calcareous sedimentary host rocks of diverse facies + igneous rocks; (3) decarbonation, argillization, silification and sulfidation alterations; (4) submicron gold in association with pyrite, arsenian pyrite and arsenopyrite, and (5) geochemical signature of Au, As, Hg, Sb and Tl. Gold was probably carried by bisulfide complexes and deposited in both intensely silicified parts and marginal argillic alteration zone, due to a combination of decreasing pressure and temperature, culminating in boiling and increasing pH. Thallium minerals (sulfides and oxides) can not be formed in neutral and acid conditions (NAUMOV, 2000). The hydrothermal fluids become alkaline as a result of degassing and removing of  $CO_2$  in epithermal conditions. In such conditions the alkaline hydrotherms can deposit the thallium minerals in association with adularia, zeolites, illite and other minerals – indicators of the high pH values.

The role of organic matter in Carlin-type of mineralization is still unknown.

#### 5. References

- BOEV, B (1993): Geology of Allshar polymetallic deposit, Macedonia.– *Geologica Mececonica*, 7, 35–39.
- IVANOV, T. (1986): Allshar the richest ore deposit of Tl in the world.– In: NOLTE, E. (ed.): Proceedings of the Workshop on the feasibility of the Solar Neutrino Detection with  $^{205}Pb$  by geochemical and mass spectroscopical measurements. Report GSI-86-9: Technische Universität München, pp. 1–6.
- JANKOVIĆ, S. & JELENOVIĆ, R. (1994): Thallium mineralization in the Allchar Sb–As–Tl–Au deposit.– *N. Jb. Miner. Abh.*, 167, 283–297.
- KONTAK, D.J. (2004): Analysis of evaporate mounds as a complement to fluid-inclusion thermometric data: case studies from granitic environments in Nova Scotia and Peru.– *Can. Mineral.*, 42, 1315–1329.
- NAUMOV, E. (2000): Behaviour of thallium in ore-forming processes on gold–mercury and antimony–mercury deposits.– In: EMPG VIII Journal of Conference Abstracts, 5/1, Bergamo, Italy.

## Organic Geochemistry of Lokve Stratabound Barite Deposit, Gorski Kotar, Croatia

Sabina Strmić Palinkaš<sup>1</sup>, Ladislav Palinkaš<sup>1</sup> & Jorge E. Spangenberg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> University of Zagreb, Faculty of Science, Institute of Mineralogy and Petrography, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: sabina.strmic@inet.hr

<sup>2</sup> Institut de Minéralogie et Géochemie, Université de Lausanne, BFSH-2, CH-1015 Lausanne, Switzerland

**Key words:** Barite mineralization, Permian–Triassic boundary, Organic matter, Carbon isotopes, Biomarkers.

### 1. Introduction

Barite mineralization in Lokve is a stratabound ore deposit conformably situated at the Permian–Triassic boundary. It is composed exclusively of pyrite and barite, separated into two distinct, juxtaposed horizons, stretching for tens of kilometers (PALINKAŠ et al., 1993).

Stable isotopic composition of organic matter and carbonates are widely used as an indicator of depositional environment, and for the assessment of paleoclimates and paleoceanography of ancient marine environments. The distributions of hydrocarbons (HC) from ancient sediments have been used to infer biological origin, maturity, and proportions of marine and terrestrial organic matter, as well as sedimentary facies and paleosalinity. The isotopic compositions of the individual HC serve to identify the biological precursors of HC in ancient sediments (SCHWAB & SPANGENBERG, 2004).

The aim of this study is to estimate the type of organic matter associated with barite–pyrite mineralization.

### 2. Geological setting

Middle and Upper Permian sediments siliciclastic sediments occurring near Lokve village originated from newly exposed dry land areas, uplifted during an early continental rifting phase in the Dinarides. The final members of the Upper Permian clastic rocks are green-grey and grey-violet fine-grained siltstones and pelites. Extensive low-lying coastal areas in the Dinarides became sites of evaporate deposition in lagoons and coastal sabhkas. Smoothing of the relief halted clastic deposition, which together with a concurrent change in climate from humid–arid to moderate–warm, triggered carbonate deposition and formation of the basal dolomite. All the Lower Triassic carbonate lithotypes with stratabound mineralization in the Gorski Kotar area, adjacent to the conformable contact with the Permian clastics, originated in a sedimentary environment near mean sea level (BABIĆ, 1968; ŠČAVNIČAR, 1973).

The Lokve barite deposits are situated along the edges of the Upper Permian terrain, adjacent to the contact with the Lower Triassic dolomites. The largest deposits occur in the vicinity of the villages of Homer and Mrzle vodice (PALINKAŠ et al., 1993).

### 3. Samples and methods

Four samples collected from Lokve deposit were selected for organic geochemical analyses. Two samples from Homer locality are sandstones with pyrite. Two samples of barite–pyrite ore are collected at Školski brijeg locality.

To remove any superficial contamination from handling and weathered material, the rock samples were cut in slabs with a water cooled saw, washed with analytical grade and glass distilled acetone, ethanol, and water, and dried at 50°C for 48 h. The cleaned samples were powdered in an agate ball-mill, and analyzed for distribution and isotopic composition of HC according to the procedure described by SPANGENBERG & MACKO (1998). The extracts were fractionated by silica–alumina liquid chromatography into aliphatic, aromatic and NSO compounds. Chemical characterization of the aliphatic and aromatic HC were performed with an Agilent Technologies 6890 GC coupled to an Agilent Technologies 5973 quadrupole mass selective detector (GC/MSD). The compound specific C isotope analyses of the aliphatic HC were obtained by the use of an Agilent Technologies 6890 GC coupled to a Finnigan MAT Delta S IRMS by a combustion (C) interface III (GC/C/IRMS) under a continuous He flow.

### 4. Results

The *n*-alkanes in the C<sub>11</sub>–C<sub>28</sub> range and the acyclic isoprenoids pristane (Pr) and phytane (Ph) are the dominant resolvable compounds in the *m/z* 71 ion chromatograms of all samples. The low unresolved complex mixture (UCM) eluting between *n*-C<sub>11</sub> and *n*-C<sub>30</sub> is presented in sandstone samples. The *n*-alkanes have distribution with no odd–even predominance. Isoprenoids in the range C<sub>15</sub> (farnesane) to C<sub>20</sub> (phytane) are generally present in all samples.

Non-aromatic cyclic HC, such as terpanes and steranes, are present in the saturated HC fraction extracted from the sandstone samples. Terpanes are found in one sample of barite–pyrite ore. Terpanes in the range from C<sub>23</sub> to C<sub>32</sub> were detected in the *m/z* 191 ion chromatograms. A series of low molecular-weight steranes were detected in the *m/z* 217 ion chromatograms.

The gas chromatograms traces of the aromatics extracted from all samples from the Lokve deposit are dominated by methylated-naphthalenes, methylated-fluorenes and methylated-phenanthrenes.

The  $\delta^{13}\text{C}$  values of the measured alkanes range from -24.2 to -35.4‰ V-PDB. The low molecular weight *n*-alkanes ( $C < 14$ ) are depleted on  $^{13}\text{C}$ . The  $\delta^{13}\text{C}$  value of pristane was recorded only in one sample of barite-pyrite ore (-36.9 ‰). The  $\delta^{13}\text{C}$  values of phytane were recorded in the both barite-pyrite ore at -27.5‰.

### 5. Discussion and conclusion

Low UCM, higher concentration of *n*- $C_{17}$  and *n*- $C_{18}$  vs. isoprenoids and relatively high concentration of short chain *n*-alkanes in the studied samples indicate that biodegradation and water-washing have not significantly affected the HC distribution (SCHWAB et al., 2005). The dominance of *n*-alkanes with carbon number lower than  $C_{20}$  points to marine and/or bacterial input of organic matter. The Pr/Ph ratios between 1 and 3 point to oxidizing conditions in depositional environment and to organic matter derived from marine algal source (LARGE & GIŽE, 1996). The absence of hopane  $T_s$  and the presence of  $T_m$  suggest immature organic matter (PETERS & MOLDOWAN, 1993). Maturity ratios involving methylated naphthalenes confirm immature organic matter. Most of these parameters are based on the notion that naphthalenes with  $\beta$ -substituted methyl groups are more stable than those with  $\alpha$ -substituents. Differences in  $\delta^{13}\text{C}$  values of the short chain *n*-alkanes may indicate the different biological source of these compounds.

### References

- BABIĆ, Lj. (1968): O trijasu Gorskog Kotara i susjednih područja.– Geol. Vjesnik, 21, 11–18.
- LARGE, D.J. & GIŽE, A.P. (1996): Pristane/phytane ratios in the mineralized Kupferschiefer of the Fore-Sudetic Monocline, SW Poland.– Ore Geology Reviews, 11, 89–103.
- PALINKAŠ, L., PEZDIČ, J. & ŠINKOVEC, B. (1993): The Lokve barite deposit, Croatia: an example of the early diagenetic sedimentary ore deposit.– Geol. Croatica, 46/1, 97–106.
- PETERS, K.E. & MOLDOWAN, J.M. (1993): The Biomarker Guide. Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments.– Prentice Hall, Englewood Cliffs, 363 p.
- ŠČAVNIČAR, B. (1973) Clastic sediments of Triassic in the Gorski Kotar region.– Acta geologica, VII/3, 105–160.
- SCHWAB, V. & SPANGENBERG, J.E. (2004): Organic geochemistry across the Permian–Triassic transition at the Idrija Valley, W. Slovenia.– Applied Geochem., 19, 55–72.
- SCHWAB, V., SPANGENBERG, J.E. & GRIMALT, J.O. (2005): Chemical and carbon isotopic evolution of hydrocarbons during prograde metamorphism from 100°C to 550°C: Case study in the Liassic black shale formation of Central Swiss Alps.– Geochem. Cosmochem. Acta, 69, 1825–1840.
- SPANGENBERG, J.E. & MACKO, S.A. (1998): Organic geochemistry of the San Vicente zinc-lead district, eastern Pucará Basin, Peru.– Chem. Geol., 146, 1–23.

## Kvartarni okoliši: zapisi promjena uvjeta u okolišu u sigama iz podmorja istočnog Jadrana

### Quaternary Environment: Records of Environmental Changes from the Submarine Speleothems in Eastern Adriatic

Maša Surić<sup>1</sup>, Mladen Juračić<sup>2</sup> & Nada Horvatinčić<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Odjel za geografiju, Sveučilište u Zadru, Ul. dr. F. Tuđmana 24, HR-23000 Zadar, Hrvatska; e-mail: msuric@unizd.hr

<sup>2</sup> Geološki Odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet u Zagrebu, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup> Laboratorij za niske aktivnosti, Institut Ruđer Bošković, Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** podmorske sige, kvartar, <sup>14</sup>C datiranje, <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U datiranje, stabilni izotopi, promjena morske razine, Jadransko more.

**Key words:** Submarine speleothems, Quaternary, <sup>14</sup>C dating, <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U dating, Stable isotopes, Sea-level change, Adriatic Sea.

Sige taložene u krškom podzemlju vrlo dobro arhiviraju uvjete okoliša u vrijeme njihova taloženja. Sedimentacijom, najčešće kalcita, iz krških podzemnih voda, sige uključuju određene stabilne i radioaktivne izotope različitih elemenata na temelju kojih je moguće rekonstruirati uvjete okoliša koji su vladali tijekom taloženja siga te odrediti apsolutnu starost karbonata/sige, odnosno vrijeme kad su određeni uvjeti vladali. Sige, koje nastaju isključivo u subaerskim uvjetima, a danas ih nalazimo ispod morske razine, pružaju dodatnu mogućnost da se na temelju njihove starosti i trenutne dubine mora na kojoj se nalaze rekonstruiraju lokalne promjene morske razine koje su se odvijale tijekom geološke prošlosti. Nadalje, znajući relativne promjene obalne linije i korelacijom s globalnim promjenama morske razine, moguće je apsolutno datirati tektonske pokrete lokalnog, pa i regionalnog karaktera.

Istraživanje paleookoliša na istočnoj obali Jadrana temeljeno je na određivanju omjera <sup>18</sup>O/<sup>16</sup>O i <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C, te radiometrijskom datiranju siga metodama <sup>14</sup>C i <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U (U–Th). Ukupno 16 uzoraka siga uzeto je iz sedam morem potopljenih speleoloških objekata s dubina od 1,5 do 41,5 metara:

- 1) Jama u uvali Lučice (Brač): stalagmiti s dubina 38,5 m (B–38), 36 m (B–36), 34 m (B–34) i 28 m (B–28), te stalaktit s dubine 26 m (B–26);
- 2) Zmajevu uho (Rogoznica): stalaktiti s dubina od 17 m (R–17) i 21,4 m (R–21);
- 3) Spilja u uvali Tihovac (Pag): stalaktit s dubine od 23 m (P–23);
- 4) Jama U vode (Krk): stalagmiti s dubina od 14,5 m (K–14) i 18,8 m (K–18);
- 5) Medvjeda spilja (Lošinj): siga s dubine 1,5 m (L–1) i stalagmit s dubine od 10 m (L–10);
- 6) Spilja kraj Iškog Mrtovnjaka (Iž): stalaktiti s dubina od 14 m (M–14), 19 m (M–19) i 23 m (M–23);
- 7) Vrulja Zečica (Starigrad): stalagmit s dubine od 41,5 m (Z–41).

U prvoj seriji mjerenja starosti korištena je konvencionalna <sup>14</sup>C metoda s plinskim proporcionalnim brojačem

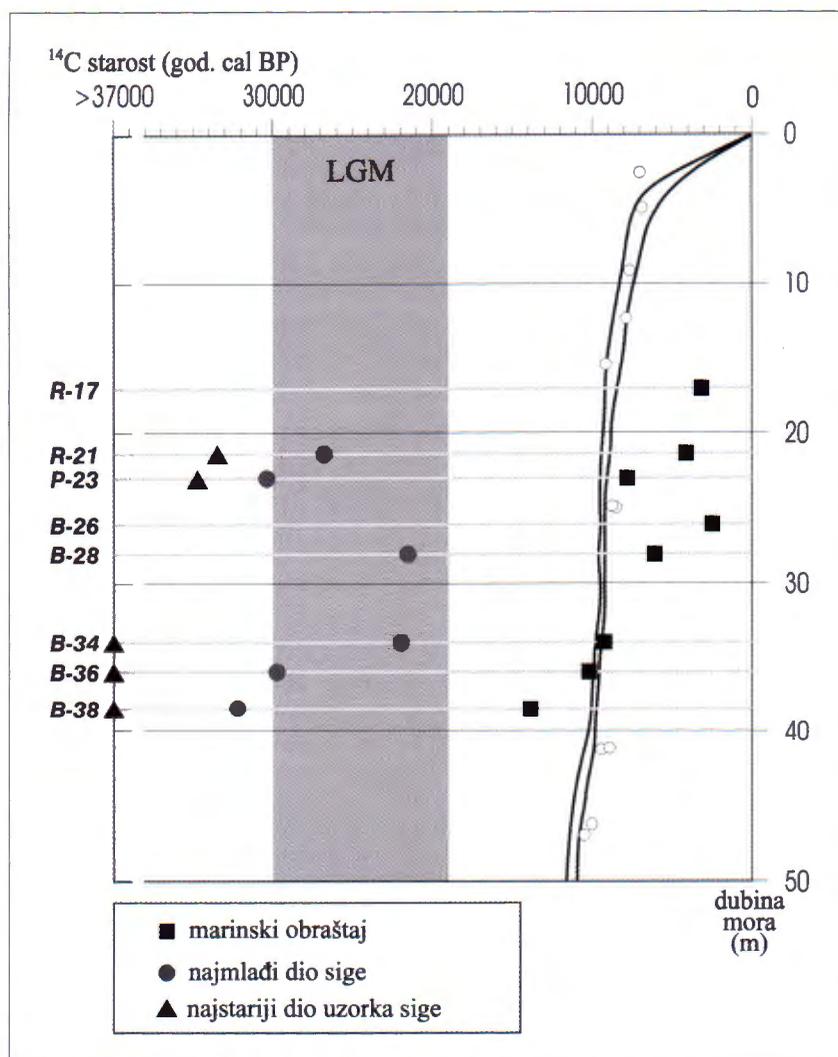
(Institut Ruđer Bošković, Zagreb). Iz 8 uzoraka siga datirano je 19 poduzoraka i to najstariji i najmlađi dijelovi siga taloženih u subaerskim uvjetima, te marinski biogeni obraštaj koji prekriva podmorske sige i siguran je indikator marinskog okoliša. Zbog isprepletenog rasta i inkrustacije marinskih organizama, za određivanje vremena početka rasta obraštaja korišten je matematički model (ALESSIO et al., 1992). Nedostatak ove metode je u tome što je za mjerenje potrebno izdvojiti oko 30 g kalcita što kod siga obuhvaća više slojeva odnosno razmjerno velik vremenski raspon.

Za drugu seriju mjerenja koje je obuhvatilo 9 siga, korištena je U–Th metoda, MC ICPMS (Earth Sciences Department Laboratory, University of Bristol) gdje je za jedan uzorak bilo potrebno svega 100–250 mg uzorka i time su se mogli izdvojiti pojedini slojevi sige. Međutim, nedostatak ove metode je osjetljivost na kontaminaciju zbog prisutnosti glinene komponente u sigi, a posebno u marinskom biogenom obraštaju koji se ovom metodom praktički ne može datirati.

Na temelju dobivenih rezultata, zaključilo se da se promjena razine mora na istočnoj obali Jadrana krajem pleistocena i tijekom holocena odvijala približno jednako kao i na obalama Tirenskog mora (ANTONIOLI et al., 2001) te na mediteranskoj obali Francuske (LAMBECK & BARD, 2000) (sl. 1).

Prestanak taloženja siga koji na području istočne obale Jadrana nije nastupio istovremeno isključuje mogućnost da su uzrok prestanka rasta bile klimatske promjene. Štoviše, za razliku od brojnih drugih područja, taloženje se nastavilo i tijekom posljednjeg glacijalnog maksimuma (LGM) 30000–19000 godina cal BP (prije sadašnjosti) koji je određen kao razdoblje trajanja maksimalnog volumena ledenog pokrova (LAMBECK & CHAPPELL, 2001; LAMBECK et al., 2002a, b) (sl. 1). Prestanak rasta siga u priobalnom kršu, uz neke druge moguće uzroke, uzrokovan je najvjerojatnije potapanjem speleoloških objekata prvo bočatom, a zatim i morskom vodom usljed izdizanja globalne morske razine (SURIĆ et al., 2005a).

Također, i  $\delta^{13}\text{C}$  i  $\delta^{18}\text{O}$  vrijednosti datiranih uzoraka ukazuju na to da je za vrijeme posljednjeg glacijalnog maksi-



Sl. 1 Korelacija rezultata  $^{14}\text{C}$  starosti dobivenih datiranjem podmorskih sige (p, ●) i njihova obraštaja (¼) na istočnoj obali Jadrana (SURIĆ et al., 2005a) s krivuljom izračunate najniže i najviše morske razine duž Azurne obale (LAMBECK & BARD, 2000) i rezultatima  $^{14}\text{C}$  starosti morskog biogenog obraštaja sige Tirenskog mora (○) (ANTONIOLI et al., 2001).

Fig. 1 Correlation of the  $^{14}\text{C}$  dating results of Eastern Adriatic submerged speleothems (p, ●) and their overgrowth (¼) (SURIĆ et al., 2005a) with curves of maximum and minimum sea-levels along the Côte d'Azur (LAMBECK & BARD, 2000) and with  $^{14}\text{C}$  ages of marine biogenic overgrowth of Tyrrhenian submerged speleothems (○) (ANTONIOLI et al., 2001).

muma klima u području istočnog Jadrana bila znatno blaža u odnosu na područje sjeverno od Alpa. Alpe su zajedno s Dinaridima predstavljale orografsku barijeru utjecajima sa sjevera, te je u jadranskom području dominirao mediteranski utjecaj (SURIĆ et al., 2005b).

### Literatura

- ALESSIO, M., ALLEGRI, L., ANTONIOLI, F., BELLUOMINI, G., FERRANTI, L., IMPORTA, S., MANFRA, L. & PROPOSITO, A. (1992): Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale.– *Giornale di Geologia*, ser. 3., 54/2, 165–193.
- ANTONIOLI, F., SILENZI, S. & FRISIA, S. (2001): Tyrrhenian Holocene paleoclimate trends from spelean serpulids.– *Quaternary Science Reviews*, 20/15, 1661–1670.
- LAMBECK, K. & BARD, E. (2000): Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30000 years.– *Earth and Planetary Science Letters*, 175, 203–222.
- LAMBECK, K. & CHAPPELL, J. (2001): Sea level change through the Last Glacial Cycle.– *Science*, 292, 679–686.
- LAMBECK, K., ESAT, T.M. & POTTER, E.K. (2002a): Links between climate and sea level for the past three million years.– *Nature*, 419, 199–206.
- LAMBECK, K., YOKOYAMA, Y. & PURCELL, T. (2002b): Into and out of the Last Glacial Maximum: sea level change during Oxygen Isotope Stages 3 and 2.– *Quaternary Science Reviews*, 21, 343–360.
- SURIĆ, M., JURAČIĆ, M., HORVATINČIĆ, N. & KRAJCAR BRONIĆ, I. (2005a): Late Pleistocene–Holocene sea-level rise and the pattern of coastal karst inundation – records from submerged speleothems along the Eastern Adriatic Coast (Croatia).– *Marine Geology*, 214/1–3, 163–175.
- SURIĆ, M., HORVATINČIĆ, N., SUCKOW, A., JURAČIĆ, M. & BAREŠIĆ, J. (2005b): Isotope records in submarine speleothems from the Adriatic coast, Croatia.– *Bulletin de la Société Géologique de France* (u tisku).

## Petrochemical and Geotectonic Characteristics of Amphibolites from the Zagorje–Mid-Transdanubian Shear Zone (Mt. Kalnik, Croatia)

Branimir Šegvić, Boško Lugović & Sanja Ignjatić

Institute of Mineralogy, Petrology and Mineral Deposits, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: bsegvic@rgn.hr

**Key words:** Amphibolites, Metamorphic sole, BARB and IAT protolithes, Mt. Kalnik.

Mt. Kalnik is located at the southwestern tip of the Zagorje–Mid-Transdanubian shear Zone and is largely composed of ophiolite mélangé (i.e. the Kalnik Unit) which discontinuously extends to the SW into the Medvednica Mt. Conodont paleontology in sedimentary cover overlying MORB-type pillow lavas from the mélangé suggests Illyrian–Fassanian to Bathonian–Early Callovian age of topmost layers of relict oceanic crust (GORIČAN et al., 2005). The Kalnik Unit originated from a trench accretionary prism setting during the Middle Jurassic to Hauterivian as indicated by palynomorph assemblages documented in the mélangé matrix (BABIĆ et al., 2002). Remnants of an intraoceanic arc is recognised in the greenschist facies metabasites of the Medvednica Mts. obducted onto Adria platform in the Early Cretaceous (LUGOVIĆ et al., in review) implying the existence of an island arc during Middle Jurassic to Hauterivian time.

Amphibolites were sampled from the scarce outcrops representing a few meters thick slices composed of amphibolites and overlying serpentinitised mantle peridotites, and from amphibolite-bearing debris of the nearby streams. These slices were tectonically emplaced within Upper Cretaceous–Paleogene sedimentary succession. Amphibolites, previously assumed as blocks of ophiolite mélangé (PAMIĆ, 1997) are fine- to medium-grained, well foliated with nematoblastic texture. Primary assemblage comprises light green amphibole, plagioclase, accessory titanite and apatite±garnet±clinopyroxene±zoisite–clinozoisite. Retrograde paragenesis consists of epidote, zoisite–clinozoisite, titanite, chlorite and actinolite. Reaction rim around remnant garnet cores and patches comprises albite ( $An_{0.1-0.3}$ ), actinolite, chlorite and quartz. The mineral paragenesis decipher an amphibolite to lower granulite facies prograde metamorphic event followed by a greenschist facies retrograde metamorphism. The amphibolites overlain by serpentinites are sheared and show penetrative deformation, all others are undeformed. Lenses and veins filled by calcite and prehnite are common in the deformed

amphibolites. All characteristics allow us to interpret these amphibolites as sub-ophiolite metamorphic sole.

*Clinopyroxene* is homogeneous ferroan diopside with Mg/(Mg+Fe<sup>2+</sup>) ratio around 73.5. *Amphibole* representing peak-metamorphism displays wide compositional range stretching from Ti-rich (0.037–0.195 i.p.f.u.) through magnesio-hornblende and tschermakite to pargasite. *Plagioclase* ranges in composition from  $An_{29.8}$  to  $An_{48.6}$ . The *garnet* is almandine rich ( $Pyp_{10.8-19.7} Alm_{52.1-56.7} Sps_{2.9-8.4} Grs_{16.5-25.0}$ ) and shows prograde compositional variation across the grains. *Epidotes* have the range of  $100 \cdot Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Al^{VI})$  ratios between 14.3 and 23.8, and show the highest values in the secondary assemblages indicating high oxygen fugacity during the retrogression. High grade *titanites* have abundant Ti (up to 0.957 i.p.f.u.) apart from the retrograde compositions (around 0.777 Ti i.p.f.u.).

Peak equilibrium temperatures of the Mt. Kalnik amphibolites were estimated for rim to rim compositions of coexisting minerals using different geothermometers. The geothermometers based on coexisting amphibole–plagioclase pairs in silica-saturated systems calibrated by SPEAR (1980) and DALE et al. (2000) and on garnet–clinopyroxene Fe–Mg exchange equilibrium introduced by KROGH (1988) have given the most consistent results. Pressure estimation was performed by the geobarometers calibrated by SCHMIDT (1992) and DALE et al. (2000). The results are summarised in the Table 1. All results correspond to peak values except for the garnet–clinopyroxene temperatures which are significantly lower than would be the maximum temperature due to consumed garnet periphery.

Amphibolites from the Mt. Kalnik originated from igneous mafic protoliths. REE patterns of the amphibolites and their plots in discrimination diagrams decipher geochemical affinity of the back-arc ridge basalts (BARB) and tholeiitic island arc mafic magmas (IAT), respectively. Spidergrams of the arc related magmas reveal geochemical signatures similar to MORB but show slight flavour of subducted slab fluids recorded by negative Ta–Nb and

Sample	Protolith	SCHMIDT P GPa	SPEAR T °C	DALE et al. P GPa; T °C	KROGH T °C
KB	IAT	1.05±0.06	–	–	–
KD	BARB	0.59±0.04	580±100	–	–
KF	BARB	0.70±0.08	600±100	0.88±0.02; 620±50	680±10

Table 1 Summarised results of thermobarometric estimations for the Mt. Kalnik amphibolites.

other HFSE anomalies. Some IAT samples show strong positive Eu anomaly suggesting that cumulate rocks were also involved in the metamorphism.

In the absence of clear field relations between the amphibolites and other rocks from the Kalnik Unit we use the geochemical data as plausible substitute. Overall signatures of the protoliths indicate two geochemical types of metamorphic sole which were formed in a suprasubduction setting. We suppose that subduction was initiated by detachment of oceanic lithosphere at the slow rate back-arc spreading ridge. The hot oceanic crust was heated by the overridden mantle sequence peridotites to form the high grade amphibolites of tholeiitic BARB affinity. Closely latter, the peridotites were obducted over an active or a while ago dormant intraoceanic magmatic arc yielding metamorphic sole amphibolites with IAT geochemical signatures. The greenschist facies metamorphic overprint of the metamorphic sole took place during the exhumation of composite peridotite–metamorphic sole slices before their emplacement into continental margin Upper Cretaceous–Palaeogene sedimentary succession. Proposed geodynamic model implies the existence of a separated marginal basin during the Early Cretaceous located more to the north from the Central Dinaridic oceanic strand. On account of overall characteristics of the metamorphic sole the correlation between these two oceanic domains seems not viable since the protoliths of metamorphic sole from the Central Dinaridic Ophiolite Belt show exclusively MORB affinity and were metamorphosed around 172 Ma ago (OLKER et al., 2001).

## References

- BABIĆ, Lj., HOCHULI, A.P. & ZUPANIĆ, J. (2002): The Jurassic ophiolitic mélange in the NE Dinarides: Dating, internal structure and geotectonic implications.– *Eclogae geol. Helv.*, 95, 263–275.
- DALE, J., HOLLAND, T. & POWELL, R. (2000): Hornblende–garnet–plagioclase thermobarometry: a natural assemblage calibration of thermodynamics of hornblende.– *Contrib. Mineral. Petrol.*, 140, 353–362.
- GORIČAN, Š., HALAMIĆ, J., GRGASOVIĆ, T. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (2005): Stratigraphic evolution of Triassic arc–backarc system in northwestern Croatia.– *Bull. Soc. géol. Fr.*, 176, 3–22.
- KROGH, E.J. (1988): The garnet–clinopyroxene Fe–Mg geothermometer – a reinterpretation of existing experimental data.– *Contrib. Mineral. Petrol.*, 99, 44–48.
- LUGOVIĆ, B., ŠEGVIĆ, B. & ALTHERR, R. (in review): Petrology and tectonic significance of greenschists from the Medvednica Mts. (Sava unit, NW Croatia).– *Ofioliti*.
- OLKER, B., ALTHERR, R. & LUGOVIĆ, B. (2001): Metamorphic evolution of mafic granulites from the metamorphic sole of Central Dinaric Ophiolites (Bosnia–Herzegovina).– EUG XI Meeting, 8–12 April 2001, Strasbourg, France, Abstracts, 321–322.
- PAMIĆ, J. (1997): The northwesternmost outcrops of the Dinaridic ophiolites: a case study of Mt. Kalnik.– *Acta Geol. Hungar.*, 40, 37–56.
- SCHMIDT, W.M. (1992): Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al–in–hornblende barometer.– *Contrib. Mineral. Petrol.*, 110, 304–310.
- SPEAR, F.S. (1980): NaSi–CaSi exchange equilibrium between plagioclase and amphibole.– *Contrib. Mineral. Petrol.*, 72, 33–41.

## GIS Technology as a Tool for Production of Basic Geological Map of the Republic of Croatia, Scale 1:50,000

Ajka Šorša & Josip Halamić

*Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: asorsa@igi.hr*

**Key words:** GIS, Database, Mapping, Basic geologic map, Croatia.

Implementation of GIS technology in mapping and producing of geologic maps and creating of an accompanying geologic information database has a strong influence on the method of field geologist's work because it demands a new way of thinking. The analyses of geological data obtained from classical maps (paper format) are restricted because of the lack of related databases. On the contrary, a digital geologic map can be drawn at a different scale, with different projections and singular geologic features; for example lithology or age or structural elements as well (JOHNSON et al., 1999). Also, the geologic data from the map can be combined to external databases such as topographic, geochemical, agricultural, and similar ones for queries and analyses with specific requirements.

The main goal of the represented project is the production of a lithostratigraphic geologic map, scale 1:50,000, which will be the basis for developing a geologic model of a digital database. The development of the digital database is based on devising a standard geologic data entry and structure of the database. The model should be easy to use and extendable with any kind of computer data. Several types of data entry will be distinguished: (1) the data collected in the field, (2) additional tables with laboratory results and (3) digitally vectorized geologic map features.

A Microsoft Access database form of tables is customized to accept field data. The standardization of geologic data and input form is made by RaSULiN, task group composed of Survey's specialists for different geological disciplines. The data include a unique identification code – ID, date, x, y, z coordinates, rock description, name of the lithostratigraphic unit, structural measurements, general description and other data. The data are mostly selected from a defined list in the descriptive tables so that the result can be efficiently retrieved. The specialized sub-databases: sketches, photos, lithologies, fossils, samples, palaeotransports and structural measurements are linked to the field database.

The graphical data entry is obtained by scanning, georeferencing and vectorizing of spatial geologic and other objects from a geologic map. The geologic features are presented as lines, points, polygons and their attribute tables. A feature may have more than one attribute table. For example: a fault can separate polygons of lithostratigraphic units and continue into other polygons. It consists of three attribute tables: (1) specific fault data, (2) data about the contacts between lithostratigraphic units and (3) data for

polygon boundaries of the lithostratigraphic units (JOHNSON et al., 1999). The attribute tables are linked to the related tables, description tables, cartographic tables, field database and sub-database tables.

The integration of geologic spatial information and associated tabular data into a logical relation geologic database is made in GIS software ESRI ArcInfo 8.3 (RICHARD, 2004). The data model of this application is a geodatabase. The geologic data and their relationships are controlled by setting domains, subtypes and topology rules in the geodatabase between feature datasets or feature classes of faults, geologic contacts, lithostratigraphic units and field points. The geodatabase could explore the data for a specific purpose by means of thematic layers for a particular geologic data set, water, roads, etc.

Geographic information systems allow the manipulation and analysis of tabular and/or spatial geologic data sets. Both of them can be stored, edited, modified, updated and these changes are affected throughout the whole geologic relational database.

The implementation and evaluation of the Geographical information systems in geology, especially in mapping technology require some conditions to be met: standardization of topography, standardization of geologic data entry (graphical or tabular), a comprehensive structure of geologic database model and friendly access to spatial and tabular information. A well designed and maintained geologic database could be used for producing various geologic maps, queries and analyses (RICHARD & ORR, 2001).

### References

- JOHNSON, B.R., BRODARIC, B., RAINES, G.L., HASTINGS, J.T. & WAHL, R. (1999): Digital Geologic Maps Data Model.– U.S. Geological Survey and Association of American State Geologists, 4.3, (<http://geology.usgs.gov/dm/model/Model43a.pdf>).
- RICHARD, S.M. (2004): Geologic map database implementation in the ESRI™ geodatabase environment.– In: SOLLER, D. R. (ed.): Digital Mapping Techniques. '03–Workshop Proceedings. U.S. Geological Survey Open-file Report 04–xxx.
- RICHARD, S.M. & ORR, T.R. (2001): Data structure for the Arizona Geological Survey geologic information system; basic geologic map data.– In: SOLLER, D.R. (ed.): Digital Mapping Techniques 2001. Workshop Proceedings, U.S. Geological Survey Open-File Report 01–223, 167–188.



## Novi prinosi stratigrafiji paleogenskih klastično–karbonatnih naslaga jugoistočnog dijela Istre, Hrvatska

### New Contributions to Stratigraphy of Paleogene Clastic–Carbonate Deposits from Southeastern Istria, Croatia

Marko Šparica, Georg Koch, Haris Ibrahimpašić, Ines Galović & Stanislav Bergant

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: mksparica@igi.hr

**Ključne riječi:** klastično–karbonatne naslage, gornji oligocen, taložni okoliš, Istra, Hrvatska.  
**Key words:** Clastic–carbonate deposits, Late Oligocene, Depositional environment, Istria, Croatia.

#### Uvod

U okviru temeljnog projekta OGK RH 1:50000 u tijeku su istraživanja fliških naslaga Istre s ciljem rješavanja stratigrafskih, sedimentoloških i strukturnih problema koji proizlaze iz kompleksne dijakronične dinamike facijesnih razvoja unutar samih naslaga i u odnosu na rubne dijelove taložnog prostora. Na području Pićnja rasprostire se 110 metara debeli slijed klastično–karbonatnih naslaga koje se superpozicijski nalaze u gornjem dijelu ukupne sukcesije paleogenskih naslaga, no one se litološki i sedimentološki u izvjesnoj mjeri razlikuju od lateralnih ekvivalenata, odnosno tipičnih fliških naslaga. Prema dosadašnjim saznanjima (postojeća geološka karta RH 1:50000), klastično–karbonatnim naslagama u području Pićnja pripisana je srednjoeocenska do gornjoeocenska starost. Na temelju rezultata biostratigrafskih i sedimentoloških istraživanja, klastično–karbonatne naslage područja Pićnja potrebno je promatrati u posve novom svjetlu, kako sa stajališta taložnog prostora tako i sa stajališta starosti.

#### Litološke i sedimentološke značajke stupa

Donji dio (50 m) stupa predstavljen je laporima s varijabilnim udjelom kriptokristalastog/mikrokristalastog kalcita, gline, siliciklastičnog detritusa pelitnih dimenzija i planktonskih foraminifera. Mjestimice su prožeti laminama od siliciklastičnog detritusa siltnih dimenzija (kvarc, rožnjak, muskovit, plagioklasi) kao i 2–10 cm debelim proslojcima i/ili lećama madstona i biokalkarenita. Srednji dio (30 m) predstavljen je karbonatnim slojem koji se uglavnom sastoji od slabo sortiranih, detritičnih vapnenaca (biokalkareniti, biokalkruditi) koji obiluju skeletima velikih ekvilibrističnih bentičkih isključivo rotalidnih foraminifera, *Lepidocyclina* sp. i *Myogygina* sp., kršjem numulita *sensu lato*, skeletima i fragmentima crvenih algi – koralinaceja (koje su oblika algalnih prevlaka i lopti), ostacima ježinaca, briozoa, te rjeđe planktonskih foraminifera i mnoštvom drugog sitnog neprepoznatljivog kršja. Karbonatni detritus čine zaobljeni klasti biomikritnih vapnenaca. Raspon veličine detritusa je od 0,1–0,2 mm (sitno kršje) do 10–20 mm (bentičke foraminifere i koralinaceje). Detritus se međusobno dodiruje čineći klastopotporni kontakt, a klasti su povezani karbonatnim muljem. Mjestimice je muljna osnova dominantna i tada se unutar sloja nalaze kao leće floutstona. U slijedu sloja zapažena je varijabilnost u distribuciji

litoklasta i bioklasta. Temeljna značajka karbonatnog sloja je nepravilna vertikalna i lateralna izmjena različitih tipova vapnenaca. Od teksturnih elemenata mjestimice su uočene pojave utiskivanja detritičnog materijala u karbonatni mulj. Gornji dio stupa (30 m) predstavljen je laporima unutar kojih se pojavljuju lećasto distribuirani, 0,50–3 m debeli biokalkareniti sa slump teksturama i vapnenci sličnih značajki poput onih u karbonatnom sloju srednjeg dijela stupa.

**Dinosporinske ciste.** Unutar klastičnih naslaga determinirani su sljedeći oblici: *Areoligera semicirculata* (MORGENROTH, 1966) STOVER & EVITT, 1978, *Areosphaeridium diktyoplokus* (KLUMMP, 1953) EATON, 1971, *Homotryblium vallum* STOVER, 1977, *Homotryblium aculeatum* WILLIAMS, 1978, *Achomosphaera alcicornu* (EISENACK, 1954) DAVEY & WILLIAMS, 1966, *Dapsilidinium pseudocolligerum* (STOVER, 1977) BUJAK et al., 1980, *Deflandrea phosporitica* EISENACK, 1938, *Deflandrea leptodermata* COOKSON & EISENACK, 1965, *Melitasphaeridium choanophorum* (DEFLANDRE & COOKSON, 1955) HARLAND & HILL, 1979, *Nematosphaeropsis labirintus* (OSTENFELD, 1903) REID, 1974, *Nematosphaeropsis lemmiscata* BUJAK, 1984, *Spiniferites pseudofurcatus* (KLUMMP, 1953) SARJEANT, 1970 emend. SARJEANT, 1981, *Operculodinium* sp., *Glaphyrocysta* sp., *Corrudinium* sp., *Stoveracysta* sp., *Tectatodinium* sp., *Pentadinium* sp., *Apteodinium* sp., *Thalassiphora* sp., *Cribroperidinium* sp., *Selenopemphix* sp. Na temelju zajednice dinosporinskih cista, klastične naslage istraživanog stupa su gornjoooligocenske starosti (BRINKHUIS et al., 1992).

**Vapnenački nanoplantkon.** Dijagnosticirana je sljedeća zajednica vapnenačkih nanofosila: *Coccolithus formosus* (KAMPTNER) WISE, *C. pelagicus* (WALLICH) SCHILLER, *Cyclicargolithus abisectus* (MÜLLER) WISE, *Cy. floridanus* (HAY et al.) BUKRY, *Cy. lumina* (SULLIVAN) BUKRY, *Discoaster* sp., *D. calcosus* BUKRY, *D. tanii* BRAMLETTE & RIEDEL, *Lanternithus minutus* STRADNER, *Reticulofenestra bisecta* (HAY, MOHLER & WADE) ROTH, *R. daviesii* (HAQ) HAQ, *R. hillae* BUKRY & PERCIVAL, *R. lockeri* MÜLLER, *R. minutula* (GARTNER) HAQ & BERGGREN, *R. umbilica* (LEVIN) MARTINI & RITZKOWSKI, *Sphenolithus* cf. *abies* DEFLANDRE u DEFLANDRE & FERT, *S. calyculus* BUKRY, *S. capricornutus* BUKRY & PERCIVAL, *S. conicus*

BUKRY, *S. delphix* BUKRY, *S. aff. disbelemnos* FORNACIARI & RIO, *S. cf. distentus* (MARTINI) BRAMLETTE & WILCOXON, *S. moriformis* (BRÖNNIMANN & STRADNER) BRAMLETTE & WILCOXON, *S. pseudoradians* BRAMLETTE & WILCOXON, *Thoracosphaera* sp., *Triquetrorhabdulus carinatus* MARTINI, *Zygrhablithus bijugatus* (DEFLANDRE u DEFLANDRE & FERT) DEFLANDRE. Zajednica kokolita upućuje na gornjooligocensku starost istraživanih klastita (AUBRY & VILLA, 1996).

**Foraminifere.** Unutar karbonatnog sloja srednjeg dijela stupa, određene su na generičkom nivou *Lepidocyclina* sp. i *Myogypsina* sp. koje ukazuju na gornjooligocensku starost (LOEBLICH & TAPPAN, 1988).

### Interpretacija okoliša

Palinofacijes klastičnih naslaga, kojeg karakterizira apsolutna dominacija horatnog tipa dinosporinskih cista, ukazuje na taložni prostor unutarnjeg do vanjskog neritika. U donjem dijelu stupa, dinosporinske ciste zastupljene su i do 95% u palinospektru zajednica palinomorfa, što se dovodi u svezu s maksimumom transgresije. Zapažene su i pretaložene eocenske forme. Palinofacijesne značajke gornjeg dijela stupa ukazuju na regresivni trend i mirnije taložne uvjete.

Gotovo većina rodova i vrsta vapnenačkih nanofosila karakteristični su za toplije marinske predjele nižih geografskih širina. O relativno proksimalnom položaju taložnog prostora svjedoče brojni primjerci vrste *Zygrhablithus bijugatus* kao i pretaloženi eocenski oblici kokolita.

Pojave velikih lepidociklidnih i miogipsidnih foraminifera, koje su tipične za gornji dio fotičke zone, ukazuju na taložni prostor do dubine od 40 metara u kojem je istaložen karbonatni sloj srednjeg dijela stupa.

### Zaključak

Na temelju dobivenih rezultata istraživanja, klastično-karbonatne naslage u području Pićnja izdvojene su kao zasebna litostratigrafska jedinica gornjooligocenske starosti. Međutim, njihov položaj u ukupnoj paleogenskoj sukcesiji karbonatno-klastičnog kompleksa naslaga potrebno je daljnim istraživanjima dovesti u suglasje s naslagama jugozapadnog ruba taložnog prostora u području cijele Istre s obzirom na njihovu dijakroničnu evoluciju.

### Literatura

- AUBRY, M.-P. & VILLA, G. (1996): Calcareous nannofossil stratigraphy of the Lemme-Carrosio Paleogene/Neogene Global Stratotype Section and Point.– *G. Geologia*, 3, 58/1–2, 51–69, Bologna.
- BRINKHUIS, H., POWELL, A.J. & ZEVENBOOM, D. (1992): High resolution dinoflagellate cyst stratigraphy of Oligocene/Miocene transition interval in northwestern and central Italy.– U: HEAD, M.J. & WRENN, J.H. (ur.): *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. Am. Assoc. Strat. Palynol. Found., 219–258, Dallas.
- LOEBLICH, A.R.Jr. & TAPPAN, H. (1988): *Foraminiferal Genera and Their Classification*.– Van Nostrand Reinhold, New York, 970 p.

**Recentni sedimenti Morinjskog zaljeva (Srednji Jadran, Hrvatska):  
njihovo podrijetlo i problem antropogenog onečišćenja**  
**Holocene Sediments from Morinje Bay (Central Adriatic, Croatia):  
Their Features and Problem of Anthropogenic Pollution**

Marko Šparica<sup>1</sup>, Georg Koch<sup>1</sup>, Slobodan Miko<sup>1</sup>, Martina Šparica-Miko<sup>1</sup>,  
Stanislav Bergant<sup>1</sup>, Andrea Bačani<sup>2</sup>, Anđa Alajbeg<sup>3</sup>, Damir Viličić<sup>4</sup>,  
Tadej Dolenc<sup>5</sup>, Ines Galović<sup>1</sup> & Haris Ibrahimpašić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: mksparica@igi.hr

<sup>2</sup> Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup> INA-SSRI, Savska 41/10, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>4</sup> Prirodoslovno matematički fakultet, Odsjek za biologiju, Rooseveltov trg 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>5</sup> Fakultet za naravoslovlje in tehnologijo, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

**Ključne riječi:** holocensko izdizanje morske razine, recentni sedimenti, sedimentologija, ekosustav, kemija, organska geokemija, geokemija, taložni uvjeti, antropogeno onečišćenje.

**Key words:** Holocene sea level rise, Recent sediments, Sedimentology, Ecosystem, Chemistry, Organic geochemistry, Geochemistry, Depositional environment, Anthropogenic pollution.

### Uvod

Morinje je plitak zaljev površine oko 3.5 km<sup>2</sup>, dubine 0.3–2 m i nalazi se 5 km jugoistočno od Šibenika. Zaljev je potopljeni dio Donjeg Polja, čiji je udolinski sistem stvaran tektonskim pokretima, kao i akumulacijom nanosa fluvijalnog i proluvijalno-deluvijalnog podrijetla.

Zaljev karakteriziraju varijabilne temperature morske vode (0–35°C) i salinitet (do 42.0‰), što je posljedica klime, sezonski povišene evaporacije, kontinuiranog unosa slatke vode periodičnim površinskim tokovima, vrelima i vruljama, pri čemu važnu ulogu igraju složeni geološki, odnosno hidrogeološki odnosi šireg područja. Još donedavno, u vrijeme kišnih perioda velike količine slatke vode (>46 m<sup>3</sup>/s) utjecale su u zaljev rijekom Dabar. Dabar je sa slivom površine od 103 km<sup>2</sup> bio tipičan bujičnjak, koji je ostvarivao i najviši unos nutrijenata potrebitih za razvoj ukupnog biotopa ovog zaštićenog plitkomorskog ekosustava. Radovi na cestogradnji u blizini njegovog vrela u Danilo polju rezultirali su prekidom dotoka vode, tako da je danas korito Dabra bezvodno.

Kanalom Morinje zaljev je (širine 150–350 m, dužine 2.5 km i dubine mora od 23 m na kontaktu kanala s otvorenim morem do 1.8 m na ulazu u Morinjski zaljev) spojen s otvorenim morem. Transverzalno je položen na dinaridski smjer pužanja struktura izgrađenih od karbonatnih stijena gornjokredne i paleogenske starosti i eocenskih klastita. To je potopljena dolina, koja je u cijelosti nastala usijecanjem rijeke Dabar tijekom gornjeg pleistocena i naročito holocena. Uslijed holocenskog globalnog rasta morske razine, transgresija u kanalu Morinje započela je oko 8000 godina prije sadašnjosti, a u Morinjski zaljev oko 4600 godina prije sadašnjosti (FILIPČIĆ, 1992; ŠEGOTA, 1968).

### Rezultati istraživanja

Terenska istraživanja istaloženog stupa sedimenata (>6+ x m) provedena su metodom snimanja 19 profila posta-

vljenih okomito na dužu os zaljeva i međusobno udaljenih 100 m. Na ukupno 171 sondi vršena su opažanja značajki stupa morske vode i sedimenta, a korerom su na 86 sondi uzimani uzorci za analitička istraživanja.

Sedimenti Morinjskog zaljeva klasificirani su kao pjeskovito-glinoviti siltovi, rjeđe pjeskovito-siltodne gline, dok je mineraloški sastav u netopivom ostatku (2–50%) granat, piroksen, epidot, amfibol, kvarc, feldspat i dr., što ukazuje na podrijetlo materijala koji je većim dijelom nastao erozijom paleogenskih klastičnih (flišnih) naslaga iz neposrednog okruženja. U manjem dijelu zastupljeni su i biogeni kvarc i kalcit.

Učestalost fitoplanktona, struktura i diverzifikacija populacija kao i omjer zastupljenosti fizioloških skupina (mjereno u travnju i srpnju), odlike su uvjeta koji pogoduju formiranju znakovitih fitoplanktonskih zajednica i odraz su stresnijih okolnosti koje su vladale i vladaju u okolišu ekstremnih uvjeta s učestalim stresnim okolnostima. Zajednice oportunističkih oblika rodova foraminifera također su pokazatelj nestabilnih i stresnih sredina s dostatnim ali varijabilnim donosom nutrijenata u Morinjski ekosustav. Spomenuti ekološki uvjeti pospješuju povišenu biološku produkciju, što rezultira taloženjem naslaga koje su bogate organskom komponentom. Visok udio organske tvari u recentnim sedimentima zaljeva ukazuje na povišeni stupanj trofije Morinjskog ekosustava tijekom taložne povijesti.

Palinofacijes i sastav stabilnih izotopa organskog ugljika  $\delta^{13}\text{C}\text{‰}$  pokazuju kako je 70–90% organske tvari bogato vodikom i lipidima (dominantno amorfn tip) u prosječnom udjelu 2/3 morskog (pretežito plankton, bakterije i marinske makrofita) i 1/3 terestričkog (uglavnom drveno tkivo) podrijetla. Plinski kromatogrami pokazuju kako je kvalitativni sastav niskomolekularnog ekstrakta jednak, ali je relativna zastupljenost pojedinih sastojaka različita. Kvantitativne varijacije sastava organske tvari uvjetovane su ekološkim čimbenicima, kao i varijabilnom distribucijom glede geometrije taložnog prostora.

Lipidima i vodikom bogata organska tvar, pirit, Eh i pH mjerenja, kao i visok udio sumpornih spojeva (indicirani krivuljama eluiranja na plinskim kromatogramima) ukazuju na reduktivne uvjete taloženja. Udio sulfidnih iona je viši u odnosu na unos teških metala (primjerice Fe) što je rezultiralo ugradnjom dijela sumpora u organske molekule uz posredovanje anaerobnih bakterijskih aktivnosti. Eh mjerenja su pokazala kako je sediment, unatoč bentičke aktivnosti, visoko reduktivan i u najvišem segmentu neposredno uz kontakt s oksidnim vodenim stupcem, što se objašnjava cijanobakterijskom aktivnošću (koje su uvelike rasprostranjene u plitkomorskim ekosustavima s povišenim i fluktuirajućim salinitetom), što dovodi do smanjenja vertikalne permeabilnosti sedimenta zadržavajući u njima reduktivne uvjete.

Distribucija i učestalost većine kemijskih elemenata pozitivno se korelira s mineraloškim sastavom glinovitih siltita. Za dublje sedimente znakovito je obogaćenje redoks osjetljivih metala kao što su As, Mo, U i V, dok je Mn obogaćen u oksidno–anoksičnoj interface zoni. Co, Cr, Ni, La, Ba, i Zn odražavaju geogeno podrijetlo, kada se vrijednosti normaliziraju prema Sc. Obogaćenja redoks osjetljivih metala povezana su s visokim koncentracijama otopljenih sulfida u reakciji s površinom minerala, uključujući pirit kao i količinom i tipom organske tvari.

### Antropogeno onečišćenje

U cilju određivanja možebitnog utjecaja (otpadnog) pepela napuštenog odlagališta otpada, smještenog uz sjeverozapadnu obalu zaljeva na geokemijske značajke taloženih naslaga, ICP–MS–om analizirane su tri jezgre u intervalima od 5 cm. Ukupno je analizirano 45 elemenata u uzorcima jezgara i skupnim (mješovitim) uzorcima pepela. Koncentracije Pb u pepelu variraju od 1039 do 1195 mg/kg; Zn od 5033 do 6610 mg/kg; Cd od 6.1 do 18.3 mg/kg; Cu od 557 do 717 mg/kg; kao i visoke koncentracije Sn od 113 do

234 mg/kg i Cr od 264 do 1048 mg/kg. Utvrđeno je kako su Cd i Zn najmobilniji elementi s više od 25% ekstrakcije s 1M amonijskog acetata. Također je ekstrahirano 10% Mo i U. Ekstrahirane koncentracije Cu, Sn i Cr su manje od 1%. Koncentracije teških metala u uzorcima jezgara pokazuju samo mala povećanja Pb u vršnih 15 cm jezgre. Cu pokazuje trostruko povećanje u površinskim sedimentima (od 17 do 65 mg/kg). Redoks osjetljivi Mo pokazuje osmerostruko povećanje u intervalima 60 do 80 cm (od 35 do 44 mg/kg) u usporedbi s površinskim sedimentima (od 5.1 do 6.5 mg/kg). Sličnu distribuciju koncentracije pokazuje i U. Izračunati faktori obogaćenja na temelju odnosa metal/Sc pokazuju dvostruko povećanje za Pb i četverostruko povećanje za Cu. Kako su jezgre locirane na različitim udaljenostima od pepela (10, 50 i 100 m), analiza ukazuje na to kako erozija (otpadnog) pepela ne doprinosi uvelike koncentracijama metala na udaljenostima većim od 50 m, a također i povišene vrijednosti Pb i Cu mogu biti pripisane atmosferskom regionalnom taloženju (Pb) i lokalnoj vinarogradarskoj aktivnosti (Cu).

Plinski kromatogrami iz uzoraka površinskih sedimenta u blizini odlagališta pokazuju prisutnost nekih drugih spojeva (nafta, plastika, deterđenti), koji upućuju na značajniji antropogeni utjecaj na Morinjski ekosustav. Dosašnjim istraživanjima, antropogeno onečišćenje spomenutim komponentama utvrđeno je u sjeverozapadnom i sjevernom dijelu zaljeva, dok je središnji i južni dio zaljeva sa stajališta primijenjenih metoda još uvijek relativno malo onečišćen.

### Literatura

- FILIPČIĆ, A. (1992): Neolitsko naselje Danilo kod Šibenika i razina Jadranskog mora.– Geogr. glasnik, 54, 33–44, Zagreb.
- ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem würmu.– Geogr. glasnik, 30, 15–39, Zagreb.

## ALP 2002 – Dvodimenzionalno seizmičko modeliranje na profilima ALP01 i ALP02

### ALP 2002 – Two-Dimensional Seismic Modelling on ALP01 and ALP02 Profiles

Franjo Šumanovac<sup>1</sup>, Ivor Filipović<sup>1</sup>, Jasna Orešković<sup>1</sup> & ALP 2002–Radna grupa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: fsuman@rgn.hr

<sup>2</sup>K. Aric, M. Behm, F. Bleibinhaus, M. Brož, E. Brückl, W. Chwatal, H. Gebrande, M. Grad, H. Grassl, A. Gosar, A. Guterch, Z. Hajnal, S.H. Harder, E. Hegedüs, S. Hock, V. Höck, P. Hrubcova, P. Joergensen, G. R. Keller, F. Kohlbeck, K. C. Miller, J. Orešković, E.-M. Rumpfhuber, Ch. Schmid, R. Schmöller, C. M. Snelson, A. Špičak, F. Šumanovac, H. Thybo, T. Tiira, Č. Tomek, Ch. Ullrich, M. Wilde-Piorko, J. Yliniemi

**Ključne riječi:** refrakcijska istraživanja, seizmičko modeliranje, ALP 2002.

**Key words:** Refraction exploration, Seismic modelling, ALP 2002.

#### 1. Uvod

Međunarodni znanstvenoistraživački projekt dubokih refrakcijskih istraživanja litosfere ALP 2002 izvodi se na području od Alpa do Dinarida (ALP 2002 WORKING GROUP, 2002). Istražni prostor pokriva široko područje, zbog zahvaćanja velikih dubina: veći dio Austrije, zapadni dio Češke, rubna područja Mađarske i Italije, Sloveniju i dio Hrvatske. Prijemnici seizmičkih valova (minijaturni seizmografi) razmješteni su po profilima, a na odgovarajućim položajima su smještene točke paljenja, što omogućuje dvodimenzionalno modeliranje i interpretaciju. Osim toga, geometrija snimanja i registracija nailazaka na svim prijemnicima od svake točke paljenja omogućuje trodimenzionalno modeliranje i interpretaciju. Nakon dugotrajnih priprema mjerenja su se izvodila po strogo definiranom postupku tijekom tri noći od 2. do 4. srpnja 2002. godine, zbog znatno slabijih okolišnih šumova. Ukupna duljina profila iznosi 4313 km, a na njima se nalazi 39 točaka paljenja.

#### 2. Dvodimenzionalno seizmičko modeliranje

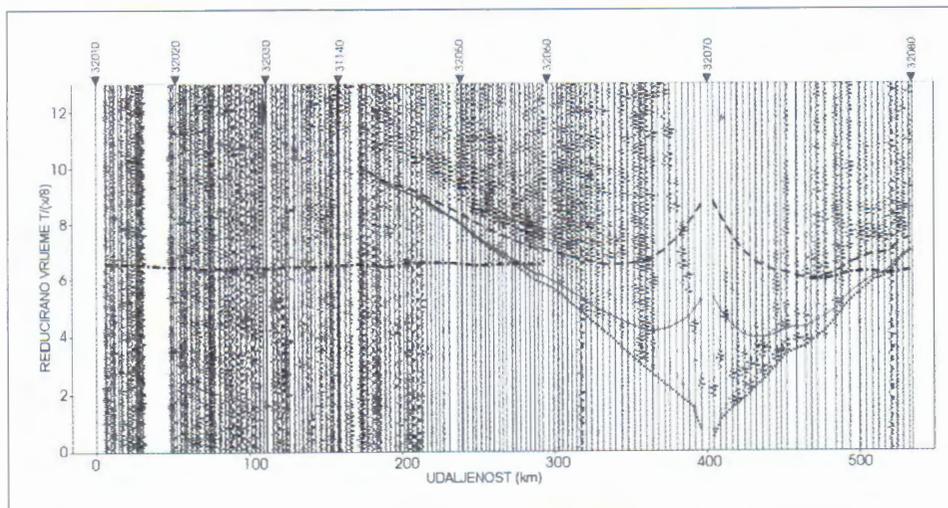
Dvodimenzionalno modeliranje je izvedeno na glavnim profilima u okviru projekta: ALP01 i ALP02, kao prvi korak interpretacije. Profil ALP01 se pruža pravcem sjever-

jug i presijeca okomito Alpski planinski masiv. Počinje kod Bilina u Češkoj, pruža se preko Plzena, Schladminga i Gradina u Sloveniji, te završava u Istri kod Koromačnog. Profil ALP02 se pruža pravcem sjeverozapad–jugoistok, dijagonalno presijeca Alpe od Innsbrucka, preko Villacha do Celja, te ulazi u Panonski bazen i završava kod Slavonskog Broda.

Dvodimenzionalna interpretacija izvedena je softverima za direktno modeliranje (eng. *Forward Modelling*) i inverziju (eng. *Inversion*). Direktno modeliranje je izvedeno softverom koji se temelji na metodi trasiranja puta zraka (eng. *Ray Tracing*), a inverzija metodom seizmičke tomografije. Programski paketi su razvijeni u okviru prijašnjih projekata dubokih refrakcijskih istraživanja. Primjer snimljenog seizmograma za točku paljenja kod Ivanić Grada (32070) na profilu ALP02 prikazan je na sl. 1. Na seizmogram su različitim bojama uneseni nailasci reflektiranih i refraktiranih valova za granice prikazane u interpretiranom modelu na sl. 2.

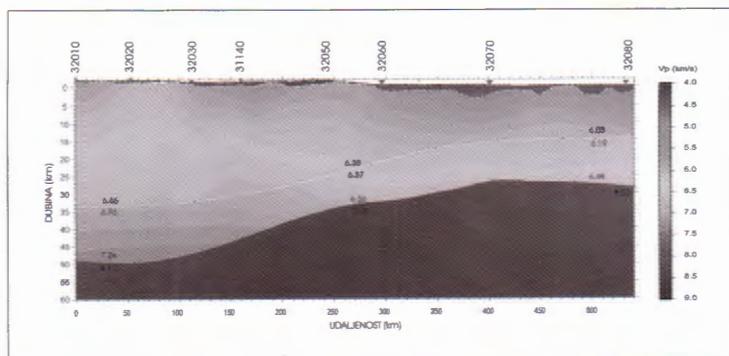
#### 3. Rezultati interpretacije

Rezultati interpretacije su prikazani na primjeru interpretacije profila ALP02 (sl. 2). Kao ulazni model korišten je



Sl. 1 Terenski seizmogram za točku 32070 s teoretskim nailascima za interpretirani model.

Fig. 1 Record section for the shot 32070 with theoretical arrivals for interpreted model.



Sl. 2 Dvodimenzionalni model profila ALP02.

Fig. 2 Two-dimensional model of ALP02 profile.

četveroslojni model, to jest kora (sloj iznad Mohorovičićevog diskontinuiteta) je podijeljena u dva dijela, gornju i donju koru. Prvi, najbliži sloj čine klastične naslage, napose u Panonskom bazenu. Već na samom početku interpretacije pokazalo se da reljef podine klastičnih naslaga i primijenjeni zakon brzina jako utječu na dublje horizonte. Zato je granica određena na temelju podataka dobivenih u okviru naftogeoloških istraživanja (SAFTIĆ et al., 2003). Mogućnost preciznog definiranja ove granice smanjila je višeznačnost interpretacije, to jest omogućila pouzdanije određivanje dubljih granica.

Dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta najveća je u Alpskom području, oko 50 km, te se postupno smanjuje, a u području Panonskog bazena u Hrvatskoj dostiže dubine oko 27 km. Brzine ispod diskontinuiteta su više od 8 km. Kora se dijeli u dva sloja, ali se uočava velika razlika u seizmičkim brzinama u Alpskom području i u Panonskom bazenu. U području Alpa su općenito više brzine i jasni kontrast na granici, dok su u području Panonskog bazena niže brzine (5,8–6,4 km/s), a kontrast na granici je vrlo mali, pa s praktičnog stajališta može se čak reći da nema jasne razlike između gornje i donje kore. Ovo potvrđuju i preliminarnu interpretacije na drugim refrakcijskim profilima.

#### 4. Zaključak

Dvodimenzionalna seizmička modeliranja izvedena su na glavnim profilima ALP01 i ALP02, a već podaci prvog koraka interpretacije daju nova saznanja o građi Zemljine kore. Dubina Mohorovičićevog diskontinuiteta je oko 50 km ispod Alpa, a oko 27 km ispod Panonskog bazena. Međutim, napose treba istaknuti kako su brzine u kori na području Panonskog bazena niske i praktično nema jasne podjele na dva sloja. Podaci mjerenja u okviru projekta ALP 2002 još će se niz godina interpretirati kako dvodimenzionalnim, tako i trodimenzionalnim metodama interpretacije.

#### 5. Zahvale

Izvođenje projekta u Hrvatskoj omogućeno je potporom Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske, Austrijske akademije znanosti i INA-Industrije nafte, d.d.

#### 6. Literatura

ALP 2002 WORKING GROUP (2002): A Seismic Experiment to Explore the Alpine Lithosphere.– Eos Trans. AGU, 83 (47), Fall Meet. Suppl., Abstract, Reporter BRÜCKL, E., San Francisco.

SAFTIĆ, B, VELIĆ, J., SZTANO, O., JUHASZ, G. & IVKOVIĆ, Ž. (2003): Tertiary subsurface facies, source rocks and hydrocarbon reservoirs in the SW part of the Pannonian basin (Northern Croatia and Southwestern Hungary).– Geologia Croatica, 56, 101–122.

## ALP 2002 – Istraživanja litosfere na području Alpa i Dinarida

### ALP 2002 – Exploration of Lithosphere in the Area of Alps and Dinarides

Franjo Šumanovac<sup>1</sup> & ALP 2002–Radna grupa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: fsuman@rgn.hr

<sup>2</sup>K. Aric, M. Behm, F. Bleibinhaus, M. Brož, E. Brückl, W. Chwatal, H. Gebrande, M. Grad, H. Grassl, A. Gosar, A. Guterch, Z. Hajnal, S.H. Harder, E. Hegedüs, S. Hock, V. Höck, P. Hrubcova, P. Joergensen, G.R. Keller, F. Kohlbeck, K.C. Miller, J. Orešković, E.-M. Rumpfhuber, Ch. Schmid, R. Schmöller, C. M. Snelson, A. Špičak, F. Šumanovac, H. Thybo, T. Tiira, Č. Tomek, Ch. Ullrich, M. Wilde-Piorko, J. Yliniemi

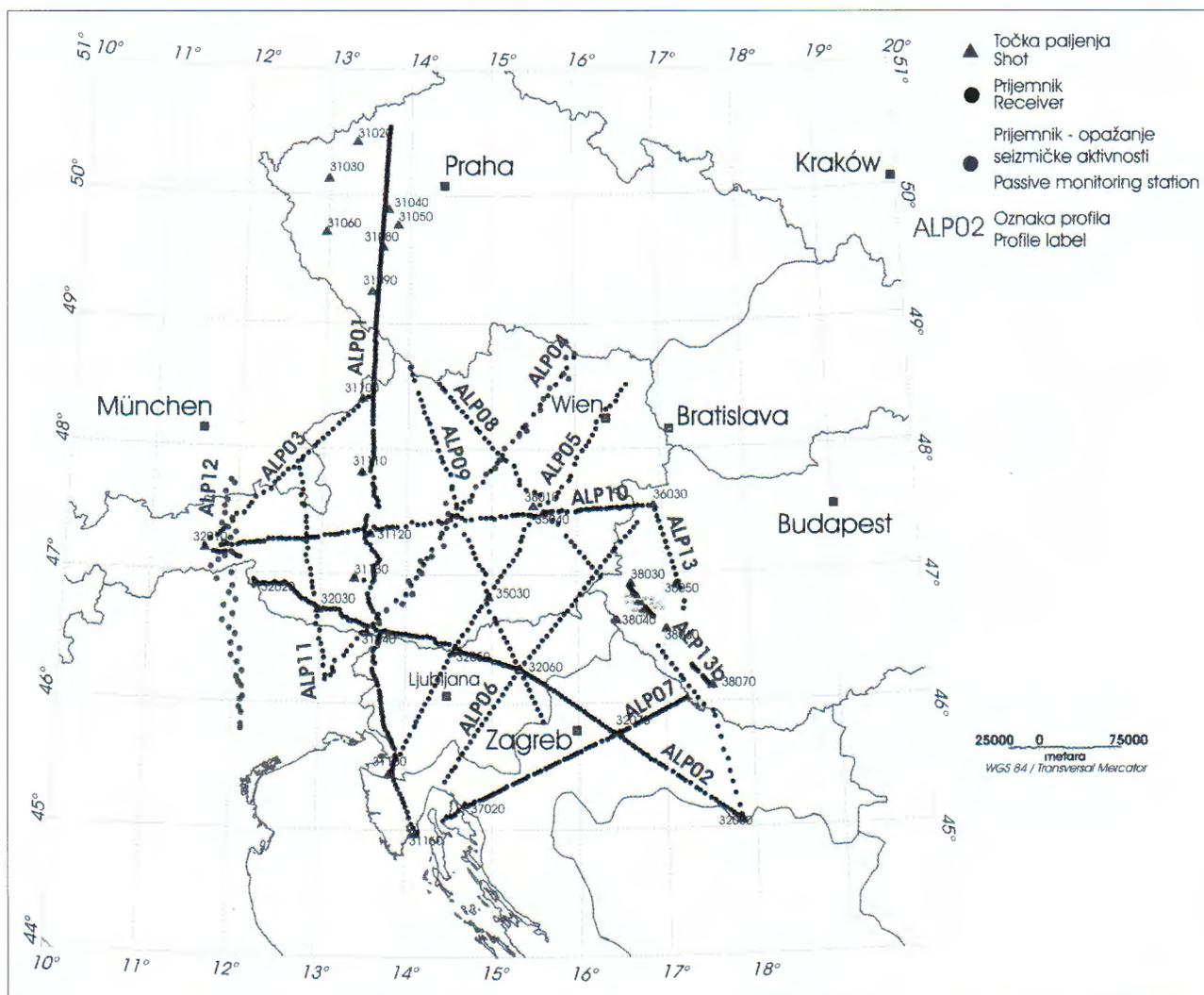
**Ključne riječi:** refrakcijska istraživanja, litosfera, Alpe, Dinaridi, ALP 2002.

**Key words:** Refraction exploration, Lithosphere, Alps, Dinarides, ALP 2002.

#### 1. Uvod

ALP 2002 je međunarodni znanstvenoistraživački projekt dubokih refrakcijskih istraživanja, s ciljem dobivanja fundamentalnih podataka o dubokim strukturama u litosferi i Mohorovičićevom diskontinuitetu, koji su dragocjeni u seizmologiji, istraživanjima nafte i plina, geotermalnim i drugim dubokim istraživanjima. U projektu sudjeluju

Austrija, Češka, Hrvatska, Italija, Mađarska i Slovenija, te niz znanstvenika iz drugih zemalja. Projekt je nastavak uspješno izvedenih projekata: POLONAISE 97, CELEBRATION 2000 (“Refraction Seismic Experiment in the Central Europe and the Eastern Alps”) i SUDETES 2003 (GUTERCH et al., 2003). U međuvremenu je pokrenut i TRANSALP, projekt dubokih refleksijskih istraživanja



SI. 1 ALP 2002 – Položaji profila i izvora valova.

Fig. 1 ALP 2002 – Positions of profiles and seismic sources.

u području Alpa (TRANSALP Working Group, 2002). Tako je ovim dubokim istraživanjima pokriveno područje od Baltika, preko srednje Europe do Jadranskog mora, te uključuje Češki masiv, područje Alpa, Karpata, Panonskog bazena i dio Dinarida.

## 2. Terenska mjerenja

Prijemnici seizmičkih valova (instrumenti Texan s geofonima, minijaturni seizmografi) razmješteni su po unaprijed dogovorenim profilima, kojima je pokriveno vrlo široko istražno područje (sl. 1). Razmješteni su na unaprijed određene i provjerene mikrolokacije, čije su koordinate definirane GPS-om i precizno opisane. Mikrolokacije su pomno odabrane, kako bi se smanjili prirodni šumovi i sačuvali skupi instrumenti. Postavljeno je ukupno 926 instrumenata na 14 profila s ukupnom duljinom od 4313 km. Na odgovarajućim položajima na profilima smještene su točke paljenja (izvori valova), ukupno 39, u kojima su inicirani seizmički valovi pomoću eksploziva u 4–6 bušotina dubine 40–60 m. U Hrvatskoj su se nalazile četiri točke: kod Slavenskog Broda (32080), kod Ivanić Grada (32070), kod Crikvenice u općini Tribalj (37020) i na području Koromačnog u Istri (31160).

Svi prijemnici su registrirali nailaske od svake od predviđenih točaka paljenja, kako bi se potpuno i višestruko pokrio istražni prostor, te razvojem odgovarajućeg softvera omogućila trodimenzionalna (3D) interpretacija. Zato su se mjerenja morala odvijati po strogo definiranom postupku. Unaprijed je određen raspored paljenja i usklađen s intervalima u kojima su prijemnici bili aktivni, spremni za primjem seizmičkih nailazaka. Mjerenja su se izvodila tijekom tri noći od 2. do 4. srpnja 2002. godine. Noć je odabrana zbog znatno slabijih okolišnih šumova. Kako prijemnici, zbog ograničene memorije, nisu mogli biti stalno aktivni, prije razmještaja su programirani pomoću GPS-vremena.

## 3. Obrada podataka i interpretacija

Podaci iz svih instrumenata transferirani su neposredno nakon prikupljanja u lokalnim središtima, a temeljna obrada je izvedena u Beču na Tehničkom univerzitetu, te su kompletni podaci u SEG-Y-formatu stavljeni na raspolaganje za daljnju obradu i interpretaciju svim sudionicima u projektu. Obradeni podaci prikazani su u obliku seizmograma za svaku točku paljenja i odgovarajući profil. Općenito su kvalitetniji podaci dobiveni s točaka paljenja smještenih u Panonskom bazenu, nego s točaka smještenih u Dinaridima ili Alpama. Poznato je iz prijašnjih projekata dubokih refrakcijskih istraživanja da točke paljenja smještene u karbonate daju znatno skromnije podatke od točaka smještenih u klastične naslage. Vrlo kvalitetni podaci, na kojima su

prvi, pa čak i kasniji nailasci vrlo jasni, mogu se vidjeti na snimljenim seizmogramima za točke paljenja kod Ivanić Grada (32070), Slavenskog Broda (32080) i u Mađarskoj (38070), koja daje najpotpunije podatke o dubokim strukturama i Mohorovičićevom diskontinuitetu u Hrvatskoj, jer se nalazi na profilu ALP 07.

U okviru dvodimenzionalne interpretacije, korišten je softver za direktno modeliranje, metodom trasiranja puta zraka (eng. *Ray Tracing*), a sastoji se od dva osnovna modula: ZPLOT (autor je Colin Zelt iz SAD-a) i SEIS 83 (autori su Vlastislav Červený i Ivan Pšenčík iz Češke). Automatska inverzija metodom seizmičke tomografije izvedena je softverom HOLE (autor je J.A. Hole iz SAD-a). Softveri za trodimenzionalnu interpretaciju su u razvojnoj fazi, te će se koristiti u okviru slijedećih faza rada na projektu.

## 4. Zaključak

Sofisticirana terenska mjerenja dala su kvalitetne fundamentalne podatke o građi dubokih struktura u litosferi, a nape o Mohorovičićevom diskontinuitetu. Podaci će se niz godina obrađivati i interpretirati 2D i 3D-metodama, koje su još uvijek u razvojnom stupnju. U prvoj fazi interpretacije primijenjene su 2D-metode interpretacije razvijene u okviru projekta CELEBRATION 2000, kao direktno modeliranje i inverzija, to jest metoda seizmičke tomografije. U slijedećim fazama primijenit će se 3D-metode, kako bi se podaci mjerenja maksimalno iskoristili. Međutim, već dvodimenzionalna interpretacija daje temeljne podatke o građi Zemljine kore na području Hrvatske.

## 5. Zahvale

Izvođenje projekta u Hrvatskoj omogućeno je potporom Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske, Austrijske akademije znanosti i INA-Industrije nafte, d.d. U projektu su sudjelovali brojni zaposlenici Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta i vanjski suradnici, kojima se najsrdačnije zahvaljujemo.

## 6. Literatura

- GUTERCH, A., GRAD, M., ŠPIČAK, A., BRÜCKL, E., HEGEDŰS, A., KELLER, G.R., THYBO, H., CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003 Working Groups (2003): An Overview of Recent Seismic Refraction Experiments in Central Europe.– Stud. Geophys. Geod., 47, 651–657.
- TRANSALP Working Group (2002): First deep seismic reflection images of the Eastern Alps reveal giant crustal wedges and transcrustal ramps.– Geophysical Research Letters, 29, 92–1–92–4.

## Paleogeografija i okoliši taloženja u juri zapadnog dijela Jadranske karbonatne platforme na području Hrvatske

### Jurassic Paleogeography and Depositional Environments of Western Part of the Adriatic Carbonate Platform in Croatia

Josip Tišljari<sup>1</sup>, Igor Vlahović<sup>2</sup> & Ivo Velić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: jtisljar@rgn.hr

<sup>2</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** paleogeografija, okoliši taloženja, jura, Jadranska karbonatna platforma.

**Key words:** Paleogeography, Depositional environments, Jurassic, Adriatic Carbonate Platform.

Premda slijed karbonatnih sedimenta u krškim Dinaridima mjestimice ima gotovo kontinuirani razvoj od gornjega perma do eocena s debljinama i više od 8.000 m samo sedimenti od vrha donje jure (toarcija) do najmlađe krede pripadaju Jadranskoj karbonatnoj platformi (JKP–AdCP). Ona je sredinom i krajem starije jure – u toarciju – nastala tektonskom dezintergracijom postojeće velike *Južnotetiske megaplatforme* nakon formiranja dubljih morskih područja, posebice Jadranskog bazena kojim su odvojene Apulijska, Apeninska i Jadranska karbonatna platforma, a koji je bio veza između Jonskog, Belluno i Lagonero bazena, te Slovenskog i Bosanskog korita (VLAHOVIĆ et al., 2002, 2005).

Taloženje na JKP tijekom 125 milijuna godina rezultiralo je s, od mjesta do mjesta varijabilnim, debljinama karbonatnih sedimenta – između 3.500 i 5.000 m. Zbivalo se pretežito u izrazito plitkomorskim okolišima koji su često bili prekidani kraćim ili dužim okopnjavanjima – emerzijskim razdobljima kao posljedicom sinsedimentacijske tektonike, a povremeno i eustatičkih promjena morske razine.

U starijoj juri (toarciju) zapadni dio JKP imao je raznovrsnu paleogeografiju i zbog toga bitne razlike u uvjetima i okolišima taloženja: od Gorskoga kotara, preko Like i Velebita do središnje Dalmacije na platformi je formirano prostrano lagunarno područje izolirano od izravnih utjecaja otvorenoga mora, obilježeno slabom produkcijom karbonata, tj. vrlo malim obrocima taloženja (talože se biturbiorani “mrljasti vapnenci”). Istodobno je izdizanjem SZ dijela platforme područje Žumberka i okolice Karlovca okopnjeno (sl. 1), a emerzija je trajala od početka toarcija do početka kimeridža (oko 25 milijuna god.). Sredinom i krajem starije, u srednjoj i početkom mlađe jure središnji je dio zapadnog područja platforme (Gorski kotar, Velika Kapela) preplavljen plitkim morem u kome dominiraju periplimni okoliši (lagune i zaštićeni plićaci), a mjestimice i plićaci s pokretljivom vodom u kojima se talože ooidni i bioklastični pijesci u obliku stalno pokretnih prudova (TIŠLJAR et al., 2002). Blaga sinsedimentacijska tektonika uzrokovala je samo mjestimična izronjavanja – kratkotrajne emerzije obilježene emerzijskim brečama i vadoznim tvorevinama (sl. 1 i 2).

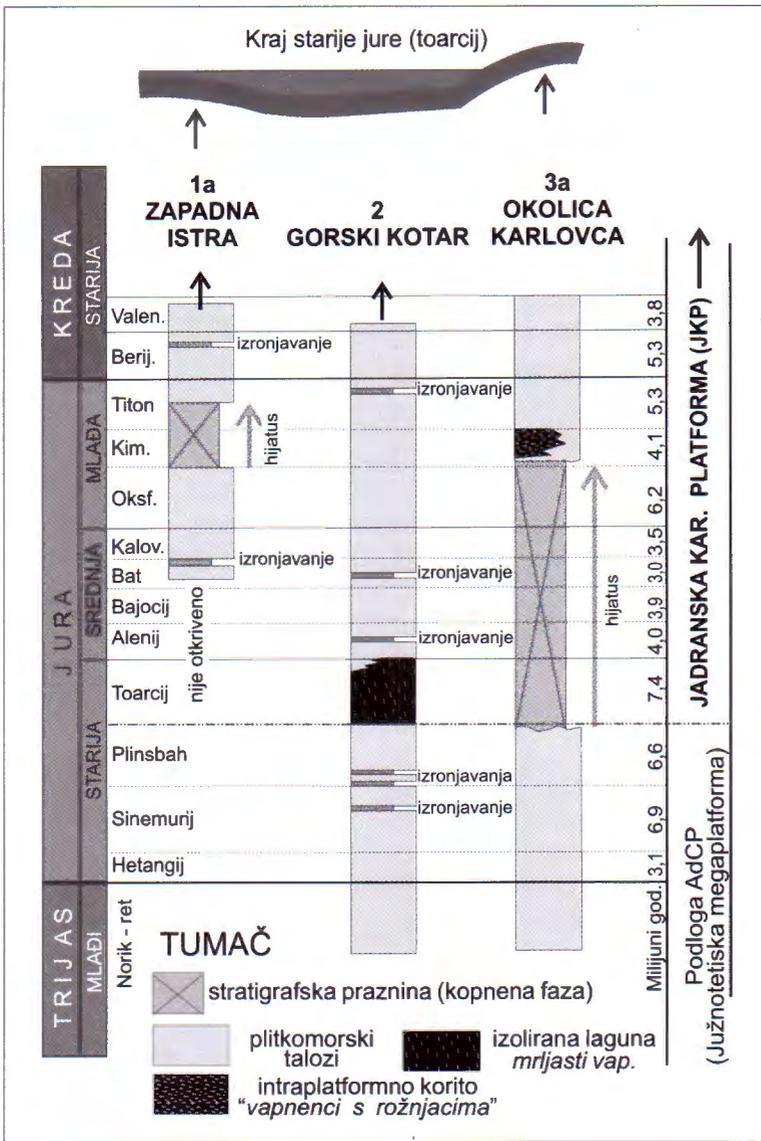
U mlađoj juri, krajem oksforda i tijekom kimeridža, sinsedimentacijska tektonika bitno mijenja paleogeografiju zapadnog i središnjeg dijela JKP: zapadna Istra je izdignu-

ta i okopnjena – emerzijska faza traje od početka kimeridža do mlađega titona (6–8 milijuna god.), a istodobno se izvan platforme (bušotina IM–1) talože dubokomorski sedimenti (*karbonatni turbiditi*). Tijekom kimeridža izdiže se i okopnjava i područje Biokova. Istodobno je u središnjem dijelu platforme od Karlovca, Bihaća duž rijeke Une, preko Like do Knina i Dinare nastalo intraplatformno “Lemeško” korito koje je imalo izravnu vezu s otvorenim morem, tako da je primalo pučinsku faunu (uključujući i mjestimice brojne amonite). To se korito odlikovalo niskim obrocima taloženja i većom koncentracijom vulkanskog pepela iz kojeg su silicifikacijom nastali rožnjaci (= “*vapnenci s rožnjacima*”). Slično je korito, ali manjih dimenzija i s tek povremenim pučinskim utjecajima, formirano i u području Velike Kapele. Na izdignutim rubovima oba korita postojali su grebenski okoliši i/ili ooidni prudovi koji su progradirali u korito i postupno ga zapunjavali, tako da su krajem jure (tijekom titona) u na taj način uspostavljenim plitkomorskim okolišima ponovno taloženi izrazito plitkomorski karbonati – periplimni *klipeinski vapnenci*, obično u obliku ciklusa oplićavanja naviše (VELIĆ et al., 2002; TIŠLJAR et al., 2002).

Tijekom najmlađe jure (mlađeg titona) i najstarije krede (berijasa) na cijeloj je Jadranskoj karbonatnoj platformi ponovno uspostavljen plitkomorski, uglavnom periplimni i/ili lagunski režim sedimentacije.

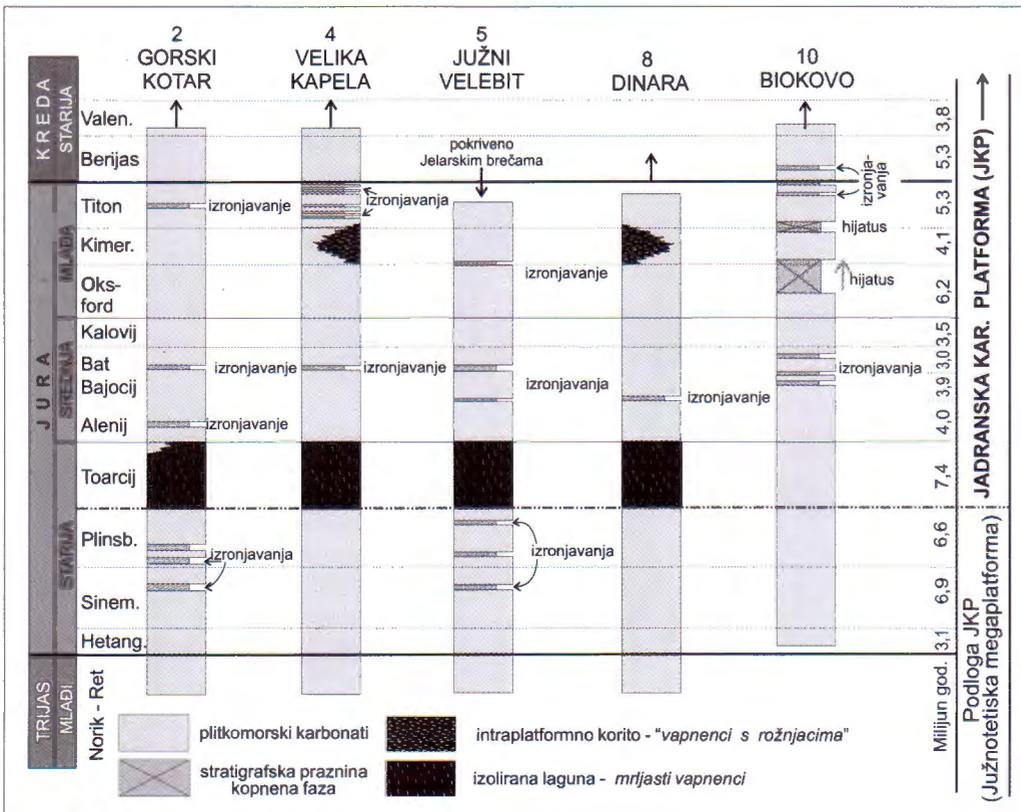
#### Literatura

- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (2002): Carbonate platform megafacies of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Karst Dinarides. – *Geol. Croatica*, 55/2, 139–170.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, J., KOCH, G. & MATIČEC, D. (2002): Palaeogeographic variability and depositional environments of the Upper Jurassic carbonate rocks of Velika Kapela Mt. (Gorski Kotar area, Adriatic Carbonate Platform, Croatia). – *Geol. Croatica*, 55/2, 121–138.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2002): The Karst Dinarides are composed of relics of a single Mesozoic platform: facts and consequences. – *Geol. Croatica*, 55/2, 171–183.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220, 333–360.



Sl. 1 Korelacija glavnih uvjeta i okoliša taloženja u zapadnom dijelu JKP tijekom jure od zapadne Istre preko Gorskog kotara do šireg područja Karlovca (vremenska ljestvica).

Fig. 1 Correlation of main sedimentary conditions and environments during Jurassic on the western part of the Adriatic Carbonate platform from W Istria through Gorski Kotar to Karlovac area.



Sl. 2 Korelacija glavnih uvjeta i okoliša taloženja na JKP tijekom jure od Gorskog kotara do Biokova (vremenska ljestvica).

Fig. 2 Correlation of main sedimentary conditions and environments during Jurassic on the western part of the Adriatic Carbonate platform Gorski Kotar to Biokovo Mt.

## Sinmetamorfni strukturni sklop niskometamornih stijena središnjeg dijela Medvednice

### Synmetamorphic Structural Fabric in Low-Grade Metamorphic Rocks from the Central Part of Mt. Medvednica

Bruno Tomljenović

Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: bruntom@rgn.hr

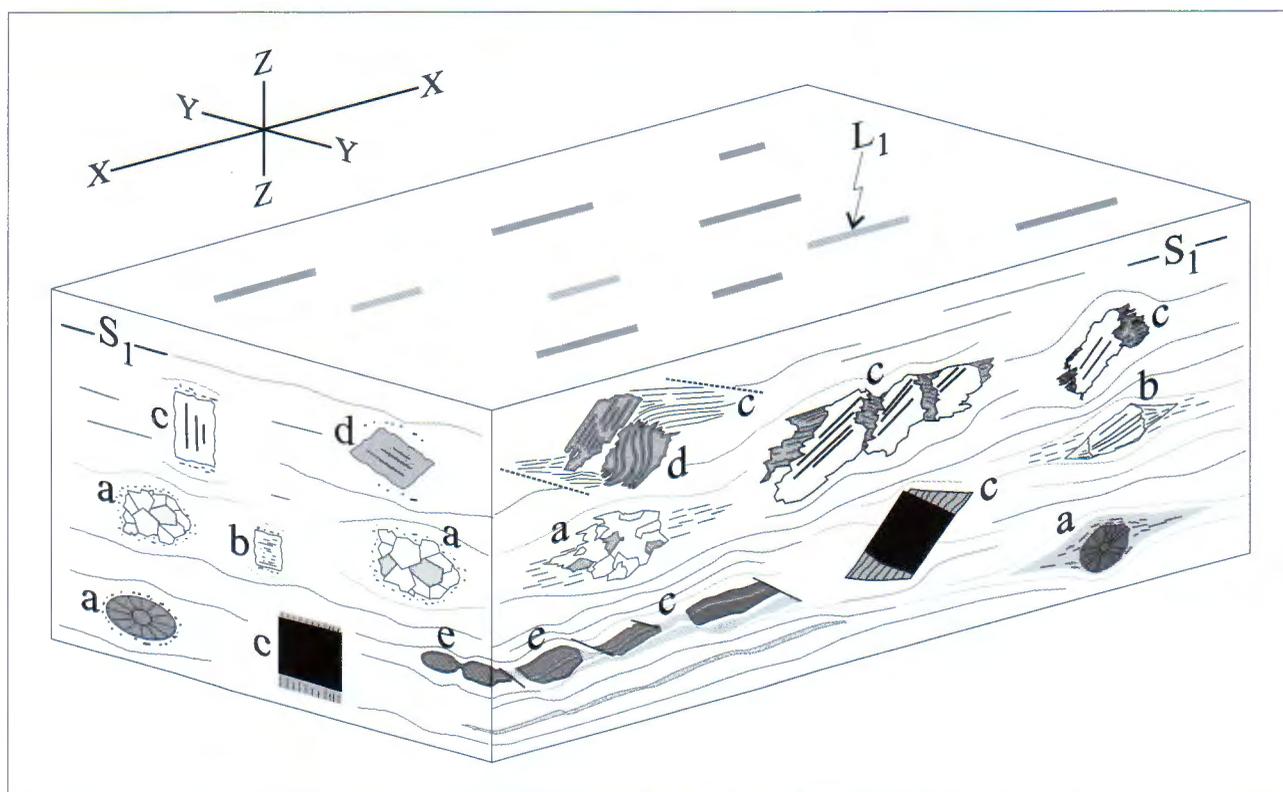
**Ključne riječi:** donjokredni metamorfizam niskog stupnja, miloniti, Medvednica.

**Key words:** Early Cretaceous low-grade metamorphism, Mylonites, Mt. Medvednica.

Metamorfni kompleks središnjeg dijela Medvednice čine metabaziti i metasedimenti nastali donjokrednom metamorfozom vrlo niskog do niskog stupnja (K/Ar 123–115 Ma; BELAK et al., 1995), u uvjetima temperature i tlaka od 350–400°C i 3–4 kbar (JUDIK et al., 2004). Metabaziti su zeleni škriljavci tipične niskometamorfne mineralne parageneze: albit–aktinolit–klorit–epidot/klinocoisit (BELAK et al., 1995; LUGOVIĆ et al., 2005). Metasedimenti su pretežno slejtovi, filiti, metaklastiti, metakarbonati i kvarciti sporadično udruženi sa zelenim škriljavcima nastalim iz piroklastičnih protolita. Mineralni sastav metasedimenata, premda različit među pojedinim vrstama, također ukazuje na metamorfne promjene niskog stupnja u facijesu zelenih škriljavaca (BELAK et al., 1995). Strukturni sklop niskometamornih stijena rezultat je polifaznog deformacijskog razvoja tijekom triju (JAMIČIĆ, 2000), odnosno

četiriju (TOMLJENOVIĆ, 2002) vremenski odvojenih deformacijskih faza.

Najstarijom deformacijskom fazom (D1) u ovim je stijenama stvoren sinmetamorfni strukturni sklop kojeg čine sinmetamorna folijacija/škriljavost (S1) i sinmetamorfna lineacija (L1). U mezoskopskom mjerilu opažanja S1 folijacija pokazuje različite morfološke značajke i varijabilan intenzitet izraženosti. U slejtovima se očituje kao set penetrativnih ploha okomito na koje dolazi do promjene veličine i vrste mineralnih zrna. U metapsamitima je najčešće obilježena većom koncentracijom sjajnih tinjaca poredanih u planparalelne nizove, paralelne ili pod blagim kutom u odnosu na primarnu slojevitost (S1/S0). U metakarbonatima S1 folijacija je u pravilu dobro izražena, pretežito subparalelno do paralelno orijentirana u odnosu na slojevitost protolita, sporadično obilježena i pojavom bijelih traka u



Sl. 1 Shematski prikaz mikrostrukture u milonitima niskometamornog kompleksa Medvednice.

Fig. 1 Sketch to show typical mylonitic fabric in the low grade metamorphic rocks of Mt. Medvednica.

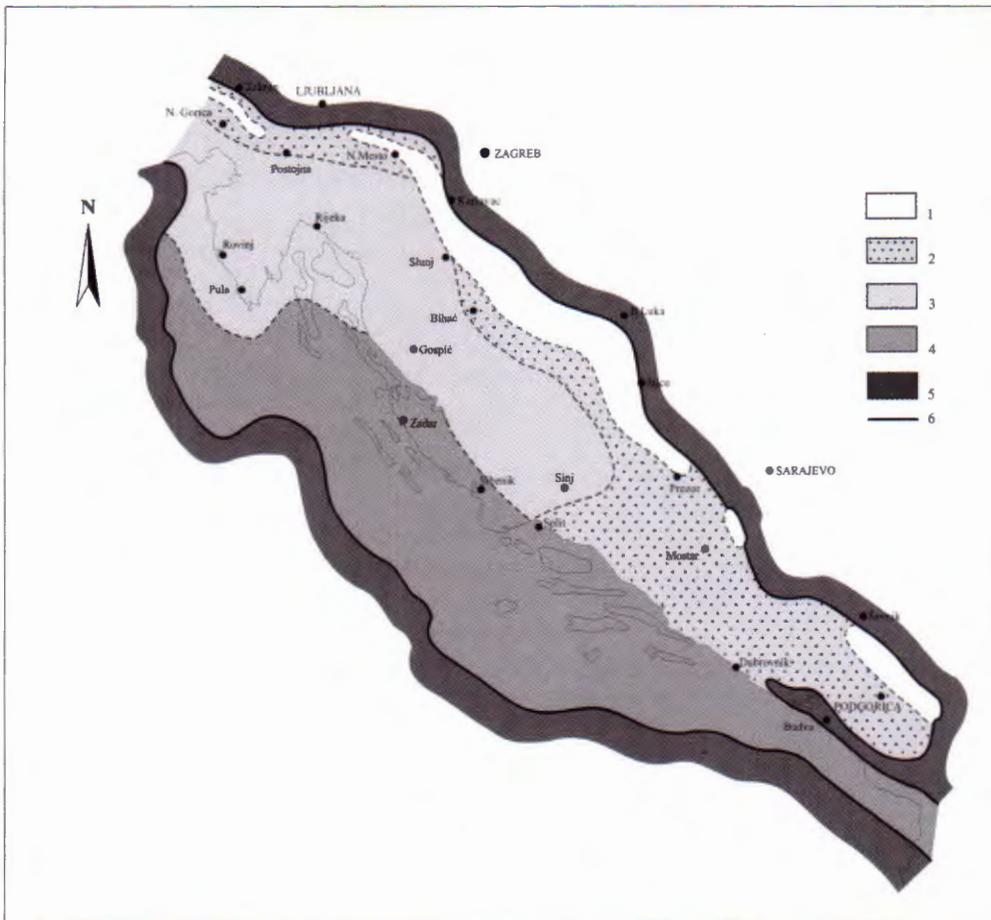
kojima je karbonatni protolit rekristaliziran. U metabazitima je tek sporadično vrlo dobro izražena, najčešće obilježena planarnim rasporedom mm zrna klorita i epidota. U istom mjerilu opažanja na plohama S1 folijacije u pravilu se zapaža i dobro izražena lineacija (L1), koju tvore sinmetamorfni minerali, pravocrtno i međusobno paralelno poredani na milimetarskom razmaku. U većini metapelita L1 lineacija je obilježena sjajnim, bijelim tinjcem, dok je u metabazitima i metapiroklastitima tvore minerali klorita, epidota i aktinolita. L1 lineacija naročito je dobro izražena u kloritoidnim škrljajcima, gdje je obilježena preferiranom orijentacijom i pravocrtnim rasporedom mm zrna kloritoida i sjajnih tinjaca. U *mikroskopskom mjerilu opažanja*, analizom preparata načinjenih iz orijentirano uzetih uzoraka, zapaža se izrazita razlika u izražaju sinmetamornog strukturnog sklopa, ovisno od orijentacije preparata u odnosu na mezoskopski vidljivu S1 folijaciju i L1 lineaciju. U preparatima orijentiranim okomito na S1 folijaciju i L1 lineaciju niskometamorfni strukturni sklop je u pravilu vrlo slabo izražen, u pojedinim uzorcima prividno izostaje. Suprotno tome, u preparatima orijentiranim okomito na S1 folijaciju i paralelno s L1 lineacijom, niskometamorfni strukturni sklop redovito je vrlo dobro izražen i najčešće obilježen (sl. 1): a) dinamički rekristaliziranim porfiroklastima s omotačem (engl. *mantled porphyroclasts*), b) pojavom *mica-fish* struktura, c) *pressure-shadow* struktura, d) zrnima rotiranih, sinkinematskih porfiroblasta, i e) asimetričnim mikrobudenima, karakteristično položenim u ravnini S1 folijacije. Porfiroklaste s omotačem najčešće čini kvarc s unduloznim potamnjenjem, zrna intraklasta i bioklasta, koja lateralno prelaze u sitnozrnaste agregate izduženih zrna kvarca, odnosno kalcita, orijentirana paralelno sa S1 folijacijom. *Mica-fish* strukture pokazuju lećast oblik s duljom osi tinjca pod kutem prema S1 folijaciji i njegovim sitnozrnastim rekristaliziranim agregatima raspoređenim na nasuprotnim stranama oko porfiroklasta u metapsamitima. *Pressure shadow* strukture čine agregati sinkinematskog klorita, kalcita, epidota/coinsita i kvarca kristaliziranih na dijagonalno nasuprotnim stranama oko porfiroklasta albita, piritita i magnetita, u zonama razdvajanja među mikrobudenima te oko porfiroblasta aktinolita i kloritoida u metabazitima, metakarbonatima i kloritoidnim škrljajcima. Zabilježene mikrostrukture i različita izra-

ženost sinmetamornog strukturnog sklopa u međusobno okomito orijentiranim preparatima istih uzoraka ukazuju da analizirani uzorci predstavljaju milonitne stijene nastale u metamornim uvjetima niskog stupnja. Ovaj tip stijena i u njima zabilježeni kinematski pokazatelji smicanja sugeriraju postojanje regionalne smične zone s ne-koaksijalnom, posmičnom deformacijom tijekom donje krede, s translacijom krovine u smjeru sjeveroistoka (recentna orijentacija). Međutim, obzirom na rotaciju Medvednice i Jadranske mikroploče koja je uslijedila tijekom kenozoika, odnosno nakon formiranja D1 strukturnog sklopa (TOMLJENVIĆ, 2002; MÁRTON et al., 2003), pretpostavlja se da je primarni tektonski transport i smicanje krovine bilo u smjeru sjevera–sjeverozapada. Formiranje regionalne smične zone obilježene metamorfozom vrlo niskog do niskog stupnja, uz tektonski transport krovine prema sjeveru–sjeverozapadu, interpretira se obdukcijom, odnosno navlačenjem ofiolita dijagonalno preko istočnog ruba dinaridskog šelfa.

### Literatura

- BELAK, M., PAMIĆ, J., KOLAR-JURKOVŠEK, T., PECKAY, Z. & KARAN, D. (1995): Alpinski regionalnometamorfni kompleks Medvednice (sjeverozapadna Hrvatska).– U: VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & ŠPARICA, M. (ur.): 1. Hrv. geol. kongr., Zbornik radova, 1, Zagreb, 67–70.
- JAMIČIĆ, D. (2000): Structural deformations in the metamorphic rocks of Mt. Medvednica (Croatia).– Nat. Croat., 9/4, 275–296.
- JUDIK, K., TIBLJAŠ, D., BALEN, D., TOMLJENVIĆ, B., HORVÁTH, P., DOBOSI, G., PAMIĆ, J., & ÁRKAI, P. (2004): Diagenesis and low-temperature metamorphism of Mt. Medvednica, Croatia: Mineral assemblages and phyllosilicate characteristics.– Acta Geol. Hung., 47/2–3, 151–176.
- LUGOVIĆ, B., ŠEGVIĆ, B. & ALTHERR, R. (2005): Petrology and tectonic significance of greenschists from the Medvednica Mts. (Sava unit, NW Croatia).– Ofioliti, u tisku.
- MÁRTON, E., DROBNE, K., ČOSOVIC, V. & MORO, A. (2003): Palaeomagnetic evidence for Tertiary counterclockwise rotation of Adria.– Tectonophysics, 377, 143–156.
- TOMLJENVIĆ, B. (2002): Strukturne značajke Medvednice i Samoborskog gorja.– Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 208 str.





Sl. 2. Skica recentnog položaja srednjovjurskih taložnih okoliša na JKP. Tumač: 1) kopno; 2) visokoenergijski okoliši; 3) okoliši unutarnje platforme; 4) jadransko podmorje i dio priobalja bez pouzdanih podataka; 5) okoliši platformne padine i bazena; 6) recentne granice platforme.

Fig. 2. Distribution of the middle Jurassic environments on AdCP. Legend: 1) land; 2) high-energy environments; 3) inner platform environments; 4) Adriatic area without available data; 5) platform slope to basin environments; 6) recent boundaries of the AdCP.

*P. salernitana*, *P. trochoidea*, *Alzonella cuvillieri*, *Satorina apuliensis*, *S. mesojurassica*, *Kilianina blancheti*, *Orbitammina elliptica* i *Chablaisia chablaisensis* u **kasnome batu** te *P. striata*, *P. arabica*, *T. gr. alpina-elongata*, *P. crusei*, *Archaeosepta basiliensis* i *Kurnubia gr. palastinensis* u **kaloviju**.

Srednjovjurske naslage na JKP taložene su u dvjema paleoambijentalnim provincijama (sl. 2). Od zapadne Slovenije, preko središnje pa do u južnu Hrvatsku (srednju Dalmaciju) u zaštićenim okolišima unutarnje platforme taložene su sekvencije debeloslojevitih vapnenaca pretežito muljne potpore. Uz sjeveroistočni rub JKP u središnjoj Sloveniji, u zapadnoj i središnjoj Bosni, zatim u cijeloj Hercegovini, jugoistočnoj Hrvatskoj i u Crnoj Gori u visokoenergijskim okolišima otvorene platforme i njezinih rubova taložili su se pretežito zrnasti, često i ooidni vapnenci. O okolišima jugozapadnoga ruba JKP, kao i u čitavome Jadranskom podmorju i u dijelu priobalja nema pouzdanih podataka.

Izneseni podatci upućuju na mnoge značajne zaključke od kojih neke treba posebno naglasiti:

– s obzirom na bentosne foraminifere *srednja jura na JKP je najfosiliferniji dio jure(!)*;

– razvidno je da su dosadašnja stajališta o fosiliferom siromaštvu srednjovjurskih naslaga u krškome području bila velika zabluda;

– samo detaljan terenski i laboratorijsko-kabinetski rad, pregled gotovo svakoga sloja (i uzorka) u srednjovjurskim sekvencijama, čija je debljina mjestimice i do tisuću metara, može dati dobar rezultat.

## Literatura

- VELIĆ, I. (1977): Jurassic and Lower Cretaceous assemblage zones in Mt. Velika Kapela, central Croatia.– *Acta geol.*, 9/2, 15–37.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Ogulin, L 33–103.– Geološki zavod Zagreb (1969–1980), Savezni geološki zavod Beograd.
- VELIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1988): Litostratografske jedinice u dogeru i malmu zapadne Istre, zapadna Hrvatska, Jugoslavija.– *Geol. vjesnik*, 41, 25–49.
- VELIĆ, I., MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Stratigrafski slijed jurskih i donjokrednih karbonata (batgornji alb) u zapadnoj Istri, ekspurzija A.– U: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): 1. hrv. geol. kongres, Vodič ekspurzija, 31–66.

## Facies of the Upper Pannonian Sediments in Sava Depression (Northern Croatia)

Boris Vrbanac & Vlatka Vaniček

*INA industrija nafte d.d., Naftaplin, Exploration Division, Exploration Department, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Croatia;  
e-mail: boris.vrbanac@ina.hr*

**Key words:** Facies, Upper Pannonian, Sava Depression, Croatia.

Sava Depression represents the southernmost part of Pannonian basin. After the Middle Eocene in today's depression area began a long continental phase. During that phase initial movements occurred and a fault network was created along which the basin subsided by extension. The oldest proven sediments are fresh-water Oligocene deposits which are overlain in continuity by Carpathian, Badenian and Sarmatian clastic marine deposits. Pannonian and Pontian sediments were deposited in fresh-water to brackish

environment, while Pliocene and Quaternary were deposited in fresh water-lacustrine environment.

The investigated sediments form part of Miocene clastic complex which covers the basement rocks in Sava Depression. Sandstones, siltstones and marl alternate in central parts of depression, while marginal parts are filled exclusively by massive marl. The total thickness of explored sediments is from 150–250 m in marginal parts, and in central area exceeds 800 m. According to the sedimentological

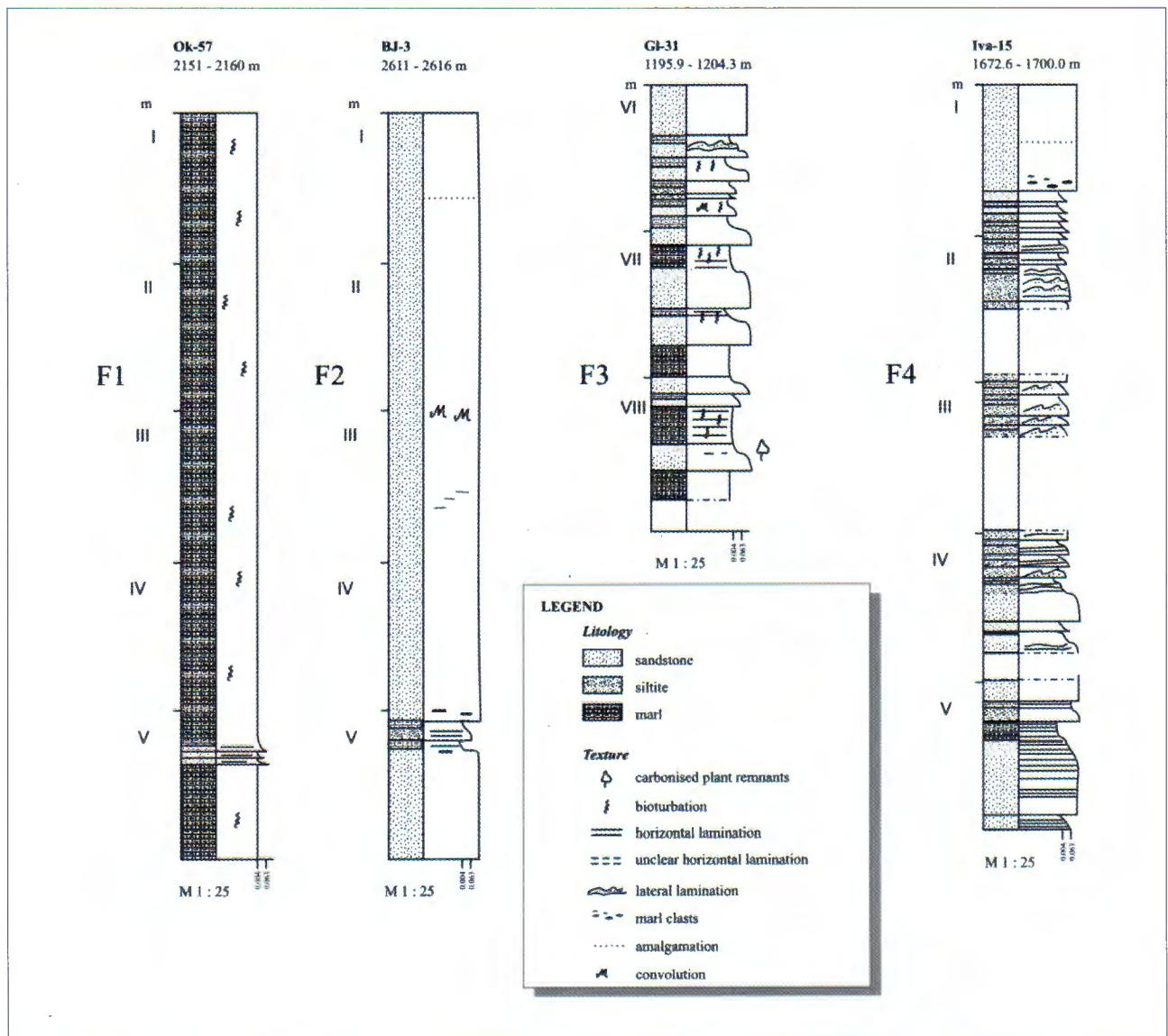


Fig. 1 Lithological columns. Legend: F1) massive marls facies; F2) thick layered massive sandstone facies; F3) thin layered sandstone facies; F4) laminated sandstones, siltstones and marl facies.

characteristics (lithology, texture, bedding and relation between lithological members) four facies are distinguished: massive marl facies (F1), thick bedded to massive sandstone facies (F2), thin bedded sandstones facies (F3) and laminated sandstones, siltstones and marl facies (F4).

F1 facies is represented by "normal" hemipelagic sediments which covered the basin floor under very stable conditions. Constant basin current carried mud detritus into basin and according to petrographic composition source of detrital material is the same as sandstones (Eastern Alps). Facies (F2–F4) is interpreted as turbidite.

F2 facies is represented by thick-bedded to massive homogenous sandstones with rare and thin siltstone and marl intercalations. Marl and siltstone proportion in this facies does not exceed 10%. The thickness of individual sandstone layer, according to cored intervals, is from 0.5–6 m, but it is possible that such thickness is caused by amalgamation. This facies appears exclusively within distributary channel (the deepest part of depression) where the turbidity current energy was the highest.

F3 facies is represented by sandstone beds to 0.5 m thickness. The proportion of marl and siltite in this facies is 30–40%. Regarding internal structure and gradation in sandstones and siltites the most frequent interval is one with cross and horizontal lamination, likewise horizontal

lamination in finegrained material. Bouma's sequences type  $T_a$ – $T_e$ ,  $T_{b-c}$  and  $T_{c-e}$  are all common. This facies can be found as the final beds in distribution channels, as well as marginal channel sediments.

F4 facies consist of very thin, thin to medium thick sandstone layers in monotonous alternation, passing upward into siltite and marl, or thin siltite layers grading upward into marl. Layer's thickness is up to 10 cm. The proportion of marl and siltite is 50–60%. The most frequently Bouma's sequences are of  $T_{c-e}$  type, subordinated are  $T_{a-e}$  or  $T_{b-c}$ . This facies can be found in those parts of the basin where side of turbidite current passed through, and in distal part of depression or in upper part of relief where turbidite current energy and impact on deposition processes was considerably weaker.

Depositional environment interpretation suggests the quiet, low-energy lacustrine environment. Permanent basin current transported finegrained detritus which lithified in of this massive marl. Data of water depth does not exist, but still, the water was deep enough to compensate all water level changes caused by tectonic movements or climatic changes. This calm environment was disturbed by periodical turbidite currents which brought the main part of detritus in the depression.

## Stable Isotope Composition of Middle Eocene Benthic Foraminifera from the Pazin Basin (Istria, Croatia): A Record of Paleoceanographic Changes

Sanja Živković<sup>1</sup> & Bosiljka Glumac<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology and Paleontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Kralja Zvonimira 8, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: szivkovic@net.hr

<sup>2</sup> Department of Geology, Smith College, Northampton, Massachusetts 01063, USA

**Key words:** Benthic foraminifera, Eocene, Flysch, Paleoceanography, Stable isotopes.

Smaller benthic foraminifera from clastic Middle Eocene successions of Istria, Croatia (Fig. 1) have been analysed for their stable isotope compositions. This was the first time in Croatia that isotopic analyses were performed on benthic foraminifera to gain insights into the paleoceanographic characteristics of this area during the time period spanning the foraminiferal biostratigraphic zones *Globigerapsis kugleri*/*Morozovella aragonensis* (Zone P11), *Morozovella lehneri* (P12), *Globigerapsis beckmanni* (P13), and *Acarinina rohri*-*Morozovella spinulosa* (P14).

The stratigraphic successions Gračišće and Sveti Križ comprise homogenous Globigerina Marls and overlying Flysch deposits (Figs. 1 & 2). The depth of deposition was estimated from sediment characteristics, composition of benthic foraminiferal assemblages, and using percentage values of planktonic foraminifera in individual samples (VAN DER ZWAAN et al., 1990) to range between 600 and 1200 m (ŽIVKOVIĆ & BABIĆ, 2003; ŽIVKOVIĆ, 2004).

From rich and diverse benthic foraminiferal associations a benthic taxon *Cibicidoides eocaenus* (GUEMBEL), 1868

or *Cibicidoides* sp. was chosen for stable isotope analysis because it lived epifaunally and secreted its shell close to oxygen isotopic equilibrium with ambient seawater, thus reflecting the isotopic composition of the bottom water (BEMIS et al., 1998). The analyses were carried out on a single specimen from each sample from both stratigraphic successions.

Oxygen isotope values measured in the Gračišće and Sveti Križ sections range between -3.56 and 0.01‰ VPDB (Fig. 2). In the Gračišće section samples from the uppermost part of Zone P11 and the lowermost part of Zone P12 have low  $\delta^{18}\text{O}$  values (mostly below -1.5‰). In the middle part of Zone P12 the  $\delta^{18}\text{O}$  values first increase to -0.09‰ and then fluctuate between -0.31 and -1.85‰ (Fig. 2). In the upper part of the section (upper Zone P12 and Zone P13) the  $\delta^{18}\text{O}$  values first increase to 0‰ and then decrease to about -1‰. The  $\delta^{18}\text{O}$  value from the lowermost part of the Sveti Križ section (top of Zone P11) is even lower than in the Gračišće section, measuring only -2.32‰ (Fig. 2). In the lowermost part of Zone P12 at Sveti Križ the  $\delta^{18}\text{O}$  value rises to -0.74‰ and upsection it decreases by more than

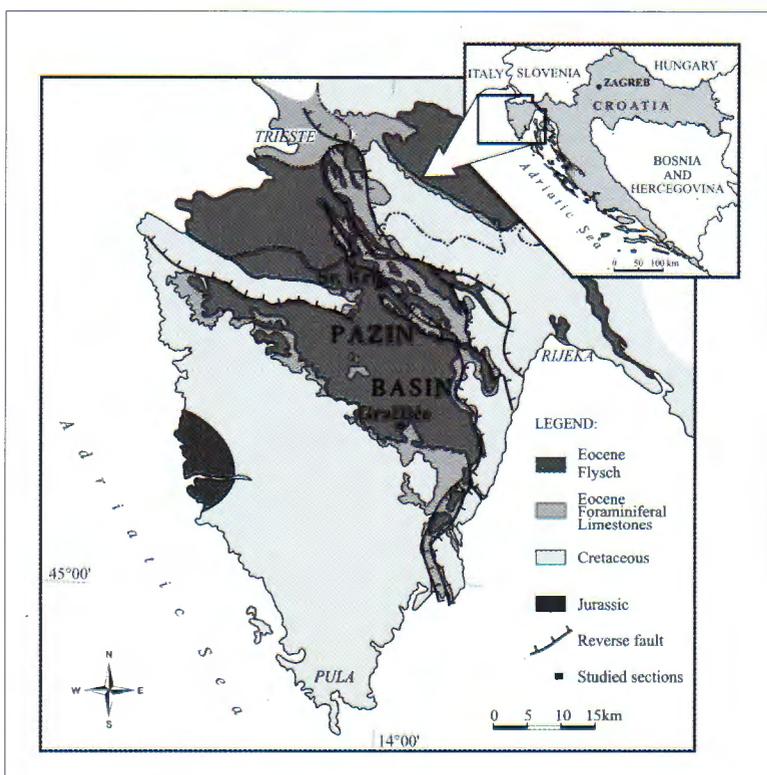


Fig. 1 Simplified geological map of Istria (after SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD, 1970) showing localities of the sections studied.

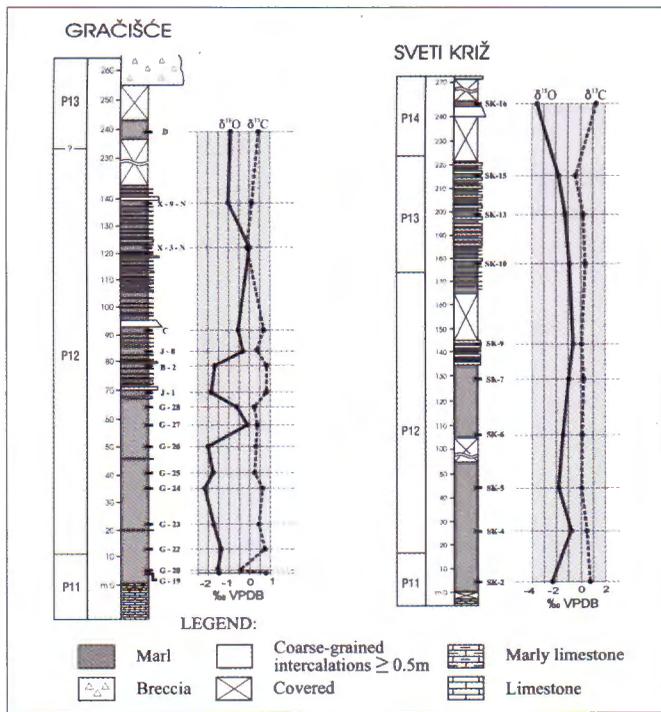


Fig. 2 The sections Gračišće and Sveti Križ with biostratigraphic interpretations and the stable isotope results.

1‰. Further upsection, the  $\delta^{18}\text{O}$  values increase gradually until the end of Zone P12 when they reach 0.6‰. In Zone P13, and in the lower part of Zone P14 the  $\delta^{18}\text{O}$  values decrease to -1.77 and -3.56‰, respectively.

During the Middle Eocene the Pazin basin was a narrow, shallow basin between land to the east and a deep basin to the west. These deep and shallow basins were separated by a shallow carbonate shelf/platform partly preventing the mixing of water masses. This is in agreement with the paleogeographic map of the Late Lutetian (MUELENKAMP & SISSINGH, 2003), and the planktonic foraminiferal assemblages from both basins (PREMEC-FUČEK & ŽIVKOVIĆ, 2005).

The fluctuations in the  $\delta^{18}\text{O}$  values might be explained as a reflection of temperature and/or salinity changes of the bottom waters in the Pazin basin during the Middle Eocene. The extremely low  $\delta^{18}\text{O}$  values in Zone P12, in the upper part of Zone P13, and in the lower part of Zone P14 might indicate introductions of warm bottom waters into the flysch basin. The introduction of such waters might have been a result of changed deep-water formation sites during the Cenozoic (BARRON & PETERSON, 1991; OBERHANSLI, 1992). In much of the Tethys region there are records of increased surface salinity (up to 38‰) throughout the Cenozoic (BARRON & PETERSON, 1991), making this region a possible deep-water formation site area in the lower latitudes. In general, the newly formed warm saline bottom water masses were exiting the Tethyan region towards the Indian Ocean at bathyal depths (400–1200 m; OBERHANSLI, 1992), and could therefore periodically influence the Pazin basin area.

### References

- BARRON, E.J. & PETERSON, W.H. (1991): The Cenozoic ocean circulation based on ocean General Circulation Model results.– *Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol.*, 83, 1–28.
- BEMIS, B.E., SPERO, H., BIJMA, J. & LEA, D.W. (1998): Re-evaluation of the oxygen isotopic composition of planktonic foraminifera: experimental results and revised paleotemperature equations.– *Paleoceanography*, 13, 150–160.
- MUELENKAMP, J. E. & SISSINGH, W. (2003): Tertiary palaeogeography and tectonostratigraphic evolution of the Northern and Southern Peri-Tethys platforms and the intermediate domains of the African–Eurasian convergent plate boundary zone.– *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 196, 209–228.
- OBERHANSLI, H. (1992): The influence of the Tethys on the bottom waters of the Early Tertiary ocean.– *The Arctic Paleoenvironment: a Perspective on Global Change*, Antarctic Research Series, 56, 167–184.
- PREMEC-FUČEK & ŽIVKOVIĆ (2005): Planktonic foraminiferal assemblages of the Middle to late Eocene of southwestern Croatia as function of paleogeography and paleoecology.– *Geophysical Research Abstracts*, 7, Abstracts of the Contributions of the EGU General Assembly 2005, Vienna, Austria, 24–29 April 2005.
- SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD (1970): Geološka karta SFR Jugoslavije 1:500000.– Institut za geološko-rudarska istraživanja i ispitivanja nuklearnih i drugih mineralnih sirovina, Beograd.
- VAN DER ZWAAN, G.J., JORISSEN, F.J. & DE STIGTER, H.C. (1990): The depth dependency of planktonic/benthic foraminiferal ratios: Constraints and applications.– *Mar. Geol.*, 95, 1–16.
- ŽIVKOVIĆ, S. (2004): Smaller benthic foraminifera in the Eocene clastics of western Croatia: paleoecology of the sedimentary basin.– Unpubl. Ph. D. Thesis. University of Zagreb, 101 p. (in Croatian, with English summary).
- ŽIVKOVIĆ, S. & BABIĆ, Lj. (2003): paleoceanographic implications of smaller benthic and planktonic foraminifera from the Eocene Pazin Basin (Coastal Dinarides, Croatia).– *Facies*, 49, 49–60.

## **Geološko inženjerstvo – Geological Engineering**



# Značaj metode seizmičke plitke refleksije u istraživanjima podzemlja u kršu

## Importance of Shallow Seismic Reflection Method for Underground Explorations in Karst

Miroslav Andrić

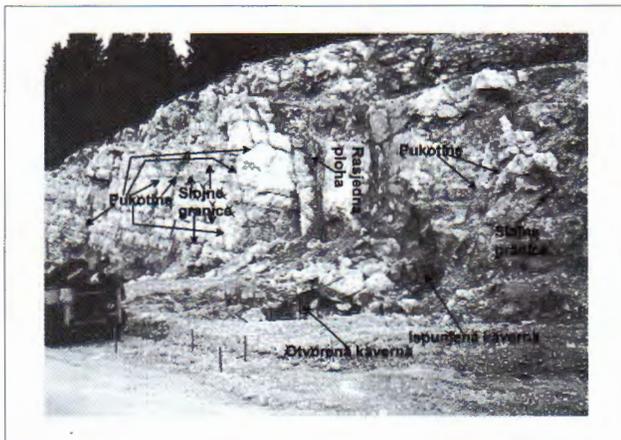
Institut građevinarstva Hrvatske d.d., Ulica Janka Rakuše 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: miroslav.andric@igh.hr

**Ključne riječi:** seizmičke metode, geofizika u kršu, krš.  
**Key words:** Seismic Methods, Karst Geophysics, Karst.

### 1. Uvod

Istraživanja podzemlja u kršu opterećena su brojnim dvoj- bama i problemima. Zbog intenzivne tektonike i mjesti- mične razlomljenosti, pojave špilja, kaverni i kanalskih sustava, prognoza geološke situacije, pogotovo ako se radi o većim dubinama (većim od npr. 100 m), često je nesigurna. Pogreške se događaju zato što se prognoza izvodi na temelju podataka površinskog inženjerskeološkog i hidrogeološkog kartiranja te podataka rijetkog bušenja. K tomu još ona se nekad oslanja i na podatke geofizičkih mjerenja izvedenih metodama koje, zbog same prirode krškog podzemlja, a i zbog starog načina obrade podataka, ne daju pouzdane rezultate ili se njima ne može doseći potrebna dubina istraživanja.

Intenzivan tehnološki razvoj koji se dogodio zadnjih godina, posebno uvođenje osobnih računala u široku prim- jenu te digitalne tehnike mjerenja, omogućio je uvođenje u praksu geofizičkih metoda istraživanja koje se prije nisu mogle koristiti, a po pouzdanosti rezultata i dubini zah- vata nadmašuju dosadašnje. To se u prvom redu odnosi na metodu seizmičke plitke refleksije kojoj danas može pri- pasti značajna uloga u istraživanju podzemlja baš u kršu. Ovaj rad ima za cilj predstaviti široj stručnoj javnosti neke rezultate polučene istraživanjima ovom metodom.



Sl. 1 Diskontinuiteti u kršu.

Fig. 1 Discontinuities in karst.

### 2. Granice refleksije u kršu

Poznato je da se refleksija elastičnog vala događa na gra- nici dvaju sredstava različitih akustičnih impedancija. Akustična impedancija nekog sredstva je umnožak nje- gove zapreminske gustoće i brzine elastičnog vala. Dru- gim riječima refleksije se događaju na granicama različitih vrsta materijala koji imaju različitu impedanciju. No, za karbonatne naslage krša ove opće prihvaćene postavke tre- ba dopuniti. Činjenica je da su refleksije u naslagama krša brojne, a elastični val prolazi samo kroz karbonatne stijene jednake ili vrlo slične impedancije. Pa što onda izaziva re- fleksije u karbonatnim stijenama krša? Njih izazivaju dis- kontinuiteti.

Na sl. 1 vide se karakteristični diskontinuiteti u kršu. Tu je rasjed, pukotine, razlomljena zona, ispunjena kav- erna i prazna kaverna. Sve ove pojave se odražavaju kao refleksije na seizmičkom presjeku. Kako su diskontinuiteti u kršu gusti, a i nagnuti pod raznim kutovima, to su isto tako i refleksije od njih guste i raznih nagiba pa se na pres- jeku na prvi pogled čine kaotičnima.

To je razlog zbog kojeg mnogi geofizičari, navikli na izgled velikih presjeka duboke naftne refleksije, s kontinui- ranim refleksijama većeg pružanja, misle da ova metoda u kršu ne daje pouzdane rezultate. Naprotiv, novi rezultati primjene ove metode na istraživanje podzemlja u kršu do- kazuju sasvim suprotno.

Metoda omogućava utvrđivanje položaja tektonskih elemenata (rasjedi, pukotinski sustavi), oblika struktura, intenzivno razlomljenih i kavernoznih zona, te špiljskih i kanalskih sustava. Ukoliko su potrebna i neka litološka saznanja obično se na odabranim mjestima na seizmičkom profilu izvedu i mjerenja metodom geoelektričnog sondi- ranja. Tako se može utvrditi da li su, na primjer, pukotine ispunjene glinom ili vodom ili su prazne, pojavljuju li se na nekoj dubini laporovite naslage fliša i sl. Jasno je da se konačno tumačenje rezultata dobivenih geofizičkim mjerenjima obavlja u uskoj suradnji s geologom.

### 3. Primjeri uspješne primjene metode seizmičke plitke refleksije u istraživanjima podzemlja u kršu

Kao dokaz opravdanosti primjene metode seizmičke plitke refleksije za istraživanje podzemlja u kršu biti će pokazani neki primjeri. Prvi od njih odnosi se na vodoistražne ra-

dove u Martinšćici. Na njemu se jasno uočava kavernozna zona u kojoj je otkrivena podzemna voda. Drugi primjer pokazuje rezultate istraživanja na krškom polju "Mostarsko blato". Jasno se vidi greben vapnenca ispod naplavnih nanosa. Primjeri 3 i 4 su rezultati refleksijskih istraživanja

nadsloja tunela Brinje i Plasina, dok se primjer 5 odnosi na mjerenja izvedena u Portorožu, a zanimljiv je po tome što je zahvaćena dubina od oko 700 m.

## Multi-Tracer Approach in the Karst Waters and Lake Sediments in the Plitvice Lakes and Una River (EU Project ICA2–ct–2002–10009)

Slavica Babinka<sup>1</sup>, Axel Suckow<sup>1,2</sup>, Nada Horvatinčić<sup>3</sup>, Janislav Kapelj<sup>4</sup> & Sanja Kapelj<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Leibniz Institute for Applied Geosciences (GGA-Institut), Stilleweg 2, D-30655 Hannover, Germany; e-mail: s.babinka@gga-hannover.de

<sup>2</sup>International Atomic Energy Agency (IAEA), Wagramer Strasse 5, A-1400 Vienna, Austria.

<sup>3</sup>Rudjer Bošković Institute, Laboratory for measurements of Low-level Radioactivity, Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Croatia.

<sup>4</sup>Croatian Geological Survey, Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia.

**Key words:** Drinking water, Plitvice National Park, War consequences, Age determination, Stable isotopes, CFC/SF<sub>6</sub>, T<sup>3</sup>He, Sediment dating, Gamma spectrometry.

Within a project of the European Union we try to investigate anthropogenic pollution after the war in former Yugoslavia and its consequences to the karst ecosystem in the border area between Croatia and Bosnia–Herzegovina. The area is important for tourism (Plitvice National Park) and the karst groundwater system connected to the Una River watershed contains resources for drinking water supply of the city of Bihać. Within the project, Croatian and Bosnian scientific institutions cooperate with the University of Barcelona (Spain) and the GGA-Institut (Germany). The project investigates an interconnected system of lake sediments, lake waters and karst ground waters. The amount of usable water from river Una and karst springs in the surroundings of Bihać as well as its degree of pollution are investigated by geochemical and isotope hydrological methods. Sources of pollution here are local industries. Waste-waters from tourist accommodations contribute to the pollution of the ecosystem in the Plitvice National Park, where natural and anthropogenic lake eutrophication processes are an important task. Surface sediment cores obtained by scuba divers in several lakes were dated using gamma spectrometry to measure <sup>210</sup>Pb/<sup>137</sup>Cs. Together with the geochemical studies in the sediments and lake waters a chronology of lake water pollutants will be established. A final goal is an integrated hydrological model of the Plitvice catchment and its receiving streams represented in a geographical information system.

Within the framework of this project the talk will concentrate on the following subjects:

- Time series of stable isotopes of water ( $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$ ) in the Plitvice Lakes, karst springs, Una River and rain water composition;
- Determination of mean residence time (MRT) of karst springs using  $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$ , tritium/<sup>3</sup>helium, CFC/SF<sub>6</sub>, and
- Determination of sedimentation rates in lakes of the Plitvice National Park (gamma spectrometry measuring <sup>214</sup>Pb, <sup>210</sup>Pb, <sup>137</sup>Cs).

Results (obtained up to now) for stable isotopes, tritium and CFC/SF<sub>6</sub> allow some preliminary conclusions: The stable isotopes of water plot above the global meteoric water line (GMWL) with a deuterium excess between 10 and 16. So most samples seem to have some influence from the Mediterranean area, where higher deuterium excess than 10 prevails. Two clusters can be discerned in the plot, with values lower and higher than  $\delta^{18}\text{O} = -9.7\text{‰}$ : values more positive are from Una River, values more negative are from the Plitvice catchment and its tributaries. Some springs feeding Una River (Klokot, Privilica) have the stable isotope signature of the Plitvice catchment, which suggest a karst hydrologic connection of the two systems and was expected from karst hydrogeologic arguments. Figure 2 shows a clear seasonality in  $\delta\text{D}$  values, where most of the fall enrichment in stable isotopes is due to increasing

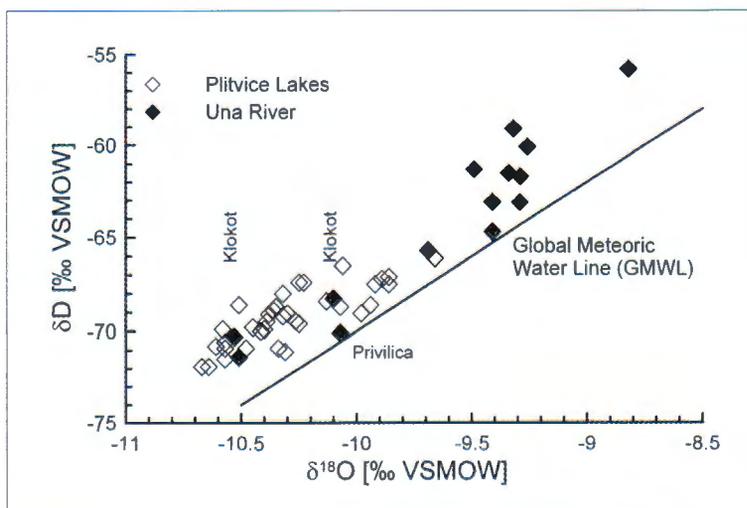


Fig. 1  $\delta^{18}\text{O}/\delta\text{D}$  plot with GWML, samples for Plitvice lakes and Una River from April and July 2003.

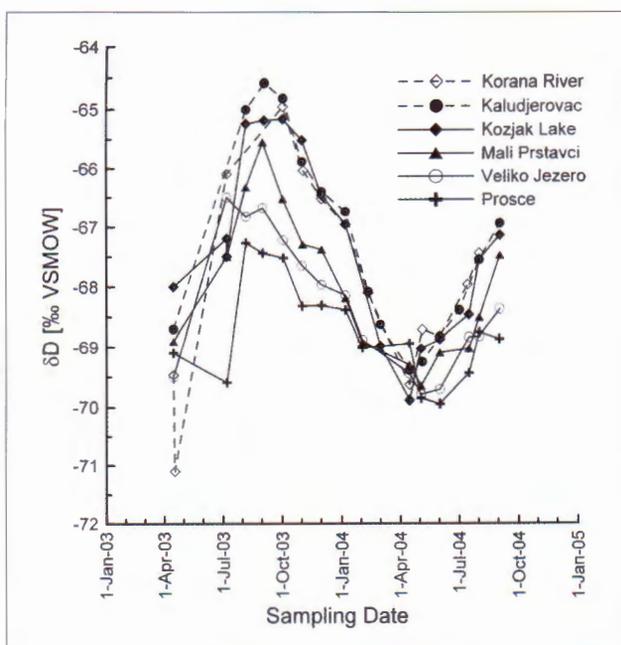


Fig 2 Deuterium enrichment along the lake chain of the Plitvice lakes.

evaporative loss along the lake chain of the Plitvice Lakes. For MRT determination of 9 karst springs a multi-tracer lumped parameter modeling was applied. A more detailed analysis showed that the behaviour of most karst springs is more complicated than can be described by a simple exponential model. Several flow with different MRT can at least partly be resolved by the multi-tracer approach. For the Bijela Rijeka Spring ca. ten-year time series of tritium exists (Fig. 3). Even with the long time series no unique MRT can be determined for this spring with tritium alone, MRTs of 2–7 or 50–70 years would be possible for this spring. The combined results for tritium and CFC/SF<sub>6</sub> measurements together with seasonal variations in the stable isotope record show that the springs are composed of water mixtures having seasonal dependent water amounts and different MRT, ranging between months and decade. Figure 4 shows as an example the CFC-11 concentration for Bijela Rijeka and its variation in calculated MRT with an exponential model for different sampling dates.

The combination of scuba diving to obtain undisturbed cores together with gamma-spectrometric age-dating proved to be a very powerful tool to establish a sediment chronology, although not applicable on every core site. Sedimentation rates obtained with anthropogenic nuclide <sup>137</sup>Cs range between 0.5 and 1.8 kg/(m<sup>2</sup> a) and with <sup>210</sup>Pb they range between 0.8 and 4.4 kg/(m<sup>2</sup> a).

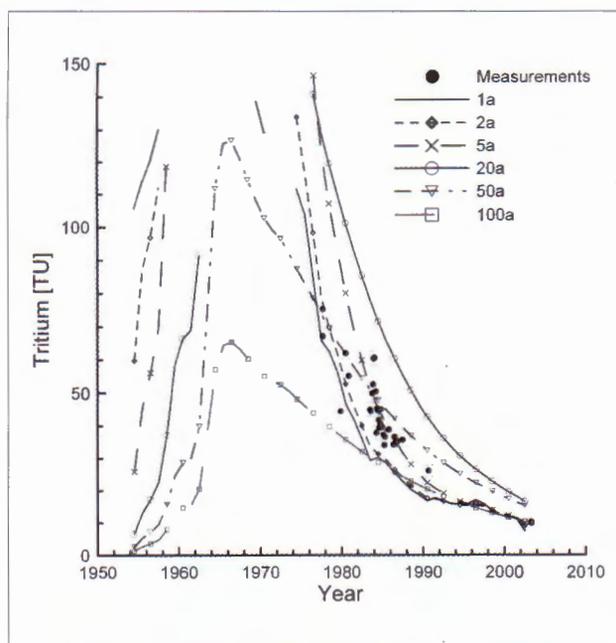


Fig 3 The mean tritium activity in water of Bijela Rijeka Spring based on the exponential model, for the mean residence time (MRT) equal to 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 years.

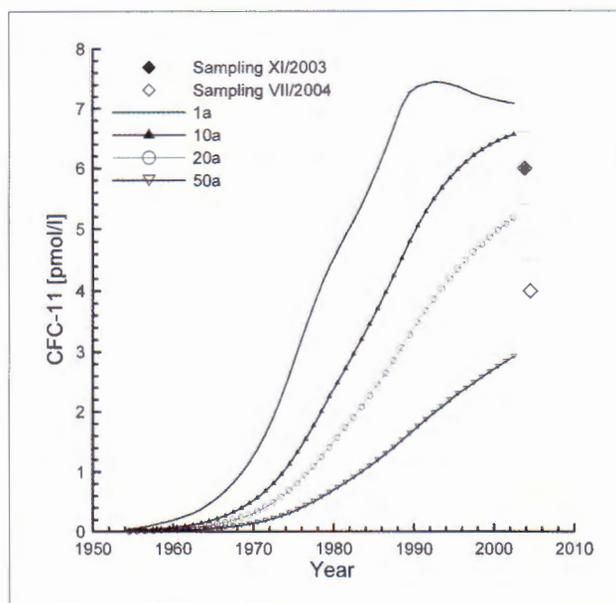


Fig 4 CFC-11 concentration in water of Bijela Rijeka Spring based on the exponential model, for the MRT equal to 1, 10, 20, 50 years.

## Vodonosnost kvartarnih naslaga Sarajevskog polja

### Yield of the Quaternary Sediments in the Sarajevo Field

Mirza Bašagić & Ferid Skopljak

Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, Institut za geologiju, Stjepana Tomića 3, BIH-71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina;  
e-mail: mbasagic@lsinter.net

**Ključne riječi:** Sarajevsko polje, aluvijalni sedimenti, vodopropusne naslage, međuzrnska poroznost, vodonosnik, vodoopskrba Sarajeva.

**Key words:** Sarajevo field, Alluvial sediments, Permeable deposits, Intergranular porosity, Aquifer, Sarajevo watersupply.

#### Fizičkogeografske odlike

U morfostrukturnom smislu, Sarajevsko polje je kotlina ravnoga dna. Jugozapadni dio polja smješten je između Igmana i rijeka Željeznice i Zujevine. Dužina ovog dijela polja je 10 km, a širina 3 km. Nadmorska visina je oko 500 m n.m.

Radijalna su gibanja predisponirala morfostrukturu polja, spuštanjem starijeg gorja duž rasjeda dinarskog i meridijanskog smjera pružanja. U stvorenoj je depresiji egzistiralo tercijarno jezero, do pliokvartara. Na tercijarnim su naslagama taložene kvartarne tvorevine, čime je polje dobilo današnji izgled.

U geomorfološkom pogledu, najveću zastupljenost imaju fluvijalni oblici. Izražena su korita rijeka Bosne, Željeznice, Večerice i Zujevine, usječena u aluvijalne naslage.

#### Geološko-tektonski sklop

Geološku osnovicu jugozapadnog dijela polja čine vapneno-dolomitne stijene srednjeg ( $T_2$ ) i gornjeg trijasa ( $T_{2,3}$ ), koje leže na klastičnim naslagama donjeg trijasa ( $T_1$ ). U podini su, najvjerojatnije, sedimenti permotrijasa (P,T), predstavljeni škriljavicima, pješčenjacima i karbonatnim

sedimentima sa ulošcima gipsa i anhidrita. Trijasko su naslage pokrivene pliokvartarnim (Pl,Q) i kvartarnim sedimentima (Q).

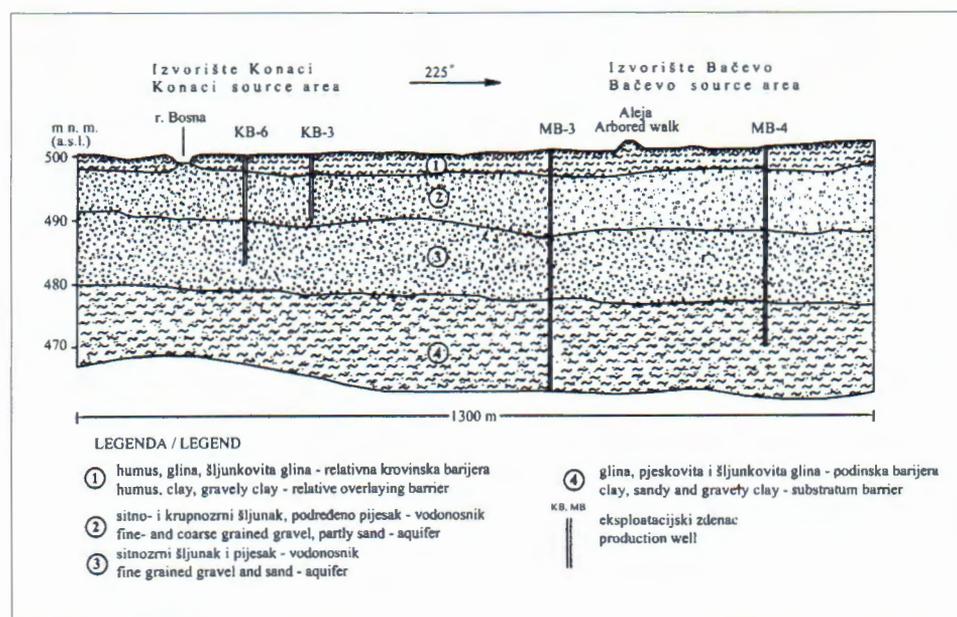
Glede strukturno-tektonskog sklopa, najznačajnija je busovačka rasjedna zona, bitna za postanak i evoluciju polja. Ova duboka geofrakture se račva u više uzdužnih, dijagonalnih i poprečnih rasjeda, koji su uzrokovali blokovsku strukturu dna polja.

#### Sedimenti kvartara

Prema geokronološkom datiranju i litogenetskim tipovima, pliokvartarne i kvartarne su tvorevine predstavljene sedimentima završnog dijela pliocena, pleistocena i holocena.

*Sedimenti dijela pliocena i pleistocena* podina su predstavljeni aluvijalnim naslagama. Sastoje se od ulomaka starijih stijena obavijenih glinom, breča i konglomerata u nižim, te praškastih i sitnozrnih glinovitim pijesaka s ulošcima ugljevitog gline i mjestimice lećama šljunka, u višim dijelovima. Debljine su 40–50 m.

*Sedimenti holocena* su predstavljeni aluvijalnim i deluvijalno-koluvijalnim nanosima. Najrasprostranjeniji su aluvijalni sedimenti. U sastavu dominira šljunak i pijesak. Oblutice i zrna su vapnenački. Debljine su 10–50 m.



Sl. 1 Geološki profil izvorišta Konaci-Bačevo.

Fig. 1 Geological cross-section trough Konaci-Bačevo source area.

Zdenac	Komponenta (mg/l)								t (°C)
	Na	K	Ca	Mg	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Min.	
B-1 Bačevo	0,88	0,39	52,2	8,08	175	9,0	2,0	250	8,7–9,1
BSK 7 Sokolovići	1,1	0,8	71	15,4	183	2,5	4,08	280	8–9,3

Tablica 1 Osnovne fizikalno-kemijske komponente podzemnih voda u Sarajevskom polju.

Table 1 The basic physical-chemical components of the ground water in Sarajevo field aquifer.

Deluvijalno-koluvijalne su tvorevine utvrđene na padinama i u podnožju Igmana. Deponirane su kao sipari s velikim postotkom glina unutar vapnenačkog kršja.

### Hidrogeološka kategorizacija kvartarnih sedimenata

Prema vodopropusnosti i izdašnosti, kvartarni su sedimenti klasificirani u tri kategorije: slabo, dobro i vrlo dobro vodopropusne sredine, međuzrnske poroznosti.

*Slabo vodopropusnu sredinu međuzrnske poroznosti* čine pliokvartarne naslage. Propusnost im je relativno slaba. Koeficijenti su filtracije  $k=1,0 \times 10^{-5}$  do  $1,0 \times 10^{-8}$  m/s. I vodopropusnost deluvijalnih naslaga, također je slaba, jer sadrže značajni postotak glinovite komponente. Koeficijent filtracije je oko  $k \approx 6,75 \times 10^{-8}$  m/s.

*Dobrovodopropusnu sredinu međuzrnske poroznosti* predstavljaju aluvijalni šljunci i pijesci, između rijeka Željeznice i Dobrinje. Dobrih su filtracijskih svojstava, s koeficijentom filtracije  $k=1,9-2,6 \times 10^{-3}$  m/s i koeficijentom vodopropusnosti  $T=2,3-3,4 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s.

*Vrlo dobro vodopropusnu sredinu međuzrnske poroznosti* predstavljaju čisti šljunci i pijesci, u području Bačevo–Stojčevac–Ilidža. U njima je formirano glavno izvorište grada Sarajeva. Prosječne vrijednosti koeficijenta filtracije su  $k=1,13 \times 10^{-3}-1,03 \times 10^{-2}$  m/s. Dobre filtracijske odlike omogućavaju veliku pojedinačnu izdašnost zdenaca, u količinama  $Q=50-150$  l/s, uz specifični kapacitet  $q > 50$  l/s/m.

### Vodonosnik u kvartarnim sedimentima

Najznačajniji vodonosnik pitkih (“hladnih”) podzemnih voda unutar kvartarnih sedimenata, predstavljaju šljunci i pijesci jugozapadnog dijela polja (sl. 1).

Litološki stup tih naslaga je sljedeći:

- humus, glina, šljunkovita glina, debljine 1,0–2,5 m, u krovini;
- šljunak s pjeskovitom frakcijom do 25% u funkciji vodonosnika, debljine 8–10 m;
- šljunak s pjeskovitom frakcijom do 40% u funkciji vodonosnika, debljine 10–20 m, i
- glina, pjeskovita i šljunkovita glina, debljine 30–40 m, u podini.

Vodonosnik sadrži obnovljive zalihe vode, čija dinamička razina interferira s vodotocima Bosne, Željeznice i Večerice. Najistraženija su izvorišta Bačevo, Konaci i Sokolovići.

U izvorištu *Bačevo–Konaci* izvedeno je 27 eksploatacijskih zdenaca, dubine 9,5–43,0 m. Ukupna izdašnost je 1750 l/s. S obzirom da se eksploatiranjem crpe prirodno obnovljive zalihe, to se izvorište umjetno obogaćuje vodom iz rijeke Bosne, pomoću infiltracijskih kanala i “upojnih” zdenaca.

U izvorištu *Sokolovići* je šest zdenaca, dubine 18,0–32,0 m. U eksploataciji su četiri, ukupne izdašnosti oko 350 l/s.

U okolini *Stupa* se također eksploatiraju tri zdenca, ukupne izdašnosti oko 100 l/s.

Podzemne vode su HCO<sub>3</sub>–Ca tipa, mineralizacije 250–300 mg/l i temperature 8–10°C (tablica 1). Kakvoćom zadovoljavaju kriterije vode za piće.

## Pojava prekomjerne erozije u području Slanog potoka (Vinodolska dolina) The Phenomenon of Excessive Erosion in the Area of Slani Potok (Vinodol Valley)

Čedomir Benac<sup>1</sup>, Vladimir Jurak<sup>2</sup>, Maja Oštrić<sup>3</sup>, Danko Holjević<sup>3</sup> & Goran Petrović<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Zavod za hidrotehniku i geotehniku, V. Cara-Emina 5, HR-51000 Rijeka, Hrvatska; e-mail: benac@gradri.hr

<sup>2</sup> Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo, Pierottieva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>3</sup> Hrvatske vode, VGO Rijeka, Đ. Šporera 3, HR-51000 Rijeka, Hrvatska

**Ključne riječi:** fliš, prekomjerna erozija, Vinodolska dolina, Hrvatska.

**Key words:** Flysch, Excessive erosion, Vinodol valley, Croatia.

Vinodolska dolina ima nepravilan eliptičan oblik najveće ukupne duljine do 23 km i širine do 4 km te izlomljeno pružanje osnovnim smjerom SZ–JI od Bakarskog zaljeva na sjeverozapadu do zaleđa Novog Vinodolskog na jugoistoku. U području Vinodolske doline nalaze se litofacijsno vrlo različite karbonatne i klastične sedimentne stijene krednog i paleogenskog perioda te pliokvartarne tvorevine koje tvore djelomični ili potpuni pokrivač na stijenskoj masi. Sjeveroistočne padine i primorsko bilo oblikovani su u gornjokrednim i paleogenskim karbonatnim stijenama. Flišni stijenski kompleks eocenske starosti izgrađuje niže dijelove sjeveroistočne padine i dno doline. Stariji dio fliša tvori tipična izmjena siltita i pješčenjaka, a u podređenom udjelu lapora, brečokonglomerata i vapnenaca. Mlađi dio, koji diskordantno leži na starijem, sastoji se od konglomerata, konglomeratičnih biokalkarenita i litičnih arenita (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983). Najrašireniji tip pokrivača na flišu su deluvijalno-koluvijalne tvorevine, čija je debljina veća na sjeveroistočnoj padini. Kvartarne siparne breče tvore ispučene ploče na flišnoj padini koja je, općenito, ujednačenoga nagiba. Zastupljenije su na sjeveroistočnoj padini Vinodolske doline gdje se nalaze u dvije hipsometrijske razine (BLAŠKOVIĆ, 1983).

Tektonski odnosi i morfogeneza mogu se promatrati kroz proces kontinentalne subdukcije uz formiranje tangencijalnih boranih i rasjednih struktura prilikom čega je Vinodolska dolina nejednoliko sužena. Može se pretpostaviti sinklinorijski strukturni oblik srednjoeocenskog flišnog bazena s pojavom recentnih bora s osima položenim paralelno do dijagonalno u odnosu na protezanje doline. Sjeveroistočni kontakt između fliša i karbonatnih stijena je reversni rasjed po kojemu je karbonatna stijenska masa nagurana na fliš. Tektonski kontakt na jugozapadnom dijelu Vinodolske doline također je reversni rasjed, ali drugačije kinematike i zato često subvertikalne ili, pak, suprotno nagnute paraklaze. Mlađi, poprečni i dijagonalni rasjedi markantno se očrtavaju u karbonatnim padinama doline. Po njima su utiskivani relativno kruti karbonatni blokovi u duktilne naslage fliša pa plohe reversnih rasjeda, koji uokviruju Vinodolsku dolinu, na mnogim mjestima više nisu cjelovite (BLAŠKOVIĆ, 1999). Najintenzivniji tektonski pokreti, presudni za konačno oblikovanje doline, dogodili su se tijekom kvartara. Istovremeno, taložila se velika ko-

ličina sipara od kojih su litifikacijom nastale siparne breče. Djelomično su deformirane tijekom recentnih tektonskih pokreta kada se nastavlja nakupljanje sipara podno litica na sjeveroistočnoj strani doline.

Središnji dio Vinodolske doline pripada slivu rječice Dubračine. Dolina je sa sjeveroistočne strane ograničena strmim liticama, čiji vrhovi mjestimice premašuju nadmorsku visinu od 700 m. S jugozapadne strane dolina je obrubljena padinama primorskog bila čiji vrhovi dosižu 250 do 350 m n.m. Vinodolska dolina ima u tom dijelu asimetričan poprečni profil, s izrazito dužom sjeveroistočnom i kraćom jugozapadnom padinom, pa je korito Dubračine smješteno većim dijelom uz primorsko bilo. Tijekom kišnih razdoblja stvara se mreža vodotoka zbog male vodopropusnosti kako matične flišne stijene, tako i zone fizikalno-kemijske razgradnje različitih litogenetskih tipova deluvijalno-koluvijalnih tvorevina. Zato je erozija spiranjem mjestimice izrazita. Obilježje flišnih padina u Vinodolskoj dolini je izmjena površina gdje pokrivač ima zaštitnu funkciju od erozije i ogoljelih dijelova, gdje su matične stijene napadnute pluvijalnom erozijom. Obradive površine imaju oblik terasa s mrežom odvodnih kanala radi smanjena štetnog djelovanja erozije i povećanja stabilnosti padina. Napuštanjem obrade zemljišta nastupa gospodarska degradacija terena – urušavanje zidova terasa i zatrpavanje kanala. Tada se pojačava erozija, a spiranje poprima mjestimice drastične razmjere stvarajući terene tipa “badlands”.

Upravo takav primjer kombiniranog djelovanja erozije s pratećim pojavama klizanja je sliv Slanog potoka, a djelomice i slivovi bujičnih vodotokova Male Dubračine i Kučine. To su lijevi pritoci Dubračine u središnjem dijelu Vinodolske doline. U slivu Slanog potoka nalazi se žarište te pojave. Teren zahvaćen pretjeranom (eksczesnom) erozijom ima dimenzije 600 m po osi i 250 m po širini. Slivovi Male Dubračine i potoka Kučina još nisu zahvaćeni najvišim stupnjem erozije pa su izolirane ogoline vidljive tek mjestimice. Popratne pojave oko žarišta erozije, kao i u njemu samom, brojna su klizišta kao posljedica trošenja matičnih stijena flišnoga kompleksa i pretvaranja stijene u inženjersko tlo. Zahvaćena površina je veličine oko 3 km<sup>2</sup> pa su ugrožena okolna naselja Belgrad, Baretici, Grižane i Kamenjak, kao i okolne ceste. Retencije su gotovo u potpunosti ispunjene nanosom, uglavnom muljem.

Flišni kompleks u slivu Slanog potoka sastavljen je od silita i siltnih lapora s rijetkim proslojcima pješčenjaka. Obilježje materijala u žarištu je disperznost zbog prisutnosti čestica nanometarskih dimenzija i minerala sklonih bubrenju. To je razlog prekomjernoj erodibilnosti, kojoj pridonosi i tektonska deformiranost fliša. Tlo sadrži povećanu količinu otopljenog natrijevog iona u pornoj vodi, a indikator je mineral tenardit. Proces erodiranja zbiva se zbog prelaska koloidnih čestica gline u suspenziju u praktički stajaćoj vodi. Fenomen eflorescencije ili "cvjetanja" je posebno uočljiv tijekom sušnog razdoblja, kada su na površini vidljive nakupine bijeloga praha koji je po sastavu mineral tenardit (MILEUSNIĆ et al., 2004). Prah je gorko-slanog okusa što opravdava i naziv lokacije – Slani potok. Pokrivač na matičnoj stijeni (zona trošenja i padinske tvorevine) djeluje zaštitno. Međutim, jednom ogoljena flišna matična stijena ostaje dugotrajno izložena djelovanju atmosferilija, odnosno opetovanom vlaženju i sušenju, što vjerojatno uzrokuje promjenu obujma pojedinih litoloških članova fliša. Taj proces integrirano dovodi do premrežavanja stijene pukotinama sušenja kroz koje prodire padalinska voda. Konačna posljedica je razrahljivanje i razgradnja stijena, kao i njihovo postupno pretvaranje u inženjersko tlo (kategorije CW i RS). Tako nastao deluvijalni materijal ima svojstvo deformabilnosti plastičnim tečenjem, posebice kada je saturiran vodom. U određenim okolnostima te naslage su nestabilne pa nastaju klizišta slična onima na drugim lokacijama u Vinodolskoj dolini. Unatoč brojnim mjerama sanacije provedenih tijekom cijelog 20. stoljeća, i dalje je izražen proces sveopće degradacije terena pa se navodi da stanje poprima svojstva "trajne elementarne nepogode" (HOLJEVIĆ, 1996).

### Literatura

- BLAŠKOVIĆ, I. (1983): O rasprostranjenosti i položaju pliocenskih i kvartarnih taložina u Vinodolu.– *Geološki vjesnik*, 36, 27–35, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1983): Prominske i Jelar naslage u Vinodolu (Hrvatsko primorje).– *Geološki vjesnik*, 36, 37–50, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1999): Tectonics of part of the Vinodol valley within the model of the continental crust subduction.– *Geologia Croatica*, 52/2, 153–189, Zagreb.
- HOLJEVIĆ, D. (1996): Klizište Slani potok i Dubračina.– *Hrvatska vodoprivreda*, 43, 42–44, Zagreb.
- MILEUSNIĆ, M., SLOVENEK, D. & JURAK, V. (2004): The- nardite-efflorescence indicating cause of the Excessive Flysch Erosion, Slani potok, Croatia.– *Acta Mineralogica–Petrographica*, Abstract Series 4, 75, Szeged.

## Mineral Composition of Sediments Along Highway Section Krapina–Macelj, NW Croatia

Vladimir Bermanec & Nenad Tomašić

*Institute of Mineralogy and Petrography, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb;  
e-mail: vladimir.bermanec@jagor.srce.hr*

**Key words:** Sediments, Mineral composition, Highway section Krapina–Macelj.

The construction of the highway section Krapina–Macelj, a part of Phyrin route, has excavated outcrops of dominant lithostratigraphic units in the north-western part of Hrvatsko Zagorje, Croatia (Fig. 1). The highway section is about 15 km long, starting in Krapina and ending in Macelj on the border of Croatia to Slovenia. The highway roughly transects the following lithostratigraphic units in direction from Krapina to Macelj: Upper Badenian to Pontian sedimentary rocks, Egerian clastic rocks, Triassic dolomites and limestones, and Egerian to Karpatian clastic rocks (ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1993). Fourteen rock samples were collected along the highway section. The samples are mostly loosely cemented sandstones with significant content of clay minerals. Due to a poor cementation and inherent difficulty in preparation of thin sections, the samples

were analyzed by X-ray powder diffraction in order to determine their mineralogical composition.

The diffraction data indicate that majority of the samples contain mica, kaolinite minerals, quartz, carbonates (calcite and dolomite) and smectite (Table 1). In almost all samples the carbonate component is related to the lithology of adjacent, mostly Triassic rocks (Mt. Strahinjčica), thus indicating mechanical weathering, short transportation, and subsequent sedimentation. The silicate fraction largely represented by feldspar, mica and chlorite, evidences crystalline parent rocks, probably related to Neogene volcanism, with geochemical evolution described by PAMIĆ & PALINKAŠ (2001). Volcanic influence on mineralogy could be also devised by tuff-like appearance of the sample No. 11. Smectite and kaolinite group minerals indicate subareal and areal alteration of primary silicates.

Due to a high content of phyllosilicates, especially clay minerals (smectite), and the poor cementation, the investigated rock samples generally have poor physical properties and low suitability for construction works.

### References

- PALINKAŠ, L.A. & PAMIĆ, J. (2001): Geochemical evolution of Oligocene and Miocene magmatism across the easternmost Periadriatic Lineament. – *Acta Vulcanologica*, 13/1–2, 41–56.
- ŠIMUNIĆ, A. & PAMIĆ, J. (1993): Geology and petrology of Egerian–Eggenburgian andesites from the easternmost parts of the Periadriatic Zone in Hrvatsko Zagorje (Croatia). – *Acta Geol. Hungarica*, 36, 315–330.

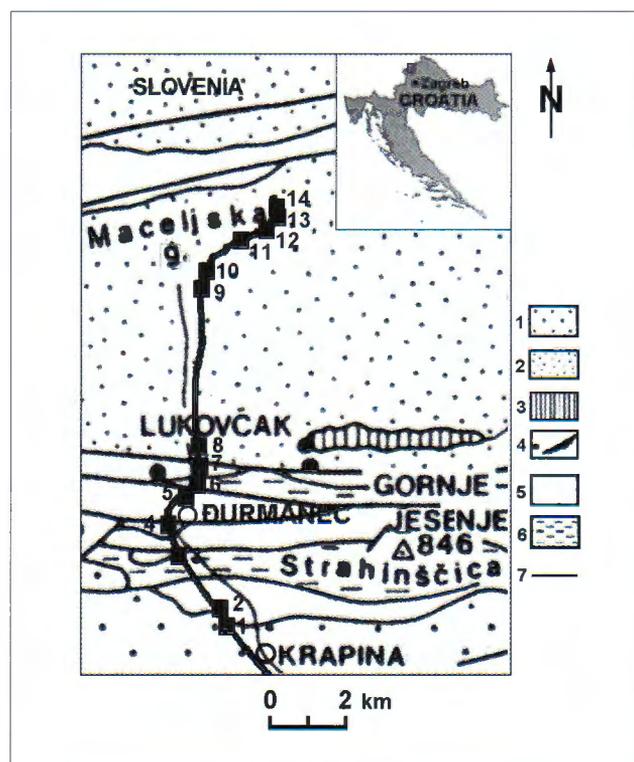


Fig. 1 Geological map of NW Hrvatsko Zagorje (ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1993, modified) showing the highway section Krapina–Macelj with approximate locations of the samples investigated (1–14). Description of legend: 1 – Upper Badenian to Pontian sedimentary rocks; 2 – Egerian to Karpatian clastic rocks; 3 – Egerian pyroclastics; 4 – Egerian–Eggenburgian volcanic rocks; 5 – Egerian clastic rocks; 6 – Mesozoic, mostly Triassic dolomites and limestones; 7 – contact line or fault.

No.	calcite	dolomite	quartz	mica	chlorite	feldspar	smectite	kaolinite
1			+	+	+	+	+	
2	+	+	+	+	+		+	
3	+	+	+	+	+	+	+	
4	+		+	+	+	+	+	
5	+		+	+				+
6	+		+					
7			+	+		+		+
8	+	+	+	+		+		+
9	+	+	+	+	+	+		
10	+	+	+	+	+	+		
11	+	+	+	+	+	+		
12	+	+	+	+	+	+		
13	+	+	+	+	+		+	
14			+	+	+	+	+	

Table 1 Mineral composition of sediments along Krapi-na–Macelj highway section obtained by X-ray powder diffraction.

## Količine površinskih voda na izvorišnoj zoni Gacke Surface Water Quantities at the Gacka Spring Zone

Danko Biondić & Darko Barbačić

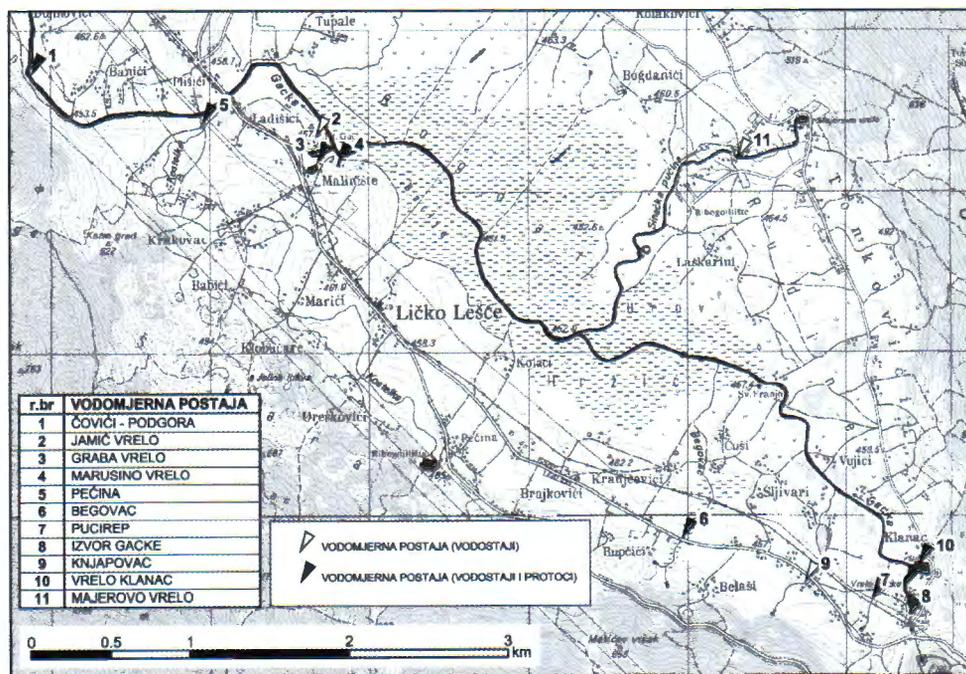
Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: dbiondic@voda.hr

**Ključne riječi:** izvorišna zona Gacke, površinske vode, količine, minimalni, srednji i maksimalni protoci.  
**Key words:** Gacka spring zone, surface waters, quantities, minimum, average and maximum discharges.

Rijeka Gacka nastaje u blizini sela Klanac na jugoistočnom rubu Gackog polja spajanjem voda koje izviru iz dva jaka uzlazna vrela: Tonković vrela (izvor Gacke) i susjednog vrela Klanac. Dalje teče Gackim poljem prema sjeverozapadu usput primajući vode tri manje pritoke: Pucirepa, Knjapovca i Begovca, te zatim Sinačke pučine koja izvire na jakom Majerovom vrelu. Nizvodno od ušća Sinačke pučine teče prema hotelu "Gacka" u čijoj blizini prima vodu iz tri stalna priobalna vrela: vrela Graba, Marusinog vrela i Jamić vrela. Nizvodno od hotela Gacka prima lijevoobalni prtok Kostelku (Pečinu), te dalje teče prema izlaznom presjeku svoje izvorišne zone,

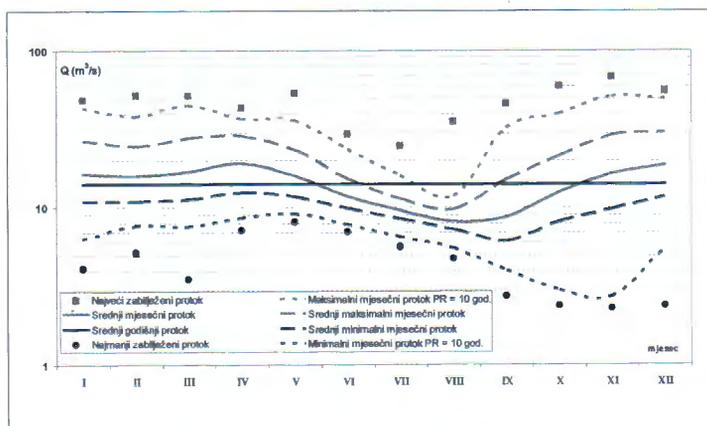
Čovićima–Podgori. Većinu vode Gacka dobije iz Tonković vrela (oko 25%), Majerovog vrela (oko 25%), vrela Klanac (oko 24%), Pečine (oko 12%) i Marusinog vrela (oko 7%). Iz svih ostalih pritoka ukupno primi oko 7% vode.

Izvorišna zona Gacke od strateškog je značenja za budućnost vodoopskrbe šireg područja, zbog znatnih količina iznimno kvalitetne vode koje se nalaze na nadmorskoj visini od otprilike 450 m n.m. Posebnu važnost Gackoj daje prilično ujednačen tok koji je posljedica utjecaja velike podzemne retencije u zaleđu njene izvorišne zone. Veličina aktivnog volumena te retencije procijenjena je na oko 410 milijuna m<sup>3</sup>



Sl. 1 Situacijski prikaz izvorišne zone Gacke.

Fig. 1 Overview of the Gacka Spring Zone.



Sl. 2 Karakteristični mjesečni protoci rijeke Gacke kod Čovića–Podgore (1972–2002.).

Fig. 2 Characteristical monthly discharges in the Gacka River near Čovići–Podgora (1972–2002).

Vodnjerna postaja	ČOVIĆI PODGORA	JAMIĆ VRELO	GRABA VRELO	MARUSINO VRELO	PEĆINA	BEGOVAC	PUCIREP	IZVOR GACKE	KNJAPAVAC	VRELO KLANAC	MAJEROVO VRELO
Redni broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Razdoblje opažanja (broj godina)	1971. 2002. (31)	1986. 1995. (9)	1986. 1992. (2)	1992. 2000. (9)	1996. 2002. (27)	1992. 1995. (4)	1990. 1995. (6)	1982. 2002. (21)	1986. 2005. (8)	1987. 2002. (15)	1987. 2002. (13)
Maksimalni godišnji broj sušnih dana	0	0	0	0	0	104	140	0	0	15	0
Prosječni godišnji broj sušnih dana	0	0	0	0	0	76,2	68,8	0	0	1,86	0
Minimalni godišnji protok 100- godišnjeg povratnog razdoblja (m <sup>3</sup> /s)	1,48	-	-	-	-	-	-	0,745	-	-	-
Minimalni godišnji protok 10- godišnjeg povratnog razdoblja (m <sup>3</sup> /s)	2,64	-	-	-	-	-	-	1,16	-	-	-
Najmanji zabilježeni protok (m <sup>3</sup> /s)	2,28	-	0,147	0,276	0,000	SUH O	SUH O	0,910	-	SUH O	-
Prosječni minimalni godišnji protok (m <sup>3</sup> /s)	4,81	-	0,153	0,599	0,118	0,002	0,004	1,87	-	0,26	-
Srednji protok (m <sup>3</sup> /s)	14,2	-	0,177	1,00	1,67	0,154	0,208	3,57	-	3,34	-
Prosječni maksimalni godišnji protok (m <sup>3</sup> /s)	45,8	-	0,262	1,40	8,52	0,842	1,27	7,87	-	13,0	-
Najveći zabilježeni protok (m <sup>3</sup> /s)	68,6	-	0,295	1,47	13,9	1,16	1,52	12,0	-	16,0	-
Maksimalni godišnji protok 10- godišnjeg povratnog razdoblja (m <sup>3</sup> /s)	58,4	-	-	-	12,4	-	1,49	9,57	-	16,2	-
Maksimalni godišnji protok 100-godišnjeg povratnog razdoblja (m <sup>3</sup> /s)	68,2	-	-	-	15,3	-	1,72	11,6	-	20,2	-

Tablica 1 Karakteristični protoci na vodnjernim postajama izvorišne zone Gacke.

Table 1 Characteristical discharges at the Gacka spring zone.

(ŽUGAJ, 1981). Površina sliva izvorišne zone Gacke procijenjena je na oko 490 km<sup>2</sup>, a prosječna godišnja visina oborina na slivu iznosi oko 1350 mm. Procjene vodnih količina na Gacki i njenim pritocima rađene su temeljem raspoloživih podataka o dnevnim protocima pohranjenim u Informativskom sustavu HIS 2000 Državnog hidrometeorološkog zavoda. Minimalni i maksimalni godišnji protoci 10 i 100-godišnjeg povratnog razdoblja na vodnjernim postajama Izvor Gacke i Čovići-Podgora procijenjeni su provedbom vjerojatnosnih analiza, dok su na ostalim vodnjernim postajama zbog nedovoljno dugih nizova protoka procijenjeni primjenom odgovarajućih regionalnih izraza za hrvatski krš (ŽUGAJ, 1995).

### Literatura

- ŽUGAJ, M. (1981): Posebne analize u hidrotehnici.– Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.
- ŽUGAJ, R. (1995): Regionalna hidrološka analiza u kršu Hrvatske.– Hrvatsko hidrološko društvo, Zagreb.

## Slovenski Snežnik – visoka zona sliva izvora grada Rijeke

### Slovenian Mt. Snežnik – Upper Zone of Rijeka Springs Catchment Area

Ranko Biondić<sup>1</sup>, Joerg Prestor<sup>2</sup>, Sanja Kapelj<sup>1</sup> & Stjepan Dolić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb, Hrvatska; e-mail: ranko.biondic@zg.htnet.hr

<sup>2</sup> Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000, Ljubljana, Slovenija

**Ključne riječi:** Snežnik, izvor Rječine, Zvir, izvor u Ilirskoj Bistrici, zaštitne zone izvora u Rijeci, trasiranje podzemnih tokova.

**Key words:** Mt. Snežnik, Rječina spring, Zvir spring, Ilirska Bistrica spring, Protection zones of springs in Rijeka, Groundwater tracing.

Područje između Rijeke i Ilirske Bistrice izgrađeno je pretežito od okršenih karbonatnih stijena koje specifičnom dinamikom vode na površini, ali i u podzemlju uvjetuje posebnu skrb za očuvanje kakvoće podzemne vode. Na tom prostoru sa hrvatske, ali i sa slovenske strane nalazi se nekolicina vrlo velikih krških izvora koji su osnova vodoopskrbe cijele regije (izvor Rječine, Zvir, Ilirska Bistrica). Sliv riječkih izvora proteže se i na teritorij Slovenije, a također, prema slovenskim hidrogeolozima i sliv izvora u Ilirskoj Bistrici ima prekogranični karakter. Područje preklapanja ovih dviju pretpostavki je slovenski Snežnik.

Određivanje slivne pripadnosti visokih planinskih zona, kakva je slovenski Snežnik, zahtijeva vrlo kompleksan pristup. Iz toga područja do sada nisu rađena trasiranja podzemnih tokova, već su slivne odredbe rađene uglavnom na temelju geološke građe terena. Radi boljeg gospodarenja ovim područjem, ali i očuvanja vrijednih resursa pitke vode predviđeno je izvođenje trasiranja u sklopu istraživanja prekograničnih vodonosnika Hrvatske i Slovenije između Tršćanskog i Kvarnerskog zaljeva koja su trajala 2000–2004. godine (BIONDIĆ et al., 2004). Ovaj rad opisuje jedan segment ovih kompleksnih istraživanja, određivanje slivne pripadnosti visoke zone slovenskog Snežnika.

Navedenim istraživanjima nisu izdvajane cjeline podzemnih voda prema Okvirnim direktivama o vodama (WFD 2000/60/EC), ali slivne odredbe temeljene na

egzaktним istraživanjima vrlo su kvalitetan ulazni parametar kod odjeljivanja cjelina podzemnih voda, te jednako tako i neophodan podatak kod određivanja ili novelacija zona sanitarne zaštite izvorišta pitke vode. Upravo zaštita podzemnih voda inicirala je izvođenje trasiranja sa područja slovenskog Snežnika. Naime, navedeno područje nalazi se unutar zona sanitarne zaštite izvora grada Rijeke (Zvir, izvor Rječine), ali i izvora u Ilirskoj Bistrici. Pošto je jedan od ciljeva projekta bilo i ujednačavanje mjera ograničenja i usklađivanje zona sanitarne zaštite pristupilo se izvođenju trasiranja sa navedenog lokaliteta.

Uz pomoć slovenskih speleologa u visokoj zoni slovenskog Snežnika na oko 1400 m n.m. izdvojen je lokalitet Črna Draga, tj. prirodna jama u neposrednoj blizini, na čijem je dnu vidljivo tečenje vode. Lokalitet se nalazi unutar prijelaznih naslaga kredne starosti ( $K_{1,2}$ ) izgrađenih od vapnenaca, dolomitnih i vapnenačkih breča, uz rub doline Črna Draga izgrađene od morenskog materijala (ŠIKIĆ et al., 1975).

Kako bi se trasiranje podzemnih tokova moglo koristiti i za buduće novelacije zona sanitarne zaštite izvora pitke vode i na hrvatskoj i slovenskoj strani bilo je potrebno izvesti ubacivanje trasera u podzemlje tijekom hidrološki velikih voda. To zvuči jednostavno, no nije uvijek i lagano izvedivo. Naime, visoke planinske zone onemogućuju transport vode cisternama u idealnim količinama, već se čeka

Količina ubačenog trasera	Datum ubacivanja trasera	Opažani izvori	Udaljenost od jame (m)	Vrijeme pojave trasera	Prividna brzina (cm/s)
30 kg Na-fluoresceina + NaOH	22.05.04. u 12:00 sati	Izvor Rječine	13500	23.06.04. 7:00	0,49
		Zvir	23800	01.07.04 18:00	0,68
		Rastinčica – Grobničko polje	16700		
		Lužac – Grobničko polje	16800		
		Ilirska Bistrica – SLO	12300		
		Knežak – SLO	16700		
		Snežnik Grad – SLO	16300		
		Izvor Čabranke	19400	aktivni ugljen	

Tablica 1 Trasiranje podzemnih tokova iz Črne Drage–Snežnik (Slovenija).

Table 1 Groundwater tracing test from Črna Draga–Snežnik (Slovenia).

pojava topljenja snježnog pokrivača u kombinaciji sa ubacivanjem vode. Također, potrebna je i prohodnost cesta do predmetne lokacije. Tijekom zime i proljeća 2004. godine izvedeni su svi pripremni radovi i tek 22. svibnja ubačen je traser u podzemlje. Neposredno nakon ubacivanja trasera, kroz isti cjevovod ubačeno je u slijedećih 24 sata oko 30 m<sup>3</sup> vode čime je isprano dno jame. Istovremeno je organizirana mreža opažanja pojave trasera u koju je uključena cijela lepeza vodnih objekata i sa hrvatske i slovenske strane sa težištem na izvoru u Ilirskoj Bistrici, izvoru Rječine, izvoru Zvir u Rijeci i zdencima uz rub Grobničkog polja.

Nakon mjesec dana, pojava trasera zabilježena je na izvoru Rječine u periodu 23. lipnja do 8. srpnja u maksimalnoj koncentraciji 0,017 mg/l, a na izvoru Zvir od 1. do 8. srpnja sa maksimalnom koncentracijom 0,007 mg/l. Na ostalim mjestima opažanja nije bilo pojave trasera. Analiza prividnih brzina pokazuje najveće brzine podzemnih tokova prema izvoru Zvir u Rijeci, ali su koncentracije istjecanja trasera na izvoru Rječine u maksimalnim koncentracijama znatno više.

Rezultati ovoga trasiranja dokazuju da se visoka zona slovenskog Snežnika nalazi u slivu riječkih izvora, te upućuju na potrebu novelacije zona sanitarne zaštite riječkih izvora i izvora u Ilirskoj Bistrici, tj. potrebu donošenja zajedničke odluke o uspostavljanju zaštite prema postojećim regulativama u obje države. Naime, prema hrvatskoj regulativi ovo područje odgovara razini zaštite IV. zone riječkih izvora, a pošto se nalazi na teritoriju Slovenije potrebno je razinu zaštite uskladiti sukladno mjerama ograničenja hrvatske i slovenske regulative.

## Literatura

- BIONDIĆ, R., KAPELJ, S. & RUBINIĆ, J. (2004): Granični vodonosnici Hrvatske i Slovenije između Kvarnerskog i Tršćanskog zaljeva. Izvješće II. faze istraživanja.– Arhiv HGI, Zagreb.
- ŠIKIĆ, D. & PLENIČAR, M. (1975): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tumač za list Ilirska Bistrica.– Savezni geološki zavod, Beograd.
- WFD 2000/60/EC: Water Framework Directive of the European Parliament and of the Council of the European Union (Okvirna direktiva o vodama Europske Unije).

## Hidrogeološki model zaslanjenja na crpilištu Dobrica u Bakarskom zaljevu Hydrogeological Model of Salinization on Water-Supply Spring Dobrica in Bakar Bay

Ranko Biondić<sup>1</sup>, Božidar Biondić<sup>2</sup> & Franjo Dukarić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb, Hrvatska; e-mail: ranko.biondic@zg.htnet.hr

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Hallerova aleja 7, HR-42000, Varaždin, Hrvatska

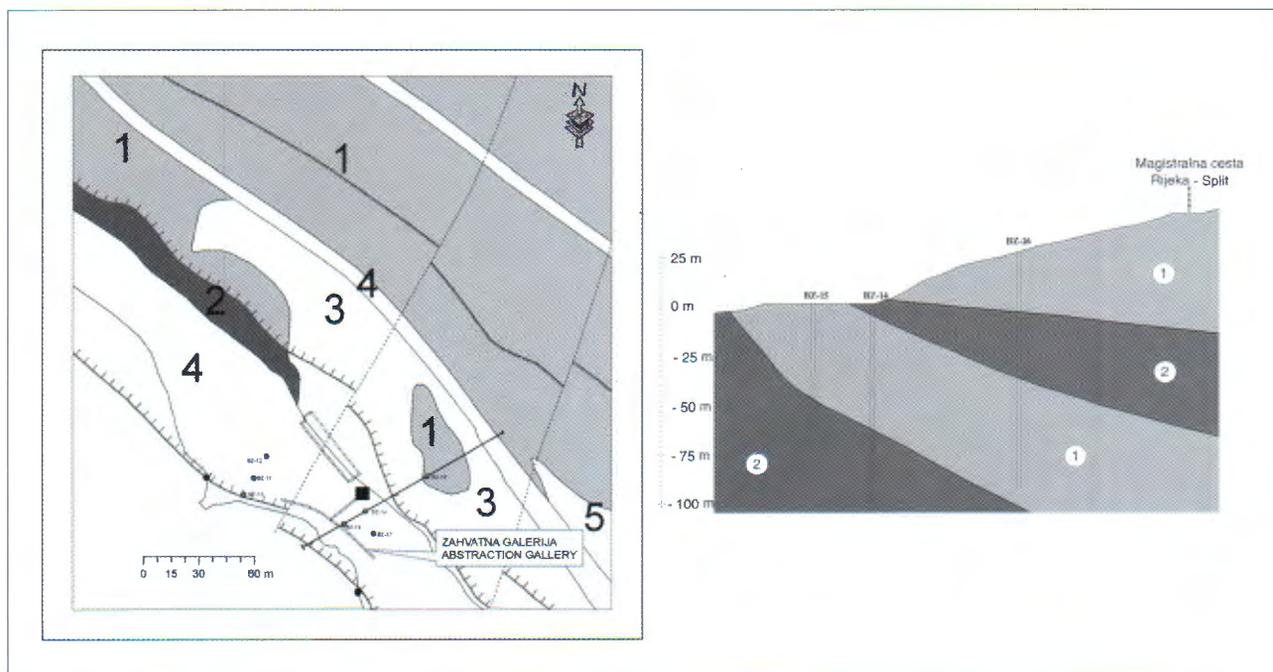
**Ključne riječi:** Priobalni vodonosnik, zaslanjenje, crpilište Dobrica, Bakarski zaljev.  
**Key words:** Coastal aquifers, Salinization, Water-supply site Dobrica, Bakar Bay.

Izvorište Dobrica jedno je od tri kaptažna zahvata u Bakarskom zaljevu koji pokrivaju vodoopskrbne potrebe Bakra, Kraljevice, ali i šire zone prema Čavlima i Jelenju. Ukupna deklarirana izdašnost ovog crpilišta je čak do 200 l/s, no tijekom ljetnih mjeseci, zbog utjecaja zaslanjenja, kapacitet se smanji na svega 15-tak l/s ili potpuno zaslani i crpilište biva iskopčano do oslađivanja vodonosnika. Do pred nekoliko godina Bakarski vodoopskrbni sustav bio je neovisan, pa je prijeteće zaslanjenje ili iskapčanje pojedinog crpilišta uzrokovalo redukcije vode. Nakon spajanja na Riječki vodoopskrbni sustav takve su situacije izbjegnute, ali to nije umanjilo vrijednost crpilišta u Bakarskom zaljevu.

Kaptažni zahvat sastoji se od drenažnog rova (zahvatne galerije) dužine 50-tak metara (sl. 1), paralelnog obali mora, spojenog sa sabirnim bazenom u kojem se nalaze usisne košare crpki. U samoj zoni istjecanja, vodonosnik je zapravo ljuska vapnenaca unutar naslaga fliša, što mu daje karakteristike zatvorenog vodonosnika, ali i štiti crpilište

od utjecaja sa magistralne ceste Rijeka–Split u neposrednom zaleđu. Jedan od osnovnih razloga takove strukture je navlačni karakter struktura pružanja paralelnog obali mora, tj. dinarskog smjera pružanja. U susjednoj uvali Črno (istočno od crpilišta) te vapnenačke strukture su otvorene prema moru i potopljene što otvara mogućnost ulaska zaslanjene vode u duboko krško podzemlje. U zaleđu sliv se lepeza-asto širi od Grobničkog polja, preko Tuhobića do ponornih zona Lič polja.

Gotovo svi priobalni izvori imaju povremeni utjecaj mora ili zaslanjene vode iz podzemlja. Osnovne razloge tome treba potražiti u genezi cijelog sustava. Dubina okrašavanja stijena u priobalnoj zoni je oko 100 m dublja od današnje razine mora što je rezultat promjena srednjih razina mora tijekom kvartara. Na taj način može se objasniti današnje stanje priobalnih krških vodonosnika, tj. postojanje labilne ravnoteže slatke i slane vode u podzemlju. Aktualne klimatske promjene prouzročene uglavnom ljudskom



Sl. 1 Hidrogeološka karta i profil područja crpilišta Dobrica (prema BIONDIĆ, 2004). Tumač: 1) Dobro vodopropusne karbonatne stijene ( $K_2^{3,3}$ ;  $E_{1,2}$ ); 2) U cjelini nepropusne naslage ( $E_{2,3}$ ); 3) sipar (s); 4) nabačaj (n); 5) crvenica (ts).

Fig. 1 Hydrogeological map and cross-section of Dobrica water-supply site area (after BIONDIĆ, 2004). Legend: 1) high permeable carbonate rocks ( $K_2^{3,3}$ ;  $E_{1,2}$ ); 2) Impermeable clastic deposits ( $E_{2,3}$ ); 3) Rock creep (s); 4) Recent deposits (n); 5) Terra-rosa (ts).

djelatnošću dodatni su problem. Može se pretpostaviti da će prognoze o porastu srednje razine mora za 15-tak cm u slijedećih 100 godina poremetiti današnju labilnu ravnotežu slane i slatke vode, a ekstremne prognoze o porastu do 1 m uzrokovati katastrofalne posljedice za priobalne vodonosnike.

Očekivani scenariji i aktualno stanje izvorišta inicirali su istraživanja kojima je trebalo definirati geometriju i dinamiku sustava i ocijeniti mogućnost zahvata vode izvan utjecaja mora. Istraživanja su rađena u dva navrata: prvo u funkciji mogućeg presijecanja direktnog utjecaja mora na kaptazni zahvat, a drugo radi pronalaženja financijski prihvatljivijeg rješenja zahvata vode izvan utjecaja mora. U sklopu prve faze (1994–1997.) utvrđeno je da je u zoni vodonosne ljske vapnenaca ispod slatkovodnog sloja debljine oko 20 m zaslanjena voda i more (BIONDIĆ et al., 1997). Drugom fazom istraživanja (2002–2004.) utvrđeno je prostiranje vodonosne ljske vapnenaca u zaleđu i potpuno slatka voda na dubinama 40 do 75 m ispod razine mora u ekstremnim sušnim uvjetima (BIONDIĆ, 2004).

Mjerenja u bušotinama tijekom ljetnog sušnog razdoblja su pokazala da je mehanizam zaslanjenja izvorišta Dobrica vrlo kompleksan. Prema našim saznanjima moguće je novim zahvatom vode u zaleđu crpilišta (dodatni zdenac) riješiti sustav lokalnog zaslanjenja na izvorištu, međutim postoje indikacije dotoka zaslanjene vode iz dubokog krškog podzemlja – zaslanjenje kroz vrulje u uvali Črno. Takovi problemi su mogući samo u ekstremnim uvjetima kakovi su bili tijekom mjerenja 2003. godine. Utjecaj zaslanjenja iz dubokog krškog podzemlja je teško rješiv dodatnim objektima, već ga je moguće izbjeći postavljanjem kvalitetnog sustava upravljanja radom crpilišta.

### Literatura

- BIONDIĆ, B., DUKARIĆ, F. & BIONDIĆ, R. (1997): Izvorište Dobrica u Bakarskom zaljevu. Hidrogeološka istraživanja – zaštita od prodora mora.– Arhiv IGI, 00/97, Zagreb.
- BIONDIĆ, R. (2004): Izvorište Dobrica u Bakarskom zaljevu. Hidrogeološka istraživanja za sanaciju crpilišta od utjecaja zaslanjenja.– Arhiv IGI 02/04, Zagreb.

## Mineralne sirovine za cementnu industriju tvrtke Našicecement d.d. – Nexe Grupa

### Mineral Raw Material for Cement Industry in Našicecement d.d. – Nexe Group

Željko Bortek & Božidar Podunavac

*Našicecement d.d., Tajnovac 1, HR-31500 Našice, Hrvatska; Zeljko.Bortek@nasicecement.hr*

**Ključne riječi:** cementna industrija, sirovinski materijal, vapnenac, lapor, glina i pijesak, Našice, Hrvatska.

**Key words:** Cement industry, Mineral raw material, Limestone, Marl, Clay and sand, Našice, Croatia.

#### Mineralni resursi i način eksploatacije

Definirana je kvalitetna sirovinska osnova unutar granica eksploatacijskog polja ukupne površine 240 ha za potrebe proizvodnje u budućoj tehnološkoj i gospodarskoj perspektivi. Određene su rezerve B i C1 kategorije, koje količinom osiguravaju dugogodišnju eksploataciju. Naslage utvrđene sirovine se nalaze neposredno ispod jalovinskog pokrivača, a eksploatacija se odvija selektivnom metodom na površinskim kopovima iznad kote 158 m n.m. visine 10 m.

Glavnim rudarskim projektom je predviđeno vanjsko odlagalište jalovine površine od 92 ha sjeveroistočno od kruga tvornice. Rudarski proces eksploatacije mineralne sirovine čine osnovni procesi pripreme i otkopavanja s ciklusom grube homogenizacije sustavom selektivnog otkopavanja i to:

- čvrste partije vapnenca se eksploatiraju bušenjem minskih bušotina u mreži 4 x 5 m i masovnim miniranjem uz uporabu milisekundnih usporivača;
- partije čvrstog lapora i laporovitog vapnenca se eksploatiraju direktnim iskopom i utovarom moćnim hidrauličkim bagerima s dubinskom korpom;
- glina i pijesak, koji u tehnološkom procesu služe za korekciju pratećih oksida pripremaju se buldožerom ili se direktno vrši iskop bagerom.

#### Tehnološki čimbenik

Tehnološki čimbenik ima značajnu ulogu u razvoju pripreme proizvodnje i iskorištenja mineralne sirovine u cementnoj industriji, a utječe na ekonomičnost iskorištenja ležišta. Osnovni tehnološko-ekonomski parametri su:

- kemijska kvaliteta sirovine,
- ponašanje sirovine u procesu pripreme i troškovi prerade,
- kapacitet postrojenja i dinamika eksploatacije postrojenja.

Na uzorcima jezgre izbušenih istražnih bušotina izvršena su kemijska ispitivanja u laboratoriju tvornice klasičnim analitičkim metodama. Uzorci za kemijska ispitivanja su uzimani četvrtanjem, točkastom ili masovnom metodom, a prema karakterističnim litološkim članovima u maksimalnom intervalu do 10 m dužine.

Laporoviti vapnenac p.k. Bukove glave i Vranovića osnovna je homogenizirana sirovinska karbonatna komponenta u eksploataciji i pripremi mineralne sirovine. Glina i pijesak Vranovića je silikatno-aluminatna komponenta, kojom se u sirovinskom brašnu postiže ciljana mješavina oksida:  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , što u procesu pečenja osigurava stvaranje portland cementnog klinkera. Eksploatacija ove dvije sirovinske komponente vodi se tako da se osigura ciljani kemijski sastav sirovinskog brašna. Prosječni kemijski sastav sirovinskog brašna: g.ž. 35,55%,  $\text{SiO}_2$  13,53%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3,72%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1,80%,  $\text{CaO}$  42,42%,  $\text{CaCO}_3$  75,70±0,2% (BORTEK, 2002).

#### Sustav upravljanja

Našicecement d.d. uvodi u svoje poslovanje integralni sustav upravljanja. Sustav upravljanja se sastoji od tri poveznice sustava:

- Sustav upravljanja kvalitetom;
- Sustav upravljanja okolišem;
- Sustav upravljanja sigurnošću i zaštitom na radu.

Sustav upravljanja kvalitetom je uspostavljen, i u skladu je sa međunarodnom normom ISO 9001:2000. Proveru usklađenosti sustava sa zahtjevima norme obavio je Lloyd's Register Quality Assurance i 03.03.2000. o tome izdao certifikat Našicecementu d.d.. Sustav upravljanja kvalitetom obuhvaća i upravljanje kvalitetom u procesu pripreme i eksploatacije mineralnih sirovina. To je propisano u procedurama i uputama koje se odnose na eksploataciju mineralnih sirovina. Internim normama kvalitete su zadani parametri kvalitete, na osnovu kojih se upravlja eksploatacijom mineralnih sirovina.

#### Literatura

BORTEK, Ž. (2002): Elaborat o obnovi rezervi mineralnih sirovina za proizvodnju cementa u eksploatacijskom polju Bukova glava i Vranović. – Fond dokumentacije Našicecement d.d., Našice, studeni 2002.



## Inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke stijenske mase duž hidrotehničkog tunela Čiovo

### Engineering-Geological and Hydrogeological Rock Mass Characteristics Along the Hydrotechnical Tunnel Čiovo

Renato Buljan<sup>1</sup>, Davor Pollak<sup>1</sup> & Damir Pešt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: rbuljan@igi.hr

<sup>2</sup> Moho d.o.o., Sv. Mateja 127, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** hidrotehnički tunel, inženjerskogeološke značajke, hidrogeološke značajke, otok Čiovo, Hrvatska.

**Key words:** Hydrotechnical tunnel, Engineering-geological characteristics, Hydrogeological characteristics, Island of Čiovo, Croatia.

Hidrotehnički tunel duljine 2824 m projektiran poprečno kroz otok Čiovo je najznačajniji objekt kanalizacijskog sustava Kaštela–Trogir (EKO kaštelanski zaljev). U sklopu izrade geotehničke podloge za potrebe idejnog projekta tunela izvršeni su fotogeološki, inženjerskogeološki (IG) i geofizički istraživački radovi (BULJAN & POLLAK, 2003; PEŠT & SALKOVIĆ, 2003), istraživačko bušenje i laboratorijska ispitivanja (SEVER, 2003).

Područje duž trase tunela predstavlja tipičan krški brdovit krajobraz u kojem su razvijene prepoznatljive forme krškog okoliša, izrazito vodopropustan. Ponikve su rijetke, malih, metarskih dubina i promjera, s debljinom kvarternog pokrivača do 30 cm. Veći dio terena terasasto je uređen, ograđen suhozidovima, obrastao gustom makijom, maslinama i rijetkom borovom šumom. Niveleta tunela nalazi se na visini 17,6–12,0 m. Nadsloj tunela je, osim kod portala, od 80 do 180 m.

Istraživano područje izgrađeno je od karbonatnih gornjokrednih naslaga turona i senona, donjoecenskih vapnenaca i različitih naslaga kvartara (MARINČIĆ et al., 1971). Pokazalo se da je litostratigrafija pojedinih kronostratigrafskih jedinica važna kod definiranja strukture, tektonskih pomaka, međusobnih odnosa strukturnih blokova, IG značajki stijenske mase i za vodopropusnost područja. Otok Čiovo predstavlja izoklinalno položenu, reduciranu antiklinalnu strukturu erodiranog tjemena s vergencijom u smjeru juga-jugozapada, sa smjerom nagiba slojeva prema sjeveru-sjeveroistoku pod kutovima nagiba 6–44° i s orijentacijom pravca pružanja B-osi strukture 100–280°.

Uočene značajke stijenske mase ukazuju da će tunel Čiovo u najvećem dijelu biti izveden:

- od stac. 0+000 do stac. 1+470 i od stac. 2+285 do 2+625 u dobro uslojenim (debljine slojeva 15–40 cm), čvrstim, duž diskontinuiteta okršnim, kavernožnim, potpuno rekristaliziranim vapnencima i dolomitiziranim vapnencima gornjokredne senonske starosti –  $K_2^3$  (ukupno ~ 1810 m);
- od stac. 1+470 do stac. 2+285 u dobro uslojenim (debljina slojeva 15–20 cm), vrlo gustim i čvrstim, duž diskontinuiteta okršnim, kavernožnim vapnencima tipa wackestone do packstone, gornjokredne turonske starosti

–  $K_2^2$ , rijetko prožetim mrežom kalcitnih žilica tanjih od 1 mm, koji sadrže valutice i nodule rožnjaka i mjestimice tanke proslojke dolomita (ukupno ~ 815 m);

- od stac. 2+625 do stac. 2+825 u raspucanim i uslijed tektonike zdrobljenim, trošnim, često s nepravilnim pukotinama ispunjenim glinom i s tektonskim brečama, ali mjestimice i dobro uslojenim (debljine slojeva 10–25 cm), čvrstim foraminiferskim vapnencima tipa grainstone, eocenske starosti –  $E_{1,2}$  (ukupno ~ 200 m).

Za sustave diskontinuiteta iz strukture može se konstatirati:

- diskontinuiteti slojevitosti (SS) duž trase tunela imaju smjer nagiba sjever-sjeveroistok pod kutom nagiba najčešće 10–30° i učestalost 10–40 cm. Zatvoreni su do djelomično otvoreni, bez ispune ili s kalcitnom prevlakom. Pravac pružanja im je generalno okomit na projektiranu os tunela, što je relativno nepovoljno ako će se izbijanje tunela izvoditi od sjevera prema jugu, suprotno smjeru nagiba slojeva. Tijekom izbijanja moguće je ispadanje blokova stijene iz svoda tunela;
- diskontinuiteti klivaža osne ravnine strukture (OR) okomitog su pravca pružanja na os tunela ili s odklonom do 30° od osi tunela, sa smjerom nagiba prema jugu i s kutom nagiba najčešće 70–85° što je vrlo povoljno za izbijanje tunela;
- diskontinuiteti okomiti na osnu ravninu strukture (OB) duž projektirane trase tunela paralelnog su do dijagonalnog pružanja u odnosu na os tunela, postojanosti (perzistencije) dominantno 1–3 m, zijača 1–5 mm uglavnom bez ispune, nagiba najčešće 75–90°, što je vrlo nepovoljno za izbijanje tunela jer može doći do izvrtanja, tzv. topplinga stijenske mase iz bokova tunela.

Geofizička seizmička refrakcijska istraživanja konstatala su na dubini projektirane nivelete tunelske cijevi slabo okršenu do kompaktnu stijensku masu (brzine P valova su preko 4000 m/s). Istražnim bušenjem to je na tri mjesta potvrđeno. Geoelektrična tomografska istraživanja ukazala su na tektonske blokove odijeljene zonama rasjeda i time doprinijela spoznaji o strukturno-tektonskim odnosima područja razmatranja.

IG jedinica	stacionaža na niveleti	L (m)	II kategorija prema "RMR" klasif. (m)	III kategorija prema "RMR" klasif. (m)	IV i V kategorija prema "RMR" klasif. (m)
I	0+000–0+630	630	180	415	35
II	0+630–0+850	220	202	–	18
III	0+850–1+190	340	326	–	14
IV	1+190–1+550	360	344	–	16
V	1+550–2+100	550	501	–	49
VI	2+100–2+610	510	391	–	119
VII	2+610–2+824	214	–	193	21
	<b>ukupna dužina</b>	2824	1944	608	272
	<b>učešće u %</b>		69	21	10

Tablica 1 Prognoza kategorizacije stijenske mase na razini nivelete tunela.

Table 1 Prediction of rock mass category at the tunnel level.

Na temelju svih prikupljenih podataka duž trase tunela u tablici 1 izdvojeno je 7 IG jedinica unutar kojih je izvršena RMR klasifikacija stijenske mase (BIENIAWSKI, 1989).

Tektonskom destrukcijom raspucane zone duž trase tunela su povoljne orijentacije glede iskopa, približno okomitog pravca pružanja na os tunela. Najosjetljivije zone kod izbijanja tunela jesu dvije morfološki izražene depresije ispunjene tankim kvartarnim naslagama i praktički cijeli slijed tektonikom razlomljenih eocenskih foraminiferskih vapnenaca unutar kojih se nalazi južni, izlazni portal. Stijenska masa kod sjevernog, ulaznog portala je u dobroj mjeri raspucana zonama pukotina okomitog pravca pružanja na os tunela. Duž cijele trase tunela postoji realna mogućnost da će se nabušiti kaverne i metarskih dimenzija. Velikih ponikava duž trase tunela nema tako da ne bi trebalo biti opasnosti kod izbijanja tunela glede urušavanja s površine terena.

Opasnost od podzemnih voda tijekom izbijanja tunela je minimalna. Razina vode u podzemlju je ispod najniže kote tunela, nalazi se neposredno (do nekoliko metara) iznad razine mora i ne postoji mogućnost da se izdigne do nivelete tunela. Opasnost od ozbiljnijih procjednih voda postoji kod jakih kiša ispod morfoloških depresija ispunjenih kvartarnim naslagama i duž tektonikom raspucanih zona, ali i ta voda ako dospije u tunel prilikom njegovog izbijanja vrlo brzo će se, u roku par sati, najviše nekoliko dana i u neposrednoj blizini vertikalno drenirati do razine podzemne vode.

### Literatura

- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering Rock Mass Classifications. Manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering.– John Wiley & Sons, New York, 272 str.
- BULJAN, R. & POLLAK, D. (2003): Sustav odvodnje Kaštela–Trogir, hidrotehnički tunel Čiovo, inženjerskogeološki i hidrogeološki istraživački radovi.– Fond str. dok. IGI, Zagreb.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N. & BOROVIĆ, I. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Split i pripadajući tumač Karte, K 33–21.– Inst. za geol. istraž. Zagreb.
- PEŠT, D. & SALKOVIĆ, A. (2003): Sustav odvodnje Kaštela–Trogir, hidrotehnički tunel Čiovo, geofizički istraživački radovi.– Fond str. dok. MOHO, Zagreb.
- SEVER, K. (2003): Sustav odvodnje Kaštela–Trogir, hidrotehnički tunel Čiovo, geotehnički istraživački radovi.– Fond str. dok. Geokon, Zagreb.

## Neki načini primjene geostatističkih analiza u hidrogeologiji

### Some Aspects of Geostatistical Analysis Applying in Hydrogeological Structures

Željko Duić

Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: zduic@rgn.hr

**Ključne riječi:** hidrogeologija, geostatistika, heterogenost, vodonosnik.  
**Key words:** Hydrogeology, Geostatistics, Heterogeneity, Aquifer.

Prva primjena geostatistike bila je procjena koncentracije zlata u ležištu koju je razvio KRIGE (1951), a teorijsku razradu s općom geološkom primjenom prvi je razvio MATHERON (1962, 1963, 1965). Principi geostatistike koriste se u raznim područjima geologije i drugim znanstvenim disciplinama. Upravo geostatističke metode daju dodatne podatke pri analizi prostorne zavisnosti podataka što je ključno za uspješnu razradu modela. Naime, pri modeliranju bilo kojeg sustava, pa tako i sustava podzemnih voda vrijedi poznato GIGO (Garbage In Garbage Out) pravilo koje drugim riječima govori da model može dati zadovoljavajuće rješenje samo ukoliko su ulazni podaci korektno prikupljeni i analizirani. Geostatističkim metodama razmatra se prostorna zavisnost podataka i na taj način pokušava stvoriti točnija slika razdiobe geoloških parametara. U protivnom ukoliko se nekritički pristupa takvim metodama i pokušava ih se iskoristiti da snagom svojih računalnih resursa u kombinaciji s grafičkim prikazima rezultata, koji su gotovo uvijek vrlo impresivni, riješe složeni sustavi kao što je geometrija heterogenih vodonosnika, njihova uporaba gubi svaki smisao. Najnovija istraživanja razdiobe parametara u ležištima ugljikovodika u Hrvatskoj (MALVIĆ & ĐUREKOVIĆ, 2003; SMOLJANOVIĆ & MALVIĆ, 2005; MALVIĆ, 2005) uporabom geostatističkih metoda također ukazuju da se geostatistika uspješno može primijeniti isključivo na područjima istraživanja za koje postoji dovoljan broj bušotinskih podataka, obzirom na njihov raspored i litologiju ležišta.

Jedinstvenost geostatistike ogleda se u korištenju regionaliziranih varijabli, koje predstavljaju sredinu između slučajnih varijabli i determinističkih varijabli. To se može promatrati kao metoda pretvaranja slučajnih varijabli u deterministički izlaz koji uključuje odstupanje u modeliranim vrijednostima zbog stohastičkog obilježja. Tipične regionalizirane varijable su funkcije koje opisuju varijable poput topografskih visina nekog područja. U slučaju određivanja prostorne zavisnosti geostatističke determinističke metode (kriging, cokriging) često će dati vrlo dobru procjenu heterogenosti geoloških parametara. Također postoje i programska rješenja (EMS-I, 2002) koja temeljena na geostatističkim metodama daju stohastičke simulacije bazirane na više podjednako mogućih modela vodonosnika, od kojih se onda odabire najreprezentativniji. Brojni su primjeri (BREDEHOEFT, 2005) u kojima su modelirana ponašanja sustava bitno odstupala od provjerene stvarnosti, a što je u pravilu bilo uzrokovano lošom pripremom ulaznog skupa vrijednosti. Ta divergencija je bila tolika da

se morala mijenjati osnovna koncepcija modela. To je od izuzetne važnosti u slučajevima kada je građa vodonosnog sustava tako složena da je vrlo teško uspostaviti zadovoljavajuću korelaciju između pojedinih bušotina kako bi se dobili smisleni profili.

Stohastičke simulacije mogu se uključiti u hidrauličke matematičke modele, a posebice su dragocjene u slučajevima kada je izražena heterogenost sustava. Uvažavanje te heterogenosti omogućuje realne i potencijalno točnije simulacije npr. transporta zagađenja, upravo kroz simuliranje preferiranih smjerova tečenja uvjetovanih tankim lećama gline, pijeska ili nekih drugih tipova tla. Definicija vjerojatnosti promjena može se izraziti kao vjerojatnost pojavljivanja facijesa  $k$  na lokaciji  $x+h$  ukoliko je drugi (ili isti) facijes  $j$  nazočan na lokaciji  $x$ , ili pak shematski. Vjerojatnost promjene temelji se na definiciji uvjetne vjerojatnosti

$$\Pr\{B'|A\} = \frac{\Pr\{A|B'\}}{\Pr\{A\}}$$

gdje  $A$  predstavlja  $\{j \text{ se pojavljuje na } x\}$ , dok  $B'$  predstavlja  $\{k \text{ se pojavljuje na } x+h\}$  (CARLE, 1999). Dosadašnja iskustva su pokazala da se heterogenosti sustava mogu riješiti osrednjavanjem koja su obično najbrža, no često nisu i najtočnija rješenja. Složene heterogenosti hidrogeoloških sustava bolje se opisuju prostornom varijabilnosti temeljenom na geostatističkim metodama. Pri tom treba imati na umu da sve dok se takvi prikazi ne verificiraju lokalnim manifestacijama i mjerenjima ostaje ozbiljno pitanje razvitka metode ili načina njene primjene (MARSILY et al., 2005).

#### Literatura

- BREDEHOEFT, J. (2005): The conceptualization model problem—surprise.— *Hydrogeology Journal*, 13/1, 37–46.
- CARLE, F.S. (1999): T-PROGS, Transition Probability Geostatistical Software.— University of California, Davis.
- EMS-I (2002): Groundwater flow and transport modeling with GMS, Training manual, Prague.
- KRIEG, D.G. (1951): A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand.— *Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, 52, 119–139.
- MALVIĆ, T. & ĐUREKOVIĆ, M. (2003): Application of the methods: inverse distance weighting, ordinary kriging and collocated cokriging in the porosity evaluation and results

- comparison in the Beničanci and Stari Gradac Field.– *Nafta*, 54/9, 331–340, Zagreb.
- MALVIĆ, T. (2005): Geostatistics in petroleum industry – theory and practice applied in reservoir development in INA-Naftaplin.– IX Congress of Hungarian Geomathematics, Morahalom, Mađarska, 20–21.5.2005.
- MARSILY, G. de, DELAY, S., GONCALVES, J., RENARD, P., TELES, V. & VIOLETTE, S. (2005): Dealing with spatial heterogeneity.– *Hydrogeology Journal*, 13/1, 161–183.
- MATHERON, G. (1962): *Traite de geostatistique appliquee.*– Paris.
- MATHERON, G. (1963): Principles of geostatistics.– *Econ. Geol.*, 58, 1246–1266.
- MATHERON, G. (1965): *Les variables regionalisees et leur estimation.*– Masson, Paris, 185 str.
- SMOLJANOVIĆ, S. & MALVIĆ, T. (2005): Improvements in reservoir characterization applying geostatistical modeling (estimation & stochastic simulations vs. standard interpolation methods). Case study from Croatia.– *Nafta*, 56/2, 57–63, Zagreb.

## Utjecaj ponora na onečišćenje podzemne vode u slivu izvorišta Kupice i Zeleni Vir

### The Influence of Ponders on Pollution of the Groundwater in the Springs Area of Kupica and Zeleni Vir

Franjo Dukarić, Ranko Biondić, Zvonko Blagus & Josip Kolarić

Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: fdukaric@igi.hr

**Ključne riječi:** ponor, krško polje, erozijska baza, izvor Kupice, Zeleni Vir.

**Key words:** Ponor, Karst polje, Erosion basis, Kupica spring, Zeleni Vir.

Posebno hidrogeološko i morfološko obilježje krških polja su ponori. Na površini terena krških polja ponori se iskazuju kao otvorene i često prekrivene jame raznih oblika, te pukotinama okršena udubljenja unutar karbonatnih stijena kroz koje ovisno o hidrološkim prilikama stalno ili povremeno poniru površinski vodotoci u podzemlje krša. Upravo zbog toga ponori predstavljaju stalno prisutnu opasnost i rizik od mogućih onečišćenja pomoću kojih se lako ugrožava kakvoća podzemne vode, a samim time se smanjuje uporabna vrijednost izvorišta pitke vode. Štoviše, ponori su privilegiranim i dobro razvijenim vodnim tokovima povezani s izvorima, što bez sumnje potvrđuju i izvedena trasiranja. Činjenica s kojom se moramo suočiti jest, da se pri poniranju površinske vode mogu slučajno i/ili namjerno zajedno s vodom koncentrirano prenositi opasna, teško razgrađiva i nerazgrađiva organska i neorganska onečišćenja, što sasvim sigurno utječe na kakvoću podzemne vode. Prema tome, zaštita podzemne vode u takvim uvjetima zahtjeva visoki stupanj poznavanja hidrogeoloških odnosa razmatranog područja, kao i prirodne povezanosti površinske i podzemne vode.

Područja krških polja općine Ravna Gora, predstavljaju zasebne morfološke cjeline, koje pripadaju slivu gornjeg toka rijeke Kupe, odnosno njezinom podsustavu slivu izvorišta Kupice i Zeleni vir. Hipsometrijski se nalaze na visini od 770 do 800 m n.m., okružena višim planinskim vrhovima Gorskog kotara. Dna polja su gotovo u cijelosti prekrivena kvartarnim taložinama, tako da samo mjestimično vire manje nepravilne površine temeljnih stijena. Debljina kvartarnih tvorevina iznosi i preko 15 m, što je utvrđeno bušenjem u sklopu izgradnje Primorsko-goranske autoceste, Rijeka-Zagreb (DUKARIĆ & BIONDIĆ, 1997). Čitava površina polja je ispunjena brojnim sufozijskim udubljenjima, te ponikvama ljevkastog i zdjelastog oblika. Njihova učestalost i brojnost su pokazatelj jače tektonske razlomljenosti, okršenosti i propusnosti stijena podloge dna polja. Obilježje krškog terena općine Ravne Gore iskazuje se i drugim prostornim raznolikostima, tj. mnogobrojnim speleološkim objektima: špiljama, ponorima, ponornim zonama i jamama velikih dubina. Najviše ponora se uglavnom pojavljuje uz sjeverne i sjeveroistočne rubove polja u graničnom dijelu s padinama okolnih planinskih vrhova. U njima poniru brojni duži ili kraći površinski vodotoci koji se slijevaju s padina (Bukova vrha, Poletina i Javorove kose), izgrađenih od nepropusnih paleozojskih i

trijaskih klastita. Međutim, ponori nisu smješteni samo uz rub polja već ih ima i u samom polju. Mnogi od inih ponora su zatrpani kvartarnim tvorevinama, pa su prikriiveni njihovi podzemni krški odvodni sustavi. Stoga su pri dugotrajnim i obilnim kišama, te u vrijeme topljenja snijega, uža područja oko ponora obično plavljena, dok je tijekom sušnih razdoblja dotok vode u velikoj mjeri smanjen ili ga uopće nema. Ponori su imali naročito veliku aktivnost i razvoj u kvartaru (pleistocenu), tijekom naglih i velikih klimatskih promjena. U stvari, za vrijeme toplijih međuledenjačkih doba su se iz visokih planinskih područja Gorskog kotara otapanjem golemih količina leda i snežnika slijevali obilni i snažni vodotoci u krška polja. Budući su ponori mogli "gutati" samo ograničenu količinu vode, stoga su polja pri velikim dotocima vode bila izložena plavljenju i donosu fluvio-glacijalnog materijala, ali nadasve i intenzivnim procesima okršavanja.

S obzirom da su polja okružena višim planinskim vrhovima, otjecanje vode je jedino moguće krškim podzemljem prema izvorima doline rijeke Kupe. Među ostalim izvorima po izdašnosti se ističu Kupica i Zeleni vir. To su tipični preljerni krški izvori uzlaznog tipa, minimalne izdašnosti od 50 do 100 l/s. Pojavljuju se na kontaktu dobro vodu propusnih sa slabije propusnim karbonatnim naslagama u razini najniže erozijske baze koju predstavlja dolina rijeke Kupe. U hidrogeološkom smislu pripadaju zajedničkom drenažnom području, jer nema dovoljno pouzdanih podataka za jednoznačno i sigurno razgraničenje njihovih pripadajućih slivnih priljevnih površina. Činjenica je da krška priljevna područja imaju zonarnu (pomičnu) razvodnicu, koja je uvjetovana i mijenja se s visinom podzemnog vodostaja, odnosno stanjem zasićenosti podzemlja. Međusobna udaljenost izvora iznosi približno 3,40 km.

Neposredno područje sliva izvorišta Kupice i Zeleni vir izgrađuju vodopropusni vapnenci i dolomiti u izmješani i mrljasti vapnenci lijaske, te vapnenci s proslojcima dolomita dogerske starosti (SAVIĆ & DOZET, 1984). S hidrogeološkog stajališta to su premala sabirna područja za istjecanje ovako velikih količina vode. Očito je da se vodni sustav priljevnih područja sliva izvorišta rasprostire izvan ovog neposrednog okruženja i seže u zaleđe i do krških polja Kupjaka i Ravne Gore. Ovome u prilog govore izvedena trasiranja podzemne vode iz ponora u Kupjaku i Ravnoj Gori, budući su nedvojbeno utvrđene podzemne

vodne veze s oba izvora. Pri tom nikakvu smetnju na režim podzemnog toka ne predstavljaju nepropusni paleozojski klastiti između Zalesine, Kupjaka, Šije i Ravne Gore, jer su u navlačnom položaju, te voda ispod njih kroz razlomljene i okršene karbonatne stijene dotječe do izvora (HERAK, 1980). Dakle, to su priljevna područja obnovljivih zaliha podzemne vode, čije napajanje i pražnjenje ovisi o klimatološkim i meteorološkim prilikama, odnosno o količini i raspodjeli padalina u hidrološkom ciklusu. Okršavanje je duboko zahvatilo karbonatne stijene koje izgrađuju podlogu polja. Očiti dokaz su brojne jame–ponori. Snimanjem pojedinih jama–ponora (pod Kosicom, Kicljeve jame, Ponikve I i II) utvrđeno je da se vertikalno okršavanje spušta do 100, a na nekim mjestima i preko 280 metara ispod površine terena (BOŽIĆ, 1967; JALŽIĆ, 1971; LUKIĆ, 1987; KUHTA, 1987). U biti, to ukazuje da u krškom podzemlju polja postoji dobro razvijena podzemna hidrografska mreža koja je najvećim dijelom usmjerena prema najniže položenoj erozijskoj bazi, tj. dolini rijeke Kupe, što potvrđuju i rezultati trasiranja.

Spomenuta su izvorišta izravno ugrožena otpadnim vodama naselja općine Ravne Gore, jer nemaju izgrađenu kanalizacijsku mrežu, zatim otpadnim vodama industrijskih i obrtničkih objekata, kemijskim sredstvima što se koriste u poljoprivredi, te onečišćenjima s prometnica, kao i procjedinim vodama “divljih” smetlišta. Osobito su odlaganju raznovrsnog smeća izložene jame–ponori, kojim polja obiluju. Stoga se u zaštiti podzemne vode pozornost posvetila aktivnim ponorima, jer oni predstavljaju stalno prisutnu opasnost i rizik od različitih onečišćenja iz kojih se najlakše ugrožavaju izvorišta podzemne vode. Razumljivo je da se zajedno s vodom mogu koncentrirano prenositi opasna, teško razgradiva i/ili nerazgradiva onečišćenja, a to nedvojbeno utječe na kakvoću podzemne vode. Zbog toga ponori moraju biti pod stalnom kontrolom kako bi se izbjegla neželjena onečišćenja podzemne vode i očuvala

njena kakvoća i količina. U skladu s važećim “Pravilnikom o utvrđivanju sanitarne zaštite izvorišta” (Zakon o vodama, NN, br. 55/2002) i Županijskom “Odlukom o zonama sanitarne zaštite izvorišta vode za piće na području Gorskog kotara” (Sl. nov. PGŽ, br. 23/04), neposredno područje ponora u koje povremeno i/ili stalno ponire površinska voda štiti se II. zonom sanitarne zaštite (DUKARIĆ & BIONDIĆ, 2002).

Uvažavajući iznesene činjenice, za zaustavljanje procesa onečišćenja podzemne vode, naročito izvorišta zahvaćenih za javnu vodoopskrbu, neophodno je što prije ukloniti sve uzroke koji imaju negativne i škodljive utjecaje na njezinu kakvoću i količinu.

### Literatura

- BOŽIĆ, V. (1967): Ponor pod Kosicom.– *Speleolog*, 66–67, 11–14, Zagreb.
- DUKARIĆ, F. & BIONDIĆ, R. (1997): Autocesta Rijeka–Karlovac, dionica poluautoceste Kupjak–Vrbovsko. Hidrogeološka istraživanja.– Fond struč. dok. IGI, Zagreb.
- DUKARIĆ, F. & BIONDIĆ, R. (2002): Zone zaštite izvorišta Kupica i Zeleni vir na području općine Ravna Gora.– Fond struč. dok. IGI, Zagreb.
- HERAK, M. (1980): Sustav navlaka između Vrbovskog i Delnica u Gorskome kotaru.– *Acta geol.*, 10/2, 35–51, Zagreb.
- JAŽIĆ, B. (1971): Ponor Ponikve II.– *Speleolog*, 6, Zagreb.
- KUHTA, M. (1987): Ponor Ponikve I.– *Speleolog*, 31–33, Zagreb.
- LUKIĆ, O. (1987): Sustav Kicljeve jame.– *Speleolog*, 31–33, Zagreb.
- SAVIĆ, D. & DOZET, S. (1984): Osnovna geološka karta, list Delnice, M 1: 100.000.– IGI, Zagreb i Geol. zavod Ljubljana (1970–1983), Sav. geol. zavod, Beograd.

## Speleogeološko istraživanje kaverni uz trase autocesta u hrvatskom kršu

### Speleogeological Research of Caverns in Trace of the Highways in Croatian Karst

Mladen Garašić

Grđevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Kačićeva 26, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: mgarasic@grad.hr

**Ključne riječi:** krš, speleologija, kaverne, autocesta, Hrvatska.

**Key words:** Karst, Speleology, Caverns, Highways, Croatia.

Prilikom izgradnje autocesta u krškom dijelu Hrvatske u posljednjih petnaestak godina otkriveno je i detaljno istraženo više od 767 nabušenih kaverni, tj. speleoloških objekata bez prirodnog ulaza. Istraživanja su sustavno provedena na dionicama cesta, autocesta, u usjecima, zasjecima, u tunelima, u temeljima mostova, vijadukata itd. Riječ je o autocesti Zagreb–Rijeka, autocesti Zagreb–Split, brzjoj cesti Istarskog ipsilona, autocesti Rijeka–Rupa, brzjoj cesti Zagreb–Zadar, obilaznici grada Rijeke itd.

Ciljevi istraživanja bila su geotehnička rješenja sanacije kaverni obrađena na temelju inženjerskegeoloških i hidrogeoloških parametara dobivenih temeljnim detaljnim speleogeološkim istraživanjima, mjerenjima i snimanjima. Geostatističkim metodama uz uporabu kompjuterskih programa dobiveni su zanimljivi podaci o određenim grupacijama speleoloških pojava (litostratigrafski pokazatelji i vrsta speleogeneze, hidrogeološki parametri u odnosu na tektonske i litostratigrafske faktore te njihov odnos prema pružanju objekta, morfometrijski parametri u odnosu na nadslaj iznad kaverni itd.). Pored toga uočene su prosječne dužine i dubine speleoloških objekata za pojedina područja, koje se razlikuju od dotadašnjih spoznaja dobivenih obradom poznatih speleoloških objekata tih područja kojima su ulazi razvijeni s površine terena. Zanimljivo je da su kaverne u svojim morfometrijskim parametrima u velikom postotku veće od objekata tih područja kojima su poznati ulazi s površine terena. To je objašnjivo time što su mnogi

od objekata koji imaju prirodni ulaz već u fosilnoj ili kasnoj glavnoj fazi okršavanja kada dolazi do samodestrukcije. Kaverne koje imaju više od stotinjak metara nadslaja stijene iznad sebe (osim u jelar naslagama i u donjojurskim vapnencima) ni u čemu se ne razlikuju od speleoloških objekata koji imaju prirodne ulaze i nalaze se na istim nivoletama u tom području. Neke su kaverne kasnijim radovima i spojene s prije poznatim speleološkim objektima. Obavljana su i detaljna mjerenja prirodne radioaktivnosti. Uočeno je da je ona u kavernama praktički zanemariva, dok je u gotovo svim ostalim speleološkim objektima mnogo jačeg intenziteta. Najveću dozu radioaktivnosti u speleološke objekte unosi svaki posjetitelj svojim ulaskom s površine terena. Neke od tih kaverni svojim dimenzijama (dužina, dubina, širina, visina) ili sekundarnim sedimentima (speleothemi – sigaste tvorevine) zauzimaju posebnu pozornost.

Od 767 detaljno istražene kaverne njih 688 ili 89,71% su vertikalni speleološki objekti, a njih 79 ili 10,29% su horizontalni speleološki objekti. Nije zabilježen niti jedan kombinirani ili kompleksni speleološki objekt.

Prosječna dubina objekata iznosi 34,50 metra, što je više od prosjeka za cca 8800 do sada poznatih speleoloških objekata u Hrvatskoj (osim izuzetka min/max pikova), a dužina 52 metar (bez pikova). Najdublja jama je 196 metara, a najduža spilja 1137 metara (GARAŠIĆ, 2004). Velika šupljina jest kaverna u tunelu Sveti Rok (istočna tunelska cijev) na stacionaži km 200+525 gdje je speleogeološki



Sl. 1 Nakupina posebnih tzv. "voštanih" siga u kaverni u tunelu Sveti Rok na stacionaži km 200+525.

Fig. 1 Special kinds of speleothems in cavern in tunnel "St. Rok" on st. km 200+525.



Sl. 2 Veliki i prostrani spiljski kanali u kaverni "Sveti Rok" na autocesti Zagreb–Split.

Fig. 2 Large and big cave channels in cavern "St. Rok" on highway Zagreb–Split.

istraženo i geodetski snimljeno 1137 metara kanala (sl. 1 i 2), s visinskom razlikom od 147 metara. Speleogeneza kaverni u direktnoj je vezi s litostratigrafskim, hidrogeološkim i tektonskim predispozicijama na svakoj lokaciji u tunelu. Riječ je pretežito o vertikalnim speleološkim objektima (jamama), koljениčastog ili stubastog morfološkog tipa, s hidrogeološkom funkcijom povremenih ili stalnih izvora. Jedini pravi izuzetak jest kaverna na stacionaži km 200+525 gdje je istražena dvorana dimenzija 148 x 53 x 62 metra. No, neki objekti su i mnogo dublji i duži jer se zna njihova povezanost s površinom (pronađeni su šišmiši). Kaverne u tunelu "Mala Kapela" (istočna tunelska cijev, lička strana) svojim su položajem i morfologijom više puta predstavljale ozbiljan problem za građevinsku sanaciju.

U području kojim primjerice prolazi autocesta Rijeka–Karlovac (Zagreb) prisutna su sva tri stupnja speleogeneze. Okvirni odnos između glavnog i fosilnog stupnja je različit za pojedine dijelove autoceste, a ukupno gledajući jest 3:1. Situacija je potpuno različita u unutrašnjem krškom pojasu, tj. u području od Karlovca do Bosiljeva. Ovdje je odnos glavnog stupnja speleogeneze prema fosilnom 1:7, što dovoljno govori da su šupljine u većini slučajeva ispunjene zarušenim materijalom, kalcitom ili najčešće glinom visoke plastičnosti, teško gnječivog konzistentnog stanja, crvene do smeđecrvene boje. U središnjem krškom pojasu, tj. u području od Bosiljeva do Fužina, autocesta prolazi područjem gdje je speleogeneza u odnosu glavna faza: fosilna faza – 2:1 do 3:1 (GARAŠIĆ & VIVODA, 2003; GARAŠIĆ et al., 2003). U vanjskom krškom pojasu, tj. u području od Fužina do Rijeke taj odnos iznosi 4:1. U izračun odnosa pojedinih faza speleogeneze uzeti su u obzir svi poznati i istraženi objekti na trasi spomenute autoceste, kao i oni koji su u njejoj neposrednoj blizini (do sada 396 speleoloških pojava; GARAŠIĆ (2002).

U području autoceste Zagreb–Split (bez čvora Bosiljevo 2) dionice do čvora Pirovac situacija je zbog različitih litostratigrafskih uvjeta drugačija, kao i u Istri, na obilaznici grada Rijeke itd.

## Literatura

- GARAŠIĆ, M. (2002): Speleološke pojave u tunelu "Sveti Rok".– Ceste i mostovi, 48/1–2, 11–20, Zagreb.
- GARAŠIĆ, M. & VIVODA, B. (2003): Speleološke pojave (kaverne) u trasi autoceste Zagreb–Rijeka.– Ceste i mostovi, 49/5–6, 104–111, Zagreb.
- GARAŠIĆ, M., VIVODA, B. & KARLOVAC, Z. (2003): Geološke značajke tunela "Rožman brdo".– Ceste i mostovi, 49/11–12, 58–66, Zagreb.
- GARAŠIĆ, M. (2004): Istraživanje kaverni u tunelu "Sveti Rok".– Speleozin, 12/17, 21–27, Karlovac.

## Heavy Metals in the Alluvial Sediments of the River Drava (Croatia, Slovenia)

Josip Halamić<sup>1</sup>, Robert Šajn<sup>2</sup>, Zoran Peh<sup>1</sup>, Mateja Gosar<sup>2</sup> & Lidija Galović<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: jhalamic@igi.hr

<sup>2</sup>Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000, Ljubljana, Slovenia

**Key words:** Geochemistry, Heavy metals, Alluvial sediments, Pollution, Drava River, Croatia, Slovenia.

The geochemical investigation of soils, alluvial sediments and rocks in Croatia and Slovenia are carried out for the last two decades. This work resulted with number of scientific papers and several kinds of geochemical Atlases in both countries (HALAMIĆ & GALOVIĆ, 1999; ŠAJN et al., 2000; MIKO et al., 2001; GALOVIĆ et al., 2002; HALAMIĆ et al., 2003; ŠAJN & GOSAR, 2004; GOSAR, 2004; ŠAJN, 2005, and others). The analyses of soil samples developed on the alluvial sediments of the Drava River have shown the higher values of heavy metal contents in the A<sub>0-25</sub> horizon. The anomalies of the heavy metals are probably the consequence of the mining and smelting activities during the last century upstream in Austria (Bleiburg area) and Slovenia (Mežica).

The aim of this paper is to determine the content of heavy metal in the vertical profile (shallow drill-hole up to 2.6 m) and to show their spatial distribution in soils developed on recent alluvial sediments.

The investigated profiles (8 in total – 4 in Slovenia and 4 in Croatia) are placed perpendicularly to the extent of the lithostratigraphic units (alluvium, terrace sediments and older sediments in the basis on the river flanks).

A considerable dissimilarity can be observed between geochemical signatures of investigated alluvial sediments deposited on the terraces of the River Drava during the Pleistocene and Holocene epochs and recent alluvium, but distinction is still greater when both alluvia are compared

to the older rocks whether of Tertiary or still older geologic age. In this respect the conditions are quite simple in the upper parts of the Drava valley in Croatia, from Ormož downstream, where relationship between the three naturally occurring groups (ALLUVIUM, TERRACE, BEDROCK) points at the proportional enrichment in almost all elements contained in the river sediments (older terraces and recent alluvium) with respect to the bedrock built of the Upper Tertiary sedimentary rocks, which is supported by the partial results of the multiple discriminant analysis. This certainly results from the decrease in the river velocity due to abrupt widening of the Drava valley and rapid accumulation of fines downstream.

Taking into account the whole river basin upstream from the furthestmost investigated Legrad profile the chemical composition of silty material of the previously defined groups (ALLUVIUM, TERRACE, BEDROCK) assumes a slightly different pattern. The change is partly caused by the presence of different lithologic units (igneous and metamorphic rocks of the Alpine metallogenic province as the parent material) incised mostly by the Drava and its tributaries prior to discharge of their waters into Drava and Ptuj depressions, and partly by geomorphological characteristics controlling the hydraulic parameters of the river Drava upstream of Maribor. The standard multiple discriminant analysis with three groups and 37 variables (major and trace elements) also determined the significant

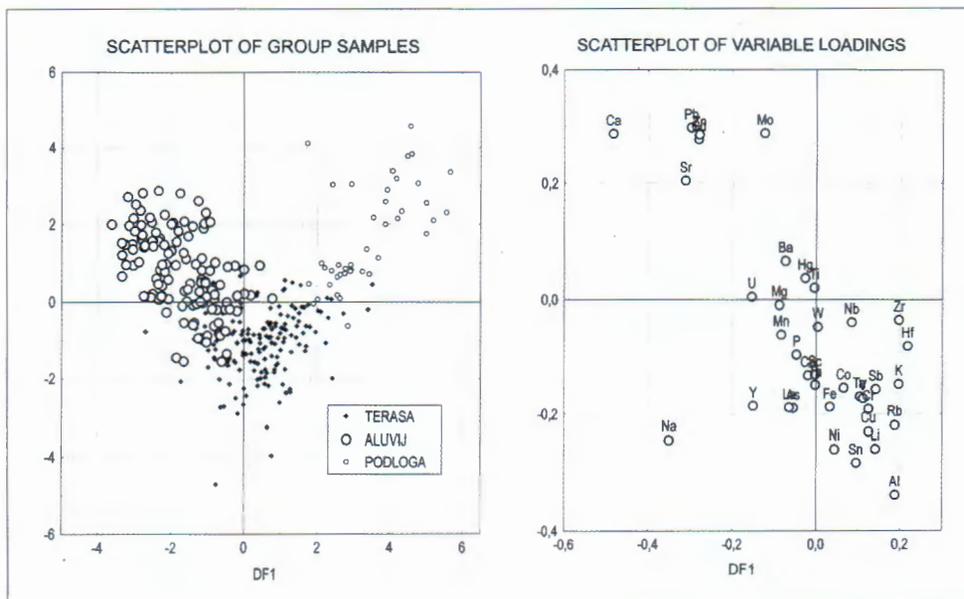


Fig. 1 Plot of discriminant scores and discriminant loadings onto the first to discriminant axes.

geochemical variation between bedrock (lithology) and young Quaternary sediments (Drava terraces and recent alluvium) but with clearly defined intermediary character of the terraces. The first discriminant function explains 70% of total (three-group) system variability and is typically bipolar in nature, discriminating between the groups ALLUVIUM and BEDROCK. Considering discriminant potential of the analysed variables (element loadings) one can infer that alluvial sediments along the entire investigated river area (profile sections) are highly enriched in Ca (indicating largely carbonate alluvium) as well as in heavy metals Pb, Zn, Cd and Mo, which represent anthropogenic signature characteristic for mining and smelter industry as main pollution sources in the upper courses of the river valley. Of secondary importance is the increased content of Na (more as a mirror image of its markedly low content in the bedrock material). In contrast to ALLUVIUM, the TERRACE group built of the Upper Tertiary sedimentary rocks and deluvium (close to Maribor, sampling point MB-7 and originated from the weathering of metamorphic and igneous rocks on the Pohorje Mt.) is more abundant in siliciclastic material owing to the higher contents of Al and K. The Zr occurrences are typical, while elements of minor importance such as Hf and Rb are also present. However, a caution must also be issued to this geochemical signature showing to a greater extent an image of considerably lower contents of all chemical elements in the BEDROCK group. Absolute incongruity is demonstrated by diagram cross-comparison involving the quadrants occupied by samples and variables (presence of samples – absence of variables). Transition from ALLUVIUM to BEDROCK is characterized first by decrease in content of Ca and associated elements, then by gradual increase in average content of all elements seen in their regular approaching to the sector of a diagram allocated to the TERRACE group, and eventually by complete depletion in almost all elements in the sector belonging to the BEDROCK group. The first discriminant function DF1 does not particularly distinguish the TERRACE group from the other two by any of the above-mentioned elements as these mostly concentrate around the main centroid. Such a signature is indicative of average content of all elements among which typically occur Fe, Mg, Ti and P of major, and Mn, Ni, Ba, Co, Hg and As of trace elements. Also, some of these, such as Ni and Co, tend to associate with the BEDROCK group while, on the other side, Mg, Mn and Ba, and, characteristically, Mo and U tend to affiliate with the ALLUVIUM group. With respect to the distribution of discriminant potential along DF1 it can be genetically properly labeled, the function of age, lying on the axis Ca (ALLUVIUM) – Al, K (non-BEDROCK).

The second discriminant function DF2 clarifies only 30% of the total variability. Its residual discriminant potential is considerably lower though powerful enough to distinguish the TERRACE group from both ALLUVIUM and BEDROCK groups taken together. Discriminant loadings of particular elements specify the TERRACE group as penetrating in quarter dominated by elements Al and Na. Contrary to the enrichment with aluminium and sodium indicating the presence of clayey material in the structure of the River Drava terraces, the occurrence of major elements Ca and Sr among major, and Pb, Zn, Cd and Mo among trace elements at the opposite pole of DF2 point clearly at the lowered content of carbonate material in the TERRACE group but also at the pristine environmental conditions (relative to ALLUVIUM). Owing to the described distribution of discriminant variables DF2 function can be properly labeled in a genetic sense as a function of anthropogenic impact. Its main axis is directed across Ca (ALLUVIUM) – Al, Na (TERRACE).

### References

- GALOVIĆ, L., HALAMIĆ, J. & ŠPARICA, M. (2002): Pollution of soils developed on alluvial sediments of the Mura, Drava, and Sava rivers in NW Croatia.– In: HORVAT, A., KOŠIR, A., VREČA, P. & BRENČIĆ, M. (eds.): Knjiga povzetkov (Book of abstracts), 22–23, Ljubljana.
- GOSAR, M. (2004): Živo srebro v tleh in rastlinah na poplavnih ravninah Idrije.– *Geologija*, 47/2, 259–271, Ljubljana.
- HALAMIĆ, J., GALOVIĆ, L. & ŠPARICA, M. (2003): Heavy Metal (As, Cd, Cu, Hg, Pb, and Zn) distribution in topsoil developed on alluvial sediments of the Drava and Sava rivers in NW Croatia.– *Geol. Croatica*, 56/2, 215–232.
- HALAMIĆ, J. & GALOVIĆ, L. (1999): Geokemijske karte sjeverozapadne Hrvatske.– Fond stručne dokumentacije Instituta za geološka istraživanja, 72/1999., 111 p., Zagreb.
- MIKO, S., HALAMIĆ, J., PEH, Z. & GALOVIĆ, L. (2001): Geochemical baseline mapping of soils developed on diverse bedrock from two regions in Croatia.– *Geol. Croatica*, 54/1, 53–118.
- ŠAJN, R., GOSAR, M. & BIDOVEC, M. (2000): Geokemične lastnosti tal, poplavnega sedimenta ter stanovanjskega in podstrešnega prahu na območju Mežice.– *Geologija*, 43/2, 235–245, Ljubljana.
- ŠAJN, R. & GOSAR, M. (2004): Pregled nekaterih onesnaženih lokacij zaradi nekdanjega rudarjenja in metalurških dejavnosti v Sloveniji.– *Geologija*, 47/2, 249–258, Ljubljana.
- ŠAJN, R. (2005): Using attic dust and soil for the separation of anthropogenic and geogenic elemental distributions in an old metallurgic area (Celje, Slovenia).– *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 5, 59–67.

## Identifikacija grešaka i nedostataka informacija u bazi hidrogeoloških objekata korištenjem TLP aplikacije

### Identification of Data Errors or Data Deficiency in Hydrogeological Database Using TLP Application

Siniša Horvat & Miroslav Veselinović

INA-Naftaplina, Šubićeva 29, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: sinisa.horvat@ina.hr

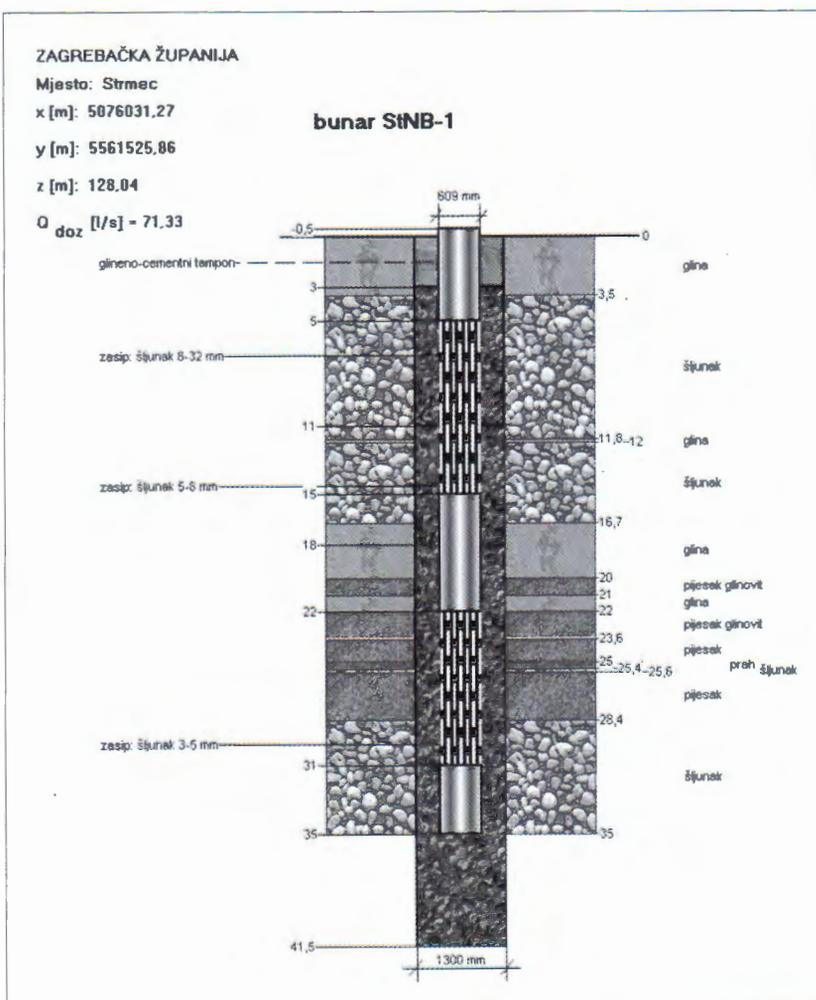
**Ključne riječi:** baza hidrogeoloških objekata, greške podataka, nedostatak podataka, TLP aplikacija.  
**Key words:** Hydrogeological database, Data errors, Data deficiency, TLP application.

Baza podataka hidrogeoloških objekata INA-Naftaplina izrađena je početkom 90-ih godina i nazvana je "Vode" (VESELINOVIĆ & NIKOLIĆ, 1992). Cilj formiranja ove baze bio je prikupljanje podataka o hidrogeološkim objektima u vlasništvu INA-Naftaplina na jednom mjestu radi olakšavanja pristupa informacijama te mogućnosti daljnjih planiranja istraživanja i gospodarenja vodnim resursima. Baza podataka "Vode" izrađena je programskim paketom Mapper, a nedugo poslije toga su podaci reorganizirani korištenjem aplikacije dBase-IV.

Organizacijske promjene unutar INA-Naftaplina na kratko su zaustavile daljnje ažuriranje baze hidrogeoloških

objekata do osnivanja Službe za proizvodnju voda. Ponovna aktualizacija baze hidrogeoloških objekata dovela je do reorganizacije podataka iz dBase-IV u format Access-a.

Cjelovit pregled baze hidrogeoloških objekata pokazao je da baza sadrži preko 68.000 podataka o 179 bunara i 184 piezometara. Podaci su organizirani unutar 16 tablica (HORVAT & VESELINOVIĆ, 2005). Za hidrogeološke objekte iz baze podataka, korištenjem opcija aplikacije Access, izrađeno je grafičko sučelje kojim je omogućen pristup odgovarajućim podacima o izabranom hidrogeološkom objektu. Ovakvim pristupom podaci se prikazuju tablično, a time je otežana istovremena usporedba sličnih



Sl. 1 Prikaz hidrogeološkog objekta generiran TLP aplikacijom (utvrđivanje grešaka i nedostataka).

Fig. 1 Picture of the object generated by the TLP application (for data revision).

podataka, npr. o litološkom stupcu i ugrađenoj koloni s filtrima. Zbog tih nedostataka pristupilo se izradi aplikacije kojom bi se za izabrani hidrogeološki objekt prikazala slika objekta s podacima iz više tablica ("tehničko-litološki profil"). Izrada aplikacije (nazvane TLP aplikacija), način rada u istoj, te njezina svrha opisani su u literaturi (HORVAT & VESELINOVIĆ, 2005).

Rezultat rada u TLP aplikaciji je grafički prikaz hidrogeološkog objekta s osnovnim podacima o lokaciji i količini crpljenja, ugrađenoj koloni, filtrima, litologiji, tampionima i zasipu kanala objekta, a sve je, osim prva dva podatka, prikazano u omjeru (Sl. 1). Za dobivanje grafičkog prikaza hidrogeološkog objekta TLP aplikacijom uvedena su nužna pojednostavljena nekih podataka koja ne utječu na kvalitetu prikaza niti mijenjaju sadržaj baze podataka.

Ovakav pristup podacima o hidrogeološkim objektima ima određenih prednosti pred tabličnim prikazom u Access-u: brži pregled raznovrsnih podataka, istovremena usporedba svih relevantnih podataka, vizualno utvrđivanje nedostataka u bazi hidrogeoloških objekata (nepostojanje zapisa), vizualno utvrđivanje grešaka u bazi hidrogeoloških objekata (preklapanje elementa prikaza).

Zadnje dvije navedene prednosti omogućuju daleko lakše otklanjanje nedostataka i grešaka (koje je teško izbjeći u procesu unosa podataka) od pisanja upita u Access-u. Navedene prednosti iskorištene su za ažuriranje baze hidrogeoloških objekata INA-Naftaplina.

Pregledom slika 179 bunara i 184 piezometara u vrlo kratkom roku detektirane su greške i nedostaci podataka u bazi hidrogeoloških objekata, a koji se odnose na lokaciju objekta, ugrađene kolone i filtere, litologiju te tampion i zasip kanala objekta (29 bunara i 23 piezometra bez grešaka;

na ostalim bunarima 111 te na piezometrima 338 nedostataka i grešaka). Npr., sa Sl. 1 se može vrlo jednostavno zaključiti da za bunar StNB-1 postoji nedostatak litološkog opisa stijena između 35–41,5 m. Nakon detekcije grešaka i nedostataka provedena je ciljana korekcija istih uvidom u elaborate i izvještaje (DOSJE INA-NAFTAPLINA) na osnovu kojih je izrađena baza podataka ili novijih izvještaja o naknadnim radovima na hidrogeološkom objektu. Kako takvi dokumenti obično sadrže i tehničko-litološki profil odnosnog hidrogeološkog objekta, nakon korekcije je moguće vizualno usporediti dvije slike: tehničko-litološki profil i sliku generiranu TLP aplikacijom te vrlo jednostavno zaključiti o ispravnosti unesenih podataka o objektu.

TLP aplikacija izrađena je pomoću Visual Basic-a (MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0), a prikazani postupak može se primijeniti i na druge slične baze podataka.

### Literatura

- DOSJE INA-NAFTAPLINA: Elaborati, ekspertize i izvještaji o izvedbi, ispitivanjima i ostalim aktivnostima na bunarima, piezometrima i strukturnim bušotinama.
- HORVAT, S. & VESELINOVIĆ M. (2005): Prikaz hidrogeoloških objekata iz baze podataka.– Hrvatske vode, 51.
- MICROSOFT VISUAL BASIC 6.0 (1999): Vodič za programere (prijevod s engleskoga Dioniz Daubachy).– Strijelac, Zagreb.
- VESELINOVIĆ, M. & NIKOLIĆ, B. (1992): Prikaz MAPPER baze podataka "Vode" kreirane pomoću softverskog alata.– DIT, 31, INA-Naftaplin, Zagreb.

## The Approach of the Groundwater Vulnerability Assessment in the Area of the Zadar Town with Regard to PCB and Other Contaminants

Sanja Kapelj<sup>1</sup>, Janislav Kapelj<sup>1</sup>, Ranko Biondić<sup>1</sup>, Davorin Singer<sup>2</sup> & Mladen Picer<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Croatian Geological Survey, Department of Hydrogeology and Engineering Geology, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: janislav.kapelj@zg.htnet.hr

<sup>2</sup>GISDATA, Baštijanova 52a, HR-10000 Zagreb, Croatia

<sup>3</sup>Institute Rudjer Bošković, Bijenička 54, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Vulnerability assessment, Groundwater, Karst, Organic contaminants.

Within the scope of the EU INCO Copernicus project “Assessment of the Selected POPs \*PCBs, PCDDs & Fs, OCPs (In the Atmosphere and Water Ecosystems from the Waste Materials Generated by Warfare in Former Yugoslavia)” and integral hydrogeological part, “The level and hydrogeological fate of some POPs in several Croatian, Bosnian and Herzegovina and Kosovo areas as a consequence of war damages” – Pilot Area Zadar Town, the main tasks were creation of approach for evaluation of groundwater vulnerability assessment of karst, partly, coastal aquifer in the area of Zadar.

The vulnerability was evaluated through the following verifiable targets:

- hydrogeological study in the order to assess the contaminant subsurface pathways to the groundwater and finally to the sea;
- determination of recharge conditions and flow directions by classical hydrogeological approach, satellite image analysis (KAPELJ, 2002) and application of natural chemical and isotopic tracers;
- collecting data about land use and hazard specification (distribution of urbanized area, industrial zones and existed facilities, agricultural activity, vegetation cover) which affected by changes in underlying lithology characteristics;
- control of the pollution levels of PCB with the assessment of the subterranean penetration of the pollutants based on the existing hydrogeological data;
- comparison of the pollution levels in affected vulnerable part of area with those in non-affected areas.

Analysis and data management was performed within the Geographic Information System (GIS) with the aid of Arc/Info software (ESRI Cal. USA) and the analysis results can be visualised and modelled through the ArcMap–ArcView software version 8.1 of the same producer.

The application of satellite images was the most useful in harmonization and correction of data obtained by classical field hydrogeological, land use and hazard mapping. On the basis of difference in water temperature of groundwater and seawater, coastal and submarine springs, zones of diffuse outflow are reflected in different colours on images. Obtained hydrogeological characteristics of the soils, unsaturated zone (thickness, permeability regarding karstification, etc.) and saturated zone (depth to groundwater, geometry, flow directions and flow velocity, hydro-

dynamic conditions in relation with sea, etc.) and recharge data was used for evaluation of intrinsic groundwater vulnerability. The obtained data served as an input data in procedures proposed by two existed intrinsic vulnerability methods, SINTACS (CIVITA & De MAIO, 2000) and PI (GOLDSCHIEDER, 2003). For graphical presentation of landuse data, CORINE land cover, technical guide was applied. Applied procedure was very useful for presentation of the larger polygons of hazard, vegetational and soil cover which are necessary layers in hazard and vulnerability mapping. Hazard mapping and structuring the data base performed in the area of Zadar town followed the hazard inventory proposed by COST Action 620 “Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifer” (ZWAHLEN, 2004).

Detailed study of the geochemical, biochemical and toxicological behaviour of PCB and other contaminants in soils, unsaturated and saturated zones of karst aquifer as well as knowledge about soils and karst aquifer gave us an opportunity for proper evaluation of the groundwater and the land assessment of the investigated area. Specific vulnerability map was prepared on the integrated basis of results obtained by performed intrinsic vulnerability assessment, biogeochemical and toxicological studies of risk assessment of PCB in soils as specific vulnerability criteria in connection with classified hazard.

Application of groundwater specific vulnerability approach has important role in all decision making procedures connected with land use planning or studies which concern the influence of different potential pollution sources on groundwater quality.

### References

- CIVITA, M. & De MAIO, M. (2000): Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5 (Evaluation and automatic cartography of aquifer vulnerability using the parametric system SINTACS R5).– Pitagora Editrice, Bologna.
- GOLDSCHIEDER, N. (2003): Karst groundwater vulnerability mapping: application of the new method in the Swabian Alb, Germany.– Hydrogeology Journal.
- KAPELJ, J. (2002): Strukturni sklop šireg područja Promine u sjevernoj Dalmaciji i odraz na hidrogeološke odnose (The regional structural framework of the Northern Dalmatia and its effect on hydrogeologic relationships).– Dissertation, University of Zagreb, Faculty of Natural Sciences, 108 p.

ZWAHLEN, F. (ed.) (2003): Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers, final report (COST action 620).– European Commission, Directorate–general XII Science, Research and Development, Brussels, 297 p.

## Osvrt na trenutno korištenje geotermalnih voda u Hrvatskoj Exploitation of Geothermal Waters in Croatia – A Review

Miron Kovačić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: miron.kovacic@zg.t-com.hr

**Ključne riječi:** geotermalne vode, eksploatacija, korištenje, Hrvatska.

**Key words:** Geothermal waters, Exploitation, Utilization, Croatia.

Geotermalnim vodama u geotermijskom smislu smatra-  
mo vode čija je prosječna godišnja temperatura veća od  
prosječne godišnje temperature zraka područja na kojem se  
nalaze. U energetske smislu one su obnovljiv izvor ener-  
gije. Na ozemlju Republike Hrvatske geotermalne su vode  
ljudi vrlo vjerojatno koristili od početka svog obitavanja  
na ovim prostorima, a materijalnih dokaza o tome ima od  
razdoblja neolitika do danas. Tijekom povijesti stupanj i  
način korištenja tog prirodnog resursa se mijenjao kako  
zbog pronalaska novih kapaciteta tako i zbog promjena  
potreba i tehnologije korištenja. U ovom radu kratko je  
izneseno stanje korištenja geotermalnih voda iz prirodnih  
izvora i bušotina na početku 2005. godine.

Osnovni podaci o izvorima i bušotinama iz kojih se  
geotermalna voda koristi na organizirani način izneseni su  
u tablicama. U tablici 1 su podaci o lokacijama na kojima

se geotermalne vode koriste s izvorišta i/ili, kaptaza, zde-  
naca i bušotina do dubine od stotinjak metara, a u tablici  
2 prikazani su podaci o lokacijama na kojima se koriste  
geotermalne vode otkrivene dubokim bušotinama (400–  
1800 m).

U tablicama 3 i 4 uspoređeni su podaci o korištenju  
geotermalnih voda 1998. godine (KOVAČIĆ & PERICA,  
1998) s aktualnim podacima.

Trenutno se proširuju kapaciteti za korištenje geoter-  
malnih voda u svrhu rekreacije u Krapinskim toplicama,  
Tuheljskim toplicama i Jezerčici, a na nekoliko lokacija  
u fazi razrade su projekti korištenja geotermalne vode iz  
dubokih bušotina u energetske svrhe. U 2004. godini se iz  
geotermalne vode iskoristilo oko 680 TJ toplinske energije  
(JELIĆ et. al., 2005).

	Lokacija	Geoterm. klasifikacija	Temp. (°C)	Vodonosnik	Način korištenja
1	Daruvar – Daruvarske toplice	hiperterma	47	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, balneo terapija, zagrijavanje vode i prostorija
2	Donja Stubica – Jezerčica	homeoterma	38	trijas – dolomiti?	bazeni za kupanje, balneo terapija, sanitarna voda
3	Gotalovac – Topličica	hipoterma	26	trijas – dolomiti?	bazeni za kupanje
4	Krapinske toplice	hiperterma	40	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, balneo terapija, zagrijavanje prostorija, sanitarna voda
5	Lipik	hiperterma	58	trijas – dolomiti?	bazeni za kupanje, balneo terapija, sanitarna voda, mineralna voda
6	Mađarevo – Topličica	hipoterma	21,5	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, uzgoj riba
7	Stubičke toplice	hiperterma	57–59	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, balneo terapija zagrijavanje vode i prostorija, sanitarna voda, uzgoj bilja
8	Sutinske toplice	homeoterma	36	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje
9	Sveta Helena (Šmithen)	hipoterma	27	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje
10	Sveti Stjepan – Istarske toplice	hipoterma	31,1	kreda i eocen – vapnenci	bazeni za kupanje, balneo terapija
11	Toplice Lešće	hipoterma	33,4	jura – vapnenci i dolomiti	bazeni za kupanje
12	Toplice kod Svete Jane	hipoterma	25	trijas – dolomiti?	bazeni za kupanje
13	Zagreb – Borčec	subterma	17	trijas – dolomiti?	uzgoj riba
14	Sveti Ivan Zelina – Topličica	hipoterma	23,3	?	bazeni za kupanje
15	Topusko	hiperterma	64–65	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, balneo terapija, zagrijavanje vode i prostorija
16	Tuheljske toplice	hipoterma	33	sr. miocen. – vap. i breče	bazeni za kupanje
17	Varaždinske toplice	hiperterma	58	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, balneo terapija, zagrijavanje vode i prostorija
18	Velika	hipoterma	29	trijas – dolomiti	bazeni za kupanje

Tablica 1 Korištenje geotermalnih voda iz izvora.

Table 1 Utilization of geothermal waters from springs.

	Lokacija	Geoterm. klasifikacija	Temp. °C	Vodonosnik	Način korištenja
1	Bizovac	hiperterma	86–97	sr. miocen – andezit pliocen – pješčenjaci	bazeni za kupanje, balneo terapija, zagrijavanje vode i prostorija
2	Ivanić Grad – Naftalan	hiperterma	62,0	g. miocen – pješčenjaci	balneo terapija
3	Križevci	hiperterma	46	d. miocen – vap. i pješčenjaci	bazeni za kupanje
4	Križevci – Vratno	hipoterma	23	trias? – dol. breče	voda za piće (vodovod)
5	Sveti Martin (Vučkovec)	homeoterma	34	d. i sr. miocen – pjesk. lapor	bazeni za kupanje
6	Sveta Nedjelja (Zagreb)	hiperterma	65	d. i sr. miocen, trijas – breče, dol.	uzgoj bilja
7	Toplice kod Svete Jane	hipoterma	25	trias – dolomiti	stolna voda (punjenje boca)
8	Zagreb – Lučko	hiperterma	55	sr. miocen – litavci	zagrijavanje vode i prostorija
9	Zagreb – Mladost SC	hiperterma	70–80	d. i s. miocen – litotam. vap i trijas – dolomiti	bazeni za kupanje, zagrijavanje vode i prostorija
10	Zagreb – bolnica u izgradnji	hiperterma	82	trias – dolomiti	zagrijavanje vode i prostorija

Tablica 2 Korištenje geotermalnih voda iz dubokih bušotina.

Table 2 Utilization of geothermal waters from deep wells.

Korištenje	Bazeni za kupanje	Balneo terapija	Zagrijavanje vode		Sanitarna voda	Uzgoj bilja	Uzgoj riba	Pitka voda
			vode	prostora				
1998./br. lok.	14	8	5	6	3	0	2	1
2004./br. lok.	17	8	4	5	4	1	2	1

Tablica 3 Usporedba načina korištenja geotermalnih voda iz izvora 1998. i 2004. god.

Table 3 Compare mode of the utilization of geothermal waters from springs 1998. and 2004.

Korištenje	Bazeni za kupanje	Balneo terapija	Zagrijavanje vode		Sanitarna voda	Uzgoj bilja	Uzgoj riba	Pitka voda
			vode	prostora				
1998./br. lok.	3	2	4	4	0	0	0	1
2004./br. lok.	4	2	4	4	0	1	0	2

Tablica 4. Usporedba načina korištenja geotermalnih voda iz dubokih bušotina 1998. i 2004. god.

Table 4. Comparison of the utilization of geothermal waters from the deep wells 1998. and 2004.

### Literatura

KOVAČIĆ, M. & PERICA, R. (1998): Stupanj korištenja geotermalnih voda u Republici Hrvatskoj.– Hrvatske vode, 25, 355–361, Zagreb.

JELIĆ, K., KOVAČIĆ, M. & KOŠČAK-KOLIN, S. (2005): State of the art of the geothermal resources in Croatia in the year 2004.– World Geothermal Congress 2005, Proceedings, Antalya, Turska.

## The Map of Mineral Resources of Croatia and GIS

Boris Kruk, Boris Lukšić, Željko Kastmüller, Vili Pencinger, Ljiljana Kruk, Stjepan Crnogaj & Zoran Peh

Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; bkruk@igi.hr

**Key words:** Conventional maps, Mineral resources, GIS, Croatia.

Concern for integrated assessment and management of natural wealth and their interface with the economy, the environment and the society in our country, particularly when viewed in the light of the strategies of sustainable development, requires a satisfactory demonstration of all the country potential in the form of the adequate map model and organization of all available databases. The map of mineral resources integrating all aforementioned issues with underlain geological framework is the best example of promoting the conservation and careful use of our country's natural wealth and furthering the aims of sustainable development.

The geological framework of the Republic of Croatia defines relatively simple structure of mineral resources in general. The Dinaric karst region is characterized by the production of limestone and dolomite both as aggregates and dimension stone. Also, due to the occurrence of flysch sequences it is a major cement production region. In the Pannonian part of Croatia major production of gravel and sand is allowed by the existence of the extensive alluvial plains of the rivers Drava and Sava. Also Neogene deposits of loess- and lake-type sediments are the major source of brick clay. The non-metal production in Croatia is limited to slightly over 10 mineral commodities whose economic production and geological potential are high. Roughly, these can be categorized into two groups: (1) building raw materials (dimension stone, rock aggregate, sand and gravel, brick clay, ceramic and fire clay, and cement raw material); and (2) industrial raw material (bentonite clay, gypsum, marine salt, quartz sand, silicate raw material, carbonate raw material, and bauxite). Production of most commodities, especially the building raw materials, follows a positive trend in the period 1995 through 2003. Energy resources are mostly limited to oil and gas production, lesser condensed gas and geothermal water in the Pannonian basin and the north Adriatic region. Metal mineral resources in Croatia are insignificant.

The Map of mineral resources of the Republic of Croatia is produced in two scales: at the scale 1:100,000, and at the scale 1:200,000. The basic concept of the map is to cover all known mineral resources and occurrences on the territory of Croatia through a multi-layered model, which includes:

- the map of energy resources;
- the map of metal resources;
- the map of non-metal resources (including building raw materials);
- the map of regional mineralogenic provinces.

The model is structured according to the Guidelines for the Mineral Resource Map and Resource Potential of the Republic of Croatia (KRALO, 1989), which are used to produce mineral resource map sheets (KMS) on the basis of available archived data and field work. These guidelines are the basis for the development of geographical information system (GIS) with the aid of the Arc/Info software (ESRI, USA). Arc/Info software allows the linking of the attributes from the database with the spatial positioned features (polygons, lines, points), and quick search of the database and map attributes as well as plotting of maps almost as high in their quality as the standard printed maps. This versatile software allows construction of updated versions of maps with new data, as well as the development of various covers to display and effectively deal with specific problems. To allow for the data from the conventional map sheets it is necessary to adapt the maps to the software. Adaptation is made with the aid of the *Guidelines for the Preparation and Management of the Mineral Resource Map of the Republic of Croatia for Arc/Info to the Scale 1:100.000 and 1:200.000* (SINGER, 1998). These guidelines give the detailed descriptions and instructions on how to structure the database, and what data are to be recorded. The basic KMS layer consists of scanned topographic maps at the scale 1:100,000, and the simplified geological map with elements of tectonics. The geographical position of mineral resources is generated on the basis of coordinates from the Database of mineral deposits and occurrences (KRUK, 1994). During the development of the GIS for the KMS certain modifications have been necessary in the database structure and data input, which is elaborated in detail in the Guidelines for the Application of the Mineral Resources Cadastral Database (SINGER, 1999). The database is organized with the Microsoft Access software into four thematic units, which are four linked databases:

- *General data* – *kms\_opc* (Opći podaci);
- *Geological data* – *kms\_geo* (Geološki podaci);
- *Mineral reserve statement* – *kms\_rez* (Podaci o rezervama);
- *Documentation* – *kms\_dok* (Dokumentacija).

Each object, deposit or mineral occurrence has its unique cadastral number which is the key for the connection of the databases and the spatial presentation. The formation of the cadastral number and the description of the data preparation, as well as the input of data into the cadastral database are the most important part of the guidelines. Since the data must be handled in an unequivocal manner the masks have been made for data input, which poses cer-

tain restrictions as to minimize the amount of errors during the database loading. The viewing of data is made with the aid of ArcView software (ESRI, USA), and the project files connect all the data from various bases and organize corresponding layers, attribute tables, as well as printable map shapes.

## References

- KRKALO, E. (1989): Guidelines for the Mineral Resource Map and Resource Potential of the Republic of Croatia (in Croatian).– Unpublished, Archive of the Institute of Geology, Zagreb.
- KRUK, B. (1994): Mineral Deposits and Occurrences Cadastral Database (in Croatian).– Unpublished, Archive of the Institute of Geology, Zagreb.
- SINGER, D. (1998): Guidelines for the Preparation and Management of the Mineral Resource Map of the Republic of Croatia for Arc/Info to the Scale 1:100,000 and 1:200,000 (in Croatian).– Unpublished, Archive of the Institute of Geology, Zagreb.
- SINGER, D. (1999): Guidelines for the Application of the Mineral Resources Cadastral Database (in Croatian).– Unpublished report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb.

## Ispitivanje pojave zaslanjenja vodozahvata Dobrica spuštanjem razine preljeva

### Assessment of Salinization by Spillway Lowering at Dobrica Water Supply Facility

Mladen Kuhta & Željka Brkić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: kuhta@igi.hr

**Ključne riječi:** krš, priobalni vodonosnik, zaslanjenje, vodozahvat Dobrica, Bakarski zaljev, Hrvatska.  
**Key words:** Karst, Coastal aquifer, Salinization, Dobrica Water Supply Facility, Bakar bay, Croatia.

#### Uvod

Vodozahvat Dobrica smješten je približno na središnjem dijelu sjeveroistočne obale Bakarskog zaljeva, a uz Perilo i Dobru, jedno je od triju glavnih crpilišta Bakarskog vodoopskrbnog sustava. Ovaj sustav pokriva potrebe područja Čavla, Donjeg Jelenja, Hreljina, Škrljeva, Bakra, Kraljevice i dalje na jugoistok sve do Jadranova. Vodozahvat Dobrica izgrađen je 1966. godine u području zone prirodnog izvorišta, a sastoji se od drenažnog rova dužine oko 60 m, bočno spojenog sa sabirnim bazenom u kojem su smještene usisne košare crpki. Kaptažni rov prati pružanje morske obale na udaljenosti od petnaestak metara.

Premda je instalirani kapacitet crpki 200 l/s, maksimalne količine crpljenja u razdobljima povećane ljetne potrošnje nikada nisu prelazile 130 l/s. Već se tada, u kritičnim sušnim razdobljima, pojavljivao prekomjeran sadržaj klorida uslijed miješanja podzemne vode i mora. U posljednjih desetak godina ova pojava je sve učestalija, zbog čega ograničava daljnje širenje vodoopskrbnog sustava. Da bi se produžilo vrijeme rada crpilišta, kroz ljetna sušna razdoblja drastično se smanjuje kapacitet crpljenja, ali ni to nije dovoljno da bi se izbjeglo zaslanjenje. Tako u rujnu ekstremno sušne 2003. godine vodozahvat zaslanjuje, premda je crpljeno samo 10–15 l/s. Treba spomenuti da je pritom na preljevu, zbog tehničkih karakteristika zahvata, u more slobodno istjecalo dodatnih 100 l/s podzemne vode.

U takvim je okolnostima J.P. "Vodovod i kanalizacija" iz Rijeke pokrenulo višefazna hidrogeološka istraživanja s ciljem da se odredi postojeće stanje i ispita mogućnost zahvata podzemne vode prije njenog miješanja s morem (BIONDIĆ, 1997; BIONDIĆ, 2004). U radu su prikazani rezultati posljednjih istraživanja izvedenih 2004. godine (KUHTA & BRKIĆ, 2005). Njihov je osnovni cilj bilo promatranje hidrodinamičkih i hidrokemijskih promjena u priobalnom vodonosniku izazvanih snižavanjem razine preljeva vodozahvata, čime se nastojalo simulirati uvjete kakvi nastupaju tijekom sušnih razdoblja.

#### Uvjeti i način testiranja

Prema podacima o mjesečnim oborinama za šire riječko područje (DHMZ), 2004. godina može se smatrati prosječnom hidrološkom godinom. Test snižavanja razine preljeva izveden je u razdoblju od 21. do 27. rujna, u uvjetima

srednje niskih voda. Prije testiranja je geodetskim premjerom utvrđen prostorni i visinski položaj svih aktivnih piezometara na crpilištu, mjernih letvi na preljevu i u moru, te obližnjih priobalnih izvora Dvocijevka i Pizdina.

Preljev vodozahvata spušten je 22.9. u 10 sati. Uslijedilo je pojačano prirodno pražnjenje vodonosnika, koje je narednog dana povećano crpljenjem s količinom od 50 do 60 l/s u trajanju 28 sati. Preljev je ponovo podignut na početnu razinu 26.9. u 14 sati, dakle 100 sati od početka eksperimenta. Terenska istraživanja zaključena su 27.9. završnim mjerenjem svih promatranih parametara.

Tijekom pokusa praćeni su razina podzemne vode, njeena temperatura i elektrolitička vodljivost po dubini piezometara BZ-12, BZ-14, BZ-15, BZ-16 i BZ-17, te izdašnost na preljevu vodozahvata i prirodnim izvorima, uz bilježenje temperature, elektrolitičke vodljivosti, ukupno otopljene krute tvari (TDS) i saliniteta vode. Radi dodatnih podataka o kretanju podzemnih voda u području crpilišta izvedena su tri trasiranja iz piezometarskih bušotina (BZ-12, BZ-14 i BZ-16).

#### Rezultati

Prije testiranja je pri maksimalnoj razini preljeva te uz isključene crpke, istjecalo 142 l/s. Obližnji izvori Pizdina i Dvocijevka imali su izdašnost 14,2 odnosno 7,6 l/s. Nakon spuštanja preljeva na najnižu moguću razinu, zabilježeno je u vodozahvatu i svim opažanim piezometrima naglo sniženje razine u rasponu od 40 do 60 cm. Protok na preljevu porastao je na 165 l/s ali je smanjena izdašnost izvora (Pizdina 9,2 l/s, Dvocijevka 4,9 l/s). Uključenjem crpki u trajanju od 24 sata s količinom 50–60 l/s smanjen je protok na preljevu na 116 l/s i ostvaren dodatan pad razine od nekoliko cm. Pod utjecajem oborina palih sredinom razdoblja testiranja, zabilježen je blag porast razine, kako na preljevu tako i na okolnim piezometrima. Svega desetak minuta nakon ponovnog podizanja zapornice, razine na preljevu i u podzemlju premašile su početne vrijednosti.

Glavni parametar za analizu utjecaja mora bila je elektrolitička vodljivost, koja indirektno, ali u čvrstoj korelacijskoj vezi, iskazuje promjenu sadržaja klorida. Dobiveni podaci pokazuju položaj prijelazne zone između slatke i slane vode, njeno postupno podizanje i jasno izražen porast vodljivosti, s trajanjem uvjeta snižene razine. Osnov-

ni je nalaz provedenog testa pojava porasta vodljivosti, odnosno sadržaja klorida u piezometru BZ-16. Na toj je lokaciji bila predviđena izvedba bušenog istražno-eksploatacijskog zdenca dubine 80 m. Njime se htjelo zahvatiti karbonatni vodonosnik u zaleđu vodozahvata, ispod ljuske fliša, na dubinama između -36 i -53 m. Istraživanje je pokazalo da se u danim hidrološkim prilikama, već nakon 68 sati od spuštanja preljeva, upravo u tom intervalu povećava elektrolitička vodljivost, odnosno da raste sadržaj klorida. Podudarnost vrijednosti elektrolitičke vodljivosti u tom intervalu s vrijednostima zabilježenim u vodozahvatu, te rezultati trasiranja, potvrđuju njihovu povezanost. Premda porast nije bio takav da bi kloridi prešli MDK, ova pojava jasno indicira putove unosa klorida u kriznim situacijama. Činjenica da se ispod intervala povećane vodljivosti ponovno javlja sloj potpuno slatke vode, upućuje na to da se ona miješa s morem podalje, a vjerojatno i dublje od razmatrane lokacije.

Distribucija potencijala oko vodozahvata, a posebno njegovo ustrmljenje prema moru i sjeverozapadnom boku, pokazuju da upravo takvi hidrodinamički uvjeti predstavljaju njegovu osnovnu zaštitu od izravnih prodora mora. Budući da jugoistočno od vodozahvata nema piezometara, distribucija potencijala u tom boku nije poznata. U analizi stanja svakako se ne smije zanemariti činjenica da je najveći porast elektrolitičke vodljivosti (klorida) zabilježen upravo na ovdje lociranom izvoru Dvocijevki, kao i to da se na njemu nije pojavila boja niti s jednog od provedenih trasiranja. Premda nema pouzdanijih pokazatelja, sve to indicira da bi intruzije morske vode mogle potjecati upravo s jugoistočnog boka vodozahvata.

### Zaključak

Provedba jednostavnog hidrauličkog testa pokazuje da izvođenje zdenca na planiranoj lokaciji u neposrednom zaleđu vodozahvata Dobrica ne bi dalo očekivane rezultate. Potvrđeno je da se akcidentna zaslanjenja vodozahvata javljaju kao posljedica miješanja slatke i slane vode u dubljim dijelovima vodonosnika, a ne u lokalnoj priobalnoj zoni. Buduće istražne radove potrebno je odmaknuti dalje u zaleđe te ispitati pozitivne efekte dodatnog podizanja razine preljeva (20–30 cm). Pretpostavlja se da bi pripadni porast potencijala podzemne vode u zaleđu vodozahvata mogao povoljno utjecati na opstojnost crpilišta u kritičnim razdobljima.

### Literatura

- BIONDIĆ, B. (1997): Izvorište Dobrica u Bakarskom zaljevu, hidrogeološka istraživanja – zaštita od prodora mora.– Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.
- BIONDIĆ, R. (2004): Izvorište Dobrica u Bakarskom zaljevu, hidrogeološka istraživanja za sanaciju crpilišta od utjecaja zaslanjenja.– Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.
- KUHTA, M. & BRKIĆ, Ž. (2005): Izvorište Dobrica, vodoistražni radovi – analiza zaslanjenja.– Fond struč. dok. Instituta za geol. istraž., Zagreb.

## Ocjena iskoristivosti rudničkih voda na primjeru okna Labin

### Evaluation of Mining Water Usability on the Example of the Labin Shaft

Mladen Kuhta<sup>1</sup>, Andrej Stroj<sup>1</sup> & Mirko Tomašić<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; kuhta@igi.hr

<sup>2</sup> Marcijani 7a, HR-52220 Labin, Hrvatska

**Ključne riječi:** rudničke vode, hidrogeologija, hidrokemija, zaslanjenje.

**Key words:** Mining water, Hydrogeology, Hydrochemistry, Salinization.

#### Uvod

Nakon prestanka višestoljetne eksploatacije ugljena na području Labinštine, u krškom podzemlju je vodom potopljen velik dio napuštenih jamskih podzemnih radova. Namjera da se tako akumulirane vode iskoriste za javnu vodoopskrbu ili za tehnološke svrhe pojavila se početkom osamdesetih godina 20. stoljeća (HAČEK et al., 1983). Radi ispitivanja te mogućnosti, u već tada potopljenim jamskim sustavima, izvršena su preliminarna istraživanja, koja su dala naslutiti postojanje značajnog vodnog potencijala (RUBINIĆ et al., 1993). Zbog ograničenosti financijskih sredstava, ova istraživanja svojim obimom i dinamikom nisu bila dostatna za ocjenu mogućnosti korištenja rudničkih voda, ali su svakako značajan doprinos tom nastojanju. Novija istraživanja koja su financirale Hrvatske vode izvedena su tijekom 2002. i 2003. godine (KUHTA, 2004). U sklopu sveobuhvatnog istraživačkog programa analiziran je cjelokupan prostor rudarenja, odnosno šire područje Labina i Pićna. Promatrani su brojni aspekti počevši od geometrije jamskih sustava i hidrogeoloških značajki do hidrokemijskih karakteristika rudničkih voda. Kako se pokazalo, upravo kakvoća jamskih voda najviše ograničava mogućnost njihove uporabe. Premda zbog povezanosti sustava nije moguće izolirano promatranje pojedinih njegovih dijelova, težište ovog rada je usmjereno na prikaz situacije u oknu Labin ali je važno da prikazani podaci ipak prezentiraju stanje i probleme jamskih voda cijelog sustava Labinštine (jame Raša, Labin i Ripenda), a dijelom i područja Pićanskog bazena (jame Pićan i Tupljak).

#### Geometrija sustava

Na širem području Labinštine rudarenje ispod razine podzemnih voda započelo je 1924. godine u Raši, nastavilo se u jami Labin, a završilo 1988. godine u jami Ripendi. S obzirom na pružanje i zalijeganje rudnog tijela, ove jame razvijane su od JZ prema SI, a u tom se smjeru povećavala i dubina rudarenja. Tako se u Raši rudarilo do približno -300 m, u Labinskoj jami do -400, a u Ripendi do gotovo -500 m. Ukupan volumen podzemnim vodama potopljenih jamskih prostora, prvenstveno eksploatacijskih polja i oko 75 km dugog spleta stabilnih podzemnih hodnika, procijenjen je na 11,981.000 m<sup>3</sup> (KUHTA, 2004). U hidrauličkom smislu cijeli sustav je međusobno dobro povezan.

Budući da je površinski ulaz u okno Labin (218 m n.m.) zatvoren betonskom pločom, pristup do njegovih podze-

mnih dijelova moguć je kroz 2,6 km dugačak potkop Ra-bac. Okno Labin duboko je 570 m, od čega je oko 360 m danas potopljeno (od prosječno +9 do -352 m). U potopljenom dijelu okno je izravno spojeno s hodnicima XIV, XVI i XVIII horizonta, a posredno i s XX jamskim horizontom. U vrijeme povišenih razina podzemne vode cijeli se jamski sustav drenira kroz ovo okno i spomenuti potkop (kota preljeva je 10,53 m n.m.), pa je to bila jedna od najznačajnijih točaka za hidrološka opažanja i hidrokemijska mjerenja. Razina podzemne vode u oknu kontinuirano je mjerena u razdoblju od ožujka 2003. do veljače 2004. godine (logger WL 15, Global Water, SAD), a kretala se u rasponu od 6,85 m n.m. (28.9.2003.) do 11,38 m n.m. (30.12.2003.).

#### Rezultati istraživanja

Pored akcidentnog prodora morske vode u području Kaverne u jami Raši (BATURIĆ, 1962), pritjecanje ovih voda u istočne jamske hodnike bila je uobičajena pojava u vrijeme eksploatacije. Podaci iz tog razdoblja pokazuju da su jamske vode na pojedinim mjestima u sjeveroistočnim dijelovima XXIV i XXV horizonta jame Ripende sadržavale od 25 do 85% morske vode (približno 4.700–16.000 mg/l Cl). Utjecaj prodora morske vode u jamske prostore primijećen je i tijekom prethodnih istraživanja njihovog vodnog potencijala, neposredno nakon potapanja (RUBINIĆ et al., 1993). Budući da sadržaj klorida bitno utječe na uporabnu vrijednost rudničkih voda, ovoj je problematici posvećena posebna pozornost. Premda su istraživana i druga dostupna okna, s obzirom na drenažnu funkciju okna Labin i pripadnu intenzivniju dinamiku podzemne vode, rezultati dobiveni na ovom oknu imaju posebnu vrijednost. Mjerenja su pokazala da se u razdobljima povišenih voda, odnosno u uvjetima prelijevanja iz okna, sadržaj klorida kreće u rasponu od 194 do 430 mg/l. Tijekom prethodnih istraživanja utvrđen je većim brojem mjerenja raspon vrijednosti od 300 do 600 mg/l, a zabilježen je i maksimum od 1200 mg/l. Mjerenja i uzorkovanja po dubini okna pokazala su da se kod niskih voda oslađuje gornji dio vodenog stupca u oknu, pa se granica maksimalno dopuštene koncentracije (250 mg/l) postupno pomiče prema dubini od približno -80 m, ispod koje je sadržaj klorida trajno iznad MDK. Prve veće promjene temperature i elektrolitičke vodljivosti događaju se na dubini od 140 m, odnosno na mjestu spajanja s XIV horizontom. Još izraženiji skok zabilježen je u području između 180 i 190 m dubine. Sadržaj klorida na dubini od 190 m kretao se u rasponu od 1350

do 2010 mg/l. Porast sadržaja klorida primjetan je i dalje s dubinom, no razlike više nisu tako velike niti skokovite, premda se na okno spajaju još tri jamska horizonta (XVI na -240 m, XVIII na -302m i XX na -351m). Na dubini -350 m sadržaj klorida kretao se u rasponu od 1810 do 2380 mg/l.

Kemijske analize vode uzete iz površinskog dijela vodenog stupca pokazuju da sadržaj klorida nije jedino prekomjerno opterećenje. Pored trajnog bakteriološkog onečišćenja, rudničke vode pokazuju prekomjeran sadržaj sulfata (do 450 mg/l), masti i ulja (do 0,117 mg/l), mineralnih ulja (do 0,046 mg/l), natrija (do 235 mg/l), željeza (do 439 µg/l) i mangana (do 133 µg/l). Posebno loša situacija utvrđena je u dubljim dijelovima rudničkog vodonosnika. Na uzorku iz dubine od -200 m, uzetom u uvjetima kada na oknu nije bilo prelijevanja, utvrđen je izuzetno visok sadržaj pojedinih parametara. Tako je mutnoća dosegla 377 mg/SiO<sub>2</sub>/l (MDK 10), koridi 2056 mg/l (250), sulfati 626 mg/l (250), natrij 965 mg/l (150), kalij 30 mg/l (12), željezo 15231 µg/l (200) i mangan 252,6 µg/l (50).

### Zaključak

Usprkos povoljnim hidrogeološkim uvjetima, te izrazitim drenažnim mogućnostima razvedenih jamskih kanala i dodatnoj razlomljenosti stijenske mase, utvrđene hidrokemijske karakteristike jamskih voda pokazuju se kao ograničavajući faktor za korištenje. Istaknut je problem zaslanjenja jamskih voda pod utjecajem mora, ali i pojava prekomjernog sadržaja niza drugih parametara. Utvrđeno izrazito povećanje koncentracije sulfata, željeza i mangana upućuje na reduktivne uvjete u dubljim dijelovima potopljenog sustava. Primjetno je da se s promjenom dinamičkih uvjeta ovo onečišćenje pokreće (podiže), pa i pojavljuje u preljavnim vodama. Može se pretpostaviti da bi se sličan proces odvijao i u slučaju dinamičkih promjena izazvanih crpljenjem.

### Literatura

- BATURIĆ, J. (1962): Problem Kaverne u Raši.– Krš Jugoslavije, 3, 107–131, Zagreb.
- HAČEK, M., HANICH, M. & TOMAŠIĆ, M. (1983): Studija o mogućnosti korištenja jamskih, izvorskih i površinskih voda na širem području Labina.– Industroprojekt, Zagreb.
- KUHTA, M. (2004): Istražni radovi u svrhu ocjene vodnog potencijala napuštenih ugljenokopa Labinštine. Završno izvješće II. faze istraživanja.– Fond struč. dok. Instituta za geol. istr., Zagreb.
- RUBINIĆ, J., TOMAŠIĆ, M., DOBROVIĆ, D. & KUKULJAN, I. (1993): Istraživanje vodnog potencijala jamskih prostora napuštenih ugljenokopa s područja Labinštine. Prethodni rezultati.– JVP za slivno područje istarskih slivova, Labin.

## Istraživanje uslojenosti vodonosnika primjenom hidrogeokemijskih pokazatelja na primjeru zagrebačkog vodonosnika

### Hydrochemistry of a Layered Aquifer: Case Study of Zagreb's Aquifer

Tamara Marković, Ozren Larva, Sanja Kapelj & Željka Brkić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: tmarkovic@igi.hr

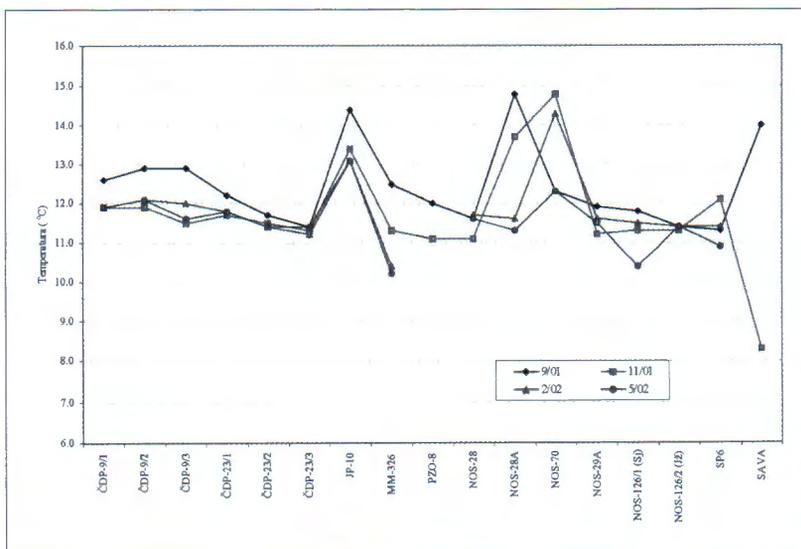
**Ključne riječi:** temperatura (T), pH, hidrogeokemijski facijes, vodonosnik.  
**Key words:** Temperature (T), pH, Hydrochemical facies, Aquifer.

Općenito je poznato da na kemijski sastav podzemnih voda imaju utjecaj sljedeći faktori: kemijski sastav oborina, petrografski i mineraloški sastav priljevnog područja vodonosnika i samog vodonosnika, vrijeme zadržavanja vode u podzemlju tj. vodonosniku, klima, topografija, različiti geokemijski procesi u nesaturiranoj zoni i vodonosniku (GÜLER et al., 2002), itd. U svijetu postoji dugogodišnja praksa korištenja hidrogeokemijskih pokazatelja tj. sadržaja osnovnih iona podzemne vode kao prirodnih trasera za rješavanje problema tečenja podzemne vode (BACK, 1966). Također se zna da su vodonosnici koji su smješteni u aluvijalnim sedimentima rijeka obično uslojeni s obzirom na hidrogeokemijske uvjete koji u pojedinim zonama vladaju, što je često uzrokovano različitim vremenom zadržavanja vode u pojedinim dijelovima podzemlja. Stoga su s 15 piezometara zagrebačkog vodonosnika s različitih dubina tijekom 2001., 2002. i 2003. godine uzeti uzorci podzemne vode. U uzorcima vode su izmjereni sljedeći hidrogeokemijski pokazatelji: temperatura (T), pH, elektrolitička vodljivost (CND), glavni kationi i anioni ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$   $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ).

U promatranom razdoblju temperature podzemne vode zagrebačkog vodonosnika iznosile su od 10 do 14,8°C. Općenito je poznato da temperature podzemnih voda u pravilu odražavaju vrijednosti srednjih godišnjih temperatura zraka koje vladaju na područjima prihranjivanja. Tijekom opažanja izmjerene temperature podzemnih voda na području

Črnkovca u piezometrima ČDP-9 bile su neznatno više od onih izmjerenih u piezometrima ČDP-23. Također je ustanovljeno veće odstupanje temperature podzemne vode na piezometrima ČDP-9 tijekom opažanog razdoblja nego u podzemnim vodama zahvaćenim piezometrima ČDP-23. Najviše temperature podzemnih voda zabilježene su u piezometrima JP-10 (Jakuševac), NOS-28A, NOS-70 (Strmac) i PP18/20m (Petruševac), gdje su izražena i najveća odstupanja. Ovakva raspodjela temperature podzemne vode tijekom opažanog razdoblja je posljedica toga što se u dubljim dijelovima vodonosnika sporije izmjenjuje voda, te voda u tom dubljem dijelu vodonosnika postupno poprma temperaturu okoliša, a plići dijelovi vodonosnika pod stalnim su utjecajem sezonskih temperaturnih oscilacija zbog brze vertikalne i lateralne izmjene što rezultira naglašenim odstupanjima tijekom godine (sl. 1).

Podzemne vode zagrebačkog vodonosnika su prema svojim pH vrijednostima slabo kisele do slabo alkalne. Najniže pH vrijednosti izmjerene su u podzemnoj vodi na području Jakuševca i Petruševca. Niska vrijednost pH na ovom području je posljedica razgradnje otpada koji je vrlo heterogenog sastava. Slabo alkalne podzemne vode odraz su sredine izgrađene uglavnom od naslaga karbonatnog sastava gdje se svaki doprinosi kiselosti iz tla i zone trošenja brzo neutralizira. Također je uočeno da su promjeni pH vrijednosti izloženije podzemne vode iz plićih dijelova vodonosnika i vodonosnika pod neposrednim utjecajem



Sl. 1 Temperatura podzemnih voda.

Fig. 1 Groundwater temperature.

napajanja iz rijeke Save. U plićim dijelovima vodonosnika vrijednost pH ovisi o promjenama količine doprinosa ugljične kiseline iz tla pod utjecajem sezonskih vegetacijskih i hidroloških prilika.

S obzirom na osnovni ionski sastav podzemna voda zagrebačkog vodonosnika pripada  $\text{CaMg-HCO}_3$  hidrogeokemijskom tipu, a dublji dijelovi vodonosnika na području Strmca pripadaju  $\text{CaNaMg-HCO}_3$  do  $\text{CaMgNa-HCO}_3$  hidrogeokemijskom tipu. Ovakav sastav voda je posljedica otapanja stijena odnosno minerala (STUMM & MORGAN, 1996) koji izgrađuju vodonosnik tj. vodonosne slojeve. Uočeni povremeni povišeni sadržaja natrija u dubokim dijelovima vodonosnika na Strmci posljedica je hidrolize alumosilikata u glinovito prašinstim naslagama (APELLO & POSTMA, 1994). Također, ova činjenica ukazuje na duže zadržavanje vode u podzemlju. Primjećeno je da je u plićim dijelovima vodonosnika povišen sadržaj osnovnih iona, što je posljedica donosa otopljenih tvari iz tla i zone trošenja.

Sadržaj osnovnog anionskog sastava ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  i  $\text{PO}_4^{3-}$ ) upućuje na velike razlike u njihovom sadržaju u različitim dijelovima vodonosnika i tijekom opažanog razdoblja. Na primjer: na području Črnkovca i Petruševca, sadržaj klorida najčešće je niži od 10 mg/l, što odgovara prirodnim uvjetima, međutim na području Jakuševca, Mlake, Strmca i Šibica izmjerene vrijednosti upućuju na procjedne otpadne vode s odlagališta otpada, domaćinstva i cesta. Također koncentracija nitrata, amonija, ortofosfata i sulfata u većini slučajeva su ispod MDK vrijednosti, no u vodama uzorkovanih na područjima Jakuševca, Petruševca i Strmca one su povišene zbog antropogenog utjecaja.

Na temelju dobivenih rezultata može se reći da je na području zagrebačkog vodonosnika ustanovljena hidrogeokemijska uslojenost. Ova uslojenost se očituje udaljavanjem od rijeke Save i izrazito je izražena na području Strmca u dubokim dijelovima vodonosnika jer je spora izmjena vode i dijelovi sadrže staru vodu. Također je ustanovljena cjelovitost hidrogeološkog sustava zagrebačkog vodonosnika. Kakvoća podzemne vode odraz je prirodnih uvjeta u dubljim dijelovima vodonosnika, dok su plići dijelovi vodonosnika većim dijelom pod antropogenim utjecajem.

### Literatura

- APELLO, C.A.J. & POSTMA, D. (1994): Geochemistry, groundwater and pollution.– Balkema, Rotterdam.
- BACK, W. (1966): Hydrochemical facies and groundwater flow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain.– U.S.G.S. Prof. Pap. 498–A, Washington, DC.
- GÜLER, C., THYNE, G.D., McCRAY, J.E. & TURNER, A.K. (2002): Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data.– Hydrogeology J., 10/4, 455–474.
- STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1996): Aquatic chemistry. Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters.– John Wiley and Sons, New York–Chichester–Brisbane–Toronto–Singapore.

## Deterioration of Ventilated Stone Facades with Special Emphasis on Bowing Phenomena – Field Examples from Slovenia

Alenka Mauko<sup>1</sup>, Ana Mladenovič<sup>1</sup>, Jan Anders Brundin<sup>2</sup> & Breda Mirtič<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Slovenian National Building and Civil Engineering Institute, Dimičeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: alenka.mauko@zag.si

<sup>2</sup> Jananders Consulting AB, Humlehusen, Höja Landsväg 199, SE-26293 Engelholm, Sweden

<sup>3</sup> Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

**Key words:** Bowing, Natural stone facades, Ventilated facades, Site inspections.

### Introduction

Ventilated stone facades have been widely used in Slovenia for the past 30 years. Many prestigious buildings have been clad with different Slovenian and other natural stones. Although such facades have reputation of being energy saving, easy to erect, durable and aesthetically attractive, over the last ten years marble facades have been the subject of general criticism. Some famous marble stone claddings even began to bow in a short time after their installation. The Lincoln Tower in Rochester, the Amoco building in Chicago (COHEN & MOINTEIRO, 1991), the Finlandia Hall in Helsinki (ROYER-CARFAGNI, 1999) are some such examples.

Between 2003 and 2005, nine buildings clad with four different types of natural stone, and located in the city of Ljubljana and its surroundings, were examined. Various mechanical, chemical, biological and anthropogenic deterioration features were observed. Special attention has been drawn to the bowing of stone panels, with the object of determining the amount of bowing of different natural stones in the continental inland climate of central Slovenia.

### The main characteristics of the examined buildings

To investigate the bowing phenomena of facade panels, nine buildings were chosen for detailed examination. Six of them were clad with white dolomitic marble (SI1, SI3–5, SI7–8), one with white calcitic marble (SI9), one with grey limestone (SI2), and one with granodiorite (SI6). The age of the claddings ranged from 34 years to one year. Most of the facade panels were 30 mm thick and fixed to a metal subframe or directly onto the concrete structure with pin anchors. Only in two cases (SI4–west facade and SI6) were the panels thinner (approx. 20 mm) and fixed onto the metal subframe with dowels. The panels were exposed in all directions of the compass. The areas of cladding on surfaces of the buildings ranged from approx. 150 m<sup>2</sup> (SI2) to approx. 4000 m<sup>2</sup> (SI4). The claddings were ventilated with different cavity gaps between the panels and the concrete or masonry structure. The most frequently used surface treatment of the cladding panels of the chosen buildings was honing and polishing.

### Experimental

The amount of bowing was determined by field measurements of the dimensional changes of the panels, followed by the Nordtest method NT Build 500 (Introductory assessment). A special measuring device – known as a bow meter – was constructed for this purpose. Reproducibility in using the bow-meter was estimated to be less than 0.2 mm. The measured panels were selected subjectively, based on accessibility, observed damage, and the specifics of the structure, panels dimension etc. The bowing (B) of a panel is defined as  $B = d/L \times 1000$ , where d (mm) is the measured value of bowing, and L (mm) is the distance between the two corresponding support points.

### Results and discussion

#### *Deterioration and bowing of dolomitic marble panels*

White dolomitic marble with grey veins has frequently been used in Slovenian architecture. The oldest inspected building (SI3) was 24 years, and the youngest building was just one year old (SI8). Bowing was observed on three buildings (SI3, SI4, SI7), all of which were built more than 13 years ago. On building SI5 (13 years after installation) possible bowing was observed, but could not be confirmed due to inaccessibility. On buildings younger than 13 years, no bowing was observed. The amount of bowing was the greatest on thin, dowel-anchored, west-facing panels (20 mm/m). On all other sides of the buildings, where panels were thicker and pin-anchored, bowing was smaller. Similar conclusions were drawn by LOGAN et al. (1993), when investigating the Amoco building. He found that above the 42th floor, where the panel thickness increased, the number of panels bowing was 3–4 times less than below. Several cases of mechanical deformation were observed on buildings' facades. Disintegration of marble and cracks near anchors demonstrated local tensions. Broken corners of panels were also observed. Typical corrosion stains beneath window shelves and biofilms of algae, mould and other organisms, have become an unpleasant aesthetic problem. Absorption stains were also visible at ground level and at the dowels.

#### *Deterioration and bowing of calcitic marble*

The highest amount of bowing of all the investigated buildings was measured on the calcitic marble facade of build-

ing SI9 (37.7 mm/m) only twelve years after installation. Convex bowing of panels was visible to all directions of the compass. Besides bowing, no other deformations were visible, but there were corrosion stains in the vicinity of the windows. Some of the expansion joints were very narrow due to the convex bowing, which could cause problems in the near future.

#### *Deterioration and bowing of granodiorite panels*

Building SI6 was the oldest investigated building. It was built in 1971. Concave bowing was observed in all direction of the compass. The largest amount of bowing was visually observed on the south facade, although measurements were not carried out due to inaccessibility. On the west side of the facade, 12.72 mm/m bowing was measured. Besides bowing, several other features of deterioration were observed, such as broken slabs, cracks in the vicinity of dowels, cracks in aplitic veins, corrosion stains, stains due to the alteration of iron minerals, bird excrement, etc. Signs of poor workmanship were also visible (double-drilled holes for anchors, different thickness of the panels).

#### **Conclusions**

The observations presented in this paper confirm most of the problems that can be found in the literature (BORTZ et al., 1988). Special attention needs to be paid to the bowing of granodiorite panels and its extent, since this is the first known example of granodiorite bowing in the updated literature. Investigation of natural stone facades in Slovenia have demonstrated that bowing is also present in the central Slovenian climate, and that different types of natural stone exhibit different amounts of bowing. The presented results also show that, apart from the natural stone characteristics, there are also some other parameters, such as the type of fixing, the thickness of the panels, the microclimate and others, which could contribute significantly to bowing.

#### **Acknowledgments**

This study benefited partly from funding by the European Commission (Contract No G5RD-CT-2000-00233). The authors would like to thank to authorities responsible for each of the studied buildings, for permitting surveying and sampling works.

#### **Literature**

- BORTZ, S.A., ERLIN, B. & MONK, C.B. (1988): Some field problems with thin veneer building stones.– In: DONALDS, B. (ed.): ASTM STP 996 New Stone Technology, Design, and Construction for Exterior Wall Systems. Astm. Intl., 11–31.
- Cladding panels: Field Method for Measurement of Bowing. NT BUILD 500: 2003. Nordtest, 8 p.
- COHEN, J.M. & MONTEIRO, P.J.M. (1991): Durability and integrity of marble cladding: a state-of-the-art review.– J. Performance Constr. Facilities, 5, 113–124.
- LOGAN, J.M., HATEDT, M., LEHNERT, D. & DENTON, M. (1993): A case study of the properties of marble as building veneer.– Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr., 30, 1531–1537.
- ROYER-CARFAGNI, G. (1999): Some considerations on the warping of marble facades: the example of Alvar Aalto's Finlandia Hall in Helsinki.– Constr. Build. Mater., 13, 449–457.

## Geološki informacijski sustav Geological Information System

Snježana Mihalić

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: smihalic@rgn.hr

**Ključne riječi:** GIS, geološka baza podataka, analiza zahtjeva, inženjerskogeološka karta.

**Key words:** GIS, Geological data base, Needs assessment, Engineering geological map.

Razvoj informacijske tehnologije i geografskih informacijskih sustava (GIS-a) unio je značajne promjene u pristupu izradi geoloških karata (BONHAM-CARTER, 1997). U okviru GIS-a razvila se tzv. *kartografija iz baza podataka*. Za izradu digitalnih geoloških karata iz baza podataka neophodno je razviti geološki kartografski informacijski sustav, čije osnovne komponente su: (1) digitalne arhive (baze) geoloških podataka; i (2) procesi digitalnog kartiranja. GIS također nameće neophodnost standardizacije radi ukidanja nekonzistentnosti u smislu neujednačene terminologije za opis podataka i postupaka kartiranja (ASCH, 2003).

U posljednjem desetljeću, trendovi razvoja u geološkom kartiranju značajno su utjecali na istraživanja u nacionalnim geološkim institutima. U mnogim su geološkim institutima tradicionalne metode izrade analognih geoloških karata postupno zamjenjene novim digitalnim proizvodima. Izrada digitalnih geoloških karata u okviru opsežnijih projekata/programa pokrenuta je početkom 90-tih godina u većini geoloških instituta. Najpoznatiji svjetski primjeri su: NATMAP (*National Mapping Program*) Kanadskog geološkog instituta (BROOME et al., 1993); DMPS (*Digital Map Production System*) Britanskog geološkog instituta (LAXTON & BECKEN, 1996); i NGMDB (*National Geologic Map Database*) američkih federalnih geoloških instituta (SOLLER & BERG, 1995). U okviru navedenih projekata digitalna geološka karta više je no samo digitalna kopija konvencionalne geološke karte. Namjera je obuhvatiti podatke sadržane na karti i kreirati nacionalne digitalne geološke baze podataka radi ostvarivanja brojnih ciljeva. Osnovni ciljevi su: uspostavljanje baze podataka digitalnih geoloških karata; omogućavanje kontinuirane revizije karata ažuriranjem baze podataka; prikupljanje podataka u digitalnom obliku radi integracije s podacima iz drugih internih i eksternih baza podataka; izrada geoloških karata visoke kvalitete i jasnoće u skladu s normama koje definiraju format i način izrade karata. Projektiranje, izrada i održavanje nacionalnih geoloških baza podataka dugoročni su projekti u kojima sudjeluju multidisciplinarni timovi stručnjaka (geolozi, kartografi, informatičari raznih specijalnosti: analitičari sustava, projektanti baza podataka, GIS-eksperti i sl.) iz svih relevantnih institucija unutar određene zemlje. Na veličinu i značenje ovakvih projekata najbolje ukazuju financijska sredstva i ljudski potencijal potreban za njihovu realizaciju. JACKSON (1998) ističe da je u razvoj informacijskog sustava za izradu digitalnih geoloških karata (DMPS) u Britanskom geološkom institutu (BGS) u razdoblju od 1990. do 1992. godine uloženo

približno 2 milijuna £. Isti autor navodi da se, za potrebe korištenja GIS-a, broj zaposlenih u BGS povećao 30-ak puta (od 5 na više od 150 stručnjaka) u roku od desetak godina (od kasnih 80-tih do 1997.).

Zbog ogromnih ulaganja u GIS projekte, kao najvažnija aktivnost ističe se planiranje baze podataka. U fazama planiranja i projektiranja baza podataka najveći naponi ulažu se u utvrđivanje njezina sadržaja i strukture. Sve pojedinsti vezane za organizaciju podataka definiraju se modelom podataka, koji je kritičan element svake baze podataka, jer o njemu ovisi što će se moći predočiti na digitalnim geološkim kartama i kako će se informacije s karata kasnije moći koristiti. Modeli podataka digitalnih geoloških baza podataka danas su predmet znanstvenih istraživanja, budući da njihovo uspostavljanje iziskuje rekapitulaciju cijelog postupka izrade karata (BAIN & GILES, 1997; RICHARD, 1999). Kao posljedica toga, u okviru razvoja nacionalnih geoloških baza podataka, revidiraju se norme vezane za tradicionalno geološko kartiranje i uspostavljaju se brojne nove norme i upute (GILES et al., 1997). Osnovni sadržaj geoloških kartografskih baza podataka su geološki podaci potrebni za izradu litostratigrafskih karata (BROOME et al., 1993). Trend u razvoju ovih baza podataka je proširivanje sadržaja ostalim tipovima podataka (npr. fizičko-mehaničke značajke stijena) kako bi se omogućila izrada različitih vrsta karata s područja primijenjene geologije. Inženjerskogeološke kartografske baze podataka tako postaju sastavni dio geoloških baza podataka. Integracija svih tipova geoloških podataka u jedinstveni informacijski sustav proizlazi, s jedne strane, kao posljedica metodologije izrade karata, a s druge strane, kao odgovor na zahtjeve tržišta za kartografskim proizvodima. Inženjerskogeološke karte, kao specijalni tip geoloških karata, u osnovi se zasnivaju na interpretaciji geoloških podataka. Pojednostavljeno gledano, tehnika izrade inženjerskogeoloških karata može se svesti na dodjeljivanje inženjerskogeoloških opisa (interpretacije) geološkim objektima. Relativno jednostavan način prevođenja geoloških karata u inženjerskogeološke karte otvorio je geološkim institutima (kao nosiocima baza podataka) mogućnosti da na tržište ponude raznovrsne nove kartografske proizvode za širok spektar korisnika, od javnih ustanova do privatnih osoba.

U radu se prikazuje konceptualni model Nacionalne geološke karte Američkog geološkog instituta (NGMDB) s ciljem prezentacije neophodnih komponenti: (i) sadržaja i strukture (tzv. *gramatike geološke kartografske informacije*) za izradu konvencionalnih (tj. stratigrafskih) kara-

ta; (ii) *vokabulara* sa standardiziranom geološkom terminologijom; (iii) različitih kartografskih legendi na osnovi standardiziranih klasifikacijskih shema (litostratigrafskih, biostratigrafskih, kronostratigrafskih i geokronoloških; ANON., 1983) kao alata za kreiranje novih i prikaz postojećih karata. Na primjeru američkog modela podataka ilustrirane su mogućnosti povezivanja litostratigrafske i inženjerskogeološke baze podataka, načinjene na osnovi analize potreba za izradu inženjerskogeološke karte prema MIHALIĆ (2000). Svrha rada je dati osnovne smjernice za razvoj nacionalne geološke baze podataka, koje se ukratko mogu svesti na: preuzimanje konceptualnih modela podataka iz već postojećih baza podataka radi osiguravanja kompatibilnosti na međunarodnoj razini; razvijanje nacionalne terminologije u skladu s međunarodnim normama; neophodnost izrade jedinstvenog geološkog informacijskog sustava za pohranjivanje stratigrafskih i inženjerskogeoloških podataka, zbog omogućavanja izrade različitih tematskih geoloških karata iz istog sustava, ali i pohranjivanje svih geoloških podataka u jedinstveni sustav.

## Literatura

- ANON (1983): North American stratigraphic code. North American Commission on stratigraphic nomenclature.– Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull. 67/5, 841–875.
- ASCH, K. (2003): Maps, geologists and the impact of it: is there a need for digital geological standards?– In: ANGELELLI, A. et al. (eds.): Proc. 4th Europ. Congr. Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Vol. I, Bologna, 17–20 June, Bologna, 3–5.
- BAIN, K.A. & GILES, J.R.A. (1997): A standard model for storage of geological map data.– Computers & Geosciences, 23/7, 613–620.
- BONHAM-CARTER, G.F. (1997): Geographic Information Systems for Geoscientists. Modelling with GIS.– Pergamon, Oxford, 398 p.
- BROOME, J., BRODARIC, B., VILJOEN, D. & BARIL, D. (1993): The NATMAP digital geoscience data-management system.– Computers & Geosciences, 19/10, 1501–1516.
- GILES, J.R.A., LOWE, D.J. & BAIN, K.A. (1997): Geological dictionaries – critical elements of every geological database.– Computers & Geosciences, 23/6, 621–626.
- JACKSON, I. (1998): The application of GIS in the British geological survey.– In: ŽEPIČ, P. & JAGODIČ, A. (eds): Proc. Int. Conf. GIS for Earth Science Applications, Ljubljana, 17–21 May, 83–90.
- LAXTON, J.L. & BECKEN, K. (1996): The design and implementation of a spatial database for the production of geological maps.– Comput. Geosci. 22/7, 723–733.
- MIHALIĆ, S. (2000): Adjustment of Standards for Engineering Geological Mapping Using GIS (In Croatian).– PhD thesis, University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petrol. Eng., 226 p.
- RICHARD, S.M. (1999): Geologic concept modelling, with examples for lithology and some other basic geoscience features.– In: SOLLER, D.R. (ed.). Proc Workshop on Digital Mapping Techniques '99, US Geol. Survey Open-File Report 99–386, Available at: <http://pubs.usgs.gov/openfile/of99-386/>, 59–75.
- SOLLER, D.R. & BERG, T.M. (1995): Developing the national geologic map database.– Geotimes, 40/6, 16–18.

## Zoniranje po opasnosti od klizanja na području sliva potoka Starča (Samoborsko gorje)

### Landslide Hazard Zonation of Starča Basin (Mt. Samoborsko Gorje)

Snežana Mihalić<sup>1</sup> & Tatjana Vujnović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: smihalic@rgn.hr

<sup>2</sup> Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje, Slani Dol 1, HR-10430 Samobor, Hrvatska

**Ključne riječi:** zoniranje hazarda klizanja, procjena hazarda, karta klizišta, faktori klizanja.

**Key words:** Landslide hazard zonation, Hazard assessment, Landslide map, Landslide factors.

Procjena opasnosti od klizanja u svrhu izrade karata hazarda klizanja (tzv. zoniranja po opasnosti od klizanja) predmet je istraživanja u okviru geoloških znanosti posljednjih tridesetak godina (VARNES, 1984). Razvoj GIS-a (geografskog informacijskog sustava) značajno je unaprijedio metodologiju izrade ovih karata (VAN WESTEN et al., 1997) koja je, usprkos tome, i danas predmet stručnih i znanstvenih istraživanja i u zemljama gdje takva istraživanja imaju dugu tradiciju (CARRARA et al., 2003). Razlog za to je prognostički karakter analize hazarda i varijabilnost vrsta i detaljnosti ulaznih podataka, ovisno o specifičnim lokalnim uzrocima klizanja i mjerilu karte hazarda klizanja. Metode izrade karata hazarda razlikuju se s obzirom na tipove analize, o čemu izravno ovisi i vrsta informacija prikazanih na karti (MIHALIĆ, 1998). Svim metodama, kojima se određuje gdje su područja ugrožena klizištima, zajednički je konceptualni model koji se sastoji od: kartiranja postojećih klizišta; identifikacije i kartiranja niza geološko–morfoloških faktora, tj. uzroka klizanja; procjene relativnog utjecaja svakog pojedinog faktora na klizanje; i klasifikacije cijelog područja na zone hazarda klizanja (CARRARA et al., 1995). Prema istom autoru, u mnogim procjenama hazarda klizanja ulazni podaci za analize su neprikladni u smislu njihove točnosti, konzistencije i ažurnosti. To je uglavnom posljedica visoke cijene dobivanja ulaznih podataka odgovarajuće rezolucije i pouzdanosti, tako da se tehnike racionalnog prikupljanja ulaznih podataka još uvijek istražuju na međunarodnoj razini.

Na području sliva potoka Starča (veličine 12,25 km<sup>2</sup>) u Samoborskom gorju prikupljeni su ulazni podaci za procjenu hazarda klizanja: podaci o klizištima i podaci o geološko–morfološkim faktorima klizanja. Svrha prikupljanja podataka bila je identifikacija uzroka klizanja u naseljenom području, izgrađenom od pliokvartarnih i neogenskih naslaga, za potrebe analize hazarda klizanja u detaljnom mjerilu 1:5.000.

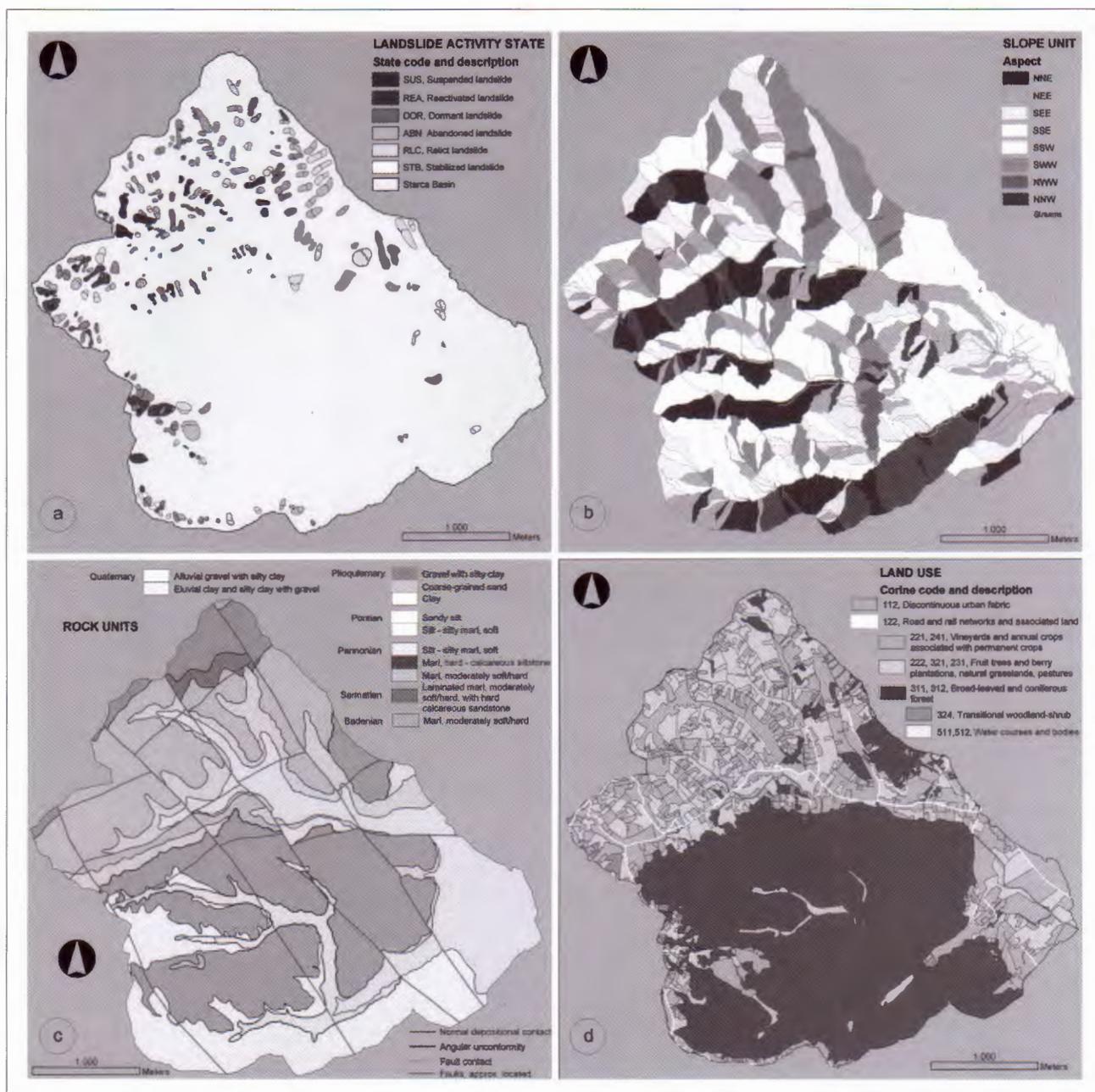
Prikupljanje ulaznih podataka sastojalo se od: izravnog kartiranja klizišta na terenu u mjerilu 1:5.000; izrade lito–loške karte prema detaljnoj litostratigrafskoj klasifikaciji u mjerilu 1:5.000 (VRSALJKO, 2003); izrade hidrogeološke karte prema površinskim pojavama vode i dubinama do podzemne vode mjerenim u seoskim bunarima; izrade karata nagiba i orijentacije padina iz digitalnog modela terena točnosti 5 m; izrade karte namjene zemljišta iz ortofoto snimaka i topografskih karata. Za sve ulazne tematske karte načinjene su kartografske baze podataka u Arc

Map programu. Iz osnovnih tematskih slojeva izvedene su: karta klizišta prema stanju aktivnosti; karta nagiba padina; karta orijentacije padina; lito–loška karta; karta sa zonama različite udaljenosti od geoloških granica i rasjeda; karta s izdvojenim vrstama stijena s obzirom na stupanj zasićenosti naslaga; i karta namjene zemljišta. Identifikacija faktora klizanja provedena je univarijantnim statističkim metodama, računanjem uvjetne vjerojatnosti klizanja za svaku klasu pojedinog faktora klizanja. Rezultat statističke analize je relativan utjecaj klasa faktora klizanja na pojavu klizišta.

Univarijantne statističke metode omogućile su kvantitativno određivanje geološko–morfoloških i antropogenih uvjeta u okolišu koji doprinose nestabilnosti, odnosno stabilnosti padina na području sliva potoka Starča. Dobivene podatke moguće je izravno koristiti za zoniranje hazarda klizanja na području istog sliva, ali i za izradu konceptualnog modela procjene hazarda klizanja u detaljnom mjerilu (1:5.000) za urbana područja iste geološke građe, i to prvenstveno za područje grada Zagreba.

#### Literatura

- CARRARA, A., CARDINALI, M., GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P. (1995): GIS-based techniques for mapping landslide hazard.– Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Academic Pub., Dordrecht, the Netherlands.
- CARRARA, A., CROSTA, G. & FRATTINI, P. (2003): A multivariate model for predicting debris-flow source in Valsassina (Central Alps).– Proc. 4th Europ. Congr. on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems. Bologna, 17–20. July 2003.
- MIHALIĆ, S. (1998): Recommendations for landslide hazard and risk mapping in Croatia.– Geol. Croat., 51/2, 195–204, Zagreb.
- VAN WESTEN, C.J., RENGERS, N., TERLIEN, M.T.J. & SOETERS, R. (1997): Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation.– Geol. Rundsch., 86, 404–414.
- VARNES, D.J. (1984): Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice.– Natural Hazards, 3, UNESCO, Paris, 63 p.
- VRSALJKO, D. (2003): Biostratigrafija miocenskih naslaga Žumberačkog i Samoborskog gorja na temelju mekušaca.– Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno–matematički fakultet, Zagreb.



Sl. 1 Tematski GIS slojevi: (a) karta klizišta; (b) karta orijentacije padina s površinskim tokovima; (c) geološka karta; (d) karta namjene zemljišta.

Fig. 1 Thematic GIS layers: (a) landslide map; (b) slope aspect map with surface streams; (c) geological map; (d) land use map.

## Model klizišta u naslagama pontana na području Medvednice Landslides Model for Pontian Deposits on Medvednica Mt.

Željko Miklin<sup>1</sup>, Ozren Sorić<sup>2</sup> & Mario Dolić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: zmiklin@igi.hr

<sup>2</sup> Geotehnički studio, Nikole Pavića 11, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** inženjerskogeološki model, geotehnički model, donji i gornji pont.

**Key words:** Engineering geological model, Geotechnical model, Lower and Upper Pontian.

Područje istraživanja obuhvaća Medvednicu s pribrežjem koje pripada jugozapadnim gorskim jezgrama Panonskog bazena. Geološkom građom, kao osnovnim prirodnim preduvjetom terena, predodređeni su i različiti tipovi nestabilnosti. Naslage pontana opasuju u uskoj zoni Medvednicu i u njima se javlja karakteristični tip klizanja. Distribucija klizišta na Medvednici jasno ocrtaava zonu koja kronostratigrafski pripada rasponu donji–gornji pont.

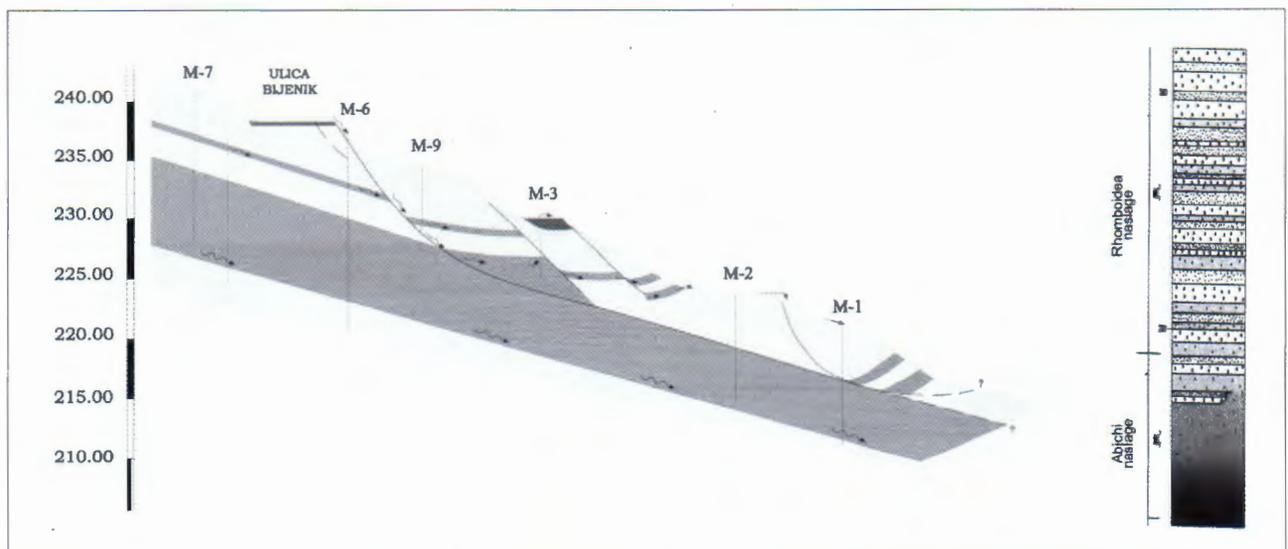
Istraživano područje površine 396,8 km<sup>2</sup> ima registrirana 333 klizišta (MIKLIN & DOLIĆ, 2003) što iznosi 0,8 klizišta po km<sup>2</sup>. Naslage donjeg i gornjeg pontana opasuju Medvednicu od Perjavice i G. Vrapča na zapadu do Prekvršja i Kašine na istoku, te zauzimaju površinu 36,9 km<sup>2</sup>. Na tom području registrirano je 159 klizišta, što iznosi 4,3 klizišta po km<sup>2</sup> (MATKOVIĆ et al., 1995).

Naslage donjeg pontana (Abichi naslage – M<sub>7</sub><sup>1</sup>) i gornjeg pontana (Rhomboidea naslage – M<sub>7</sub><sup>2</sup>) zastupljene su geološkim jedinicama Medvedski Breg i Andraševac. Jedinica Medvedski Breg (okolica Čučerja) u većini odgovara naslagama donjeg pontana, a sastoji se od facijesa masivnih lapora i facijesa građuiranih klastita (KOVAČIĆ, 2004). U podini facijesa su masivni lapori, a prema mlađim naslagama postupno se smanjuje postotak karbonatne uz istovremeno povećanje glinovite i siltozne komponente. Lapori

donjeg dijela geološkog stupa su debelo uslojeni, tvrdi, bioturbirani, često kuglastog lučenja. Lapori iz gornjeg dijela geološkog stupa su horizontalno laminirani, mekši i siltni, dok krovinu čine proslojci pijeska ili silta. Ukupna debljina ovih naslaga je od 120–160 m. Jedinicu Andraševac dijelom izgrađuju mlađe naslage donjeg pontana. Većina naslaga gornjeg pontana, sastoji se od laporovito-siltoznih i pjeskovitih sedimenata grupiranih u 4 facijesa.

Laminirani pijesci sastoje se od pješćanih tijela čija se debljina kreće od 0,3–25 m. Pijesak je sitni ili prašinst, srednje do dobro sortiran. U vršnom dijelu je srednje zrnat, može biti horizontalno do koso laminiran, uslojen ili masivan. Najčešći su horizontalno laminirani pijesci debljine od 0,3–2 m. Koso laminirani pijesci debljine 10–40 cm izmjenjuju se s horizontalno laminiranim pijescima, izuzetno bogatim tincima. Kosi slojevi zapunjavaju erozijske kanale. Uslojeni ili masivni pijesci nastaju uslijed destrukcije primarne laminacije uzrokovane bioturbacijom ili likvefakcijom. Česta laminacija je prikrivena izrazito brzom sedimentacijom dobro sortiranog i ujednačeno obojenog pijeska.

Na južnim padinama Medvednice primjećena je velika sličnost klizišta (MIKLIN et al., 2003) u više inženjerskogeoloških parametra. Razmatrana je stratigrafska pripra-



Sl. 1 Inženjerskogeološki model klizišta u naslagama gornjeg i donjeg pontana, i kompilacijski stup jugozapadnog dijela Medvednice.

Fig. 1 Engineering geological landslides model in Lower and Upper Pontian, and compiled geological column on south-west part of Medvednica Mt.

dnost naslaga, mehanizam klizanja, tip klizanja, tip pokrenutog materijala, odnos prema strukturi padine i nagib padine. Podudarnost ovih parametrima iznosi 85–90%.

Izdvojena klizišta su u istom kronostratigrafskom rasponu donji–gornji pont. Iz litostratigrafskog pregleda vidljivo je da se na cijelom području izmjenjuju generalno uzevši dva tipa naslaga: propusne pješčano-siltozne i nepropusne glinovito-laporovite naslage. Kombinacija ovih dviju inženjerskogeoloških sredina stvaraju preduvjete za otvaranje klizišta. Zajedničko većini klizišta je da se javlja u matičnoj stijeni, u istovrsnom su materijalu s približno kružnociлиндриčnim oblikom klizne plohe. Razvoj klizišta je retrogresivni (delapsivni), tj. klizna ploha napreduje u smjeru suprotnom od klizanja. Prema dubini klizanja klizišta su plitka s kliznom plohom na dubini od 1 m do 5 m. Klizanje se događa na padinama pod kutom od 5–12° i u kraćem vremenskom razmaku (do 24 sata) (JURAK et al., 1998).

Visoka razina podzemne vode i njezino tečenje niz padinu s nepropusnom podlogom od mjesta višeg prema mjestu nižeg potencijala dovelo je do dodatnih napona u tlu koji smanjuju otpornost tla na smicanje. Pad mehaničkih karakteristika materijala koji izgrađuju padinu na rezidualne vrijednosti rezultirao je klizanjem površinske zone padine. Strujanje podzemne vode događa se u materijalima s većim koeficijentom filtracije, te nepovoljno utječe na stabilnost jer se smanjuje otpornost tla na smicanje. Osim navedenih prirodnih utjecaja, ljudskim djelovanjem bitno su povećani i ubrzani procesi pomicanja tla. Na području koje izgrađuju naslage ponta registriran je daleko veći postotak klizišta nego na ostatku terena (izuzev područja koje je izgrađeno od naslaga pliokvartara, ali mehanizam kretanja je ovdje drugačiji). Istražnim radovima ustanovljeno je da je model nestabilnosti na tom području ima niz zajedničkih točaka, koje omogućuju modeliranje klizišta i unaprijed određivanje načina sanacije padine.

Većina klizišta nalazi se u urbanim područjima, pa zbog toga odabir tehničkih rješenja treba tražiti u okviru vrlo kompleksnih metoda. Osim zadovoljenja tehničkih uvjeta sanacije rješenje treba uskladiti i s infrastrukturnim, ekološkim, estetskim, urbanističkim i inim zahtjevima.

## Literatura

- JURAK, V., MATKOVIĆ, I., MIKLIN, Ž. & CVIJANOVIĆ, D. (1998): Landslide hazard in the Medvednica submountain area under dynamic conditions.– Geotechnical hazards, 827–835. Proc. XI<sup>th</sup> Danube–European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Poreč, Croatia, May 25–29, 1998. A.A. Balkema.
- KOVAČIĆ, M. (2004): Sedimentologija gornjomiocenskih naslaga jugozapadnog dijela Panonskog bazena.– Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.
- MATKOVIĆ, I., JURAK, V. & MIKLIN, Ž. (1995): Inventories of unstable slopes and landslides in the Zagreb region (In Croatian).– Proc. of Second Conf. of the CSSMFE. Geotechnical Engineering in Cities, 367–376, Varaždin.
- MIKLIN, Ž., JURAK, V., SLIŠKOVIĆ, I. & DOLIĆ, M. (2003): Geotechnical hazard evaluation of the Medvednica Nature Park.– RMZ Materials and Geoenvironment periodical for Mining, Metallurgy and Geology. Groundwater in Geological Engineering, 241–245, 22–26 September 2003, Bled, Slovenija.
- MIKLIN, Ž. & DOLIĆ, M. (2003): Studija aktivnih ili mogućih klizišta i odrona, pojačane erozije, te pretežno nestabilnih područja u Parku prirode Medvednica.– Archive of the Institute of Geology, Zagreb.

## Atmospheric Lead Pollution of Croatian Mountain Karst: Geochemical Mapping and Lead Isotope Evidence

Slobodan Miko<sup>1</sup>, Martina Šparica Miko<sup>1</sup>, Zoran Peh<sup>1</sup>, Saša Mesić<sup>1</sup>, Ozren Hasan<sup>1</sup> & Dragan Bukovec<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Croatian Geological Survey, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Croatia; e-mail: smiko@igi.hr

<sup>2</sup>Croatian Natural Museum, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Croatia

**Key words:** Lead, Pollution, Topsoil, Geochemical mapping, Lead isotope ratios.

High lead concentrations in soils of Croatian karst occur on the sharp geomorphological boundary where the Mediterranean climate abruptly changes into a cold continental climate. These were determined by geochemical baseline mapping of the topsoil cover in the Croatian karst regions of Istria, Gorski kotar, Kvarner and Lika which was performed through the analysis of over 800 sampling sites. A total of 25 major and trace elements, including Mo, Cd, Pb, Zn, As, Ni, Cu, and Co, was analyzed by ICP–AES and Hg by FAAS. Lead isotope ratios were determined on selected soil and sediment profiles by ICP–MS.

The patterns of geochemical distributions of Pb, Hg, Cd, and total S in topsoil indicate anomalous concentrations in the Gorski kotar and Velebit Mountain regions. The anomalies (especially Pb) overlap with the contours of mean annual precipitation of more than 2500 mm, indi-

cating an association of these elements with airborne contamination (MIKO et al., 2001). The Gorski kotar region of the Dinaric Alps is one of the most anomalous wet zones, which exhibits the highest mean precipitation values in the mesoscale climatology of the Alpine region. The detected high Pb contents and their spatial distribution in topsoil obtained during the geochemical baseline survey of topsoil in Croatia are in correspondence with precipitation anomalies (Fig. 1). The most striking difference is expressed by Pb in samples taken at altitudes higher than 1000 m above sea level, where most samples have concentrations above 80 mg/kg, which is almost twice the median content of lead (38 mg/kg) in the whole region. Detailed studies of the Pb distribution in the soil profiles showed concentrations of lead in remote regions up to 200 mg/kg<sup>-1</sup> in the upper 4 cm of the soil profiles.

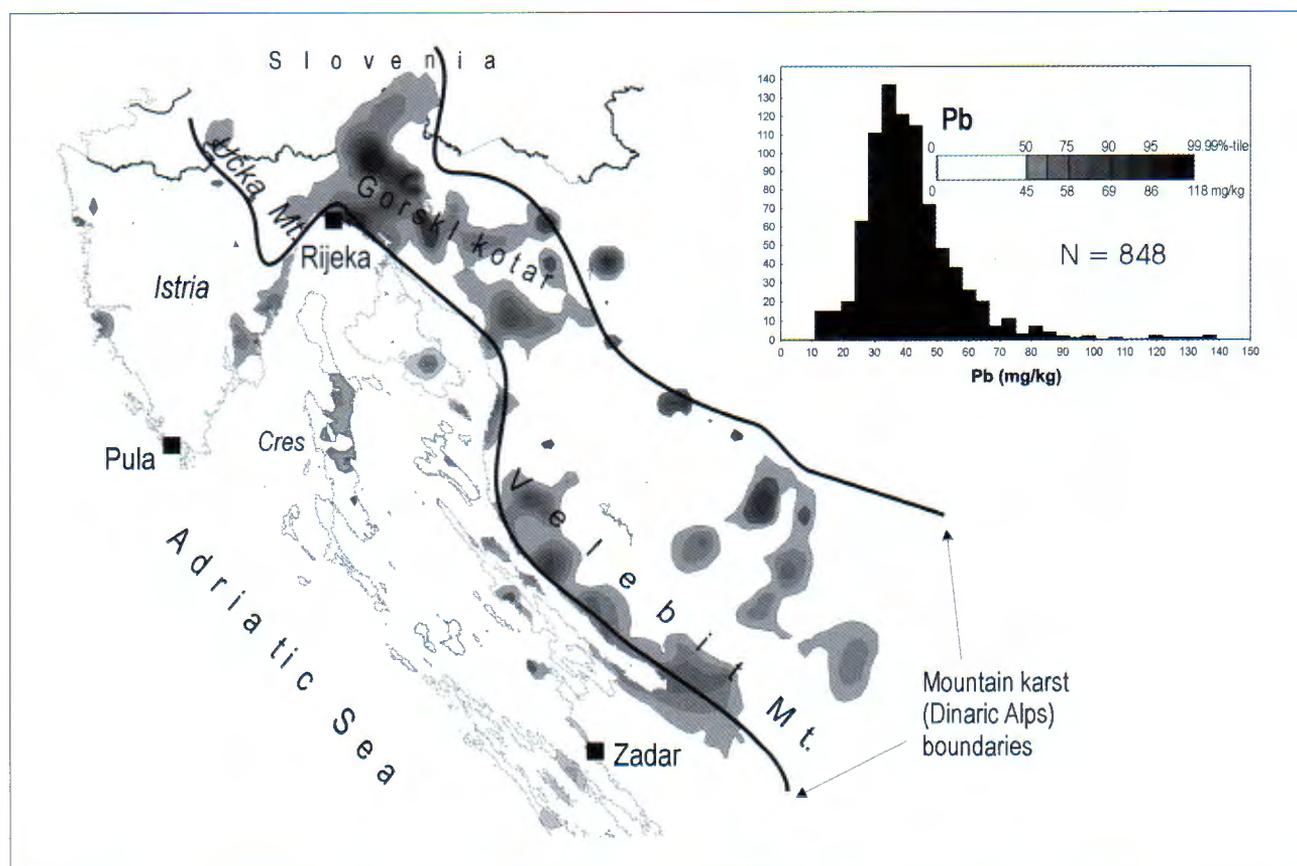


Fig. 1 The distribution of elevated Pb concentrations in topsoil, which follows the distribution of high mean precipitation values (>2000 mm) in the Croatian Dinaric Alps.

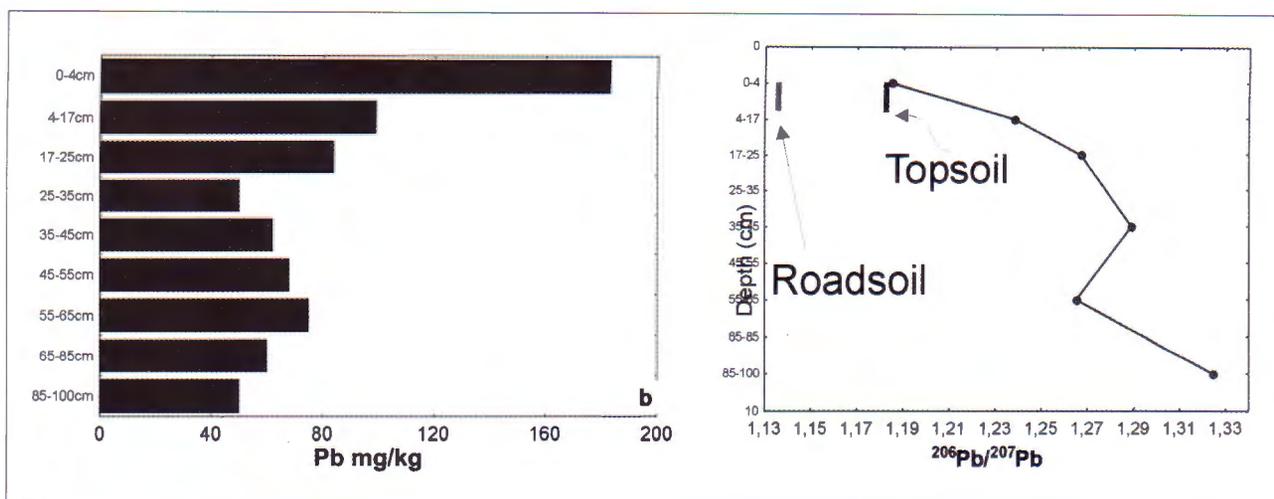


Fig. 2 Distribution of total lead and lead isotope ratios in an acid soil profile (pH 3.5 in topsoil to pH 5 in subsoil) from Gorski kotar.

The isotopic ratio  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  in all topsoil samples (0–10 cm depth), from both remote sites and those close to major roads, has a narrow range from 1.18 to 1.185 despite that samples taken at depths of >25 cm show a much wider range (from 1.21 to 1.32).

Roadside and sinkhole soils that are under the direct influence of road waste-waters have  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ratios ranging from 1.125 to 1.14 indicating a direct influence of petrol-lead. The studied profiles from sinkholes in the areas with highest annual precipitation show that the highest lead concentrations are restricted to the top 4 cm of the soil cover.

Water extractable Pb concentrations from up to  $727 \mu\text{gL}^{-1}$  in the top horizons usually decrease to less than  $5 \mu\text{gL}^{-1}$  at depths below 25 cm. Lead isotopes were also used to calculate anthropogenic sources of Pb and the depth of Pb migration in the soil profiles (Fig. 2). Calculated enrichment factors based on the metal/Sc ratios indicate that all analyzed soil profiles are polluted with lead to the depth of 25 cm.

Based on a simple mixing model (FARMER et al., 1997) the calculated lead isotope ratios  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  indicate that more than 50% of anthropogenic lead in top soil is derived from petrol combustion. The calculated anthropogenic Pb lead isotope ratios  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  of topsoils range from 1.125 to 1.137 and are similar to the average composition of modern European aerosols ratio of 1.13 (BOLLHÖFER & ROSMAN, 2001).

The isotopic ratio  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  in all topsoil samples from both remote sites and those close to major roads has a narrow range from 1.18 to 1.185. Samples taken at depths of 1 m show a much wider range from 1.21 to 1.32. Roadside and sinkhole soils have  $^{206}\text{Pb}/^{207}\text{Pb}$  ratios from 1.125 to 1.14, which is an indication of direct influence of petrol derived lead.

## References

- BOLLHÖFER, A. & ROSMAN, K.J.R. (2001): Isotopic signatures for atmospheric lead: The Northern Hemisphere.– *Geochim. Cosmochim. Acta*, 65, 1727–1740.
- FARMER, J.G., MACKENZIE, A.B., SUGDEN, C.L., EDGAR, P.J. & EADES, L.J. (1997): A comparison of the historical lead pollution records in peat and freshwater lake sediments from central Scotland.– *Water Air Soil Pollut*, 100, 253–270.
- MIKO, S., PEH, Z., BUKOVEC, D., PROHIĆ, E. & KASTMÜLLER Ž. (2000): Geochemical baseline mapping and lead pollution assessment of soils on karst in Western Croatia.– *Natura Croatica*, 9/1, 41–59.

## Primjena georadara u istraživanju krša – primjer s vijadukta Božići, dionica Tunel Sv. Rok–Maslenica

### Application of GPR in Karst Exploration – An Example from Božići Viaduct, Section Tunnel Sv. Rok–Maslenica

Olinka Mirković & Tomo Novosel

Institut građevinarstva Hrvatske, Rakušina 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: olinka.mirkovic@igh.hr

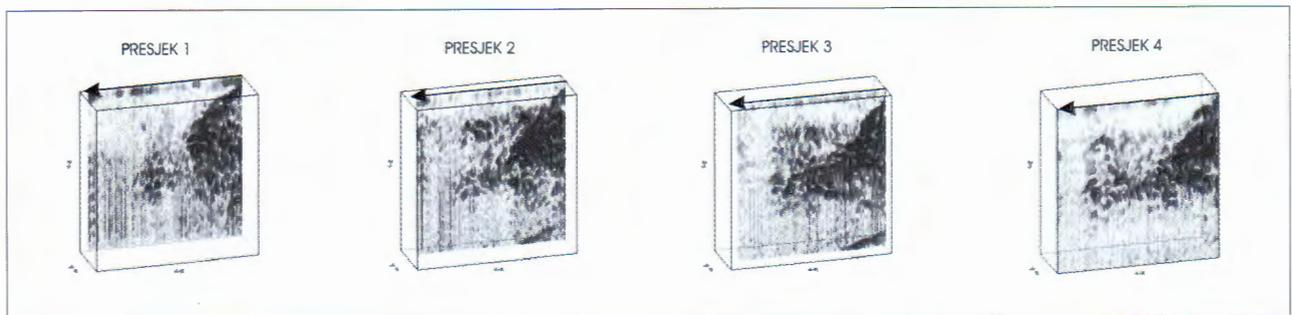
**Ključne riječi:** georadar, istraživanje krša.  
**Key words:** Ground Penetrating Radar, Karst exploration.

#### Princip rada georadara

Ispitivanje georadarom je nedestruktivna geofizička metoda koja kao rezultat mjerenja daje uzdužni, kontinuirani presjek podzemlja. Antenom–predajnikom se u tlo odašilju visokofrekventni elektromagnetski valovi (25 MHz do 2 GHz). Dio emitirane energije reflektira se od dielektričnih diskontinuiteta (podzemnih objekata i tla različitog sastava). Reflektirane valove prima antena–prijemnik i sistem ih pohranjuje u digitalnom obliku na prijenosno računalo.

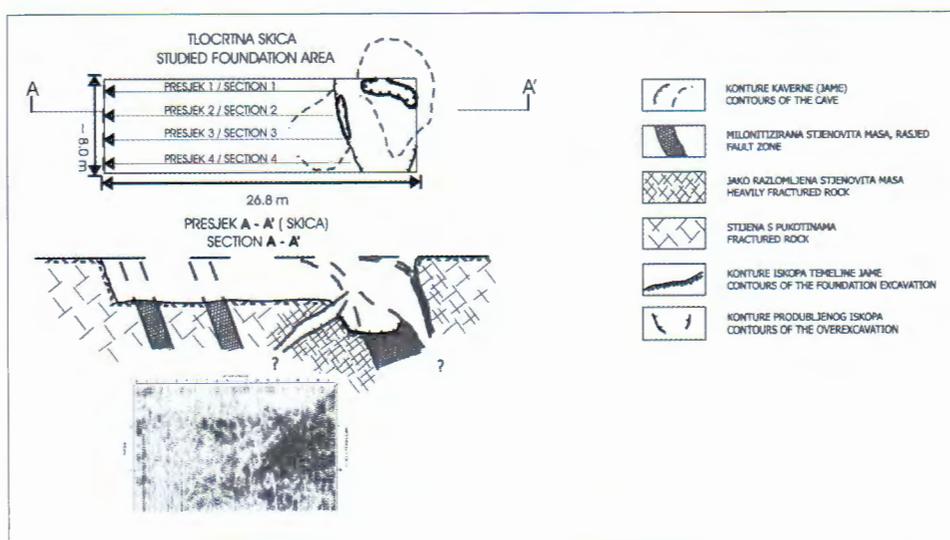
#### Mjerenje

Prilikom izvođenja građevinskih radova na lokaciji vijadukta “Božići”, dionice Tunel Sveti Rok–Maslenica, Jadranske autoceste, primijećeno je postojanje krških fenomena (jama). Radi njihovog točnog lociranja te mogućnosti postojanja još neotkrivenih sličnih fenomena izvršeni su geofizički istražni radovi. Unutar temeljne jame upornjaka U1 izmjerena su četiri paralelna georadarska presjeka korištenjem antene od 100 Mhz (sl. 1). Točan prostorni raspored presjeka prikazan je na tlocrtnoj skici na sl. 2.



Sl. 1 Četiri paralelna georadarska presjeka izmjerena u temeljnoj jami U1. Tamnija boja ukazuje na raspucalu stjenovitu masu i gornju konturu evidentirane šupljine.

Fig. 1 Four parallel GPR profiles made in foundation area U1. Dark color indicates fractured rock and upper contour of the cave.



Sl. 2 Usporedni prikaz obrađenog georadarskog presjeka s tlocrtom i skicom presjeka temeljne jame.

Fig. 2 Simplified map of studied foundation area, schematic diagram of the cross section, and the processed GPR profile.

### Obrada i prikaz rezultata

Podaci su obrađeni AGC pojačanjem primljenog signala te filtriranjem u frekventnom pojasu radi odstranjivanja smetnji i šumova. Tako pripremljeni rezultati prikazani su na sl. 1. Da bi se jače istakle zone stjenovite mase lošije

kvalitete, u prikazu je dana anvelopa amplituda reflektiranog signala. Tamnija boja ukazuje na raspucalu stjenovitu masu i gornju konturu evidentirane šupljine. Na sl. 2 dan je usporedni prikaz obrađenog georadarskog presjeka, ovog puta sa standardnim prikazom amplitude, s tlocrtom i skicom presjeka temeljne jame.

## Utjecaj temperature podzemne vode na geoelektričnu otpornost u karbonatnim vodonosnicima na primjeru Harine Zlake – Hrvatsko zagorje

### The Influence of Groundwater Temperature on Electrical Resistivity in Carbonate Aquifers in Harina Zlaka – Hrvatsko Zagorje

Vinko Mraz<sup>1</sup> & Marijan Krsnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: vinko.mraz@igi.hr

<sup>2</sup>Institut građevinarstva Hrvatske, Rakušina 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** podzemna voda, temperatura, geoelektrična otpornost.  
**Key words:** Groundwater, Temperature, Electrical resistivity.

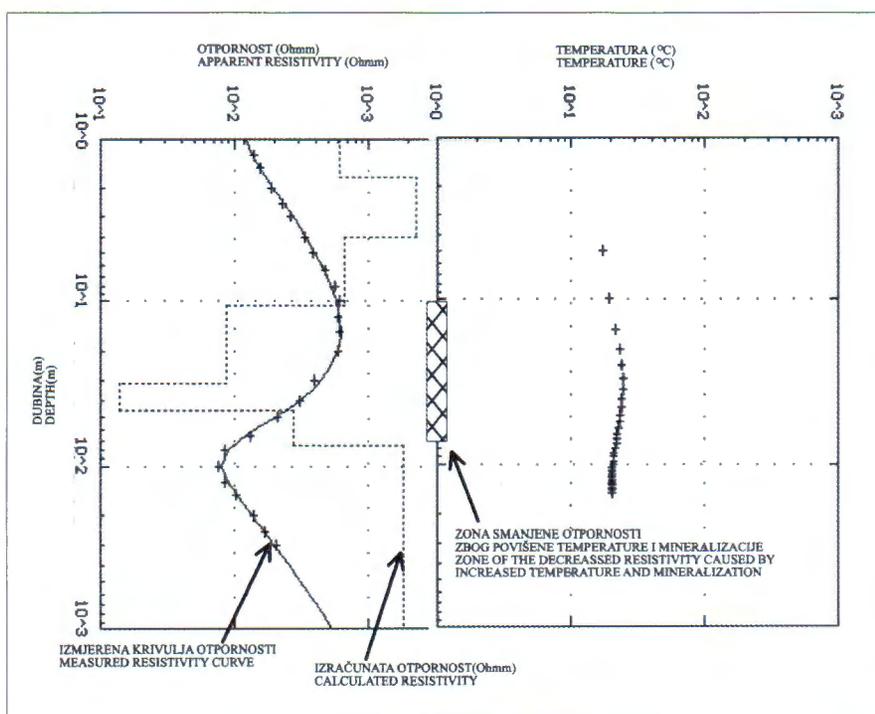
Hidrogeološki i geofizički istražni radovi provedeni na odabranim lokalitetima Košničke gore i Harine Zlake nastavak su istraživanja karbonatnih vodonosnika za potrebe vodoopskrbe ovog dijela Hrvatskog zagorja. Ova se istraživanja provode sustavno već niz godina od strane Instituta za geološka istraživanja i Instituta građevinarstva Hrvatske.

Istraživanjima gorskih masiva Kuna gore, Desiničke gore, Strahinjščice i Ivanščice dokazano je da se najznačajnije količine podzemnih voda akumuliraju u trijaskim karbonatnim stijenama – dolomitima, dolomitnim brečama i vapnencima. Razlomljenost i okršenost ovih karbonatnih stijena, kao posljedica intenzivne tektonske aktivnosti tijekom geološke prošlosti, omogućuje infiltraciju u podzemlje i formiranje plićih i dubokih vodonosnika hladnih i termalnih voda.

Shodno dosadašnjim saznanjima i postignutim rezultatima istražnih radova na širem području Hrvatskog zagorja provedena su hidrogeološka i geofizička istraživanja na području Harine Zlake (KRSNIK & MRAZ, 1997).

Istraživano područje Harina Zlaka–Bojačno krajnji je zapadni nastavak masiva Koštruna i Košničke gore neposredno uz hrvatsko–slovensku granicu na rijeci Sutli. Hidrogeološkim kartiranjem izdvojeni su vodonepropusni permotrijaski klastiti (P,T), slabo propusni do nepropusni srednjetrijski vulkanogeno–sedimentni kompleks (T<sub>2</sub>), koji se sastoji od dolomita s izmjenom glinovitih vapnenaca, šejlova i pješčenjaka s probojima i intruzijama andezito–bazalta i tufova, te vodopropusne srednje do gornjetrijske (T<sub>2,3</sub>) karbonatne stijene – dolomite, breče i vapnence.

Izmjerene otpornosti u karbonatnim vodonosnicima Hrvatskog zagorja pretežito imaju vrijednosti od 300–400 do 800–1000 i više ohmm (KRSNIK & MRAZ, 2000). Pri interpretaciji podataka mjerenja geoelektrične otpornosti na lokalitetu Harine Zlake uočena je izrazita disperzija vrijednosti otpornosti, kako lateralno tako i dubinski, odnosno bilo je teško interpretirati i korelirati međusobno bliske geofizičke sonde. Pretpostavljeno je da, uz litološku raznolikost i tektonsku poremećenost naslaga, i saturira-



Sl. 1 Grafički prikaz ovisnosti promjena otpornosti o temperaturi podzemne vode u Harinoj Zlaci.

Fig. 1 Interpretation of electrical resistivity and temperature sounding data in Harina Zlaka.

nost tektonski razlomljenih zona karbonatnih stijena vodom povišene temperature i mineralizacije također utječe na smanjenje vrijednosti geoelektrične otpornosti.

Poznato je da je do šezdesetih godina prošlog stoljeća u Harinoj Zlaci uz Sutlu egzistirao prirodni izvor termalne vode s temperaturom od 32,8°C (MIHOLIĆ, 1940). U okviru geološkog kartiranja zapadnog dijela Hrvatskog zagorja od strane Instituta za geološka istraživanja iz Zagreba tijekom 1959–1960. godine, izmjerena je temperatura “termomineralnog” vrela u Harinoj Zlaci od 30°C (JENKO & JAGAČIĆ, 1962). Izvor je presušio kad je počela eksploatacija termalne vode iz bušotina koje su zahvatile trijaski karbonatni vodonosnik za potrebe “Atomskih toplica” u Podčetrtku s druge strane Sutle.

Neposredno uz nekadašnje termalno vrelo locirana je geoelektrična sonda GS-16. Interpretacijom mjerenih podataka dobivene su niske vrijednosti otpornosti od 14, 87 i 275 ohmma u intervalu od približno 10–75 m (sl. 1). Pretpostavljeno je da je u tom dijelu karbonatna stijena saturirana termalnom vodom koja je znatno smanjila geoelektričnu otpornost (KRSNIK & MRAZ, 1997). Ispod tog intervala izmjereni su visoke otpornosti od 1800 ohmma.

Ova pretpostavka potvrđena je izvedbom istražno-eksploatacijske bušotine HZL-1. Bušotina je prošla cijelim profilom do dubine bušenja od 151 m kroz dolomite i vapnenačko-dolomitne breče, mjestimice jače razlomljene. Gornji dio bušotine do dubine od 74 m zaštićen je kolonom promjera 311 mm, a donji interval do dna bušotine nije zacjevljen. Razina podzemne vode u bušotini oscilira od 2.5–3.5 m ispod kote terena, ovisno o uključenju crpke u nedalekom bunaru u Toplicama Podčetrtek. Tijekom pokusnog crpljenja s izdašnošću  $Q=45$  l/s temperatura vode na ušću bušotine varirala je od 19°C do 20°C (SVETINA, 1998).

Mjerenje temperaturnom sondom u bušotini potvrdilo je da je u intervalu smanjene geoelektrične otpornosti povišena temperatura vode. Manje vrijednosti geoelektričnih otpornosti podudaraju se s intervalom od približno 15–75 m u kojem je izmjerena temperatura podzemne vode od 21,6°C do 24,6°C. U toj zoni, uslijed dotoka termalne vode, dolazi do porasta temperature podzemne vode plićeg vodonosnika. Ispod intervala intenzivnijeg dotoka termalne vode do dna bušotine temperatura vode se smanjuje do 20,5°C (sl. 1).

## Literatura

- JENKO, K. & JAGAČIĆ, T. (1962): Rezultati geološkog kartiranja W dijela Hrvatskog zagorja.– Fond str. dok. Inst. za geol. istraživanja, Zagreb.
- KRSNIK, M. & MRAZ, V. (1997): Geofizički i hidrogeološki istražni radovi Košnička gora–Harina Zlaka.– Fond str. dok. Inst. za geol. istraživanja, Zagreb.
- KRSNIK, M. & MRAZ, V. (2000): Pregled rezultata vodoistražnih radova u Krapinsko–zagorskoj županiji.– 2. Hrv. geol. kongres, Cavtat–Dubrovnik, Zbornik radova, 649–651, Zagreb.
- MIHOLIĆ, S. (1940): Kemijska analiza termalnih vrela u Hrvatskom zagorju.– Rad Jug. akad. znan. umjetn., 267, 195–215, Zagreb.
- SVETINA, B. (1998): Izvješće o vodoistražnim radovima Harina Zlaka 1998.– Fond str. dok. Inst. za geol. istraživanja, Zagreb.

## Vodoistražni radovi na otoku Olib The Water Investigations on the Island Olib

Boris Munda & Natalija Matic

*Geoqua d.o.o., Hanamanova 16a, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: geoqua@email.htnet.hr*

**Ključne riječi:** krš, podzemna voda, odnos slana i slatka voda, kakvoća podzemne vode, pokusno crpljenje, otok Olib, Hrvatska.

**Key words:** Karst, Underground water, Salt–fresh water relation, Underground water quality, Pumping test, Olib island, Croatia.

### Uvod

Predmet istraživanja je pridobivanje podzemne vode za javnu vodoopskrbu i gospodarski razvoj otoka Oliba koji je naseljen malim brojem stalnog stanovništva. Radi velike udaljenosti neracionalno je do njega dovoditi vodu s kopna.

Otok Olib pripada zadarskoj skupini otoka. Zapadno od Oliba nalazi se otok Silba, na jugu otoci Ist i Molat, a sjeveroistočno otok Pag i u nastavku velebitski masiv. Površina otoka Oliba je 26,14 km<sup>2</sup>, a dužina obalne linije 33,34 km. Najviša kota otoka je vrh Kalac visine 73,5 mm. Teren je prekriven šumom i makijom u kojoj prevladava mediteranski hrast, crnika. Procijenjena količina oborina za otok Olib iznosi oko 800 mm/god.

Prema Osnovnoj geološkoj karti M 1:100.000 lista Silba otok Olib pripada strukturno-tektonskoj jedinici zadarski otoci (MAMUŽIĆ et al., 1970). Istraživano područje izgrađuje kredna antiklinala čija su krila blago nagnuta, a u tjemenu je blago borana. Bora je dinarskog pravca pružanja s dominantnim rasjedima pružanja SZ–JI. Stukturno-tektonska jedinica ispresjecana je poprečnim i podređeno dijagonalnim rasjedima. Na osnovi obavljenih terenskih istraživanja izdvajaju se tri litostratigrafske jedinice: 1) izmjena vapnenaca i dolomita cenomanske i donjoturanske starosti (K<sub>2</sub><sup>1,2</sup>), relativno dobro razvijene okršenosti, 2) rudistni vapnenci gornjoturanske i senonske starosti (K<sub>2</sub><sup>2,3</sup>), okršeni, i 3) zemlja crvenica i humusni pokrivač kvartara (Q) (MUNDA & TRUTIN, 2003).

Vodoistražni radovi izvedeni su u više faza. Geološki i hidrogeološki radovi I faze izvedeni su tijekom 2001. godine (Geofizika d.d., Zagreb). Analizom izvedenih istraživanja izdvojena su tri područja na otoku koja ukazuju na perspektivnost obzirom na mogućnost pridobivanja podzemne vode za javnu vodoopskrbu. Osobito se to odnosi na područje južno i jugoistočno od naselja Olib. Sukladno dobivenim rezultatima, u II fazi istraživanja 2003. godine (Geoqua d.o.o., Zagreb) izvedeni su radovi detaljnog geološkog i hidrogeološkog kartiranja na osnovi kojih su određene lokacije geofizičkog ispitivanja (ANDRIĆ & GRGEC, 2003) i lokacije istražnog bušenja. Izbušene su četiri istražne bušotine (IBO–1 do IBO–4) dubine bušenja između 35,5 i 65,0 metara. Bušotine su zacijevljene piezometarskom konstrukcijom. Osvajanjem i kratkotrajnim crpljenjem istražnih bušotina kao i mjerenjima CND-a,

temperature i elektrovodljivosti po dubini bušotina, izdvojena je bušotina IBO–3 kao najpovoljnija za nastavak vodoistražnih radova višednevnim pokusnim crpljenjem (MUNDA & TRUTIN, 2003). Pokusno crpljenje bušotine IBO–3 izvedeno je 2004. godine (Geoqua d.o.o., Zagreb) u okviru III faze vodoistražnih radova (MUNDA, 2004).

### Pokusno crpljenje

Pokusno crpljenje istražne bušotine IBO–3 uz opažanje bliskih bušotina IBO–1 i IBO–4 te kretanja oscilacija mora trajalo je 14 dana. Prije početka crpljenja (24 sata), mjerene su statičke razine podzemne vode u bušotinama (kolebanje RPV-e od 1 do 4 cm) što potvrđuje minimalni utjecaj mora. Za vrijeme pokusnog crpljenja koristila se metoda step testa, s tri količine crpljenja (0,96 l/s; 2,10 l/s i 3,20 l/s). Nakon prekida praćen je povratak RPV-e u trajanju od 30 sati. Statička razina podzemne vode prije početka pokusnog crpljenja izmjerena je na dubini od 31,70 m. Usis potopne crpke spušten je na 41,40 m. Crpljena voda odvedena je od mjesta crpljenja cijevima dužine 400 m, čime je spriječena recirkulacija crpljene vode.

Početna količina crpljenja iznosila je  $Q = 0,96$  l/s u trajanju od 72 sata. Dinamička razina podzemne vode nakon 72 sata crpljenja izmjerena je na 32,23 m. Razina se nije ustalila, a što se pripisuje utjecaju otvaranja pukotinskih sustava u vodonosniku te manjom mjerom utjecaju plime i oseke mora. Otvaranje pukotina u vodonosniku potvrđeno je pojavom jačeg zamućenja crpljene vode glinovitom suspenzijom. Maksimalno sniženje razine podzemne vode iznosi 0,53 metara. U nastavku pokusnog crpljenja količina crpljenja je povećana na  $Q = 2,10$  l/s u trajanju od 96 sati. Dinamička razina podzemne vode nije se ustalila i nakon 96 sati iznosi 33,21 metar uz sniženje od 0,98 metara. Do kraja crpljenja testiranje je izvedeno količinom  $Q = 3,20$  l/s u trajanju od 168 sati uz sniženje od 1,78 metara (MUNDA, 2004).

Tijekom crpljenja, utjecaj plime i oseke na sniženje razine podzemne vode nije potvrđen, a mjerene oscilacije posljedica su otvaranja pukotinskih sustava unutar vodonosnika.

Mjerenja kretanja RPV-e na opažajkim bušotinama potvrdila su hidrauličku povezanost podzemne vode s crpljenom bušotinom iako je ona vrlo slaba.

### Kakvoća podzemne vode

Od fizikalno–kemijskih elemenata kontinuirano su mjereni elektrolitička vodljivost, CND, izvedeni salinitet i temperatura vode. Mjerenja su izvedena po dubini bušotina (IBO–1, IBO–3 i IBO–4) prije početka i na kraju višednevnog pokusnog crpljenja. Istovjetni parametri mjereni su na uzorcima crpljene vode koji su uzorkovani u vremenskim intervalima tijekom crpljenja. Elektrovodljivost mjerena po dubini na početku i na kraju crpljenja kao i vrijednosti na uzorcima tijekom crpljenja ukazuje na minimalno povećanje s 1,280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na 1,404  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Kompletna fizikalno–kemijska i mikrobiološka analiza uzoraka sirove vode napravljena je na početku i na kraju crpljenja bušotine IBO–3. Rezultati analize uzoraka vode u potpunosti odgovaraju zahtjevima određenim Pravilnikom o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće. Svi analizirani fizikalno–kemijski parametri te mikrobiološka analiza uzoraka vode na početku i na kraju crpljenja ispod su MDK. U početnom uzorku sadržaj klorida iznosi 161 mg/l, a na kraju crpljenja snižen je na svega 23,8 mg/l (MUNDA, 2004).

### Zaključak

- Maksimalno dozvoljeno kontinuirano crpljenje bušotine IBO–3 za uključivanje u javnu vodoopskrbu na osnovi rezultata pokusnog crpljenja iznosi 3,5 l/s.
- Izradom zdenca moguće je planirati zahvat većih količina podzemne vode zadovoljavajuće kakvoće za javnu vodoopskrbu.
- Mjerenja elektrovodljivosti po dubini u sve tri bušotine, na početku i na kraju crpljenja pokazuju minimalno povećanje njihovih vrijednosti.
- Mjerenja elektrovodljivosti tijekom crpljenja ukazuju na prihvatljivo povećanje vrijednosti s 1,280  $\mu\text{S}/\text{cm}$  na 1,404  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .
- Na kraju crpljenja vrijednost klorida u sirovoj vodi iznosi samo 23,8 mgCl/l (projektnim zadatkom uvjetovano 6.000 mg Cl/l).
- Sirova voda na osnovi proširene fizikalno–kemijske i mikrobiološke analize u potpunosti odgovara odredbama Pravilnika o zdravstvenoj ispravnosti vode za piće.
- Provedena istraživanja o mogućnostima vodoopskrbe na udaljenim otocima definirala su otok Olib najperspektivnijim za rješavanje javne vodoopskrbe dostatnim zalihama vlastite podzemne vode izuzetne kakvoće.

### Literatura

- ANDRIĆ, M. & GRGEC, D. (2003): Vodoistražni radovi na jadranskim otocima II faza, geofizička istraživanja, Knjiga 1 – otok Olib.– IGH, Zagreb, Fond struč. dok. Hrvatske vode, Zagreb.
- MAMUŽIĆ, P., SOKAČ, B. & VELIĆ, I. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ. List Silba, 1:100.000.– Inst. geol. istraž., Zagreb (1963–1969), Savezni geol. zavod, Beograd.
- MUNDA, B. & TRUTIN, M. (2003): II faza vodoistražnih radova na jadranskim otocima, hidrogeološka istraživanja na otoku Olib.– Fond struč. dok. Geoaqua, Zagreb.
- MUNDA, B. (2004): Geološki i hidrogeološki radovi, nastavak vodoistražnih radova na jadranskim otocima, pokusno crpljenje istraživačke bušotine IBO–3 na otoku Olib i obrada rezultata.– Fond struč. dok. Geoaqua, Zagreb.

# Application of the Analytic Element Model in the Delineation of the Well Field Protection Zones: The Case of Lužani, Croatia

Zoran Nakić

University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb, HR-10000, Croatia;  
e-mail: znacic@rgn.hr

**Key words:** Analytic elements, Mathematical modelling, Well field protection.

## Introduction

The Analytic Element Method (AEM) is based on the principle of superposition of many closed form analytic function, each representing a part of the boundary conditions of the groundwater flow model of analysed aquifer system. A single analytic function represents a hydrological feature, such as point-sinks for wells, line-sinks for river, area elements for zones of effective recharge, double layers for geologic contacts (HAITJEMA, 1995). Each analytic function influences the calculation of the discharge potential and average groundwater flow velocity within the boundaries of the model.

Within the AEM, a solution is sought for a priory unknown strength parameters of the analytic elements. For example, the strength parameter of a line-sink function, which represents mathematically the groundwater inflow or outflow into the river section, is its extraction rate  $\sigma$  (m<sup>2</sup>/day); the strength parameter for a head specified well is its pumping rate  $Q$  (m<sup>3</sup>/day). Each analytic element influences the discharge potential everywhere, linearly proportional to the value of its strength parameter or parameters.

The solution procedure for the unknown strength parameters  $x_i$  gives rise to set of linear equations (HAITJEMA, 1995):

$$a_{ij}x_j = b_i \quad (1)$$

$a_{ij}$  – coefficient matrix, contains the influences of all analytic elements on all collocation points;

$x_j$  – solution vector, contains the strength parameters of the analytic elements;

$b_i$  – known vector, resulting from the boundary conditions formulated at the collocation points.

## Results of Modelling

The concept of AEM was shown, using the well field Lužani as an example. The groundwater flow model WhAEM2000 was used in delineation of the protection zones of Lužani well field. WhAEM2000 computer program uses Graphical User Interface (GUI) and Geographic Analytic Element Preprocessor, GAEP (KELSON et al., 1993).

In the case of Lužani, the conceptual modelling concept was applied, where the model elements were superimposed on top of binary base map showing topographic network.

The boundaries of the model were determined on the basis of geology and hydrogeology in Lužani area (Fig. 1). The modelling area includes the alluvial deposits of the Sava river and artesian and subartesian aquifers, bordering along the western and eastern part of the alluvial deposits of the Orljava river. Domain with differing properties was enclosed within the area of the alluvial deposits of the Orljava river, defining the area of inhomogeneity with diffe-

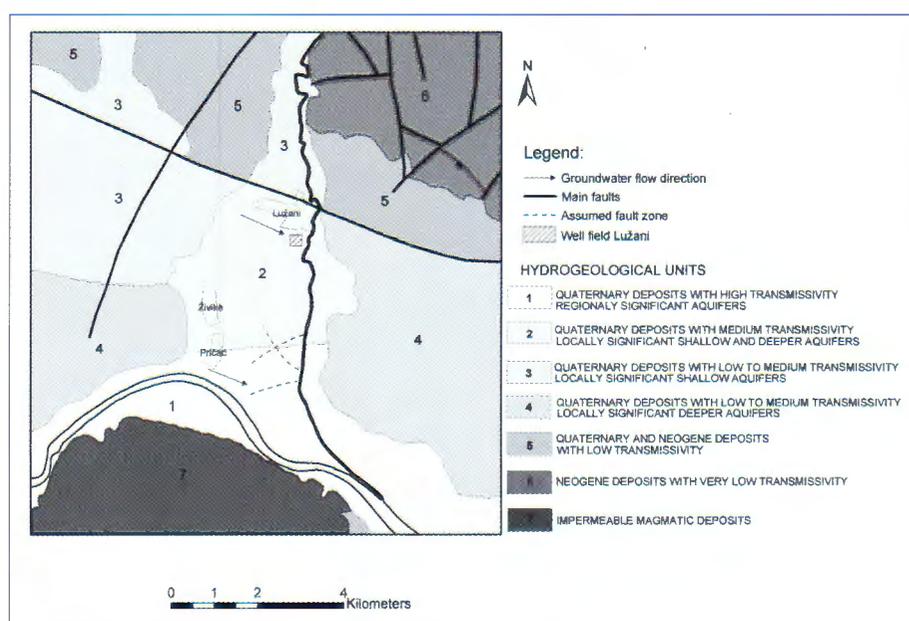


Fig. 1 Hydrogeological map of the Lužani area.

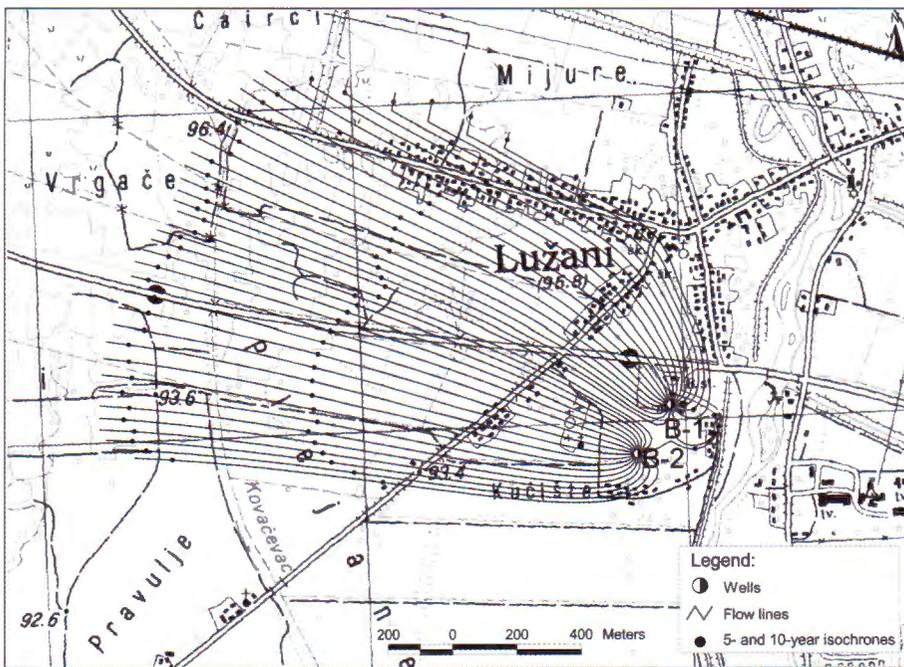


Fig. 2 Isochrones of 5- and 10-year groundwater residence time.

rent values of hydraulic conductivity. Discontinuity in the hydraulic conductivity led to the jumps in the discharge potential across the domain of inhomogeneity.

The Orjava river was depicted as a complex analytic element, represented by a string of a straight line elements, which approximate the geometry of the river. The very low influence of river on recharging the deeper aquifers was presumed. The river has a layers of a silty and clayey material on the bottom, creating the resistance to flow from the river into the aquifers or vice versa.

The results of the AEM revealed the composite time of travel capture zones with 5- and 10-year isochrones (Fig. 2).

The outer flow lines and the 5-year isochrone were delineated as the boundaries of the third zone of sanitary protection for the Lužani well field.

## References

- HAITJEMA, H. (1995): Analytic Element Modelling of Groundwater Flow.– Academic Press, San Diego, 391 p.
- KELSON, V., HAITJEMA, H. & KRAEMER, S. (1993): GAEP: A geographical preprocessor for ground water modeling.– Hydrological Science and Technology, 8/1–4, 74–83.

## Inženjerskogeološke značajke lokacije mosta “Cetina”

### Engineering Geological Properties on Location of The Bridge “Cetina”

Dražen Navratil, Zvonko Blagus & Željko Mlinar

Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: dnavratil@igi.hr

**Ključne riječi:** tektogeno–dijagenetska breča, most “Cetina”, trošenje, inženjerskogeološka jedinica, stijenska masa.

**Key words:** Tectogenic–diagenetic breccia, Bridge “Cetina”, Weathering, Engineering geological unit, Rock mass.

#### Uvod

Tijekom geotehničkih istraživačkih radova za glavni projekt Autoceste Zagreb–Split–Dubrovnik, Dionica Bisko–Šestanovac posebna pozornost posvećena je inženjerskogeološkim istraživanjima za most “Cetina”. Most “Cetina” je projektiran preko kanjona rijeke Cetine na spomenutoj dionici autoceste (stacionaža km 31+993 – 32+140), dužine 147 m.

U sklopu istraživačkih radova izvršeno je inženjerskogeološko kartiranje u mjerilu M 1:1000 i prikupljeni su podaci potrebni za GSI klasifikaciju, na osnovi iste izdvojene su sredine (blokovi), sličnih inženjerskogeoloških karakteristika. Pri tome su korišteni podaci temeljnih geoloških istraživanja (VLAHOVIĆ et al., 2004), geofizičkih istraživanja (plitka seizmička refrakcija; *DELTA T–V METODA I WET TOMOGRAFIJA*) i podaci dobiveni bušenjem 6 bušotina (MCE 76–81).

#### Opće geološke značajke

Lokacija mosta se prema Osnovnoj geološkoj karti (MARINČIĆ et al., 1969a, b) nalazi u mezozojskom boranom kompleksu. Ovaj kompleks izgrađuju karbonatne naslage jure i krede, pretežito simetričnih struktura, duž normalnih i reversnih rasjeda dinarskog pravca pružanja. Strukturnu jedinicu mezozojskog boranog kompleksa u području projektiranog mosta izgrađuju vapnenci i brečoliki vapnenci cenošana (K<sub>2</sub>). Utvrđeno je da su brečoliki vapnenci primarno intraformacijske padinske naslage izgrađene od intraklasta

i bioklasta uz vidljiv pučinski utjecaj. U takvim naslagama u jače tektonski poremećenim područjima, odnosno duž tektonskih prslina i pukotina koje omogućavaju jaču cirkulaciju voda, dolazi do dijagenetskih procesa rekristalizacije, a manjim dijelom i dolomitizacije i dedolomitizacije, tako da su pretvorene u tektogeno–dijagenetske breče.

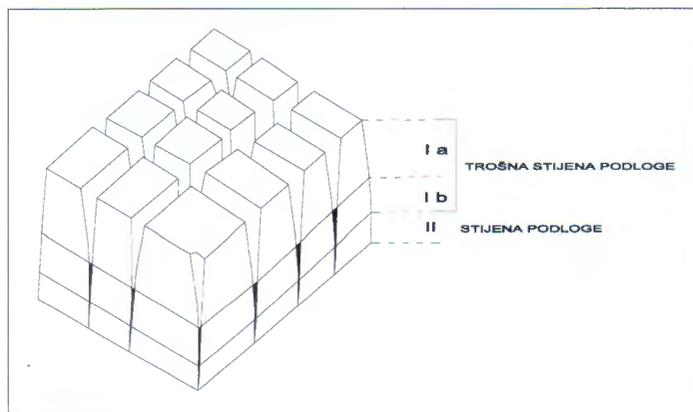
#### Inženjerskogeološke značajke

Stijenu podloge čine vapnenci gornjokredne starosti (cenoman), izmjena madstona i grejnstona–radstona. Dobro su uslojeni, srednje razlomljeni i duboko okršeni. Minimalne veličine blokova su 0,5x0,6x0,5 m, a maksimalne 3,0x5,0x5,0 m. Zbog intenzivne tektonike, u blizini kanjona, vapnenci su dijagenetski promijenjeni, te su stilolitizacijom i alokemijskim promjenama djelomice pretvoreni u “brečolike” karbonate, odnosno tektogeno–dijagenetske breče. Iako su takve stijene pretežito potpuno litificirane, mjestimično se zbog jačeg okršavanja mogu očekivati, ka-verne, jame i špilje.

Rasjedi su aproksimativno locirani na osnovi morfologije terena, jače izraženih sustava pukotina, geofizičkih radova i istraživačkog bušenja.

Na osnovi podataka inženjerskogeološkog kartiranja (M 1:1000), u lateralnom smislu istraživano područje podijeljeno je u tri inženjerskogeološke sredine.

U vertikalnom smislu na temelju terenskog opažanja, bušotina i geofizičkih istraživanja u stijenskoj masi uslijed okršavanja i trošenja duž diskontinuiteta generalno možemo



Sl. 1 Inženjerskogeološki model trošenja u karbonatima na lokaciji budućeg mosta “Cetina”.

Fig. 1 Engineering geological model of weathering in carbonates on location of future bridge “Cetina”.

izdvojiti dvije (odnosno tri) osnovne inženjerskogeološke sredine (sl. 1):

- Ia) TROŠNA STIJENA PODLOGE – stijena je malo do srednje trošna (SW–MW), širokog zijeve pukotina, bez ispune; zona brzina širenja uzdužnih valova  $V_p$  ~ do 1500 m/s.
- Ib) TROŠNA STIJENA PODLOGE – stijena je malo trošna (SW), zijeve pukotina ~ 1–10 mm, glinovita ispuna, kalcit ili bez; zona brzina širenja uzdužnih valova  $V_p$  ~ 1500 m/s do 3000–3500 m/s.
- II STIJENA PODLOGE – stijena je nerastrošena (svježa), zijeve pukotina 0,1–1,0 i 1,0–5,0 mm, bez ispune ili kalcit, zona brzina širenja uzdužnih valova  $V_p$  ~ od 3000–3500 m/s.

Za svaki blok dane su karakteristične debljine tih osnovnih inženjerskogeoloških jedinica i pripadajuće značajke stijenske mase. Njihovo je pružanje dosta nepravilno, jer su i sami procesi okršavanja i trošenja u karbonatima vrlo nepravilnog rasprostiranja u vertikalnom i lateralnom smislu. Lokalno su utvrđene manje brzine  $V_p$  valova na većim dubinama, što nam ukazuje na postojanje rasjednih zona i moguću pojavu kaverni, koje su u ovakvim krškim terenima vrlo učestala pojava.

### Zaključak

Prema rezultatima svih istraživanja može se zaključiti da stijenska masa prema GSI kategorizaciji pripada *povoljnim* (GSI=40–60) do *dobrim* (GSI=60–80) stijenskim masama.

Izdvajanje inženjerskogeoloških sredina, pogotovo u vertikalnom smislu u ovakvim stijenama je vrlo teško s obzirom na procese trošenja u karbonatima. Trošenje u vapnencima, a pogotovo u brečolikim vapnencima vrlo je nepravilnog rasprostiranja. Važno je napomenuti da najveći utjecaj ima kemijsko trošenje vezano uz prisustvo vode i razvijenost pukotinskih sustava duž kojih dolazi do korozije i otapanja karbonata.

Utjecaj trošenja u karbonatima nije toliko značajan na nivou intaktnog uzorka, što potvrđuju i rezultati jednoosnih ispitivanja koji se za tektogeno–dijagenetske breče kreću u rasponu od 78 do 112 MPa – *čvrste* do vrlo *čvrste* stijene.

Trošenje u ovakvim stijenama treba promatrati na nivou stijenske mase, što će uvelike pomoći u uspješnijem izdavanju inženjerskogeoloških sredina.

Također se pokazalo da uz sva inženjerskogeološka istraživanja podaci dobiveni geofizičkim istraživanjima (plitka seizmička refrakcija) mogu bitno pomoći kod vertikalnog izdavanja u stijenskoj masi s obzirom na trošnost, odnosno boljeg definiranja inženjerskogeoloških sredina.

### Literatura

- BLAGUS Z. & NAVRATIL D. et al. (2004): Inženjerskogeološki istražni radovi (M = 1:1.000). Jadranska Autocesta Zagreb–Split–Dubrovnik, Dionica Bisko–Šestanovac, Most “Cetina”.– Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.
- DEARMAN, W.R. (1995): Description and classification of weathered rocks for engineering purposes; the background to the BS5930:1981 proposals.– *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, 28/3, 267–276.
- MARINČIĆ, S., KOROLIJA, B., MAMUŽIĆ, P., MAGAŠ, N., MAJCEN, Ž., BRKIĆ, M. & BENČEK, Đ. (1969a): Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100.000, Tumač za list Omiš.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- MARINČIĆ, S., KOROLIJA, B. & MAJCEN, Ž. (1969b): Osnovna geološka karta SFRJ, M 1:100.000, list Omiš.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- VLAHOVIĆ, I., FUČEK, L., GRGASOVIĆ, T., HUSINEC, A., KORBAR, OŠTRIĆ, N., PALENIK, D. & FILJAK, R. (2004): Temeljna geološka istraživanja (M=1:5.000). Jadranska Autocesta Zagreb–Split–Dubrovnik, Dionica Bisko–Šestanovac.– Arhiv Instituta za geološka istraživanja, Zagreb.

## Hidrogeološki i hidrogeokemijski aspekt zaštite krških izvorišta Muškovci i Berberi buk

### Hydrogeological and Hydrogeochemical Aspect of Sanitary Protection of Karst Springs Muškovci and Berberi Buk

Ante Pavičić, Sanja Kapelj & Janislav Kapelj

*Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;  
e-mail: pavacic@igi.hr*

**Ključne riječi:** hidrogeologija krša, hidrogeokemija, zaštita voda.

**Key words:** Karst hydrogeology, Hydrogeochemistry, Water protection.

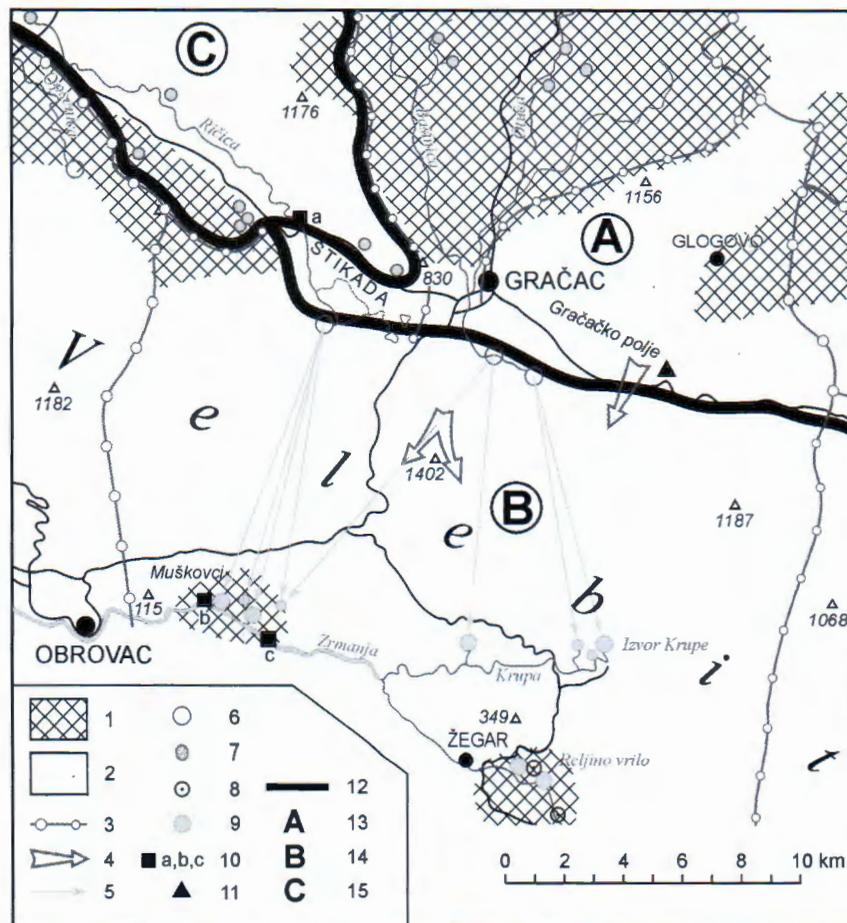
Na rijeci Zrmanji uzvodno od Obrovca zahvaćeno je za potrebe vodoopskrbe, u sklopu regionalnog vodovoda sjeverne Dalmacije, nekoliko značajnih krških izvora. Osim izvora u Muškovcima dijelom su zahvaćene i vode rijeke Zrmanje na Berberi buku. U ovom su području provedena cjelovita hidrogeološka i hidrogeokemijska istraživanja, u cilju izrade prijedloga zona sanitarne zaštite (PAVIČIĆ et al., 2000). Na osnovi dobivenih rezultata bilo je moguće na terenu izdvojiti tri područja koja imaju različite hidrogeološke funkcije, pa prema tome i ulogu u zaštiti podzemnih voda.

Prema geokemijskom tipu podzemna voda koja istječe na izvorima u Muškovcima, kao i voda rijeke Zrmanje na Berberi buku su kalcijsko-karbonatne. Izvorske vode su

pretežito nezasićene kalcitom, slabo alkalne, dok je voda Zrmanje zasićena do prezasićena kalcijevim karbonatom.

Obzirom na pokazatelje onečišćenja dvogodišnjim je monitoringom izvora ustanovljen blagi trend porasta utroška  $KMnO_4$ , što upućuje na sadržaj organskih oksidativnih tvari u vodi. Sličan uzlazni trend slijedi sadržaj nitrata i aerobnih bakterija. Na Berberi buku je ustanovljen samo blagi porast broja aerobnih bakterija. Sve su vode zasićene kisikom, a razina pokazatelja onečišćenja niža je od maksimalno dozvoljene za pitku vodu. Nazočnost povremenog bakteriološkog onečišćenja može se ublažiti samo izgradnjom komunalne infrastrukture u uzvodnim naseljima.

U neposrednom zaleđu izvorišta je morfološki istaknuti masiv južnog Velebita gotovo u cjelini izgrađen od dobro



Sl. 1 Hidrogeološka karta. Tumač:

- 1) hidrogeološka barijera; 2) propusno područje; 3) razvodnica – granica sliva; 4) glavni smjer tečenja podzemnih voda; 5) utvrđena podzemna veza; 6) ponor; 7) krški izvor min. izdašnosti <10 l/s; 8) krški izvor min. izdašnosti 10–100 l/s; 9) krški izvor min. izdašnosti >100 l/s; 10) crpilište–vodozahvat (a – Dolac, b – Berberi buk, c – Gračački vodovod); 11) odlagalište otpada; 12) granica zona ranjivosti i rizika; 13) područje visokog rizika i utjecaja (područje aktivnog onečišćenja); 14) područje visoke ranjivosti i potencijalnog rizika onečišćenja; 15) bez negativnog utjecaja.

Fig. 1 Hydrogeological map. Legend:

- 1) Hydrogeological barrier; 2) Permeable area; 3) Water-divide – catchment area boundary; 4) General groundwater flow direction; 5) Groundwater connection determined by tracing; 6) Ponor (swallow-hole); 7) Karst spring of minimal capacity <10 l/s; 8) Karst spring of minimal capacity 10–100 l/s; 9) Karst spring of minimal capacity >100 l/s; 10) pumping site (a – Dolac, b – Berberi buk, c – Gračački vodovod); 11) Waste disposal site; 12) Boundary of vulnerability and risk zones; 13) Area of high risk and impact; 14) Area of high vulnerability and potential risk; 15) Area without negative impact.

propusnih vapnenačkih breča nesortiranih ulomaka paleogenske do neogenske starosti (BAHUN, 1974). Osim ovih u geološkoj građi južnog Velebita zastupljene su stijene kredne, jurske i lokalno trijaskne starosti. Područje prihranjivanja spomenutih izvora je Štikadsko i Gračačko polje (560 m n.m.). Znatnu površinu ovih krških polja izgrađuju klastične slabo propusne do nepropusne naslage paleozoika i srednjeg trijasa. Ove su naslage ujedno osnova vododrživosti površinske akumulacije Štikada (FRITZ et al., 1984). U zoni kontakta masiva južnog Velebita i spomenutih krških polja nalazi se cijeli niz povremeno aktivnih ponora u kojima poniru vode Ričice, Bašiniće i Otuče (sl. 1).

Opisani morfološki i hidrogeološki odnosi upućuju na složenost projektiranja zona sanitarne zaštite. Osim toga u priljevnom području postoji više objekata i antropogenih aktivnosti koje imaju različitu ulogu, a neke potencijalno mogu ugroziti kvalitetu podzemnih voda: regionalna prometnica Gračac–Prezid–Obrovac, grad Gračac, površinska akumulacija Štikada kao dio hidroenergetskog sustava HE Velebit i odlagalište komunalnog otpada na Glogovu. Na sl. 1 su izdvojena tri područja u kojima je različit utjecaj na podzemne vode (A, B i C).

Teren istočno od Štikade (Gračačko polje), kao i šire zaleđe (Bašinića i Otuča) dio su sliva kojeg treba štiti odgovarajućim mjerama (A). U ovom su dijelu terena zone povremenih ponora posebno osjetljiva rizična mjesta zbog izravne veze s podzemnom vodom. Na temelju niza provedenih trasiranja ponora (Lakića ponor, Radusinovac, Krčić, Tučić) ustanovljene su vrlo brze podzemne veze sa crpilištima i izvorima u desnom zaobalju rijeke Zrmanje između Žegara i Obrovca (Krupa, Reljino vrelo, Mijića vrelo, Krnjeza, Dobarnica i dr.).

Između ponora i izvora nalazi se planinski masiv južnog Velebita (1402 m n.m.). U hidrogeološkom smislu to je tranzitno područje u kojem se odvija podzemno tečenje između krških polja, ponornih voda i rijeke Zrmanje (B), koja je u ovom dijelu svoga toka erozijska baza za krške podzemne vode. U ovom dijelu terena osim regionalne ceste Gračac–Prezid–Obrovac nema značajnijih izvora zagađenja budući da je teren nepristupačan i za sada pust i nenaseljen. Ovo je područje vrlo osjetljivo (ranjivo – *vulnerable*), ali istovremeno s potencijalnim rizikom zagađenja podzemnih voda.

Najveći dio voda Ričice zahvaćen je akumulacijskim bazenom Štikada, pa hidrotehničkim tunelom kroz Velebit odlazi izvan sustava zaštite prema elektrani “Velebit” i akumulaciji Razovac na Zrmanji (nizvodno od Berberibuka). Prema tome vode sakupljene na dijelu terena (C) ne mogu predstavljati rizik za onečišćenje krških podzemnih voda na crpilištima.

### Literatura

- BAHUN, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar naslaga.– Geol. vjesnik, 27, 35–51.
- FRITZ, F., PAVIČIĆ, A. & BAHUN, S. (1984): Hidrogeološka funkcija Štikadsko–Gračačkog polja (Lika).– Zbornik VIII Jugosl. Simp. o hidrogeol. i inž. geologiji. Budva, 101–105.
- PAVIČIĆ, A., KAPELJ, S. & IVIČIĆ, D. (2000): Vodocrpilište Muškovci i Berberov buk – Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite.– Fond str. dok. Instituta za geološka istraživanja Zagreb, 58/00.

## Inženjerskogeološke značajke područja tunela “Grič” Engineering-Geological Characteristics of the Tunnel “Grič” Area

Davor Pollak<sup>1</sup>, Vlatka Vuić<sup>2</sup> & Goran Mitrović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: dpollak@igi.hr

<sup>2</sup> Institut građevinarstva hrvatske, Rakušina 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** inženjerskogeološke značajke, vapnenci, “Jelar” breča, tunel “Grič”, Hrvatska.  
**Key words:** Engineering-geological characteristics, Limestones, “Jelar” breccia, Tunnel “Grič”, Croatia.

### 1. Uvod

Cestovni tunel “Grič” nalazi se na autocesti Zagreb–Split, dionici Otočac–Lički Osik u blizini naselja Ličko Lešće, a sastoji se od dvije dvotračne tunnelske cijevi. Približne je dužine 1200 m, s maksimalnim nadslojem 60 m. Za potrebe geotehničkog projekta provedena su istraživanja: inženjerskogeološko kartiranje koridora ukupne širine 200 m u mjerilu 1:1000; istraživačko bušenje 5 bušotina ukupne dubine 240 m (BRAUN & POLLAK, 2000); geofizička terenska ispitivanja uzduž i poprečno na osi tunela, seizmička refrakcija (Delta–t–V metoda) 18 profila (MITROVIĆ & GRGEC, 2000) i geoelektrično profiliranje LIS tehnikom, 3 profila. Također su provedena i laboratorijska ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće i brzine širenja ultrazvučnih valova na 28 uzoraka. Iskop tunela izveden je po principima nove austrijske tunnelske metode (NATM), uz stalni inženjerskogeološki nadzor (VUIĆ, 2004). Tijekom nadzora utvrđene su stvarne značajke stijenske mase i moguće ih je usporediti s onima koje su utvrđene temeljem istraživačkih radova.

### 2. Geološke značajke područja

Najstarije stijene u području tunela pripadaju donjoj kredi (K<sub>1</sub>). Transgresivno na krednim naslagama nalaze se “Jelar” naslage (E<sub>3</sub>O1), dok su veće vrtače ispunjene crvenicom.

Osnovne stijene su sivi do sivosmeđi masivni i debelo uslojeni **vapnenci** (K<sub>1</sub>) (VELIĆ et al., 1970). Vapnenci su raspucani i razlomljeni tijekom mnogobrojnih tektonskih faza. Duž zastupljenih diskontinuiteta odvijali su se dijagenetski procesi koji su doveli do stvaranja **tek-togeno–dijagenetskih breča**, koje se s vapnencima vrlo nepravilno izmjenjuju. Lokalno se nalaze i tanji proslojci

intraformacijskih breča u kojima je mjestimično vidljiva normalna gradacija.

“Jelar” naslage su predstavljene sedimentnim **brečama i brečokonglomeratima** (E<sub>3</sub>O1) u kojima su polimiktni nersortirani uglati do poluzaobljeni fragmenti stijena veličine od nekoliko mm do desetak cm. Vezivo je detritično karbonatno i glinovito–karbonatno, a boja mu je obično crvenkasta. Odnos količine fragmenata i veziva je varijabilan.

Istraživano područje je u tektonskom pogledu vrlo komplicirane građe, s brojnim rasjedima različite geneze i starosti. Generalna orijentacija slojeva je 239/19, a najveći značaj imaju rasjedi smjera pružanja sjever–jug i istok–zapad, uz koje su obično vezane i šire razlomljene zone.

### 3. Diskusija o inženjerskogeološkim značajkama

Površina terena je u području tunela izuzetno **okršena**, velikih zjevova diskontinuiteta (preko 10 cm), s brojnim vrtačama strmih obronaka. Neke od njih su vrlo velike, promjera 160 m i dubine preko 30 m. Većina od spomenutih vrtača u dnu ima tlo (crvenica) varijabilne debljine. Inženjerskogeološkim kartiranjem na površini su uočene jame manjih dimenzija. Iskopom tunela uvidjelo se da su jame i kavernozone zone u dubljim zonama vrlo brojne i vezane na iste sustave diskontinuiteta kao i na površini. Ne samo to, nego se većina njih nalazi na pukotinama i rasjedima koji su ustanovljeni kartiranjem ili geofizičkim istraživanjima.

Prema mjerenjima **orijentacije** svih **diskontinuiteta** koji su izraženi na površini, a zatim i u tunelu, može se vidjeti njihova vrlo dobra podudarnost. Površinski podaci su u većoj mjeri raspršeni od onih u tunelu. Zanimljivo je

KATEGORIJA	UKUPNO IZVEDENO		UKUPNO PROGNOZIRANO	
	(m)	%	(m)	%
II	583.90	23.94	560.00	<b>104.27</b>
III	1198.80	49.15	1235.00	<b>97.07</b>
IV	389.00	15.95	355.00	<b>109.58</b>
V	267.40	10.96	295.00	<b>90.64</b>
UKUPNO	2439.10		2445.00	

Tablica 1 Kategorije kvalitete stijenske mase: u tunelu i prema prognozi.

Table 1 Rock mass category: from the tunnel and according to prognosis.

također “iščezavanje” diskontinuiteta slojevitosti koji su na razini tunela mnogo rjeđe zastupljeni. Obje pojave, se mogu pripisati vrlo snažnoj okršenosti u površinskoj zoni. Naime, trošenjem u površinskoj zoni uglavnom dolazi do širenja zijeva svih diskontinuiteta, pa i slojnih ploha, koje su na razini tunela zatvorene do te mjere da ne predstavljaju diskontinuitete u inženjerskom smislu. Trošenjem u površinskoj zoni također dolazi do “zaobljavanja” izdana-ka, što je utjecalo na raspršenost mjerenja orijentacija diskontinuiteta na površini.

Ne čudi različitost u mjerenjima i procjenama **veličine blokova** na površini i na razini tunela. Međutim, očekivalo se da će zbog okršavanja, blokovi stijenske mase u pripovršinskoj zoni biti manji, nego što je to u dubljim zonama trošenja. Na to ukazuju i RQD vrijednosti.

Razlika u intaktnom materijalu vapnenaca i breča najbolje je izražena preko **jednoosne tlačne čvrstoće**. U vapnencima ona uglavnom iznosi 90–120 MPa, dok je u brečama jako ovisna o značajkama matriksa i varira u širokom rasponu. U brečama sa značajnijim udjelom glinovite komponente u vezivu iznosi 20–60 MPa, dok se kod breča s gotovo isključivo karbonatnim vezivom kreće u rasponu 90–100 MPa. Nije utvrđena ovisnost čvrstoće o zoni trošenja.

Usporedimo li podatke o procijenjenoj **postojanosti** diskontinuiteta, vidjet ćemo da su one na površini manje nego na razini tunela. Međutim nije baš jasno mijenja li se postojanost diskontinuiteta procesima trošenja ili su tijekom istraživanja procjene bile krive.

Ostale značajke diskontinuiteta su očekivane. U površinskoj zoni **zjevovi** su vrlo veliki (preko 10 cm), a diskontinuiteti uglavnom prazni. Idući dublje, u podpovršinske i dublje zone trošenja zjevovi diskontinuiteta su sve manji, a prevladava glinovita **ispuna**. **Hrapavosti** diskontinuiteta su u obje zone procijenjene sasvim jednako – uglavnom kao neznatno hrapavi.

Sudeći po navedenim IG značajkama koje karakteriziraju stijensku masu u području tunela, ne čudi što gotovo 50% tunela prema **RMR** klasifikaciji (BIENIAWSKI, 1989) pripada III, a samo 24% II kategoriji. Slični odnosi kategorija bili su predviđeni u zaključku istraživačkih radova (tablica 1). Sukladno očekivanjima, u “trošnijim” zonama utvrđenim geofizičkim ispitivanjima prevladavaju slabije kategorije stijenske mase.

#### 4. Zaključak

Usporedimo li gotovo sva inženjerskogeološka svojstva karbonatnih stijena na površini i na dubljim razinama, doći ćemo do zaključka da se njihova inženjerskogeološka svojstva uvelike razlikuju. To saznanje je vrlo bitno prilikom određivanja parametara za klasifikaciju stijenskih masa u dubljim zonama trošenja.

#### 5. Literatura

- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classifications.– John Wiley & Sons, New York, 251 str.
- BRAUN, K. & POLLAK, D. (2000): Autocesta Bregana–Zagreb–Dubrovnik; Dionica Otočac–Lički Osik, Inženjerskogeološki izvještaj za tunel “Grič”.– Arhiv IGI 54/00, Zagreb.
- MITROVIĆ, G. & GRGEC, D. (2000): Autocesta Bregana–Zagreb–Dubrovnik; Dionica Otočac–Lički Osik, Refrakcijska seizmika i geoelektrika.– Institut građevinarstva Hrvatske d.d., Knjiga: IIIB–1–B–X–0010–0804–A
- VELIĆ, I., BAHUN, S., SOKAČ, B. & GALOVIĆ, I. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Otočac.– Inst. za geol. istraž. Zagreb.
- VUIĆ, V. (2004): Autocesta Zagreb–Split, Dionica Otočac–Lički Osik; Građevina: Tunel “Grič”, Izvedeno stanje.– Institut građevinarstva Hrvatske d.d.

## Dinamika recentnog rasta sedrenih barijera Plitvičkih jezera Recent Growth Dynamics of Travertine Barriers of the Plitvice Lakes

Josip Rubinić<sup>1</sup> & Gordana Zwicker<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, Katedra za hidrotehniku i geotehniku, V.Cara Emina 5, HR-51000 Rijeka, Hrvatska; e-mail: jrubic@gradri.hr

<sup>2</sup> JU Nacionalni park Plitvička jezera, Znanstveno-stručni centar "Ivo Pevalek", HR-53231 Plitvička jezera, Hrvatska

**Ključne riječi:** rast sedrenih barijera, trendovi, hidrološke metode, Plitvička jezera.  
**Key words:** Growth of travertine barriers, Trends, Hydrological methods, Plitvice Lakes.

### Uvod

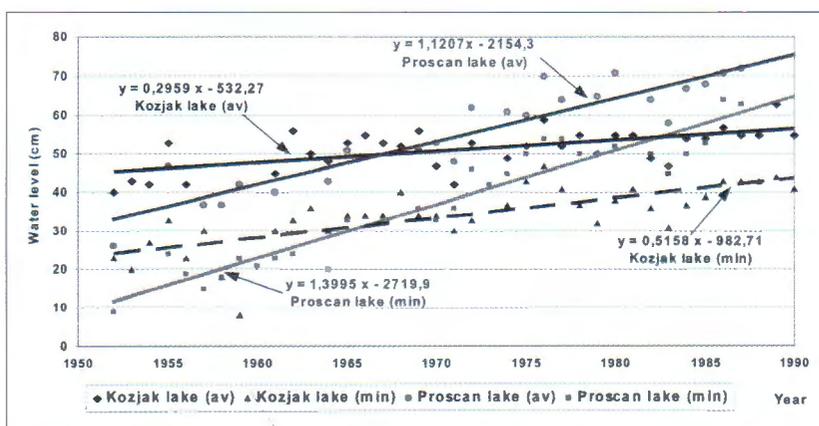
Nastanak Plitvičkih jezera i njihov razvoj vezani su uz intenzivne procese osedavanja. Ti su procesi izučavani od strane brojnih istraživača (STILINOVIĆ & BOŽIĆEVIĆ, 1988). Rezultati datiranja provedenih pomoću <sup>14</sup>C pokazali su da je sedra na aktivnim barijerama nastala tijekom posljednjih 6000–7000 godina (SRDOČ et al., 1985). Starost sedre sa starih, sada uglavnom potopljenih barijera, određivana je metodom <sup>230</sup>Th/<sup>234</sup>U, a rezultati su pokazali da je starost tih barijera uglavnom između 90000 i 130000 godina (interglacijalno razdoblje Riss–Würm). Detektirani su i uzorci starosti 250000–300000 godina, dakle iz ranijeg Mindel–Riss interglacijala (OBELIĆ et al., 2000). Prema rezultatima istraživanja SRDOČA et al. (1985), temeljenih na analizi <sup>14</sup>C iz izvađenog debla smreke pronađenog potopljenog u jezeru Kozjak, čija je starost datirana na 710 g., utvrđeno je da je prosječna brzina porasta razine jezera iznosila čak 1,35 cm godišnje, odnosno oko 17 puta brže od brzine zamuljivanja jezerskog dna. Osim spomenutih, do sad nije bilo nikakvih drugih procjena dinamike porasta razine jezera, odnosno porasta sedrenih barijera, posebno ne za recentno razdoblje. Stoga je zbog važnosti poznavanja dinamike rasta sedrenih barijera za zaštitu jezerskog sustava, u danom radu provedena jedna takva analiza, i to na temelju hidroloških podataka i metoda.

### Rezultati

Analizirane hidrološke postaje locirane su na dvama najvećim jezerima (Prošćanskom i Kozjak). Postaje su imale

i dugotrajnije prekide u radu, posebno za vrijeme ratnih zbivanja, tako da su u radu korišteni podaci iz razdoblja 1952–1990. Analizirani trendovi kolebanja minimalnih i srednjih godišnjih razina vode u tim jezerima, pokazali su vrlo izraziti trend njihova porasta (sl. 1). Da bi se ispitalo u kojoj bi mjeri taj trend mogao biti posljedica promjena vodnog režima protoka, analizirani su trendovi hoda srednjih i minimalnih godišnjih protoka na postaji Kozjak–most, za koju su jedino vršena sustavna mjerenja. Utvrđeno je da su trendovi kretanja protoka suprotni trendovima kolebanja analiziranih razina vode, odnosno da je prisutno smanjenje protoka kroz sustav Plitvičkih jezera. Proračunati trend smanjenja srednjih godišnjih protoka iznosi 0,041 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>/god (1,15%), a minimalnih 0,0042 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>/god (0,4%). Slični trendovi utvrđeni su i za širi regionalni prostor (ŠVONJA et al., 2003).

Procjena utjecaja zapaženih trendova smanjenja protoka na promjenu razine vode u jezeru Kozjak provedena je spomenutim obradama, uvažavajući raspoložive podatke o konsumpcijskim odnosima na hidrološkoj postaji Kozjak–most. Proračunato je da je trend opadanja protoka tijekom analiziranog 39-godišnjeg razdoblja rezultirao smanjenjem srednjih godišnjih protoka za 1,622 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, odnosno smanjenjem minimalnih godišnjih protoka za 0,165 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Ti su rezultati analizirani u kontekstu konsumpcijske krivulje na postaji Kozjak–most za posljednju godinu za koju su obrađivane i protoke (1990. g.), te je dobiveno da je u odnosu na korespondentni vodostaj trend opadanja sr. god. protoka uvjetovao sniženje vodostaja za oko 10 cm na razini prosječnih sr. godišnjih podataka, odnosno oko



Sl. 1 Prikaz kolebanja srednjih godišnjih (av) i minimalnih godišnjih vodostaja (min) na jezeru Kozjak i Prošćanskom jezeru, te njihovi rezultirajući trendovi.

Fig. 1 Overview of fluctuations of mean annual (av) and minimal annual water level (min) on Prošćansko and Kozjak lakes, and related trends.

2 cm na razini prosječnih minimalnih godišnjih vrijednosti. No, zbog bržega izdizanja sedrene barijere, nije zapažena ta komponenta smanjenja razine vode u jezerima, već naprotiv njihov ukupan prirast. Stoga je potrebno pribrojiti i te vrijednosti rezultatima dobivenim na osnovu analize trendova porasta vodostaja jezera Kozjak tijekom analiziranog 39-godišnjeg razdoblja (prosječno 0,30 cm/god kod srednjih godišnjih vodostaja te 0,53 cm/god kod minimalnih). Za oba analizirana niza utvrđeno je da je stvaran ukupan prirast vodostaja u jezeru Kozjak uslijed rasta sedrene barijere bio 22 cm, odnosno prosječno godišnje 0,56 cm/god. Naime, ukoliko se uzmu srednji godišnji vodostaji, proračunat je ukupan prirast od  $12+10=22$  cm, koliko je proračunato i analizom prirasta minimalnih godišnjih vodostaja ( $20+2=22$  cm).

Podaci o protokama za Prošćansko jezero ne postoje, tako da se cjelovita procjena promjene razine jezera u smislu ocjene utjecaja trenda smanjenja protoka na režim njegova kolebanja kao na primjeru jezera Kozjak nije mogla provesti. No, i bez pribrajanja te komponente, samo na osnovi analize hoda sr. god. vodostaja, proračunato je povećanje razine jezera za 44 cm, odnosno čak 55 cm na osnovu analize min. godišnjih vrijednosti. To pokazuje da je rast sedrenih barijera kod ovoga jezera reda veličine trostruko veći, tj. oko 1,5 cm/god, a što je vrlo blizu spomenutoj vrijednosti od 1,35 cm/god (SRDOČ et al., 1985), ali utvrđenoj na lokaciji jezera Kozjak. Krajem 90-tih obnovljena su praćenja vodostaja na oba jezera, a njihovi rezultati pokazuju još naglašenije povećanje vodostaja (moguće i zbog povećanog obraštanja sedrenih preljeva vegetacijom). Obzirom na mali broj podataka, nizovi iz tog razdoblja nisu mogli biti uključeni u predmetni rad.

Izneseni postupak i dobiveni rezultati obrade porasta sedrene barijere jezera Kozjak od 0,56 cm/god, te reda veličine oko trostruko veći kod Prošćanskog jezera, prikazuju ne samo kvantificirane podatke o tom rastu, već i mogućnosti primjene hidroloških metoda pri takvim analizama.

## Literatura

- OBELIĆ, B., HORVATINČIĆ, N. & KRAJCAR-BRONIĆ, I. (2000): Fizikalno-kemijska i izotopna istraživanja vode i sedre u Nacionalnom parku Plitvička jezera.– U: Zbornik skupa 50 godina NP Plitvička jezera, HAZU i Društvo za zaštitu Plitvičkih jezera, Zagreb, 25–36.
- SRDOČ, D., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., KRAJCAR, I. & SLIEPČEVIĆ (1985): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera.– Krš Jugoslavije, 11/4–6, 101–213.
- STILINOVIĆ, B. & BOŽIČEVIĆ, S. (1998): The Plitvice Lakes.– European Water Management, 1/1, 15–24.
- ŠVONJA, M., PAVIĆ, I. & RUBINIĆ, J. (2003): Analiza kolebanja karakterističnih prosječnih protoka vodotoka Jadranskog sliva u Hrvatskoj.– U: GERES, D. (ur.): Zbornik radova 3. Hrvatske konferencije o vodama, Osijek, 123–130.

# The New Hydrogeological Map of Austria 1:500.000

Gerhard Schubert

*Geological Survey of Austria, Neulinggasse 38, A-1030 Wien, Austria; e-mail: schgrd@geologie.ac.at*

**Key words:** Aquifer, Carbonate rocks, Hydrogeology, map, Austria.

In 2003 a new hydrogeological overview map of Austria has been produced by the Geological Survey with financial support of the Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management. A simplified version in the scale of 1:1.000.000 has been already published in March 2003 in the "Hydrological Atlas of Austria" with explanatory notes in English and German ([http://www.gis.univie.ac.at/hao/index\\_eng.html](http://www.gis.univie.ac.at/hao/index_eng.html)). The full version of the map in the scale of 1:500.000 should be available at the end of 2005 in the Geological Survey. It will include a printed map with an English and German legend, German explanatory notes and a CD with shape files etc.

In general, hydrogeology builds the link between geology and hydrology. Hydrogeological maps reflect this transitional character in delivering geological as well as hydrological information. The geological information focuses on these parameters which are important for groundwater. That means that aspects like stratigraphy or tectonic position are thrust into the background whereas properties like lithology or type of porosity are pointed out.

The content of the actual map leans on the "International Standard Legend" which has been formulated by STRUCKMEIER & MARGAT (1995). The geological content (lithology and tectonic lines) bases mainly on the geological basis map of the "Metallogenetic Map of Austria 1:500.000" (WEBER et al., 1997), but some regions had been compiled newly – above all areas which consist mainly of carbonate rocks because in Austria karstifiable rocks are of great importance for water supply. For instance, the Northern Calcareous Alps, and the Drau (Drava) Unit have been drawn newly. In these regions the great closed limestone and dolomite areas as well as the most important aquifers have been pointed out. In detail, the map has the following content:

## A. Aquifer types und lithology

Based on the type of porosity and their groundwater productivity and extension five aquifer types are distinguished. There are two types of productive granular aquifers, two types of productive karstifiable aquifers and one type of aquifer with limited productivity:

- 1 Aquifers in which flow is mainly intergranular
  - 1.1 Extensive and highly productive aquifers
  - 1.2 Local or discontinuous productive aquifers or extensive but only moderately productive aquifers
- 2 Karstifiable (fissured or karstified) aquifers
  - 2.1 Extensive and highly productive aquifers

- 2.2 Local or discontinuous productive aquifers or extensive but only moderately productive aquifers
- 3 Aquifers (granular, fissured or karstified) with local or limited groundwater resources

Within each aquifer type one or more types of lithology are distinguished. In order to insure map readability, special care was taken to differ only as few lithology classes as necessary for the description of the groundwater situation.

## B. Tectonic lines

## C. Mapping of special details

These include larger springs or group of them, larger groundwater pumping stations, important mineral and thermal water occurrences and wells with artesian outflow. The productiveness of the springs and groundwater pumping stations is symbolized by the size of the marker. The origin of these details is documented in the CD.

The "Hydrogeological Map of Austria 1:500.000" (SCHUBERT et al., 2003) gives not only an actual and profound overview to experts. Also interested amateurs can take from the map interesting details like information where regions with artesian wells or productive karst springs are.

In Austria in the moment further hydrogeological maps in the scale of 1:200.000 are in preparation. They should give more detailed information on the hydrogeological conditions in the federal states of Austria.

## Literature

- SCHUBERT, G., BAYER, I., LAMPL, H., PESTAL, PAVLIK, W.G., RUPP, Ch., SCHILD, A., SHADLAU, S. STOECKL, W. & WURM, M. (2003): Hydrogeologische Karte von Oesterreich 1:500.000.– Geological Survey of Austria, Vienna.
- STRUCKMEIER, W.F. & MARGAT, J. (1995): Hydrogeological Maps. A Guide and a Standard Legend.– International Contributions to Hydrology, 17, Hannover.
- WEBER, L., CERNY, I., EBNER, F., FRANK, W., FRITZ, I., GOED, R., GOETZINGER, M.A., GRAEF, W., MANDL, G.W., PAAR, W.H., PASCHER, G., PESTAL, G., PROCHASKA, W., SACHSENHOFER, R.F., SCHNABEL, W., SCHROLL, E., SCHULZ, O., STERK, G. & VAVRA, F. (1997): Metallogenetic Map of Austria 1:500.000 including Industrial Minerals and Mineral Fuels.– Archiv für Lagerstaettenforschung, 19, Geological Survey of Austria, Vienna.



## Hidrogeologija sliva Imotskog polja i gornjeg toka rijeke Tihaljine

### Hydrogeology of the Imotsko Polje Catchment Area and the Upper Part of the Tihaljina River

Ivan Slišković, Renato Buljan & Vlatko Gulam

*Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000, Zagreb; e-mail: ivan.sliskovic@igi.hr*

**Ključne riječi:** hidrogeologija krša, trasiranje podzemnih tokova, slivno područje.

**Key words:** Karst hydrogeology, Groundwater tracing test, Catchment area.

Sliv Imotskog polja i gornjeg toka rijeke Tihaljine, površine 485 km<sup>2</sup>, morfološki je izrazito razveden sa zastupljenim svim formama krškog okoliša. Izgrađen je od izdignutih karbonatnih grebena s vrhovima višim i od 1200 m, dinaridskog pravca pružanja s dominantno zastupljenim reversno navlačnim pripovršinskim tektonskim odnosima. Između karbonatnih grebena nalaze se krška polja: Tribistovo (1000 m), Rakitno (890 m), Roško (800 m), Vir polje (650 m), Posuško (600 m) i kao donja stepenica sliva Imotsko polje na hipsometrijski približno 250 m. Različiti visinski razmještaj polja posljedica je tektonske destrukcije primarno cjelovitog miocenskog sedimentacijskog bazena (BAHUN, 1991). Litološki sastav i strukturno tektonski odnosi naslaga u zaleđu Imotskog polja veoma su složeni (PETRIK, 1960; RAIĆ et al., 1976; BOJANIĆ et al., 1981; SLIŠKOVIĆ & IVIČIĆ, 1999, 2001) i imaju ključnu ulogu za hidrogeološke odnose, a samim tim i za racionalno korištenje i zaštitu podzemne vode.

Najveći dio prostora razmatranja izgrađen je od dobro vodopropusnih, tektonski izrazito razlomljenih gornjokrednih i eocenskih vapnenaca i znatno slabije rasprostranjenih dolomita i dolomitnih vapnenaca donje krede. Kompleks klastičnih prominskih naslaga je izrazito slabije propustan od vapnenaca, pa usmjerava podzemne i površinske vode prema jugoistoku. Nepotpune, tzv. viseće hidrogeološke barijere predstavljaju miocenske i kvartarne glinovite naslage krških polja. U Imotskom polju njihova debljina je veća od 130 m. Relativnu podzemnu hidrogeološku barijeru čine donjokredni dolomiti i pločasti vapnenci zastupljeni u području Imotski-Grude. Potpune barijere podzemnim vodama predstavljaju permotrijaski pješčenjaci, gips i anhidrit Sobača i eocenske flišne naslage u području Vira, Zavelima, Roškog polja, Mesihovine, Studenih vrila i Rakitnog.

Zbog izrazite okršenosti karbonatnih naslaga unutar sliva padalinska voda se vrlo brzo infiltrira u podzemlje. Hidrogeološko obilježje sliva je dotjecanje podzemne vode iz brdovitog zaleđa, izviranje u sjeverozapadnim rubnim dijelovima polja i poniranje u jugoistočnim dijelovima polja, podzemni tok kroz vodopropusne naslage u smjeru niže položenih polja, ili ispod vodonepropusnih klastičnih naslaga sve do Imotskog polja. Površinski tokovi duž Imotskog polja završavaju u ponorima, voda podzemno otječe prema niže smještenim Rastok i Vrgoračkom polju i prema Jadranskom moru koje predstavlja konačan recipijent za sve vode iz karbonatnog zaleđa. Glavnina vode iz jugozapadnog dijela Imotskog polja ponornicama otječe prema

vrulji Dubci kod Brele. Tok rijeke Vrlike nakon poniranja u Šainovcu izvire u Peć-Mlinima, u BiH, kao Rijeka Tihaljina.

Izvori u tzv. gornjim poljima, iznad Imotskog, su male izdašnosti. Nastali su na kontaktu vapnenaca i eocenskog fliša i/ili miocenskih klastita s izdašnošću od 0,1–4 l/s. Najveći dio vode sliva izvire u Imotskom polju i uz lijevu obalu gornjeg toka rijeke Tihaljine. Najvažniji izvor slivnog područja je Opačac (oko 1000 l/s) koji predstavlja strateške rezerve pitke vode RH. Značajniji izvori u dolini rijeke Tihaljine su: Vrilo Tihaljine (700 l/s), Kordići (ukupno 120 l/s) i Klokun (3000 l/s). Sliv Imotskog polja i gornjeg toka rijeke Tihaljine u najvećoj mjeri definiran je na temelju trasiranja tokova vode u podzemlju. Trasiranja u Roškom polju, Ričici, Ričini i Studenim vrilima utvrdila su sigurnu podzemnu vezu s izvorom Opačac i njemu obližnjim izvorima u sjeverozapadnom dijelu Imotskog polja. Trasiranja od Tribistova, Posušskog polja i Ričine kod Mandurića kuća utvrdila su podzemnu vezu s Grudskim vrelom u periodu hidrološki visokih voda. U hidrološki sušnom razdoblju godine voda otječe ispod Imotskog polja u smjeru rijeke Tihaljine.

Sliv se odlikuje nepodudarnošću morfoloških i hidrogeoloških razvodnica. Granice sliva su uglavnom podzemne-zonarne s iznimkom prema slivu Duvanjskog polja gdje je granica površinska i podzemna zonarna, predstavljena vodonepropusnim kompleksom promina naslaga od Roškog polja preko Mesihovine i Studenih vrela. U produžetku prema sjeveroistoku, granica sliva prema rijeci Ugrovači i Rakitnu pruža se preko najviših vrhova Oštrea, zaobilazi Tribistovo i svija se prema jugoistoku. Na području od Tribistova do Potkraja razvodnica je podzemna zonarna. Granica sliva u jugozapadnom dijelu, duž vrhova Podosoja i Volujaka je orografska. Dalje prema sjeverozapadu preko Lokvičića i Studenaca je podzemna zonarna, jer je trasiranjem dokazano da dio vode Roškog polja otječe prema rijeci Cetini. Trasiranjem ponora rijeke Vrlike u Runovićima (Škorin ponor) dokazana je podzemna veza s izvorima u Rastok i Vrgoračkom polju. Trasirani ponori u polju Nuga i kod Drinovaca (ukupno 7 ponora) imaju jaku podzemnu vezu s desetak izvora u gornjem toku rijeke Tihaljine.

Prema hidrološkoj bilanci dotok vode u Imotsko polje veći je od 17 m<sup>3</sup>/s. Izmjereni srednji protok vode na rijeci Vrlici prije ponora Šainovci iznosi 12,61 m<sup>3</sup>/s. To upućuje na zaključak da se oko jedne četvrtine vode gubi u koritu Vrlike i u okolici Prološkog blata.

**Literatura**

- BAHUN, S. (1991): O postanku Crvenog i Modrog jezera kod Imotskog.– Geol. vjesnik, 44, 275–280.
- BOJANIĆ, L., IVIČIĆ, D. & BATIĆ, V. (1981): Hidrogeologija Imotskog polja s osvrtom na značaj u regionalnom smislu.– Geol. vjesnik, 34, 127–135.
- PETRIK, M. (1960): Hidrografska mjerenja u okolini Imotskog.– Ljetopis Hrvatske akademije znan. i umjet., 64, 266–286, Zagreb.
- RAIĆ, V., AHAC, A. & PAPEŠ, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Imotski, K 33–23.– Inst. za geol. istraž. Sarajevo, Sav. geol. zav. Beograd.
- SLIŠKOVIĆ, I. & IVIČIĆ, D. (1999): Hidrogeologija sliva i korištenje voda rijeke Trebižat.– 2. Hrv. konf. o vodama, Dubrovnik, Zbornik radova, 589–596.
- SLIŠKOVIĆ, I. & IVIČIĆ, D. (2001): Nove spoznaje o slivu Imotskog polja.– Hrvatske vode, 35, 177–185.

## Pollution in Slovenia Owing to Mining and Metallurgy

Robert Šajn & Mateja Gosar

*Geological Survey of Slovenia, Dimičeva, 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: robert.sajn@geo-zs.si*

**Key words:** Heavy metals, Pollution, Mining, Smelting, Slovenia.

### Introduction

Slovenia has long been known for its numerous mines and ore processing. From the Roman times to present, 49 mines and open pits were opened (BUDKOVIČ et al., 2003), four of which were large (Idrija, Mežica–Topla, Litija and Žirovski vrh). There were also 25 ore processing plants and smelters that were operating mostly in the vicinity of larger mines (Idrija, Žerjav, Celje). There were 33 iron works operating in the vicinity of mines and open pits (BUDKOVIČ et al., 2003), three large ones have further developed and are still operating (Jesenice, Ravne na Koroškem and Štore).

As the ore processing capacities have far exceeded the capacities of the Slovenian mining, ore has long been imported and thus only processed in Slovenia. On the basis of the results of our investigations in the vicinity of larger mines and smelters (Fig. 1), we estimated that in Slovenia the areas in which critical limit for heavy metals content is exceeded sums up to about 76 km<sup>2</sup> (ŠAJN & GOSAR, 2004).

### Present geochemical investigations

The objective of the presented geochemical investigations was to establish the extension of environmental pollution with heavy metals, and to distinguish between natural (geogenic) and anthropogenic components of the pollution.

In the area of Celje, a town with about 50.000 inhabitants, we found very high contents of Ag, As, Cd, Cu, Mo,

Pb, S, Sb and Zn, the source of which was the smelting of zinc ore between the years 1873 and 1970. The distribution of cadmium in the upper level of soil is a good example of a strong anthropogenic impact. The average cadmium content in the area around Celje (1.9 mg/kg) is approximately 3 times above the Slovenian average, while in the town centre (7.5 mg/kg) it is even 15 times above the Slovenian average (ŠAJN, 2005).

In the area of Jesenice, a town with about 20.000 inhabitants, we investigated the impact of centuries long lasting ironworks activities in a narrow alpine valley. We identified anthropogenic enrichment (Cd, Cu, Hg, Mn, Pb in Zn) in the upper horizon of soil. Soil sampling in the area of 113 km<sup>2</sup> established that 13 km<sup>2</sup> of the research area has concentrations of heavy metals in topsoils above the official limit of critical concentration. In the area around Jesenice, the average content of cadmium (2.1 mg/kg) is 4 times above the Slovenian average (ŠAJN et al., 1999).

In the Mežica valley, 300 years of lead and zinc ore mining and smelting have had a very negative impact to the environment. The area is strongly polluted with Ag, As, Cd, Cu, Hg, Mo, Pb, S, Sb, Sn and Zn. By soil sampling in the area of 101 km<sup>2</sup> was established that the concentrations of heavy metals in topsoils exceed the official limit of critical concentration in 24 km<sup>2</sup> of the research area. In the investigated area, the average content of cadmium in the upper level of soils (2.6 mg/kg) is more than 5 times above the Slovenian average (VREČA et al., 2001; ŠAJN, 2002).

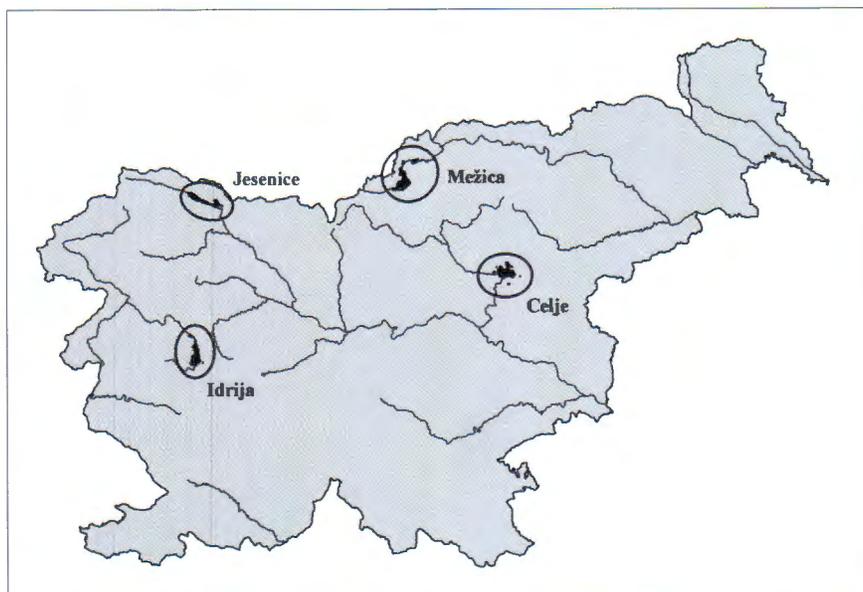


Fig. 1 Researched areas and critically polluted soil, which are consequence of mining and smelting (ŠAJN & GOSAR, 2004).

In Idrija and its close surroundings, the influences to the environment have been studied of natural dispersion of mercury combined with half of millennium of mining (PALINKAŠ et al., 1995). 160 km<sup>2</sup> around the Idrija mercury mine were investigated and it was established that mercury concentrations in soil exceed the critical values for soil (10 mg/kg) on 21 km<sup>2</sup>. The estimated soil mercury mean for the studied area (8.6 mg/kg) was 5 times above the Slovenian average (GOSAR & ŠAJN, 2003).

#### Future geochemical investigations

The future geochemical research is directed mostly towards the surroundings of smaller abandoned mines, metallurgical plants, and corresponding mine tailings. The objective of the investigations will be geochemical survey in the vicinity of abandoned mines and mining plants: 1) estimation of geochemical characteristics of the geological environment before any human interference, and 2) estimation of the pollutants load originating in mining and processing of mineral raw materials. The research will also try to establish the anthropogenic load of heavy metals in the surface materials.

Special emphasis will be given to the introduction of new principles and methodologies of geochemical research, in regional as well as detailed scale, particularly to comparing primary and recent conditions. The results of the research will contribute to the assessment of potential vulnerability and hazard in the areas in the vicinity of mining and metallurgical plants, as well as metallurgical slag and mine tailings.

#### References

- BUDKOVIČ, T., ŠAJN, R. & GOSAR, M. (2003): Environmental impact of active and abandoned mines and metal smelters in Slovenia.– *Geologija*, 46/1, 135–140, Ljubljana.
- GOSAR, M. & ŠAJN, R. (2003): Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia.– *Journal de Physique*, 107, 561–564, Les Ulis.
- PALINKAŠ, L.A., PIRC, S., MIKO, S.F., DURN, G., NAMJESTNIK, K. & KAPELJ, S. (1995): The Idrija mercury mine, Slovenia, a semi-millennium of continuous operation: an ecological impact.– In: RICHARDSON, M. (ed.): *Environmental toxicology assessment*.– Taylor & Francis, 317–341, London.
- ŠAJN, R. (2002): Influence of mining and metallurgy on chemical composition of soil and attic dust in Meža valley, Slovenia.– *Geologija*, 45/2, 547–552, Ljubljana.
- ŠAJN, R. (2005): Using attic dust and soil for the separation of anthropogenic and geogenic elemental distributions in an old metallurgic area (Celje, Slovenia).– *Geochemistry: exploration, environment, analysis*, 5/1, 59–67, London.
- ŠAJN, R., BIDOVEC, M., GOSAR, M. & PIRC, S. (1999): Geochemical soil survey at Jesenice area, Slovenia.– *Geologija*, 41, 319–338, Ljubljana.
- ŠAJN, R. & GOSAR, M. (2004): An overview of some locations in Slovenia that became polluted due to past mining and metallurgic activities.– *Geologija*, 47/2, 249–258, Ljubljana.
- VREČA, P., PIRC, S. & ŠAJN, R. (2001): Natural and anthropogenic influences on geochemistry of soils in barren and mineralized carbonate terrains.– *Journal of Geochemical Exploration*, 74, 99–108, Amsterdam.

## Environmental Impacts of An Abandoned Mercury Mine St. Ana (Slovenia)

Robert Šajn<sup>1</sup>, Mateja Gosar<sup>1</sup> & Tamara Teršič<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geological survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: robert.sajn@geo-zs.si

<sup>2</sup> University of Ljubljana, NTF, Askerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

**Key words:** Mercury, Pollution, Mining, Smelting, Slovenia.

### Introduction

The St. Ana mercury mine lays in the NE part of Slovenia, in a narrow Alpine valley next to the border between Slovenia and Austria. Geographically, the area belongs to the Southern Alps and has a complex morphology. The ore deposit is located between 700 and 800 m above sea level in a narrow glacial valley.

The St. Ana ore deposit is of hydrothermal-vein type, developed as a consequence of  $T_2^2$  volcanism (DROVENIK et al., 1980). The ore appears in  $T_2^1$  limestone, mostly as cinnabar, in a form of small veins (DIMKOVSKI, 1972). The ore deposit was exploited between the years 1557 and 1902. Total production of the mine was 110.000 tons of ore (360 tons of Hg). A smelter located close to the mine had been in operation since 1855. The mine and smelter waste was dumped in close vicinity of the mine. Total quantity of the waste has been estimated to 170.000 tons (MOHORIC, 1957). Most of the material was used in the construction of the Ljubljana–Celovec (Klagenfurt) road, which runs along the valley.

### Materials and methods

The soil sampling was conducted in the years 2003–2004. There were 63 samples of soil (0–5 cm) and 23 samples

of soil (20–30 cm) taken in six cross-sections in the wider area and within a research mesh 100x100 m in the narrow area of the mine and smelter (88 ha). Each sample consisted of 5 sub-samples. The soil samples were gently crushed, then the fraction smaller than 2 mm was pulverized. Hg was determined by means of cold vapor atomic absorption spectrometry CV–AAS after aqua regia digestion (mixture HCl,  $HNO_3$  and water at 95°C). The reliability of analytical procedures was considered adequate for using the determined elemental contents in further statistical analyses.

### Results and discussion

Average contents of Hg in the upper soil horizon exceeded the estimated average for soil in Slovenia, which is 0.065 mg/kg (ŠAJN, 2003), more than 56-times (3.67 mg/kg), while in the lower soil horizon the estimated average was exceeded about 21-times (1.39 mg/kg). The results have shown that in the research area, a size of about 9 ha (Fig. 1), the contents of Hg in soils exceeded the officially set limit value for soils (10 mg/kg). The highest contents of Hg was determined in a sample taken in the immediate vicinity of the smelter (719 mg/kg) and is related to the contents of Hg in the polluted areas of Idrija (GOSAR & ŠAJN, 2003)

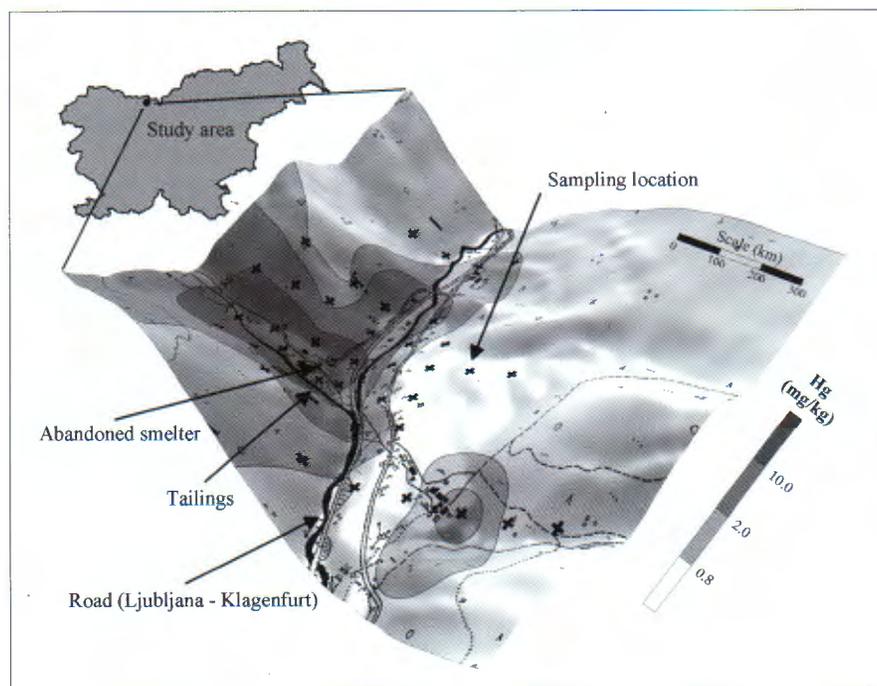


Fig. 1 Areal distribution of Hg in the studied area.

High contents of Hg in soil around the abandoned smelter are a consequence of former atmospheric emissions and technological losses. They are sustained by a high portion of organic matter in soils. High contents of Hg were also found in the mine and smelter waste dump. The highest determined contents of Hg (108 mg/kg) in this area are almost 7-times lower than the contents of Hg in the area of the smelter. As the utilisation rate of smelting process was only 55% (MOHORIČ, 1957), smelting waste still contain high contents of Hg, mostly in a form of cinnabar. Soils along the Ljubljana–Celovec (Klagenfurt) road are also loaded with Hg, which is a consequence of the use of mining and smelter waste in the construction of the road. A strong geogenic impact could not be determined in any of the sampling locations.

The impact of mining and processing of Hg on the environment is spatially limited. The contents of Hg are very high in the close vicinity of the mine and decrease with depth and distance from the source of pollution. The wider area of the mine is not highly populated; therefore, high contents of Hg are not critical. Anomalous critical values of Hg are a potential threat only to those people who live in the near vicinity of the abandoned smelter.

## References

- DIMKOVSKI, T. (1972): Geološke raziskave živega srebra na območju Podljubelj od 1965 do 1971 leta.– Geological Survey of Slovenia, Ljubljana, 47 p.
- DROVENIK, M., PLENIČAR, M. & DROVENIK, F. (1980): Nastanek rudišč v SR Sloveniji.– Geologija, 23, 1–137, Ljubljana.
- GOSAR, M. & ŠAJN, R. (2003): Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia.– Journal de Physique, 107, 561–564, Les Ulis.
- MOHORIČ, I. (1957): Zgodovina obrti in industrije v Trziču, Prva knjiga.– Državna založba, Ljubljana, 379 p.
- ŠAJN, R. (2003): Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia.– Journal de Physique, 107, 1173–1176, Les Ulis.

## Experimental Geochemical Map of Croatia and Slovenia

Robert Šajn<sup>1</sup>, Zoran Peh<sup>2</sup>, Josip Halamić<sup>2</sup>, Slobodan Miko<sup>2</sup> & Lidija Galović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: robert.sajn@geo-zs.si

<sup>2</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Key words:** Geochemistry, Mapping, Soil, Croatia, Slovenia.

### Introduction

The experimental geochemical map of Croatia and Slovenia is created as a result of successful international cooperation in the field of environmental geochemistry. Regarding the fact that strategy and methodology in producing our national geochemical maps have hitherto much in common we decided to produce the joint geochemical map that would explain the geochemical trends of the wider area in a more comprehensive way.

### Materials and methods

The joint investigation was grounded on 2346 analyses of soils sampled at 2329 locations in the 5x5 km grid on the territory of Croatia (HALAMIĆ & GALOVIĆ, 1999, 2000, 2002; HALAMIĆ et al., 2003; MIKO et al., 2001; PEH & MIKO, 1999), with finer sampling pattern applied to the areas of the national parks (MIKO et al., 2000). On the Slovenian territory we used 819 analyses from the basic 5x5 km sampling grid (ANDJELOV, 1994), or 25x25 km (PIRC, 1993; ŠAJN, 2003), and 2349 analyses from 1983 locations from the finer grid, particularly in the urban areas (ŠAJN et al., 1998), and areas of former mining and of smelting industry (ŠAJN, 2002, 2005; ŠAJN et al., 1999; GOSAR & ŠAJN, 2001).

The methodology of sampling, sample preparation and analysis was in both cases in accordance with IGCP and FOREGS recommendations (DARNLEY et al., 1995; SALMINEN et al., 1998). The research work included 5514 analyses from 5134 sampling locations. For the purpose of evaluating the associations between chemical elements we used the cluster and R-type factor analysis. The correlation coefficient ( $r$ ) was selected as a measure of association between elements. Normality of variable distributions was tested both by statistical tests and visual inspection of histograms. A set of 26 elements was selected for further treatment: Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, As, Ba, Cd, Cr, Cu, La, Mn, Nb, Ni, Pb, Sc, Sn, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr and Hg. Other elements were omitted from further consideration because 1) number of analyses was insufficient for successful handling, 2) most of the analyses were under the detection limit, or 3) some elements failed to establish logical associations (low communalities) in factor analysis. The factor analysis parsimoniously reduced the initial number of 26 chemical elements to 5 new variables (factors) representing the fundamental geochemical correlations of elements.

In order to interpret the geochemical maps as correctly as possible we used the method of universal kriging with linear variogram and linear drift. The concentrations of an-

alyzed elements on the point were interpolated in the basic cell 2.5x2.5 km. The individual grid data are influenced by the 128 closest values from eight sectors in a regular octagonal pattern.

### Natural distribution of chemical elements

The main chemical association brings together the high contents of Fe, Ni, Cr, Sc, V, Mn, Al and Cu, distinguishing the areas covered by Pg and K-flysch, and to a lesser degree the areas outcropped by Ng postorogenic sedimentary formations as well as by metamorphic rocks of the Pohorje Mt. and its environs. The next geochemical association (Nb, La, Th, As, Y, Zr) is characteristic for brown carbonate soils, or terra rossa on carbonate platforms, as well as for the areas of eastern Slavonia. Geochemical association correlating Ba, K and Na is typical for areas covered by igneous rocks. In the Pannonian part of Croatia the higher concentrations of these elements are related to the sedimentary rocks originated mostly from the weathering of igneous rocks. The combination of Ca, Sr, Mg and P is most poorly differentiated. Generally, these elements are associated either with rendzinas and similar soil types in the mountainous areas or, again, with the carbonate contents in immature alluvial soils in the Sava and Drava river valleys.

### Anthropogenic impact

Geochemical association of Pb, Zn, Hg and Cd represents a typical heavy metal association originated either as a consequence of natural erosion of ore-bearing rocks or, again, of mining activity and smelting industry in the past. Their highest concentrations can be found in Slovenia in the vicinity of mines and metallurgic centers (Idrija, Mežica, Litija, Jesenice and Celje). Mining activity left its traces as well, which is reflected in the higher concentrations of heavy metals in recent sediments of the Sava and Drava rivers (HALAMIĆ, 2003). Increased values in the areas of Gorski kotar, Velebit and Dalmatia derive their origin mostly from atmospheric deposition (MIKO et al., 2000, 2002).

### References

- ANDJELOV, M. (1994): Rezultati radiometričnih in geokemičnih meritev za karto naravne radioaktivnosti Slovenije.– *Geologija*, 36, 223–248, Ljubljana.
- DARNLEY, A.G., BJÖRKLUND, A., BÖLVIKEN, B., GUSTAVSSON, N., KOVAL, P.V., PLANT, J.A., STEENFELD,

- A., TAUCHID, M. & XIE XUEJING, (1995): A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendations for international geochemical mapping. Final report of IGCP project 259.– UNESCO Publishing, 122 p.
- GOSAR, M. & ŠAJN, R. (2001): Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia).– *Geologija*, 44, 137–159, Ljubljana.
- HALAMIĆ, J. & GALOVIĆ, L. (1999): Geochemical Maps of Northwestern Croatia.– Unpubl. Report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb, 72/1999, 111 p.
- HALAMIĆ, J. & GALOVIĆ, L. (2000): Geochemical Maps of Northern Croatia.– Unpubl. Report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb, 72/2000, 104 p.
- HALAMIĆ, J. & GALOVIĆ, L. (2002): Geochemical Maps of the Part of North Croatia.– Unpubl. Report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb, 25/2002.
- HALAMIĆ, J., GALOVIĆ, L. & ŠPARICA, M. (2003): Heavy metal (As, Cd, Cu, Hg, Pb and Zn) distribution in topsoil developed on alluvial sediments of the Drava and Sava Rivers in NW Croatia.– *Geol. Croatica*, 56/2, 215–232.
- MIKO, S., PEH, Z., BUKOVEC, D., PROHIĆ, E. & KASTMÜLLER, Z. (2000): Geochemical baseline mapping and Pb pollution assessment of soils in the karst in Western Croatia.– *Nat. Croat.*, 9/1, 41–59.
- MIKO, S., HALAMIĆ, J., PEH, Z. & GALOVIĆ, L. (2001): Geochemical baseline mapping of soils developed on diverse bedrock from two regions in Croatia.– *Geol. Croatica*, 54/1, 53–118.
- MIKO, S., PEH, Z., ŠPARICA, M. & MESIĆ, S. (2002): Geochemical Atlas of mountainous Croatia and northern Hrvatsko Primorje.– Unpubl. Report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb, 201/2002, 28 p.
- PEH, Z. & MIKO, S. (1999): Geochemical Atlas of Central and Southern Dalmatia.– Unpubl. Report, Archive of the Institute of Geology, Zagreb, 102 p.
- PIRC, S. (1993): Regional geochemical surveys of carbonate rocks; Final report; USG Project Number: JF 881–0.– Unpubl. Report, Archive of NTF, Ljubljana, 30 p.
- SALMINEN, R., TARVAINEN, A., DEMETRIADES, M. & 25 others (1998): FOREGS Geochemical mapping field manual.– Geological Survey of Finland, Espoo, 35 p.
- ŠAJN, R. (2002): Influence of mining and metallurgy on chemical composition of soil and attic dust in Meža valley, Slovenia.– *Geologija*, 45/2, 547–552, Ljubljana.
- ŠAJN, R. (2003): Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia.– *Journal de Physique*, 107, 1173–1176, Les Ulis.
- ŠAJN, R. (2005): Using attic dust and soil for the separation of anthropogenic and geogenic elemental distributions in an old metallurgic area (Celje, Slovenia).– *Geochemistry: exploration, environment, analysis*, 5/1, 59–67, London.
- ŠAJN, R., BIDOVEC, M., ANDJELOV, M., PIRC, S. & GOSAR, M. (1998): Geochemical atlas of Ljubljana and environs.– Geological survey of Slovenia, Ljubljana, 34 p.
- ŠAJN, R., BIDOVEC, M., GOSAR, M. & PIRC, S. (1999): Geochemical soil survey at Jesenice area, Slovenia.– *Geologija*, 41, 319–338, Ljubljana.

## Špilje u hidrotehničkom tunelu “Vela Luka”

### The Natural Caves in the “Vela Luka” Hydrotechnical Tunnel

Slobodan Šestanović<sup>1</sup>, Duško Barčot<sup>2</sup> & Antonia Dečman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sveučilište u Splitu, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Matice hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska;  
e-mail: slobodan.sestanovic@gradst.hr

<sup>2</sup> Institut građevinarstva hrvatske d.d. Zagreb, Poslovni centar Split, Matice hrvatske 15, HR-21000 Split, Hrvatska

**Ključne riječi:** špilje, hidrotehnički tunel, inženjerska geologija, geološki indeks čvrstoće, kategorizacija stijenske mase.

**Key words:** Cave, Hydrotechnical tunnel, Engineering geology, Geological strength index, Rock mass rating.

#### 1. Uvod

U sklopu kanalizacijskog sustava naselja Vela Luka projektiran je i izveden hidrotehnički kanalizacijski tunel duljine 913 m, kojim će se pročišćene otpadne vode evakuirati u more između otoka Korčule i Hvara. Tunel je oblika potkove. Čisti svijetli profil iskopa projektiran je s podom širine 264,34 cm i visinom 297 cm.

Područje u kojemu je izveden tunel nosi lokalni naziv Pinski rat (izvedenica od izvornog naziva Spilski ili Spiliski rat) i u njemu se nalazi svjetski poznati arheološki lokalitet Vela spila (OREB, 1999). Temeljem spoznaja o postojanju više špiljskih objekata u tom području, u opisu rezultata inženjerskogeoloških istraživanja navedena je mogućnost pojave špilja u profilu tunela, iako one nisu uočene kartiranjem šireg područja uz os tunela, a ni geofizičkim ispitivanjima.

Tijekom iskopa tunela doista se pojavilo nekoliko manjih i većih špilja te kaverni koje su usporavale napredovanje zbog potrebe saniranja i oblikovanja profila prema projektu.

#### 2. Litostratigrafske, inženjerskogeološke i hidrogeološke značajke stijena i terena

Teren u kojemu je izveden tunel izgrađuju naslage gornje krede, zastupljene cenomanskim ( $K_2^1$ ) vapnencima, dolomitiziranim vapnencima i dolomitima te turonskim ( $K_2^2$ )

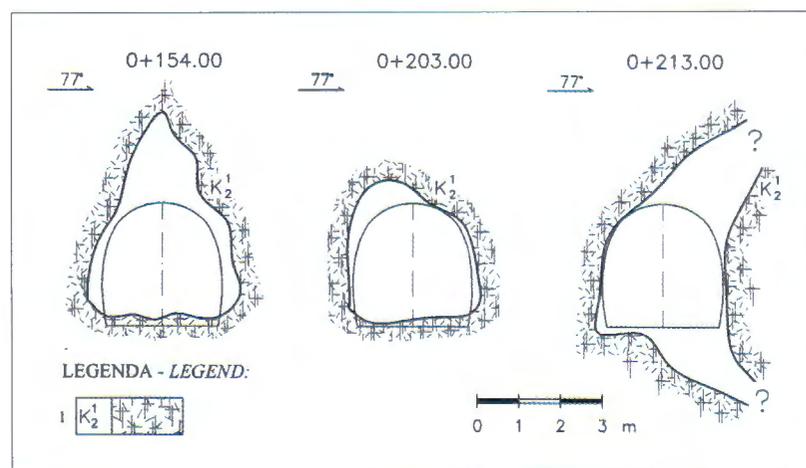
vapnencima s mjestimičnim proslojcima dolomita i dolomitiziranih vapnenaca (KOROLIJA & BOROVIĆ, 1968; KOROLIJA et al., 1968). Pretežita debljina slojeva cenomanskih naslaga je između 20 i 60 cm s pojavom bankova debljih od 100 cm. Debljina slojeva turonskih naslaga je također između 20 i 60 cm, uz mjestimičnu pojavu tankoslojevitih do pločastih. Svi slojevi su nagnuti prema sjeveru i sjeverosjeveroistoku pod kutom između 20 i 30°.

U inženjerskogeološkom smislu opisane naslage su dobro vezane i dobro okamenjene stijene čija jednoosna čvrstoća na tlak iznosi između 50 i 100 MPa. U površinskom dijelu stijena je jače razlomljena i okršena, a u zoni tunela se povećanjem debljine nadsloja poboljšavaju njezine fizičko-mehaničke značajke. Pukotine širine do 10 cm ispunjene su crvenicom, a one manjeg zijeva (do 1 cm) pretežito su bez ispune ili su stisnute. Zastupljene su cijelom duljinom tunela, uz povremene pojave kaverni i špilja.

Indeks kakvoće jezgre (RQD) u području tunela s malim nadslojem na početku i kraju te u jače razlomljenim zonama rijetko prelazi 25%, a u središnjim dijelovima pretežito iznosi između 50 i 75%, a nerijetko seže i do 100%.

Stijenke pukotina su pretežito ravne i hrapave, ispunjene crvenicom, a povećanjem debljine nadsloja postaju stisnute i bez ispune, zadržavajući hrapavost.

Uvažavajući sve relevantne parametre postignute istraživačkim radovima prije izvođenja tunela, prognozirani GSI (HOEK et al., 1995; HOEK & BROWN, 1997) bio je pretežito u rasponu 40–60 (povoljne stijenske mase),



Sl. 1 Profili većih špilja u tunelskom iskopu.  
Legenda: 1 – razlomljeni gornjokredni vapnenci.

Fig. 1 Large caves in tunnel excavation cross-sections. Legend: 1 – fractured Upper Cretaceous limestones.

a mjestimično i 60–80 (dobre stijenske mase). U tunelu je prognoza potvrđena činjenicom da se iskop izvodio u stijeni pretežito II. i III. kategorije uz pojavljivanje kraćih dionica lošije IV. i V. kategorije prema RMR-u (BIENIAWSKI, 1989).

Područje tunela se nalazi u zoni za koju se predviđa, uz 63% vjerojatnosti za povratni period od 200 godina, maksimalni intezitet potresa 7°, a za povratni period od 500 godina 8° MSK–64 ljestvice (JORGIC et al., 1987).

U hidrogeološkom smislu, gornjokredne vapnenačko-dolomitne naslage su dobro vodopropusne naslage s pukotinskom i kavernošnom poroznošću. Budući da se kroz njih oborinska voda relativno brzo procjeđuje u podzemlje, tijekom iskopa tunela u kišnim razdobljima se pojavljivalo vlaženje i prokapljivanje, ali bez koncentriranog dotoka.

### 3. Špilje i njihovo značenje u izvođenju tunela

Špilje su u tunelu registrirane na više mjesta u cenoman-skim naslagama, najizrazitije od stacionaže 0+061,00 do stacionaže 0+073,50, od stacionaže 0+146,00 do stacionaže 0+168,50 i od stacionaže 0+203,00 do stacionaže 0+233,50. Najveća špilja registrirana je između stacionaža 0+210,00 i 0+215,00 otvora do 4 m u kaloti s vidljivom visinom oko 10 m i nastavkom uz postupno sužavanje prema desnoj strani ispod poda tunela otvora 2 x 3 m, vidljive dubine oko 8 m. Špilja u podu tunela utvrđena je i između stacionaža 0+071,50 i 0+073,50 s otvorom 2 x 1,5 m i dubinom većom od 10 m. Znakoviti profili špilja prikazani su na sl. 1.

Zone pojava špilja, kaverni i jače razlomljenih stijena svrstane su u IV. kategoriju tunelskog iskopa, a dio s najvećom špiljom (od 210,00 do 215,00) u V. kategoriju prema RMR-u.

Navedena područja usporavala su napredovanja uz posebne mjere sanacije. Primjera radi, za formiranje profila u kaloti tunela u zoni najveće špilje uporabljani su čelični lukovi, dvostruka mreža i mlazni beton debljine 15 cm, a dio ispod poda je zatrpan i bit će saniran jakim armiranobetonskom pločom. Zatrpanje i premoštenje poda jakim AB pločom primijenjeno je i za sanaciju špilje koja se pojavila samo u podu tunela.

### Literatura

- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classification: A complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering.– Wiley, New York, 272 str.
- HOEK, E., KAISER, P.K. & BAWDEN, W.F. (1995): Support of underground excavation in hard rock.– A. A. Balkema, Rotterdam, 300 str.
- HOEK, E. & BROWN, E.T. (1997): Practical estimates of rock mass strength.– Int. J. Rock Mech. Min. Sci Geomech. Abstr. 34/8, Springer, 1165–1186, Heidelberg.
- JORGIC, M., ŠUPIĆ, V., KUK, V., HADŽIJEVSKI, D., PEKEVSKI, V., RIBARIĆ, V. & VUKAŠINOVIĆ, M. (1987): Seizmološka karta SFRJ za povratne periode.– Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- KOROLIJA, B. & BOROVIĆ, I. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, List Lastovo i Palagruža, K 33–46 i 57.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- KOROLIJA, B., BOROVIĆ, I., GRIMANI, I., MARINČIĆ, S., JAGAČIĆ, T., MAGAŠ, N. & MILANOVIĆ, M. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tumač za OGK, List Lastovo i Palagruža.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 53 str.
- OREB, F. (1999): Dvadesetpeti obljetnica arheoloških istraživanja Vele spile u Veloj Luci na otoku Korčuli (1974–1999).– Luško libro 7, 79–94, Zagreb.

## Hidrogeološki istraživački radovi na sjevernom dijelu otoka Silbe

### Hydrogeological Research of the Northern Part of the Island of Silba

Josip Terzić<sup>1</sup>, Janislav Kapelj<sup>1</sup>, Stanislav Bergant<sup>1</sup>, Goran Mitrović<sup>2</sup> & Marijan Krsnik<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; jterzic@igi.hr

<sup>2</sup>Institut građevinarstva Hrvatske, Rakušina 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** hidrogeologija, krš, odnos slatke i slane vode.

**Key words:** Hydrogeology, Karst, Salt/fresh water relations.

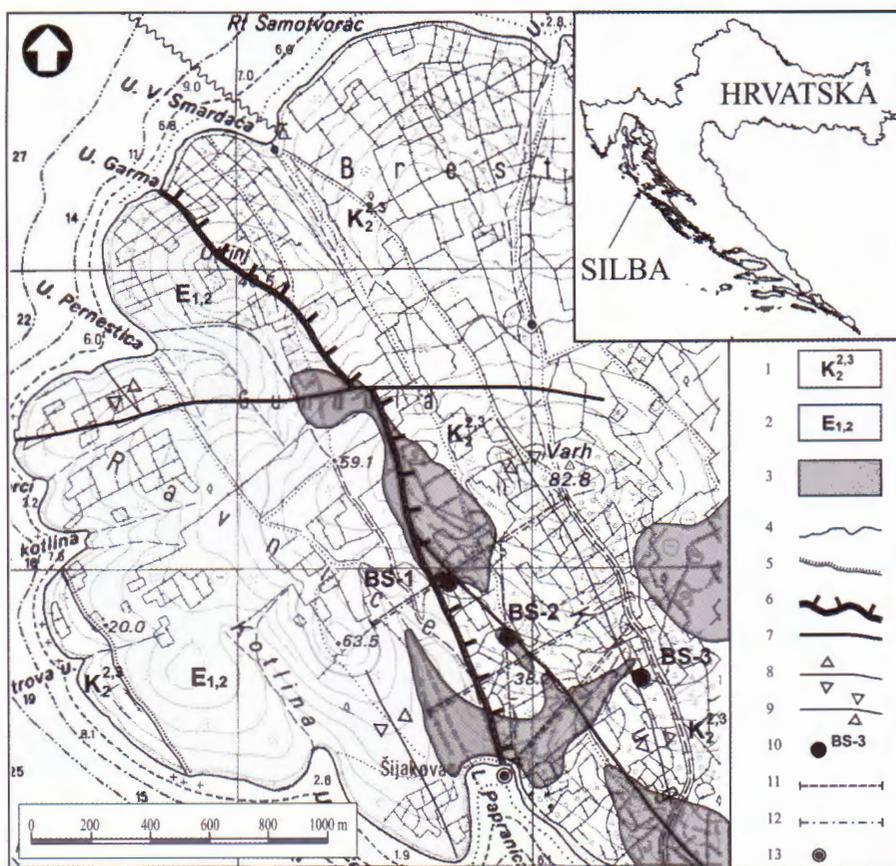
Na sjevernodalmatinskom otoku Silbi provedena su opsežna geološka, geofizička i hidrogeološka istraživanja sa svrhom zahvaćanja slatkovodne ili bočate leće u krškom podzemlju otoka. U prvoj fazi (GRAOVAC et al., 2002) istraživački su radovi usmjereni na perspektivne dijelove terena, gdje su u drugoj fazi (TERZIĆ, 2004a) na temelju hidrogeološke karte (sl. 1) obavljena geofizička istraživanja (geoelektrička tomografija, seizmička refrakcija, geoelektričko sondiranje i elektromagnetsko profiliranje) (KR-SNIK et al., 2003) i istraživačko bušenje. Izbušene su tri istraživačke bušotine u kojima je nakon inženjerske hidrogeološke determinacije jezgre ugrađena zdenačka konstrukcija i provedena mjerenja fizikalno-kemijskih parametara po dubini, te kratkotrajna pokusna crpljenja. Načinjene su kemijske analize uzoraka vode uzetih na kraju crpljenja.

Teren sjevernog dijela otoka Silbe je izgrađen od vapnenačkih stijena gornjokredne i eocenske starosti (MAMUŽIĆ et al., 1967) (sl. 1). Rasjed od uvale Papranica do uvale Garma je reverzan i upućuje na kompresijski karakter strukture. Sa SZ strane rasjeda nalazi se antiklinala izgrađena od stijena gornjokredne starosti, dok se JI od rasjeda nalazi sinklinala eocenskih foraminiferskih vapnenaca, koji transgresivno naliježu na gornjokredne vapnence na JI. U hidrogeološkom smislu sve su ove stijene propusne, razlomljene i okršene, no kredni su vapnenci visoko propusni, a stijenska masa izgrađena od foraminiferskih vapnenaca donekle je laporovita i može se uvrstiti u red srednje propusnih karbonatnih stijena. Interpretirani geofizički profili ukazali su na izrazitu heterogenost terena. Na temelju hidrogeološke karte i rezultata geofizičkih istraživanja određene su lokacije triju istraživačkih bušotina. Bušotina BS-1 smještena je u krednim vapnencima, blizu reverznog rasjeda. Prema geofizičkim podacima stijenska je masa u okolici bušotine unutar nesaturirane zone vrlo visokih otpora (1600–6400  $\Omega$ m), dok su otpornosti u saturiranom dijelu znatno niže (200–1600  $\Omega$ m). Refrakcijska seizmika prepoznala je oslabljenu zonu u tom dijelu terena (brzine seizmičkih valova  $v_p < 4000$  m/s). Pokusno crpljenje od 47 sati crpnom količinom od 0,65 l/s ukazalo je na dotoke i vjerojatnu mogućnost crpljenja oko 1,0 l/s bočate vode (koncentracija Cl<sup>-</sup> iona u uzorku na kraju crpljenja je iznosila 1833 mg/l, tj. 9,1% morske vode). Interpretacijom pokusnog crpljenja sukcesivnim nizom stacionarnih stanja (Thiemova metoda – pogodna za orijentacijski izračun na sličnim terenima; TERZIĆ, 2004b) izračunata je orijentacijska vrijednost hidrauličke vodljivosti stijenske mase reda veličine  $10^{-5}$  m/s.

Bušotina BS-2 smještena je također u gornjokrednim naslagama, uz jedan od ogranaka glavnog reverznog rasjeda. Bušotina je posebno zanimljiva zbog na ovakvim terenima neočekivane litološke anomalije. Naime, geofizički su podaci ukazivali na oslabljenu zonu s relativno niskim otporima (100–800  $\Omega$ m), što znači zaglinjenu rasjednu zonu. Međutim, probušeno je čak 52 m gline, od smeđkastih nijansi u prvih dvadesetak metara, preko sivkastih i sivosmeđih glina do 52. metra, uz sloj od 2,5 m gline plave boje na 35. metru. Na tri uzorka s različitih dubina načinjene su dodatne analize, kako bi se preciznije ustanovilo porijeklo ovih naslaga. To su, dakle, lapori i glinom bogati lapori s udjelom CaCO<sub>3</sub> 35–50%. Pokazuju pelitno-klastičnu strukturu s nakupinama gline u kriptu do mikrokristalnoj kalcitnoj masi. Sadrže do 10% siliciklastičnog detritusa (kvarc, rožnjak, kvarcit, muskovit) dimenzije praha do sitnozrnatog pijeska, mjestimično u laminama. Akcesorni su cirkon, granat, turmalin, rutil i klorit. Sastav siliciklastičnog detritusa, undulozno potamnjenje kvarca, malo mineralnih vrsta (najrezistentnijih) upućuju na višestruko pretaloživanje i porijeklo detritusa iz starijih magmatskih i metamorfnih stijena. Zrna pirita i organska tvar upućuju na reduktivne uvjete taloženja. Nakon 52 m dubine bušotina je ušla u gornjokredne vapnence, no u hidrogeološkom je smislu bezperspektivna jer je stijenska masa oko ovog glinenog “džepa” zapunjena sitnozrnatim i glinovitim materijalom i gotovo nepropusna. Kratkotrajno crpljenje ukazalo je na vrlo niske dotoke bočate vode (<0,2 l/s; Cl<sup>-</sup> 1986 mg/l).

Bušotina BS-3 izbušena je u krednim naslagama u središnjem dijelu otoka blizu osi antiklinale (mogućnost zahvaćanja ekstenzijski razlomljene stijenske mase), no nije opravdala očekivanja u hidrogeološkom smislu: dotoci su bili vrlo niski (oko 0,1 l/s), a salinitet prekomjerno visok (Cl<sup>-</sup> 7095 mg/l). Iako su geofizički podaci ukazivali na jaču razlomljenost tjemena antiklinale lokacija je smještena nešto izvan profila zbog nedostupnosti terena. Stijenska masa pokazala se izrazito kompaktnom, a malobrojne pukotine zapunjene su glinovitim materijalom koji znatno reducira propusnost.

Osnovno pitanje kod proučavanja hidrogeološke problematike krških otoka jest odnos slatke i slane vode. Na temelju rezultata provedenih istraživačkih metoda moguće je zaključiti kako je na otoku Silbi riječ o vrlo heterogenoj sredini u kojoj je formirana vodonosna leća, ispod koje se nalazi prijelazna zona bočate vode i na koncu slana morska voda. Heterogenost ovog sustava uzrokovana je tektoni-



Sl. 1 Hidrogeološka karta zaleda uvala Papranica s hidrogeološkim profilom. Tumač: 1 – vapnenac visoke propusnosti; 2 – vapnenac srednje propusnosti; 3 – teren djelomično prekriven kvartarnim taložinama; 4 – geološka granica; 5 – transgresivna granica; 6 – reverzni rasjed; 7 – rasjed; 8 – os antiklinale; 9 – os sinklinale; 10 – istraživačka bušotina; 11 – geoelektrični tomografski profil; 12 – seizmičko refrakcijski profil; 13 – skupina vrućja.

Fig. 1 Hydrogeological map of the Papranica bay hinterland with hydrogeological profile. Legend: 1 – highly permeable limestone; 2 – medium permeable limestone; 3 – partially covered with Quaternary deposits; 4 – geological boundary; 5 – transgressive boundary; 6 – reversed fault; 7 – fault; 8 – anticline axes; 9 – syncline axes; 10 – exploratory borehole; 11 – geoelectrical tomographic profile; 12 – seismic refraction profile; 13 – vrućja (submarine springs).

kom, okršavanjem, te posebno zapunjavanjem pukotinskih i kavernskih prostora, tako da je oblik leće u znatnoj mjeri poremećen i potrebno je tražiti lokalne dijelove terena u kojima je stijenska masa razlomljena i okršena, ali ne i pretjerano zapunjena sitnozrnatim materijalom. Takav je slučaj svakako bušotina BS-1, pa je u slučaju mogućih budućih istraživanja na otoku neophodno koristiti iskustva dosadašnjih geofizičkih i hidrogeoloških istraživanja. Vjerojatnost da je moguće zahvatiti i dodatne količine vode jest znatna.

### Literatura

- GRAOVAC, G., PANEŽIĆ, D., IVANOVIĆ, S., JEIĆ, D. & CAPAR, A. (2002): I. faza vodoistražnih radova na otocima Olib i Silba.– Arhiv Geofizika d.d., Zagreb.
- KRSNIK, M., MITROVIĆ, G. & ANDRIĆ, M. (2003): Vodoistražni radovi na jadranskim otocima, II. faza. Geofizička istraživanja. Knjiga 2 – otok Silba.– Fond str. dok. IGH, Zagreb.
- MAMUŽIĆ, P., SOKAČ, B., & VELIĆ, I. (1967): Osnovna geološka karta – Tumač za listove Silba i Molat, M 1:100.000.– Inst. za geol. istraž., Zagreb, Sav. geol. zavod, Beograd.
- TERZIĆ, J. (2004a): Otok Silba – hidrogeološki istražni radovi, II faza vodoistražnih radova.– Fond IGI, 30/04. Zagreb.
- TERZIĆ, J. (2004b): Hidrogeološki odnosi na krškim otocima – primjer otoka Visa.– Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 16, 47–58, Zagreb.

## Značenje Darcyjevih pokusa 150 godina poslije Significance of Darcy's Experiments 150 Years Later

Kosta Urumović

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: kurumo@rgn.hr

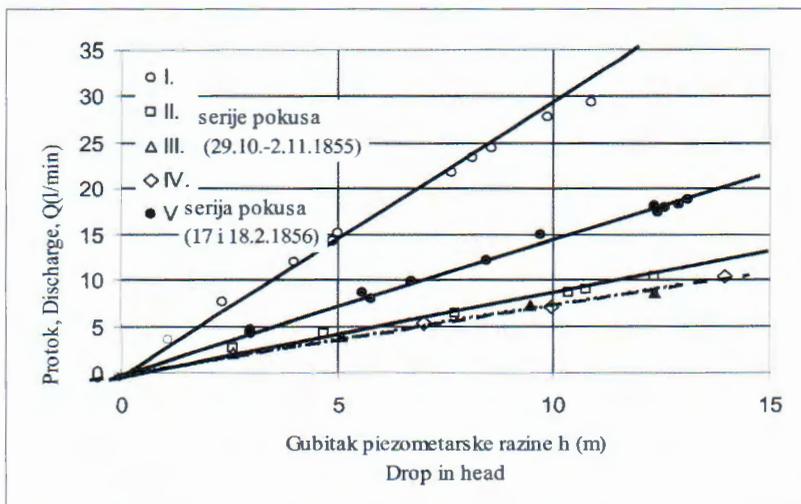
**Ključne riječi:** Darcyjev zakon, heterogenost, regionalizacija.  
**Key words:** Darcy's law, Heterogeneity, Upscaling method.

Ovaj kongres hrvatskih geologa održava se u mjesecu 150-te obljetnice Darcyjevih pokusa. Nadnevak ove obljetnice kao i nedavna dvjestota obljetnica njegovoga rođenja bili su povod brojnim napisima o izuzetnom znanstveniku (SIMMONS, 2003), respektabilnom voditelju francuskoga vodnog gospodarstva, a i žrtvi političke tlake u to burno vrijeme (FREEZ, 1994) Henryju Philibert Gaspard Darcyju (1803–1858), koji je kao egzaktni istraživač i seriozni znanstvenik ustrajno doprinio čovječanstvu (BROWN, 2002).

Te prve moderne znanstvene pokuse strujanja tekućine kroz poroznu sredinu Darcy je, uz pomoć inženjera Charlesa Rittera, pomno organizirao u laboratorijima bolnice poznatog francuskoga grada Dijona, i uz pozorna mjerenja proveo ih u razdoblju od 29. listopada do 2. studenoga 1855. godine, a potom provjerio 17. i 18. veljače 1856. godine. Genijalnost ovoga je temeljena na činjenici da je pokus izveden na način pri kojemu je ostvareno statistički i hidraulički bezprijekorno dvostruko osrednjenje mikroskopskoga gibanja tekućine u makroskopskoj poroznoj sredini. Rezultati toga jednostavno su prikazani parovima energetskih gubitaka i odgovarajuće protoke (sl. 1) u dodatku njegova kapitalnoga djela “*Les fontaines publiques de la ville de Dijon*”, točnije potpoglavlju *Determination des lois d'écoulement de l'eau à travers le sable* (str. 590–594) koje se nalazi u V. dodatku ovome djelu. Eto taj zakon kojega danas zovemo Darcyjevim zakonom ostaje stalna aktualna tema ozbiljnih teorijskih analiza, a i praktičnih istraživanja sve do današnjih dana.

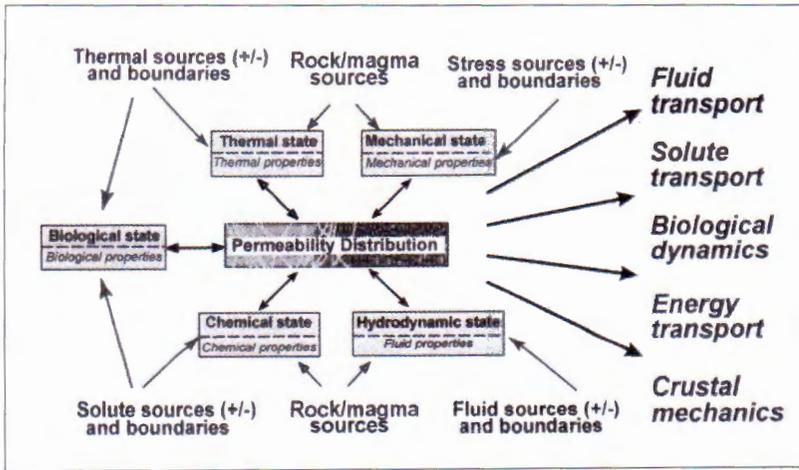
Načinom prezentacije ovih pokusa Darcy razvidno ističe njihovo značenje. Naime, njegovo opsežno djelo o vodoop-skrbnom sustavu grada Dijona rezultat je dugogodišnjega rada u kojemu također obrađuje izvorišta podzemnih voda i pitanja izbora šljunčanoga filtra pri obradbi vode. Darcy je pokuse proveo gotovo neposredno prije objavljivanja knjige pa su mogli poslužiti samo za provjeru ranijih rezultata. Ostvareni opći smisao neprijeporno je istaknuo naslovom “zakon tečenja vode kroz pijesak”. I njegove formulacije su besprijekorne jer za hidrauličku vodljivost jasno ističe da “ovisi o propusnosti sloja” (*un coefficient dépendant de la perméabilité de la couche*) i time je ustvari postavio pitanje propusnosti porozne sredine na način koji je, u različitim mjerilima, aktualna tema istraživanja i rasprava do današnjih dana.

Rasprave o poopćenju ovoga zakona za različite uvjete toka u odnosu na svojstva tekućine i krutine u kojoj se ona giba traju od uvođenja Darcyjevoga zakona u teoriju kontinuuma i prvoga praktičnog rješavanja toka podzemnih vode, koje je izveo njegov kolega iz školskih dana Julius DUPUIT (1863), do danas. U prvom razdoblju to se uglavnom odnosilo na primjenu Darcyjeva zakona u raznim uvjetima (saturiranost sredine, skupni procesi i sl.) na razini laboratorijskoga mjerila što je omogućavalo dobre prognoze uvjeta strujanja u homogenoj sredini. Sažetak teorijskih dometa takvih uvjeta prikazao je M. King HUBBERT (1956) u povodu 100. obljetnice. U tim analizama je hidraulička vodljivost razlučena na učinke propusnosti stijene, fluidnosti tekućine i gustoće masene sile. U kasni-



Sl. 1 Dijagram konstruiran iz podataka o Darcyjevima pokusima.

Fig. 1 Graphs compiled from Darcy's tabular data.



Sl. 2 Odnosi između mjerljivih svojstava vodonosnika i najznačajnijih pojava (prema FISHER, 2005).

Fig. 2 Relations between measured properties and processes of greatest interest (from FISHER, 2005).

jim proučavanjima koja traju sve do danas, aktualna su pitanja koja idu u dva smjera: jedan prema raščlambi učinaka stvarnih svojstava poroznoga medija na pojedine aspekte gibanja, a drugi pitanjima regionalizacije. Kako su pitanja regionalizacije snažno povezana s pojavama anizotropije poroznoga medija tako su i ova dva aspekta primjene Darcyjeva zakona međusobno isprepletana.

Središnje pitanje postaje propusnost i njena distribucija koja upravlja raznovrsnim procesima u svim mjerilima (sl. 2). Pritom se ona sve više ne može promatrati samo kao osrednjeno geometrijsko obilježje poroznoga prostora nego je važna i njena struktura, a posebice zavojitost kao značajan generator anizotropije. Povećanjem mjerila upravo anizotropija i heterogenost unose neizvjesnost u kvantifikaciji prijenosa materije i energije kroz vodonosne sustave. U suvremenoj hidrogeologiji se između ekstremnih zagovornika kvalitativnoga i kvantitativnoga pristupa mogu naći brojne razlike, međutim u svakom je pristupu nezaobilazno razumjevanje teorije makroskopskoga toka u kojoj središnju ulogu ima primjereno prilagođeni oblik Darcyjeva zakona. U suprotnom, neizvodivo je realno koncipiranje vodonosnih sustava i gradnja njihovih raznovrsnih modela, jer svako odstupanje u osnovnim teorijskim postavkama generira sustavnu pogrešku koja se s porastom mjerila umnaža. To je jedan od razloga što je poznavanje teorije strujanja na laboratorijskom mjerilu nužno i za razumjevanje rezultata suvremenih metoda regionalizacije (HUNT, 2005). U tom smislu je implicirana i eksperimentalna potvrda, koja za regionalne modele pretpostavlja primjenu lokalnih terenskih mjerenja, jer samo takva verifikacija metoda regionalizacije (*upscaling methods*) čini ih vjerodostojnim.

### Literatura

- BROWN, G.O. (2002): Henry Darcy and making of law.– *Water Resours Res*, 38/7, doi: 10.1029/2001 WR000727.
- DARCY, H. (1856): *Les fontaines publiques de la ville de Dijon.*– Dalmont, Paris.
- DUPUIT, J. (1863): *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et à travers les terrains perméables.*– Dunod, Paris.
- FISHER, A.T. (2005): Marine hydrogeology: recent accomplishment and future opportunities.– *Hydrogeol. J.*, 13, 69–97.
- FREEZ, R.A. (1994): Henry Darcy and the fountains of Dijon.– *Ground Water*, 32, 23–30.
- HUBBERT, M.K. (1956): Darcy's law and the field equations of the flow of underground fluids.– *AIME Petr. Transact.*, 207, 222–239.
- HUNT, A.G. (2005): Percolation theory and future of hydrogeology.– *Hydrogeol. J.*, 13, 202–205.
- SIMMONS, C.T. (2003): Happy 200th birthday Mr Darcy and thanks for your law!– *Hydrogeology Journal*, 11/6, 611–614.

## Zalihe podzemnih voda Blatskog polja na otoku Korčula Groundwater Resources of Blatsko Polje, Island of Korčula

Tatjana Vlahović<sup>1</sup> & Andrea Bačani<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatske vode, Ulica grada Vukovara 220, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: vtlajana@voda.hr

<sup>2</sup> Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** zalihe podzemnih voda, zaslanjenje vodonosnika, otok Korčula.

**Key words:** Groundwater resources, Saltwater intrusion, Island of Korčula.

### Uvod

Blatsko polje je smješteno na zapadnom dijelu otoka Korčule. Izgrađuju ga raspucale karbonatne naslage kredne starosti koje su prekrivene naslagama crvenice i kršja kvartarne starosti, prosječne debljine 7 m.

Presudnu ulogu za tečenje podzemnih voda i formiranje slivova na otoku ima antiklinalna struktura generalnog pružanja istok–zapad, koja se proteže gotovo duž cijelog otoka. U sjevernom krilu antiklinale zapadno od Kapje Male prema Veloj Luci formirano je niz krških polja, koja se stepeničasto spuštaju prema zapadu duž dijagonalnih ili poprečnih rasjednih sustava. U najnižem i najprostranijem Blatskom polju smješteno je crpilište Vodovoda Blato, koje opskrbljuje pitkom vodom zapadni dio otoka. Sastoji se od četiri kopana zdenca Studenac, Prcalo, Prbako i Gugić, pojedinačne dubine od 6 do 9,5 m. U ljetnom, sušnom razdoblju, kada su potrebe za vodom najveće eksploatira se ukupno oko 50 l/s vode. Povećano crpljenje uzrokuje povećanje saliniteta, ali samo u hidrološkim godinama s malo oborina.

### Provedena istraživanja

U svrhu definiranja optimalnog korištenja podzemnih voda Blatskog polja s prvenstvenim ciljem osiguranja dostatnih

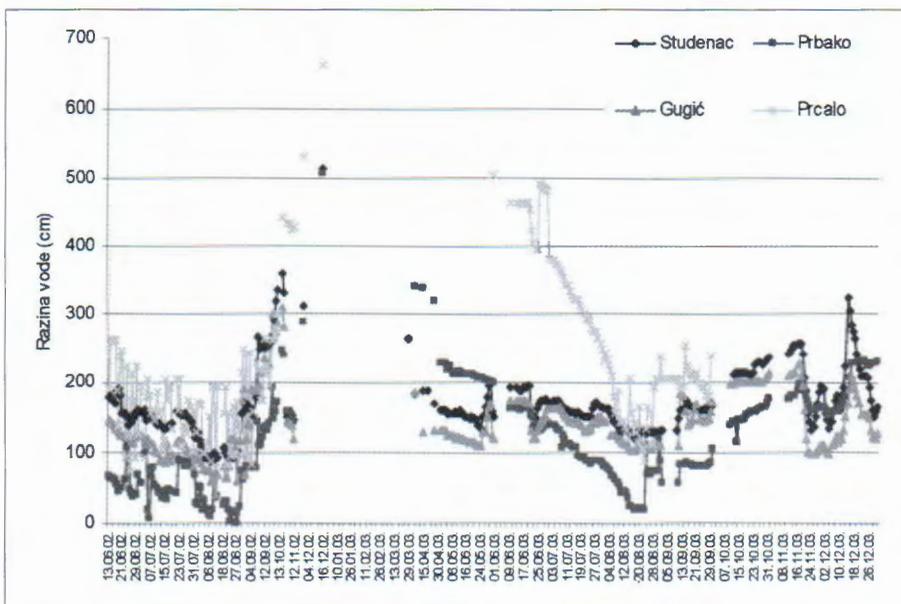
količina podzemne vode zadovoljavajuće kakvoće provedena su hidrogeološka istraživanja tijekom 2002–2003. godine (BAČANI et al., 2004; VLAHOVIĆ & BAČANI, 2004). Prikupljeni su dnevni podaci o crpnim količinama, koncentraciji klorida, razinama vode u zdcencima, razinama mora u uvali Bristva na sjevernoj obali i količini oborina.

### Rezultati

Podaci mjerenja razina vode i koncentracije klorida u vodi u zdcencima prikazani su na dijagramima (sl. 1 i 2). Od listopada 2001. do lipnja 2002. godine palo je svega 424 mm oborina, što je rezultiralo samo djelomičnom saturacijom karbonatnog vodonosnika. Pojačana eksploatacija sredinom lipnja 2002. uzrokuje daljnje snižavanje razina vode u zdcencima sve do konca kolovoza. U tom razdoblju se u početku crpe slatke ili blago bočate vode da bi koncem srpnja salinitet naglo porastao u svim zdcencima. Iako su koncem kolovoza 2002. razine vode u zdcencima porasle uslijed smanjene eksploatacije i palih oborina salinitet se stabilizirao na ispod 500 mg/l tek početkom listopada.

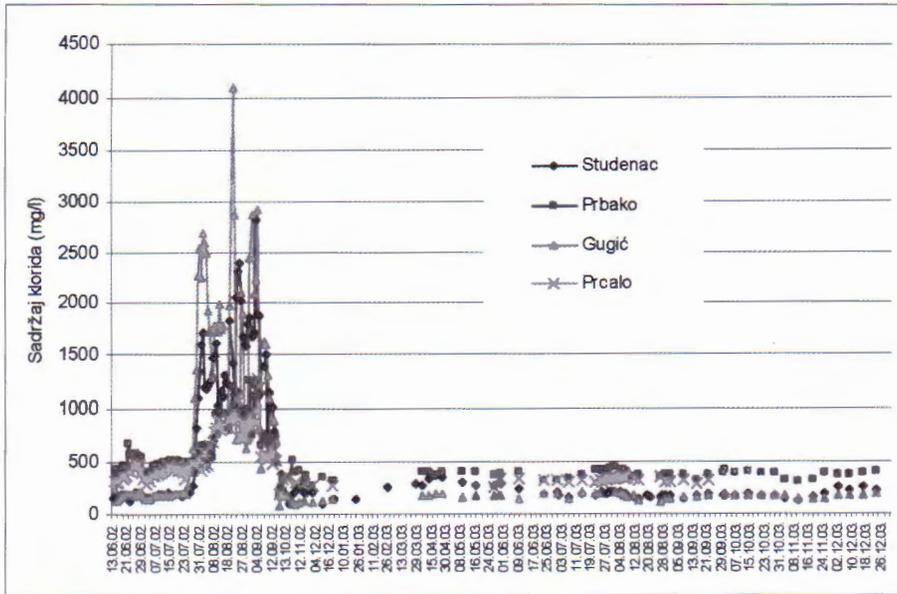
U ljeti 2003. godine nije zabilježen drastičan porast saliniteta zbog znatno veće količine oborina u prethodnom, vlažnom razdoblju u kojem je palo 646 mm kiše.

Praćenjem razina vode na zdcencima u Blatskom polju i razine mora u uvali Bristva nije utvrđen utjecaj plimnog



Sl. 1 Razina vode u zdcencima tijekom razdoblja opažanja.

Fig. 1 Water levels in wells during monitoring period.



Sl. 2 Sadržaj klorida u vodi zdenaca tijekom razdoblja opažanja.

Fig. 2 Chloride concentration in water during monitoring period.

vala na kolebanje vode u zdencima, što ne znači da ekstremno visoki plimni val nema utjecaja na podzemlje u Blatskom polju.

Kako bi se odredile raspoložive količine vode, načinjena je bilanca voda za nekoliko prethodnih godina, i to za visinu oborina od 528 mm, 540,5 mm, 600 mm i 708,8 mm. Za definiranu površinu sliva od 22 km<sup>2</sup>, dobivene su količine od 22,89 l/s, 25,18 l/s, 56,9 l/s i 92,5 l/s.

### Zaključak

Zalihe podzemnih voda na slivnom području Blatskog polja ograničene su i direktno ovise o visini oborina.

Količina oborina od 600 mm godišnje predstavlja kritičnu vrijednost koja podmiruje današnju potrošnju od 50 l/s u ljetnim mjesecima uz pretpostavku da se ukupna količina podzemne vode može zahvatiti zdencima.

Najviše oborina padne u razdoblju jesen–zima, no kako je uskladištenje blatskog vodonosnika ograničeno pala oborina otječe površinski (tunelom) ili podzemno prema moru gdje se prazni na vruljama i izvorima uz sjevernu i zapadnu obalu, budući da je blatski vodonosnik otvoren prema sjeveru i zapadu.

U cilju povećanja infiltracije oborinskih voda koje padnu u vlažnom razdoblju godine, u širem području sliva treba zadržati “velike” vode u drenažnim kanalima izra-

dom pregrada. Sustav treba urediti tako da se onemogući poplavljanje polja. Zadržavanjem vode u kanalima smanjit će se koeficijent otjecanja i povećati sezonske zalihe podzemne vode u zoni cijelog crpilišta.

Postojeći kapacitet crpilišta koristi praktički kompletne zalihe podzemne vode, tako da se ne može očekivati značajnije povećanje kapaciteta crpljenja na postojećim objektima. Režim crpljenja treba ujednačiti na način da crpke rade kontinuirano kroz 24 sata, manjim kapacitetom, kako bi se izbjegli “nagli skokovi”.

Moguće perspektivno područje za proširenje crpilišta je krajnji istočni dio Blatskog polja (istočno od Gugić zdenca), čije detaljnije istraživanje nema smisla dok se ne riješi problem otpadnih voda naselja. Taj problem treba hitno riješiti, jer postoji realna opasnost da se u suprotnom ugrozi i postojeće crpilište.

### Literatura

- BAČANI, A., ŠUMANOVAC, F., KAPELJ, S., UDILJAK, S., TRUTIN, M., PERKOVIĆ, D., PARLOV, J. & MARKOVIĆ, T. (2004): Vodoistražni radovi na crpilištu Blato na Korčuli, II faza.– Fond stručnih dokumenata Hrvatskih voda, Zagreb.
- VLAHOVIĆ, T. & BAČANI, A. (2004): Gospodarenje podzemnim vodama zapadnog dijela otoka Korčule.– Blatski ljetopis, 4, 169–178, Zagreb.

## Anthropological Effects, Land-Reclamation and Spatial Arrangement after Completion of Clay Surface Exploitation at the Locality “Garajevac–Zapad”, “Polet” Novi Bečej

Slobodan Vujić<sup>1</sup>, Zoran Bačkalić<sup>2</sup> & Katica Popov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Mining and Geology, Đušina 7, SCG-11000 Belgrade, Serbia and Montenegro; e-mail: vujic@rgf.bg.ac.yu

<sup>2</sup> Industry of building ceramics “Polet”, Železnička 13, SCG-23272 Novi Bečej, Serbia and Montenegro

**Key words:** Ecology, Environmental protection, Land-reclamation, Revitalization, Spatial arrangement, Surface exploitation, Clay, Garajevac, Polet, Novi Bečej, Serbia and Montenegro.

At the “Garajevac–Zapad” open pit mine, the exploitation of clay was completed in 1999, after twenty five years of operating and supplying the plant of the Building Ceramics Production Company “Polet” from Novi Bečej (Yugoslavia) with quality raw material. During exploitation works, a depression covering more than 50 hectares of land was made, temporarily degrading the land and disturbing the visual appearance of this area. Upon completion of works on this exploitation field, the company “Polet” analysed the problem of land-reclamation and revitalization of this space nearby the town. The task of solving the subject problem was entrusted to the Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade. Pursuant to the Project on land-reclamation and spatial arrangement, this depression with its surrounding will be transformed into a sports-recreation complex, including a lake as the central facility and the backbone of all other contents and activities. This paper gives a review of project solutions with a particular attention paid to the system of biological cleaning of water from the Danube–Tisa–Danube channel, planned to supply the future lake with water.

From ecological aspect, particularly important are the facts that some 2 km far from the exploitation field a natural reservation “Veliko Kopovo” is located being under protection of UNESCO, and that the urban zone of Novi Bečej is in the closest vicinity.

Throughout many-year observation and monitoring of the mutual effects of exploitation works and environment, it was concluded that apart from temporary degradation of soil and disturbance of the original visual appearance of this area, no permanent negative results on the living environment and surrounding were evidenced.

On the disturbances caused by the performance of mining works, the nature reacted spontaneously by making the swamp soil of the bottom of open pit green, through reeds and other types of aquatic plants, making the slopes and the belt around the pit green by pioneer plant types and returning back to newly formed settlements of numerous animal types such as cranes, herons, mallards, swans, storks and other waterfowls, pheasants, birds predators, hares, foxes and other types of animals.

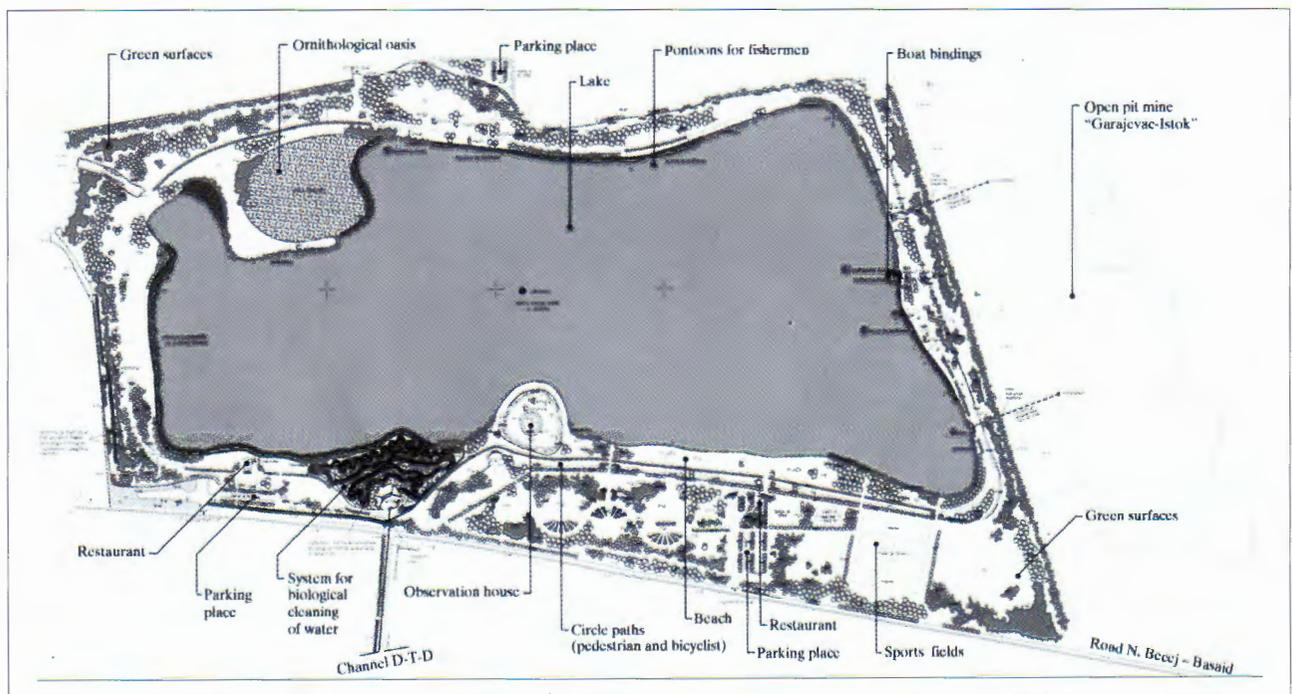


Fig. 1 Plan of land-reclamation and spatial arrangement of the Garajevac–Zapad” exploitation field.

By elaborating the Project on land-reclamation and spatial arrangement of the exploitation field of “Garajevac–Zapad”, the following achievements should be obtained: solution for land-reclamation; architectural-urban fitting into urban-town environment and development of new functional facilities of the space resulted from the performed mining works. The Project should offer quality and rational solutions covering formation of the unique area aimed at recreation and sports fishing. Apart from that, the nature protection interests were of top priority, first and foremost as ornithologically significant locality is concerned.

In order to achieve the required targets, flooding of the depression formed by clay excavating is planned, as well as forming of conditions for the following facilities: beaches; water sports, fishing at the lake, lawns for recreation activities; lawns made for picnics; open sport grounds (specific sports); forest plants; paths for walking, running and bicycle riding; plateaus for sitting and socializing; boat bindings, observation house, small catering facilities, ornithological oasis, marsh-swampy ambient situated in the north-western part of the lake; biological (ecological) system for cleaning water from the Danube–Tisa–Danube channel with the aid of aquatic plants.

According to the Project, the land-reclaimed and the arranged area of the previously exploited field “Garajevac–Zapad”, is aimed at recreation of inhabitants from Novi Bečej and the surrounding places. The criteria leading to such a determination are: vicinity of the town, good access, facilities and attractive appearance of the future complex.

Pursuant to the purposes of the areas and their share in the total complex surface, the majority of the surface is occupied by the lake with 56%, green surface occupying 36%, sports facilities 2.1%, ornithological oasis around 3%, beach 1%, system for ecological cleaning the water 1.5% while other facilities occupy 0.4%. Figure 1 shows

the plan of spatial arrangement of the “Garajevac–Zapad” complex.

It is anticipated that the Danube–Tisa–Danube channel would provide certain quantities of water required for filling in and permanent additional feeding of the lake, the life in lake, namely for functioning of aqua-biological system of accumulation. The water should be of adequate quality to enable life within the lake. However, as the water quality in the Danube–Tisa–Danube channel varies greatly from the second to the fourth category, it was planned that the water from channel be pumped into the lake through both the settling pond and the system for its biological cleaning by aquatic plants. The Project Solution anticipates a system consisting of a settling pond, approximately 2200 m<sup>3</sup> in volume, and a channel approximately 1100 m long, having a gravel filter foundation planted with aquatic plants. Thus, upon mechanical pre-treatment, the polluted water from the Danube–Tisa–Danube channel flows into the channel with aquatic plants that are cleaning water themselves. The treatment of polluted water from channel with aquatic plants as a biological-active filter includes absorbable decomposition of solid components, oxidation of dissolved matters and destroying of pathogenic bacteria. The objective is to use complex chains of nutrition, so that waste material products be decomposed and assimilated into plants biomass.

The solutions offered by the Project are characterized by high adaptability, flexibility and possibility of step-by-step building, thus having positive effects on both intensity and dynamics of investment in building of the “Garajevac–Zapad” complex. Realization of the Project is in course; the works covering leveling, afforesting, making green and water supply system; filling in the lake with water is expected to start.

## Historical Air Transport of Heavy Metals in the Vicinity of Abandoned Zinc Smelter (Celje, Slovenia)

Gorazd Žibret & Robert Šajn

Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: gorazd.zibret@geo-zs.si

**Key words:** Heavy metals, Pollution, Smelting, Celje, Slovenia.

### Introduction

The wide area of the town Celje is strongly contaminated with heavy metals, especially with zinc and cadmium (ŠAJN, 2005; ŽIBRET, 2003). The principal source of heavy metals has been the “Cinkarna Celje” zinc smelter plant, which was being operational between 1870 and 1970. The purpose of this research was to find out the extent of anomaly.

The furnaces were located in the Celje basin near the confluence of three rivers. Celje basin is young tectonical depression with the E–W direction, surrounded by Sava folds (up to 1200 m above sea level) to the south and hills on the north (up to 1000 meters). The major wind direction is SW (approx. 14% of the average year) and NE (approx. 12%). The 32% of average year is calm. Because of the E–W orientation of Celje basin and major SW and NW wind directions we expect that the Savinja River valley to the west and Voglajna River valley to the east are more contaminated than Hudinja River (north) and Savinja River valley (south).

### Experimental

The sampling location has been conducted in the river valleys: the Hudinja river valley on the north, the Voglajna river valley on the east and the Savinja valley on the west and south direction. The samples of attic dust of more than

100 year old houses and topsoil have been taken on every 2 km. Nearby the source of pollution (less than 4 km) the samples have been taken on every 500 m. Total number of sampling points was 38.

Attic dust samples were brushed from the parts of wooden roof construction that were not in contact with roof tiles or floor. Soil samples were taken from a depth of up to 5 cm (ŠAJN, 2003). A fraction of attic dust <0.125 mm and topsoil <2 mm were prepared for chemical analyses. Analyses of 41 chemical elements were performed by ICP–MS after total 4–acid digestion. Hg was determined with CV–AAS after aqua regia digestion. The samples were prepared by the FOREGS standards.

### Results and discussion

The research has shown the extremely high concentrations of heavy metals in the vicinity of Zn smelter which extend up to 5.5% for Zn in attic dust and 8500 mg/kg in soil (Fig. 1). The lowering can be described by power function (Equ. 1) with positive coefficient ( $\alpha$ ) and negative exponent value ( $\beta$ ). Concentration means the concentration of element in the media (in mg/kg) and distance means distance of sampling point from the source of pollution in km.

$$\text{concentration} = \alpha \cdot \text{distance}^{-\beta} \quad (1)$$

We assume if concentration of element drops below or close to the geochemical background, the zinc smelter

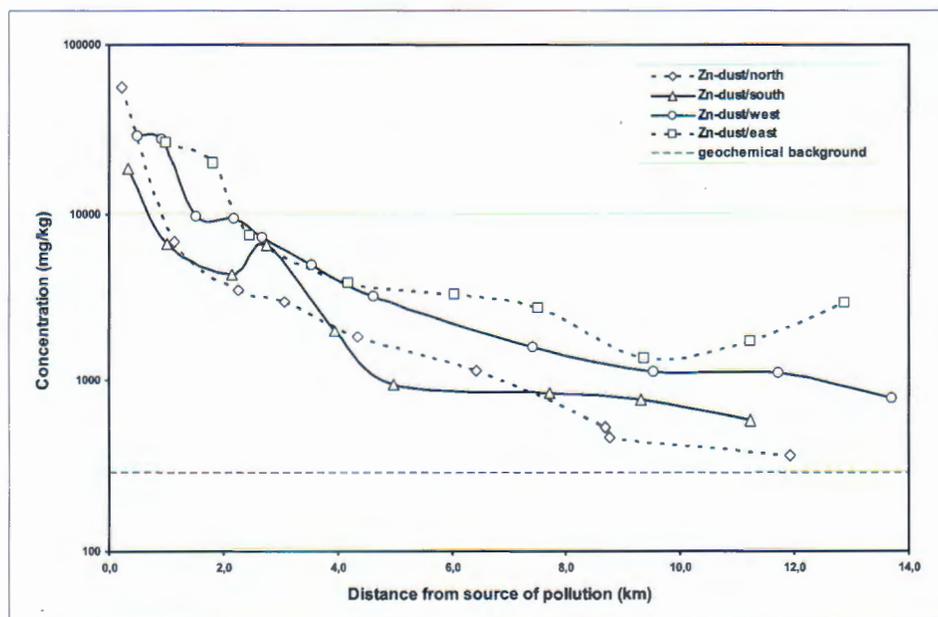


Fig. 1 The concentrations of Zn in attic dust vs. distance from the source of pollution and direction from the source.

plant does not have any more influence on concentration of the element. The influence (in km) is calculated by the equation 2, which is solution for distance in equation 1. The value of the background is 275 mg/kg Zn in dust and 124 mg/kg Zn in soil (ŠAJN, 2003).

$$influence = \left( \frac{\alpha}{background} \right)^{1/\beta} \quad (2)$$

The wind direction and altitude plays the significant role on transporting pollution. The consequence of this is lower concentration of heavy metals in the soil and attic dust on the north and south valleys (Fig. 1). The Pearson's correlation coefficients between measured concentrations and hypothetical ones (Equ. 1) is very high, up to 0.98. The influence range of zinc smelter plant (Equ. 2) is estimated between 10 to 15 km in soil and between 15 and 60 km in attic dust.

It has been figured out that attic dust is far more stable sampling material with lower variability of heavy metal concentration over short distances in comparison with soils. The reason is that soils are much more affected by human activity. That is why attic dust is more reliable media for research of historical heavy metal transport by the atmosphere.

## References

- SALMINEN, R., TARVAINEN, A., DEMETRIADES, M. & 25 other authors (1998): FOREGS Geochemical mapping field manual.– Geological Survey of Finland, Espoo, 35 p.
- ŠAJN, R. (2003): Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia.– *Journal de Physique*, 107, 1173–1176, Les Ulis.
- ŠAJN, R. (2005): Using attic dust and soil for the separation of anthropogenic and geogenic elemental distributions in an old metallurgic area (Celje, Slovenia).– *Geochemistry: exploration, environment, analysis*, 5/1, 59–67, London.
- ŽIBRET, G. (2002): Mass balance of heavy metals in Celje area.– *Geologija*, 45, 613–618, Ljubljana.

**Slobodne teme iz područja geoznanosti –  
Miscellaneous Topics Related to Geosciences**



## Preporuka REC (2004)3 o zaštiti geološke baštine i područjima od posebne geološke važnosti

### Recommendation REC (2004)3 on Conservation of the Geological Heritage and Areas of Special Geological Interest in Europe

Dragan Bukovec & Renata Brezinščak

Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: bukovec@hpm.hr

**Ključne riječi:** geološka baština, zaštita, preporuka.

**Key words:** Geological heritage, Conservation, Recommendation.

Republika Hrvatska na svom, površinom malom teritoriju ima niz bioloških i geoloških različitosti. Danas je u Republici Hrvatskoj zaštićeno 449 područja i objekata. Odlukom Zemaljskog zavoda za zaštitu prirodnih rijetkosti arboretum Opeka proglašen je 1947. godine prvim zaštićenim spomenikom prirode. Isti je zavod 1948. g. proglasio lokalitet Rupnica prvim geološkim spomenikom prirode, a nalazište Hušnjakovo prvim paleontološkim spomenikom prirode.

Aktualni Zakon o zaštiti prirode iz 2005. godine (NN 70/05) dijeli zaštićene prirodne vrijednosti u slijedeće kategorije: **zaštićena područja** (strogi rezervat, nacionalni park, posebni rezervat, park prirode, regionalni park, spomenik prirode, značajni krajobraz, park-šume, spomenik parkovne arhitekture), **zaštićene svojte** (biljke, gljive, životinje), te **zaštićeni minerali, sigovine i fosili**.

Na zaštiti geološke baštine nije se sustavno radilo, nego je pokušaj zaštite najčešće bio vezan uz zaštitu prirode. Kako nema samostalnog Zakona o zaštiti geološke baštine, mogućnost njene zaštite postoji tek unutar područja zaštićenih Zakonom o zaštiti prirode i to kao:

- 1) Lokaliteti sa specifičnim geološkim pojavama;
- 2) Geomorfološki oblici;
- 3) Paleontološki lokaliteti;
- 4) Mineraloški lokaliteti;
- 5) Hidrogeološka područja.

U Europi se zadnjih desetak godina intenzivno radi na poboljšanju zaštite značajnih geoloških lokaliteta. Tako je na inicijativu Međunarodne zajednice geoloških znanosti (IUGS) nastao i projekt GEOSITES koji ima za cilj identificirati geološka područja i objekte od međunarodnog značenja, te stvoriti globalne popise i baze geološki važnih područja. Sve je to iniciralo i čitav niz organizacijskih promjena unutar europskih organizacija i udruga koje se bave promicanjem geologije. Komisija Vijeća Europe za biološke i krajobrazne raznolikosti krajem 2003. godine formirala je radnu grupu za geološku baštinu koja je izradila preporuku Odboru vijeća Ministara vezanu uz zaštitu geološke baštine.

Na posteru su prikazana geološki zanimljiva područja u Republici Hrvatskoj koja bi potencijalno mogla biti uključena u buduću bazu geološke baštine i samim time inicirati dodatne napore koji će rezultirati zaštitom geološke baštine. Riječ je o području Dinarskog krša, dijelu

sjeverozapadne Hrvatske i području Papuka, a popis postojećih i potencijalnih lokaliteta te geopodručja iskazan je na posteru.

U prilogu postera u cijelosti je prevedena Preporuka REC (2004)3 o zaštiti geološke baštine i područjima od posebne geološke važnosti iz 2003. godine koja je sredinom 2004. godine i usvojena na Odboru Ministara Vijeća Europe.

Preporuka uzima u obzir Milenijsku Deklaraciju Ujedinjenih naroda, posebice fundamentalnu važnost "poštivanja prirode" u upravljanju svim živim bićima i prirodnim bogatstvima te:

- s obzirom na to da je geološka baština dio prirodne baštine znanstvenih, kulturnih, estetskih, krajobraznih, ekonomskih i drugih bitnih vrijednosti koje trebaju biti sačuvane i budućim generacijama;
- s obzirom na važnost geološke i geomorfološke zaštite u održavanju prepoznatljivosti mnogih europskih krajobraza;
- s obzirom da zaštita i upravljanje geološkom baštinom trebaju biti uključene u ciljeve i programe od državne važnosti;
- imajući na umu da neka područja od geološke važnosti mogu biti uništena ako budu zanemarena pri planiranju i u razvojnoj politici;
- svjesni potreba promocije zaštite i odgovarajućeg upravljanja geološkom baštinom Europe, osobito u područjima od posebne geološke važnosti;
- uzimajući u obzir teoriju i praksu geološke i geomorfološke zaštite, te
- prepoznajući potrebu jačanja regionalne suradnje na području zaštite geološke baštine u Europi

preporuča vladama zemalja članicama:

- odrediti na teritoriju svojih država područja od posebne geološke važnosti, metode očuvanja i upravljanja koje mogu doprinijeti zaštiti i obogaćivanju nacionalne i Europske geološke baštine; u tom kontekstu treba uzeti u obzir postojeće organizacije i postojeće programe geološke zaštite;
- razviti nacionalnu strategiju i upute za zaštitu i upravljanje područjima od posebne geološke važnosti, uključujući i principe stvaranja popisa lokaliteta, njihove klasifika-

- cije, razvoj baze podataka, promatranje stanja lokaliteta i turističke valorizacije u cilju osiguranja održivog korištenja područja od geološke važnosti odgovarajućim upravljanjem;
- pojačati postojeće zakonske instrumente ili razviti nove u cilju zaštite područja od posebne geološke važnosti i pokretnih objekata geološke baštine, koristeći u potpunosti postojeće međunarodne konvencije;
  - podržati informacijske i obrazovne programe u svrhu promotivnih akcija za zaštitu geološke baštine;
  - ojačati suradnju s međunarodnim organizacijama, znanstvenim institucijama, raznim nevladinim organizacijama i udrugama za zaštitu geološke baštine;
  - dodijeliti odgovarajuća financijska sredstva kao potporu prethodno spomenutim inicijativama;
  - izvijestiti Vijeće Europe o provođenju ovih preporuka radi njihove valorizacije pet godina nakon njihova usvajanja.

## Geologija u srednjim školama Geology in Secondary Schools

Ivica Inkret

Rudarska i kemijska škola, Hallerova aleja 3, HR-42000 Varaždin, Hrvatska; e-mail: ivica.inkret@vz.htnet.hr

**Ključne riječi:** geologija, srednje škole, planovi i programi, udžbenici.

**Key words:** Geology, Secondary schools, Syllabus, Textbooks.

Od ukidanja geoloških predmeta u planovima i programima srednjih škola nakon Drugog svjetskog rata mnogi su autori i skupovi težili ponovnom uvođenju tih temeljnih prirodoslovnih sadržaja u školski sustav (KOCHANSKY-DEVIDE, 1970, 1979; GUŠIĆ, 2001; PAMIĆ, 2004).

U zaključcima 1. Hrvatskoga geološkog kongresa održanog u Opatiji (18–21. listopada 1995.), na prvom je mjestu navedeno: “Geologija je temeljna znanost za proučavanje građe Zemlje, a to znači i okoliša i svih prirodnih resursa, pa stoga predlažemo da se osnove geologije uvedu kao obvezni predmet u srednje škole.” (LUČIĆ, 1995).

Na 2. Hrvatskom geološkom kongresu (Cavtat, 17–21. svibnja 2000.) nisu doneseni zaključci “koji su suviše obvezujući”, već tzv. Poruke, u kojima se opet na prvom mjestu naglašava potreba za uvođenjem predmeta Geologija u srednje škole (BIONDIĆ, 2000).

Kako ni Zaključci ni Poruke nisu u praksi doveli do pomaka, Stručno vijeće nastavnika rudarstva, geologije i nafte za sve županije i Grad Zagreb (u daljnjem tekstu Stručno vijeće), oformljeno u lipnju 2004. radi stručnog usavršavanja nastavnika u srednjim školama i unapređenja nastave, odlučilo je izraditi kratak pregled sadašnjeg stanja geoloških sadržaja u planovima i programima srednjih škola.

Koliko je Stručnom vijeću poznato, jer zbog nesređenog stanja u Zavodu za školstvo RH i Ministarstvu prosvjete i športa teško se može steći potpuna slika o planovima i programima za srednje škole, pod nazivom Geologija ili pojedinih njenih disciplina, geološki sadržaji predaju se u okviru šest aktivnih zanimanja (u kojima su trenutačno upisani učenici). To su: *geološki tehničar, rudarski tehničar, ekološki tehničar, kemijski tehničar, klesarski tehničar, klesar*.

Samo za prva dva zanimanja programi s geološkim sadržajima verificirani su na propisan način (povjerenstvo sastavljeno od članova Stručnog vijeća, savjetnika u Zavodu za školstvo, profesora pripadnih fakulteta, instituta i poduzeća). U ostalim zanimanjima programi su usvojeni bez odgovarajuće suradnje s geološkom strukom, a u slučaju zanimanja ekološki tehničar službeno nisu ni propisani. Zbog toga se ti programi ne mogu pratiti ni razvijati, niti provoditi stručna usavršavanja nastavnika.

Osim u okviru programa koji nose geološko nazivlje, geološki sadržaji čine i dio programa nastavnih predmeta fizika, kemija, biologija i, osobito, geografija. Stanje je i tu prijeporno, jer iako u nekim odobrenim udžbenicima geografije ti sadržaji čine i do 30% ukupne građe (npr. FELETAR et al., 2001), nijedan autor, pa niti jedan recenzent

tih udžbenika, koliko je Stručnom vijeću poznato, nisu geolozi. Na taj način geologija u praksi postaje samo dijelom geografije. Posljedice su s jedne strane pozitivne, jer gotovo svi učenici preko obveznog općeobrazovnog predmeta tako stječu neka osnovna geološka znanja, ali i negativne, jer pored gubitka digniteta struke, većina udžbenika u tom dijelu sadrži očite pogreške i odstupanja od standarda, a cjelovita je slika geologije izgubljena.

Poboljšanje ovakvog stanja može se ostvariti na dvije razine:

- verifikacijom postojećih programa koji nose geološko nazivlje od strane struke ti se programi mogu poboljšati i, što je još važnije, steći uvjeti za njihovo kontinuirano praćenje. Dijelove okvirnih programa geografije s geološkim sadržajima također treba verificirati geološka struka, a kod pripadajućih udžbenika barem kao recenzenti trebaju sudjelovati geolozi.
- nastaviti s naporima za **vraćanje** osnova geologije kao obveznog općeobrazovnog predmeta u srednje škole, osobito gimnazije, tijekom sadašnje reforme školstva. Obje grupe aktivnosti mogu se provoditi suradnjom Stručnog vijeća, Zavoda za školstvo RH i strukovnih geoloških udruga u RH.

### Literatura

- BIONDIĆ, B. (2000): Drugi Hrvatski geološki kongres, Cavtat 2000.– Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 37/4, 2, Zagreb.
- FELETAR, D., PERICA, D. & VUK, R. (2001): Geografija 1 – udžbenik za 1. razred gimnazije.– Hrvatski zemljopis, Samobor, 176 str.
- GUŠIĆ, I. (2001): Važnost geoznanosti u prirodoslovnom obrazovanju.– Aktualni problemi prirodnih znanosti i obrazovanja u Hrvatskoj – stanje, perspektive, prijedlozi. HAZU – razred za matematičke, fizičke i kemijske znanosti; Razred za prirodne znanosti, 84–89, Zagreb.
- KOCHANSKY-DEVIDE, V. (1970): Potreba uvođenja geologije u srednje škole.– VII kongr. geol. SFRJ (predavanja), 1, 30–33, Zagreb.
- KOCHANSKY-DEVIDE, V. (1979): Treba li se srednjoškolac upoznati s osnovama geoloških znanosti.– Zbornik radova Savj. prir. znanosti i suvremeno obrazovanje, 171–172, Zagreb.
- LUČIĆ, D. (1995): Zaključci 1. Hrvatskoga geološkog kongresa.– Vijesti Hrvatskoga geološkog društva, 32/1–2, 4–5, Zagreb.

PAMIĆ, J. (2004): Položaj geologije u našim prirodnim znanostima.– *Priroda*, 2, 48–49, Zagreb.

## Značaj i uloga vojne geologije Importance and the Role of Military Geology

Enio Jungwirth<sup>1</sup> & Marko Zečević<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut za istraživanje i razvoj obrambenih sustava, Ilica 256 b, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: enio.jungwirth@morh.hr

<sup>2</sup> Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Kralja Zvonimira 12, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** vojna geologija, priprema bojišnice, prostor, elementi strategije obrane.

**Key words:** Military geology, Battlefield preparing, Space, Elements of defence strategy.

Svaka država koja zauzima određeni međunarodno priznati prostor ujedno predstavlja i potencijalno ratište. Veličina i oblik teritorija, a u ovisnosti od rasporeda temeljnih geoloških, orografskih i morfoloških osobina zemljišta diktiraju oblik bojišta, mjesta obrane i koncentracije pričuvnih snaga i sl. Iz prethodnog proizlazi zaključak da *prostor* predstavlja temeljni problem obrane i ratnog djelovanja.

Svaki je državni teritorij sastavljen od različitih *geostrategijskih značajki*. Povezuje ga niz međusobno različitih *prostornih komponenata*. Geološki sastav, morfologija terena, hidrografija, prohodnost zemljišta i klimatske prilike predstavljaju neke od tzv. *konstanti prostora* (podatak koji opisuje neka posebna stanja). Nadalje, klimatski, meteorološki, hidrološki uvjeti i stanje podloge (mokra, suha, rastresita, čvrsta i sl.) odlučujuće su i najpodložnije odlike prostora, tako da ishodi obrambenog i ofenzivnog djelovanja ovise o spomenutim uvjetima. Nove tehnologije i informacijski sustavi diktiraju drukčije načine ratovanja i oblikovanje ratišta. Ratište postaje višedimenzionalni prostor, kojem se pristupa na nov način, odnosno integriranim proučavanjem zemljišta. Tako se dostižu dva nova kvalitativna cilja, odnosno kod prvog suhoparni pojam vojne topografije zamijenjen je sadržajnijim terminom *vojno-geografska ocjena prostora*, a kod drugog je cilja *taktička razina ratovanja* prešla u *strategijsku razinu*.

Geostrategijski položaj predstavlja prostor gdje su značajni strateški izgledi u regionalnom i globalnom smislu (ili strategiji). U prosudbu geostrategijskog položaja ulazi vojno-geografska ocjena prostora, koju čini niz općih geografskih, fizičko-geografskih i društveno-geografskih čimbenika. Pomnom analizom vojno-geografskih čimbenika znanstveno-ekspertni timovi selektivnom metodom proizvode *sintetičku studiju*, ona pak producira cilj kojem smo težili, odnosno iskazuje geostrategijske značajke odbranoga područja (elemente koji bitno utječu na otklanjanje mogućih ugroza). Niz takvih značajki, a koje pokrivaju čitav državni teritorij, imat će presudnu ulogu u definiranju onoga što nazivamo *strategija obrane*.

Značenje geologije (u užem smislu) u ratovanju zapaženo je već u 19. st, ali praktična primjena pri procjeni vojnih aktivnosti na nekom području dolazi do izražaja tek kasnije (JUNGWIRTH & ZEČEVIĆ, 2002). U Njemačkoj je tijekom I. svjetskoga rata došlo do svojevrsnog organiziranja geologa, koji su se skoncentrirali u institute, inženjerijske jedinice i stožere u potpori različitim bojišnicama. Istodobno i na sličan način organizirala se i Austro-ugarska vojska za potrebe ratovanja na okolnim prostorima (Balkan).

Poučene iskustvom iz I. svjetskoga rata mnoge su zemlje posvetile pažnju izgradnji geoloških službi. Glavni stožer Britanskih snaga tek je uočavao važnost geologije kao oblika vojne pomoći (sredinom 1918. imali su tek 3 angažirana geologa). S druge strane, Nijemci su 1916. angažirali 20 vrsnih geologa, čiji broj je do konca rata narastao na 100. Mogućnost uporabe geologije razrađivala se između dva rata, da bi tijekom II. svjetskog rata, te posebice nakon toga, geologija bila prihvaćena kao dio *ratne vještine*.

*Vojna geologija* u širem smislu predstavlja sintezu niza geoloških i njima srodnih znanstvenih grana i disciplina, koje se na bilo koji način bave proučavanjem građe Zemljine kore i njezinih dijelova i čije se metode i rezultati istraživanja rabe za vojne potrebe u miru i ratu. Vojna se geologija s vremenom toliko raširila, a različite tehnike toliko osuvremenile, da je uključila discipline i iz područja prirodnih znanosti, počevši od geofizike, preko oceanografije do botanike ili npr. područja informatičkih znanosti. Poznavanje geološke građe bitno je u cjelokupnom prostoru razvoja bojišnice (prve linije obrane), unutar pojedinih linija kao i šireg prostora radi utvrđivanja manevarskih pogodnosti ili nepogodnosti terena (JUNGWIRTH & ZEČEVIĆ, 2003). Geološko poznavanje terena omogućuje njegovo plansko i brzo uređenje, sukladno najracionalnijoj uporabi ljudstva, inženjerijskih strojeva, tehničke sigurnosti i uporabljivosti objekta, a omogućuje i da se na odgovarajući način objekti izgrađeni ljudskim radom uspješno uklapaju u prirodnu sredinu.

Danas se znade da vojna geologija koristi rezultate novih znanstvenih dostignuća i tehnologija (ZEČEVIĆ & JUNGWIRTH, 2003b) posebice uređaja za daljinska istraživanja, za identifikaciju, ocjenu i testiranje materijala (stijena, penetrirajućih projektila i sl.), mogućnosti uporabe tzv. "geofizičkog oružja" (JUNGWIRTH, 2000a, b) itd. Istovremeno, napredak u tehnologijama podzemnog inženjerstva omogućio je konstrukciju dubljih i složenijih podzemnih uređaja i objekata, koji za vojne planere predstavljaju "rizični pothvat". Slično, napredci u tehnikama prijevare i pretvaranja stvaraju veći izazov pri identificiranju mjesta stranih podzemnih konstrukcija (ZEČEVIĆ & JUNGWIRTH, 2003a, b). Vojna geologija u svoje interesno područje uključuje sve ekspertize koje su u svezi s geoznanostima, a to su: geološko kartiranje, geofizika, forenzična geologija, inženjerijska geologija, informatika (GIS, Special Database, Communication, Mapping, Compiling Images, Statistical Data, Processing Data, Modelling and Analysis), itd.

**Literatura**

- JUNGWIRTH, E. (2000a): Geofizičko oružje.– Hrv. vojnik, 61, 17–19, Zagreb.
- JUNGWIRTH, E. (2000b): Geofizičko oružje.– Hrv. vojnik, 62, 31–33, Zagreb.
- JUNGWIRTH, E. & ZEČEVIĆ, M. (2002): Vloga geologije v vojni.– 1. slov. geol. kongr., Knj. povzetkov, 36–37, Črna na Koroškem.
- JUNGWIRTH, E. & ZEČEVIĆ, M. (2003): Uloga geologije u ratu.– Rud.-geol. glasnik, 7, 67–71, Mostar.
- ZEČEVIĆ, M. & JUNGWIRTH, E. (2003a): Geološki pogled na učinak vojnih operacija u Afganistanu.– Hrv. vojnik, 92, 36–37, Zagreb.
- ZEČEVIĆ, M. & JUNGWIRTH, E. (2003b): Geološki pogled na učinak vojnih operacija u Afganistanu.– Hrv. vojnik, 96, 16–19, Zagreb.

## Ljetna geološka škola u Muzeju evolucije i nalazištu pračovjeka “Hušnjakovo”

### Summer Geological School at the Museum of the Evolution and Early Men Finding Site “Hušnjakovo”, Krapina, Croatia

Vlasta Krklec

MHZ – Muzej evolucije i nalazište pračovjeka “Hušnjakovo”, Šetalište Vilibalda Sluge bb, HR-49000, Krapina, Hrvatska;  
e-mail: mkn@kr.htnet.hr

**Ključne riječi:** geološka škola, terenski rad, Nalazište pračovjeka Krapina, Hrvatska.

**Key words:** Geological school, Field work, Early Men Finding Site Krapina, Croatia.

Geološka škola održava se svake godine u zadnjem tjednu kolovoza, a namijenjena je djeci predškolske dobi i osnovnih škola s ciljem popularizacije geološke i paleontološke djelatnosti.

Sastoji se od programa u muzeju i rada na terenu. Na početku polaznike upoznajemo s radom geološke škole, te potrebnim alatom, geološkom opremom i literaturom koju

će koristiti. Upoznajemo ih sa zbirakama Muzeja kako bi dobili uvid u tematiku našeg muzejskog postava, te im поближе predstavljamo područja geologije, paleontologije i arheologije. Istražujući okolne izdanke, polaznici pronalaze zanimljive stijene i fosile koje zajednički analiziramo i pripremamo za muzejsko čuvanje.



Sl. 1 Rad na terenu (foto: Žarko Nikin).  
Fig. 1 Field work (photo by Žarko Nikin).



Sl. 2 Istraživanje (foto: Žarko Nikin).  
Fig. 2 Exploration (photo by Žarko Nikin).



## Predstavljanje i zaštita geološke baštine – primjeri poučnih geoloških staza u Parku prirode Biokovo i u Parku prirode Učka

### Presentation and Protection of Geological Heritage – Examples of Geological Educational Trails from Biokovo Nature Park and Učka Nature Park

Damir Lacković

Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: Damir.Lackovic@hpm.hr

**Ključne riječi:** geološka baština, Park prirode Biokovo, Park prirode Učka, poučna geološka staza, izložba na otvorenom.

**Key words:** Geological heritage, Biokovo Nature park, Učka Nature park, Geological educational trails, Open-air exhibition.

Izdvojeni elementi geološke baštine mogu se čuvati u muzejima i zbirkama, no cjelovito jedino u prirodi, na primjer u nacionalnim parkovima, ili drugim zaštićenim lokalitetima. Za razliku od muzejskog postava gdje su prirodne izdvojene iz svog okoliša i samo parcijalno izložene u vitrini, na poučnim geološkim stazama u Parku prirode Bio-

kovo te u Parku prirode Učka, može se “hodati po izlošku”, dodirivati ga i doživjeti u neposrednom prisnom kontaktu s okolišem. Na taj način posjetiocima se izravno pružaju informacije o zanimljivim geološkim pojavama (geološkoj baštini), ali i ukazuje na njihovo značenje i vrijednost. Osim toga, izložbom u prirodi razvija se svijest o značaju, vrijednosti i potrebi zaštite prirode koja nas okružuje, što je ujedno i nužna pretpostavka za zaštitu, te se obogaćuje i sadržaj turističke ponude.

Biokovo je, zbog svojih izuzetnih geomorfoloških, faunističkih i botaničkih osobina, proglašeno parkom prirode 1981. godine.

U građi vršnih dijelova Biokova prevladavaju jurski i kredni vapnenci, koji leže na mlađim tercijarnim flišnim naslagama građenim od pješčenjaka, lapora, konglomerata, breča i detritičnih vapnenaca. Flišne naslage podvučene su pod mezozojski vapnenački kompleks tijekom izdizanja Biokova, koje je započelo sredinom tercijara, prije oko 30 milijuna godina. Gledajući s morske strane Biokovo, vidimo strmo čelo te navlake, a u podini flišne tvorevine obrasle vegetacijom.

Za Poučnu geološku stazu Biokova odabrani su lokaliteti uz postojeće planinarske putove i ceste, a za popularizaciju staze priređen je deplijan na četiri jezika koji je moguće dobiti na ulazu u park.

Prvi dio staze, koji prolazi središnjim dijelom Parka prirode Biokovo, napravljen je 2001. godine. Na slojnoj plohi jurskog vapnenca po kojoj posjetioci mogu i prošetati, prikazan je postanak vapnenca i geološka građa Biokova te geneza površinskih krških oblika koji su ovdje dobro izraženi – škrapa i kamenica. Drugi dio geološke staze, mogao bi predstaviti kredne rudistne vapnence, te krške fenomene – ponikve i jame u vršnom dijelu Biokova. Treći dio geološke staze trebao bi prikazivati postanak flišnih naslaga u podnožju Biokova, te navlaku mezozojskih vapnenaca na fliš.

Park prirode Učka osnovan je 1999. godine. Smješten je u istočnom obalnom pojasu Istre i Hrvatskog primorja, između mora i Čepićkog polja. U geološkom smislu zahvaća dio navlačne jedinice Učka-Čičarija, koja je građena od vapnenaca kredne i paleogenske starosti navučeni na fliš paleogena, te malim dijelom od kvartarnih sedimenata. Kao posebnost ovog parka prirode izdvaja se kanjon Vele



Sl. 1 Okno nastalo uz pukotinu i vapnenački stup u pozadini, dio geoloških fenomena prikazanih na poučnoj stazi “Vela draga” u PP Učka (snimio: D. Lacković).

Fig. 1 Window developed along crack and limestone column in background, a part of geological phenomena presented in educational trail “Vela draga” in Učka Nature park (photo by: D. Lacković).



Sl. 2 Karikaturni prikaz s "Poučne geološke staze Vela draga" koji prikazuje protjecanje geološkog vremena tijekom kojeg trošenjem i erozijom vapnenca duž tektonske pukotine nastaje okno i vapnenački stup (autor karikature: Trpimir Vedriš).

Fig. 2 Sketch presentation of limestone weathering and erosion during geological time, from "Geological educational trail Vela draga" (sketched by: Trpimir Vedriš).

drage, geomorfološki spomenik prirode, koji se nalazi na istočnim obroncima Učke. Kanjon je usječen u paleogenske foraminiferske vapnenca, a padine kanjona obiluju erozijskim ostacima foraminiferskih vapnenaca u obliku impresivnih vapnenačkih stupova i litica.

Kanjon Vele drage odabran je za Geološku poučnu stazu zbog svoje geomorfološke posebnosti, te mogućnosti korištenja planinarskih putova kojima su do sada prolazili alpinisti i izletnici. U prvom dijelu poučne staze koja započinje na ulazu u cestovni tunel na istarskoj strani Učke i nastavlja rubom kanjona, prikazan je postanak planine Učke, od doba stvaranja krednih i paleogenskih karbonatnih sedimenata do izdizanja Učke i usijecanja

samoga kanjona Vela draga. U dijelu staze koji se spušta između vapnenačkih stupova u kanjon, prikazana je erozija i trošenje foraminiferskih vapnenaca uz pukotine, stvaranje sipara i kvartarnih breča te vapnenačkih stupova.

Osim geomorfoloških fenomena na stazi je predstavljeno sportsko penjanje i alpinizam, a bit će predstavljen i živi svijet te vegetacija. Sadržaj staze prikazan je deplijanom na četiri jezika.

Na području Parka prirode Učka postoji i niz drugih geoloških zanimljivosti, kao što su npr. naslage fliša, luskava struktura, krški fenomeni i dr., koje još treba uključiti u poučne programe parka.

## Elektronički izvori informacija u geoznanostima Electronic Information Sources in Geosciences

Alisa Martek<sup>1</sup> & Irena Pilaš<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: amartek@igi.hr

<sup>2</sup> Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Hrvatske bratske zajednice 4, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** portal znanstvenih informacija, elektronički časopisi, online baze podataka, službene publikacije.

**Key words:** Electronic information portal, Electronic journals, Online databases, Official publications.

### Uvod

Novosti se u društvu javljaju kao posljedica brojnih tehnoloških, demografskih, socioloških i ekonomskih promjena. Geoznanosti, kao kompleksne znanstvene discipline, dužne su obratiti veliku pozornost, jer se pojavljuju brojni novi informacijski izvori, dostupni na Internetu ili u drugim elektroničkim oblicima, primjerice kao CD-ROM baze podataka. Nove informacijske tehnologije utjecale su značajno na rad knjižnica i na ulogu u posredovanju novih znanja, informacija i edukacije korisnika i potencijalnih korisnika novih informacijskih izvora. Među najraširenije elektroničke izvore informacija danas ubrajamo bibliografske baze podataka, elektroničke časopise i ostale razne izvore informacija dostupne besplatno na Internetu.

Jedan od prvih pokušaja da se nove tehnologije koriste u području knjižničarstva i informacijskih znanosti je Znanost na internetu (<http://knjiznica.irb.hr/hrv/znanost/>) gdje su informacijski izvori pojedinog znanstvenog područja pažljivo odabrani i strukturirani. Tako primjerice "Što je novo u geologiji...?" donosi edukativne i znanstvene informacije iz geologije.

Drugi primjer korištenja informacijskih tehnologija na internetu jest portal Zind – Znanstvene informacije na dlanu (<http://zind.szi.hr/>), portal znanstvenih informacija izgrađen u sklopu Sustava znanstvenih informacija koji predstavlja sveobuhvatni knjižnični katalog mrežnih informacijskih izvora.

### Elektronički časopisi (e-časopisi)

Pojava elektroničkog izdavaštva za izdavače je novi izazov, a započelo je izdavanjem elektroničkih časopisa koji su najčešće inačice tiskanih oblika časopisa. Ubrzani razvoj elektroničkog izdavaštva dovodi i do pojave brojnih časopisa koji izlaze isključivo u elektroničkom obliku. Poticaj za prihvaćanje elektroničkih časopisa proizlazi iz njihovih prednosti kao što je brža diseminacija znanstvenih informacija (MARTEK, 2004).

Načini pristupanja elektroničkim časopisima mogu biti raznoliki, a ovise od zahtjeva izdavača časopisa ili o uvjetima definiranim pri potpisivanju licencnih ugovora između nakladnika i korisnika. Elektronički časopisi mogu biti dostupni preko mrežnih stranica samih časopisa, baza elektroničkih časopisa koje održavaju izdavači, baza

elektroničkih časopisa koje održavaju knjižnice, javno dostupnih mrežnih kataloga knjižnica. Naša Geologia Croatica primjer je časopisa koji ima besplatan pristup člancima na svojoj mrežnoj stranici (<http://www.geologia-croatia.hr/>).

Hrvatskoj akademskoj zajednici dostupne kolekcije e-časopisa su:

- ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com/>) nudi pristup cjelovitim člancima 1735 naslova izdavača Elsevier. Dostup cjelovitim naslovima moguć je do 1997. godine. Pretraživanje je moguće po znanstvenim područjima, pa se odabirom u izborniku na Earth and Planetary Sciences izlistaju časopisi s područja geoznanosti;
- SpringerLink (<http://www.springerlink.com/>) nudi pristup člancima s cjelovitim tekstovima ovoga izdavača (380 naslova). Pretraživanje je moguće po Online Libraries (znanstvenim područjima), a odabirom Earth and Environmental Science izlista se popis časopisa s područja geoznanosti. 2004. godine Springer je kupio i Kluwer, pa su Kluwerovi časopisi integrirani u SpringerLink;
- hrvatskim znanstvenicima su Kluwerovi časopisi (<http://gateway.ovid.com/autologin.html>), 750 naslova, i dalje dostupni preko Ovidovog portala. Odabirom Journals@Ovid Full Text dolazi se do početne stranice za pretraživanje;
- Wiley Interscience (<http://www3.interscience.wiley.com/>) hrvatskim znanstvenicima nudi pristup do 179 časopisa sa cjelovitim tekstom ovoga izdavača. Na početnoj stranici moguć je odabir znanstvenog područja, a Earth and Environmental Science nudi popis naslova iz geoznanosti;
- Blackwell Synergy (<http://www.blackwell-synergy.com/>) od ove godine hrvatskoj akademskoj zajednici nudi pristup 767 naslova ovoga izdavača. Na početnoj stranici moguć je odabir područja, pa se odabirom na Life and Physical Science, pa Earth Science dolazi do popisa naslova s područja geologije.

Dostupne online baze podataka:

- Web of Science (WoS) (<http://wos.irb.hr/>) baza podataka je proizvod ISI-ja (Institute for Scientific Informa-

tion) i najpoznatija citatna baza podataka. Ova baza je pretraživa od 1991. godine do danas.

- Scopus (<http://www.scopus.com>) Elsevierova baza podataka koja indeksira preko 14000 časopisa od oko 4000 izdavača.
- EBSCO host (<http://search.epnet.com/>) je online sustav koji nudi pristup velikom broju baza podataka sa cjelovitim tekstom i bibliografskih baza. Znanstvenicima iz područja geoznanosti je naročito interesantan GeoRef, najopsežnija bibliografska baza podataka iz područja geoznanosti. Knjižnica Hrvatskog geološkog instituta je do ljeta 2002. godine imala pristup GeoRefu putem CD-Romova (MARTEK, 2002).
- ASFA: Aquatic Sciences and Fisheries Abstract i Water Resources Abstracts – bibliografske baze podataka dostupne preko Cambridge Scientific Abstract (CSA) samo u Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici.

#### **Službene publikacije – izvor informacija za geoznanstvenike**

Međunarodne organizacije i vlade pojedinih zemalja veliki su izdavači službenih publikacija, koje su produkt timskog rada velikog broja eksperata iz svijeta. Službene publikacije su među prvima bile prisutne na Internetu, postajući na taj način dostupne širokom krugu korisnika (PILAŠ, 2002).

- UNEP – United Nations Environment Programme (<http://www.unep.net/>), program za okoliš Ujedinjenih naroda s ciljem da okupi na jednom mjestu veliku količinu kvalitetnih znanstvenih informacija o okolišu (TOKIĆ, 2002).

- Mrežne stranice geoloških instituta u svijetu pružaju mnoštvo informacija iz područja geoznanosti. Primjerice USGS – United States Geological Survey (<http://www.usgs.gov/>), BGS – British Geological Survey (<http://www.bgs.ac.uk/>) i mnoge druge institucije diljem svijeta.

#### **Zaključak**

Brz i dinamičan razvoj svih znanstvenih disciplina nameće stalne promjene u pristupu informacijama. Znanstvenicima je osiguran pristup znanju i informacijama kroz različite mrežne izvore, kao što su e-časopisi, online baze podataka, službene publikacije i drugi slobodno dostupni mrežni izvori.

#### **Literatura**

- MARTEK, A. (2002): GeoRef na CD-ROM-u.– Kemija u industriji, 51/4, 178–180, Zagreb
- MARTEK, A. (2004): Upotreba elektroničkih časopisa u malim znanstvenim zajednicama.– Nepubl. magistarski rad, Filozofski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 98 str.
- PILAŠ, I. (2002): Mogućnost pristupa službenim publikacijama i državnim informacijama.– 5. Seminar Arhivi, knjižnice, muzeji: mogućnost suradnje u okruženju globalne informacijske infrastrukture, Zbornik radova, Zagreb, Hrvatsko knjižničarsko društvo, 32–41.
- TOKIĆ, I. (2002): UNEP-ova mreža za okoliš.– Kemija u industriji, 51/10, 439–440, Zagreb.

## Hrvatska u kontekstu zaštite europske i svjetske geološke baštine Croatia in Frame of Protection European and World Geological Heritage

Goran Radonić

*Javna ustanova Park prirode Papuk, Trg Gospe Voćinske bb, HR-33522 Voćin, Hrvatska; e-mail: goran.radonic@po.htnet.hr*

**Ključne riječi:** zaštita prirode, geološka baština, Parkovi prirode, geolokaliteti, geoparkovi, geokonzervacija, geoturizam, Hrvatska.

**Key words:** Nature protection, Geological heritage, Nature parks, Geosites, Geoparks, Geoconservation, Geotourism, Croatia.

Na području današnje Republike Hrvatske geološka istraživanja su prisutna više od 150 godina. Uz činjenicu da su njima prikupljena ogromna saznanja o geološkoj prošlosti hrvatskoga ozemlja, postavlja se pitanje, je li najvrijednija baština uistinu i adekvatno valorizirana i sačuvana, te da li je geologija, kao jedna od temeljnih prirodnih znanosti, u današnjem zakonodavnom, obrazovnom, institucionalnom smislu na adekvatnoj poziciji u Hrvatskoj?

Prve geološke zabilješke potječu još iz prve polovice 16. stoljeća, no o geološkim istraživanjima u pravom smislu riječi možemo govoriti tek od druge polovice 19. stoljeća za vrijeme vladavine Austro-Ugarske Monarhije u Hrvatskoj, kada je i nastala prva pregledna geološka karta navedenog područja (KRIZMANIĆ & RADOVIĆ, 1994). Od tada do današnjih dana brojne generacije geologa upotpunjavale su novim saznanjima geološki mozaik Hrvatske i šire regije. Najbolji pregled velikoga broja znanstvenih radova i njihovih autora daju nam tri sveska Geološke bibliografije Hrvatske (MAGAŠ, 1995). Svakim danom zahvaljujući novim metodologijama istraživanja i tehnološkim potporama nadograđuju se postavljeni temelji geoloških spoznaja, a neke se u potpunosti i mijenjaju. Usprkos stečenih saznanja o vrijednoj geološkoj baštini ona nije adekvatno vrednovana za nadolazeće generacije geologa i drugih zainteresiranih prirodoznanaca.

Prvi geološki zakonodavni okvir potječe iz 1986. godine u Zakonu o geološkim istraživanjima (Narodne novine br. 34/86). Iako niti sadržajno, niti provedbeno nije bio zadovoljavajući, ipak je slovio kao zakonodavno uporište za geološku znanost. Nezavisnošću Republike Hrvatske i osnutkom novog zakonodavstva većina zakona je doživjela korekcije i ponovno izdanje, no ovaj zakon je netragom nestao. Trenutno u aktualnoj legislativi geološka struka samo je sporadično zastupljena u drugim zakonima, što je analogijom rezultiralo i lošom percepcijom stručne javnosti o vrijednosti struke. Zaštita geološke baštine našla je svoje zakonsko uporište u Zakonu o zaštiti prirode (Narodne novine br. 162/03), iako možda nedovoljno terminološki razrađena i neproporcionalno zastupljena u odnosu na biološke i krajobrazne prirodne vrijednosti. Zakon predviđa zaštitu minerala, fosila te lokaliteta kao posebnog rezervata, spomenika prirode ili neke druge kategorije zaštite.

Na zakonodavni temelj vežu se i nadležne institucije koje se bave ili bi se trebale baviti pitanjima zaštite geološke baštine. Osim Instituta za geološka istraživanja, kao središ-

nje znanstvene ustanove, tu su Rudarsko-geološko-naftni fakultet te Prirodoslovno-matematički fakultet kao krunske obrazovne institucije za geološku struku, koji su u domeni Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta, ali tu je i Ministarstvo kulture, resorno ministarstvo za zaštitu prirodnih vrijednosti (pa tako i geoloških), te Državni zavod za zaštitu prirode. Nezanemarivu ulogu pri tome čine i Javne ustanove zaštićenih dijelova prirode, Prirodoslovni muzej u Zagrebu, Muzej evolucije i nalazište pračovjeka "Hušnjakovo" iz Krapine, udruge kao što su Hrvatsko geološko društvo, novonastala Progeo udruga i sl.

Najvažniju ulogu u zaštiti geološke baštine u budućnosti trebao bi imati, prošle godine oformljen, Državni zavod za zaštitu prirode, kojem je jedna od glavnih zadaća formiranje baze podataka zaštićenih dijelova prirode te iniciranje novih zaštićenih područja sukladno Zakonu o zaštiti prirode. Prema službenoj evidenciji zaštićenih prirodnih vrijednosti, zaštićenih geoloških vrijednosti je izuzetno malo – 6 geoloških i 4 paleontološka spomenika prirode, te još tridesetak zaštićenih geomorfoloških spomenika prirode. Trenutno je u fazi proglašenja posebni geološki rezervat Crnika na otoku Pagu, a stručnu podlogu za njega izradili su stručnjaci Prirodoslovnog muzeja u Zagrebu. Također početnim inicijativama HGD-a u evidenciji geolokaliteta te pripremi proglašenja nalazi se još dvadesetak lokaliteta koje je neophodno još jednom kvalitetnije revidirati.

Još početkom 90-tih godina prošlog stoljeća, grupacija europskih geologa okupljena zajedničkom potrebom očuvanja geološke baštine osnovala je nevladinu strukovnu udrugu za zaštitu geološke baštine ProGEO. Pokrenuli su projekt "Global geosites" kojem se 1999. godine Hrvatska pridružila preko predstavnika HGD-a u ProGEO-u, a što je rezultiralo projektom "Geolokaliteti/geoparkovi – lista i baza podataka" financiranim od strane tadašnje Državne uprave za zaštitu prirode i okoliša, koji je nažalost trajao samo godinu dana. Također vođeni smjernicama zaštite geološke baštine te održivog razvitka, četiri zaštićena objekta prirode iz Francuske, Grčke, Njemačke i Španjolske, 2000. godine osnovali su asocijaciju pod nazivom Europska mreža geoparkova, koja je sljedeće godine dobila i potporu UNESCO-a. Danas Mrežu tvori 21 geopark iz 8 zemalja EU-e (3–Francuska, 6–Njemačka, 2–Grčka, 1–Španjolska, 2–Italija, 1–Irska, 4–Velika Britanija, 2–Austrija). Slijedom sve većeg trenda zaštite geološke baštine te početnih inicijativa "Međunarodne deklaracije o pravu Zemlje na sjećanje" (Digne, Francuska, 1991), u veljači

2004. godine, UNESCO-va međunarodna ekspertna grupa oformila je “Svjetsku UNESCO-vu mrežu geoparkova” u koju su osim 21 europska geoparka trenutno uključeno i 8 geoparkova iz Kine. Upravo u Kini u svibnju 2004. godine održana je i “Prva međunarodna konferencija geoparkova”.

32. međunarodni geološki kongres potvrdio je veliki interes za tematiku geokonzervacije, geoturizma, geoparkova, edukacije o geoznanostima kroz osmodnevni bogati program sa brojnim prezentatorima te još brojnijom publikom. Na Kongresu dogodila se inicijativa novog udruživanja UNESCO-ve divizije za geoznanosti, IUGS-a i IGU-a uz potporu Progeo-a i Europske mreže geoparkova pod nazivom GEOSEE: Pristup geoparkova: Znanost, baština, komunikacija, socijalna ekonomija i edukacija. Također je prihvaćena inicijativa proglašenja i obilježavanja “Međunarodne godine planeta Zemlje” sa podnaslovom Geoznanosti za društvo, pri čemu će se kroz znanstveni i popularizacijski program naznačiti važnost geoznanosti za rješavanje društvenih problema današnjice (podzemna voda, klima, zdravlje, podzemlje, veliki gradovi, resursi, katastrofe, ocean, tlo i život).

Sa Kongresa u Firenci posebice je zanimljiv primjer kako je Bavarski geološki zavod postavio i realizirao projekt “GeoBavaria – 600 milijuna godina Bayern” kroz geokonzervaciju, prezentaciju, edukaciju i samu zaštitu geološke baštine pod akcijom “Sto majstorskih djela prirode – najljepši bavarski geolokaliteti”. Pristup i akcijski planovi su toliko kvalitetno razrađeni da su vrlo lako, naravno uz potporu svekolike geološke javnosti, primjenjivi i na prostoru Republike Hrvatske.

Zaključno, razvidno je da je geologija u Republici Hrvatskoj neadekvatno zastupljena u osnovnoškolskom i srednjoškolskom obrazovanju, zakonodavno je nedefinirana osim u smislu geološke baštine, institucionalno pak dostatno zastupljena, ali strukovno nekonzistentna i puna međusobnih animoziteta. Zaštita geološke baštine još uvijek je u povojima i nažalost zaostaje za mnogim, pa i ekonomski inferiornijim državama, svodi se više na entuzijastički, a manje na profesionalni pristup vrijednoj geološkoj baštini. U budućnosti možemo očekivati jačanjem Državnog zavoda za zaštitu prirode zajedno sa Upravom za zaštitu prirode, Institutom, fakultetima i udrugama te primjenom ogromnog geološkog znanja o prostoru, sinergijski učinak koji će dovesti do usklađivanja razine zaštite geološke baštine sa razinom koju nalažu intencije EU.

### Literatura

- KRIZMANIĆ, K. & RADOVČIĆ, J. (1994): Stoljeće geoloških karata.– Hrvatski prirodoslovni muzej, 64 str. Zagreb
- MAGAŠ, B. (1995): Geološka bibliografija Republike Hrvatske 1973–1992.– Institut za geološka istraživanja i Hrvatsko geološko društvo, 570 str., Zagreb
- Zakon o geološkim istraživanjima (Narodne novine br. 34/86)
- Zakonu o zaštiti prirode (Narodne novine br. 162/03)
- [www.esfs.org](http://www.esfs.org) (2005)
- [www.32igc.org](http://www.32igc.org) (2004)
- [www.europeangeoparks.org](http://www.europeangeoparks.org) (2004)
- [www.geologie.bayern.de](http://www.geologie.bayern.de) (2005)

## Park prirode Papuk kao geopark Nature Park Papuk as Geopark

Goran Radonić & Goran Pavić

Javna ustanova Park prirode Papuk, Trg Gospe Voćinske bb, HR-33522 Voćin, Hrvatska; goran.radonic@po.htnet.hr

**Ključne riječi:** geološka baština, zaštita prirode, geoparkovi, geoturizam, Hrvatska, Park prirode Papuk, geolokaliteti.

**Key words:** Geological heritage, Nature protection, Geoparks, Geotourism, Croatia, Nature park Papuk, Geosites.

Park prirode Papuk jedan je od najmlađih parkova prirode u Hrvatskoj, a zbog svojih prirodnih i kulturno-povijesnih osobitosti proglašen je zaštićenim područjem 23. travnja 1999. godine. S površinom od 33 600 ha treći je po veličini park prirode u Hrvatskoj, a obuhvaća gotovo cijelo papučko i dijelom krndijsko područje Požeško-slavonske i Virovitičko-podravске županije. Geološka istraživanja Papuka započela su u drugoj polovici devetnaestog stoljeća. Prve je geološke podatke dao Slovak Stur, no ubrzo nakon njega nastupaju hrvatski geolozi – prvo Đuro Pilar, potom Gorjanović-Kramberger i mnogi drugi geolozi koji su postavili temelje geoloških saznanja ovog područja. Od brojnih suvremenika u geološkim istraživanjima Papuka i okolnih planina osobito bi istaknuli doprinos D. Jamičića prilikom izrade vrlo kvalitetnih listova Orahovica i Daruvar Osnovne geološke karte (JAMIČIĆ & BRKIĆ, 1987; JAMIČIĆ, 1989) te J. Pamića koji je objavio veći broj znanstvenih radova o magmatskim i metamorfnim stijenama Slavonskih planina i prvi uveo metodologiju određivanja njihovih izotopnih starosti (PAMIĆ et al., 2003).

Južni dio Panonskog bazena, uključujući Papuk i okolne planine, smješten je u dodirnom području dviju velikih ploča: sjeverna je Euroazija, u koju su u ovom dijelu Europe uključene Istočne Alpe i Karpati, a južna je Afrika, u koju su uključeni gorski sustavi Južnih Alpa i Dinarida. Paleozojske kristalinske stijene Papuka i okolnih planina izgrađuju najjužnije dijelove euroazijske ploče, odnosno Karpata. U novije vrijeme se taj južni dio Karpata naziva Tisija, koja na jugu stoji u kontaktu sa sjevernim Dinaridima (PAMIĆ, 1999).

U području Papuka su zastupljene tvorevine od paleozoika i mezozoika do najmlađih članova kenozoika, koje su nastale u predhercinskom, hercinskom i alpinskom orogenetskom ciklusu, dok su u završnom formiranju i smještavanju slavonskih planina značajnu ulogu igrali neotektonski pokreti.

Stijene predhercinskog i hercinskog kompleksa izgrađuju masive Psunja, Papuka i Krndije. U tom kompleksu razlikuju se četiri formacije. Najveće rasprostiranje ima *progresivnometamorfna formacija* ili *Psunjska formacija* koja je zastupljena stijenama nastalih progresivnim metamorfizmom u uvjetima tlaka i temperature amfibolitnog facijesa, a nalazimo je na sjevernim i južnim padinama Papuka. *Migmatitna formacija* ili *Papučka formacija* je vezana za najjače metamorfozirane dijelove prethodne formacije koji se tale i prelaze u migmatite, a dolaze u orografskoj

osi Papuka od Zvečeva do Orahovice. Unutar migmatita karakteristični su S-graniti koji se javljaju uglavnom kao decimetarske, metarske i dekametarske žile (Zvečevo). Jače metamorfozirane dijelove progresivnometamornog kompleksa probijaju tijela I-granita. Većinom su to manja tijela koja su neravnomjerno raspoređena, a nalazimo ih na jugozapadnim dijelovima Papuka. U potoku Kišeljevac, nedaleko od mjesta Velike, pojavljuje se granitno tijelo heksametarske debljine gdje je razvijena kontaktnometamorfna zona izgrađena od tipskih skarnova. *Radlovačka formacija* ili *semimetamorfna formacija s metabazitima* izgrađena je od slejtova, škriljavih metapješčenjaka, filita, kvarcita, u kojima nalazimo silove metadijabaza i ofitnih gabra. U niskometamorfoziranim stijenama radlovačke formacije pronađeni su jedini paleontološki nalazi iz ovog perioda: silurski graptoliti, karbonska paleoflora te gornjosilurske do donjokarbonske palinomorfe.

Preko navedenog predhercinskog i hercinskog kompleksa transgresivno leži grupa alpskog kompleksa koji obuhvaća *gornjopermsko-skitsku klastičnu formaciju*, *trijasko-jursku karbonatnu formaciju* i *gornjokredno vulkanogeno-sedimentnu formaciju*. U bazalnim dijelovima *gornjopermsko-skitske klastične formacije* nalaze se konglomerati i breče, a vršne dijelove tvori paket kvarcnih pješčenjaka koji čine prelazni horizont prema donjotrijaskim naslagama. Konglomerate nalazimo u području Petrovog vrha i na južnim padinama Papuka (Velince potok), te području potoka Toplice, Pogani vrh, Javornik. Paket pješčenjaka znatne je debljine i najveće rasprostranjenje mu je između Velike i potoka Brzaje te na području potoka Toplice i brda Javornik. *Trijasko-jurska karbonatna formacija* ima znatno veće rasprostiranje, no u razdoblju jure na području Papuka nije bilo sedimentacije. Najniži, anizički dijelovi formacije izgrađeni su od dolomita, dolomitičnih vapnenaca i dolomitno-vapnenačkih breča, a ladinički od dolomita i vapnenaca, rijetko i rožnjaka. Tektonski reducirana zona trijaskih sedimenata proteže se od Duboke rijeke prema vrhu Papuka i dalje na istok, oko izvorišnih predjela potoka Veličanke i Dubočanke, a također i južno od Orahovice. Kontinuirano na srednjem trijasku leže gornjotrijaski vapnenci i dolomiti. Stijene *gornjokredno vulkanogeno-sedimentne formacije* zastupljene su vapnencima, laporima i pješčenjacima, a vulkanske stijene bazaltima, koji su najčešće spilitizirani, i alkalijsko-feldspatskim riolitima. Na vulkanskim stijenama radiometrijski je određena senonska starost, pa tako

i zaštićeni geološki spomenik Rupnica pripada po novijim tumačenjima u ovo razdoblje. Manja pojava gornjokrednih naslaga dolazi i u potoku Jovanovica, zapadno od Voćina.

*Tercijarno razdoblje* u ovom području okarakterizirano je fazom emerzije u razdoblju paleogena, tako da na starijim naslagama transgresivno naliježe neogen. Razvoj neogenskih naslaga ovisio je o evoluciji Panonskog bazena unutar Paratetisa, kada je došlo do višestruke izmjene marinskih, brakičnih i slatkovodnih sedimenata. Transgresivne faze bile su popraćene sinsedimentacijskom vulkanskom aktivnošću, pa osim izljeva vulkanske mase nalazimo i piroklastične breče te tufove i tufite. Neogenske naslage izgrađuju vanjske i unutarnje obode slavonskih planina, a na Papuku ih nalazimo fragmentarno sačuvane na sjevernim padinama, a nešto bolje otkrivene na južnom dijelu oko Kutjeva, zatim u području Zvečeva i zapadno od Velike.

*Kvartarne naslage* se nalaze uglavnom u obliku deluvijalno–proluvijalnih naslaga koje su nastale kombiniranim djelovanjem površinskog ispiranja i bujičnih tokova, a nalaze se u prostoru današnjih brojnih potoka na Papuku (KRKALO, 1998).

U europskim i svjetskim razmjerima zaštita geološke baštine je novi i progresivno rastući trend. Manifestira se osnivanjem brojnih asocijacija koje se bave problematikom geokonzervacije, geoedukacije, geoturizma i drugim aspektima zaštite i promoviranja prirodnih geoloških vrijednosti. Stvaranje mreže geoparkova u Europi i svijetu je relativno nova inicijativa kojoj se želi pridružiti i PP Papuk. Osnovne postavke jednog geoparka su uključivanje posebne geološke baštine u strategiju održivog teritorijalnog razvoja podržanog aktualnim europskim programima. Geopark mora imati jasno određene granice i dovoljno prostora za istinski ekonomski razvoj, mora sadržavati određen broj geoloških lokaliteta od posebnog značaja, što znači da posjeduje odgovarajuću znanstvenu vrijed-

nost, raritet, estetsku privlačnost ili edukacijsku vrijednost. Većina “posebnih mjesta” prisutnih na području geoparka trebali bi biti dio geološke baštine, ali mogu biti i dijelovi arheološke, ekološke, povijesne ili kulturne baštine. Geološki lokaliteti u geoparku tvore mrežu lokaliteta, koji moraju biti pod posebnom zaštitom i u skladu sa mjerama upravljanja zaštićenog prostora. Osim navedenog, geopark treba imati aktivnu ulogu u ekonomskom razvoju područja kroz poboljšanje opće slike povezane s geološkom baštinom i razvojem geoturizma, te mora konstantno poboljšavati metode za zaštitu geološke baštine.

Vizija razvoja Parka prirode Papuk je da u bližoj budućnosti postane član Europske mreže geoparkova te Globalne UNESCO-ve mreže geoparkova, a samim tim i znanstveno-istraživačka i edukacijska geološka baza ovog dijela šire regije te nukleus širenja “epidemije” zaštite ostale vrijedne geološke baštine u Republici Hrvatskoj.

### Literatura

- JAMIČIĆ, D. & BRKIĆ, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Orahovica, L 33–96.– Geol. zavod Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- JAMIČIĆ, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Daruvar, L 33–95.– Geol. zavod Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd.
- KRKALO, E. (1998): Ležišta neogenskih kvarcnih pijesaka u rubnim područjima Slavonskih planina (Hrvatska).– Institut za geološka istraživanja, 174 str., Zagreb.
- PAMIĆ, J., (1999) Kristalinska podloga južnih dijelova Panonskog bazena temeljena na površinskim i bušotinskim podacima.– Nafta, 50/9, 291–310.
- PAMIĆ, J., RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G. (2003): Geološki vodič kroz Park prirode Papuk.– Javna ustanova Park prirode Papuk, 67 str., Voćin.
- www.europeangeparks.org (2004)

## Međunarodna godina planeta Zemlje – Geoznanosti za društvo International Year of Planet Earth – Earth Sciences for Society

Goran Radonić<sup>1</sup>, Neven Trenc<sup>2</sup> & Irina Žeger<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Javna ustanova Park prirode Papuk, Trg Gospe Voćinske bb, HR-33522 Voćin, Hrvatska; e-mail: goran.radonic@po.htnet.hr

<sup>2</sup> Državni zavod za zaštitu prirode, Bogovićeve 1a, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** geoznanosti, IUGS, UNESCO, planet Zemlja, podzemna voda, klima, zdravlje, Zemljina unutrašnjost, veliki gradovi, resursi, katastrofe, ocean, tla, život, održivi razvoj.

**Key words:** Earth Sciences, IUGS, UNESCO, Planet Earth, Groundwater, Climate, Health, Earth interior, Megacities, Resources, Hazards, Ocean, Soils, Life, Sustainable development.

Ideja o obilježavanju Međunarodne godine planeta Zemlje donesena je još 2000. godine na sastanku Upravnog odbora IUGS-a, a konačno zajedničko definiranje projekta dogodilo se u ožujku 2005. godine od strane IUGS-a i UNESCO-vog Odbora za geoznanosti. Službena proklamacija Međunarodne godine planeta Zemlje od Ujedinjenih naroda očekuje se u 2007. ili 2008. godini, a realizacija ambicioznog znanstvenog i promidžbenog programa odvijati će se kroz tri godine.

Osobit doprinos ovoj inicijativi dala je i Deklaracija donesena na održanom 32. Međunarodnom geološkom kongresu u Firenci, a sastoji se od sljedećih stajališta:

- 1) geoznanosti mogu znatno doprinijeti sretnijem, zdravijem i bogatijem svijetu;
- 2) akumulirana geološka znanja o pojavama i prošlosti Zemlje društvena zajednica nedovoljno iskorištava i vrednuje te bi u budućnosti to trebalo promijeniti;
- 3) proglašenje Međunarodne godine planina od strane UN, pomoglo bi da geoznanosti daju svoj puni doprinos održivom gospodarenju i razvoju Zemlje.

Znanstveni program sadržava (do sada) devet tematskih područja koja bi se obrađivala:

- a) podzemna voda – ususret održivom korištenju resursa pitke vode;
- b) klima – korištenje zapisa klimatskih promjena u stijenama na aktualne klimatske promjene;
- c) Zemlja i zdravlje – izgradimo zdravije okruženje života primjenom aktualnih znanstvenih geokemijskih analiza;
- d) prirodne katastrofe i rizici – smanjiti rizike katastrofa maksimalnom primjenom geosaznanja;
- e) resursi – razumno korištenje prirodnih dobara (mineralnih resursa) i energenata (nafta) kvalitetnim gospodarenjem;
- f) istraživanja Zemljine unutrašnjosti – konvekcijska strujanja u unutrašnjosti Zemlje su “motor” koji pokreće tektonske ploče i osigurava život Zemlje i život na njoj;

g) veliki gradovi – idemo dublje, gradimo sigurnije;

h) ocean – nova saznanja o oceanima poboljšavaju razumijevanje cijelog planeta

i) tlo – prostorni raspored geoloških formacija uvjetuje reljefne odlike područja, te sa svojim raznovrsnim stijenama i mineralima predstavlja supstrat za postanak različitih tipova tala, koji u konačnici, rezultiraju i bogatstvom biološke raznolikosti, ključne za opstanak Zemlje;

j) Zemlja i život – interakcija svih životvornih faktora.

Poziv za sudjelovanje upućen je najširoj javnosti te je natječaj objavljen na internet stranicama ([www.esfs.org](http://www.esfs.org)). Osim Internet stranice publicirane su brošure i letci te je izrađen dio programa obilježavanja (uključivanje javnosti u istraživanja, angažiranje medija, edukacijski programi natjecanja, pripovijesti, umjetnički doprinosi i sl.). Brojne svjetske asocijacije i strukovne udruge su se pridružile ovoj inicijativi (geografi, pedolozi, hidrolozi, geofizičari i sl.). Osim navedenog potrebno da svaka država službeno pristupi ovoj inicijativi kroz adekvatnu stručnu i političku potporu programu u nekoliko koraka:

- 1) prikupljanje potpore u državnim geoznanstvenim institucijama i stručnim krugovima;
- 2) prikupljanje političke potpore posebice resornih ministarstva koja bi se adekvatno mogla uključiti u program obilježavanja;
- 3) potpora izaslanika u UN prema napucima Ministarstva vanjskih poslova.

Do sada su inicijativu prihvatile 43 države, među kojima i neke od naših susjeda (Republika Bosna i Hercegovina, Mađarska), dok Hrvatskoj tek predstoji cijeli postupak pridruživanja, ukoliko postoji interes šire geološke javnosti za ovom inicijativom. To je pozitivna inicijativa koja bi, osim što bi pomogla adekvatnom svrstavanju i boljem razumijevanju važnosti geoznanosti u našem društvu, pomogla i u pridruživanju Hrvatske globalnim razmišljanjima, inicijativama i asocijacijama.



## Mineraloško–petrografske značajke ranosrednjovjekovne keramike iz arheološkog lokaliteta Torčec–Ledine kraj Koprivnice

### Mineralogical–Petrographical Characteristics of Early Medieval Ceramics from the Archaeological Site Torčec–Ledine near Koprivnica

Dragutin Slovenec<sup>1</sup>, Boško Lugović<sup>1</sup>, Tajana Sekelj Ivančan<sup>2</sup> & Tatjana Tkalčec<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Rudarsko–geološko–naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: dslovenec@rgn.hr

<sup>2</sup> Institut za arheologiju, Ulica grada Vukovara 68, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** ranosrednjovjekovna keramika, arheološki lokalitet Torčec–Ledine, keramičke sirovine, oksidacijsko–redukcijski uvjeti pečenja, temperature pečenja.

**Key words:** Early Medieval ceramics, Archaeological site Torčec–Ledine, Ceramic raw materials, Firing oxidation–reduction conditions, Firing temperatures.

U razdoblju od 2002. do 2004. god. Institut za arheologiju iz Zagreba proveo je arheološka istraživanja lokaliteta Ledine kraj sela Torčec (Koprivničko–križevačka županija). Arheološkim iskopavanjima dosad je istraženo jedanaest ranosrednjovjekovnih objekata. Očuvani su tek donji dijelovi objekata koji pripadaju tipu plitko ukopanih jednoprostornih kuća četvrtastog oblika zaobljenih uglova.

Najbrojnije nalaze unutar objekata predstavljaju ulomci keramičkog posuda. Tipološko–kronološkom analizom keramičke građe, a prema analogijama s brojnih stratigrafski istraženih nalazišta izvan Hrvatske (ŠOLLE, 1972; TAKÁCS, 1996), utvrđeno je da se posude s Ledina uklapaju u opću sliku srednjeg i istočnoeuropskog prostora u razdoblju od druge polovine 10. st. i tijekom 11. st. Ovakvu dataciju keramičke građe potvrđuju i rezultati radiokarbonske analize ugljena iz zatvorenih arheoloških cjelina.

Za mineraloško–petrografska ispitivanja odabrani su ulomci 10 keramičkih posuda. Na temelju rezultata rendgenskih i mikroskopskih analiza te prema oksidacijsko–redukcijskim uvjetima pečenja, a u skladu s podacima u literaturi (VELDE & DRUC, 1999), keramike su podijeljene u četiri klase.

Prvu klasu predstavlja pet uzoraka keramika koje su pečene u jako redukcijskoj atmosferi uz nepotpuno izgaranje lošeg goriva, s tim što su posude svojim otvorom bile položene na dno peći. Stijenke ovih keramika u poprečnom presjeku su tamno sive, a s vanjske strane je sivi, smeđesivi ili crvenkastosmeđi kao film tanak sloj. Na unutarnjoj strani čvrstih stijenki je tanki, relativno sipki potpuno crni sloj nalik na čađu, a predstavlja nepotpuno izgorjelu amorfnu organsku tvar s vrlo visokim udjelom amorfnog ugljika. Stijenke su izgrađene od ulomaka stijena (kvarciti, kvarc–muskovitni škriljavci, granodioriti i dr.) i pojedinačnih mineralnih zrna (kvarc, plagioklasi, ortoklas i dr.) veličine sitnog do krupnog pijeska. Matriks tvore sericit, muskovit i kvarc dimenzije praha. Brojna su i kuglasta do elipsoidalna, nepotpuno izgorjela organska zrna promjera do  $\approx 2$  mm, koja uklapaju i čestice matriksa. Njihov isključivo zaobljen izgled ukazuje na jednoliki, zasad izvorno nepoznati materijal, koji je primiješan glinenom tijestu.

Drugu klasu predstavlja jedan uzorak keramike. Unutarnji, deblji sloj je tamno siv i ne sadrži hematit, a vanjski

tanji sloj je crvenkast i sadrži malo hematita. Zaobljenih, nepotpuno izgorjelih organskih zrna ima relativno malo. Posuda je pri pečenju stavljena otvorom na dno peći, pri čemu je unutar posude prevladavala redukcijska, a s vanjske strane posude oksidacijska atmosfera.

Sirovine za keramiku klasa 1 i 2 bile su homogene vrlo pjeskovite do prahovite gline, kojima je primiješana organska tvar u obliku nepotpuno izgorjelih okruglastih zrna.

Treću klasu predstavljaju dva uzorka. Kod obje keramike srednji sloj stijenke je žučkastosiv i sadrži vrlo malo hematita, a vanjski i unutarnji sloj su crvenkasti zbog većeg udjela hematita. Keramike su pečene u oksidacijskoj atmosferi peći u kraćem ciklusu pečenja. Sirovine su bile laminirane do lisnate pjeskovite gline kojima su također primiješana organska zrna. Uglati ulomci kvarca i napadno visoki udio granata ukazuju na anorganski materijal pridodan sirovini prije pečenja. Šupljine, izdužene paralelno plohamo lisnatosti predstavljaju najlakše moguće smjerove izlaženja plinova nastalih potpunim izgaranjem organskih zrna.

Četvrtu klasu čine dva uzorka. Stijenke su crvenkaste duž cijelog poprečnog presjeka. Ova keramika sadrži najviše hematita, a pečena je u oksidacijskoj atmosferi, vjerojatno u duljem ciklusu pečenja. Sirovine za tu keramiku bile su relativno čiste, lisnate odnosno laminirane gline, kojima nisu bili primiješani aditivi.

Temperature pečenja analiziranih keramičkih posuda bile su relativno niske. Osim hematita, koji je nastao žarenjem iz getita, nisu opaženi produkti visokotemperaturnih faznih prijelaza a ni produkti visokotemperaturnih reakcija između pojedinih minerala. Ipak, iz rendgenskih difrakcijskih slika, neke su se informacije o temperaturama pečenja mogle dobiti i to: (1) u uzorcima koji sadrže hematit, prema definiranosti linija i omjeru intenziteta linija 104 i 110 hematita, a kao standardi za usporedbu poslužili su snimci hematita dobivenog iz getita žarenjem kod raznih temperatura; (2) u uzorcima u kojima je registriran još nerazoreni klorit, prema omjeru intenziteta linija 001 i 002 klorita; (3) prema kutnim položajima  $\theta$  i omjeru intenziteta linija muskovita. Treći način procjene proveden je na bazi usporedbe snimaka analiziranih uzoraka keramike sa snimkama muskovita i to prirodnog uzorka muskovita i uzoraka

muskovita žarenih po 3 sata kod 660°, 720° i 780°C. Za tri uzorka procijenjeno je da temperature pečenja nisu bile više od 660°C, za šest uzoraka temperature pečenja bile su između 660° i 720°C, a jedan analizirani uzorak je ukazivao na temperaturu pečenja višu od 720°C.

### Literatura

- ŠOLLE, M. (1972): Zur Entwicklung der frühmittelalterlichen slawischen Keramik im Bereiche Ostböhmens.– Vznik a počátky Slovanů, Československá akademie věd VII, 141–177, Praha.
- TAKÁCS, M. (1996): Formschatz und Chronologie der Tongefäße des 10.–14. Jahrhunderts der Kleinen Tiefebene.– Acta Archeologica Hungarica, XLVIII/1–3, 135–195, Budapest.
- VELDE, B. & DRUC, I.C. (1999): Archaeological Ceramic Materials.– Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg–New York, 299 str.

## Za hrvatski geološki rječnik For Croatian Geological Dictionary

Berislav Šebečić<sup>1</sup> & Goranka Mitrović<sup>2</sup>

<sup>1</sup> IV Cvjetno naselje 14, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

<sup>2</sup> Nacionalna i sveučilišna knjižnica, Ulica Hrvatske bratske zajednice 4, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

**Ključne riječi:** geologija, nazivlje, rasprave, rječnik, Hrvatska.

**Key words:** Geology, Terminology, Discussions, Dictionary, Croatia.

### Uvod

Prije dvadesetak godina pokrenuta je rasprava o dijelu geološke, tj. sedimentološke terminologije i istaknuta je potreba izrade geološkog rječnika (ŠEBEČIĆ, 1982). Tada su postojali Rogličev "Prilog hrvatskoj krškoj terminologiji" (u izdanju "Krša Jugoslavije" JAZU, Zagreb, 1974), zatim "Rudarski rečnik" (u izdanju Rudarskog instituta Beograd, 1970) i Lazićev "Englesko-hrvatsko-srpski naftni rječnik" (u izdanju Poslovnog udruženja "Nafta", Zagreb, 1976) s malo geoloških pojmova, te "Geološka terminologija i nomenklatura" u 9 knjiga (u izdanju Zavoda za regionalnu geologiju i paleontologiju Rudarsko-geološkog fakulteta Beograd, 1976), koja je zadovoljavala pretežno srbijanske geologe. Predloženo je da se o geološkim nazivima raspravlja u Hrvatskom geološkom društvu, a piše u tadašnjem Geološkom vjesniku, međutim na tome se ostalo, osim što su pokatkad objavljeni kraći prikazi u časopisima o starijim hrvatskim geološkim i rudarskim nazivima. Objavljen je opsežan Perićev "Francusko-hrvatski ili srpski geološko-naftno tehnički rječnik" (u izdanju INA-Naftaplina, Zagreb, 1989), a "Sedimentologija karbonata i evaporita" i "Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina" (obje u izdanju Instituta za geološka istraživanja Zagreb, 2001 i 2004), autora J. Tišljara, sadrže i tumače pojmova prevedenih s engleskoga.

### Strukovni rječnik temeljen na definiranom nazivlju obogatio bi hrvatski jezik

U današnje vrijeme razvoja znanosti i tehnologije jedna od zadaća Nacionalne i sveučilišne knjižnice (kraće NSK) je i predmetna obrada građe kojom knjižnica ispunjava svoju komunikacijsku funkciju. Sadržajna analiza dokumenata u knjižničarstvu traži odgovarajući sustav predmetne obrade temeljen na opće prihvaćenim normama i smjernicama. Predmetna obrada uključuje strukturirane termine, pojmovnike te osposobljene stručnjake. NSK ima posebnu zadaću i najveću odgovornost u sustavnoj izgradnji predmetnog kataloga (STIPANOV, 1998). S tim u vezi javila se potreba za izradom ispravnih jezičnih izraza pojmovnih oznaka, odnosno pojmovnika i za područje geoznanosti (BRATANIĆ, 2004).

Rječnik predmetnih odrednica izrađuje se u skladu s pojmovima utemeljenim na referentnoj građi, ili proizlazi iz sadržaja postojeće literature. Tezaurusi, u starijem značenju jezično blago, su terminološki rječnici koji sadrže sustavno raspoređene nazive određenog znanstvenog

područja. Predstavljaju značajna pomagala za predmetnu obradu radi usuglašavanja stručne terminologije. Zbog malo postojećih tezaurusa u Hrvatskoj, potrebno je potaknuti njihovu izradu.

Kao što je u uvodu *Meteorološkog pojmovnika i višejezičnog rječnika* (GELO, 2005) istaknuto, "potreba za strukovnim rječnicima postoji u svim granama ljudske djelatnosti, ne samo zbog dobro definiranih pojmova i jednoznačne upotrebe istih termina već i zbog opravdanosti zahtjeva da se i u hrvatskom jeziku koristimo što je moguće više nazivima hrvatskog porijekla".

Ovaj rad potaknut je međusobnom raspravom autora o čimbenicima koji su proizašli iz rada u NSK-i na sadržajnoj obradi literature iz područja geoznanosti i na nedostatku referentne građe iz tog područja.

### Zaključak

Prikupljanje i sistematiziranje geoloških naziva uz rješavanje terminoloških problema, a potom i sastavljanje "Hrvatskog geološkog rječnika" je višegodišnji posao u kome bi valjalo ujediniti sve zainteresirane koji se bave ili su se bavili geologijom, ili su pak s njom u (ne-)posrednoj vezi. U tome vidimo suradnju svih institucija i društava koje rabe u svom nazivu geologiju, odnosno izraze geološko, geološki, prirodoslovni, znanstveni i sl., zatim poduzeća i fizičke osobe (privatnike) koji u svojoj djelatnosti koriste geološke spoznaje u istraživanju i eksploataciji mineralnih sirovina, a poglavito energetskih sirovina, kamena, vode i dr. Dodatak u rječniku činio bi njegov povijesni dio s riječima, koje više nisu u uporabi, ili se pak vrlo rijetko rabe.

### Literatura

- GELO, B. (ur.) (2005): Meteorološki pojmovnik i višejezični rječnik: hrvatski, engleski, njemački i francuski jezik.– Državni meteorološki zavod, Hinus, Zagreb, 655 str.
- BRATANIĆ, M. (ur.) (2004): Pojmovnik EUROVOC [Elektronička građa].– Hrvatska informacijsko-dokumentacijska referalna agencija, HIDRA, CD ROM ver. 4.1, Zagreb.
- STIPANOV, J. (1998): Hrvatski knjižnični sustav i predmetna obrada.– U: LASIĆ-LAZIĆ, J., LEŠIĆ, J. & PETRIĆ, J. (ur.): Predmetna obrada – ishodišta i smjernice: zbornik radova. 33–41, Zagreb.
- ŠEBEČIĆ, B. (1982): Za rasprave o geološkoj terminologiji i izradu geološkog rječnika.– Geol. vjesnik, 35, 277–278, Zagreb.



**FIL.B.IS.**  
Hydro-Geo

## Edukacija o geološkoj baštini Parka prirode Žumberak–Samoborsko gorje

### Education on Geological Heritage of the Žumberak–Samoborsko Gorje Nature Park

Tatjana Vujnović

*Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje, Slani Dol 1, HR-10430 Samobor, Hrvatska; e-mail: tanja@ppzsg.org*

**Ključne riječi:** geološka baština, edukacija, Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje.

**Key words:** Geological heritage, Education, Žumberak–Samoborsko gorje Nature Park.

U Hrvatskoj postoji osamnaest zaštićenih područja od kojih je osam nacionalnih parkova i deset parkova prirode. Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje je proglašen 1999. godine zbog iznimnog bogatstva prirodne i kulturne baštine tog područja, a s radom je započeo krajem 2001. Zauzima oko 350 km<sup>2</sup> i proteže se od 180 do 1178 metara nad morem na Svetoj Geri. Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje se nalazi u centralnom sjeverozapadnom dijelu Republike Hrvatske i graniči sa Slovenijom.

Prema Zakonu o zaštiti prirode (NN 162/03) geološka baština je sve ono što je sačuvano u strukturi i teksturi stijena i tla, kao što su geološke, geomorfološke, hidrogeološke pojave i objekti te paleontološki nalazi, i čini sastavni dio krajobraza. Prema istom zakonu zaštita prirode je pravo i obveza svake fizičke i pravne osobe.

Geologija u Hrvatskoj nema svoje mjesto u redovnom obrazovnom sustavu, poput ostalih prirodnih znanosti, već je malim brojem sati integrirana u nastavne programe geografije. Kako bi se podigla opća razina svijesti hrvatskih građana o značaju geološke baštine i potrebi njene zaštite nužna je njihova edukacija i senzibilizacija.

U Parku prirode Žumberak–Samoborsko gorje edukacija o geološkoj baštini provodi se sustavno i svake godine se proširuje. Trenutno uključuje izložbeni prostor eko-centra Slani Dol, poučnu “Stazu kneževa” u Budinjaku, jednodnevni edukativni program “Mladi geolozi”, ljetne eko kampove, edukaciju djelatnika Parka prirode i javna predavanja o geološkoj baštini Parka.

Rad na edukaciji javnosti započet je otvaranjem izložbenog prostora u Eko-centru Slani Dol 2002. godine. Stalni izložbeni postav prikazuje sve bitne prirodne i kulturne značajke ovog zaštićenog područja, a započinje geološkim dijelom. Geološki dio sadrži geološki stup, kopije i nekoliko originala fosila iz ovog područja, prikaze izgleda Zemlje u određenim periodima geološke prošlosti, karakteristične uzorke stijena ovog područja koji se nalaze na umjetnoj spilji, izvor, potok i ponor. Sve je praćeno popularno pisanim tekstovima koji opisuju geološki razvoj ovog područja, krš i njegove karakteristike, sedru, podzemnu vodu i njenu osjetljivost na onečišćenje. Izložba je koncipirana na način da se može proći samostalno ili uz stručno vodstvo.

Krajem 2004. godine je otvorena poučna interdisciplinarna “Staza kneževa” u Budinjaku. Naglasak staze je na arheološkoj baštini, s obzirom da je Budinjak arheološki lokalitet svjetskog značaja, ali je vezana uz geologiju i bio-

logiju. Staza je kružna, dugačka je 4,2 kilometra i sadrži deset točaka od koji su četiri geološke (lokva, spilja, ponika s izvorom i ponorom, kredni vapnenac s rožnjakom). Staza je osmišljena tako da se može proći samostalno jer je označena putokazima i info pločama pisanim popularno, ili se može proći uz stručno vodstvo. Uz stazu je tiskan informativni letak s kartom koji olakšava samostalno kretanje stazom i vodič koji sadrži detaljan opis staze i svih točaka, a može se nabaviti po pristupačnoj cijeni.

Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje od samog početka svog rada razvija jednodnevni edukativni program “Mladi Nadzornik” namijenjen djeci osnovnih škola. Od 2005. godine je unutar tog program razvijen program “Mali geolozi” u kojem se djecu kroz jednostavne zadatke uči geologiji. On sadrži izradu trodimenzionalnog modela krša od papira, traženje fosila u pješčaniku i stijeni, prikaz tečenja vode u kršu, slaganje puzzli koje prikazuju izgled Zemlje u određenim periodima geološke prošlosti, upoznavanje geološke podjele Zemljine prošlosti s razvojem života. Program uključuje i obilazak poučne staze. Za rad s djecom je osposobljeno osam studenata geologije tijekom jednodnevnog intenzivnog obučavanja u Budinjaku.

Od 2002. godine se svakog ljeta održavaju višednevni eko kampovi za djecu s područja Parka u kojima je jedan dan posvećen geologiji i geološkoj baštini. Mnoga djeca tada prvi put čuju za pojam geologija, vide fosile te nauče što su i kako nastaju, nauče da postoje magmatske, taložne i metamorfne stijene koje i vide, obilaze teren s geologom koji im pokaže izvor, ponor, spilju i jako se vesele informaciji da je to područje nekad bilo duboko morsko dno...

Park prirode Žumberak–Samoborsko gorje ima trinaest zaposlenika od kojih je samo jedan geolog. Zbog toga je nužna i korisna stalna edukacija djelatnika ostalih struka o geologiji i značaju geološke baštine ovog područja, ali i općenito. Jedino na taj način omogućuje se shvaćanje jedinstvenosti i osjetljivosti okoliša koji djelatnici Parka uz pomoć lokalnog stanovništva pokušavaju sačuvati i zaštititi. Taj rad se odvija svakodnevno putem razgovora, zajedničkim obilascima terena, ali i pisanjem “malih geoloških vodiča” za potrebe djelatnika.

Javna predavanja o geološkoj baštini Parka prirode Žumberak–Samoborsko gorje održana su nekoliko puta i uključuju geološke i hidrogeološke značajke terena, stanje podzemnih voda, karakteristike speleoloških objekata, i neke posebnosti poput prirodnog mosta ili slapišta sa sedrom, ali i brojne legalne i nelegalne kamenolome.

Edukacija o geološkoj baštini u Republici Hrvatskoj tek zauzima pripadajuće mjesto i nužna je za očuvanje prirode i okoliša. Za njeno uspješno implementiranje potrebna je interdisciplinarna suradnja geologa s ostalim strukama i kontinuiran rad. Cilj je povećanje razine svijesti hrvatske javnosti o značaju geološke baštine koja nas je stvorila i omogućuje naš život.

### Literatura

NARODNE NOVINE (2003): Zakon o zaštiti prirode.– Narodne novine, 162/03, Zagreb.