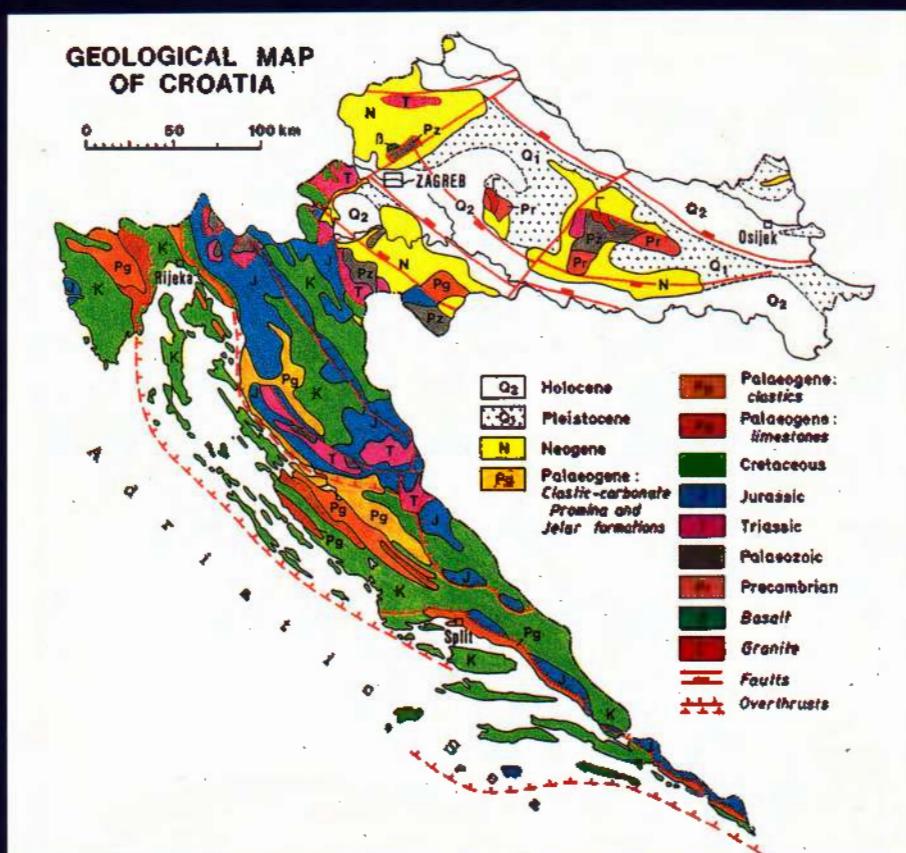


1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

OPATIJA, 18-21.10.1995.

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

2



Urednici - Editors:
Igor VLAHOVIĆ, Ivo VELIĆ & Marko ŠPARICA

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

ZAGREB, 1995

1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES

FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS

Opatija, 18-21.10.1995.

Organizatori - Organized by:

Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society

Suorganizatori - Supported by:

INA-Naftaplin - Zagreb
JVP "Hrvatska vodoprivreda"
Hrvatska kreditna banka za obnovu i razvoj - Direkcija kredita Svjetske banke
"Kamen" - Pazin
INA-Geološki konzalting - Zagreb

Pokrovitelj - Sponsor:

Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske
Ministry of Science and Technology of the Republic of Croatia

ORGANIZACIJSKI ODBOR **ORGANISING COMMITTEE**

Đuro BENČEK
predsjednik - president
Marko ŠPARICA
dopredsjednik - vicepresident
Bruno ALJINOVIĆ
Josip BENIĆ
Mare GOLAC
Elza HRVOJIĆ
Mladen HVALA
Darko IVIĆ
Katarina KRIZMANIĆ
Eugen KRKALO
Mladen MACHALA
Ivo VELIĆ
Boro VLAŠIĆ

POČASNI ODBOR **SCIENTIFIC COMMITTEE**

Stjepan BAHUN
Milan HERAK
Ivan JURKOVIĆ
Velimir KRAJEC
Vladimir MAJER
Branko SOKAČ
Stjepan ŠČAVNIČAR

ZNANSTVENI ODBOR **HONORARY COMMITTEE**

Božidar BIONDIĆ
predsjednik - president
Ivan GUŠIĆ
Krešimir JELIĆ
Vladimir JURAK
Darko MAYER
Ladislav PALINKAŠ
Josip SEČEN
Jožef ŠIMON
Boris ŠINKOVEC
Josip TIŠLJAR

ISBN 953-96520-4-9 (cjelina)

ISBN 953-96520-6-5 (sv. 2)

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

Urednici - Editors: Igor VLAHOVIĆ, Ivo VELIĆ & Marko ŠPARICA

Tisk - Printing: "Tipotisk", Zagreb

Izdano - Issued: listopad 1995., 500 primjeraka - October 1995, 500 copies

Ovitak - Cover: Geološka karta Republike Hrvatske (autori: Ivo i Josipa VELIĆ) - Geological Map of Croatia
(prepared by Ivo and Josipa VELIĆ)

**1. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES
FIRST CROATIAN GEOLOGICAL CONGRESS**

OPATIJA, 18-21.10.1995.

ZBORNIK RADOVA PROCEEDINGS

2

Urednici - Editors:

Igor VLAHOVIĆ, Ivo VELIĆ & Marko ŠPARICA

**Institut za geološka istraživanja - Institute of Geology
Hrvatsko geološko društvo - Croatian Geological Society**

ZAGREB, 1995

Autori su u potpunosti odgovorni za sadržaj svojih članaka.

The authors are entirely responsible for the contents of their papers.

SADRŽAJ
CONTENTS

MALEZ, V.: Fosilni nalazi alpskog svizca (<i>Marmota marmota</i> L.) u hrvatskim špiljama.....	351
MARTON, E., DROBNE, K., CIMERMAN, F., ČOSOVIĆ, V. & KOŠIR, A.: Paleomagnetism of Latest Maastrichtian Through Oligocene Rocks in Istria (Croatia), the Karst Region, and S of the Sava Fault (Slovenia).....	355
MESIĆ, I. & KRIŠTOFEK, B.: Orientirano jezgrovanje - geološka primjena orijentiranih podataka.....	361
MIHALIĆ, S. & STANIĆ, B.: Pokreti na padinama - hazard i rizik.....	367
MIKLIN, Ž. & BENAMATIĆ, D.: Onečišćenje izvora Šokot.....	373
MLETIĆ, D. & BAJRAKTAREVIĆ, Z.: Biostratigrafska korelacija neogenskih sedimenata Jadrana u bušotinama Koraljka-1, Ksenija-1 i Ksenija-3.....	379
MLETIĆ, D., BARBIĆ, Z., SLAVKOVIĆ, R. & HERNITZ-KUČENJAK, M.: Rezultati biostratigrafskih i petrografskih analiza sedimenata bušotine Ines-1 (sjeverni Jadran, Hrvatska).....	383
MIOČ, P.: Pregled tektonike područja između Periadriatskog lineamenta i Jadransko-Dinarske karbonatne platforme u Sloveniji.....	387
MIOŠIĆ, N.: Stanje i zadaci hidrogeologije i geotermike Bosne i Hercegovine.....	393
MORO, A., MRINJEK, E., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V.: Upper Cretaceous Storm-Influenced Limestones of Ist Island (Adriatic Sea, Croatia).....	397
MRAZ, V. & NOVOSEL, T.: Novija hidrogeološka i geofizička istraživanja dolomitnih vodonosnika Ivanšćice, Strahinjšćice i Kuna gore.....	399
NAJDENOVSKI, J., HERNITZ, Z. & DVORNIK, Lj.: Granitno-metamorfni kompleksi i naftoplilonosnost savsko-dravskoga područja (sjeverna Hrvatska).....	403
NOVINC, M.: Prognoza naftoplilonosnosti primjenom kompjuterskog programa.....	409
OGORELEC, B., DOLENEC, T., CUCCHI, F., GIACOMICH, R., DROBNE, K. & PUGLIESE, N.: Sedimentological and Geochemical Characteristics of Carbonate Rocks from the K/T Boundary to Lower Eocene in the Karst Area (NW Adriatic Platform).....	415
OPIĆ, I., DRAGAŠ, M. & KEREKOVIĆ, D.: Automatska obrada površinskih geodinamskih parametara Sjeverne Hrvatske u GIS okruženju.....	423
OPIĆ, I., THALLER, J., GALIĆ, B. & KÖNIG, R.: Hidrogeološka istraživanja lokaliteta Cerna-Vinkovci (istočna Hrvatska).....	427
PAVIČIĆ, A. & FRITZ, F.: Vododrživost kompenzacijanskog bazena Gusić polje.....	431
PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A.: Mogućnosti vodoopskrbe iz ličkog dijela sliva rijeke Zrmanje.....	435
PAVLEKOVIĆ, M., JOVANIĆ, M., KARAN, D., PERICA, R. & SYRINEK, M.: Odnos hidrotermalnih ili pseudohidroermalnih procesa i pojava ugljikovodika u Dubokoj Dravi.....	439
PEKAŠ, Ž., LIPOVAC, R., MUNDA, B. & UCCELLINI, R.: Sanacija uljnih zagadenja u priobalnom pojusu.....	443
PIKIJA, M., ŠIKIĆ, K., SARKOTIĆ-ŠLAT, M. & MAGAŠ, N.: Geologija hrvatskog dijela Baranje.....	447
PLANTIĆ, K.: Modeliranje otjecanja primjenom matematičkog modela na području krša.....	453
POJE, M., JURIŠIĆ-POLŠAK, Z. & ŠPARICA, M.: Srednjopleistocenska malakofauna Glogovice kod Slavonskog Broda (Slavonija, Hrvatska).....	459
POLI, M.E. & ZANFERRARI, A.: Dinaric Thrust Tectonics in the Southern Julian Prealps (Eastern Southern Alps, NE Italy).....	465
POLLAK, Z.: Hidrogeološki odnosi u vodonosniku uz rječni tok nakon dugotrajne eksploracije i postupka dekarbonizacije.....	469

POLJAK, M. & ŽIVČIĆ, M.: Tectonics and Seismicity of the Krško Basin.....	475
PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIC, B., VELIĆ, J., SAFTIĆ, B. & DRAGAŠ, M.: Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena.....	481
PRELOGOVIĆ, E., KUK, V., JAMIČIĆ, D., ALJINOVIC, B. & MARIĆ, K.: Seismotektonská aktivnost Kvarnerskog područja.....	487
PREMEC FUČEK, V., BABIĆ, Lj., MESIĆ, I.A., MARIĆ-ĐUREKOVIĆ, Ž. & LUČIĆ, D.: Paleogene Depositional History of the Eastern Venetian Basin, Northern Adriatic.....	491
PRLJ-ŠIMIĆ, N., SREMAC, J. & ČOSOVIĆ, V.: Taxonomy and Biometry (Applied to the Eocene Corals from the Island of Krk, Croatia).....	495
PRTOLJAN, B., OŠTRIĆ, N., FUČEK, L., MIKNIĆ, M. & VLAHOVIĆ, I.: Strukturni i paleomorfološki uvjeti postanka sintektonskih breča na Ćićariji.....	499
PUGLIESE, N., DROBNE, K., BARATTOLO, F., CAFFAU, M., GALVANI, R., KEDVES, M., MONTENEGRO, M.E., PIRINI-RADRIZZANI, C., PLENIČAR, M. & TURNŠEK, D.: Micro- and Macrofossils from K/T Boundary through Paleocene in the Northern Adriatic Platform.....	505
RADANOVIĆ-GUŽVICA, B. & ZEBEC, V.: Doprinos poznавању mineralne parageneze Zrinskih rudnika nedaleko Sv. Jakoba na Medvednici.....	515
RUBINIĆ, J., TOMAŠIĆ, M. & KUKULJAN, I.: Vodni potencijal jamskih prostora Labinštine.....	519
RUNJIĆ, Š., DRAGAŠ, M., HUNDRIĆ, V. & KEDMENEC, A.: Nova otkrića plina i kondenzata u Murskoj depresiji na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec.....	523
SAFTIĆ, B., VELIĆ, J., ŠIMON, J. & NOVAK, J.: High-Resolution Palaeogeographic Maps of Sandstone Reservoirs: GSS Poljana (Pontian, Miocene), Žutica Oil & Gas Field, Sava Depression.....	529
SELJAN, Đ. & PARLOV, B.: Strukturno-tektonski odnosi na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec.....	535
SLIŠKOVIĆ, I.: Hidrogeološke značajke Hercegovine s posebnim obzirom na korištenje i zaštitu podzemne vode.....	541
SOKAČ, A.: Holocenska fauna ostrakoda Plitvičkih jezera.....	547
SONDI, I., JURAČIĆ, M. & PRAVDIĆ, V.: Flokulacija sitnozrnatog materijala u estuariju rijeke Raše.....	553
SONDI, I., SLAVKOVIĆ, R., JURAČIĆ, M. & PRAVDIĆ, V.: Sedimentološke i površinske fizičko-kemijske značajke suspendiranog materijala estuarija rijeke Raše.....	555
ŠABAN, B. & BLAGUS, Z.: Prirodna osnova prostornog plana Rijeke: inženjerskogeološko vrednovanje terena za urbanističko planiranje.....	557
ŠARIN, A., URUMOVIĆ, K., MRAZ, V., BRKIĆ, Ž. & HLEVNIJAK, B.: Hidrogeološki aspekti korištenja i ugroženosti podzemne vode u sjevernoj Hrvatskoj.....	563
ŠEBEĆIĆ, B., TADEJ, N., ŠPANIĆ, D. & SLOVENEC, D.: Siverički ugljeviti sedimenti i mogućnost njihove primjene.....	569
ŠESTANOVIC, S.: Inženjerskogeološke značajke fliša srednje Dalmacije.....	575
ŠIMUNIĆ, An., AVANIĆ, R., ŠIMUNIĆ, Al. & HEĆIMOVIĆ, I.: Litostratigrafska raščlamba donjomiocenskih klastita u Hrvatskom zagorju.....	581
ŠINKOVEC, B. & KRKALO, E.: Potencijalnost rudonošnih geoloških formacija Republike Hrvatske.....	585
ŠPANIĆ, D., TROSKOT-ČORBIĆ, T. & MARIĆIĆ, M.: Geochemical Study of Surface Bituminous Occurrences in Cretaceous Sediments of the Outer Dinarides.....	591
ŠPARICA, M., BELAK, M. & CRNKO, J.: Recentni sedimenti uvale Makirina u Pirovačkom zaljevu (Dalmacija).....	595
ŠRIBAR, L., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V.: Upper Cretaceous Evolution of the Carbonate Platform in SW Slovenia.....	601
TADEJ, J. & KRIZMANIĆ, K.: Paleoenvironment and Depositional Environments of the Upper Miocene Sediments in the NW Part of the Sava Depression.....	605

TARI KOVAČIĆ, V.: Razvoj pliocenskih i pleistocenskih naslaga sjevernog i srednjeg Jadrana - karotažni markeri i korelacija.....	609
TARLAO, A., TUNIS, G. & VENTURINI, S.: Lutetian Transgression in Central Istria: the Rogovići-Mečari Section Case.....	613
TOMIĆ, V.: Osnovni stratigrafski i tektonski odnosi okoline Mrkoplja u Gorskem kotaru.....	619
TOMŠE, P., MIRTIČ, B. & KUŠEJ, J.: Thermal Expansion of Clayshale from Mežica Mine Deposite (Slovenia).....	623
TRUBELJA, F. & MARCHIG, V.: Geokemijske karakteristike i porijeklo amfibolita ofiolitne zone u Bosni...	627
TUŠAK, B.: Uloga eocenskog fliša u rješavanju lokalne vodoopskrbe u kršu.....	631
VAZDAR, T. & URUMOVIĆ, K.: Hidrogeološka interpretacija utjecaja okoliša na krške vodonosnike središnje Istre.....	635
VELIĆ, J., MRINJEK, E. & SREMAC, J.: Pliocene to Pleistocene Alluvial Sediments in Drava River Depression, Northern Croatia.....	641
VRKLJAN, I. & KAVUR, B.: Nove tehnike ispitivanja mehaničkih svojstava stijena i stijenskih masa u Hrvatskoj.....	647
VULIĆ, Ž.: Upute za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske, s pozornosti na razvrstavanje stijena s.s.....	653
ZUPAN HAJNA, N.: Mineral Composition of Loams from Different Types of Fault Zones on Karst.....	657
ZUPANČIĆ, N.: Some New Data on Trace Elements and REE in Pohorje (NE Slovenia) Massive.....	661
ŽIVKOVIĆ, S.: Morphogroups of Agglutinating Foraminifera in the Eocene Flysch of Istria (Croatia).....	663

Fosilni nalazi alpskog svizca (*Marmota marmota* L.) u hrvatskim špiljama

Vesna MALEZ

Ključne riječi: *Marmota marmota*, gornji pleistocen, špilje, Hrvatska

Key words: *Marmota marmota*, Upper Pleistocene, Caves, Croatia

Sažetak

U Hrvatskoj su istražene brojne špilje u čijim su gornjopleistocenskim naslagama sakupljeni fosilni skeletni ostaci alpskog svizca (*Marmota marmota* L.). Vrsta *Marmota marmota* predstavnik je hladnodobne visokoplaninske faunske zajednice, te su fosilni nalazi ove vrste na području sjeverozapadne Hrvatske, Gorskog kotara, Istre, Primorja, Like i Dalmacije, značajan pokazatelj njegovog areala rasprostranjenosti u južnoj Europi za vrijeme gornjeg pleistocena.

Abstract

Numerous caves with Upper Pleistocene deposits containing fossil skeletal remains of the alpine marmot (*Marmota marmota* L.) have been investigated in Croatia. The species *Marmota marmota* is the representative of the cold climate, high alpine faunal assemblage, thus the fossil findings of this species in the region of northwestern Croatia, Istria, Primorje, Lika and Dalmatia, are significant indicators of its distribution areal in southern Europe during the Upper Pleistocene.

U Hrvatskoj su istražene brojne špilje u čijim su gornjopleistocenskim naslagama sakupljeni fosilni skeletni ostaci alpskog svizca (*Marmota marmota* L.). Tako su na području sjeverozapadne Hrvatske u Hrvatskom zagorju poznata tri značajna lokaliteta: polupećina na Hušnjakovom brdu u Krapini, Velika pećina kod Goranca na Ravnoj gori i špilja Vindija kod Donje Voće u blizini Ivance. Na području Gorskog kotara poznata je za sada samo pećina na Kleku s nalazima vrste *Marmota marmota*. Na području Hrvatskog primorja u tri špilje - pećini na Gradini kod Velih Laza i pećini na Šaftici kod sela Zaluki, obje u Kastavštini, te Druškoj peći na Učki, nalazimo u gornjopleistocenskim naslagama skeletne ostatke alpskog svizca, kao i na dva lokaliteta na području Istre, i to na Čićariji u pećini na Brehu kod Sluma, te u Šandalji I i II kod Pule. Na području Like za sada je poznat jedan lokalitet s nalazom skeletnih ostataka alpskog svizca i to je pećina ispod Turske kule kod Perušića. U blizini Drniša, na području Dalmatinske zagore, nalaze se u kanjonu rijeke Čikole pećine u Brini, istočna i zapadna, gdje je iskopan bogat osteološki materijal u kojem nalazimo i ostatke vrste *Marmota marmota*. U planinskom masivu Biokova na jugozapadnoj strani Štedovca nalazi se pećina Baba u čijim gornjopleistocenskim naslagama nalazimo uz neke predstavnike alpske faune i skeletne ostatke alpskog svizca.

Polupećina na Hušnjakovom brdu u Krapini (120 m apsolutne visine) leži na jednoj od brojnih terasa rijeke Krapinice (tzv. "pećinska terasa" - MALEZ, 1978, str. 68). Deveti kulturni stratum uz mnoge faunske pred-

stavnike karakteristične za hladnu klimu gornjeg pleistocena sadržavao je i malobrojne skeletne ostatke alpskog svizca. Nalaz se sastoji od dva dijela mandibule, desne sačuvane sa svim zubima i lijeve, manje i vrlo oštećene bez zubi, a koje je GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1911) odredio kao vrstu *Arctomy marmotta* SCHREIB., što je stariji naziv za vrstu *Marmota marmota* LINNE (MALEZ, 1978).

Velika pećina nalazi se u istočnom dijelu Ravne gore u blizini sela Goranca poviše doline Velika Sutinska, a ulaz leži na 428 m apsolutne visine. Ostatci alpskog svizca otkriveni su samo u postglacijskim naslagama (stratum -c- i -d-). Tako je u stratumu -c- pronađen fragmentarni vršak desnog donjeg inciziva (C inf.) i lijevi femur bez distalnog zglobnog dijela, dok je iz stratuma -d- određen desni femur također bez distalnog zglobnog dijela (MALEZ, 1986).

Špilja Vindija se nalazi u istočnom dijelu Ravne gore, 9,5 km sjeverozapadno od Ivance kod Varaždina, odnosno 2 km zapadno od sela Donja Voća, a ulaz joj leži na 379 m apsolutne visine. To je bogat i značajan kvartarnogeološki i paleontološki lokalitet na području jugoistočno od alpskog planinskog masiva. Dugo-godišnja sustavna iskopavanja kvartarnih naslaga rezultirala su mnogobrojnim sakupljenim fosilnim materijalom, te njegovom djelomičnom obradom (MALEZ, 1988; MALEZ et al., 1979, 1984; MALEZ, V., 1988). Iskopavanjem naslaga u predšpiljskom prostoru naišlo se na razgranati sistem rovova i nastambi u čijim su sedimentima sakupljeni mnogobrojni skeletni ostaci alpskih svizaca. Sakupljeno je oko 3.318 komada kosti-

NALAZIŠTE	DIJELOVI SKELETA										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KRAPINA	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
VELIKA PEĆINA	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
VINDIJA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
KLEK	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PEĆINA NA GRADINI	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PEĆINA NA ŠAFTICI	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
DRUŠKA PEĆ	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
PEĆINA NA BREHU	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
ŠANDALJA I	-	+	+	-	-	-	+	-	-	-	+
ŠANDALJA II	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+
PEĆINA ISPOD	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
TURSKE KULE	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-
PEĆINE U BRINI-I.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
PEĆINE U BRINI-Z.	-	+	-	-	+	-	+	-	+	+	+
PEĆINA BABA	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablica 1 Nalazi vrste *Marmota marmota* L. u šipljama Hrvatske. Legenda: 1) lubanja; 2) mandibula; 3) izolirani zubi; 4) scapula; 5) humerus; 6) ulna; 7) radius; 8) pelvis; 9) femur; 10) tibia; 11) ostalo (kralješci, rebra, phalanx, fragmenti).

ju i zuba i od toga je bilo moguće odrediti 957 komada. Sistem rovova kao i brojnost različitih skeletnih ostataka (posebno dobro sačuvane lubanje) upućuje da je ovdje živjela cijela kolonija alpskih svizaca (najvjerojatnije oko 54 jedinki) i to svih dobnih skupina i spolova. To je za sada najbogatije poznato nalazište fosilnih alpskih svizaca (*Marmota marmota*) na području Hrvatske, a vjerojatno i na području južno od Alpa.

Pećina na Kleku se nalazi u širem području Ougulina, blizu vrha planine Klek, a ulaz joj leži na 1.005 m apsolutne visine. Po dimenzijama to nije velika šipinja, ali su u istražnim sondama sedimenti debeli oko 2 m. Jedina fosiliferna naslaga je stratum -b- koji je u iskopanoj sondi deboeo oko 140 cm. Osteološki i odontološki ostaci brojnih pleistocenskih životinja pojavljuju se u cijeloj debljini naslage, a među njima su najbrojniji nalazi šipljskog medvjeda i alpskog svizca (MALEZ et al., 1975). Sakupljeno je 230 komada kostiju i zuba koji pripadaju vrsti *Marmota marmota*, od toga su koštani dijelovi skeleta - 149 kom., izolirani zubi - 72 kom., te samo 9 fragmentarnih dijelova.

Pećina na Gradini nalazi se kod Velih Laza u Kastavštini, a ulaz joj leži na 383 m apsolutne visine. Uz brojne skeletne ostatke šipljskog medvjeda iz pleistocenskog sedimenta iskopana je jedna djelomično cijela desna mandibula u kojoj su sačuvani svi zubi osim inciziva (MALEZ, 1974, 1987a).

Pećina na Šaftici nalazi se kod sela Zaluki u Kastavštini. To je mala pećina dužine 45 m u kojoj su u sedimentima gornjopleistocenske starosti sabrani brojni skeletni ostaci vrste *Marmota marmota* (MALEZ, 1971, 1974). Od 116 komada kostiju i zuba odredbu je bilo moguće načiniti na 99 komada, a zastupljeni su svi skeletni dijelovi.

Druška peć nalazi se na desnoj strani Mošćeničke drage na Učki; to je mala šipinja čiji ulaz leži na 335 m apsolutne visine. Od alpskog svizca nadan je samo jedan inciziv iz lijeve polovice mandibule (I sin.), a čija je caklina zuba bijedo-narančaste boje što je karakteristično za ovu vrstu. Pojava ovog predstavnika alpske faune u neposrednoj blizini morske obale (335 m) upo-

zorava na jače pogoršanje klime na širem području (maksimalno zahlađenje u trećem virmiskom stadijalu - MALEZ, 1966).

Pećina na Brehu nalazi se sjeverno od sela Sluma u Čićariji, a ulaz joj leži na 625 m apsolutne visine. U naslagama gornjopleistocenske starosti sabrani su mnogobrojni ostaci šipljskog medvjeda, a nadan je i dio kukovlja (pelvis) koji pripada alpskom svizcu (MALEZ, 1987b).

Pod imenom "Šandalja" obuhvaćeno je više "fosilnih" šipjila i šupljina, koje su otkrivene u kamenolomu u podnožju istoimenog brda nedaleko Pule (MALEZ, 1987a). Bazalni dio šipje Šandalja I leži na 72 m apsolutne visine. Otkrivena prostrana krška šupljina bila je posve ispunjena raznim sedimentima čija je ukupna debljina prelazila 9 m, a osobito se uočava debela naslaga koštane breče nataložena u donjem pleistocenu. Naslage nataložene u vrijeme gornjeg pleistocena sadrže pripadajući faunski zajednicu, a nadeno je i nekoliko skeletnih ostataka vrste *Marmota marmota* (5 komada kostiju). Šandalja II druga "fosilna" šipja udaljena je nekoliko metara od prve, te je također bila sasvim ispunjena raznim kvartarnim sedimentima u debljini preko 8 metara. Šandalja II do sada je najbogatija vrstarna i količinom ustanovljenih gornjopleistocenskih životinja na tlu Istre. Gotovo u svim stratumima Šandalje II prisutan je alpski svizac (20 kom. kostiju).

Pećina ispod turske kule nalazi se u samom mjestu Perušiću, a ulaz leži na 595 m apsolutne visine nedaleko ruševina spomenute turske kule (MALEZ, 1962). U naslagama su sabrani osteološki ostaci više raznih vrsta sisavaca, a od alpskog svizca nadan je desna polovica mandibule (u kojoj su od zuba I, M2 i M3) bez stražnjeg dijela, te lijevi dio kukovlja.

Na području Dalmatinske zagore nedaleko Drniša leže tri šipje na desnom rubu kanjona rijeke Čikole, a nazivaju se skupnim imenom Pećine u Brini. One leže na oko 250 m apsolutne visine, a međusobno su udaljene 25 i 90 m. Sistematska iskopavanja kvartarnih naslaga načinjena su u istočnoj ili srednjoj pećini te u

zapadnoj pećini, dok treća pećina nije bila pogodna za iskopavanje. U istočnoj pećini u Brini sabran je bogat osteološki i odontološki materijal, te odredene brojne pleistocenske životinje, a među njima ima mnogo skeletnih ostataka vrste *Marmota marmota* (MALEZ, 1975). Alpskom svizcu pripada 317 komada sabranog materijala, od toga su 169 kom. razni dijelovi skeleta, 48 kom. pojedinačnih zubi, a 100 kom. razni fragmentarni ostaci. Zapadna pećina u Brini manja je od istočne, ali također bogata faunskim ostacima brojnih gornjopleistocenskih vrsta, a zastupljena je i vrsta *Marmota marmota*, ali sa znatno skromnijim koštanim materijalom (11 kostiju).

Pećina Baba nalazi se u samom planinskom masivu Biokova na jugozapadnoj strani Štedovca (1.061 m apsolutne visine). To je tipična "medveda pećina" s mnogobrojnim ostacima špiljskog medvjeda, a ustanovljeni su još neki tipični predstavnici alpske faune - snježni zec, snježni miš, planinska voluharica, divokoza i kozorog, te alpski svizac. Od alpskog svizca određena je desna polovica mandibule (MALEZ, 1981, str. 61) koja je sačuvana u cijelosti.

Vrsta *Marmota marmota* ustanovljena je u gornjopleistocenskim naslagama na dvanaest (12) lokaliteta diljem cijele Hrvatske. Većim dijelom radi se o pojedinačnim skeletnim nalazima, ali na nekoliko lokaliteta (tablica 1) sakupljen je bogati fosilni materijal. Špilja Vindija je do sada najbogatije nalazište fosilnih alpskih svizaca na području južne Europe. Danas vrstu *Marmota marmota* (alpski svizac) ne nalazimo na području Hrvatske, dok je za vrijeme maksimalnog zahlađenja u vrimu njegova rasprostranjenost zahvaćala i područje Dinarija (npr. planina Biokovo - MALEZ, 1972). Znatnom promjenom klime koja se najvjerojatnije dogodila u ranom postglacijalu zbile su se promjene biocenoloških odnosa što je uzrokovalo nestankom vrste *Marmota marmota* na svim područjima južnije od Alpa.

LITERATURA

- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1911): *Arctomy marmotta SCHREIB.* iz Krapine.- Vijesti Geol. povjerenstva, I (1910), 52-54, Zagreb.
- MALEZ, M. (1962): Speleološki objekti jugozapadne Like.- Acta geologica, III, 107-242, Zagreb.
- MALEZ, M. (1966): Paleontološka i speleološka istraživanja u 1964. godini.- Ljetopis JAZU, 71, 267-284, Zagreb.
- MALEZ, M. (1971): Paleontološka, paleolitska i speleološka istraživanja u 1967. godini.- Ljetopis JAZU, 74, 419-428, Zagreb.
- MALEZ, M. (1972): Rasprostranjenost hladnodobnih životinja u gornjem pleistocenu jugoistočne Evrope.- Rad JAZU, 364, 133-180, Zagreb.
- MALEZ, M. (1974): Istraživanje paleolitika i mezolitika na području Liburnije.- Liburnijske teme, knj. 1, 19-49, Opatija.
- MALEZ, M. (1975): Neki problemi paleolitika na istočnoj obali Jadrana.- Rad JAZU, 371/17, 121-153, Zagreb.
- MALEZ, M. (1978): Stratigrafski, paleofaunski i paleolitski odnosi krapinskog nalazišta.- Krapinski pračovjek i evolucija hominida, 61-102, Zagreb.
- MALEZ, M. (1981): Fosilni vertebrati na području Biokova i njihovo paleoekološko značenje.- Acta Biokovica, I, 39-70, Makarska.
- MALEZ, M. (1986): Kvartarni sisavci (Mammalia) iz Velike pećine na Ravnoj gori (SR Hrvatska, Jugoslavija).- Radovi Zavoda za znan. rad Jugosl. akad. znan. umjetn., I, 33-139, Varaždin.
- MALEZ, M. (1987a): Pregled paleolitičkih i mezolitičkih kultura na području Istre.- Znan. skup "Arheol. istraživanja u Istri i Hrvatskom primorju", Izd. Hrvat. arheol. društva, 11 (1986), 3-47, Pula.
- MALEZ, M. (1987b): Paleontološke, paleolitske i arheozoološke osobitosti zapadne Istre.- Zbornik Poreštine 2, 9-32, Poreč.
- MALEZ, M. (1988): Prehistorijske koštane rukotvorine iz špilje Vindije (Hrvatska, Jugoslavija).- Radovi Zavoda za znanst. rad JAZU, 2, 217-252, Varaždin.
- MALEZ, M., RADOVČIĆ, J., RUKAVINA, D. & JALŽIĆ, B. (1975): Discovery of Upper Pleistocene fauna in the cave on Mt. Klek (Croatia).- Bull. scienc., 20/7-8, 209-210, Zagreb.
- MALEZ, M. & RUKAVINA, D. (1979): Položaj naslaga špilje Vindije u sustavu članjenja kvartara šireg područja Alpa.- Rad JAZU, 383/18, 187-218, Zagreb.
- MALEZ, M., ŠIMUNIĆ, An. & ŠIMUNIĆ, Al. (1984): Geološki, sedimentološki i paleoklimatski odnosi špilje Vindije i bliže okolice.- Rad JAZU, 411/20, Zagreb.
- MALEZ, V. (1988): Pleistocenska ornitofauna iz špilje Vindije u sjeverozapadnoj Hrvatskoj.- Radovi Zavoda za znanst. rad, 2, 31-203, Varaždin.

Paleomagnetism of Latest Maastrichtian Through Oligocene Rocks in Istria (Croatia), the Karst Region, and S of the Sava Fault (Slovenia)

Emö MARTON¹, Katica DROBNE², Franc CIMERMAN², Vlasta ČOSOVIĆ³ & Adrijan KOŠIR²

Key words: Paleomagnetism, Slovenia, Croatia, Italy,
Maastrichtian through Oligocene

Abstract

We are reporting paleomagnetic results obtained on 377 oriented samples collected at 17 localities (54 sites). Those yielding well-defined paleomagnetic directions at site or locality level we evaluated from the viewpoint of magnetostratigraphy as well as tectonics.

Sites with primary remanence were tied to the standard polarity time-scale by both biostratigraphic and polarity data. The same site-means plus those exhibiting syn- or postfolding remanence acquired before the final emplacement of the study area were tectonically interpreted. We have found that north of the Raša fault the paleomagnetic declinations are slightly clockwise rotated, while they are significantly counterclockwise rotated south of it. The angular difference between the two groups is about 60°.

INTRODUCTION

During three short field campaigns (1992-94) 377 cores were drilled for paleomagnetic measurements at 17 localities (54 sites) in Istria and in the Karst region from latest Maastrichtian through Lutetian platform carbonates and marls (flysch) (Fig. 1; DROBNE, 1977; DROBNE et al., 1988), and south of the Sava Fault in northern Slovenia (near Peračica) from mid-Oligocene andesite tuffs (Fig. 2; CIMERMAN, 1967; BUSER, 1980; BRICL & PAVŠIČ, 1991). The samples were processed in the Paleomagnetic Laboratory of Eötvös Loránd Geophysical Institute in Budapest and evaluated both from the viewpoint of magnetostratigraphy and tectonics.

RESULTS

MAGNETOSTRATIGRAPHY

Due to extremely weak remanence, several horizons sampled in platform carbonates did not yield meaningful paleomagnetic signal. Thus, the pattern of polarity

changes could not be obtained at any of the sections sampled in detail (Kubed, Golež, Dolenja Vas, Padriano, Sopada). Nevertheless, the strata with well-defined paleomagnetic directions were tied to the standard polarity time scale by both biostratigraphic and polarity data (table 1).

In general we have no indication that the characteristic remanence (which is isolated as a result of exhaustive stepwise demagnetisation (e.g. Fig. 7) and analysis of the measured and lost remanence at subsequent demagnetization steps) would be post-early diagenetic, i.e. secondary. On the contrary, positive fold test (e.g. Fig. 5) makes the primary nature of the characteristic remanence very probable. Nonetheless, there are a few cases (Fig. 1, localities 14, 7, 8, 9, 10, 11, 12) where the isolated characteristic remanence was clearly acquired in the present Earth's magnetic field (localities 14, 11, 12 - directions before tectonic correction are close to the present field) or in ancient times, but probably after tilting (locations 7, 8) or the remanence is suspected to have remained composite (localities 9, 10) despite of the thorough demagnetization. In all the above cases, correlation based on polarity is senseless. We have to call attention to the fact, that such cases remain undetected in magnetostratigraphic interpretation, unless the observations are made on fully oriented cores and in the context of a good paleomagnetic control on the study area.

TECTONICS

The most striking feature of the distribution of the paleomagnetic declinations in the study area is that they are slightly clockwise rotated on the southwestern margin of the Vipava Valley (the northeastern part of the Komen thrust sheet of PLACER, 1981, which comprise the northernmost Paleocene-Eocene platform carbonates of the NW Dinarids) and counterclockwise rotated south of it. The maximum angular difference between the counterclockwise and clockwise rotated area is about 67° (Fig. 1). In this case the individual paleomagnetic results of the counterclockwise rotated area reach

¹Eötvös Loránd Geophysical Institute of Hungary, Columbus 17-23, H-1145 Budapest, Hungary.

²The Ivan Rakovec Institute of Paleontology ZRC SAZU, Gospodská 13, 61000 Ljubljana, Slovenia.

³Department of Geology and Paleontology, University of Zagreb, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Hrvatska.

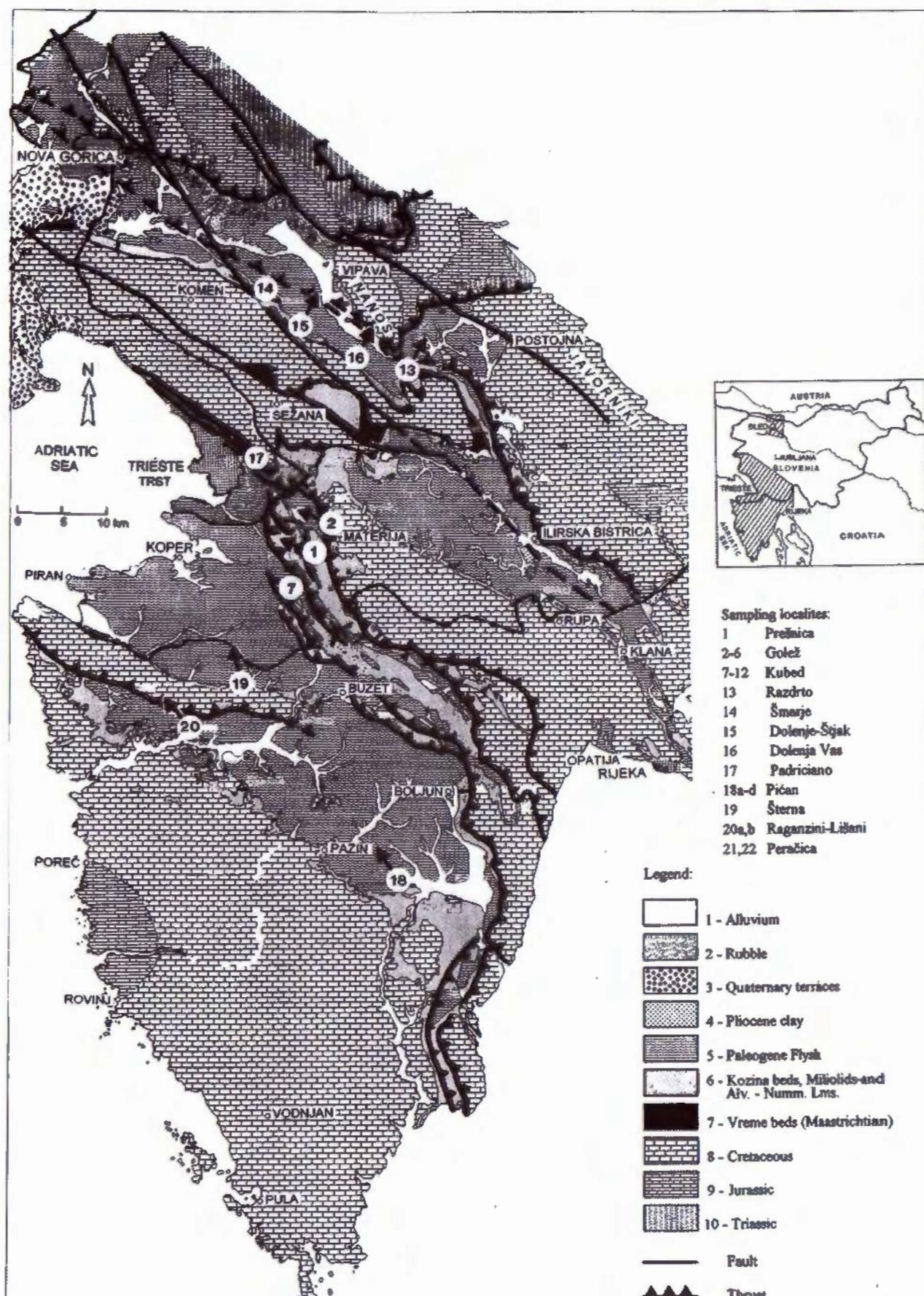


Fig. 1. General geologic map of the Istria peninsula and the Karst region (compiled from DROBNE, 1977; PLACER, 1981, and TIŠLJAR et al., 1983; Italian part accomplished by F. Cucchi) with the sampling localities (numbered circles) and paleomagnetic declinations (arrows). See Table 2 for paleomagnetic results.

LOCALITIES	Slov.	Istria	Upp. Maa	Dan- ian	Eocene			Olig. Rup.	Litho- logy	Chron
	Cui	Lut	Bla							
1 Prešnica	+				+				marl	R C21
2 Golež	+					+			flysh	?RC21
3 Golež	+			+					Lmst	
4 Golež	+				+				Lmst	N C22
5 Golež	+				+				Lmst	? NC22
6 Golež	+				+				Lmst	
7 Kubed	+					+			marl	
8 Kubed	+					+			Lmgl	
9 Kubed	+					+			Lmst	
10 Kubed	+					+			Lmst	
11 Kubed	+					+			flysh	
12 Kubed	+					+			flysh	
13 Razdrto	+				+				marl	R C23
14 Šmarje	+				+	?			marl	
15 Dolenje-Štjak	+				+				marl	R C23
16 Dolanja Vas	+		+	+					Lmst	R C29
17 Pedriciano/Ita	+	+							Lmst	R C29
18a Pičan	+								Lmgl	N C20
18b Pičan	+	(375 - 379)			+				Lmst	R C22
18c Pičan	+	(380 - 388)			+				Lmst	N C23
18d Pičan	+	(387 - 398)			+				Lmst	N C22
19 Stemra	+						+	+	Lmgl	R C20
20a Rag-Lišani	+	(411 - 418)				+			Lmgl	N C20
20b Rag-Lišani	+	(408 - 410)				+			Lmst	R C20
21 Peračica	+	(067 - 068)					+		Tuff	R C12
22 Peračica	+	(257 - 275)					+		Tuff	N C12

Table 1. Stratigraphical position of the investigated localities. Key to lithology: Lmst = limestone; Lmgl = glauconitic limestone.

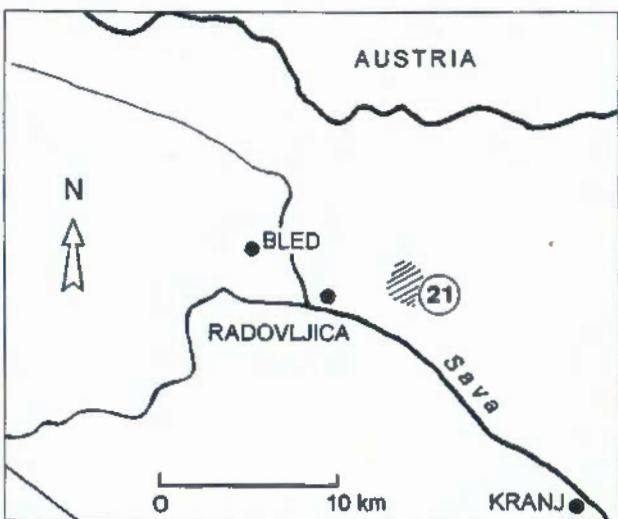


Fig. 2. Map showing the location of Peračica.

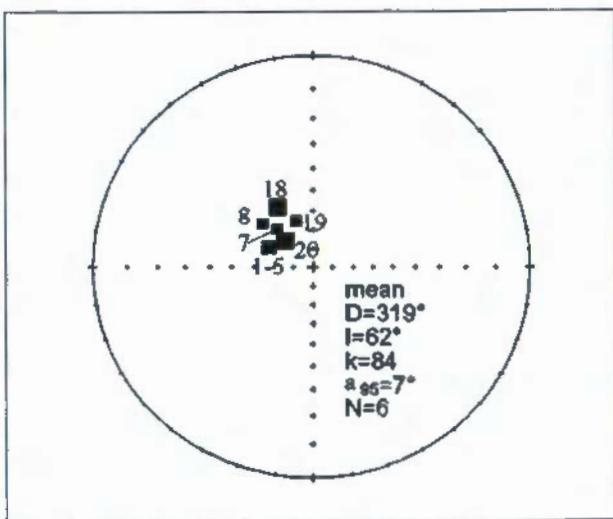


Fig. 3 Locality mean paleomagnetic directions with counterclockwise rotation (maximum mean angle). Stereographic projection; hollow symbols - negative inclination; full symbols - positive inclination; numbers refer to Fig. 1.

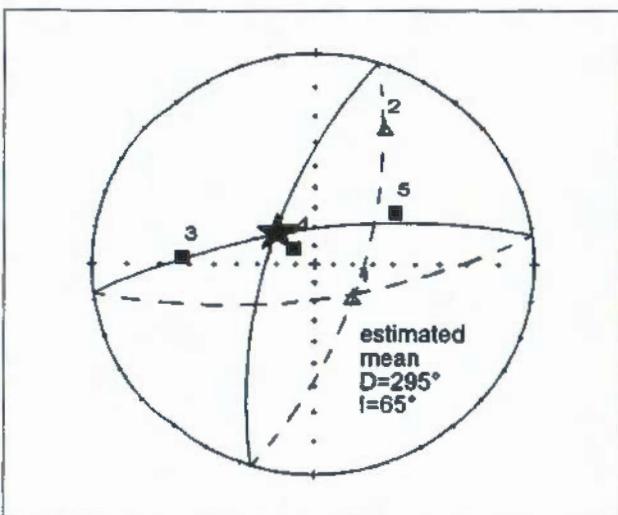


Fig. 4 Estimation of the direction of pre-folding remanence (marked with star symbol) based on two localities with one component remanence (1 & 4) and others with unremovable partial overprint.

locality	n/n ₀	D°	I°	k	α_{95}°	D _c °	I _c °	remark	dip
1. Prešnica (25-31)	7/7	98	-22	36	10	134	-50	best grouping	57/49
2. Golež (47-53)	7/7	27	+14	147	5	27	-19	TH300°	53/37
3. Golež Danian (32-40)	6/9	325	+41	43	10	273	+27	TH300-525°	220/64
4. Golež, Limestone with calcite veins (58-61)	4/4	36	+48	217	6	307	+76	TH300°	237/45
5. Golež, Limestone point 8, (62-65)	4/4	54	+10	18	22	57	+42	TH275°	223/32
6. Golež, upper Cuisian, (57-57) another nappe!	4/4	301	-25	30	17	332	-31	TH300°	233/52
7. Kubed, upper nappe blue marl (1-8)	8/8	318	+63	20	13	1	+50	TH350-400°	45/30
8. Kubed, upper nappe glauconitic limestone (9-14)	5/6	312	+56	71	9	344	+48	TH450°-AF200	45/30
9. Kubed, upper nappe massive limestone (15-19)	4/5	19	+42	13	21	34	+22	TH300°	42/35?
10. Kubed, upper nappe massive limestone (20-24)	5/5	184	+17	224	5	168	+43	TH150-475°	42/35?
11. Kubed, lower nappe (108-113)	6/6	3	+51	396	3	332	+42	TH followed by AF300	40/10
12. Kubed, lower nappe (114-118)	4/5	5	+47	183	7	15	+52	TH followed by AF300	42/35
13. Razdrto (113-133)	14/15	207	-36	31	7	205	-60	stable end points +large circles	220/25
14. Šmarje (247-56)	7/10	18	+51	31	11	6	+38	negative fold test! (k=11, $\alpha_{95}=19$)	280/24 40/35
15. Dolenje pri Štaku (235-46) statistics on site basis	12/12	170	-61	40	15	208	-65		general dip 116/18
16. Dolenja Vas (187-234) (459-467)	17/57	32	-66	19	9	210	-78	stable endpoints +remag. circles	32/35
17. Padričano (419-458) late Maastrichtian	3/39	201	-42	90	18	169	-52	TH200°	254/28
18a. Pičan, Lutetian glauconitic limestone (367-74)	5/8	334	+58	17	19	334	+58	AF50-TH225°	horizontal
18b. Pičan, all (367-96)	10/23	331	+54	14	13	331	+54	AF50-TH300°	horizontal
19. Šterna (397-405) glauconitic limestone	9/9	172	-50	47	7	155	-30	stable endpoints + circles	308/26
	7/9	161	-49	83	7	149	-29	stable endpoints only	
20. Ragancini-Lišani (406-418) glauconitic limestone	10/13	167	-64	15	13	175	-65	stable endpoints + circles	110/5
reversed only!	5/5	190	-51	17	20	198	-50		
normal only!	5/8	314	65	156	6	315	+70		
21. Peračica I. (67-78)	10/10	203	13	40	8	202	-55	TH300°	202/70
22. Peračica II. (257-275)	18/19	19	54	20	8	17	+46	AF200	20/10

Table 2. Paleomagnetic results. Key: n/n₀: number used/collected samples; D, I (D_c, I_c): declination, inclination before (after) tilt correction; k and α_{95} : statistical parameters; TH: thermal demagnetization; AF: alternating field demagnetization. Remarks: 1-2 and 3-5, respectively, define two great circles of remagnetization. After tectonic correction, the intersection, i.e. the direction of the pre-folding remanence is: D_c=295°, I_c=+65°; 6. Seemingly clockwise rotation, but overprint is not impossible. Prefer not to interpret it in terms of tectonics; 7. and 8. Remanence may be postfolding, 9 and 10 uncertain tectonic position + probably composite remanence; 11. and 12. remagnetized in the present earth's magnetic field; 14 completely remagnetized; 13, 15, 16 positive fold test: D=184°, I=-70°, k=4, $\alpha_{95}=70$ ° before tilt correction; D_c=203°, I_c=-66°, k=61, $\alpha_{95}=16$ ° after tilt correction; 18 and 20 strictly autochthonous; 21 and 22 positive fold test: D=322°, I=+86°, k=2, $\alpha_{95}=23$ ° before tilt correction; D_c=20°, I_c=+49°, k=25, $\alpha_{95}=5.6$ ° after tilt.

the tightest grouping. The minimum angle is 54°, which is obtained when tilt correction brings some of the locality mean directions away from the cluster of those obtained on horizontal (localities 18, 20) strata or tilted, but locally clustering on tilt correction (localities 1-5).

For estimating both the minimum and maximum angle, the rotation of the southwestern part of the Vipava Valley is fixed, since its rotation is supported by positive fold test (Fig. 5). The two Oligocene localities near Peračica also show the same angle of rotation (also supported by positive fold test) which is amazing, considering the distance and different tectonic setting.

When the first paleomagnetic results of the present study are placed in the context of earlier published paleomagnetic observations on Cretaceous rocks (MAR-

TON & VELJOVIĆ, 1983, 1987; MARTON et al., 1990) from "stable" Istria and the NW part of the Dinarids, the following conclusions may be drawn:

1. The area which lies SW of the Vipava Valley is characterized by counterclockwise rotation, which is, according to our new data, partly (pre-Senonian rocks) or fully (Senonian through mid-Eocene rocks) due to post-mid-Eocene movements. This area may be envisaged as part of the Adriatic microplate plus its deformed margin.

2. Differential rotations between the above area and the one represented by the southwestern part of the Vipava Valley (which perhaps reaches as far to the north as Peračica) are significant and important. We are not yet

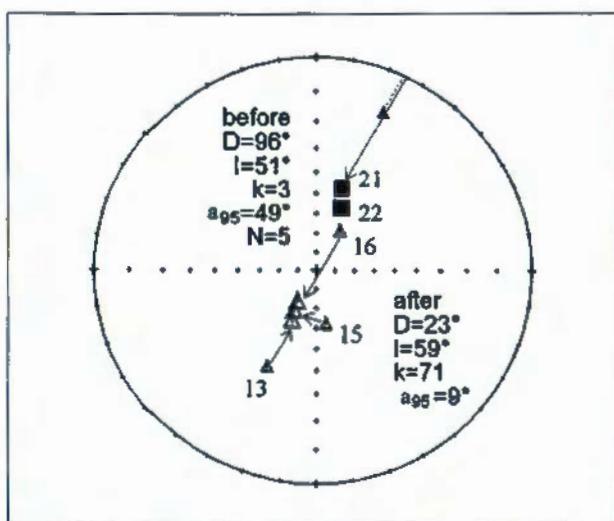


Fig. 5 Locality means directions with clockwise rotation before (smaller symbols) and after tilt correction.

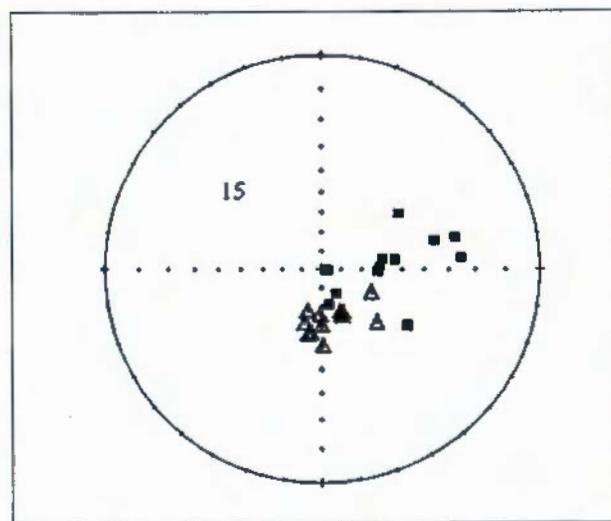


Fig. 6 Direction of individual samples before (full squares) and after (hollow triangles) magnetic cleaning.

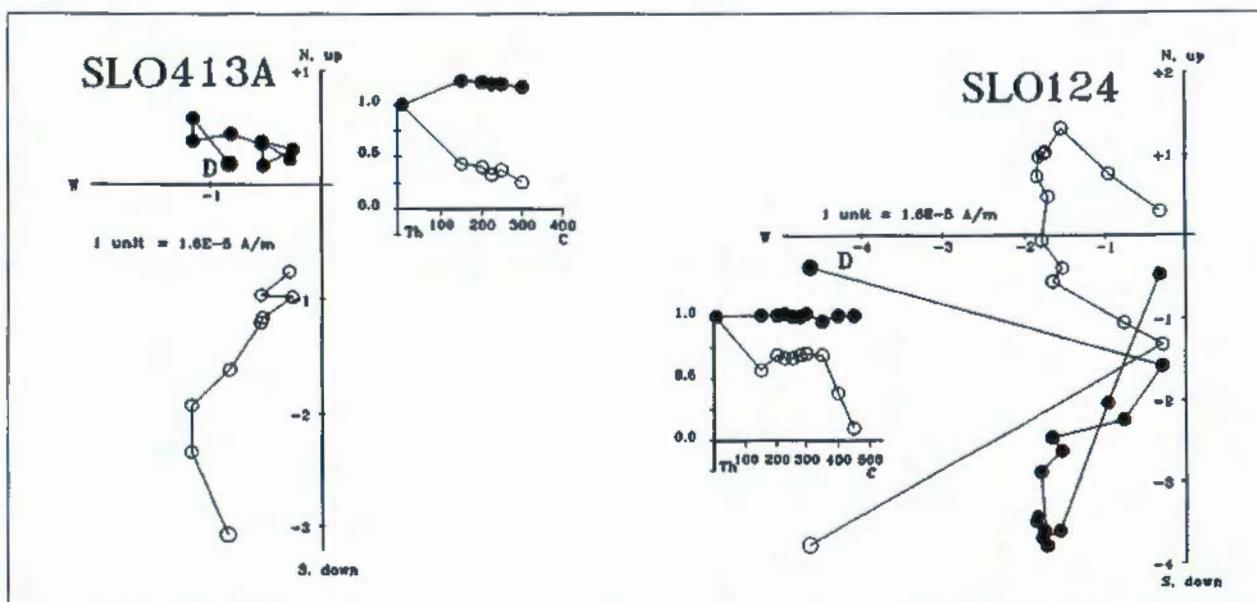


Fig. 7 Examples of the behaviour of the remanence vector on thermal cleaning. Orthogonal plots and susceptibility versus temperature curves.

able to decide if the border between areas with rotations in different senses should be regarded as a plate boundary, or is of less importance.

3. It is worth mentioning that the Raša fault, which we tentatively identify with the boundary between areas with different rotation senses, is one of the important tectonic features of the study area. It was shown to be seismically very active even in historical times and affected by strong dextral strike-slip movement (DEL BEN et al., 1991); at the same time it is not the Raša fault, but the Idrija and Rijeka faults that are regarded by the cited seismologists as playing key role in the disconnection of Adriatic plate. In the near future we hope to obtain paleomagnetic data that will help us to decide whether or not the plate boundary changed its position with time.

Acknowledgements

This research is a part of a project "Paleobiological and paleoecological events in the time span from the Cretaceous/Tertiary boundary to the Middle Eocene in the Karst area" included in the ALPE-ADRIA Program, which is partially financed by the Ministry of Science and Technology of Slovenia. We sincerely acknowledge this funding. We also acknowledge partial financial support by the Hungarian National Science Foundation, OTKA (Project number T 007368). Basic investigations were carried out at the collaborating institutes in Budapest and Ljubljana. We would like to thank B. Kotnik (Ljubljana) and I. Gabor (Budapest) who contributed to the preparation of figures and tables.

REFERENCES

- BRICL, B. & PAVŠIĆ, J. (1991): Frequency of Nannoplankton in Oligocene marine clay in Slovenia.- Razprave IV razr. SAZU, 32, 153-173, Ljubljana.
- BUSER, S. (1980): Tolmač k osnovni geološki karti, list Celovec 1:100.000 (Geology of the Sheet Celovec).- 62 p., Beograd.
- CIMERMAN, F. (1967): Oligocene beds in Upper Carniola (Slovenia, NW Yugoslavia) and their foraminiferal fauna.- Bull. Sci. Conseil Acad. RSF Yougoslavie, Sec. A, 12/9-10, 251-253, Zagreb.
- DEL BEN A., FINETTI, I., RABEZ, A. & SLEJKO, D. (1991): Seismicity and Seismotectonics at the Alps-Dinarides contact.- Bollettino di Geofisica Teoretica ad Applicata, XXXIII, 130-131.
- DROBNE, K. (1977): Alveolines paleogenes de la Slovenie et de l'Istrie.- Schweiz. Pal. Abh., 99, 1-132, Basel.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., ZUCCHI-STOLFA, M.L. & TURNŠEK, D. (1988): Maastrichtian, Danian and Thanetian beds in Dolenja vas (NW Dinarides, Yugoslavia). Microfacies, foraminifers, rudists and corals.- Razprave IV razr. SAZU, 29, 147-224, Ljubljana.
- MARTON, E. & VELJOVIĆ, D. (1983): Paleomagnetism of the Istria peninsula, Yugoslavia.- Tectonophysics, 91, 73-87, Amsterdam.
- MARTON, E. & VELJOVIĆ, D. (1987): Paleomagnetism of Cretaceous carbonates from the northwestern part of the Dinaric fold belt.- Tectonophysics, 134, 331-338, Amsterdam.
- MARTON, E., MILIČEVIĆ, V. & VELJOVIĆ, D. (1990): Paleomagnetism of the Kvarner islands.- Physics of the Earth and Planetary Interiors, 62, 70-81, Amsterdam.
- PLACER, L. (1981): Geologic structure of southwestern Slovenia.- Geologija, 24/1, 27-60, Ljubljana.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983): Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal carbonate sediments of Istria.- In: BABIĆ, L. & JELASKA, V. (eds.): Contributions to sedimentology of some carbonate and clastic units of the Coastal Dinarides. 4th I.A.S. Regional Meeting, Split 1983, 13-35, Zagreb.

Orijentirano jezgrovanje - geološka primjena orijentiranih podataka

Ivan MESIĆ & Branko KRIŠTOFEK

Ključne riječi: ležišne kolektorske stijene, orijentirano jezgrovanje, pravac pružanja, kut nagiba

Key words: Collector rocks, Oriented coring, Spreading direction, Nook declivity

Sažetak

Nakon što su utvrđene znatne količine plina, DST (Drill Streans Test) ispitivanjem na istražnom objektu, odnosno bušotini Vukanovec-1, pristupilo se što boljem određivanju ležišnih kolektorskih stijena (tektonizirane vapneno-dolomitne breče te siparišne breče) pomoću orijentiranog jezgrovanja.

Na temelju ovakvog načina ispitivanja objekta moguće je odrediti pravac pružanja i kut nagiba pukotinskih sustava, rasjeda, ploha stilolita, kaverni, diskordancija, organogenih proslojaka i gradacije zrna, te njihovu učestalost po dužnome metru.

Orijentiranjem jezgara u tijeku jezgrovanja osigurava se kontrola nad drugim laboratorijskim analizama. Osnovne su analize: propusnost, sitnozorni prerezi, elektronski sitnozori. U ovom radu biti će rabiljene analize propusnosti za analizu ambijent stresa.

UVOD

Jezgre se uzimaju za rješavanje istražnih i proizvodnih nejasnoća. Podaci iz orijentiranog jezgrovanja imaju veliki značaj u detaljnem prikazivanju neravnomjernih ležišta i osobitosti ležišne stijene: pukotinska šupljikavost, smjer pukotinskih sustava, te medusobnu povezanost pukotina. Medusobna povezanost pukotina je ključna za propusnu sposobnost ležišne stijene i igra glavnu ulogu, kako u ukupnoj količini ugljikovodika u stijeni, tako i u mogućnosti "davanja", to jest jednoznačno određuje načine i količinu pridobivanja ležišnog fluida.

Orijentirane jezgre mogu pomoći kao značajni podaci u sedimentnoj petrologiji ili stijenskom sklopu. Orientacija i količina malih pukotina, pomaknutost i lističava izobličenja mogu se rabiti u određivanju povijesti stresa i izobličenja te jačine dijelovanja sastavnog izobličenja.

Ipak, a naročito kod nas, nije još uobičajen rad na orijentiranim pripravcima, već samo na krupnoglednim sklopovima. Važnost podatka krupnoglednog sastava stoji u određivanju oblika sustava, sedimentnih sustava, sredine taloženja i njihovog zajedničkog utjecaja na

Abstract

After the significant quantities of the gas had been recognized, using the DST (Drill Streans Test) on the exploration object, Vukanovec-1 well, the determination of the collector rocks (tectonized limestone - dolomitic breccias and rock fall breccias) started using the oriented coring.

On the basis of such a research method, it is possible to determine the spreading direction and nook declivity of fracture systems, faults, stylolite surface, caverns, discordances, organogenic interbeds and grain gradations and their frequency per meter.

Core orientation during coring insured the control of other laboratory analyses. The main analyses are: porosity, thin sections, electronic microscope. This study will use the porosity analyses in the ambient stress analysis.

svojstva ležišnih stijena. Za razliku od sitnoglednog sastava, podaci za određivanje krupnoglednog sklopa općenito traže više uzoraka jezgre, odnosno veći postotak jezgre kroz ležište, koja mora biti sigurno orijentirana.

Dostupan način može odrediti najveći i najmanji smjer izobličenja na svježem prijelomu orijentirane jezgre. Poznavanjem fizikalnih osobina stijene i orientacije jezgre, ovi podaci se mogu vezati i na današnji položaj stresa u ležištu. Način je primjenljiv na mali broj jezgara. Zato je neophodno nekoliko jako dobro orijentiranih uzoraka, a ne veliki postotak jezgrovanog materijala.

GEOLOŠKI OPIS PLINSKO-KONDENZATNOG LEŽIŠTA

Kronostratigrfska i litološka raščlamba temelji se na podacima okolnih istražnih bušotina Vuč-1, Lop-1a, Md-5, Mer-2. Nakon završetka bušotine Vuk-1 opisan je cijeli vertikalni slijed litostratigrfskih jedinica od Podloge tercijara do podine Mura formacije, odnosno gledajući kronostratigrfski od karbonata mezozoika, preko miocena, pa do pliocena.

U strukturnoj zamci antiklinalnog tipa i ležišnim stijenama trijaske starosti (norik, ret) dobiven je plin u dolomitnim brečama. Same breče su jako tektonizirane sa dobrom propusnošću.

SLIJED I PRISTUP OPISU JEZGROVANOG MATERIJALA

Plinsko - kondenzatno ležište Vukanovec je nabušeno na 1891 metar relativne dubine. Jezgrovanje je počelo na 1895 metara i neprestano izvođeno do relativne dubine od 1939 metara. Tijekom jezgrovanja i prihvata jezgre pazilo se da ne dođe do oštećenja koja mogu nastati nestručnim radom.

Preduvjet bilo kakve odredbe je pregled te označavanje smravljenih područja i područja koja se dobro slažu, uz prepoznavanje nastalih kronostratigrafskih razmaka. Zatim slijedi rastpoznavanje odredbenog ureza, te njegova orientacija koja se dobije iz osnove prostornog položaja dubinskog zapisa glavnog noža. Odstupanje na istok ili zapad kazuje nam položaj sjevera.

Nakon ovih predradnji, pristupilo se odredbi i označavanju svih mjerljivih sastavnih dijelova jezgre i to rasjeda, pukotina, zapunjениh pukotina, granice taložnih slijedova, a potom slijedno mjereno i zorno prikazano (sl. 1). Zatim slijedi snimanje ukupne radioaktivnosti na jezgri radi usporedbe sa ukupnom radioaktivnošću snimljenom u bušotini. Uz ovaj način se pokušava dobro povezati dubinu u bušotini sa orijentiranim jezgrom.

Tumačenje podataka mjereneih sustava pukotina, stilolita i rasjeda radi višenamjenske uporabe, izvršena je na dijagramima, s tim da se istodobno prikazuju smjerovi pada i smjer pružanja (sl. 2). Sasvim je izvjesno da su svi mjereni podaci dostupni za stereo prikaz istih površina ili istih kutova (Schmidt ili Wulff), te za račun gustoće pukotina, odnosno razmak između skupa pukotina.

NAČIN ORIJENTIRANJA JEZGRE

Orijentirane jezgre se obično uzimaju u spoju nemagnetske sržne cijevi i kamere. Ukratko možemo reći da se određbeni trag noža na jezgri stvara ulaskom jezgre u košuljicu naprave za jezgrovanje. Kamera je smještena unutar nemagnetske cijevi iznad sržne cijevi naprave za jezgrovanje i poravnata sa nožem. Pregledne slike uzimane za vrijeme izrade jezgre, bez prekida radnje, dozvoljavaju slijednu raščlambu jezgre i omogućava orijentiranje sveukupnog uzorka jezgre, a ne samo vrha i dna jezgre.

Jezgre su obično obilježene sa tri ureza. Jedan urez je odvojen od ostala dva tupim kutom. Kako postoje i jezgre sa jednim urezom, zbog mogućnosti slaganja dijelova za određivanje smjera prema gore, puno neu-smjerenih uobičajenih jezgri se danas uzima na taj

način. Unatoč tome treba paziti, jer je samo jezgra sa tri ureza orijentirana jezgra. Točan raspored tragova ureza razlikovan je od djelatnika do djelatnika zbog neusuglašenosti odnosa. Uobičajeno je stavljanje noževa u napravi za jezgrovanje pod kutovima 72° - 144° - 144° .

RAŠČLAMBA OSNOVNIH DIJELOVA JEZGROVANJA

SLIJED SMJEROKAZ - JEZGRA

Svi optičko-mehanički dijelovi sklopa imaju jamstvo za kvalitetan rad i oznake naputaka za slaganje na bušotini. Spoj optičkih dijelova, ovisno o duljini sklopa (1, 2 ili 3 metra) ima sigurnost = točnost $1-2^\circ$ ili više. Kako pogreška raste duljinom spajanja sklopa, rad sa jednim smjerokazom ne preporučuje duljinu sklopa veću od 3 metra. Također zbog nesavršenosti čelika (razdjelna šipka, spojevi i sl.) mogu poremetiti odnos kamera - nož. Kako je snimka vezana za unutarnju košuljicu jezgro naprave, a ne vanjsku, utjecaj torzije bi trebao biti minimalan u sklopu 1.5 - 3 metra. Ipak, moguće su velike pogreške. Kad se trag u kratkom području, jako mijenja, zakretanje se mora uzeti u obzir. Za jednostavan rad pogreška može biti do 1° , a sa izraženim zakretanjem iznad 2° .

Općenito pogreška za vrijeme jezgrovanja i snimanja je mala, te za geološko - inženjerski posao rezultati su dobri. Najveća pogreška proizlazi iz vezanja dubine slike i odgovarajućeg dijela jezgre. U većini slučajeva, na dužini od 0.20 do 0.60 m, pogreška može biti od 10° do 90° u orientaciji. Naročito je ovo očito kod gubitka dijela jezgre uslijed nevezanih ili rastresitih naslaga. Djelatnici uobičajeno uzimaju da se gubi donji dio jezgre.

KUTOKAZ

Sve mehaničke naprave, zbog svog raspona rada i povezanosti mjerjenja mogu dati velike pogreške, te kutokaz (goniometar) nije nikakav izuzetak.

Očite pogreške na mehaničkom kutokazu (goniometru):

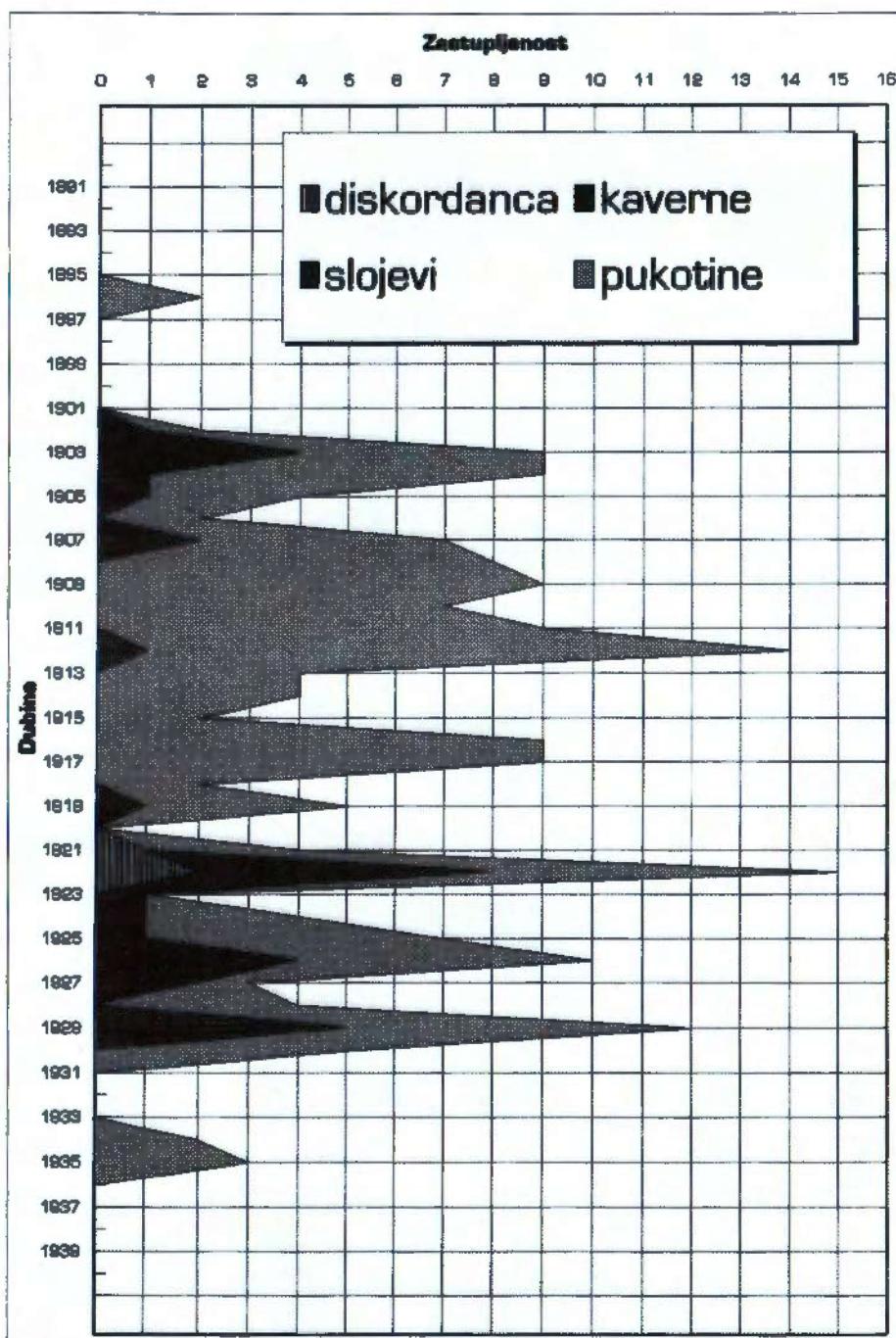
- pogreška u smjeru otklona bušotine $\pm 0.25^\circ$
- pogreška u veličini otklona bušotine $\pm 0.25^\circ$
- pogreška u usporednoj niti $\pm 1.25^\circ$
- pogreška u sklopu prstena gornji-donji $\pm 1^\circ$

Zbog ovakvih pogrešaka dolazi do pogrešaka u očitavanju sastavnih dijelova:

- pravac pružanja i smjer pada $1 - 2.75^\circ$
- kut pada $\pm 0.75^\circ$

TRAG NOŽA (ŠIRINA I ZAOKRET)

Točno određivanje usporednog noža ovisi o dubini traga i širini ureza na površini jezgre. Plitko urezani trag može biti samo jedan mm širok, te se ovakav trag očitava s točnošću 0.5° (na jezgri $\varnothing 100$ mm). Ako je zarez širok oko 5 mm (luk od 5° na jezgri $\varnothing 100$ mm)



Sl. 1 Dijagram pukotina, kaverni, slojevi i diskordanca u bušotini Vukanovec-1. Prikazan je odnos pukotinskog, kavernoznog, slojevitog i diskordantnog sustava (podaci iz orijentiranih jezgara).

biti će pogreška očitanja $\pm 1.25^\circ$ od centra zareza.

Općenito, usporedni trag se okreće u desno (smjer kazaljke na satu ili bušaćih šipki) sa dubinom, a zakrivenost, u odnosu na promjer uzorka, nije velika. Ipak, velika promjena smjera zakrivenosti spiralnost traga $50^\circ - 70^\circ$ na jedan metar se može uočiti, što je vjerojatno posljedica velikog zaokreta košuljice jezgro naprave i mernog sklopa. Uzorci sa značajnom promjenom smjera noža ne bi se trebali uzimati u obzir.

POGREŠKE U TIJEKU MJERENJA

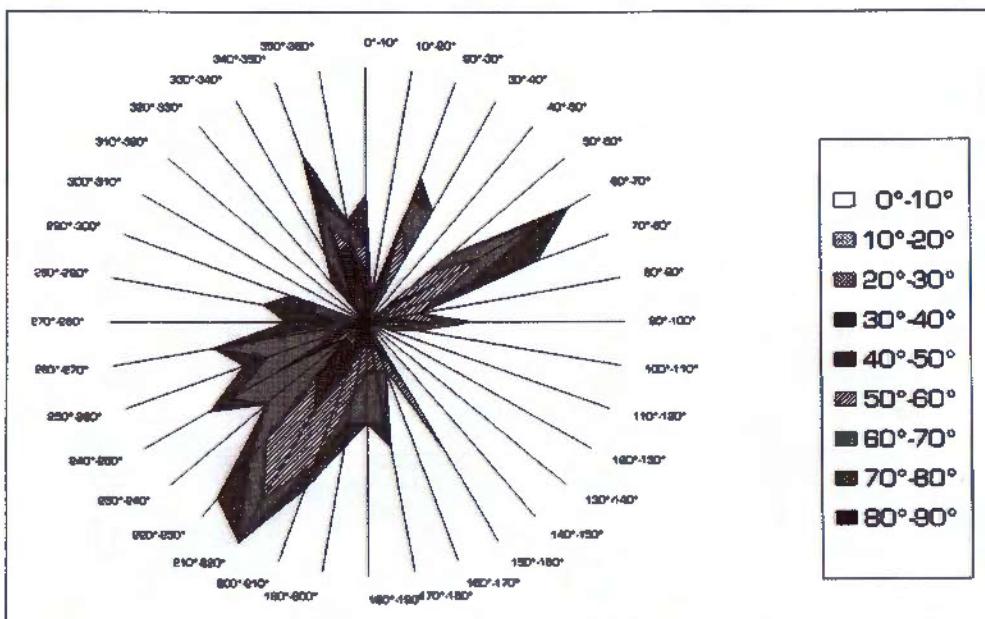
Pojedinačne pogreške mogu biti 2° u pravcu pružanju elemenata, 1.75° u smjeru pada, 2.50° u veličini

nagiba. Ako radi više dijelatnika - mjeritelja moguće su pogreške u pružanju 4° , u smjeru pada 3.75° , u veličini pada 3.25° . Općenito, jedan djelatnik ima standardnu devijaciju upola manju nego više djelatnika - mjeritelja. Svi ovi podaci, dobiveni računalnim kutokazom (kompjutorski goniometar), imaju daleko manju pogrešku u čitanju.

UKUPNE POGREŠKE

Najmanja moguća pogreška je 11° , a vrijednost je dobivena zbrajanjem najmanjih mogućih pogrešaka.

- pogreška u tijeku jezgrovanja 5°
- pogreška u čitanju traga na jezgri 1°



SI. 2 Dijagram smjera i veličine kuta pada u bušotini Vukanovec-1 (jezgre 1895.00 - 1939.00m).

- pogreška u goniometru 2°
- pogreška u čitanju sastavnih dijelova 2°
- pogreška u standardnoj devijaciji 1° .

LABORATORIJSKA OBRADA ORIJENTIRANE JEZGRE

Za dobro orijentirane jezgre (utvrđen pravi položaj, smjer linije sjevera) očitavanje sastavnih dijelova, u ovom slučaju pukotina i stilolita, može se raditi običnim kutomjerom, mehaničkim goniometrom ili troveličinskim digitalizatorom.

Goniometrom, osim brojevanih i mehaničkim, vraćanjem dijelova jezgre u pravi položaj možemo mjeriti pravi pravac pružanja i smjer nagiba izravno. Pokretnim postoljem i gornjim dijelom nosača određuje se položaj bušotine u dotičnom području. Liniju sjevera na držaču jezgre usmjerimo na određeni sjever bušotine. U držač jezgre stavimo jezgru tako da sastavni dijelovi (smjer) može biti očitan iz loga orijentirane jezgre pod točnim kutom. Pokretnim inklinometrom čitamo smjer nagiba mjerljivih sastavnih dijelova (u ovom slučaju pukotina i stilolita).

Izvjesno je da poslije orijentacije jezgre treba povući dvije raznobojne, usporedne linije da se spriječi okretanje jezgre kao i stručno prepoznavanje pukotina i stilolita čiji prostorni sastavni dijelovi će se mjeriti. Iz dobro obilježenih pukotina i stilolita neophodno je procijeniti duljinu, širinu, stanje i sl. Mineralizacija pukotina i stilolita trebala bi biti petrografske odredene.

UPORABA DRUGIH NAPRAVA ZA ORIJENTIRANO JEZGROVANJE

Djelomično se uobičajena jezgra može orijentirati uporabom gledaćem bušotine (BHTV ili BOREHOLE

TELEVİEWER), paleomagnetskim mjerjenjem i dipmetrom.

1. BHTV je naprava na žici koja stvara zvučnu sliku stijenke kanala bušotine. Zapisuju se vremena i amplituda povratnog signala. Ako su različite pojave (pukotine i stiloliti) uočene na napravi za gledanje, dijelovi jezgre mogu biti orijentirani.

2. Detaljno magnetsko snimanje jezgre (paleomagnetika). Ovom tehnikom paleomagnetski sjever se određuje iz odabranih uzoraka. Podaci se usporeduju sa geološkim standardom za geološko vrijeme i položaj pola u istom vremenu, te usporeduju sa današnjim sjeverom.

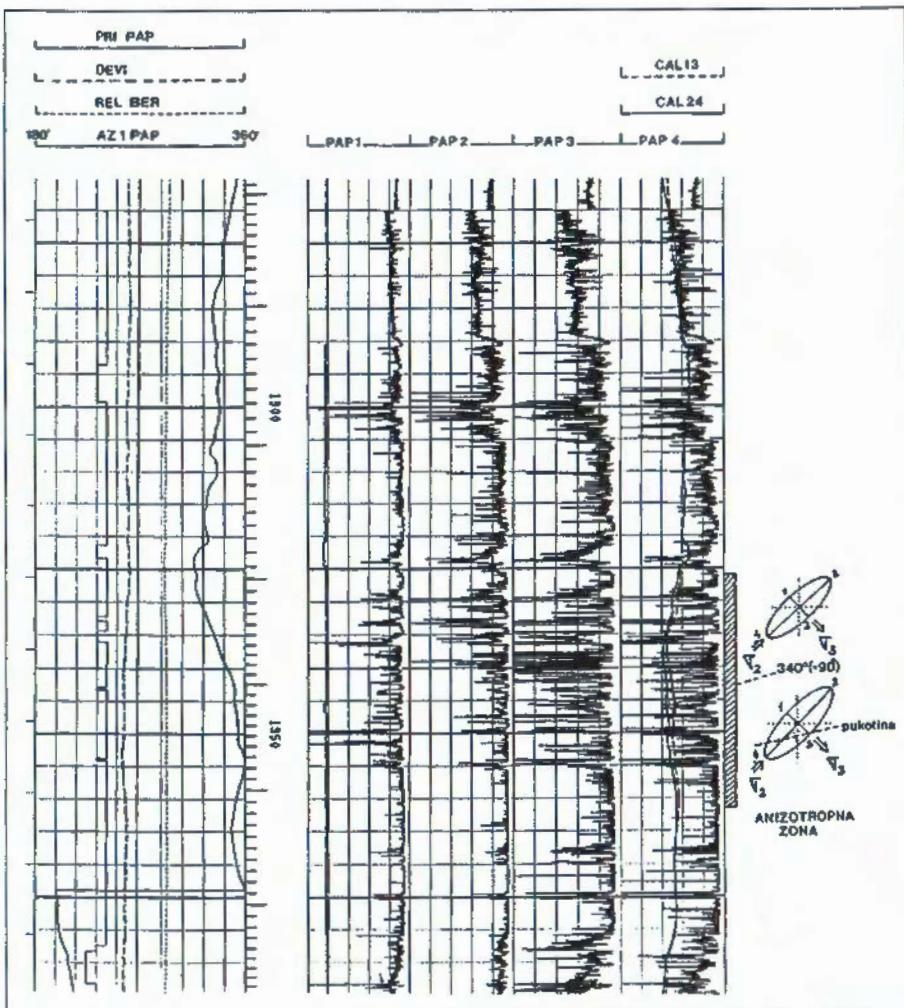
3. Najčešći i najjednostavniji način orijentiranja neorijentiranih jezgara je usporedba dipmetra i vidljivih osnovnih dijelova nagiba (sloj, raspukline, stiloliti) na jezgri. Pod najboljim uvjetima dipmetar određuje azimut sa točnošću od 1° . Ipak, kako je to statistički način najvjerojatnijih položaja sastavnih dijelova to su moguće, ovisno o području duljine, veće pogreške, u ocjeni širine sloja, usporedbe jezgra - dipmetar i drugih usporednih problema. Orijentacija dipmetrom zahtijeva dobre uvjete u bušotini, kvalitetne logove, vidljive pojave na jezgrama (naročito izražene otporne razlike) i iskusne djelatnike - mjeritelje.

Sva tri načina su teoretski stvarna u pogledu rezultata. Međutim, zbog velike zahtjevnosti koja se vrlo rijetko može postići, u praksi su rezultati dosta slabiji od izravno orijentiranih jezgri.

PRIPREMA PODATAKA ZA TUMAČENJE

Treba imati na umu da slabo orijentirani dijelovi mogu biti neuporablivi i zbog osobitosti stijena, a ne samo zbog tehnike jezgrovanja ili snimanja.

- Treba promatrati samo dijelove sa vidljivim tragom noža i bez jačih zaokreta oko jezgre.



Sl. 3 Anizotropna zona u bušotini Vukanovec-1.

- Rabiti samo veće dijelove bez zdrobljenosti ili gubitka dijelova jezgre, te treba postojati mogućnost slaganja.
- Prepoznati i izdvojiti dijelove sa ustaljenim azimutom ili postupnim povećanjem azimuta (okretanja u desno) na strip logu.
- Ne izdvajati dijelove sa padom azimuta (okretanje u lijevo) na strip logu, te podaci ovakvih dijelova mogu biti i dobri uz pojašnjenje izvodača o mogućoj pogrešci u napravi.
- Izdvojiti dijelove barem 1.5 - 3 metra stalne duljine ili male promjene u orijentaciji zbog mogućnosti nesklada brzine bušenja i vremenskom području snimanja.
- Nakon izbora dijelova izabrati ogledni uzorak sa dobrom vezom sнимka dubina.
- Navesti pogrešku i promjenjivost u orijentaciji izabranih uzoraka.

TUMAČENJE NEOBRAĐENIH KRIVULJA PANDAŽMETRA

Pokrovna stijena i taložine iznad pokrova su trenutno pod izotropnim okolišem stresa. Skoro cijelo ležište

(1891-1935m) je također, trenutno, u izotropnim uvjetima. Tek od 1935m pa dublje je trenutno izrazita anizotropija. Položaj plohe prevladavajućeg stresa je 330° i dobro se slaže sa izmjerenim pukotinskim sustavima (sl. 3).

ZAKLJUČAK

Pregledno za čitavi jezgrovani dio, a to je u stvari i čitavo ležište, može se zaključiti slijedeće:

- osim jezgre dva, gdje je zbog dolomitne matrice prevladavajući porozitet i sitnopukotinska propusnost, što se u stvaranju može predstaviti kao osnovni porozitet ali i propusnost, kroz ostatak ležišta pukotinski sustavi igraju odlučujuću ulogu glede same propusnosti.
- sve analize jezgara su u stvari orijentirani podaci u prostoru, jer su uzorci uzimani na temelju navedenih podataka orijentiranih jezgara.
- izmjereni sastavni dijelovi, ali i prepoznavanje istih su dosta pouzdani, a što znači da je tehnički dobro izveden sam tijek orijentiranog jezgrovanja na istražnom lokalitetu Vukanovec, odnosno u bušotini Vuk-1, pa se podaci mogu rabiti u svim strukturološkim raščlambama.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

- AQUILERA, R. (1980): Naturally Fractured Reservoirs.- PenBooks, Tulsa, 1-24, 125-190.
- VAN GOLF-RACHT, T.D. (1982): Fundamentals of Fractured Reservoir Engineering.- Elsevier, Oxford, 12-110.
- NELSON, R.A. et al. (1987): Oriented Core: Its Use, Error and Uncertainty.- AAPG Bull., 71, 357-367.
- GARRETT, C.H. (1988): Integrated fractured analysis.- Core Lab, WAI (Interni dokument INA-Naftaplin).
- HOBBS, B.E., MEANS,W.D. & WILLIAMS, P.E. (1976): An outline of Structural Geology.- J. Wiley & Sons, New York, 484-520.
- MEANS, W.D. (1976): Stress and Strain.- Springer-Verlag, New York, 53-70.
- VAN ALSTINE, D.R. et al. (1982): Paleomagnetic application in hidrocarbon Exploration (abs).- AAPG Bull., 67, 563.
- MESIĆ, I. & KRIŠTOFEK, B. (1994): Orientirano jezgrovanje u bušotini Vukanovec-1.- Interni dokument INA-Naftaplin.

Pokreti na padinama - hazard i rizik

Snježana MIHALIĆ¹ & Bogdan STANIĆ²

Ključne riječi: klizište, klasifikacija klizanja, hazard, rizik

Key words: Landslide, Landslide classification, Hazard, Risk

Sažetak

Svrha zoniranja hazarda klizanja je podjela područja na zone jednakih vjerojatnosti pokreta na padinama. Takvo zoniranje je osnova za procjenu šteta koje može prouzročiti pojedini hazardni događaj - procjenu rizika klizanja. Pristupi zoniranju i procjeni hazarda klizanja su vrlo različiti; od jednostavnog kartiranja lokacija klizišta s prikazom osjetljivosti područja na klizanje, do numeričko-kartografskih metoda i složenih statističkih analiza faktora koji uvjetuju klizanje. Preduvjeti za zoniranje hazarda klizanja su: jasna i jednoznačna terminologija za opis klizišta, klasifikacija klizišta, katalog klizišta, kao i definicije hazarda i rizika u odnosu na klizanje. Uporabna vrijednost karata hazarda i rizika klizanja je primjena kao podloga urbanističkom planiranju i ublažavanju posljedica klizanja. One stoga trebaju precizno definirati potencijalni problem i kvantificirati štete od klizanja.

Abstract

The objective of landslide hazard zonation is subdivision of an area into zones of equal probability for the occurrence of slope movement. The evaluation of expected degree of loss due to particular hazard event - landslide risk assessment, is based on the hazard zonation. Approaches to landslide zonation and landslide hazard assessment are differing. They are found in the range from the simple landslide location mapping (illustrating the landslide susceptibility of an area), over the numerical-cartographic methods, to the complex statistical analyses of factors that cause landsliding. The necessary conditions for landslide hazard zonation are: well-defined and consistent terminology for description of landslide activity, landslide classification and inventory, as well as definitions of hazard and risk in connection with landsliding. The practical value of landslide hazard and risk maps lies in their application in urban planning and mitigation of landslide consequences. A precise definition of potential problem and quantification of landslide damage potential is required.

UVOD

Procesi klizanja ubrajaju se u geološke hazarde, jer mogu uzrokovati katastrofe djelujući na ljudе ili ljudske aktivnosti. Termin "klizanje" ovdje se koristi u širem smislu i obuhvaća bilo koju vrstu pokreta na padinama (CROZIER, 1986). Efekti katastrofa moguće je umanjiti redukcijom ranjivosti i rizika. Da bi se to učinilo, potrebno je istražiti značajke hazardnih procesa i identificirati područja izložena riziku klizanja. Na temelju takvih analiza provodi se zoniranje i izrađuju se odgovarajuće karte - karte hazarda i rizika^{*} klizanja. One su podloga urbanističkom planiranju i korištenju zemljišta uopće.

Karte hazarda klizanja će, u idealnom slučaju: prikazati distribuciju prošlih klizanja, danas aktivnih klizanja i vjerojatnost da se klizanja dogode u budućnosti; odrediti tip nestabilnosti, kao što je odron, tečenje, prevrtanje i druge; dati informaciju o vrsti

pokrenutog materijala; odrediti vjerojatnost pojave nestabilnosti odredene veličine, kao i osigurati sve druge informacije potrebne da se procijeni utjecaj različitih pokreta na padinama na ljudе ili građevine.

Karte rizika klizanja će prikazati područje i/ili populaciju koja je izložena hazardu klizanja, ranjivost tog područja i/ili populacije i očekivane posljedice na ljudе ili građevine, ako se klizanje dogodi (BRABB, 1984).

Zbog složenosti, a i zbog specifičnosti lokacija istraživanja, ne postoji opće prihvaćena metoda procjene hazarda klizanja, iako je ono predmet istraživanja tridesetak godina (BLANC & CLEVELAND, 1968; BRABB et al. 1972; KIENHOLZ, 1978; RADBRUCH-HALL et al., 1982; CARRARA, 1983). Početkom osamdesetih godina članovi Komisije za klizišta i ostale pokrete na padinama Medunarodnog društva za inženjersku geologiju (IAEG) su pod pokroviteljstvom UNESCO-a napravili pregled pristupa i metoda procjene hazarda klizanja (VARNES, 1984). Istraživanje je pokazalo vrlo veliku različitost pristupa; od jednos-

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

²Institut građevinarstva Hrvatske, Janka Rakuše 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.

* Pri uporabi u svakidašnjem govoru značenja pojmove hazard i rizik se preklapaju (KLAJČ, 1989), ali se u stručnoj literaturi terminološki razlikuju. Hazard se definira kao vjerojatnosti pojavljivanja potencijalno štetnih prirodnih pojava, a rizik je očekivani stupanj gubitka kod pojavljivanja hazarda (VARNES, 1984).

VARNES (1984)	FELL (1993)
	KLASIFIKACIJA: opis postojećih i mogućih klizanja (preuzima klasifikaciju Varnes, 1978).
	MAGNITUDA (M): volumen klizanja (m^3).
	VJEROJATNOST (P): vjerojatnost događaja nekog klizanja unutar promatrano perioda vremena.
PRIRODNI HAZARD (H): vjerojatnost pojavljivanja potencijalno štetnih fenomena, na nekom području, u određenom vremenu.	HAZARD (H=MxP): opasnost od pojavljivanja klizanja magnitudo M unutar promatrano perioda vremena.
RANJIVOST (V): stupanj gubitka nekog elementa (pojedinac, područje) izloženog riziku, ili na skupini takvih elemenata, kod pojavljivanja hazarda. Izražava se na ljestvici od 0 (nema oštećenja) do 1 (potpuni gubitak).	RANJIVOST (V): stupanj gubitka nekog elementa (pojedinac, područje) izloženog riziku, ili na skupini takvih elemenata, kod pojavljivanja hazarda. Izražava se na ljestvici od 0 (nema oštećenja) do 1 (potpuni gubitak).
SPECIFIČNI RIZIK (R_s): očekivani stupanj gubitka kod pojavljivanja hazarda. Može se izraziti kao $H \times V$.	SPECIFIČNI RIZIK (R_s): vjerojatnost (P) x ranjivost (V) promatrano elementa.
ELEMENTI IZLOŽENI RIZIKU (E): populacija, dobra, ekonomske aktivnosti, uključujući javne službe itd. izloženi riziku na promatrano području.	ELEMENTI IZLOŽENI RIZIKU (E): populacija, dobra, ekonomske aktivnosti, uključujući javne službe itd. izloženi riziku na promatrano području.
UKUPNI RIZIK (R_t): očekivani broj izgubljenih života, ozlijedenih osoba, šteta na dobrima ili nastalih uslijed prekida ekonomske aktivnosti. $R_t = (E)(R_s) = (E)(H \times V)$	UKUPNI RIZIK (R_t): očekivani broj izgubljenih života, ozlijedenih osoba, šteta na dobrima ili nastalih uslijed prekida ekonomske aktivnosti. $R_t = \Sigma(E \times R_s) = \Sigma(E \times P \times V)$

Tablica 1 Pregled definicija za procjenu hazarda i rizika klizanja.

tavnog kartografskog prikaza lokacija klizišta s prikazom osjetljivosti područja na klizanje, do numeričko-kartografskih metoda i složenih statističkih analiza faktora koji uvjetuju klizanje. Metode procjene hazarda se vrlo brzo razvijaju i postaju sve složenije. Tome doprinosi i mogućnost prikupljanja i obrade velikog broja podataka pomoću geografskog informacijskog sustava (CARRARA et al., 1990; SIDDLE et al., 1991; VAN WESTEN, 1993).

Osnovni problemi na koje se nailazi prilikom istraživanja zoniranja hazarda i rizika klizanja jesu:

- Terminologija korишtena u studijama često nije dovoljno jasno definirana, što može imati za posljedicu krivu interpretaciju rezultata istraživanja. Termini hazard i rizik koriste se s različitim značenjima, a u nekim radovima gotovo izjednačeno za definiranje vjerojatnosti klizanja i štete u događaju klizanja (FELL, 1993).

- Nepreciznim definiranjem potencijalnog problema (vjerojatnosti klizanja, šteta ili gubitka života koji se može dogoditi) nastaju poteškoće pri prikazivanju tog problema odgovornim osobama i javnosti, pri čemu se umanjuje uporabna vrijednost procjene.

- Za odredene namjene (npr. osiguravajuća društva) šteta od klizanja nije dovoljno dobro kvantificirana.

Da bi se moglo pristupiti zoniranju određenog područja potrebno je ispuniti sljedeće pretpostavke:

- izraditi katastar klizišta, obzirom da se procjena hazarda klizanja temelji i na analizama podataka i zapisima o postojećim klizanjima. Pri izradi baze podataka neophodno je pridržavati se odgovarajućih preporuka (WP/WLI, 1990; WP/WLI, 1991). Poželjno je da to

bude napravljeno u međunarodnoj suradnji, kako bi se dobila veća baza i širi raspon ulaznih parametara.

- prihvati klasifikaciju klizišta. Otežavajuća je okolnost postojanje više klasifikacija klizišta koje nisu ujednačene i ne polaze od istih principa podjele. Najprihvaćenije su Varnes-ova i Hutchinson-ova klasifikacija klizanja (CROZIER, 1986).

- odredba jasne i jednoznačne terminologije neophodna je za opis i klasifikaciju klizišta. Pri tome je važno pridržavati se terminoloških normi za opis klizišta (IAEG COMMISION ON LANDSLIDES, 1990; WP/WLI, 1993a; WP/WLI, 1993b).

- izraditi inženjerskogeološke podloge predmetnog područja.

Ovim radom nastoji se prikazati različitost pristupa i metoda zoniranju hazarda i rizika od klizanja. Svrha rada je odrediti preduvjete i polazne osnove, a pregledom postojećeg stanja u literaturi definirati minimalne uvjete za podloge i metodologiju procjene hazarda i rizika.

DEFINICIJE

U publikacijama koje obraduju prirodne događaje i njihov utjecaj na ljudi, termini hazard, rizik i ranjivost koriste se u različitim značenjima. Definicije tih pojmljiva predložene su po prvi put u okviru Odbora organizacije ujedinjenih naroda za ublažavanje posljedica prirodnih katastrofa (UNDRO) i UNESCO-a (VARNES, 1984). Te definicije korištene su u mnogim radovima bez značajnog stupnja kvantifikacije. FELL

(1993) uvodi slične definicije prilagodene kvantificiranju po svim elementima. U tablici 1 daje se pregled definicija Varnes-a i Fell-a.

Pri procjeni hazarda i rizika klizanja potrebno je odrediti frekvenciju, značajke i magnitudu postojeće ili potencijalne nestabilnosti. Obzirom da se pod pojmom klizanje podrazumijevaju sve vrste pokreta na padinama (CRUDEN, 1991) zahtijeva se klasifikacija klizišta.

Hazardi su opasnost za ljude i njihova dobra. Oni uključuju vjerojatnost pojavljivanja dogadaja, njegov utjecaj i jačinu. Stoga FELL (1993) ne smatra opravdanim označavanje hazarda kao vjerojatnosti, već uvodi zasebne pojmove "magnituda" i "vjerojatnost", a hazard predstavlja njihov produkt. To omogućuje da se vjerojatnost (P) procijeni kao individualna vrijednost, ili zbroj individualnih vrijednosti ovisnih o uzroku klizanja, npr. $P=P_R+P_S+P_H$, gdje P_R , P_S i P_H predstavljaju vjerojatnost koja se odnosi na oborine, seizmičku aktivnost i ljudsku aktivnost, što je kod klizišta vrlo značajno, jer ona gotovo nikada ne nastaju kao posljedica pojavljivanja jednog uzroka (POPESCU, 1994).

Rizik je mjera stupnja opasnosti pojedinog hazarda. Pri određivanju rizika potrebno je odrediti što je element rizika (npr. ljudski životi ili dobra) i koliki je gubitak na određenom elementu - ranjivost pojedinog elementa. Ranjivost života ljudi i ranjivost dobara uglavnom je različita, pa ih je stoga potrebno odvojeno promatrati. Primjerice, kuća može imati istu ranjivost za spora i brza klizanja, ali život ljudi u kući ima nižu ranjivost za spora klizanja, odnosno višu za brzo krečuća, jer se kod sporih klizanja ljudi mogu skloniti i na taj način izbjegći opasnost. Pri procjeni rizika važno je da elementi rizika budu jasno definirani. Ranjivost manjih elemenata može se jasnije odrediti, pa je korisno za procjenu ukupnog rizika razmatrati manje elemente (npr. pojedinačni objekat).

Rezultate procjene rizika klizanja potrebno je kvantificirati, kako bi se mogao odrediti prihvatljivi rizik klizanja i usporedivati s ostalim prirodnim i tehnološkim rizicima. U mnogim slučajevima procjene rizika za manja područja nije ekonomično kvantitativno odrediti rizik, pa se zahtijeva kvalitativni opis. Za te slučajeve FELL (1993) predlaže terminologiju prikazanu u tablici 2, gdje su kvantificiranim vrijednostima pridruženi odgovarajući termini. Terminologija specifičnog rizika zasniva se na autorovom iskustvu (FELL, 1993), prema kojemu područja procjenjena kao srednje rizična imaju specifični rizik reda veličine 0.005-0.02.

Iz prethodno navedenog je vidljivo da jedno klizište može imati širok raspon specifičnog rizika, ovisno o udaljenosti elemenata rizika od klizišta. Hazard klizišta neovisan je o elementima rizika. Izuzetak je tamo gdje se gradenjem objekata povećava vjerojatnost klizanja. Na primjer, moguće je imati situaciju visokog hazarda (velika magnituda, visoke vjerojatnosti) ali rizik može biti nizak, jer su elementi rizika udaljeni od klizišta, pa zbog toga imaju nisku ranjivost.

MAGNITUDA (M)	Volumen (m ³)	Opis	VJEROJATNOST (P)	HAZARD (H=MxP)	RANJIVOST (V)**		SPECIFIČNI RIZIK (R _s)*
					H	Opis	
7	Ekstremno velika	> 5000000	12	Ekstremno visoka	-1	Ekstremno visok	20.9
6	Vrlo velika	> 1000000, < 5000000	8	Vrlo visoka	-0.2	>30	20.5, <0.1
5	Srednje-velika	> 250000, < 1000000	5	Vrlo	-0.05	>20	20.005, <0.02
4	Srednja	> 50000, < 250000	3	Srednja	-0.01	>10	20.001, <0.005
3	Mala	> 5000, < 50000	2	Niska	-0.001	>7	20.0001, <0.001
2.5	Vrlo mala	> 500, < 5000	1	Vrlo niska	-0.0001	>2	Vrlo nizak
2	Ekstremno mala	<500					

Tablica 2 Definicije kvalitativne procjene rizika (FELL, 1993). Legenda: * - opisi hazarda i specifičnog rizika dani su za štete za urbano privatnu gradnju; ** - vrijedi za gubitak na dobitima, ali ne za gubitak života.

PREGLED PRISTUPA PROCJENI HAZARDA KLIZANJA

Procjena hazarda klizanja ima nekoliko zadataka: identifikaciju postojeće aktivnosti klizanja na lokaciji, u njenoj okolini, ili na geološki sličnim lokalitetima; procjenu osjetljivosti područja na klizanja; procjenu vjerojatnosti klizanja i određivanje magnitudo potenci-

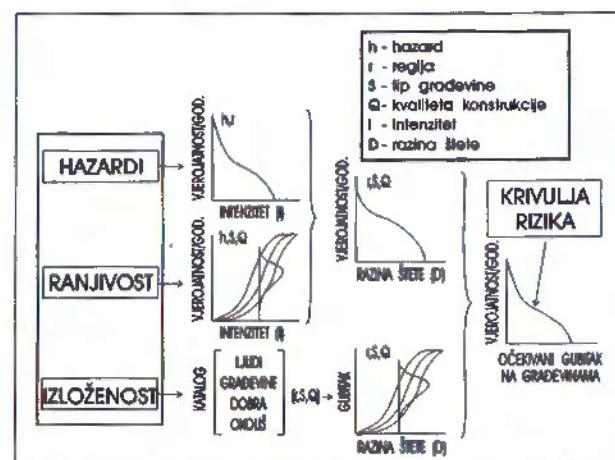
HANSEN (1984)	CARRARA (1984)
DIREKTNO KARTIRANJE	GEOMORFOLOŠKI
INDIREKTNO KARTIRANJE	EMPIRIJSKI STATISTIČKI

Tablica 3 Pristupi procjeni hazarda klizanja.

jalog hazardnog događaja. Iako se karte hazarda klizanja izrađuju u gotovo svim područjima svijeta sklonim klizanju, mnoge od tih karata ne sadrže sve potrebne elemente. Različitost pristupa procjeni hazarda klizanja definiraju HANSEN (1984) i CARRARA (1984) (tablica 3).

Svrha metoda direktnog kartiranja je određivanje distribucije klizišta i veličine područja zahvaćene tim procesima, pri čemu je težište na kartografskom prikazu lokacija i tipa klizišta. Direktno kartiranje uključuje izradu katastra klizišta, geomorfoloških i inženjersko-geoloških karata koje prikazuju klizišta i karata hazarda klizanja. Procjena hazarda je subjektivna, a temelji se uglavnom na interpretaciji morfoloških oblika povezanih s klizištima. Karakter i stupanj hazarda kartiranih jedinica mogu biti prikazani na istoj (MENEROUD & CALVINO, 1976) ili odvojenoj karti (KIENHOLZ, 1977, 1978; MAHR & MALGOT, 1978).

Indirektnim metodama kartiranja vrši se analiza hazarda i izvan područja klizišta. Da bi se to moglo učiniti, potrebno je utvrditi koji faktori i u kojoj kombinaciji uvjetuju distribuciju klizišta. Broj analiziranih faktora je različit. Neki istraživači temelje procjene samo na faktorima litologije i nagiba (BRABB et al., 1972; BLANC & CLEVELAND, 1968; NILSEN et al., 1979), a neki su, analizirajući veći broj faktora, poku-



Sl. 1 Postupak određivanja rizika klizanja (PETAK & ATTICKISON, 1982).

šali procijeniti ulogu pojedinih faktora i izraziti je numerički (STEVENSON, 1977; MENEROUD, 1978). Pri tome su koristili empirijski ili statistički pristup (tablica 4). Empirijskim pristupom nastoji se dobiti algoritam koji numerički odražava osjetljivost područja na klizanje, a statističkim analizama optimizirati razlike između područja sa i bez klizišta. Najčešće se koriste multivariatne statističke analize uzročnih faktora.

PROCJENA RIZIKA KLIZANJA

Osnova za procjenu rizika klizanja su karte hazarda klizanja i podaci o korištenju zemljišta. S obzirom da su karte hazarda klizanja još uvek u većini zemalja eksperimentalne, vrlo su rijetki primjeri procjene rizika

Autor, godina	Ciljevi projekta	Opis terena	Analiziran tip klizišta	Razmatrani parametri	Analize i statističke procedure	Prikaz rezultata
NEULAND (1976)	Razviti model i dobiti varijable kako bi se predvidjela osjetljivost padina na klizanje.	Sve lokacije u sjevernoj Njemačkoj	plitka, recentna	morfometrijski geotehnički hidrogeološki vegetacija	1. analiza glavnih smjerova 2. diskriminaciona analiza	prikaz pojedinih lokacija
CARRARA et al. (1978)	U okviru nacionalnog projekta u Italiji pokrenutog za rješavanje socijalnih i ekonomskih problema.	Razvedeni reljef; jako razvijena drenažna mreža, u podlini su jako raspucane i rasjednute	svi + fenomeni erozije	geomorfološki hidrogeološki litološki vegetacija antropogeni	empirijski	na karti; mreža 200x200m ²
CARRARA et al. (1983)	Istraživanje postojećih klizišta u južnim regijama u Italiji.	drenažna mreža, u podlini su jako raspucane i rasjednute metamorfne i magmatske stijene.	svi + fenomeni erozije	geomorfološki vegetacija litološki hidrogeološki antropogeni	diskriminaciona analiza i multipla regresija	na karti; mreža 200x200m ²
YIN & YAN (1988)	Razvijanje prostomog modela za predviđanje klizišta. Razvijena su 2 modela i međusobno uspoređena.	Riječna erozija; podina od paleozojskih metamorfnih stijena znatno je borana i rasjedana.	predisponira na temeljnog stijenom	geomorfološki litološki	1. teorija informacija; 2. multipla linearna regresija; 3. diskriminaciona analiza.	nepravilne ćelije
SIDDLE et al. (1991)	Metoda izrade algoritma koji izražava osjetljivost terena na klizanje.	Područje Rhondda Borough (South Wales)	svi tipovi klizanja	geomorfološki litološki hidrogeološki antropogeni	empirijski	karta M 1:10.000 (mreža 50x50m ²)

Tablica 4 Primjeri indirektnih metoda procjene hazarda klizanja (JENNINGS, 1991).

klizanja. Jedan od značajnijih primjera je američki projekt procjene gubitaka nastalih prirodnim hazardima, u okviru kojega je napravljena i procjena hazarda klizanja (BRABB, 1984). Postupak određivanja rizika prikazan je na slici 1.

ZAKLJUČAK

Procjenom hazarda i rizika klizanja bave se geoznanosti tridesetak godina. Značajni rezultati postignuti su na području osnovnih definicija i pregleda postojećeg stanja u svrhu ujednačavanja pristupa i poboljšanja kvalitete na nivou međunarodne zajednice. Akcija se vodi pod pokroviteljstvom UN-a, a na nacionalnim nivoima izražene su aktivnosti u okviru, od UN-a proglašenog, Međunarodnog deseljeća za reduciranje prirodnih katastrofa (1990-2000).

Bitan preduvjet za procjenu hazarda i rizika klizanja su kvalitetne geološke podloge. Pod pokroviteljstvom IAEG-a napravljene su neke i rade se nove preporučene metode za područje klizišta.

Novi kvalitativni pomak u kvantifikaciji procjene hazarda i rizika napravljen je upotrebom GIS-a u zoniiranju nestabilnosti kosina.

Procjena hazarda klizanja primjerena je nacionalnim i regionalnim mjerilima (M1:100.000-1:25.000), a hazarda i rizika klizanja krupnjim mjerilima (M1:10.000-1:5.000).

U Hrvatskoj do danas nije napravljen niti pokušaj procjene hazarda na nacionalnom i regionalnim nivoima, a na nivoima gradova i provedbenog urbanističkog planiranja napravljeni su pojedinačni pokušaji metodama direktnog kartiranja.

Potrebitno je izraditi metodologiju procjene hazarda i rizika klizanja za sve nivoje prostornog planiranja, od republičkog, preko županijskih, do provedbenih prostornih planova. Dugoročnost i visoka ulaganja u kvalitetne podloge zahtijevaju koordiniran rad svih zainteresiranih struka i upravnih službi. Kvalitetne podloge, koje uključuju izradu digitalnih geodetsih podloga, geoloških karata, seizmoloških karata, geotehničkog katastra, katastra klizišta, od nacionalnog nivoa na niže, preduvjet su za pristupanje procjeni hazarda i rizika klizanja.

LITERATURA

- BLANC, R.P. & CLEVELAND, G.B. (1968): Natural Slope Stability as Related to Geology, San Clemente Area, Orange and San Diego Counties, California.- California Division of Mines and Geology Special Report, 98, 19 p.
- BRABB, E.E. (1984): Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping.- Proc. 4th Int. Symp. on Landslides, Toronto, Canada, 1, 307-323.
- BRABB, E.E., PAMPEYAN, E.H. & BONILLA, M.G. (1972): Landslide Susceptibility in San Mateo County, California.- U.S. Geol. Surv. Misc. Field Studies Map, ME 360.
- CARRARA, A. et al. (1978): Digital terrain analysis for land evaluation.- Geol. App. e Idrogeol., 9, 237-255.
- CARRARA, A. (1983): Multivariate models for landslide hazard evaluation.- Math. Geol., 15, 3, 403-426.
- CARRARA, A. (1984): Landslide hazard mapping: aims and methods.- Coll. Mouvement de Terrain, Caen, Doc. B.R.G.M., 83 p.
- CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V. & REICHENBACH, P. (1990): Geographical information systems and multivariate models in landslide hazard evaluation.- In: CANCELLI, A. (ed.): Alps 90. Int. Conf. and Field Workshop on Landslides, Milano, 17-28.
- CROZIER, M.J. (1986): Landslides: causes, consequences & environment.- Croom Helm, London, Sydney, Dover, New Hampshire, 252 p.
- CRUDEN (1991): A simple definition of a landslide.- Bulletin IAEG, 43, 27-29.
- FELL, R. (1993): Landslide risk assessment and acceptable risk.- Can. Geotech. Journal, 31, 261-272.
- HANSEN, A. (1984): Landslide Hazard Analysis.- In: BRUNSDEN, D. & PRIOR, D.B. (eds.): Slope Instability, John Wiley and Sons Ltd., London, 523-602.
- IAEG COMMISSION ON LANDSLIDES (1990): Suggested nomenclature for landslides.- Bulletin IAEG, 41, 13-16.
- JENNINGS, P.J., SIDDLE, H.J. & BENTLEY, S.P. (1991): A comparative study of indirect methods of landslip potential assessment.- In: CHANDLER, R.J. (ed.): Slope Stability Engineering, Developments and Applications. Thomas Telford, London, 143-148.
- KIENHOLZ, H. (1977): Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10.000 von Grindelwald, mit einem Beitrag von Walter Schwarz.- Geographica Bernesia G4, Geographisches Institut der Universität Bern, 204 p.
- KIENHOLZ, H. (1978): Maps of Geomorfolgy and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland, Scale 1:10.000.- Arctic and Alpine Research, 10, 2, 169-184.
- KLAIC, B. (1989): Rječnik stranih riječi.- Nakladni zavod MH, Zagreb.
- MAHR, T. & MALGOT, J. (1978): Zoning Maps for Regional and Urban Development based on Slope Stability.- IAEG. 3rd Int. Congr., Sec. 1, 1, 124-137.
- MENEROUD, J.P. (1978): Cartographie des risques dans les Alpes-Maritimes (France).- IAEG. 3rd Int. Congr., Sec. 1, 2, 98-107.
- MENEROUD, J.P. & CALVINO, A. (1976): Zones exposées à des risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol à 1:25.000, région de la Moyenne Vesubie (Alpes-Maritimes).- Orléans, Bureau de Recherches Géologiques et minières, 11p.
- NEULAND, H. (1976): A prediction model of landslips.- Catena, 3, 215-230.
- NILSEN, T.H., WRIGHT, R.H., VLASIC, T.C. & SPANGLE, W. (1979): Relative Slope Stability and Land-use Planning in the San Francisco Bay Region, California.- U.S. Geol. Surv. Professional Paper, 944 p.
- PETAK, W.J. & ATKISSON, A.A. (1982): Natural hazard risk assessment and public policy-anticipating the unexpected.- Springer-Verlag, New York, 489 p.
- POPESCU, M.E. (1994): A suggested method for reporting landslide causes.- Bulletin IAEG, 50, 71-74.
- RADBRUCH-HALL, D.H., COLTON, R.B., DAVIES, W.E., LUCCHITA, I., SKIPP, B.A. & VARNES, D.J. (1982): Landslide overview map of the conterminous United States.- U.S. Geol. Surv. Professional Paper 1183, 25 p.
- SIDDLE, H.J., JONES, D.B. & PAYNE, H.R. (1991): Development of a methodology for landslip potential mapping in the Rhondda Valley.- In: CHANDLER, R.J. (ed.): Slope Stability Engineering; Developments and Applications., Thomas Telford, London, 137-142.

- STEVENSON, P.C. (1977): An Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslide Risk.- Bulletin IAEG, 16, 69-72.
- VAN WESTEN, C.J. (1993): Training package for Geographics information system in slope instability zonation.- UNESCO-ITC project, The Netherlands, 245 p.
- VARNES, D.J. (1984): Landslide hazard zonation: a review of principles and practice.- Natural Hazards, 3, UNESCO, Paris, 63 p.
- WP/WLI (WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY) (1990): A suggested method for reporting a landslide.- Bulletin IAEG, 41, 5-10.
- WP/WLI (1991): A suggested method for a landslide summary.- Bulletin IAEG, 43, 101-110.
- WP/WLI (1993a): A suggested method for a describing the activity of a landslide.- Bulletin IAEG, 47, 53-57.
- WP/WLI (1993b): The Multilingual Landslide Glossary.- Bitech Publishers, Richmond, Canada, 59 p.
- YIN, K.L. & YAN, T.Z. (1988): Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks.- Proc. 5th Int. Symp. on Landslides, Lausanne, Switzerland, 2, 1269-1272.

Onečišćenje izvora Šokot

Željko MIKLIN¹ & Davor BENAMATIĆ²

Ključne riječi: onečišćenje izvora, istražna bušotina, litologija, geoelektrična sonda, geoelektrična sredina

Sažetak

Izvor Šokot nalazi se u selu Podrute i predstavlja najniži dren sinklinalne kape Kožljaka. Neposredna blizina kuća, staja, gnojišta i seoskog puta ugrožavaju kvalitetu vode ovog izvora. Od istražnih radova provedeno je detaljno geološko i hidrogeološko kartiranje terena. Načinjena su tri geofizička profila i izbušene su tri istražne bušotine. Provedeno je pokušno crpljenje bušotine, a zbog nedostatka sredstava nije izveden eksplotacijski zdenac.

1. UVOD

Izvor Šokot nalazi se u selu Podrute u Hrvatskom Zagorju i predstavlja najniži dren karbonatne sinklinalne kape planine Kožljaka. Neposredna blizina kuća, staja, gnojišta i puta ugrožavaju kvalitetu podzemne vode ovog izvora. Nedovoljna količina pitke vode u cjevovodu u ljetnim mjesecima u višim predjelima ovog područja te mogućnost plasiranja vode na tržištu kao zdravu pitku vodu nagnalo je investitora da se načine detaljna istraživanja izvora i bliže okolice.

Od istražnih radova provedeno je detaljno geološko i hidrogeološko kartiranje terena. Načinjena su tri geofizička profila i izbušene su tri istražne bušotine. Provedeno je pokušno crpljenje istražne bušotine.

2.1. GEOLOŠKI RADOVI

Načinjena je pregledna geološka karta mjerila M 1:25.000 na površini od 6 km². Istraživano područje pripada južnim padinama Ivanščice. U strukturnom smislu ovo područje pripada tektonskoj jedinici "Sinklinorij Hrvatskog Zagorja", odnosno strukturnoj jedinici "Sinklinala Lobar - Zajezda - Ključ".

Najstarije naslage pripadaju krednim naslagama (K_{1,2}) vulkanogeno sedimentnog kompleksa, u čijem sastavu su pješčenjaci sive ili sivozelene boje koji su određeni kao grauvake, zatim kvarc te podređeno

Key words: Spring pollution, Exploratory borehole, Lithology, Geoelectrical probe, Geoelectrical environment

Abstract

The Šokot spring is located in the village Podrute and represents the lowest drain of the Kožljak peak syncline. Houses, barns, dung-yards and the country road located in the immediate vicinity, endanger the quality of spring water. Detailed geological and hydrogeological mapping of the terrain has been performed. Three geophysical profiles have been formed and three exploratory boreholes drilled. Test pumping of boreholes was carried out. Due to the lack of funds, exploitation well hasn't been constructed.

kvarcit i čert, dok su tufovi u tragovima. Stijene su u rasjednom kontaktu sa mladim naslagama.

Bazični eruptivi (BB) na sjeveroistočnom dijelu istraživanog terena, u rasjednom su kontaktu sa vulkanogeno sedimentnim naslagama krede. Ranije izvršenim petrografskim analizama determinirani su dijabazi do spilitizirani dijabazi i spilići. Uglavnom su sivozelene boje, jako raspucani, te ispresjecani sa brojnim kalcitnim žilicama.

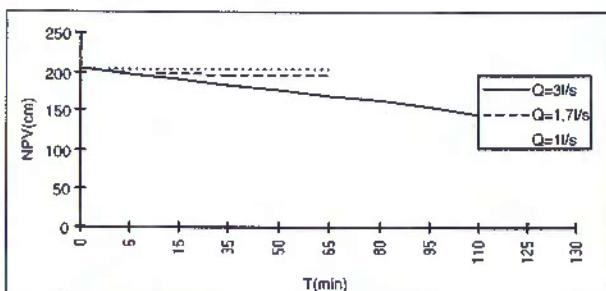
Donji miocen (M₁) rasprostire se na krajnjem sjeveru karte. Litološki su to uglavnom pijesci žute boje, srednje do slabo sortirani sa kvarenim valuticama veličine do 2 cm, uslojeni. Padaju pod kutem od 20° do 14°. Naslage pijeska čine strme usjeke i do 2 m. Mlade naslage badena trasgresivne su na donji miocen, a sa kredom su u rasjednom kontaktu.

Badenske (M₂) naslage čine središnji dio karte i uglavnom su to biogeni vapnenci, konglomerati i breče. Vapnenci su gromadasti do dobro uslojeni, sivobijele do žučkastosive boje. Kod svih varijeteta dominiraju akumulirani ili slabo transportirani biogeni sastojci, ostaci alga, foraminifera i školjkaša. Sjeverni kontakt sa starijim članovima uglavnom je transgresivan, južni kontakt je kontinuiran, bočno dolazi do rasjednih kontaktata i pomicanja u smjeru rasjedanja.

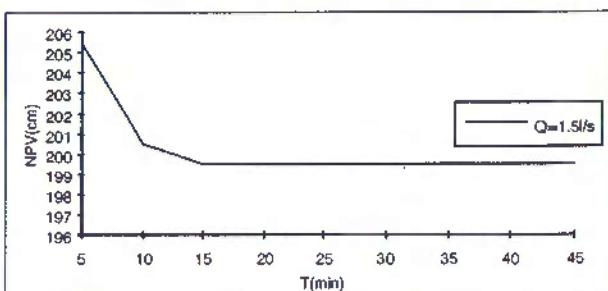
Donji panon (M_{1,2}) prati naslage badena u južnom dijelu i u normalnom je kontaktu. Zastupljeni su laproviti vapnenci i vapnenački laporii, većinom pločasti i

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

²"MOHO" d.o.o., Sutlanska b.b., 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Pokusno crpljenje izvora Šokot u kišnom periodu.



Sl. 2 Pokusno crpljenje izvora Šokot na dan 1. rujna 1992.

nagnuti pod kutem od oko 25° ; boja je uglavnom siva do žučkasta.

Gornji panon (${}^2M^{12}{}_3$) zastupljen je uglavnom laporima i vapneničkim laporima. U normalnom je kontaktu sa donjim panonom i donjim pontom. Lapor su žučkaste do sivosmedaste boje, nagnuti pod kutem od 20° do 22° .

Donjopontske (Pl^1) naslage slijede kontinuirano na gornjopanonskim naslagama. Uglavnom su to "abichi" lapor sivoplavičaste boje, pjeskuljavi dijelom i dobro uslojeni. Uglavnom zauzimaju južni dio istraživanog terena.

Aluvij (a) rijeke Lonje i manjih potoka uglavnom čini znatne površine uz same vodotoke. Sastav tih sedimenata je heterogen, uglavnom je to sitnozrni sediment: siltni pjesak, pjeskoviti silt, glinoviti silt te sitnozrni šljunak. Često se nalaze valutice promjera 2-5 cm. Boja je od smeđe do smedesive.

2.2. HIDROGEOLOŠKI I GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI

HIDROGEOLOŠKI ISTRAŽNI RADOVI

Hidrogeološka kategorizacija izvršena je na temelju hidrogeološkog kartiranja na topografskim podlogama mjerila M 1:5000. Izvršena kategorizacija odražava hidrogeološka svojstva i odnose lithostratigrafskih jedinica. U skladu s takvom koncepcijom istraživano područje podijelili smo u pet kategorija:

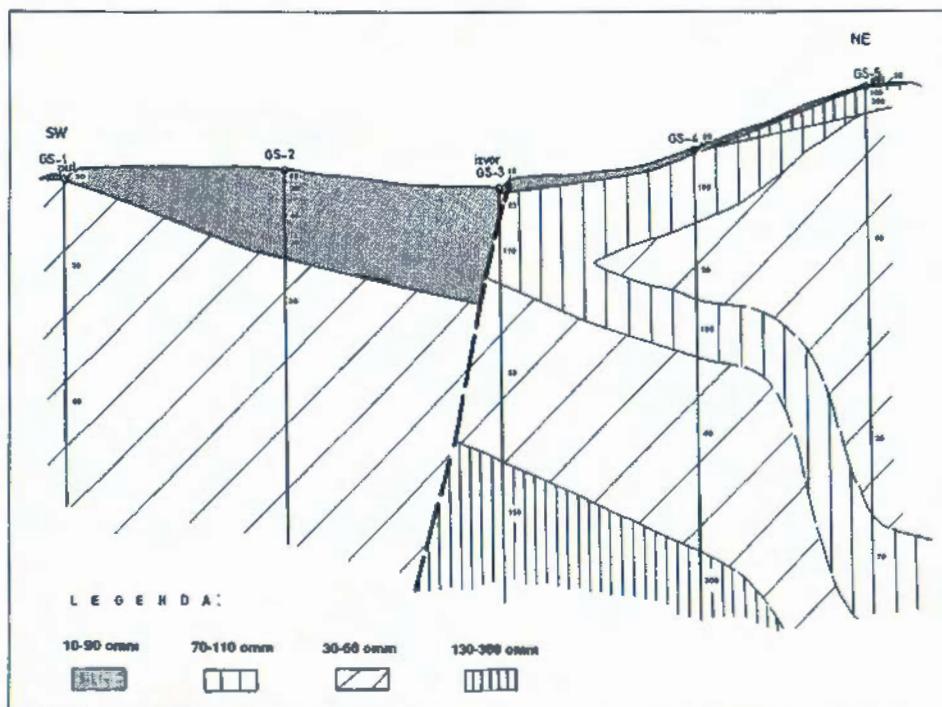
- **litostratigrafska jedinica bez vodonosnika** - pjesci, pješčenjaci, konglomerati, lapori, gline, šeilovi, vaspenci i rožnjaci, kredne i miocenske starosti;
- **litostratigrafska jedinica dobre do vrlo dobre provodljivosti** - uglavnom su to biogeni vaspenci, vapnenički konglomerati i breče tortonske starosti;
- **litostratigrafske jedinice slabe provodljivosti** - uglavnom lapori, vapnenički lapori, laporoviti vaspenci i pješčenjaci, donjo i gornjo panonske starosti;
- **litostratigrafska jedinica slabe do srednje slabe provodljivosti** - pjesci, podredeno pješčenjaci i lapori uglavnom donjo pontske starosti;
- **litostratigrafska jedinica dobre do srednje dobre provodljivosti** - aluvij rijeke Lonje i manjih potoka, kvartarne starosti;

Hidrogeološku jedinicu bez vodonosnika izgraduju pjesci, pješčenjaci, konglomerati, lapori, gline, šeilovi i vaspenci. Ovo je sredina u kojoj uglavnom nema uvjeta za akumuliranja i cirkuliranja značajnijih količina podzemne vode. Oborinske vode koje padnu na ovo područje uglavnom površinski otječu prema riječi Lonji i ostalim potocima. Izvori koji se pojavljuju u ovoj zoni javljaju se na kontaktu sa karbonatnim naslagama male su izdašnosti i ne prelaze 0,3 l/s. Ovi izvori koriste se samo za lokalne potrebe i ne mogu se koristiti za vodoopskrbu.

Litostratigrafska jedinica dobre do vrlo dobre provodljivosti: to su karbonatne naslage, biogeni vaspenci, vapnenički konglomerati i breče badena. Ove naslage su okršene bez znatnijeg glinovitog pokrivača. Na višim djelovima ovog prostora nema izvora. Badenske naslage čine sinklinalnu "kapu" ispod koje dolaze nepropusni do polupropusni laporoviti pješčenjaci miocena. Oborinska voda koja padne na ovo područje prazni se duž rasjednog kontakta, i to sa dva izvora: izvor koji je hipsometrijski viši male je izdašnosti, do 0,1 l/s, dok izvor Šokot, koji je hipsometrijski niži, ima kapacitet i do 2,2 l/s. Izvor Šokot mjerili smo u dva navrata. Prvi put smo crpili u kišnom periodu sa kapacitetom od 2,2 l/s (sl. 1).

Nakon toga slijedio je duži sušni period (1. 9. 1992). Crpljenjem u sušnom periodu ustaljenje nivoa dobili smo kod crpljenja sa $Q=1,5$ l/s. (sl. 2). Izvor je primativno kaptiran a neposredna blizina kuća, staja, gnojista i kolskog puta predstavlja potencijalne onečišćivače podzemne vode.

Fizikalno-kemijske karakteristike vode sa izvora Šokot zadovoljavaju u svim svojim segmentima, tako da možemo govoriti o kvalitetnim vodama kalcijsko karbonatnog tipa. Bakteriološka analiza pokazuje prekoračenje MDK koliformnih bakterija, te se može reći da sa mikrobiološkog gledišta kvaliteta vode ne zadovoljava. Nakon probnih crpljenja izvršeni su geofizički istražni radovi na temelju kojih je u njegovoj blizini izbušena istražna bušotina radi povećanja kapaciteta. Iz zapažanja okolnog stanovništva izvor nikada ne presuši (t.j. malo varira u izdašnosti), te se nikada ne zamčuje; ove tvrdnje nismo imali prilike potvrditi jer izvor nismo pratili tijekom cijele hidrološke godine. Utvrdili smo da izvor ne reagira brzo na velike oborine, te nam to može govoriti o relativno slaboj raspucalosti stijene i njezinoj sposobnosti da



Sl. 3 Geoelektrični profil I.

otpusta nove količine vode, tako da tijekom godine imademo relativno ujednačeno dreniranje vodonosnika.

Litostratigrafsku jedinicu slabe provodljivosti uglavnom zastupaju lapori, vapnenjački lapori, laporoviti vapnenci i laporoviti pješčenjaci. U ovoj jedinici nema uvjeta za akumuliranje podzemne vode (nije kolektor), u određenim strukturnim odnosima predstavlja hidrogeološku barijeru.

Površinski pokrivač čine prašinaste gline debljine do 1,5 m. Kada voda dode do nepropusnih naslaga laporanstva stvaraju se predispozicije za otvaranje klizišta. Kopani bunari na tom području uglavnom su suhi, neki i zarušeni ili imaju veoma malo vode.

Litostratigrafska jedinica slabe do srednje slabe provodljivosti sastavljena od pijesaka, podredeno laporovitog pješčenjaka i laporanstva, međuzrnske je poroznosti, nema uvjeta za značajniju akumulaciju podzemne vode. Izgradije mali dio istraživanog područja.

Litostratigrafska jedinica dobre do srednje dobre provodljivosti zastupljena je aluvionom rijeke Lonje i manjih potoka. Od sedimenata prevladavaju silti pijesci, pjeskoviti siltovi, glinoviti siltovi te sitnozrni šljunci. Ovi potočni nanosi ne predstavljaju značajan izvor podzemne vode jer su ograničenog prostora debljine i propusnosti.

GEOFIZIČKI ISTRAŽNI RADOVI

Prema dogovoru sa geologom, a na bazi geološke karte M1:25.000 izveden je geoelektrični profil preko izvora Šokot, u zaseoku Donji Jelinčak (sl. 3). Na bazi interpretacije krivulja geoelektričnog sondiranja izdvojene su na profilu četiri različite geoelektrične sredine i to:

- prva geoelektrična sredina (površinski kompleks) s

vrijednostima spec. otpora od 10 do 90 Ωm . Ova sredina uglavnom bi odgovarala glinama i produktima trošenja zastupljenih na tom terenu: laporima, litotamnijskim vapnencima, i dr.

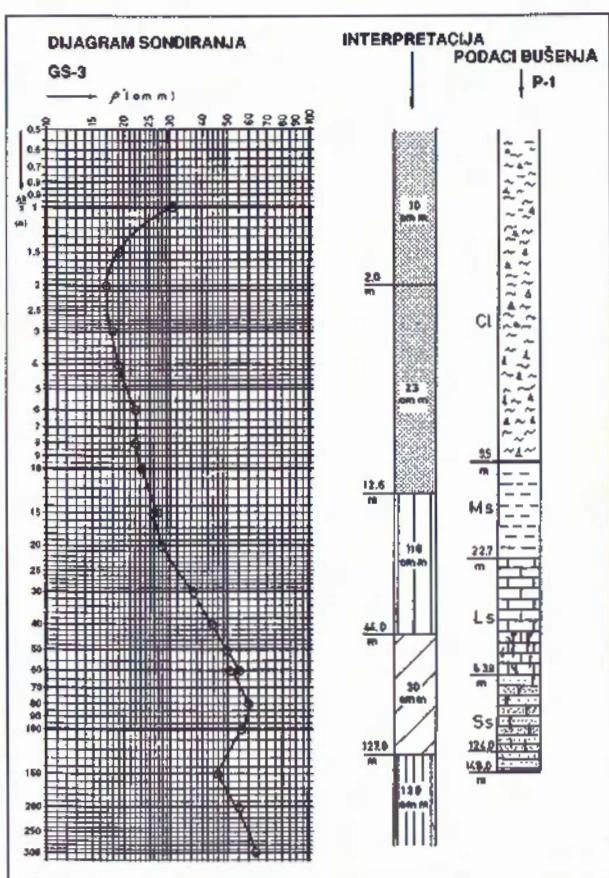
- druga i treća sredina se na NE dijelu neposredno nalaze ispod prve, dok je na NW dijelu to četvrta sredina. Na sondi GS-3 druga je sredina presječena rasjednom zonom. Ova sredina sa otporima od 70 do 110 Ωm vjerojatno odgovara u litološkom pogledu vapnenim laporima,

- treća sredina sa specifičnim otporima od 130 do 380 Ωm je najinteresantnija za vodu, a u litološkom pogledu odgovara litotamnijskom vapnencu, kako smo mislili prije bušenja bušotine P-1, jer se ista pojavljivala i u kapi sinklinale na GS-5, a bila je utvrđena geološkim kartiranjem,

- četvrta sredina sa otporima od 30 do 60 Ωm je najrasprostranjenija, a litološki bi odgovarala glinovitim laporima ili samo laporima, te predstavlja barijeru za vodu izvora.

Na bazi ovih radova predložena je izvedba strukturne istražne bušotine (P-1 pilot bušotine) u neposrednoj blizini izvora Šokot do dubine od 148 m.

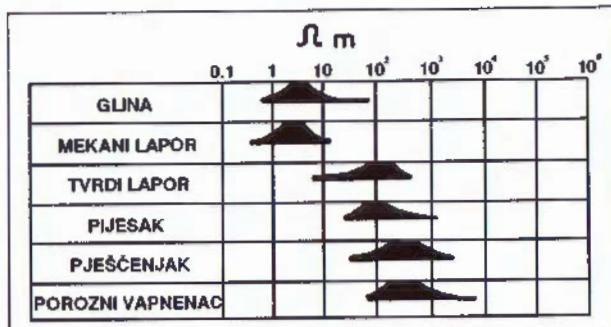
Korelirani su rezultati geološke determinacije strukturne bušotine P-1 i geoelektrične sonde GS-3 (sl. 4). Iz ove slike vidi se dobra podudarnost granica izdvojenih geoelektrikom i bušenjem, dočim četvrta sredina, koja je prema površinskoj geologiji i GS-5 determinirana kao porozni litavci, to nije bila. Nabušeni su porozni pješčenjaci sa vrlo malo vode. Iz slike 5 je vidljivo da pješčenjaci i porozni vapnenci imaju veoma slične vrijednosti specifičnih otpora, te je moguća zamjena (prema vrijednostima geoelektričnog sondiranja).



Sl. 4 Dijagram sondiranja GS-3, interpretacija i podaci bušenja bušotine P-1.

HIDROGEOLOŠKO TESTIRANJE BUŠOTINE P-1

Istražna bušotina je zacijevljena do 58 m, tako da je dobar dio karbonatnih naslaga ostao zacijevljen (dubina vapnenaca do 65 m). Interval od 58 do 148 m ostao je nezacijevljen, te smo tako testirali taj dio bušotine. Bušotinu smo crpili sa rotacionom pumpom maksimalnog kapaciteta do 3 l/s. Veoma brzo smo dosegli maksimalnu mogućnost pumpe, koja može crpiti do -8 m. Pratili smo "povrat" u bušotinu te smo došli do rezultata da bušotina u toj sekvenci daje oko 0,02 l/s. Nakon pokušnog crpljenja krenuli smo sa osvajanjem tog dijela bušotine airliftiranjem. Airliftiranje je vršeno kompresorom čiji je kapacitet $Q=58$ l/s, a maksimalni pritisak do 12 bara. Radili smo sa radnim pritiskom od 9 bara. U bušotinu je spušteno 36 m cijevi $\Phi 2"$ na čijem je početku montirana cijev u obliku slova T, a na kraju cijevi paker $\Phi 120$ mm. Sonda sa mlaznicom ugurana je kroz 2"-nu cijev, te spuštana u kampadama od po 1 m; čekali smo dok ne poteče čista voda, te na taj način očistili vodonosnik od pijeska i dospjeli do dubine od 90 m. Dublje se nije moglo proći jer se bušotina vjerojatno zarušila. Izašlo je relativno malo pijeska, više je bilo sitnih čestica gline i silta. Pristupili smo testiranju karbonatnog dijela bušotine tako da smo izvadili zaštitne kolone do dubine od 22 m. Paker sa cijevi $\Phi 2"$ spušten je do dubine od 18 m, a sonda sa mlaznicom spuštana je od 22 m do 65 m u intervalima od po 1 m.



Sl. 5 Aproksimativna podjela otpornosti nekih tipova stijena. Skala otpornosti (horizontalna) je logaritamska (preuzeto od Griffiths & King, 1965).

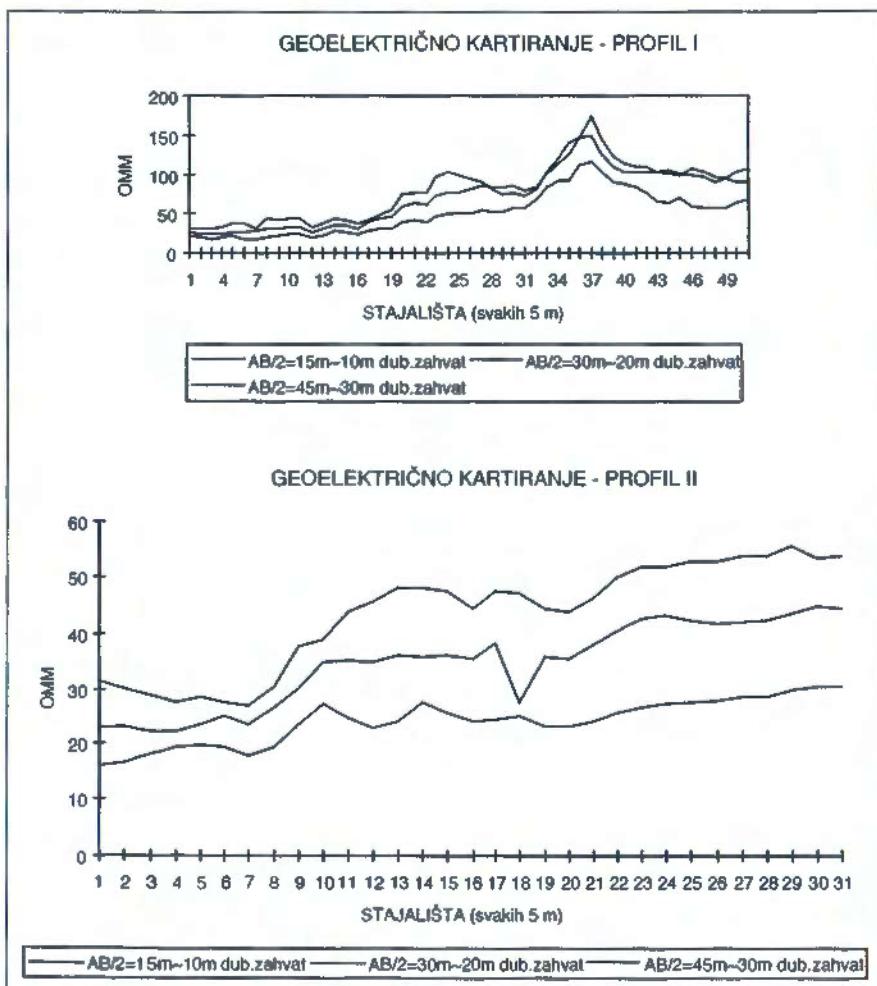
Zrak se nabija u bušotinu tako dugo dok se voda koja izlazi na površinu sasvim ne izbistri. Kako bi povećali pritisak u određenom dijelu bušotine na izlaznoj cijevi $\Phi 2"$ montirana je redukcija od 1/2". Najviše vode izlazio je kada je mlaznica bila na dubini od 45-50 m, što se dovodi u vezu sa RQD-om. Kada je završeno airliftiranje krenuli smo u pokušno crpljenje. Maksimalni dostignuti kapacitet sa ustaljenjem postignut je sa kapacitetom 0,2 l/s. Treća faza našeg testiranja bušotine izvedena je tako da su kolone izvučene do dubine od 8 m, tako da je ostao slobodan laporovito vapnenački dio i kontakt sa glinom. Paker je spušten na dubinu od 6 m. Postupak osvajanja ponovljen je kao i u prethodnim slučajevima. Nakon tog osvajanja izvršili smo pokušno crpljenje bušotine. Crpili smo sa tri kapaciteta i to sa $Q_1=0,55$ l/s, $Q_2=0,85$ l/s i $Q_3=1,1$ l/s. Ustaljenje nivoa dobili smo u sva tri kapaciteta.

DODATNI GEOFIZIČKI RADOVI

Dobivena korelacija i rezultati testiranja bušotine ukazali su na to da pridobivanje neonečićene vode treba tražiti u zaledu izvora (uzvodno). U tu svrhu načinjena je nadopuna programa geofizike i to: dva profila geoelektričnog kartiranja sa tri dubinska zahvata (na dubini približno 10, 20, 30 m od površine terena i duljine profila 200 i 250 m). Svrha radova bila je da se utvrde resedne zone (preferirani vodni tok). Dobivene vrijednosti prividnih specifičnih električnih otpora naneseni su na dijagrame geoelektričnog kartiranja (sl. 6). Dijagrami su ukazivali na dva vrlo izražena minimuma i to:

- prvi veći minimum na prijelazu između nižih i viših vrijednosti prividnog specifičnog električnog otpora na profilu II je na stajalištima od 15 do 20, a slični minimumi na profilu I su na stajalištima od 6 do 11 i 15 do 21, te

- drugi minimum unutar viših vrijednosti prividnog specifičnog električnog otpora (približno $100 \Omega\text{m}$) na profilu II je između stajališta 27 i 33, a na profilu I od stajališta 6 do 11 i 15 do 21. Na mjestima minimuma izmjerene su tri geoelektrične sonde koje su odredile dubinu novih piezometarskih bušotina i njihov položaj.



Sl. 6 Geoelektrično kartiranje - profili I i II.

ZAKLJUČCI

Načinjena je pregledna geološka karta mjerila 1:25.000 na površini od 5 km². Područje Podruta u strukturnom smislu pripada tektonskoj jedinici "Sinklinorij Hrvatskog Zagorja" strukturnoj jedinici "Sinklinala Lober-Zajezda-Ključ". Hidrogeološkim snimanjem terena načinjena je hidrogeološka karta mjerila M 1:5000. Područje je podijeljeno u pet hidrogeoloških cjelina:

- litostatigradska jedinica bez vodonosnika,
- litostatigradska jedinica dobre do vrlo dobre provodljivosti,
- litostatigradska jedinica slabe provodljivosti,
- litostatigradska jedinica slabe do srednje slabe provodljivosti i
- litostatigradska jedinica dobre do srednje dobre provodljivosti, uglavnom međuzrnske poroznosti.

Litostatigradska jedinica bez vodonosnika je sredina u kojoj nema uvjeta za akumuliranje i cirkuliranje značajnijih količina podzemne vode.

Litostatigradska jedinica dobre do vrlo dobre provodljivosti uglavnom su kaverno-z-pukotinske poroznosti. Karbonatne naslage, vapnenci, vapnenacki konglomerati i breče čine ovu litostatigradsku jedinicu.

Izvor Šokot drenira najveći dio ove litostratigradske jedinice sa kapacitetom od $Q=2,2$ l/s. Izvor je sa veoma malim oscilacijama kapaciteta tijekom godine, ne zamućuje se. Pretpostavljeno je da karbonatne naslage sjeverno od tog izvora prihranjuju ovaj izvor, tako je i locirana istražno-eksploracijska bušotina.

Litostratigradska jedinica slabe provodljivosti nema uvjeta za akumuliranje podzemne vode.

Litostratigradska jedinica slabe do srednje slabe provodljivosti meduzrnske je poroznosti i zbog svog geološkog položaja u prostoru nema značajnijih uvjeta za akumulaciju podzemne vode.

Aluvijon rijeke i potoka dobre je do srednje dobre provodljivosti, ima ograničeno prostiranje, debjinu i propusnost, tako da ne predstavlja značajniju sredinu za akumuliranje podzemne vode.

Uspoređujući geoelektrične podatke sa nabušenim podacima iz bušotine P-1 proizlazi da treća geoelektrična sredina sa specifičnim otporom od 130-380 Ωm predstavlja tvrde pješčenjake bez pijesaka i raspucalosti RQD od 10,3-88,5%, a ne litotamnijske vapnence. Crpljenjem bušotine P-1 i airliftiranjem došli smo do rezultata da u dijelu od 65-90 m bušotina daje samo 0,02 l/s. U dijelu bušotine od 22,5-65 m najperspektivniji je dio od 45-50 m što se poklapa i sa najvećom raspucalosti stijenske mase. Maksimalni dosegnuti

kapacitet crpljenja postignut je sa kapacitetom od 0,2 l/s. Crpljenjem kompletne bušotine P-1 postignut je kapacitet od 1,1 l/s, iz čega proizlazi da oko 0,9 l/s vode dolazi u bušotinu u njenom plićem dijelu. Izvor Šokot predstavlja najniži dren sinklinalne karbonatne "kape" Kožljak. Komunikacija akvifer Kožljaka - izvor Šokot odvija se po rasjednoj zoni. Takovo tumačenje prihranjuvanja izvora Šokot dokazujemo i bušotinom P-1 koja je locirana nizvodno od izvora, tako da prilikom bušenja nismo imali zamućivanje izvora, a prilikom crpljenja bušotine nije se mijenjao kapacitet izvora. Uzvodno od izvora na položaju geoelektrične sonde GS-7 izbušena je piezometarska bušotina koja je nakon probnog crpljenja dala približno 2 l/s, a na položaju geoelektrične sonde GS-8 piezometarska bušotina koja je dala približno 1 l/s vode. Izvedba eksploracijskog zdenca predviđa se kod piezometarske bušotine u blizini geoelektrične sonde GS-7. Izmicanjem zdenca na položaj GS-7 (iznad izvora) dobili smo i bakteriološki ispravnu vodu, a ostali fizikalno kemijski parametri su u granicama MDK.

PREGLED VAŽNIJE KORIŠTENE LITERATURE

- BALEN, I. (1981): Istraživanje kvarcnih pijesaka na području Slavonije i Moslavine geoelektričnom metodom.- Zbornik radova 1951-1981, Geofizika, Zagreb.
- BENAMATIĆ, D. (1992): Podrute, Jelinščak donji, geoelektrično sondiranje.- BE-028 Fond "MOHO", Zagreb.
- CAPAR, A., MUJAGIĆ, S., ROMANDIĆ, S. & URLI, M. (1951): Doprinos geofizičkih metoda pri rješavanju problema kapaciteta "Kalničke mineralne vode".- Zbornik radova 1951-1981, Geofizika, Zagreb.
- CHILTON, J., FOSTER, P. & STEPHEN, S.D. (1955): Hidrogeological characterisation and water-supply potential of basement aquifers in Tropical Africa.- Hydrogeological Journal, 3/1.
- KOVAČEVIĆ, S. (1981): Neki aspekti primjene geoelektrične metode u istraživanju ugljena.- Zbornik radova 1951-1981, Geofizika, Zagreb.
- KOVAČEVIĆ, S. (1981): Utjecaj dubine nivoa podzemne vode u šljunčanoj pješčanoj sredini na rezultate geoelektričnog sondiranja.- Zbornik radova 1951-1981, Geofizika, Zagreb.
- MIKLIN, Ž. (1993): Dosadašnji istražni radovi za izvođeće Podrute.- Inst.geol.istraž., Zagreb.
- ŠIMUNIĆ An., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. & ŠIMUNIĆ, Al. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ, 1:100000, Tumač za list Varaždin, L33-69.- Inst.geol. istraž. Zagreb (1971-1978), Sav.geol.zavod, Beograd, 75p.
- VRKLJAN, I., NOVOSEL, T., REHAK-KOLAET, N. (1981): Preliminarna geotehnička istraživanja na lokaciji tvornice cementa u Podrutama.- Građevinski Institut, RN 2215-1-25416/81, Zagreb.

Biostratigrafska korelacija neogenskih sedimenata Jadrana u bušotinama Koraljka-1, Ksenija-1 i Ksenija-3

Danica MILETIĆ¹ & Zlatan BAJRAKTAREVIĆ²

Ključne riječi: miocen i pliocen, biostratigrafija, bušotine podmorja Jadrana, Hrvatska

Sažetak

Biostratigrafskim istraživanjima bušotina Kraljka-1, Ksenija-1 i Ksenija-3 utvrđeno je da su neogenske naslage taložene različito na svakoj od tri istraživane bušotine. Sedimenti su nejednake debljine, različitih litoloških karakteristika, različit je njihov odnos prema podini, te odnos granice miocen-pliocen. Najkompletnije i najdeblje naslage neogena razvijene su u bušotini Kraljka-1. Bušotina Kraljka-1 smještena je na rubu Padskog bazena, a bušotine Ksenija-1 i Ksenija-3 na području izdignutog Jadranskog praga. U bušotini Kraljka-1 utvrđen je slijed provodnih foraminifera kroz cijeli neogen, te vrlo siromašni i rijetki nalazi vapneničkih, a češće kremičnih nanofosila u pliocenu. U mesinu je registrirana kriza saliniteta i taloženje gipsa. U bušotinama Ksenija-1 i Ksenija-3 utvrđeno je da su donjomiocenske naslage taložene transgresivno na sedimente srednjeg eocena. Naslage miocena su u karbonatnom razvoju, dok su na lokalitetu bušotine Kraljka-1 razvijeni laporji i pješčenjaci.

UVOD

U ovom radu prikazani su rezultati mikropaleontoloških istraživanja neogenskih naslaga iz dubokih istražnih bušotina Kraljka-1, Ksenija-1 i Ksenija-3. Tijekom bušenja uzimani su uzorci svakih pet metara. Metodom razmulfivanja (šlemanja) izdvojena je bogata mikroforaminferska fauna, na temelju koje su provedene mikropaleontološke analize naslaga neogena. Analize uzoraka na nanofosile načinjene su iz isplake bušotine Ksenija-3 i Kraljka-1.

BIOSTRATIGRAFSKA INTERPRETACIJA

Biostratigrafskim analizama utvrđena je raznolikost neogenskih naslaga u sva tri područja istraživanih bušotina. Sedimenti su nejednake debljine, različitih litoloških odlika i asocijacija foraminifera. Različit je odnos neogenskih naslaga prema podini te odnos miocenskih i pliocenskih sedimenata (sl. 1).

Najdeblje i najkompletnije naslage neogena razvijene su na lokalitetu duboke istražne bušotine Kraljka-1, a taložene su kontinuirano na gornjooligocenske klastične sedimente, dok je biostratigrafskim analizama uzoraka iz bušotine Ksenija-1 i Ksenija-3 (koje se nalaze na uzdignutijem topografskom položaju) utvrđeno da su donjomiocenske naslage taložene transgresivno na vapnence srednjeg eocena.

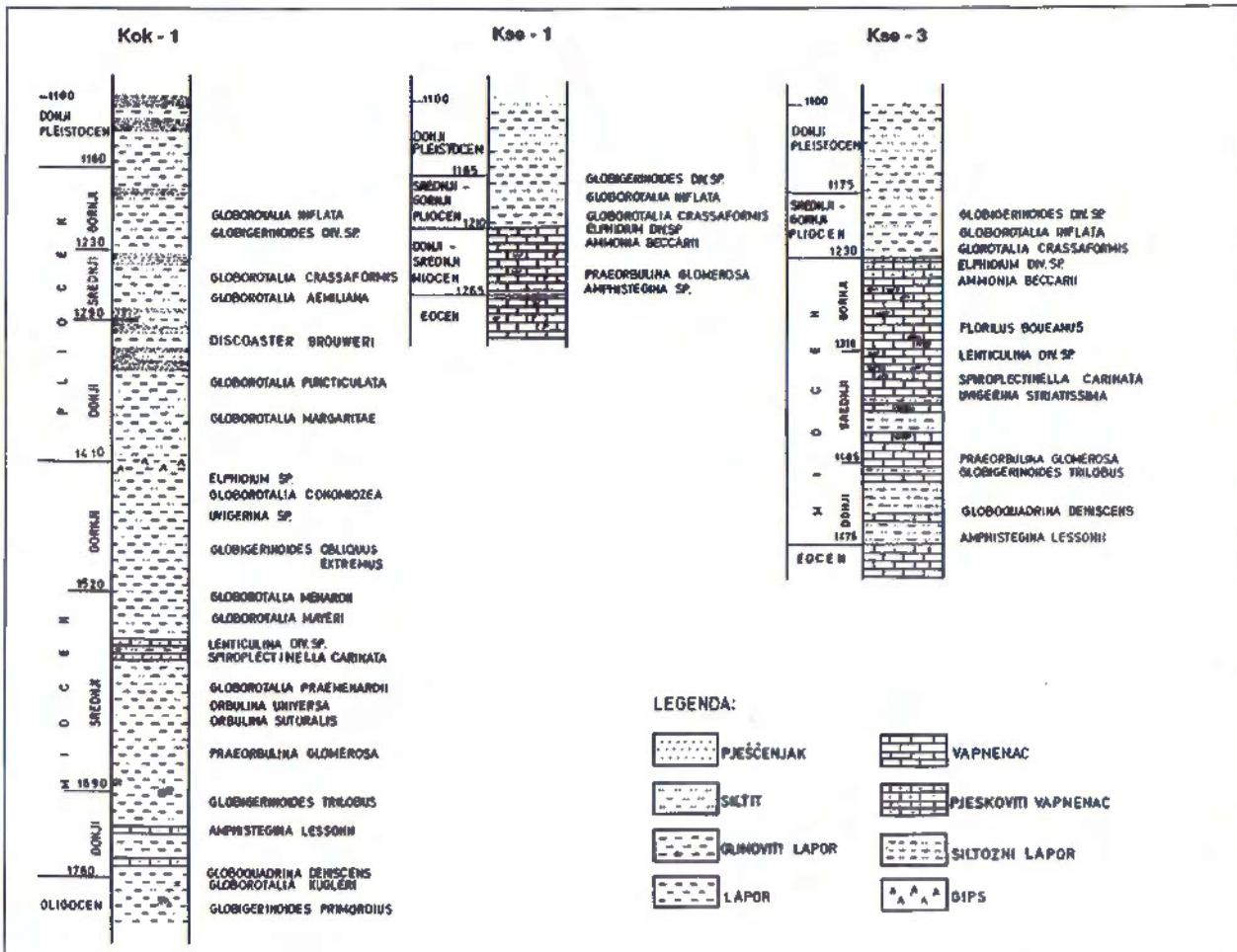
Usporedbom istovremenih foraminiferskih zajednica iz bušotine Kraljka-1 i Ksenija-3, vidljivo je da je tijekom donjeg miocena postotak planktonskih foraminifera veći (osobito roda *Globoquadrina*), kao i zastupljenost bentičkih foraminifera rodova *Gyroidina* i *Anomalinoides* u odnosu na pliće bentičke oblike. Foraminferska zajednica iz bušotine Ksenija-3 sadrži više bentičkih rodova kao npr. *Lenticulina*, *Spiroplectinella* i *Amphistegina*. To su sve predstavnici stabilnih marinskih uvjeta, pa se može zaključiti da je područje bušotine Ksenija-3 bilo relativno zaštićeno i tek s povremenim utjecajem otvorenog mora, na što ukazuju i planktonske foraminifere. Na temelju sedimentoloških analiza vidljivo je da su na lokalitetu bušotine Kraljka-1 taložene klastične naslage (predstavljene laporima koji su mjestimično siltozni i pjeskovito siltozni), a na lokalitetu bušotine Ksenija-3 vapnenci. Iz toga se može zaključiti, da su sedimenti područje bušotine Kraljka-1 odlagani dublje nego sedimenti s područja bušotine Ksenija-3 i Ksenija-1. U bušotini Ksenija-1 vapnenci donjeg miocena razvijeni su u manjoj debljini tako da nije moguće rašlaniti te plitkovodne naslage od sličnih im sedimenata srednjeg miocena.

Proslojci pjeskovitih vapnenaca iz bušotine Kraljka-1, koji sadrže kućice plitkomorskih bentičkih foraminifera (npr. *Amphistegina*) te krhotine školjkaša, bodljikaša i briozoa, ukazuju na povremene eustatičke promjene nivoa mora tijekom donjeg miocena, što se može korelirati s globalnim promjenama razine mora zbog stvaranja ledenog pokrova na Antartiku (BUZAS & SEN GUPTA, 1982).

Sastav planktonske foraminferske zajednice upućuje na medusobnu povezanost svjetskih mora tog vremena, a kako su to uglavnom predstavnici toplih mora

¹INA-Industrija naftne, Naftaplin Zagreb, Sektor za istraživanje i razvoj, Služba laboratorijskih istraživanja, Lovinčićeva 1, 10000 Zagreb.

²Geološko-paleontološki zavod, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb.



Sl. 1 Litološki stupovi neogenskih naslaga bušotina Koraljka-1 (Kok-1), Ksenija-1 (Kse-1) i Ksenija-3 (Kse-3).

može se zaključiti da je i u ovim Mediteranskim prostorima klima bila isto tako topla-supertropska (KENNETT & SRIVASAN, 1983).

U analiziranim uzorcima u sve tri bušotine mikroforaminferska zajednica srednjeg miocena postaje sve sličnija. Uočljivo je da prevladavaju foraminifere roda *Lenticulina* i *Spiroplectinella*, a od pratećih fosilnih ostataka drugih organizama riječke su bodlje ježinaca, ostaci briozoa i ostrakoda. To dokazuje da i područje bušotine Koraljka-1 postupno opličava, ali je još uvijek relativno dublje more u odnosu na područje bušotine Ksenija-1 i Ksenija-3. Znatna prisutnost planktonskih foraminifera roda *Praeborbolina* ukazuje da je najviši novo mora bio u srednjem miocenu tijekom langija, obzirom da u seravalu više nema tolikog mnoštva planktonskih foraminifera. Kako je područje bušotine Ksenija-1 bilo na višem topografskom položaju, more pred kraj langija sve je više opličavalo, na što ukazuju i nalazi litoralnih foraminifera roda *Elphidium* i *Ammonia*, pa na ovom lokalitetu nakon povlačenja mora nema više marinske sedimentacije sve do srednjeg pliocena.

Proučavanjem foraminferske zajednice gornjeg miocena vidljivo je da se broj vrsta i jedinki planktonskih foraminifera znatno smanjio. U uzorcima iz bušotine Koraljka-1 i Ksenija-3 prevladavaju plitkomske bentičke vrste, a po brojnosti primjeraka osobito dominiraju neke vrste roda *Elphidium* koji nisu osjetljivi na promjenu saliniteta, a živjeli su u plitkom moru bogate vegetacije. Osim toga vrlo su značajni nalazi roda *Ammonia* s pratećom zajednicom drugih plitkovodnih organizama, a iz istih razloga i analize uzorka na nanofosile su negativne.

Na lokalitetu bušotine Koraljka-1 mijenjaju se uvjeti sedimentacije, pa se tijekom mesina u lagunarnoj sredini taloži gips u debljini od otprilike 10 m. Mesinska kriza saliniteta i taloženje evaporita registrirano je u čitavom Mediteranskom području nakon zatvaranja Gibraltarskog prolaza, čime je čitavo to područje bilo izolirano (HSÜ, 1983, IACCARINO, 1985, BUZAS & SEN GUPTA, 1982, BOLLI et al., 1985).

Tektonika je imala veliki odraz na distribuciju evaporita u mesinu zbog aktivnih blok-pokreta. Centralni Mediteranski blokovi spuštali su se brže nego cirkum-

mediteranski dijelovi u kojima su ostala plitka mora okružena kopnom, a centralni bazen je egzistirao kroz čitavo to vrijeme (VAN DER ZWAAN, 1982).

Za vrijeme miocena klima se postupno mijenja, te postaje hladnija i suha.

Kako se početkom donjeg pliocena ponovno uspostavlja veza s Atlantikom preko Gibraltarskog prolaza, zbog brze transgresije populacija foraminifera donešenih iz Atlantskog oceana u ovim se prostorima vrlo brzo razmnožila (BUZAS & SEN GUPTA, 1982, HSÜ, 1983).

Područje bušotine Koraljka-1 bilo je topografski niže od područja bušotina Ksenija-1 i Ksenija-3, pa se na gips talože laporji s prosljorcima pjeska i pjeskovitog silta u kojima je pronađena donjopliocenska fauna foraminifera, pa se čini da je sedimentacija bila kontinuirana. Naglo povećanje broja planktonskih foraminifera ukazuje na brzi porast nivoa mora u donjem pliocenu. Nakon što je pliocensko more preplavilo područje bušotine Koraljka-1, u srednjem pliocenu je i dalje pojačan dotok morste vode kroz Gibraltar, tako da je preplavljeno i područje na kojem su locirane bušotine Ksenija-1 i Ksenija-3, koje je za vrijeme donjeg pliočna bilo kopno.

Vrlo brzo uzdizanje razine mora uočeno je biostratigrafskim analizama uzorka iz sve tri bušotine gdje se razvijala podjednaka foraminferska zajednica uz sve veći postotak planktonskih foraminifera kao i relativno bogata zajednica kremičnih nanofosila, posebice dijatomeja: *Coscinodiscus* sp., *Nitzschia* sp., *Rhizosolenia* sp., te veći broj neodredivih oblika. Također su nađeni pojedinačno dijelovi silikoflagelata, nanospikule spužvi, te fragmenti nanoforaminifra. Od vapnenačkog nanoplanktona u bušotini Koraljka-1 određeni su rijetki primjeri vrste *Discoaster brouweri* TAN SIN HOK, te po koji primjerak loše sačuvanih i neodredivih kokolita. Sve navedeno ukazuje na sedimentaciju u području vanjskog šelfa i vrlo dobu komunikaciju s otvorenim morem.

Tijekom gornjeg pliocena nastavlja se slična sedimentacija, a u zajednici planktonskih foraminifera prevladava vrsta *Globorotalia inflata* d'ORBIGNY s karakterističnim globigerinoidesima.

Pri kraju gornjeg pliocena i početkom donjeg pleistocena dolazi do pogoršanja klimatskih uvjeta (zahlađenja). Razvija se nova planktonска foraminferska zajednica s vrstama *Neogloboquadrina pachyderma* (EHRENBERG) i *Globigerina quinqueloba* NATLAND, te bentičkom formom *Hyalinea balthica* (SCHROETER), koje su indikatori hladne klime.

ZAKLJUČAK

Rezultati mikropaleontoloških, sedimentoloških i kemijskih analiza ukazuju na kontinuitet marinske sedimentacije tijekom neogena samo na području istražene bušotine Koraljka-1, dok su na dva susjedna područja bušotina Ksenija-1 i Ksenija-3 zabilježeni prekidi marinske sedimentacije tijekom tortona, mesina i donjeg pliocena. Osobito se dobro može pratiti smjenjivanje provodnih planktonskih foraminifera od početka donjeg miocena do mesina *Globoquadrina dehiscens* - *Globigerinoides trilobus* - *Praeorbulina glomerosa* - *Orbulina suturalis* - *Orbulina universa* - *Globorotalia praemenardii* - *Globorotalia mayeri* - *Globorotalia menardii* - *Globigerinoides extremus* - *Globorotalia conomicozea* te slijed provodnih planktonskih foraminifera tijekom pliocena *Globorotalia margaritae* - *Globorotalia puncticulata* - *Globorotalia aemiliana* - *Globorotalia crassaformis* - *Globorotalia inflata* (STAINFORTH et al., 1975).

Dobiveni rezultati omogućuju djelomičnu korelaciju istraživanog prostora s ostalim sedimentacijskim područjima u podmorju Jadrana. Područje Jadrana bilo je tijekom miocena dezintegrirano na više sedimentacijskih cjelina, tako da se naslage donjeg i srednjeg miocena ovog istraženog prostora djelomično podudaraju (osobito foraminferske zajednice plićeg mora) s naslagama susjednih bušotina (Jadran-10 i Kornati more-1), te s foraminiferskim zajednicama sjevernog dijela Jadrana (Ines-1 i Istra more-4).

Taloženje gipsa tijekom mesina utvrđeno je osim u uzorcima bušotine Koraljka-1 i u nekim bušotinama južnog dijela Jadrana (Palgnuža-1, Perina-1, Patricija-1 i Jana-1), te u u talijanskoj bušotini Mizar-1, koja je locirana relativno blizu bušotine Koraljka-1.

Naslage srednjeg i gornjeg pliocena s pratećom mikroforaminferskom zajednicom podudaraju se s drugima u podmorju Jadrana, jer je ponovno došlo do reintegracije plitkih mora u jedinstveni sedimentacijski prostor.

Provedena mikropaleontološka istraživanja pokazala su da se sustavnim praćenjem slijeda provodnih planktonskih foraminifera s pratećom zajednicom bentičkih foraminifera, djelomično nanofosilima, te sedimentološkim i kemijskim analizama materijala iz dubokih istražnih bušotina, mogu postići relativno pouzdani rezultati za biostratigrafsku određbu probušenih naslaga. Time je omogućena korelacija istraživanog područja s drugim prostorima, a osim toga, takva sustavna istraživanja imaju izravnu primjenu u strukturnoj i tektonskoj interpretaciji bušotina.

LITERATURA

- BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (1985): Plankton Stratigraphy.- Cambridge Earth Science series, 1005 p., Cambridge.
- BUZAS, M.A. & SEN GUPTA, B.K. (1982): Foraminifera. Notes for a Short Course.- University of Tennessee, Department of Geological Science, Studies in geology 6, 219 p., New Orleans.
- HSÜ, K.J. (1983): The Mediterranean Was a Desert. A Voyage of the Glomar Challenger.- Princeton University Press, Princeton, 197 p.
- IACCARINO, S. (1985): Mediterranean Miocene and Pliocene planktic foraminifera.- In: BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (eds.): Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press, 283-324, Cambridge.
- KENNETT, J.P. & SRINIVASAN, M.S. (1983): Neogene planktonic foraminifera.- Hutchinson Ross Publ. Comp., Stroudsbourg, 265 p.
- STAINFORTH, R.M., LAMB, J.L., LUTERBACHER, H., BEARD, J.H. & JEFFODRS, R.M. (1975): Cenozoic planktonic foraminiferal zonation and characteristic of index forms.- The University of Kansas, Paleontological Contributions, 62, 423 p., Lawrence.
- VAN DER ZWAAN, G.J. (1982): Paleoecology of Late Miocene Mediterranean Foraminifera.- I.G.C.P. Project 1., Utrecht Micropaleontological Bulletins, 25, 201 p., Utrecht.

Rezultati biostratigrafskih i petrografske analize sedimenata bušotine Ines-1 (sjeverni Jadran, Hrvatska)

Danica MILETIĆ, Zdenka BARBIĆ, Renata SLAVKOVIĆ & Morana HERNITZ-KUČENJAK

Ključne riječi: biostratigrafija, petrografija, SEM analize, transgresija, neogen, istražna bušotina, sjeverni Jadran

Sažetak

Na temelju rezultata biostratigrafskih i petrografske analize sedimenata (uključujući i SEM analize) zaključeno je da su najstarije probušene naslage srednjoeocenski vapnenci na kojima su u transgresivnom odnosu fosiliferi siltozni lapor i donjem miocenu. Ponovo nastupa prekid sedimentacije sve do donjeg pliocena kada dolazi do nove transgresije koja je bila geološki relativno brza, kada se talože lapor uz manje pojave slabo vezanih glaukonitnih pješčenjaka u kojima je nadena bogata planktonska foraminiferska fauna, pa je zbog toga detaljnije obraden i prikazan jezgrovani interval 1528-1534m.

UVOD

Istražna bušotina INES-1 bušena je do 1700m (sl. 1). Analizirani su uzorci krhotina stijena iz isplake te četiri jezgrovana intervala: 1694-1700m, 1528-1534m, 1378-1384m i 1120-1126m. Elektronskim mikroskopom (SEM-515, Philips) analizirani su uzorci lapor i pješčenjaka (iz jezgrovanih intervala 1528-1534m). Identifikacija minerala načinjena je na temelju habitusa kristalografskih formi i identifikacije pikova u energetskom spektru x-zračenja (EDAX PV 9900).

SREDNJI EOCEN

litofacijsna jedinica A: vapnenac i lapor

(interval 1700-1590m)

Stalna je izmjena vapneca tipa packstone/grainstone i wackestone/packstone. U pličim nivoima (1670~1620 m) prevladavaju izolirane krhotine bentičkih foraminifera *Nummulites* div. sp., *Alveolina* sp., *Pararotalia* sp., *Planulina renzi* CUSHMAN & STAINFORTH, *Asterigerina rotula* (KAUFMAN, MAKOLE), *Sphaerogipsina* sp., *Rotalia* sp. te miliolide, bodlje ježinaca, krhotine briozoa i koralinacea. Vezivo je gotovo posve otopljeno. U intervalu 1620-1590 m najzastupljenije su krhotine fosilifernog, malo

glinovitog vapneca tipa wackestone i wackestone/packstone. Fosilni sadržaj u mikritnoj osnovi je bogat. Manje su pojave odlomaka lapor do kalcitnog lapor, te nešto vapnenaca s rekristaliziranim bentičkim foraminiferama.

Opisana zajednica foraminifera kao i mikritizacija fosila u stijenama značajna je za plitko karbonatno dno s promjenljivim energetskim indeksom vode (TIŠ-LJAR, 1994). U intervalu 1620-1590 m tendencija je opličavanja.

MIOCEN

litofacijsna jedinica B: siltozni lapor

(interval 1590-1534 m)

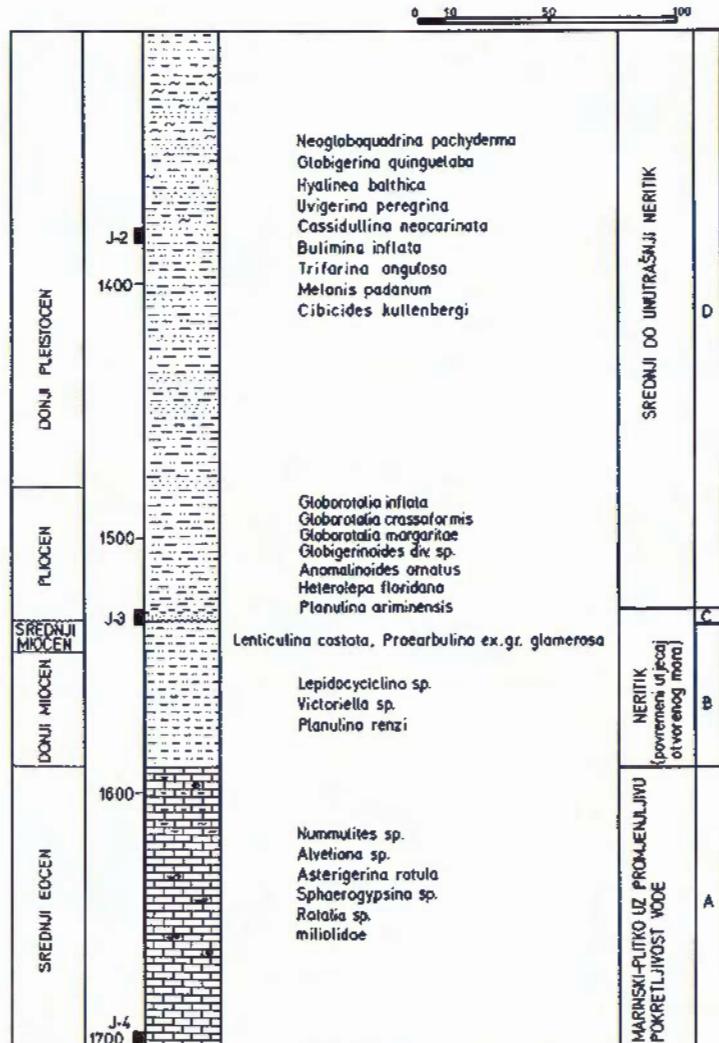
U dosta dobro litificiranom siltozno-fosilifernom (mjestimično do pjeskovitom) laporu s visokim sadržajem karbonatne komponente izdvojena je zajednica uglavnih bentičkih foraminifera: *Lepidocyclus* sp., *Victoriella* sp., *Planulina renzi* (CUSHMAN & STAINFORTH), te *Lenticulina calcar* (LINNÈ), *Lenticulina costata* (FICHTELL & MOLL), *Florilus boueanus* (D'ORBIGNY), *Cibicides* sp., *Heterolepa* sp., *Buliminella* sp., *Uvigerina rutila* CUSHMAN & TODD, *Elphidium crispum* (LINNÈ) i dr. Planktonske vrste su malobrojne: *Praeorbulina ex gr. glomerosa* (BLOW), *Globigerinoides immaturus* LE ROY, *Globigerinoides trilobus* (REUSS). Odlaganje siltoznih glinovito karbonatnih naslaga obzirom na fosilni sadržaj odvijalo se u području neritika s povremenim utjecajem otvorenog mora (HAQ & BOERSMA, 1978). U gornjem dijelu naslaga pri granici s pliocenom registrirani su ostrakodi, iglice ježinaca, mikrogastropodi i od školjkaša ostreje, što upućuje na povlačenje mora i regresiju u seravalu.

PLIOCEN

litofacijsna jedinica C: glaukonitni konglomeratični pješčenjak i siltozni lapor

(interval 1545-1528 m)

Jezgrovani interval 1528-1534m je analiziran vrlo detaljno (osobito zadnja tri metra), uzorci su uzimani



Sl. 1 Sumarni profil bušotine Ines-1.

svakih nekoliko centimetara. Izgraden je uglavnom od glaukonitnog konglomeratičnog pješčenjaka i lapora.

Osnova glaukonitnog konglomeratičnog pješčenjaka je siltozna, glinovito-karbonatna i sadrži puno planktonskih foraminifera i sferulita (potvrđeno i SEM analizama). Kućice pretaloženih miocenskih foraminifera često su zahvaćene piritizacijom, silicifikacijom ili su ispunjene glaukonitom. U sastavu prevladavaju subangularna zrna kvarca, glaukonit, te odlomci kvarcita, rožnjaka i pelitnih sedimenata s planktonskim foraminiferama. Pukotine u kvarcu su ispunjene glaukonitom. Mineralna zrna i odlomci stijena su najčešće mnogo veća od arenitnih dimenzija, tako da se može govoriti o konglomeratičnom pješčenjaku.

Lapor je slabo litificiran. Izgraden je od mikro do kriptokristalaste glinovito-karbonatne osnove (prevlada ili i/ili sericit u asocijaciji s kloritom i kalcitom). Slabo siltoznu komponentu (dimenzije čestica od 5-30 µm) sačinjavaju zrna kvarca, nodule čerta, listići muskovita i tanke pločice gipsa, globule pirita i varijabilna količina mikro i nano fosila (planktonske foraminifere i kokoliti).

Detaljnim mikropaleontološkim analizama utvrđena je vrlo bogata zajednica planktonskih foraminifera od donjeg pliocena, s provodnim vrstama *Globorotalia*

margaritae BOLLI & BERMUDEZ, *Globorotalia puncticulata* DESHEYS i *Globorotalia bononiensis* DONDI, te provodne planktonske vrste za srednji pliocen *Globorotalia crassafomis* GALOWAY & WISSLER, *Globorotalia crasscrotonensis* CONATO & FALLADOR, *Globorotalia aemiliana* COLALONGO & SARTONI, *Orbulina universa* D'ORBIGNY, *Globigerina decoraperta* TAKAYANAGI & SAITO, *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY. Vrlo karakteristična je zajednica globigerinoidesa *Globigerinoides extremus* BOLLI, *Globigerinoides conglobatus* (D'ORBIGNY), *Globigerinoides elongatus* D'ORBIGNY, *Globigerinoides ruber* (D'ORBIGNY), *Globigerinoides trilobus* (REUSS). Zastupljena je bogata i raznolika zajednica bentičkih foraminifera: *Anomalinaoides ornatus* (COSTA), *Heterolepa floridana* (CUSHMAN), *Hoeglundina elegans* (D'ORBIGNY), *Planulina ariminensis* D'ORBIGNY, *Oridorsalis umbonatus* (REUSS), *Cibicidoides kullenbergi* (PARKER), *Hanzawaia boueana* (D'ORBIGNY).

Detaljnim petrografsko-sedimentološkim, mikropaleontološkim i SEM-analizama zabilježena je pliocenska transgresija uzrokovana ponovnim uspostavljanjem veze Mediterana s Atlantikom preko Gibraltarskog prolaza. Transgresija je bila vrlo brza, pa se i populacija

foraminifera donešenih iz Atlantskog oceana vrlo brzo razmnožila u ovim prostorima (BUZAS & SEN GUPTA, 1982; HSÜ, 1983; BOLLI et al. 1985). Donji pliocen, iako istaložen u vrlo maloj debljini od svega nekoliko centimetara, dokazan je brojnim provodnim planktonskim foraminiferama. Energija vode bila je velika, pa je gips vrlo sitnih dimenzija, koji potječe od erodiranih gornjomiocenskih naslaga, dulje vremena bio u suspenziji, a istaložen je tek u mirnijem razdoblju početkom srednjeg pliocena. Zatim se nastavlja marinska sedimentacija u dubljem okolišu (vanjski šelf) uz dobru komunikaciju s otvorenim morem, na što ukazuje brojnost planktonskih foraminifera.

PLIOCEN-D. PLEISTOCEN
litofacijsna jedinica D: lapor, pješčenjak i pijesak
 (interval 1528-1260 m)

Naslage su izgradene od siltoznog lapora do siltozno-glinovitog lapora uz samo mjestimične pojave slabo vezanog kvarc-tinčastog pješčenjaka. U pličim partijama ovog litofacijsa uz siltozno-glinoviti lapor prevladavajuće su pojave pijeska, odnosno silta.

Determinirana je bogata zajednica planktonskih foraminifera za gornji pliocen *Globorotalia inflata* D'ORBIGNY s karakterističnim globigerinoidesima. U donjem pleistocenu od planktonskih formi posebno je brojna *Neoglobularina pachyderma* (EHRENBURG). U nešto manjem broju zastupljene su *Globigerina quinqueloba* NATLAND, *Globigerina bulloides* D'ORBIGNY i *Orbulina universa* D'ORBI-GNY. Bentičke foraminifere javljaju se većim brojem vrsta: *Hyalinea balthica* (SCHROETER), *Ammonia beccarii* (LINNÈ), *Cassidulina neocarinata* THALMANN, *Planulina ariminensis* D'ORBIGNY, *Uvigerina peregriina* CUSHMAN, *Bulimina inflata* SEGUENZA, *Bulimina sublimata* PANIZZA, *Trifarina angulosa* (WILLSON), *Melonis padanum* (PERCONIG), *Cibicidoides kullenbergi* (PARKER) i *Sigmaulopsis schlumbergeri* (SILVESTRI).

Fosilna zajednica utvrđena u slijedu naslaga ukazuje na taloženje u marinskom okolišu vanjskog neritika (odnosno vanjskog šelfa).

D. PLEISTOCEN
litofacijsna jedinica E: pijesak i laporovita glina
 (interval 1260-815 m)

Kompleks izgrađuje sivi do svijetlosivi kvartinčasti siltozni pijesak, mjestimično zaglinjen u stalnoj i često izmjeni sa sivozelenkastom, slabo siltozno-pjeskovitom laporovitom glinom do glinovitim lapo-

rom. Glavni sastav pijeska čine zrna kvarca siltnih do arenitnih dimenzija i feldspati. Sporedni sastav čine listići muskovita i odlomci stijena.

Fosilni sadržaj isti je kao i u prethodno opisanom litofacijsu, a i litološke karakteristike ovih sedimenata ukazuju na njihov postanak u marinskom okolišu srednjeg do unutrašnjeg neritika (šelfa).

ZAKLJUČAK

Najdublje nabušene naslage su karbonatni (srednjeeocienski) sedimenti: vapnenci tipa packstone/grainstone i wackestone/packstone uz manje pojave laporanja. Zajednica foraminifera i mikritizacija fosila u navedenim sedimentima upućuje na uvjete taloženja koji su značajni za plitko karbonatno dno s promjenljivim indeksom vode. U intervalu 1620-1590 m tendencija je oplićavanja uz taloženje fosilifernog, malo glinovitog vapneca tipa wackestone i wackestone/packstone uz manje pojave laporanja do kalcitnog laporanja.

Krajem srednjeg eocena nastupa emerzija i prekid sedimentacije tijekom cijelog oligocena sve do donjeg miocena. Tada ponovo transgredira more kada se sedimentira siltozno fosiliferni lapor u okolišu neritika uz povremenih utjecaj otvorenog mora.

U srednjem miocenu talože se slične naslage, a pri kraju intervala uočeno je oplićavanje i opet nastupaju regresivni uvjeti. Prekid sedimentacije traje sve do donjeg pliocena, kada se ponovno uspostavlja veza s Atlantikom preko Gibraltarskog prolaza. Transgresija je bila relativno brza, pa se talože slabo vezani glaukonitni pješčenjak te lapor s brojnim planktonskim foraminifera, a odlagani su u okolišu vanjskog neritika (vanjskog šelfa).

Na pliocenske naslage slijedilo je taloženje klastičnih sedimenata (pijesci i laporovite gline) pleistocenske starosti u marinskim uvjetima unutrašnjeg do srednjeg neritika (šelfa).

Provedena istraživanja pokazala su da se sustavnim praćenjem slijeda provodnih planktonskih foraminifera s pratećom zajednicom bentičkih foraminifera, te petrografsco-sedimentološkim i SEM analizama materijala iz istražnih bušotina, mogu postići relativno pouzdani rezultati za biostratigrafsku određbu probušenih naslaga, čime je omogućena korelacija s drugim prostorima. Osim toga, takva sustavna istraživanja imaju izravnu primjenu u strukturnoj i tektonskoj interpretaciji bušotina.

LITERATURA

- BOLLI, H.M., SAUNDERS, J.B. & PEARCH-NIELSEN, K. (1985): Plankton stratigraphy.- Cambridge Earth Science Series, Cambridge.
- BUZAS, M.A. & SEN GUPTA, B.K. (1982): Foraminifera. Notes for a Short Course.- University of Tennessee, Department of Geological Science, Studies in geology, 6, 219p., New Orleans.
- HAQ, B.U. & BOERSMA, A. (1978): Introduction to Marine Micropaleontology.- Elsevier Biomedical, New York, Amsterdam, Oxford, 376p.
- HSÜ, K.J. (1983): The Mediterranean Was a Desert. A Voyage of the Glomar Challenger.- Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 197p.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb.

Pregled tektonike područja između Periadriatskog lineamenta i Jadransko-Dinarske karbonatne platforme u Sloveniji

Pero MIOC

Ključne riječi: Alpski orogen, evolucija sedimentacijskog prostora, Slovenija, Istočno Alpska i Jadran-ska mikroploča

Sažetak

Geološka evolucija tijekom Alpskog geotektonskog ciklusa na prostoru između Periadriatskog lineamenta i Jadransko-Dinarske karbonatne platforme u Sloveniji, počela je razdvajanjem Jadranske (Apulijiske) mikroploče na jugu od Istočnoalpske mikroploče na sjeveru u razdoblju gornji perm - trijas.

Stvaranjem morskog odnosno oceanskog prostora nastale su različite stijene, među kojima i dubokomorski sedimenti na marginalnom dijelu otvorenog oceana (jura). Pojave ofiolita na širem prostoru ukazuju na vjerojatnost produženja Vardarske zone na sjeverozapad.

Ponovnim zbijavanjem spomenutih mikroploča (jur-donja kreda) zatvara se oceanski prostor uz boranje sedimenta, a zatim i navlačenja te formiranja tektonskih jedinica kroz gornju kredu i paleogen: Južne Alpe - Južne Karavanke, Julijsko-Savinjska i Savska navlaka; Dinaridi - Slovenski bazen, Dinarik, Epiadiatik i Adriatik.

Key words: Alpidic orogeny, Evolution of the sedimentation area, Slovenia, Eastern Alps and Adriatic microplates

Abstract

Geological evolution during the Alpidic geotectonic cycle on the area between the Periadriatic Line and the Adriatic-Dinaric carbonate platform in Slovenia started with the separation of the Adriatic (Apulian) microplate on the south and the Eastern Alpine microplate on the north. This activity started in the Upper Permian - Triassic.

During the development of this part of the Dinaric Tethys, different rocks were formed, among them deep marine sediments on the margin of the open ocean (Jurassic). The occurrence of the ophiolites indicate on a possibility of the extension of the Vardar Zone in the northwestern direction. In the same time, shallow water sedimentation took place on the Adriatic-Dinaric carbonate platform.

With the reconnection of the mentioned microplates (Jurassic-Lower Cretaceous) the ocean closed folding and overthrusting (Upper Cretaceous-Palaeogene) of the sediments occurred and the following tectonic units were formed: Southern Alps - Southern Karawanken, Julian-Savinja and Sava overthrusts; Dinarides-Slovenian Basin, Dinaric, Epiadiatik and Adriatic.basin.

UVOD

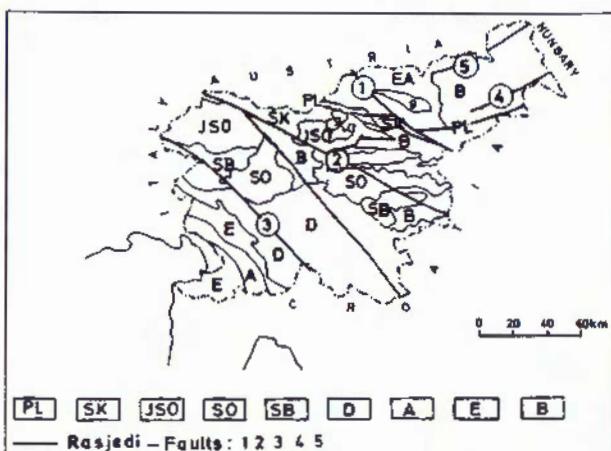
Na područje Slovenije sežu važne geotektonске cijeline ovoga dijela Evrope. Na sjeveru su Istočne Alpe (Austroalpidi) i Južne Alpe, u centralnom i južnom dijelu su Dinaridi, a sjeveroistočni dio Slovenije pripada Panonskom bazenu (sl. 1). Geološka grada spomenutih jedinica je različita, što je i uzrok da su na relativno uskom području Slovenije zastupljene sedimentne, magmatske i metamorfne stijene različite starosti. Najveću površinu zauzimaju mezozojski sedimenti, koji su inače najdeblji na Jadransko-Dinarskoj karbonatnoj platformi. Dubokomorski sedimenti, među kojima nalazimo i vulkanske stijene, leže sjeverno od spomenute platforme. Fliš je nastao u kredi (alb-apt) do u paleogen. U oligocenu je generalno uzduž Karavanki bio aktivna andezitna vulkanizam.

S obzirom na zamršenu geološku gradu pojedini su autori imali različitu geotektonsku podjelu ovog prosto-

ra (RAKOVEC, 1956; SIKOŠEK, 1971; HERAK, 1986 i dr.). U ovom radu želi se dati opći pregled tektonike područja južno od Periadriatskog lineamenta, gdje se od sjevera prema jugu nalaze slijedeće važnije tektonske (geotektonске) jedinice (sl. 1 i 2):

- Periadriatski lineament,
- Južne Alpe (Karavanke, Juliske i Savinske Alpe),
- Slovenski bazen (Unutarnji Dinaridi) i
- Jadransko-Dinarska karbonatna platforma (Vanjski Dinaridi), koja je razdijeljena na Adriatik i Dinarik (HERAK, 1986).

Evolucija ovako složene geološke grade počela je najprije razdvajanjem Afričke od Evropske ploče odnosno Jadranske (Apulijiske) mikroploče od Istočnoalpske mikroploče u začetku alpskog geotektonskog ciklusa (gornji perm-trijas). Stvaranjem morskog odnosno oceanskog prostora nastale su različite stijene, među kojima i dubokomorski sedimenti na rubu otvo-



Sl. 1 Tektonsko skica područja između Periadriatskog lineamenta i Jadransko-Dinarske karbonatne platforme u Sloveniji.

Fig. 1 Tectonic sketch map of the area between Periadriatic Lineament and the Adriatic-Dinaric carbonate platform in Slovenia.

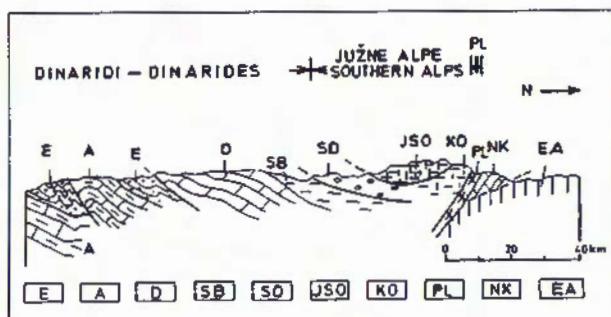
Tumač - Legend: PL - Periadriatski lineament - Periadriatic lineament; Južne Alpe - southern Alps; SK - Južno Karavanška navlaka - Southern Karavanke thrust; JSO - Julijsko-Savinjska navlaka - Julian-Savinja thrust; SO - Savska navlaka - Sava thrust; SB - Slovenski bazen - Slovenian Basin (Unutarnji Dinaridi - Inner Dinarides), Vanjski Dinaridi - Outer Dinarides; D - Dinarik - Dinaric; A - Adriatik - Adriatic; E - Epadijatik - Epadijatic; EA - Istočne Alpe - Eastern Alps; g - magnatske i vulkanske stijene - Magmatic and volcanic rocks; B - Tercijarni bazeni - Tertiary Basins. Rasjedi - Faults: 1) Labotski - Labot; 2) Savski - Sava; 3) Idrijski - Idrija; 4) Ljutomerski - Ljutomer; 5) Rabski - Raba

renog oceana. Pojave ofiolita na širem prostoru ukazuju na mogućnost sjeverozapadnog produžetka Vardarske zone i na ovo područje (jura-donja kreda). Slijedilo je zbližavanje spomenutih mikroploča, Jadranske i Istočnoalpske, te boranje, a zatim navlačenje lithostratigrafskih jedinica (sl. 3)

Približavanjem spomenutih mikroploča došlo je uz južni rub Istočnoalpske ploče do subdukcije (gornja kreda/paleogen) i do anateksisa kontinentalne kore. Kasnije, u oligocenu i miocenu, uzduž spomenutog južnog ruba došlo je do post-subducijskog vulkanizma (PAMIĆ, 1993). U istom razdoblju (oligocen-neogen) je intenzivna radikalna tektonika pouzročila nastanak tercijarnih bazena.

STRATIGRAFSKI PREGLED

U južnim Alpama, u Karavankama najstariji su devonski slojevi pločasti vapnenci, a zatim srednjodevonski platformski vapnenci. Bazenska sedimentacija nastavljena je u gornjem devonu, a produžuje se i u donji karbon. Zastupljeni su slejtovi i grauvake, odnosno flišoliki sedimenti. U njima se javljaju olistoliti devonskih vapnenaca. Gornji karbon je zastupljen plitkovodnim vapnencima, konglomeratima i pješčenjacima (KAHLER, 1953; KOCHANSKY-DEVIDÉ & RAMOVŠ, 1956; RAMOVŠ, 1989), a perm trogkokfelskim, grödenškim i belerofonskim slojevima, koji



Sl. 2 Schematski geološki profil između Periadriatskog lineamenta i Jadransko-Dinarske karbonatne platforme.

Fig. 2 Schematic profile from the Periadriatic Lineament to the Adriatic-dinaric carbonate platform.

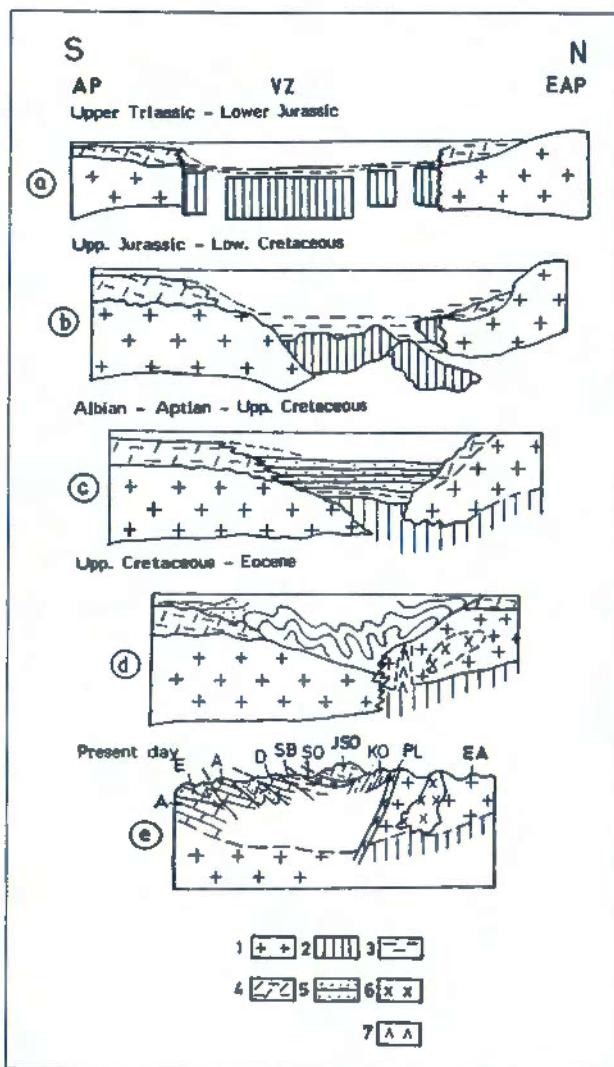
Tumač - Legend: EA - Istočne Alpe - Eastern Alps; NK - Sjeverno Karavanška navlaka - North Karavanke thr.; PL - Periadriatski lineament - Periadriatic Lineament; KO - Južno Karavanška navlaka - South Karavanke thr.; JSO - Julijsko-Savinjska navlaka - Julian-Savinja thr.; SO - Savska navlaka - Sava thr.; SB - Slovenski bazen - Slovenian Basin; D - Dinarik - Dinaric; A - Adriatik - Adriatic; E - Epadijatik - Epadijatic

prelaze ponegdje direktno u donji trijas. Gornjokarboniski i permски sedimenti predstavljaju generalno molasni pokrivač sedimenata hercinskog sedimentacijskog ciklusa.

Donjotrijaski slojevi zastupljeni su sa dolomitima, vapnencima, laporima i pješčenjacima. Oni prelaze u anizijske, pretežito dolomitne slojeve, koji su taloženi na stabilnoj karbonatnoj platformi. U ladiniku, kao posljedica dezintegracije sedimentacijskog prostora (liftinga) nastaju faciesno različite stijene, pločasti vapnenci i dolomiti, šejlovi, grauvake, vulkaniti spilit-keratofirske asocijacije i njihovi tufovi. U gornjem trijasu nastajali su na Julijsko-Karavanškoj karbonatnoj platformi na sjeveru i na Dinarskoj karbonatnoj platformi na jugu glavni dolomit i dachsteinski vapnenac. U području Slovenskog bazena (Unutarnji Dinaridi) nastavila se dubokomorska sedimentacija. Nastali su pločasti vapnenci i dolomiti sa radiolaritima (Baški dolomit; GRAD & FERJANČIĆ, 1976; BUSER, 1974, 1986).

Kroz juru i kredu nastavila se na Dinarskoj karbonatnoj platformi plitkovodna sedimentacija s relativno malim varijacijama dubine. Sedimentacija se odvijala pretežito u neritskom, a djelomice i u litoralnom faciesu (POLŠAK, 1965). U donoj juri i donoj kredi pojavljuju se pojedini slojevi bituminoznih vapnenaca. Važnije fosilne grupe nastupaju u lijasu sa karakterističnim litiotidama (BUSER, 1973), zatim rekвиjenijski vapnenci u donoj kredi, hondrodonte na granici ceno-mantan i radioliti te hipuriti u razdoblju turon-senon (PLENIČAR, 1960, 1963). Povremene lokalne destabilizacije platforme pouzročile su periodične transgresije i regresije, dok je dezintegracija platforme počela otprije krajem mastrihta.

Na području Slovenskog bazena dubokomorska sedimentacija nastavila se iz gornjeg trijasa koz juru i kredu. Istovremeno, krajem trijasa, došlo je do dezintegracije Julijsko-Karavanške karbonatne platforme, pa



Sl. 3 Shematski profili evolucije područja između Istočnih Alpa i Jadransko-Dinarske karbonatne platforme u Sloveniji tijekom alpske orogeneze.

Fig. 3 Profiles showing evolution of the territory between the Eastern Alps and of the Adriatic-Dinaric carbonate platform during Alpine orogeny.

Tumač - Legend: 1 - kontinentalna kora (uključujući hercinskima sedimentima) - Continental crust (including Hercinic sedimentary series); 2 - oceanska kora - oceanic crust; 3 - oceanski sedimenti - oceanic sediments; 4) sedimenti karbonatne platforme - carbonate platforms sediments; 5) fliš (alb-apt - eocen) - flysch (Aptian-Albian-Eocene); EA - Istočne Alpe - Eastern Alps; PI - Periadriatski lineament - Periadriatic lineament; KO - Karavanika navlaka - Karavarika thrust, JSO - Julijsko-Savinska navlaka - Julian-Savinija thr.; SO - Savska navlaka - Sava thr.; SB - Slovenski bazen (Unutarnji Dinaridi) - Slovenian Basin (Inner Dinarides); Vanjski Dinaridi - Outer Dinarides; D - Dinarik - Dinaric; A - Adriatik - Adriatic; E - Epiadijatik - Epiadijatic.

se dubokomorska sedimentacija proširila i na taj prostor. Nastali su mikritni pločasti vapnenci, kalkareniti, šejlovi, pješčenjaci i radiolariti. Pojavljuju se i bazični vulkaniti. Asocijacija spomenutih stijena ukazuje na blizinu otvorenog oceanskog prostora. Iste slojeve nalazimo i u sjevernim Karavankama, gdje su u aholitnom položaju. Ovi sedimenti nastali su u razdoblju

lijas-neokom, što je dokazano mikrofossilima (MIOČ & ŠRIBAR, 1975; GRAD & FERJANČIĆ, 1976; PLENIČAR & PREMRU, 1977; BUSER, 1986).

Fliš nalazimo u različitim područjima od Soče na zapadu do širega područja Krškog na istoku. Sedimentacija fliša počela je uglavnom u centralnom dijelu Slovenskog bazena u vrijeme apta-alba. Odatle se širila prema jugu na područje Dinarske karbonatne platforme, gdje je na paleogenske (alveolinsko-numulitne) vaspnence taložen eocenski fliš.

Tijekom paleogena je na području Karavanki, a vjerojatno i na području Julijskih Alpa, formiran karbonatni šelf, na kojem su taloženi (u Karavankama preko gornjeg triaja) paleocenski alveolinski vaspnenci (MIOČ, 1978, 1984), a preko njih eocenski fliš. Oligocenski sedimenti taloženi su u pojedinim bazenima. U gornjem oligocenu je uz rub južnih Karavanki formiran sialični otočni luk, koji prelazi na istoku iz Slovenije u Hrvatsku, a pratio ga je intenzivni andezitni vulkanizam. U bazen koji je pratio otočni luk sedimentirao se piroklastični materijal s povremenim andezitnim izljevima. Spomenuti vulkanogeni sedimenti poznati su kao Smrekovška serija, a dosežu debljinu oko 1000 metara (MIOČ, 1983).

U toku neogena dolazi do intenzivne relaksacije i stvaranja brojnih neogenskih bazena sa klastičnom sedimentacijom.

TEKTONSKI PREGLED

Područje Istočnih Alpa u Sloveniji ograničava na jugu Periadriatski lineament. Južno od njega su Južne Alpe, Slovenski bazen i Jadransko-Dinarska karbonatna platforma. Spomenute geotektonске cijeline koje su razdijeljene u pojedine manje jedinice.

Periadriatski lineament seže u Sloveniju svojim krajnjim istočnim dijelom koji ima dužinu oko 60 kilometara, dok njegova ukupna dužina od zapada do Panonskog bazena iznosi oko 600 kilometara. Horizontalnim i vertikalnim kretanjem uzduž lineamenta bio je izguran dio magmatsko-metamorfne podloge (u tercijarni), probivši sistem navlaka iznad sebe. Spomenuti dio podloge prostire se u obliku zone široke oko 2 do 4 kilometara, koja prema istoku, na rubu Panonskog bazena, iskljinjava. U geološkoj gradi ove zone je na sjeveru granitni (granodioritni) pojас, a južno je primarni kontakt sa metamorfnim pojасom (filiti, gnajsevi, amfiboliti). Tonalit (K-Ar i Rb-Sr analize ukazuju na starost cca 30 - 28 Ma - SCHARBERT, 1975), je najjužniji pojас te zone, a na jugu graniči s Južnim Karavankama. Prve valutice granita nadene su u otnang-karpatskim sedimentima. Lineament, odnosno zona lineamenta pada strmo (cca 60°-80°) prema jugu pod Južne Karavanke, odnosno Južne Alpe. Prema istoku-sjeveroistoku seže u područje Panonskog bazena.

Južne Alpe obuhvaćaju u Sloveniji Južne Karavanke, Julijiske i Savinske odnosno Kamniške Alpe i Savsku navlaku. Za ovo područje karakteristična je

navlačna tektonska grada, a izdvojeno je više tektonskih jedinica od kojih spominjemo samo neke.

U Karavankama je *Košuta-Olševa navlaka*, koja je pretežito izgradena od trijaskih sedimenata, i *Južnokaravanška navlaka*, uglavnom s paleozojskim (devon-karbon-perm) slojevima (BUSER, 1980; MIOČ, 1983, 1984).

Julijsko-Savinjska navlaka sastoji se od nekoliko jedinica od kojih spominjemo Slatensku navlaku, Pokljušku i Krnsku navlaku (BUSER, 1986). Sve su izgradene od trijaskih naslaga. Karavanke i Julijsko-Savinjske Alpe sežu prema istoku u podlogu Panonskog bazena.

Savska navlaka (MIOČ, 1982; PAMIĆ, 1993) je izgrađena od permo-karbonskih i trijaskih slojeva. Navučena je prema jugu preko sedimenata Slovenskog bazena, prema sjeveru seže pod navlake Julijskih Alpa, a prema istoku se nastavlja na područje Hrvatske i dalje u podlogu Panonskog bazena.

Unutarnji Dinaridi predstavljaju granično područje između Južnih Alpa i Dinarida uopće, pa je izdvajanje pojedinih litostratigrafskih kompleksa u tektonske jedinice bilo različito. Ova jedinica pripada Slovenskom bazenu, dok je Savska navlaka navučena sa prostora Južnih Alpa.

Slovenski bazen (COUSIN, 1972) zahvaća područje dubokovodnih i flišnih mezozojskih i djelomice paleogenskih sedimenata, koji se podvlače prema sjeveru pod navlake Južnih Alpa. Pri navlačenju Savske navlake preko sedimenata Slovenskog bazena bili su ponegdje zahvaćeni i manji dijelovi bazenskih sedimenata i uključeni u dijelove navlake. Prema jugu ovi sedimenti (fliš) transgrediraju u paleogenu na Jadransko-Dinarsku karbonatnu platformu.

Jadransko-Dinarska karbonatna platforma (Vanjski Dinaridi) je u Slovenskom dijelu kroz mezoik dosegla debljinu od preko 4000 metara karbonatnih sedimenata. Dezintegracija platforme počela je vjerojatno u vrijeme laramijske (kreda/paleogen) i nastavila se tijekom pirenejske (eocen/oligocen) faze. Tada je i na platformi došlo do sedimentacije fliša, boranja i navlačenja pojedinih litostratigrafskih kompleksa sa sjevernog ruba platforme. Karbonatnu zonu uz obalno područje je HERAK (1986) uvrstio u Adriatik, flišne bazene u Epiadriatik, a sjevernije karbonatno područje u Dinarik.

Za postorogeno razdoblje značajna je rasjedna tekonika i nastanak oligo-miocenskih bazena.

DISKUSIJA

Na temelju kratko izložene geološke gradi vidimo da je tekonika ovoga prostora zanimljiva i kompleksna. Evolucija sedimentacijskog prostora između Istočnoalpske (Austroalpinske) i Jadranske (Apulijiske) mikroploče u alpskom orogenu počela je intrakratonskim rastezanjem, a zatim riftingom u razdoblju gornji perm

- trijas. Ovi događaji bili su praćeni granodioritnim magmatizmom, čije produkte nalazimo danas na području Periadriatskog lineamenta (EXNER, 1973; FANINGER & ŠTRUCL, 1978; MIOČ, 1978, 1984). Spomenuto potvrđuju i izotopna istraživanja granitnog masiva, koja su dala slijedeće vrijednosti: K-Ar = 245-210 Ma, U-Pb = 230 Ma i Rb-Sr = 224-216 Ma (CLIFF et al, 1974; SCHARBERT, 1975). Riftingom tijekom srednjeg trijasa došlo je do vulkanske aktivnosti na području Slovenskog bazena (Unutarnjih Dinarida) i Južnih Alpa, na što ukazuju pojave stijena spilit-keratofirske asocijacije. Nakon riftinga i spomenutih aktivnih magmatskih procesa, formirana je na južnom rubu Istočnih Alpa stabilna karbonatna platforma a južnije, Jadranska karbonatna platforma.

Otvaranje Tetisa između Istočnoalpske i Jadranske mikroploče počinje krajem trijasa i u donjoj juri (rana kimerijska orogenetska faza), na što ukazuju odgovarajući sedimenti nastali na marginalnom dijelu otvorenog Tetisa. Uvjeti otvorenog oceana trajali su vjerojatno kroz juru i donju kredu (FRISCH, 1978; PAMIĆ, 1993).

Danas su na ovom području alohtone strukture i ne nalazimo ofiolite. No pojave bazaltoidea (donja kreda) na području istočne Slovenije (Bohor) i ofioliti u Hrvatskom zagorju, ispod kojih leže gornjotrijaski sedimenti (PAMIĆ, 1993, ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1993) ukazuju na oceanski okoliš. To ukazuje na mogućnost da je Vardarska zona sezala preko Slovenije na sjeverozapad (PAMIĆ, 1993). Zatvaranje oceanskog prostora praćeno je taloženjem fliša u albu i aptu, i trajalo je do u paleogen (PLENIČAR & PREMRU, 1977).

Kontinuirana kompresija nastala približavanjem spomenutih mikroploča pouzročila je deformacije (boranje, navlačenje) dubokomorskih i flišnih sedimenata, a zatim navlačenje pojedinih litostratigrafskih jedinica. Navlačenjem su bili zahvaćeni i karbonatni kompleksi (gornjotrijaski), koji su ležali ispod dubokomorskih jursko-krednih naslaga.

Postupno približavanje Jadranske i Istočnoalpske mikroploče vjerojatno negdje sredinom krede dovodi do približavanja a vjerojatno i spajanja spomenutih mikroploča. U razdoblju gornja kreda/paleogen, pri sučeljavanju obiju mikroploča dolazi do djelimične subdukcije južnoga aktivnog ruba Istočnoalpske mikroploče. Postorogeni kolaps i transkurentno rasjedanje u razdoblju ogligocen-miocen, uzrokovali su nastanak molasnih bazena. Ove procese je uz južni rub Istočnoalpske ploče pratio andezitni vulkanizam. Na njezinom rubnom području, u Pohorju, nalazimo produkte anateksične granodioritne magme (tonalit i dacit na Pohorju).

LITERATURA

- BUSER, S. (1973): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Gorica.- Zvezni geološki zavod, I-50, Beograd.
- BUSER, S. (1974): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Ribnica.- Zvezni geološki zavod., I-59, Beograd.
- BUSER, S. (1980): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Celovec (Klagenfurt).- Zvezni geološki zavod, I-72, Beograd.
- BUSER, S. (1986): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine).- Zvezni geološki zavod- I-103, Beograd
- CLIFF, R., HOLZER, H.F. & REX., D.C. (1974): The age of the Eisenkappel granite and the history of the Periadriatic lineament.- Geol. B.A., H., 2-3, 347-350, Wien.
- COUSIN, M. (1972): Esquisse géologique des confins italo-ouugoslaves: leur place dans le Dinarides et Alpes méridionales.- Bull. Soc. Geol. Fr., 7, 12/6, 1034-1047.
- EXNER, C. (1973): Geologie der Karawankenplutone östlich Eisenkappel, Kärnten.- Mitt. Geol. Ges., 61, 1-108, Wien.
- FANINGER, E. & ŠTRUCL, I. (1978): Granitni in tonalitni pas v Vzhodnih Karavankah.- Geologija, 21, 77-81, Ljubljana.
- FRISCH, H. (1978): A Plate Tectonics Model of the Eastern Alps.- Alps, Apennines, Hellenides, 167-172, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- GRAD, K. & FERJANČIĆ, L. (1976): Geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Kranj.- Zvez. geol.zav., 1-70, Beograd.
- HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides.- Acta Geologica, 16, 1-42, Zagreb.
- KAHLER, F. (1953): Der Bau der Karawanken und des Klagenfurter Beckens.- Charinthia, II, 16, 1-75, Conderh., Klagenfurt.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. (1956): Zgornjekarbonski mikrofossili in stratigrafski razvoj v zahodnih Karavankah.- Razpr. IV. razr. SAZU, 16/4, Ljubljana.
- MIOČ, P. (1978): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Slovenj Gradec.- Zvez. geol.zav., 1-74, Beograd.
- MIOČ, P. (1982): Tektonski odnosi Savske navlake prema susjednim jedinicama u Sloveniji te njena veza sa širim jugoslavenskim područjem.- Nafta, 2, 543-548, Zagreb.
- MIOČ, P. (1983): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Ravne na Koroškem.- Zvez.geol.zav., 1-68, Beograd.
- MIOČ, P. (1984): Geologija prehodnega območja med Južnimi in Vzhodnimi Alpami v Sloveniji.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 182 str.
- MIOČ, P. & ŠRIBAR, L. (1975): Jurski skladi v Severnih Karavankah (The Jurassic Beds in the North Karavanke Mts).- Geologija, 18, 88-97, Ljubljana.
- PAMIĆ, J. (1993): Eoalpine to Neoalpine magmatic and metamorphic processes in the northwestern Vardar Zone, the easternmost Periadriatic Zone and the southwestern Panonian Basin.- Tectonophysics, 226, 503-518, Amsterdam.
- PLENIČAR, M. (1960): Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem.- Geologija, 6, 22-145, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1963): Kaprinide in podrod Radiolitella (Rudistae) v krednih skladih jugozahodne Slovenije.- Razpr. SAZU, 4, 559-587, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. & PREMRU, U. (1977): Osnovna geološka karta 1:100.000. Tolmač za list Novo mesto.- Zvez.geol.zav., 1-61, Beograd.
- POLŠAK, A. (1965): Stratigrafija jurskih i krednih naslaga Centralne Istre.- Geol. vjesnik, 18/1, 85-137, Zagreb.
- RAKOVEC, I. (1956): Pregled tektonske zgradbe Slovenije.- Prvi jugoslovanski kongres, predavanja in poročila, 73-83, Ljubljana.
- RAMOVŠ, A. (1978): Das Paläozoikum in Slowenien.- Ergebnisse der Österreich. IGCP bis 1976., Springer-Verlag (Sonderdruck), 241-249, Wien.
- RAMOVŠ, A. (1989): Stratigraphic correlation forms of the Yugoslav Palaeozoic.- Rend. Soc. Geol. It., 12, 359-383, Roma.
- SCAHLBERT, S. (1975): Radiometrische Altersdaten von Instrusivgesteinen im Raum Eisenkappel (Karawanken, Kärnten).- Verh. Geol. B. A., 4, 301-304, Wien.
- SIKOŠEK, B. (1971): Tolmač Geološke karte SFRJ Jugoslavije 1:500.000.- Zvezni Geol. zavod., 1-56, Beograd.
- 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. Hung., 36/3, 315-330, Budapest.



Stanje i zadaci hidrogeologije i geotermike Bosne i Hercegovine

Neven MIOŠIĆ

Ključne riječi: podzemne vode, vodoopskrba, zaštita voda, multidisciplinarna istraživanja, mineralne, termalne i termomineralne vode, indikacije geotermalne potencijalnosti, hidrogeotermalni potencijali i resursi

Sažetak

Niska razina istraženosti, uz postojanje obilnih vodonosnika, stavljuju pred hidrogeologiju brojne zadatke, imajući u vidu da je optimalno rješavanje vodoopskrbe pučanstva temeljeno na uporabi podzemnih voda.

Istraživanje mineralnih, termalnih i termomineralnih voda i geotermalnih potencijala ima primjenu u širokom dijapazonu od zdravstva do energenta. Postojanje tih potencijala, a nedovoljno istraženih, opravdava provođenje multidisciplinarnih i faznih istraživanja zbog polivalentnog korištenja.

Posebno se postavlja zahtjev za sinhronizacijom geotermalnih istraživanja kao i istraživanja nafte i plina u kooperaciji s institucijama iz Republike Hrvatske.

UVOD

Hidrogeološka istraživanja primjenjuju se u raznim granama gospodarstva, obavezna su i nezamjenljivo prethode ali i prate programiranje, realizaciju, a posebno eksploataciju podzemnih voda. Geotermika također ima široku primjenu od balneološkog sredstva do energenta. Sada je potrebna kreacija adekvatnih programa za period mira, kako ne bismo bili vremenski zatećeni i kako bismo mogli odgovoriti budućim narastajućim potrebama za navedenim obnovljivim resursima.

U ovom radu prikazana su samo dva segmenta hidrogeologije: podzemne pitke i mineralne, termalne i termomineralne vode, a iz geotermike hidrogeotermalni potencijali (MIOŠIĆ, 1994). Akcent je dat na fundamentalna i neposredno aplikativna istraživanja, koja će i u budućnosti predstavljati najvažnije zadatke hidrogeoloških i geotermalnih istraživanja.

Key words: Underground waters, Water supply, Water protection, Polydisciplinar researches, Mineral, thermal and thermomineral waters, Indications of geothermal potentiality, Hydrogeothermal potentials and resources

Abstract

A low level of investigation and at the same time the existence of abundant aquifers require from hydrogeology to solve numerous tasks, having in mind that the optimal public water supply is based on the use of groundwater.

The exploration of mineral, thermal and thermomineral water and geothermal potentials has a wide range of application, from health to energents. The existence of these potentials, that are insufficiently explored, requires a multidisciplinary and gradual research for their polyvalent utilisation.

Special request has been done in the synchronisation of geothermal and petroleum explorations and their co-operation with the institutions from the Republic of Croatia.

PODZEMNE PITKE VODE

Ocjena istraženosti

U BiH su dosad provedena slijedeća fundamentalna hidrogeološka istraživanja: izrada hidrogeološke karte 1:200.000 (MIOŠIĆ, 1978), tiskanje hidrogeološke karte 1:500.000 u sklopu iste karte ex Jugoslavije (KOMATINA et al., 1980), početak izrade Osnovne hidrogeološke karte 1:100.000, istraživanja bilance i režim podzemnih voda (SLIŠKOVIĆ & MIOŠIĆ, 1982; SLIŠKOVIĆ et al., 1985; SLIŠKOVIĆ, 1991), katastar vodnih objekata 1:50.000. Izvršena su i regionalna hidrogeološka istraživanja terena BiH.

Hidrogeološka istraživanja za vodoopskrbu vršena su na brojnim terenima BiH. Brojni su primjeri uspješnog istraživanja i zahvatanja podzemnih voda na onim područjima, gdje su izvršena sistematska i fazna istraživanja. Ima i slučajeva zahvatanje podzemnih voda "ad hoc", bez poznavanja geološko-hidrogeoloških elemenata te su tu i nezadovoljavajući rezultati, a brojni problemi su ostali neriješeni. Na brojnim lokacijama dobijene su veće izdašnosti od izvora, a za očekivanje je zahvatanje dodatnih količina voda

(JOSIPOVIĆ, 1974; KOMATINA, 1975).

U ravničarskim terenima zahvaćene su vode bušenim bunarima za većinu gradova i naselja, a na osnovu pretežno geofizičkih i hidrogeoloških istraživanja. Ove vode su ranjive s aspekta polucije, ali one i dalje predstavljaju praktično jedini resurs vodoopskrbe pučanstva. Problemi korištenja i zaštite ovih voda su uz tehničke vezani za njihovu prirodu (povećana mineralizacija, često obveznost deferizacije i demanganizacije, prečišćavanje zagadenih akumulacija, mogućnost umjetnog obogaćivanja izdani, zaštita akvifera i dr.).

Nepoznavanje hidrogeologije terena uvjetovalo je orijentaciju na zahvatavanje površinskih tokova ili izgradnju površinskih akumulacija za vodoopskrbu, što se pokazalo neuspješnim na više primjera ne samo u BiH, već i u ex Jugoslaviji.

Intenzivnim rastom naselja i gospodarskih objekata u krškom području, industrijalizacijom i kemizacijom krški akviferi se znatno zagadjuju, tako da izvori na hipsometrijski nižim horizontima postaju i najzagadeniji (IVANKOVIĆ & KOMATINA, 1976; MIKULEC & TRUMIĆ, 1969).

U novije vrijeme masovna izgradnja malih kaptaža i vodovoda bez stručnih intervencija dovodi do pretjerane parcijalizacije, koja ne osigurava trajnije rješenje vodoopskrbe, ne omogućava kontrolu ni kondicioniranje voda pa ni dovođenje kemijski i bakteriološki ispravne vode do konzumenata. Težnja pak za regionalnim vodovodima često je posljedicā nedovoljnog poznavanja hidrogeologije.

Zadaci u idućem periodu

Intenzivan razvoj prati stalno povećanje potrošnje površinskih i podzemnih voda. Podzemne vode će i u buduće biti osnovni resurs vodoopskrbe pučanstva, te ih je potrebno zahvatiti gdje god je to tehnički moguće a ekonomski opravdano (SLIŠKOVIĆ, 1986).

Budući da je problematika složena, ona zahtijeva timski-multidisciplinarni rad i fazni pristup pri istraživanju i eksploataciji voda uz angažiranje geologa, hidrogeologa, geofizičara, hidrologa, kemičara, tehnologa i ekologa.

Važniji zadaci istraživanja su (SLIŠKOVIĆ, 1986):

Krško-pukotinske sredine:

- istraživanje obogaćivanja akumulacija podzemnih voda, posebno u minimalnim hidrološkim uvjetima izgradnjom manjih brana i drugih rješenja,
- istraživanje voda ispod lokalnih gravitaciono-erodionih baza,
- izučavanje reguliranja neravnomjernog otjecanja preko ponora i izvora,
- istraživanje i zahvatavanje voda, gdje nema izvora i ispod razine toka.

Intergranularne sredine:

- odabiranje optimalne konstrukcije, filtera, zasipa, razrade, sanacije i režima eksploatacije uz očuvanje kvaliteta voda i sprječavanje zagadenja akvifera,

- istraživanje dubljih arteških horizonata termalnih voda.

Krško-pukotinske i intergranularne sredine:

- projektiranje višenamjenskog korištenja voda (male hidroelektrane),
- prognoza hidrodinamičkog i hidrokemijskog režima s rješavanjem odnosa površinskih i podzemnih voda i utvrđivanjem mjera zaštite akvifera,
- revidiranje dosadašnjih rješenja vodoopskrbe iz površinskih akumulacija i direktnih zahvatavanja površinskih tokova, a naročito projekte regionalne vodoopskrbe.

MINERALNE, TERMALNE I TERMOMINERALNE VODE

Ocjena istraženosti

Brojni istraživači, počev od 1890. god. (KATZER, 1919; JOSIPOVIĆ, 1971; MIOŠIĆ, 1982) zaslužni su za pronalaženje, izučavanje i privodenje eksploataciji brojnih ležišta podzemnih voda u BiH. Urađena je i tiskana karta ovih voda, 1:500.000 u sklopu karte ex Jugoslavije.

Posljednjih 20-ak godina intenzivirana su kompleksna i fazna istraživanja više ležišta voda, koja su rezultirala dobrom rezultatima. Na 35 ležišta su dobijene 20-200 puta veće izdašnosti od izvora u okolišu, na 6 nalazišta su dobijene više temperature od izvora, na 11 lokacija su zahvaćene vode gdje nije bilo izvora. Ovo je urađeno bušenjem do oko 500 m dubine. Urađeni su suvremeni objekti korištenja voda na 15 lokacija, a na više mjesta mogu se proširiti postojeći kapaciteti i projektirati novi objekti eksploatacije.

Brojne vode su verificirane i atestirane; na 13 ležišta su verificirani elaborati o rezervama i kvalitetu, 25 ležišta je djelomično istraženo, a pronadeno je 15 dotad nepoznatih.

Ovi značajni obnovljivi resursi se mogu koristiti u raznim gospodarskim djelatnostima, a imaju i pozitivan ekološki aspekt. U BiH postoje tipovi veoma rijetkih efektivnih voda, što također opravdava buduća istraživanja.

Zadaci u idućem periodu

Budući da je korištenje voda usko povezano sa stupnjem njihove istraženosti, to samo poznavajući kompleksno sve značajke voda, možemo odrediti optimalni režim korištenja i polivalentnu aplikaciju. Od 1000 registriranih pojava cca 500 je nedovoljno istraženo, a 250 potpuno neistraženo.

Važniji zadaci studijskih izučavanja su:

- upoznavanje fizikalno-kemijskih i hidrogeoloških parametara i njihovih fluktuacija u vremenu,
- sistematsko istraživanje ležišta u eksploataciji i racionalizacija njihovog korištenja,

- izučavanje genetskih elemenata stijena, voda, plinova i taložina, te prihranjivanja, cirkulacije i pražnjenja, geometrije akvifera, miješanja topnih i hladnih voda, te odnosi površinskih i običnih podzemnih s predmetnim vodama,

- rajoniranje terena i određivanje prioriteta istraživanja.

Zadaci fundamentalnih istraživanja su:

- izrada karte mineralnih, termalnih i termomineralnih voda,
- bilansiranje rezervi voda,
- indikacije postojanja ležišta voda.

Regionalna istraživanja bi obuhvatila razne vrste voda po oblastima, a detaljna zahvatanje gospodarski značajnih ležišta voda.

HIDROGEOTERMALNI POTENCIJALI

Ocjena istraženosti

Fundamentalna geotermalna istraživanja započeta su 1980. god. izradom trogodišnje studije, koja je na osnovu multidisciplinarnih izučavanja dala geotermalnu sliku BiH; na osnovu ovog publicirana je prva monografija u BiH o geotermalnoj energiji (ČIĆIĆ & MIOŠIĆ, 1986).

U 1989. god. uradena je parcijalna geotermalna karta BiH 1:200.000, u 1992. g. tiskana je karta (MIOŠIĆ, 1987) u sklopu Geotermalnog Atlasa Europe (HURTIG et al., 1992).

Regionalna istraživanja obuhvatila su dio Bosanske Krajine (MIOŠIĆ et al., 1983), region Banja Luke (MIOŠIĆ et al., 1985), Semberiju (MIOŠIĆ et al., 1987), područje Brčkog (MIOŠIĆ, 1988) i dio sprečanske rasjedne zone. U Bos. Krajini na 5000 km² utvrđene su geotermalne značajke, a u regionu Banja Luke projektirane su 3 geotermalne bušotine, dubine po 2000 m u trima raznim geotermalnim strukturama, koje su značajne i u geologiji, geofizici, seismologiji i hidrogeologiji. U Semberiji je izbušena (nedovršena) bušotina Dv-1-Dvorovi, dubine 1500 m, koja s bušotinom S-1 predstavlja produkciono-reinjekcionalni doublet, i izredena dokumentacija bušotina Bij-2 i Bij-3, 2800 i 2000 m dubine, koje bi služile za toplifikaciju Bijeljine. U regionu Brčkog projektirane su tri geotermalne bušotine pojedinačne dubine oko 2000 m. U sprečanskoj zoni istraživanja su značajna s fundamentalnog geološkog i naftnog aspekta zbog rješavanja otvorenih pitanja o debljinu, sastavu i značajkama centralnog oljitskog kompleksa.

Indikativni direktni kvantificirani pokazatelji geotermalne potencijalnosti BiH su: najtemperiranija bušotina je Do-1-Domaljevac s 96°C i Q=25 l/s, snage 9 MW-term., najviša mjerena nestacionirana temperatura na najvećoj dubini je na Br-1-Brnik i iznosi 177°C na dubini 3913 m, maksimalni temperaturni gradijent je na Do-1 za dubinu 1275 m je 64°C/km, maksimalni toplinski tok na ovoj bušotini je 122 mW/m², na 80-ak lokacija može se koristiti 150 MW-term. bez dodatnih radova.

Zadaci u idućem periodu

Osnovni podaci geotermike u BiH manifestiraju se u niskom stupnju istraženosti, malom broju i neravnomjernoj distribuciji buština, termički podaci su malobrojni i nestabilizirani. Ipak, dosadašnji rezultati istraživanja ukazuju na postojanje eksplorabilnih hidrogeotermalnih resursa i opravdanost njihovog istraživanja i korištenja (BALL et al., 1979).

Daljnji argument istraživanja je: u zadnjih 30-tak godina bušeno je u Hrvatskoj oko 100.000 m³ (JELIĆ, 1979) godišnje, a u BiH svega 500 m³ godišnje. Analognost geološkog sastava Hrvatske i BiH i regionalna kontinualnost stijena jasno ukazuju, da i u BiH ima ugljikovodika i hidrogeotermi slično Hrvatskoj.

Može se zaključiti da BiH predstavlja u buduće veliko polje rada na naftno-geološkim i geotermalnim istraživanjima.

Važniji zadaci studijskih izučavanja su:

- odnosi geotermike i tangentnih joj znanstvenih disciplina,
- prognoza geotermalnih parametara primjenom geomimetrije, geobarometrije i geofugasimetrije i izučavanje dubina descendencije, cirkulacije i zagrijavanja voda,
- izučavanje konkretnih hidrogeotermalnih konvencivnih sistema; topli izvori, cijevni, čelijski i rasjedni sistemi,
- prepoznavanje miješanja različitih voda raznim metodama,
- izučavanje bušotinskih sistema produkcije i reinjekcije,
- modeliranje konvektivnog i masenog transfera hidrogeotermalnih sistema,
- konceptualni i numerički modeli i eksploracioni efekti korištenja.

Zadaci fundamentalnih istraživanja su:

- izrada geotermalne karte Bosne i Hercegovine,
- izrada bilance potencijala, resursa i rezervi geotermalne energije,
- rajonizacija zona, ležišta i prioriteta istraživanja i korištenja.

Regionalna istraživanja bi obuhvatila potencijalne oblasti, a detaljna istraživanja ona ležišta hidrogeotermi, koja su dokazana bušenjem.

MJERE U CILJU REALIZACIJE PROGRAMIRANIH ISTRAŽIVANJA

U cilju postizanja optimalnih rezultata programiranih istraživanja nužno je uraditi i slijedeće:

- formirati hidrogeološki i geotermalni sistem u sklopu geološkog informacionog sistema na razini zemlje,
- istraživati i koristiti podzemne vode za vodoopskrbu, gdjegod je to stročno i ekonomski opravdano,

- povezati istraživanja za vodoopskrbu s hidrogeološkim istraživanjima u drugim granama gospodarstva,
- intenzivirati istraživanja naftne i plina i hidrogeotermalnih energetskih potencijala i sinkronizirati ih međusobno,
- koristiti geotermalne resurse gdjegod je to tehnički moguće, a ekonomski opravdano, posebno na onim lokacijama gdje nisu potrebni novi istražni i eksploatacijski radovi,
- s institucijama iz Hrvatske koordinirati istraživanja i korištenje hidrogeotermi, naročito u projektiranju, izradi i eksploataciji energenata iz bušotina,
- formirati u Bosni i Hercegovini poduzeća za geofizička istraživanja, za istražna bušenja na mineralne sirovine, eksploatacijska bušenja na podzemne vode i naročito poduzeće za istraživanje naftne i plina.

LITERATURA

- BALL, I. et al. (1979): The national geothermal exploration technology program.- Geophysics, 44/10, Tulsa.
- ČIĆIĆ, S. & MIOŠIĆ, N. (1986): Geotermalna energija Bosne i Hercegovine.- Geoinženjering, 205p., Sarajevo.
- HURTIG, E. et al. (1992): Geothermal Atlas of Europe.- Herman Hook Verlags GmbH, Gotha.
- IVANKOVIĆ, T. & KOMATINA, M. (1976): Hidrogeološke metode procjene podzemne akumulacije.- Zbornik jugoslavensko-američkog simpozija "Hidrografija i vodno bogatstvo krša", Dubrovnik - Sarajevo.
- JELIĆ, K. (1979): Termičke osobine sedimentacionog kompleksa jugozapadnog dijela Panonskog bazena.- Disertacija, Sveučilište u Zagrebu.
- JOSIPOVIĆ, J. (1971): Mineralne, termalne i termomineralne vode na teritoriji Bosne i Hercegovine.- Geološki glasnik, 15, Sarajevo.
- JOSIPOVIĆ, J. (1974): Osnovne hidrogeološke odlike teritorija BiH e.- Zbornik radova 3. jugoslavenskog simpozija o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Opatija.
- KATZER, F. (1919): K poznавању mineralних врела Bosne.- Sarajevo
- KOMATINA, M. (1975): Hidrogeološke odlike slivova centralnodinaridskog karsta.- Geozavod, 138p., Beograd
- KOMATINA, M., IVKOVIĆ, A., MIOŠIĆ, N. et al. (1980): Hidrogeološka karta SFR Jugoslavije, 1:500.000.- Savezni geološki zavod - Beograd.
- MIKULEC, S. & TRUMIĆ, A. (1969): Akumuliranje vode na kršu i problemi njenog optimalnog iskorištavanja.- Krš Jugoslavije, 6, 279-301, Zagreb.
- MIOŠIĆ, N. (1978): Tumač i Pregledna hidrogeološka karta, 1:200.000 Bosne i Hercegovine.- FSD Geoinstitut-Sarajevo.
- MIOŠIĆ, N. (1982): Genetska kategorizacija mineralnih, termalnih i termomineralnih voda Bosne i Hercegovine.- Geološki glasnik, 27, Sarajevo.
- MIOŠIĆ, N. (1987): Geothermal Atlas of Europe - Bosnia and Herzegovina.- FSD Geoinstitut - Sarajevo.
- MIOŠIĆ, N. (1988): Istraživanja geotermalne energije regiona Brčkog.- Studija, FSD Rudarsko-geološki fakultet - Tuzla.
- MIOŠIĆ, N. (1994): Problematika hidrogeoloških istraživanja Bosne i Hercegovine.- FSD Zavod za geološka istraživanja, 62p., Sarajevo.
- MIOŠIĆ, N., HRUSTANPAŠIĆ, D., LUTVIĆ, A. & KRUŠIĆ, I. (1983): Izvještaj regionalnih istraživanja geotermalne energije Bosanske Krajine za 1982/83. godinu.- Studija, FSD Geoinstitut - Sarajevo.
- MIOŠIĆ, N., HRUSTANPAŠIĆ, D. & KRUŠIĆ, I. (1985): Izvještaj o rezultatima istraživanja geotermalne energije Banjalučkog regiona za 1984/85. godinu.- FSD Geoinstitut - Sarajevo.
- MIOŠIĆ, N., MOIĆEVIĆ, M. et al. (1987): Elaborat regionalnih istraživanja geotermalne energije Semberije.- FSD Geoinstitut - Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1986a): Izučavanje bilansa i režima podzemnih voda.- U: Projekcija dugoročnog razvoja geoloških istraživanja Bosne i Hercegovine, Geoinženjering, Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1986b): Hidrogeološka istraživanja za vodosnabdijevanje.- U: Projekcija dugoročnog razvoja geoloških istraživanja Bosne i Hercegovine, Geoinženjering, Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1991): Hidrogeološki odnosi u čvrstim stijenama Bosne i Hercegovine.- Doktorska disertacija, 205p., Sveučilište u Zagrebu.
- SLIŠKOVIĆ, I. & MIOŠIĆ, N. (1982): Bilans podzemnih voda Bosne i Hercegovine.- FSD Geoinstitut - Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, I., PLAVKIĆ, J. & MIOŠIĆ, N. (1985): Bilans podzemnih voda Bosne i Hercegovine.- FSD Geoinstitut - Sarajevo.



Upper Cretaceous Storm-Influenced Limestones of Ist Island (Adriatic Sea, Croatia)

Alan MORO, Ervin MRINJEK, Ivan GUŠIĆ & Vladimir JELASKA

Key words: Storm-influenced limestones, Carbonate ramp, Rudists, Pelagic organisms, Muddy matrix, Adriatic carbonate platform, Croatia

Abstract

In the Upper Cretaceous (Senonian) 88 m thick limestones, located in the NW part of the Ist Island, there is a vertical rhythmic repetition of three limestone types: (1) rudist floatstone with pelagic organisms, showing sharp erosional base and fining-upward gradation, (2) wackestone-packstone with small rudist fragments, calcispheres, pithonellas and planktonic foraminifers, showing planar and low-angle lamination (hummocky cross-stratification), and (3) mudstone-wackestone with abundant planktonic foraminifers (such as *Marginotruncana*, *Dicarinella*, *Whiteinella* and *Hedbergella*). Structural characteristics indicate storm-influenced depositional environment, basin.

Ist Island is located in the northwestern part of the Dalmatia archipelago, Croatia.

This study is based on a logged section from the NW part (cape Kok) of the Island of Ist. This area belongs to the Adriatic carbonate platform (GUŠIĆ & JELASKA, 1990), which extends along the western shore of the Adriatic Sea from the Soča River in the north-west to the present day Montenegrin-Albanian border.

KAPOVIĆ et al. (1968) determined the depositional environment as open shelf (bending zone). MAMUŽIĆ (1970) and MAMUŽIĆ & SOKAĆ (1973) determined the age range of the investigated beds as Senonian.

In the vertical succession of the logged section (Fig. 1), there is a rhythmic repetition of three limestone types: (1) rudist floatstone with pelagic organisms, (2) wackestone-packstone with small rudist fragments and planktonic organisms, and (3) mudstone-wackestone with abundant planktonic foraminifers. In the upper part of the profile slumping occurs.

(1) Rudist floatstones consist of fragments and whole right valves of radiolitids floating in the muddy matrix. Grading of the radiolitid valves and their fragments is frequently present. Microfossil particles in the matrix are presented with pelagic organisms. Lower beding planes are sharp and erosional.

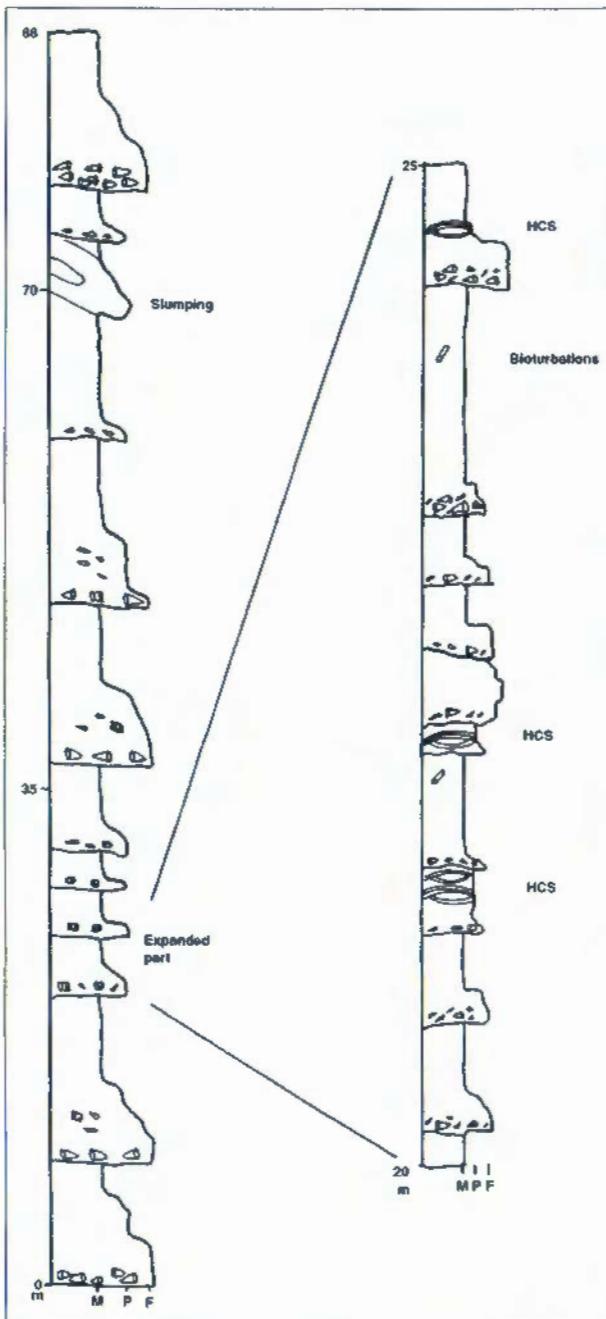


Fig. 1. Section from the NW part (cape Kok) of the Ist Island. Thickness of the beds are schematically shown (not to scale). The expanded part (right) shows typical details of the unit.

(2) Wackestones-packstones consist of small rudist fragments, calcispheres, pithonellas and pelagic foraminifers. Structural characteristics include planar and low-angle lamination (hummocky cross-stratification) with wave length 1.5-2.7 m and thickness 5-8 cm.

(3) In mudstones-wackestones most abundant fossil remains are calcispheres, pithonellas and pelagic foraminifers. Bioturbations also occur.

Wackestones-packstones and mudstones-wackestones contain a rich microfossil assemblage which consists of planctonic foraminiferae such as *Marginotruncana* sp., *Dicarinella* sp., *Whitenella* sp. and *Hedbergella* sp. In addition there are *Calcisphaerulla innomiaata* BONET and *Pithonella ovalis* (KAUFMANN). In rudist floatstones, beside broken and whole right valves of radiolitids, calcispheres and pithonellas are most abundant fossil remains.

According to the structural and textural characteristics, these deposits are determined as distal storm, mud dominated and one-event beds (AIGNER, 1982; TUCKER, 1990). All characteristics mentioned above indicate carbonate ramp depositional environment.

LITERATURE:

- AIGNER, T. (1982): Calcareous Tempestites: Storm-dominated Stratification in Upper Muschelkalk Limestones (Middle Trias, SW-Germany).- In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. (eds.): Cyclic and Event Stratification, 180-198, Springer-Verlag, Berlin.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafska serija "otok Ist".- Fond struč. dok., Industroprojekt, Zagreb.
- KAPOVIĆ, B., AMŠEL, V., ODAK, D., OREŠKI, E. & KUŽINA, A. (1968): Stratigrafska serija "otok Ist".- Fond struč. dok., Industroprojekt, Zagreb.
- MAMUŽIĆ, P. (1970): Osnovna geološka karta SFRJ, list Molat, 1:100000, L33-138 (Basic Geological map of SFRY: Sheet Molat L33-138).- Institut za geološka istraž., Zagreb (1963-1969), Savezni geološki zavod, Beograd.
- MAMUŽIĆ, P. & SOKAČ, B. (1973): Osnovna geološka karta 1:100000. Tumač za listove Silba i Molat L33-126, L33-138 (Explanatory notes for Silba and Molat sheets). - Institut za geološka istraž., Zagreb, 44p., Savezni geološki zavod, Beograd.
- TUCKER, M. & WRIGHT, V.P. (1990): Carbonate sedimentology.- Blackwell scientific publications, Oxford, 482p.

Novija hidrogeološka i geofizička istraživanja dolomitnih vodonosnika Ivanšćice, Strahinjšćice i Kuna gore

Vinko MRAZ¹ & Tomo NOVOSEL²

Ključne riječi: dolomitni vodonosnici, podzemne vode, Hrvatsko zagorje

Key words: Dolomite aquifers, Groundwater, Hrvatsko Zagorje

Sažetak

Vodoopskrba sjeverozapadnog dijela Hrvatskog zagorja zasniva se na zahvatima podzemnih voda karbonatnih masiva Kuna gore, Strahinjšćice i Ivanšćice (Pregrada, Đurmanec, Krapina, Radoboj, Lober, Belski dol, Belečka Selnica).

Karbonatne stijene - dolomiti i dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijas-a, tijekom geološke prošlosti bile su podvrgnute opetovanju tektonskoj aktivnosti. Osnovna hidrogeološka značajka im je sekundarna, pukotinska poroznost, kao posljedica intenzivne tektonike. Razlomljenost i okršenost stijena uvjetuje propusnost, omogućava infiltraciju i formiranje podzemnih vodonosnika.

Nedostatak kvalitetne pitke vode u ovom dijelu Hrvatskog zagorja potaknuo je hidrogeološka i geofizička istraživanja dijelova karbonatnih masiva Ivanšćice, Strahinjšćice i Kuna gore sa ciljem zahvaćanja dodatnih količina podzemnih voda.

Abstract

The water supply of the northwestern part of Hrvatsko Zagorje is based on the intake of groundwater from the carbonate massifs of Kuna Gora, Strahinjšćica and Ivanšćica (Pregrada, Đurmanec, Krapina, Radoboj, Lober, Beljski dol, Belečka Selnica).

Carbonate rocks - Middle and Upper Triassic dolomites and dolomitic breccias - have been submitted to repeated tectonic activity throughout their geological history. Basic hydrogeological feature of these rocks is secondary, fissure porosity resulting from intensive tectonics. Faults and joints and the karstification of rocks condition their permeability, enable infiltration and formation of groundwater aquifers.

The lack of high quality potable water in this part of Hrvatsko Zagorje spurred hydrogeological and geophysical investigations in carbonate massifs of Ivanšćica, Strahinjšćica and Kuna Gora with the objective to provide the intake of additional groundwater quantities.

UVOD

Stanje vodoopskrbe u sjeverozapadnom dijelu Hrvatskog zagorja već duže vrijeme ne zadovoljava potrebe ovog dijela krapinsko-zagorske županije. Izravna nostašica pitke vode (poglavito u ljetnim mjesecima) osjeća se na krajnjem sjeverozapadnom dijelu županije, odnosno području Huma na Sutli (voda se "uvozi" iz susjedne Republike Slovenije), te na širem području Krapine i Đurmanca.

Koncepcija dugoročnog rješenja vodoopskrbe ovog dijela Hrvatskog zagorja iz savskog aluviona (crpilište "Šibice") još nije realizirana - postojeći regionalni cjevvod doseže tek do Zaboka. U međuvremenu, nedostatak kvalitetne pitke vode sve je veći, a da nisu iskoristeni vodoopskrbni potencijali zagorske regije. Pri tome se prvenstveno ima na umu mogućnosti novih zahvata podzemnih voda iz karbonatnih masiva Ivanšćice, Strahinjšćice i Kuna gore, na kojima se temelji dosadašnja vodoopskrba.

Glavni postojeći vodoopskrbni objekti zahvatili su dio podzemnih i površinskih voda dolomitnih vodonosnika Kuna gore, Strahinjšćice i Ivanšćice, uglavnom kaptažama značajnih izvora, a dijelom bušenim zdencima. Spomenut ćemo samo najznačajnije zahvate: Kuna gora (Pregrada) zdenac u eksplotaciji s oko 10 l/s; Strahinjšćica (Podgora, Strahinje, Radoboj) dijelom zdenci, a dijelom kaptaže izvora, ukupno 45-50 l/s; Ivanšćica, s najznačajnijim zahvatom Zagorskog vodovoda sjeverno od Lobera, kojeg je izdašnost preko 110-120 l/s (od čega je oko 50% zahvat površinskih voda, a 50% kaptaže izvora), novi zahvat izvora Belečka Selnica s oko 60 l/s (radovi priključenja na Zagorski vodovod su u tijeku), te kaptaže Belski Dol, s izdašnošću oko 60-65 l/s.

Nedostatak kvalitetne pitke vode u sjeverozapadnom dijelu Hrvatskog zagorja potaknuo je hidrogeološka i geofizička istraživanja dijelova karbonatnih masiva Kuna gore, Strahinjšćice i Ivanšćice, sa ciljem zahvaćanja dodatnih količina podzemne vode.

¹Institute of Geology, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Croatia.

²Croatian Civil Engineering Institute, Rakušina 1, 10000 Zagreb, Croatia,

Istražni radovi koji se provode od strane Instituta za geološka istraživanja i Instituta građevinarstva Hrvatske još su u tijeku, te se ovim prikazom daje sažetak do sada postignutih rezultata.

HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Karbonatne stijene Ivanščice, Strahinjščice i Kuna gore - pretežno dolomiti i dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasu tijekom geološke evolucije bile su podvrgnute intenzivnoj tektonskoj aktivnosti. Osnovna im je hidrogeološka značajka sekundarna, pukotinska poroznost, koja u zonama jače razlomljenosti i okršenosti omogućava infiltraciju površinskih voda u podzemlje i formiranje vodonosnika.

Geološki odnosi (litostratigrafski i tektonski) trijaskih dolomita sa starijim klastičnim i piroklastičnim (perm-trijas), te jursko-krednim i tercijarnim klastičnim i vulkanogeno-sedimentnim naslagama uvjetovali su značajna istjecanja podzemnih voda iz dolomitnih vodonosnika, poglavito u masivima Ivanščice i Strahinjščice.

KUNA GORA

Ranija istraživanja usmjerena na jugoistočni dio Kuna gore, rezultirala su izvedbom eksploracijskog zdenca za potrebe vodoopskrbe Pregrade i strukturno-prijezometarske bušotine (POLLAK, 1991).

Spomenutim radovima zahvaćen je dio rezervi podzemnih voda trijaskog dolomitnog masiva južnog dijela Kuna gore.

Istražni radovi bili su usmjereni na sjeverni i sjeverozapadni dio Kuna gore u području Kostela. Trijaski dolomitni greben na zapadnoj strani prekinut je poprečnim (sjever-jug) rasjedom, duž kojega je spušteno temeljno gorje i prekriveno sedimentima srednjemiocenske transgresije. Ovaj tortonski plato izgraduju grebenski vapnenci, breče i konglomerati u baznom dijelu, na koje naliježu pješčenjaci i laporji.

Prepostavljajući zalihevanje trijaskih dolomita ispod tortonskih naslaga, izvršeno je geoelektrično sondiranje. Dobiveni rezultati ukazali su na prostiranje dolomita na dubini od 110-130 m ispod miocenskih klastičnih sedimenata. Istražno-eksploracijskom bušotinom Ko-1 dokazano je prostiranje trijaskog karbonatnog grebena ispod miocenskih naslaga - na dubini od 107 m ušlo se u dolomite, kroz koje se bušilo do dubine od 173 m. Razina podzemne vode izmjerena prije provedenog testiranja bila je na dubini od 75 m, a pokusnim crpljenjem postignuta je izdašnost od 6-8 l/s. Temperatura podzemne vode je oko 15°C.

STRAHINJŠČICA

Organizirana vodoopskrba Krapine započela je 1906. godine, kada je na južnim padinama Strahinjščice zahvaćen dio vode izvorišta Strahinje i gravitacijskim cjevovodom doveden do grada.

Tijekom 1979/80. godine započeto je sustavno hidrogeološko istraživanje šireg područja Krapine (ČAKARUN et al., 1986). Istraživanjima je ustvrđeno da najvažnije vodonosnike na području Brezovice i Strahinjščice čine dolomiti i dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasu. Na temelju hidrogeoloških istraživanja za potrebe novih vodozahvata, izdvojen je kao najpovoljniji lokalitet Podgorje, gdje su bušena dva istražno-eksploracijska zdenca - jedan za vodoopskrbu Krapine, a drugi za potrebe tekstilne industrije Krateks (MRAZ, 1984). Od tada do danas traje intenzivna eksploracija podzemnih voda crpilišta u Podgori, uz korištenje ranije izvedenih kaptaža izvora.

Za potrebe vodoopskrbe Radoboja na lokaciji kaptaže "Beli Zdenci" izbušena su dva istražno-eksploracijska zdenca u trijaskim dolomitima i dolomitnim brečama (NOVOSEL, 1992).

Tijekom 1994/95 pristupilo se detaljnim hidrogeološkim i geofizičkim istražnim radovima novih potencijalnih lokacija zahvata podzemnih voda južnih obronaka Strahinjščice, na potezu Strahinje - Kamenečki, istočno od postojećeg crpilišta Podgora.

Na lokalitetu Kamenečki - Grobotek, pretpostavljeni su trijaski dolomiti na dubini 60-80 m ispod klastičnih egerskih (oligomiocenskih) naslaga.

Istražnom buštinom Kr-1 dokazano je prostiranje dolomitnog vodonosnika ispod oligomiocenskih sedimenata: do 61 m bušeno je kroz pješčenjake i lapore; ispod, do dubine od 70 m slijedi kontaktna zona - breča i konglomerat izgrađeni od krša i valutica dolomita, kvarca i tufova, s tanjim proslojcima i ispunama crvenosmeđe gline; dalje do dna bušotine (115 m) je dolomit i dolomitna tektonska breča, s intervalima jače ili slabije razlomljenosti.

Prvi interval jače razlomljenosti i početak izljevanja arteške vode iz bušotine je između 70-80 m, neposredno ispod kontakta s brečama i konglomeratima; druga, izrazito razlomljena i okršena zona je u dubini od 102-108 m, iz koje je znatno (za oko 10 l/s) pojačan dotok podzemne vode.

Po završetku bušaćih radova izmjerena je količina samoistjecanja iz bušotine od 18-19 l/s uz manometarski pritisak iznad razine terena od približno 2 bara. Temperatura podzemne vode mjerena na ušću bušotine iznosila je 10,5-11,0°C.

IVANŠČICA

Za potrebe vodoopskrbnog sustava Zagorskog vodovoda, do uređaja za kondicioniranje "Lobor" dovedi se dio vode cjevovodom iz zahvata izvora (kaptaže "Šumeci", "Škrabotnik" i "Koprivnjak"). Drugi dio vode ulazi u uređaj za pročišćavanje površinskim vodotocima Reka i Rački potok. Ukupno u sustav ulazi oko 110-120 l/s, od čega približno 50% cjevovodom iz kaptaže, a 50% površinskim vodotocima. Površinski zahvati podložni su znatnim kolebanjima protoka tijekom godine, i zamudom nailaskom većih vodnih valova, te je u tom slučaju potrebno isključiti dovod površinske vode iz razvodne mreže.

Hidrogeološki odnosi kao posljedica litološkog sastava i strukturno-tektonskog sklopa karbonatnog masiva Skalovke, uvjetovali su značajna dreniranja podzemnih voda u duboko usječenim jarugama ovog dijela Ivanšćice. Tektonski razlomljeni, vodopropusni dolomiti i dolomitne breče omogućuju infiltraciju oborinske vode u podzemlje i formiranje vodonosnika s prostranim područjem napajanja u zaledu, te zonama dreniranja u tektonski uvjetovanim, dubokim jarugama.

Hidrogeološku funkciju lokalnih barijera unutar karbonatnog masiva mogu imati slabo propusni do nepropusni trijaski klastiti, napose pak (možda funkciju "potpune" hidrogeološke barijere?) pojas krednog vulkanogeno-sedimentnog kompleksa južno od crpne stanice Zagorskog vodovoda.

Postojećim zahvatima, smatramo, iskorišten je dio rezervi podzemnih voda ovog područja. Prepostavili smo, da se u području karbonatnog masiva Skalovke mogu naći dodatne količine podzemne vode, eksploatacijom kojih će se povećati izdašnost zahvata i poboljšati kvaliteta vode sustava Zagorskog vodovoda.

Na temelju rezultata provedenih hidrogeoloških i geofizičkih istraživanja, predložena je lokacija kraj uredaja za pročišćavanje "Lobor" kao slijedeći korak u istraživanju dolomitnih vodonosnika, odnosno mjesto lociranja istražne bušotine. Interval intenzivno razlomljenog vodonosnog dolomita pretpostavljen je na dubini između 30 i 90 m, ispod plitkog površinskog pokrivača i tanke zone transgresivnih jursko-krednih vapnenaca.

Istražna bušotina Lo-1 ušla je ispod 1,5 m obrončnog i potočnog nanosa u tankouslojene, sive silificirane (jura-kreda) vapnence, do dubine od 7 m. Od 7 m do 9 m je kontaktna zona: vapneno-dolomitna breča, s tankim (centimetarskim) proslojcima sivozelene laporovite gline, ispod koje dubine se ušlo u svijetle, rekristalizirane dolomitne breče srednjeg do gornjeg trijasa. Bušotina je završena na dubini od 117 m, u kompaktnoj dolomitnoj breći i dolomitu. Tijekom bušenja na dubini od 14 m zabilježeno je prvo istjecanje podzemne vode, koje se napredovanjem bušotine postupno povećavalo: na dubini od 22 m - oko 4 l/s; na dubini od 25 m - oko 9 l/s (izrazito razlomljena vodonosna zona od 22-25 m); na dubini od 44 m - 13 do 15 l/s, i na 47 m oko 20 l/s (ponovo jače razlomljena, kavernozna zona). Dalje, do konačne dubine bušotine, dotok podzemne vode nije se znatnije povećavao. Po završetku bušenja i čišćenja, izmjerena je izdašnost samoistjecanja iz bušotine 23 l/s, uz manometarski pritisak od 2,3 bara i temperaturu vode od 12,4°C.

ZAKLJUČAK

Novija istraživanja dijelova gorskih karbonatnih masiva Ivanšćice, Strahinjčice i Kuna gore potvrdila su dosadašnje spoznaje i prepostavke o mogućnosti novih zahvata podzemnih voda dolomitnih vodonosnika u cilju poboljšanja vodoopskrbe ovog dijela Hrvatskog zagorja.

Karbonatni masivi Ivanšćice, Strahinjčice, Brezovice, Kuna gore, te na krajnjem sjeverozapadnom dijelu Hrvatskog zagorja Brezno gore i Koštruna, značajan su recipijent oborinskih voda u podzemlje. Njihova pukotinska poroznost omogućuje formiranje pličih i dubljih vodonosnika hladne i termalne vode. Spoznaja geneze, mehanizma obnavljanja i istjecanja, međusobnog odnosa dubokih (termalnih) i hladnih (pitkih) voda preduvjet je razumnog korištenja i gospodarenja ovim strateški značajnim rezervama podzemnih voda sjeverozapadnog dijela Hrvatske.

LITERATURA

- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1983): Osnovna geološka karta M 1:100.000. List Rogatec.- Karta i Tumač, Inst. geol. istr., Zagreb.
- ČAKARUN, I., MRAZ, V. & BABIĆ, Ž. (1986): Hidrogeološka podloga povećanju kapaciteta Vodovoda Krapina bušenim bunarima.- Geol. vjesnik, 39, 121-129, Zagreb.
- MRAZ, V. (1984): Hidrogeološki istražni radovi na području Krapine.- Inst. geol. istr., Zagreb.
- MRAZ, V. & NOVOSEL, T. (1993): Hidrogeološki i geofizički istražni radovi na širem području Huma na Sutli.- Inst. geol. istr., Zagreb.
- MRAZ, V., NOVOSEL, T. & BAGARIĆ, I. (1994): Analiza vodoopskrbnih radova na lokaciji Kostel.- Inst. geol. istr., Zagreb.
- MRAZ, V. & NOVOSEL, T. (1994): Hidrogeološki i geofizički istražni radovi na lokaciji "Dugi Jarek" - Golubovec.- Inst. geol. istr., Zagreb.
- NOVOSEL, T. (1992): Vodoistražni radovi Radoboj.- Inst. grad. Hrvatske, Zagreb.
- POLLAK, Z. (1991): Vodoistražni radovi Pregrada.- Inst. grad. Hrvatske, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, An., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. & ŠIMUNIĆ, Al. (1982): Osnovna geološka karta M 1:100.000. List Varaždin.- Karta i Tumač, Inst. geol. istr., Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, An. (1992): Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog zagorja.- Doktorska disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, Zagreb.



Granitno-metamorfni kompleksi i naftoplilonosnost savsko-dravskoga područja (sjeverna Hrvatska)

Jovan NAJDENOVSKI¹, Zvonimir HERNITZ² & Ljiljana DVORNIK³

Ključne riječi: granitno-metamorfni kompleksi, mezozoik, naftoplilonosnost, Panonski bazen, sjeverna Hrvatska

Sažetak

U savsko-dravskom području, a i šire u Panonskom bazenu podlogu tercijarnih naslaga čine uglavnom metamorfiti, ponegdje graniti i rijetko drugi intruzivi pretežito paleozojske starosti. Karbonatni sedimenti mezozoika dolaze podredeno. Ugljikovodici u tercijarnim naslagama, po dosadašnjim spoznajama, akumulirani su u predjelima sa starijom podlogom, a nerijetko se i nalaze u istoj. U granito-gnajsimu su naftna ležišta, a u škriljavcima plinska. S obzirom da su te stijene nosioci ugljikovodika zaslužuju posebnu pozornost u budućim istraživanjima.

Key words: Granite-metamorphic complex, Mesozoic, hydrocarbon accumulation, Pannonian basin, Northern Croatia

Abstract

The basement of Tertiary sediments in the area of Sava and Drava rivers and neighbouring parts of Pannonian basin is composed mostly of metamorphic rocks, occasionally of granites and sporadically of other intrusives that are predominantly of Palaeozoic age. Mesozoic carbonates are less abundant. In accordance to the present insight, the hydrocarbons are accumulated in Tertiary deposits overlying older basement and often in the basement itself. Oil-deposits are found in granite-gneisses and gas ones in schists. These hydrocarbon-prone reservoir rocks deserve special attention in future explorations.

1. UVOD

U savsko-dravskom području, slavonsko-srijemskoj, te dijelom u murskoj depresiji nalaze se gotovo sva otkrivena naftna i plinska polja na teritoriju Republike Hrvatske. Nekoliko se naftnih ležišta nalazi u granitima i gnajsimima - Šumečani, Bunjani, Deletovac, Privlaka, a plinskih u škriljavcima - Ilača, djelomice Molve, Kalinovac i Stari Gradac (VLAŠIĆ, 1994). Brojne su duboke bušotine nabušile podlogu tercijarnih naslaga, preko 400 istraživačkih i eksploracijskih. Samo je jedna probušila kvarcno-kloritno-sericitne škriljavce debljine 449 m, Tekić-1 u Požeškoj kotlini. Nakon toga ušla je u gnajs filonitnog tipa. Za njega se pretpostavlja starost u širokom rasponu od rifej-kambrija do krede. Rasprostranjenost granitno-metamorfognog kompleksa, ali i drugih pratećih stijena u podlozi tercijarnih naslaga također nije definitivno utvrđena, iako postoje objavljene karte za pojedina područja, odnosno karte depresija u elaboratima Naftaplina. Najpodrobnije je taj problem obradio PANDŽIĆ (1986).

Ovdje želimo iznijeti neka od dosadašnjih gledanja, te dati aproksimativne granice rasprostranjenosti granitno-metamorfognog kompleksa na osnovi bušotinskih i

geofizičkih podataka s naglaskom na daljnja naftogeološka istraživanja uz očekivanje mogućih otkrića novih naftno-plinskih polja (sl. 1).

2. POVIJESNI PREGLED

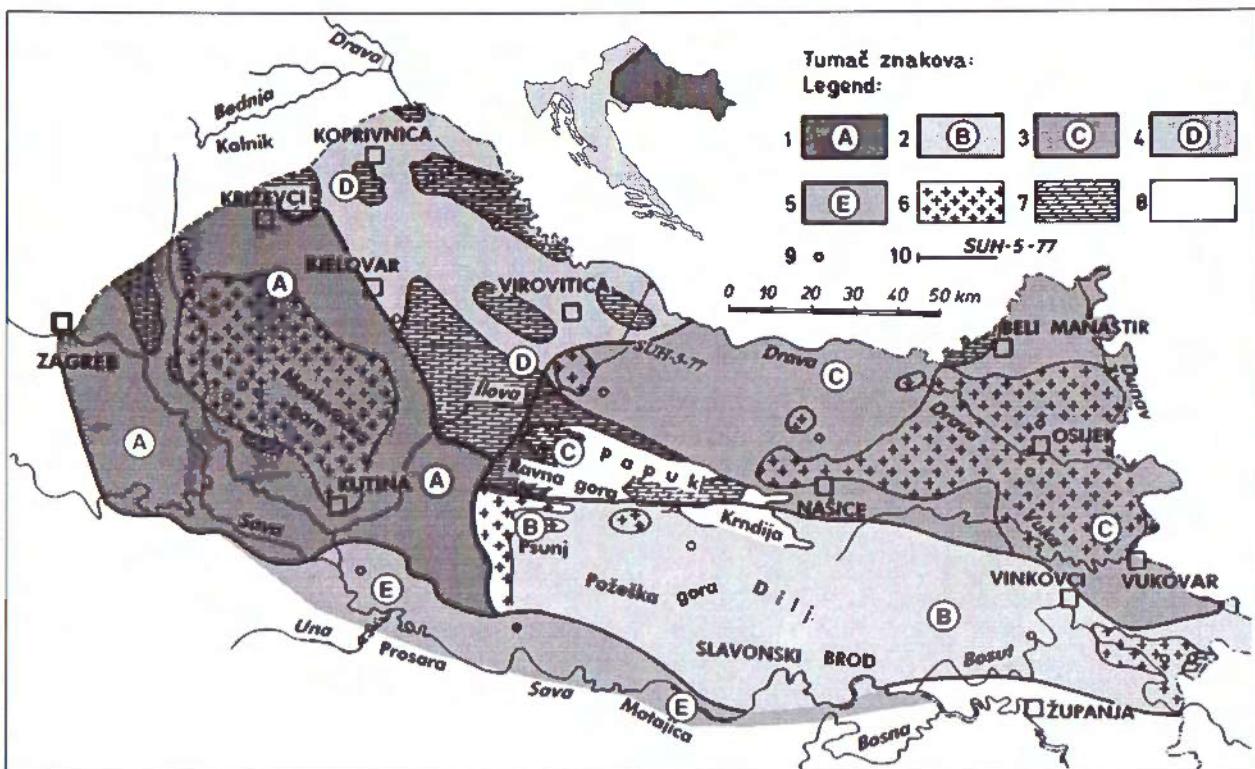
Granitno-gnajjni kompleks KOCH (1899) svrstava u arhaik, a JURKOVIĆ (1962) mu pridaje hercinskiju starost. Obojica autora zaključuju na temelju površinskih izdanaka. Međutim, za moslavačke granite i gnajse DELEON (1969) je na temelju izotopne analize dobio alpinsku starost.

Najdetaljnije je na istraživanju starosti tih stijena radio Pamić. U nizu radova PAMIĆ (1986, 1987, 1990) daje podatke o radioizotopnim mjeranjima na uzorcima s površine i jezgara iz dubokih bušotina. K-Ar metodom određena je alpska starost za granite, pegmatite i amfibolite Moslavačke gore i okolne stijene u podlozi tercijara. Navodi da se većina granitnih intruzija odigrala u vremenu matriht-paleocen, a dijelom na granici turon-senon. Na temelju radiometrijskih rezultata (PAMIĆ, 1990) izdvojene su dvije skupine stijena. Prva je alpska s granitno-migmatitno-metamorfnnim kompleksom Moslavačke gore, metamorfitima Molvi,

¹Lojenov prilaz 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

²Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.

³INA - Naftaplin, Šubičeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Pregledna geološka karta granitno-metamorfnih kompleksa i mezozojskih sedimenta (prema HERNITZ 1983; NAJDENOVSKI et al., 1983; PANDŽIĆ, 1986; PAMIĆ, 1990). Legenda: 1) moslavački kompleks; 2) psunjski kompleks; 3) papučki kompleks; 4) molvanski metamorfiti; 5) prosarsko-motajički kompleks; 6) graniti i gnajsi; 7) mezozojski sedimenti; 8) površinski izdanci; 9) bušotina; 10) seizmički profil.

Fig. 1 Geological map of granite-metamorphic complexes and Mesozoic sediments (after HERNITZ, 1983; NAJDENOVSKI et al., 1983; PANDŽIĆ, 1986; PAMIĆ, 1990). Legend: 1) Moslavina granite and metamorphic complex; 2) Psunj Mt. granite and metamorphic complex; 3) Papuk Mt. granite and metamorphic complex; 4) Molve metamorphic complex; 5) Prosara Mt. - Motajica Mt. granite and metamorphic complex; 6) Granite and gneiss; 7) Mesozoic sediments; 8) Outcrop area; 9) Well; 10) Seismic section.

međimurskim kompleksom i granitno-metamorfnim kompleksom Prosare, Motajice i Požeške gore. Druga je predalpska s magmatsko-metamorfnim stijenama slavonskih planina i metamorfni kompleksom Medvednice.

Mnogi autori granitno-gnajsnom kompleksu pripisuju mnogo veću starost. ŠPARICA et al. (1980), te JAMIČIĆ (1988) psunjski kompleks uvrštavaju u bajkalide pripisujući mu predkambrijsku starost. Papučki granitno-metamorfni kompleks prema JAMIČIĆU (1988) pripada kaledonidima.

HERNITZ (1983) piše o intenzivnom boranju psunjskog i papučkog kompleksa za vrijeme hercinske orogeneze. Pokreti su popraćeni intruzijama granita, što je dovelo do metamorfoziranja starijih paleozojskih sedimenta istaloženih u prostranoj geosinklinali. Spomenutom metamorfozom nastali su tinjeasti i amfibolitski škriljavci, te razne vrste gnajsova.

NAJDENOVSKI (1988) spomenute komplekse trećeira kao paleozojske. Panonski bazen uvrštava u tektonokoncentre.

MARCI (1973) je mišljenja da se granitno tijelo Psunja utisnulo u amfibolite kao iskristalizirana masa u obliku dome. Do kristalizacije magme došlo je u dubljim stijenama, a utiskivanje je izvršeno pod utjecajem tektonskih pokreta. Naglašava da su brusilovci, klorit-

no-sericitni, grafitni škriljavci i pelitni geosinklinalni sedimenti silurske starosti. Tu su uvršteni i psunjski amfiboliti.

POLJAK (1952) filite iz potoka Radlovac (Papuk) uvrštava u silur. Paleoflorističkim nalazima BRKIĆA et al. (1974) odredena je karbonska starost za te filite. Uz njih dolaze još pješčenjaci, metagrauvake, kloritni škriljavci, tufovi, siliti i konglomerati.

Postanak granitno-metamorfnih kompleksa mnogi autori vežu za subduksijske zone. Primjerice PAMIĆ (1987) je mišljenja da su granitne i metamorfne stijene zone Bukulja-Cer-Motajica-Moslavačka gora mogle nastati u području subduksijske zone i magmatskog luka u završnim stadijima zatvaranja dinaridskog dijela Tetisa kao rezultat kolizije afričke i euroazijske ploče.

HERAK et al. (1990) opisuju sjevernu granicu Dinarida i naglašavaju da je spuštanje u dinaridskoj rubnoj zoni trajalo krajem krede te u paleocenu. U to vrijeme došlo je do prodora granitoidnih tijela uz popratni niski metamorfizam. Oceanski prostor bio je zatvoren. Tako dolazi do integracije dinaridskih i prealpskih regija u jedinstvenu cjelinu s identičnim ponasanjem za vrijeme neotektonskih pokreta.

U novije vrijeme pojedini autori negiraju subdukciju, a neki idu tako daleko da govore o postojanju kao-tičnog stanja u prirodi (PUŠČAROVSKIJ et al., 1990).

Također MILANOVSKIJ (1991) mišljenja je da i najnovija geotektonска proučavanja negiraju subdukciju. Prihvata postojanje umjerene obdukcije.

Stajališta su očito različita, poneki puta i suprotstavljeni. Međutim, pojedini su kompleksi nosioci ugljikovodika, pa s te strane zaslužuju odgovarajuću pozomost.

3. RASPROSTRANJENOST GRANITNO-METAMORFNOGA KOMPLESKA

Moguće je izdvojiti pet skupina magmatsko-metamorfnih stijena i to na osnovi petroloških i tektonskih značajki, te geografskoga položaja. Šestu skupinu čine mezozojski (sl. 1).

Moslavački kompleks je zastupljen granitima i metamorfitima u sjeverozapadnom dijelu savske depresije. Nalazi se na Moslavačkoj gori, a istraživačkim bušenjem te su stijene nabušene u predjelima Vrbovca, Kloštra, Križa, Johovca, Novoselca, Siska i Kutine. U Šumećanima i Bunjanima gnajsovi su naftonosnici. Uz njih se nalaze graniti, različiti varijeteti mikaština, amfibolita, te dioritno-monconitne stijene i gabri.

Psunjski kompleks slijedi dalje prema jugoistoku tvoreći blagi luk s moslavačkim kompleksom. Te su stijene na Psunju na površini. Nabušene su kod Okučana, Nove Gradiške, Tekića, Cerne i Tovarnika. Sastoje se od paragnajsova, mikaština, u dubljim dijelovima amfibolita i mramora (PAMIĆ, 1986). Dolaze i proboji granita, koji su kataklazirani, te djelomično prelaze u ortognajse (MARCI, 1973).

Prema HERNITZU (1983) i NAJDENOVSkom (1988) stijene ovog kompleksa protežu se kroz Požešku kotlinu, vežu na Krndiju i nastavljaju se na istok pod tercijarne naslage đakovačkoga ravnjaka.

Papučki kompleks ima složenu gradu. Na površini se rasprostire na Papuku i dijelom na Krndiju. Prema PAMIĆU (1990) može se podijeliti na semimetamorfne stijene, progresivno metamorfne stijene, te I- i S-granite s migmatitima. Semimetamorfne stijene sastavljene su od slejtova i škriljavih metakonglomerata, a podredeno od filita, grafitnih škriljavaca i kvarcita. Dolaze i na Psunju, ali su ondje bez migmatita (VRAGOVIĆ, 1965). Progresivno metamorfna serija dominantna je u slavonskom kristalinu. Izgradena je od paragnajsova i tinčastih škriljavaca s ulošcima amfibolskih škriljavaca. Unutar jako metamorfoziranih dijelova dolaze često tijela granita dekametarskih debljina. Prema PAMIĆU (1986) često su prisutni još i porfiroblastični okasti gnajs-graniti. Starost ovoga kompleksa nije definitivno određena. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1897), KOCH (1919) i POLJAK (1952) pripisuju mu arhajsku starost. RAFFAELLI (1962), VRAGOVIĆ (1965), TAJDER (1969), DELEON (1969) i PAMIĆ (1986) uvrštavaju ga u hercinski ciklus, a JAMIČIĆ (1988) u kaledonski. Približne su mu granice rasprostranjenosti: Ravna Gora na zapadu do Vinkovaca i Osijeka na isto-

ku (sl. 1). Treba pretpostaviti da se proteže i dalje na istok ispod mezozojskih sedimenata.

Molvanski metamorfiti utvrđeni su samo u bušotinama (sl. 1 i 2). Predstavljeni su mikaštima i gnajsovima. Ovdje su odsutni amfiboliti, inače karakteristični za psunjski kompleks, kao i tipski migmatiti karakteristični za papučki kompleks (PAMIĆ, 1986). Nabušeni su aplitoidni graniti, metapješčenjaci, slejti-filiti i kvarenomuskovitni škriljavci s mramorima i kvarcitima, te u najvećoj mjeri mikašti i gnajsovi.

O starosti ovog kompleksa ima prema podataka što je i razumljivo, jer u blizini nema površinskih izdanka. PAMIĆ (1986) pretpostavlja pripadnost mladoalpskom ciklusu.

Molvanski kompleks proteže se od Koprivnice na sjeverozapadu do Virovitice na jugoistoku, s time da je u bjelovarskoj depresiji pretežito prekriven mezozojskim sedimentima. Po starosti skloni smo ga poistovjetiti s papučkim kompleksom, jer se nastavlja na njega.

Prosarsko-motajički se kompleks prostire u graničnoj zoni između Dinarida i panonske mase. To je zapravo dio granita i metamorfta, koji dolaze s jugoistoka, od Bukulje prema Ceru, Majevici, Trebovcu, Motajici i Prosari, te se protežu dalje na sjeverozapad do medvedničko-kalničkoga niza. PAMIĆ (1986) je mišljenja da je to istočni nastavak moslavačkog kompleksa. Nastao je regionalnim metamorfizmom na račun okolnih gornjokrednih i paleogenskih sedimenata, s kojima se mjestimice javljaju i magmatske stijene.

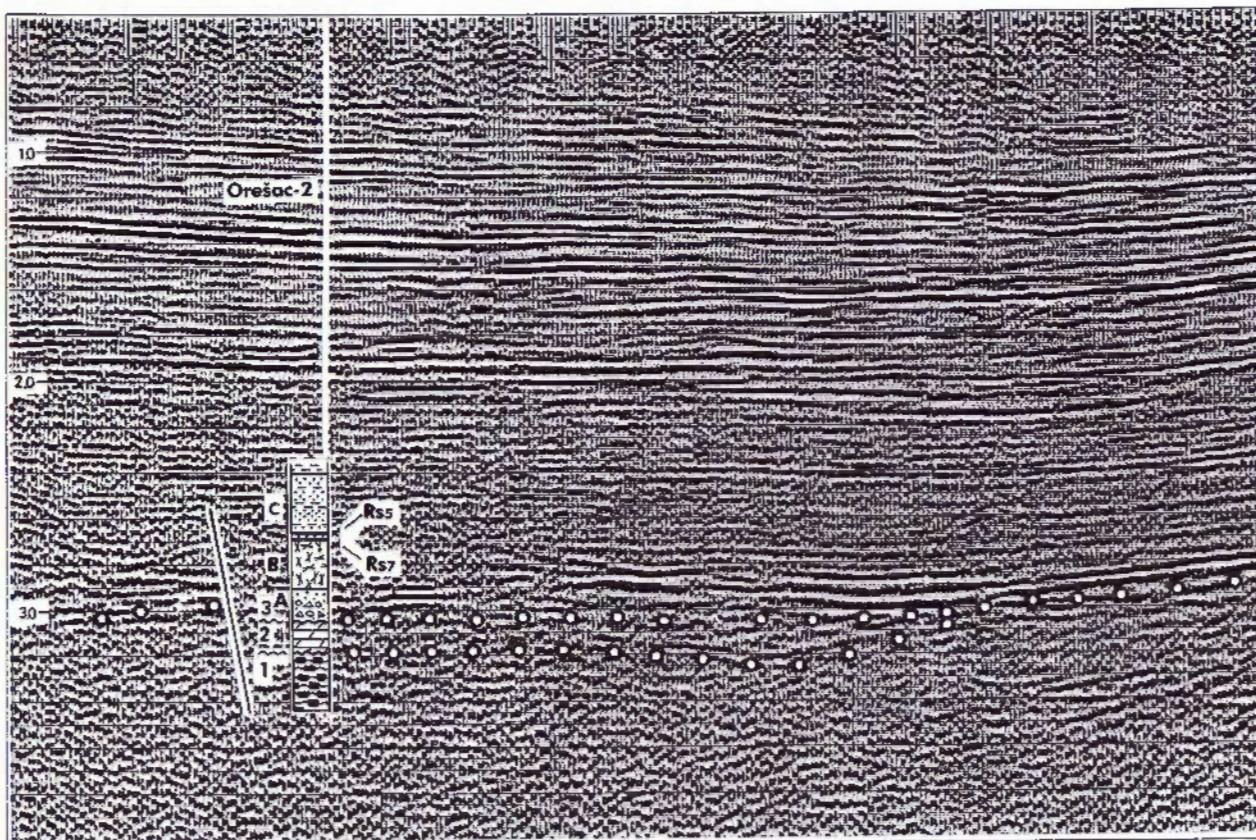
Mezozojske sedimente u podlozi tercijarnih naslaga nabušilo je malo bušotina. Na planinskim uzvišenjima unutar depresija, a posebno u obodnom dijelu mezozojski su sedimenti zastupljeni od trijasa do krede, kao primjerice na Papuku. Na Požeškoj gori je samo gornja kreda.

U predjelu Vis-Sedlarica nabušeni su kredni i jurski sedimenti u debljini od preko 700 m. Postoje i u savskoj depresiji, ali samo kredni kod Gospodice. Na sl. 1 prikazani su u obliku erozijskih krpa. Veću rasprostranjenost zauzimaju od Bjelovara do Ravne gore, gdje se nalaze i na površini, te na istoku kod Vukovara i Tovarnika. Prisutnost mezozojskih sedimenata u sklopu Panonskog bazena NAJDENOVSki (1988) veže preko dubokih žlijebova odnosno aulakogena za mobilni prsten (Dinaridi-Alpe-Karpati), koji kao duboke geosinklinale u vrijeme mezozoika okružuju Panonski kraton.

Iako postoji opća pravilnost u gradi pojedinih kompleksa iz opisa je vidljivo da se među njima ne mogu postaviti oštре granice. Stijene karakteristične za jedan kompleks nalaze se mjestimice u drugome kompleksu pa se time povećava složenost petrološkoga sastava.

4. NAFTOPLINONOSNOST

Prema dosada poznatom rasporedu poljâ kao da su prisutne neke zakonitosti o povezanosti pojedinih kompleksa s akumulacijama ugljikovodika u pokrovnim,



Sl. 2 Seizmički profil SUH-6-77, bušotina Orešac-2. Legenda: 1) paleozoik, kvarcno-sericitni škriljavci; 2) mezozoik, dolomiti; 3) neogen - 3A brečokonglomerati i pješčenjaci, 3B efuziv, 3C pješčenjaci i lapor.

Fig. 2 Seismic section SUH-6-77, and the Orešac-2 well. Legend: 1) Paleozoic, quartz-sericite schist; 2) Mesozoic, dolomite; 3) Neogene - 3A breccia-conglomerate, sandstone; 3B extrusive rock; 3C sandstone and shale.

mladim, tercijarnim stijenama. Poznato je da su skoro sva naftoplinska polja u predjelima, gdje je podloga granitno-metamorfna, pretežno serije raznih škriljavaca. To upućuje da su magmatizam i tektonika odigrali odlučujuću ulogu u nastanku i akumulaciji ugljikovodika, bez razlike na njihovo podrijetlo (biogeno, abigeno).

Ležišta su vezana pretežno uz duboke lomove i za areale u kojima su prisutne magmatske stijene. Slične primjere daju mnogi autori za brojna ležišta u svijetu. Za razmatrano područje postoji niz radova koji tretiraju naftogeološku problematiku, a spomenutu povezanost s magmatskim odnosno vulkanskim stijenama naglašavaju NAJDENOVSKI et al. (1990).

Spomenimo još i to da su neka ležišta vezana i za produkte miocenskog vulkanizma (andezite, diabaze i bazalte). Ove stijene susrećemo na površini, a nabušeni su u dravskoj depresiji, pa su neka naftna ležišta vezana za njih (Števkovica, Bizovac i dr.).

U mezozojskim sedimentima, osim pojave ugljikovodika na Visu i Sedlarici te novootkrivenih ležišta u dolomitima Molva, Kalinovca i Staroga Graca (VLAŠIĆ, 1994), veća ležišta zasada nisu utvrđena. Mišljenja smo da bi ubuduće dio istraživanja trebalo usmjeriti na mezozojske karbonatne stijene. Osim toga za očekivati je postojanje akumulacije u njihovoj podlini, posebno u predelu molvanskih metamorfitova.

5. ZAKLJUČAK

Veliki broj otkrivenih ležišta u mlađim tercijarnim sedimentima nalazi se u području gdje su u podlozi stijene magmatsko-metamorfognoga kompleksa.

Metamorfiti i magmatiti (intruzivi i efuzivi) susreću se na površini, na uzvišenjima unutar depresija, na njihovim obodima. Istraživane su s mineraloško-petrografskog stajališta. U pogledu naftoplilonosnosti sve do otkrića plinskih ležišta u Molvama, Kalinovcu i Starome Gracu osamdesetih godina nije im pridavana naročita pozornost.

S naftogeološkog aspekta interesantni su svi kompleksi, a posebno moslavački, psunjski i molvanski.

Granice rasprostranjenosti pojedinih kompleksa su aproksimativne i vjerojatno će pretrpjeti odgovarajuće promjene kod dalnjih istraživanja. Pojedini će kompleksi možda biti razgraničeni regionalnim rasjedima, što će utjecati na definiranje njihovih granica. Izrazita uzvišenja paleoreljefa bilo bi korisno provjeriti geofizičkim ispitivanjima u naftno-plinskem pogledu, a onda i buštinama. S obzirom na stupanj istraženosti tercijarnih sedimenata u pojedinim predjelima, odnosno pretežitu dosadašnju usmjerenošć istraživačkih radova na te naslage, njihova podloga postaje znatno perspektivnija, te će im biti potrebno posvetiti veću pozornost nego li do sada.

Na kraju želimo se zahvaliti g. B. VLAŠIĆU, direktoru Službe istraživanja INA-Naftaplina na ukazanoj susretljivosti, te gg. A. PERKOVIĆU i S. KORDIĆU na pomoći.

LITERATURA

- BRKIĆ, M., JAMIČIĆ, D. & PANTIĆ, N. (1974): Karbonske naslage u Papuku (SI Hrvatska).- Geol. vjesnik, 27, 53-58, Zagreb.
- DELEON, G. (1969): Pregled rezultata određivanja apsolutne geološke starosti granitoidnih stijena u Jugoslaviji.- Radovi Inst. geol. rud. i str. i isp. nukl. i drugih min. sirovina, 6, 165-182, Beograd.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, D. (1897): Geologija okolice Kutjeva.- Rad JAZU, 131, 10-29, Zagreb.
- HERAK, M., JAMIČIĆ, D., ŠIMUNIĆ, A. & BUKOVAC, J. (1990): The northern boundary of the Dinarides.- Acta geologica, 20/1, 5-27, Zagreb.
- HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije (dizertacija).- Nafta, posebno izdanje, 221 str., Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturni sklop slavonskih planina (sj. Psunj, Papuk, Krdnija).- Dizertacija, Sveuč. u Zagrebu, 147 str., Zagreb.
- JURKOVIĆ, I. (1962): Rezultati naučnih istraživanja rudnih ležišta Hrvatske.- Geol. vjesnik, 15/1, 249-294, Zagreb.
- KOCH, F. (1899): Prilog poznavanja Moslavacke gore.- Rad JAZU, 139, 1-28, Zagreb.
- KOCH, F. (1919): Grundlinien der Geologie von West-Slavonien.- Glas. Hrv. prir. društva, 31/1-4, 217-237, Zagreb.
- MARCI, V. (1973): Geneza granitnih stijena Psunja.- Acta geol., 7, 195-231, Zagreb.
- MILANOVSKIJ, E.E. (1991): Riftogenet i evo rol v tektoničeskom stroenii Zemli i ee mezo-kajnozojskoj geodinamike.- Geotektonika, 1, 3-20, Moskva.
- NAJDENOVSKI, J. (1988): Dubinski geološki odnosi i razvitak struktura u tercijarnim sedimentima Požeške kotline.- Dizertacija, Sveučilište u Zagrebu, 137 str., Zagreb.
- NAJDENOVSKI, J., HERNITZ, Z., BUJAS, I., ALJINOVIĆ, B. & DVORNIK, Lj. (1990): Položaj naftoplinskih ležišta u Savsko-dravskom području s obzirom na tektonsku i vulkansku aktivnost.- XII Kong. geol. Jugosl., III, 563-576, Ohrid.
- PAMIĆ, J. (1986): Metamorfiti temeljnog gorja panonskog bazena u Savsko-dravskom medurječju na osnovi podataka naftnih bušotina.- XI Kongr. geo. Jugosl., 5, 259-272, Tara.
- PAMIĆ, J. (1987): Granites and associated monzonodiorites and gabros from Kamenac Creek on Mt. Moslavačka Gora (northern Croatia-Yugoslavia).- Rad JAZU, 431(22), 179-199, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1990): Izotorna starost granitnih, metamorfnih i vulkanskih stijena u podlozi Panonskog bazena.- Fond struč. dok. INA-Naftaplin, Zagreb.
- PANDŽIĆ, J. (1986): Geologija predtercijske podloge jugozapadnog dijela Panonskog bazena.- Dizertacija, posebno izd. DIT-Naftaplin (1986), 144 str., Zagreb.
- POLJAK, I. (1952): Pretpaleozojske i paleozojske naslage Papuka i Kmdije.- Geol. vjes., 2/4, 63-82, Zagreb.
- PUŠČAROVSKIJ, J.U.M., NOVIKOV, V.L., SAVELJEVA, A.A. & FADEEV, V.E. (1990): Neodnorodnosti i konvekcija v tektonosferi. Geotektonika, 5, 3-8, Moskva.
- RAFFAELLI, P. (1962): Metamorfizam paleozojskih petitskih škriljavaca u području Ravne gore.- Geol. vjesnik, 18/1, 61-111, Zagreb.
- ŠPARICA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, A., JOVANOVIĆ, Č. & ŽIVKOVIĆ, D. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ. 1:100.000, Tumač za list Nova Kapela.- Sav. geol. zavod, Beograd.
- TAJDER, M. (1969): Magmatizam i metamorfizam planinskog područja Papuk.- Psunj.- Geol. vjesnik, 22, 469-477, Zagreb.
- VLAŠIĆ, B. (1994): Naftogeološka perspektivnost istražnih prostora INA-Naftaplina.- 14. simpozij o istraživanju i razradi i proizvodnji ugljikovodika. DIT Naftaplin, 2, 1-12, Zagreb.
- VRAGOVIĆ, M. (1965): Graniti i gnajsevi Papuka.- Dizertacija, Sveučilište u Zagrebu, 232 str., Zagreb.

Prognoza naftoplilonosnosti primjenom kompjuterskog programa

Marijan NOVINC

Ključne riječi: istočna Podravina, naslage Mosti člana, prognoza naftoplilonosnosti, kompjuterski program, ekspertni sustav

Sažetak

Kompjuterskim programom (ekspertni sustav) istraživan je širi prostor naftno-plinskih polja u istočnoj Podravini radi prognoziranja naftoplilonosnosti. Objekt istraživanja su kru-pnozrnaste klastične naslage miocena (breče, brečokonglomerati, krupnozrnasti pješčenjaci), koje su glavni nosilac ugljikovodičnih zasićenja u ovom području.

Istraživanjem su prikupljeni podaci o strukturnim karakteristikama za 253 istražne i razradne bušotine. Kompjuterski je izrađeno niz strukturalnih karata iz kojih su dobiveni podaci za daljnju obradu.

Na temelju utvrđenih zakonitosti u odnosima među pojedinim strukturalnim obilježjima na poznatim primjerima (buštinama) generirana su pravila odlučivanja u obliku stabla odlučivanja i izradena karta prognoze naftoplilonosnosti.

Key words: Eastern Podravina, Mosti member deposits, Oil and gas forecasting, Computer program, Expert system

Abstract

The wider area of the oil and gas fields in Eastern Podravina was investigated by an computer program (expert system) for the purpose of oil and gas forecasting. Exploration is focused on the coarse-grained clastic deposits (breccias, brecia-conglomerates, coarse-grained sands) of Miocene, as the major bearer of hydrocarbon saturation in this area.

The exploration has provided the data on structural characteristics for 253 exploration and development wells. Computer program has generated a number of structural maps and they have been used to derive the data for further processing.

On the ground of determined regularities of relationships between particular structural characteristics of known examples (wells), decision making rules in a decision tree form were generated and oil and gas bearing potential prediction map was prepared.

1. UVOD

U cilju utvrđivanja perspektivnosti dijela istočne Podravine (sl. 1) izvršena je obrada podataka dubokih bušotina ekspertnim sustavom "ASSISTANT PROFESSIONAL".

Prostor istraživanja je šire područje naftnog polja Beničanci i uključuje okolna proizvodna polja Bokšić, Cmac, Klokočevci, Kućanci, Ladislavci, Obod, Obod-Lacići i Števkovica.

Objekt istraživanja su naslage člana Mosti, koje pripadaju miocenu i glavni su nosilac ugljikovodika u ovom području. U podini proizvodnog kompleksa su predtercijarne stijene (mezozojske i paleozojske stariosti), a u neposrednoj krovini su laporji donjeg panona (mjestimice nedostaju), te gornjopanonske i donjonopontske naslage.

Kolektorske stijene člana Mosti su tektonski razmisljeni laporji i vapneni laporji, vapnenci, breče, brečokonglomerati i efuzivi, što ukazuje na složenost geološke građe područja. Istraživanjem su prikupljeni po-

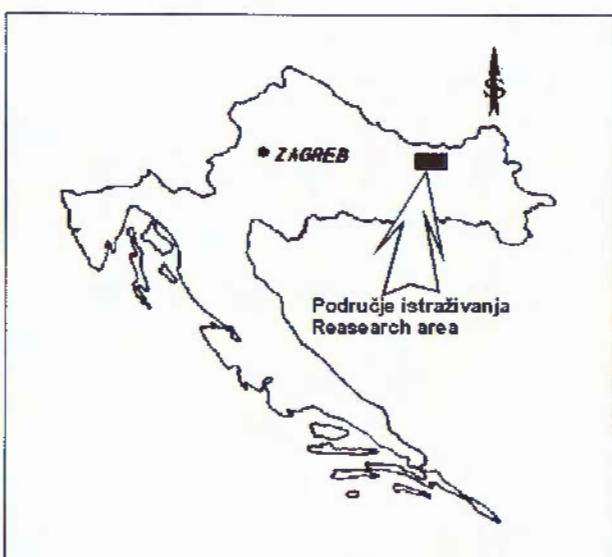
daci o strukturalnim karakteristikama (dubine nabušivanja i debljine litostratigrafiskih jedinica) za 253 istražne i razradne bušotine.

U radu je dan kratki litološki pregled člana Mosti, glavnog nosioca ugljikovodika u istraživanom području.

Kompjuterskim programom "ASSISTANT PROFESSIONAL" učinjen je niz obrada podataka u cilju utvrđivanja zakonitosti međusobnih odnosa geoloških parametara u buštinama i na temelju tih odnosa, dovođenja pravila odlučivanja za zaključivanje o perspektivnosti istraživanog područja.

Pravila odlučivanja utvrđena su učenjem iz poznatih primjera, a u konkretnom slučaju, za kvalitativnu prognozu naftoplilonosnosti istraživanoga područja poslužili su podaci o geometriji i litološkim karakteristikama slijeda naslaga u 253 bušotine.

Klasifikacijom dijelova područja u pojedino od tri odabrane kategorije - pozitivno, geološki pozitivno i negativno, bilo je moguće izraditi kartu prognoze naftoplilonosnosti, koja ukazuju na dijelove terena zanimljive za daljnja istraživanja.



Sl. 1 Položajna karta.

Fig. 1 Location map.

2. O DOSADAŠNJIM ISTRAŽIVANJIMA

Geološke, strukturno-tektonске i naftogeološke odnose rješavalo je niz stručnjaka, koji su dali vrijedan doprinos istraživanju istočne Slavonije. O strukturno-tektonskim odnosima pišu NAJDENOVSKI (1971), KRANJEC & PRELOGOVIĆ (1974), BARIŠIĆ (1982), RADIĆ & HRNČIĆ (1979), da spomenemo samo neke od autora.

Litoške, litostratigrafske i kronostratigrafske odnose rješavali su ŠIMON (1973), PANDŽIĆ (1979), JELASKA (1985) i mnogi drugi, a perspektivnost područja i naftogeološke odnose istraživali su, među ostalima, PLETIKAPIĆ et al. (1964) i HERNITZ (1983).

Primjenom vjerojatnostnih metoda u Hrvatskoj se od početka 70-ih bavilo više autora, ali valja spomenuti prikaz povijesnog razvoja matematičke geologije u radu Raffaellia (RAFFAELLI, 1978), te o ulozi kod istraživanja na naftu i plin u radu Pletikapića (PLETIKAPIĆ, 1979). CRNIČKI (1980) uz povijesni osvrt daje lijepi pregled primjene matematičkih metoda u geološkim istraživanjima, a isti autor kao prvi u nas govori o razvoju ekspertnih sustava u geologiji (CRNIČKI, 1990).

3. LITOLOŠKI PREGLED

Naslage člana Mosti taložene su, osim na sjeveroistoku (bušotina Torjanski Rid-1) i sjeverozapadu (Stjepanik-1), u čitavom istraživanom području. Karakteristična je izuzetna raznolikost sedimenata. Razvijene su krupnozrnaste klastične stijene (breče, brečokonglomerati, konglomerati), srednje i sitnozrnaste klastične stijene (pješčenjaci, lapori, siliti, gline), te neklastične stijene (vapnenci, efuzivi, vulkanoklastični sedimenti).

Dubina nabušivanja naslaga člana Mosti kreće se od 979 m (Donji Miholjac-2) do 2946m (Števkovica-17), dok je debljina naslaga od minimalnih 19 m (Donji Miholjac-2) do maksimalno 1550 m (Klokočevci-4).

Velika raznolikost taložina člana Mosti razlogom je što je veoma teško ili gotovo nemoguće učiniti jedinstvenu lateralnu litološku korelaciju čitavog područja, jer često problemi nastaju i pri rješavanju odnosa u okviru pojedinog polja, pa i uže. Stoga ćemo dati pregled vrsta stijena i njihovo rasprostiranje s obzirom na značaj u smislu naftoplilonosnosti.

Breče, nema sumnje najznačajniji nositelj ugljikovodika, utvrđene su u većoj ili manjoj mjeri gotovo na čitavom istraživanom području. S obzirom na sastav razlikujemo karbonatne, efuzivne i breče heterogenog sastava (polimiktne).

Karbonatne breče javljaju se obično u varijetetima vapnenačke, dolomitne i vapneno-dolomitne i najznačajniji su sediment u naftogeološkom smislu. Najbolje su razvijene i proučene na polju Beničanci, imenovane kao "Beničanci" član (prema ŠIMON & BATUŠIĆ, 1974).

Prema Tišljaru breče polja Beničanci sastoje se isključivo od karbonatnog detritusa, uglavnom dolomitnog, rjede vapnenačkog i loše su teksturne organizacije detritusa. Uglasti fragmenti različitih genetskih tipova dolomita nemaju zrnsku potporu i "plivaju" u sitnozrnjoj osnovnoj masi. Dimenzije fragmenata variraju od par milimetara do par desetaka centimetara a ponegdje i do par metara (kod distolita).

Konglomerati su razvijeni u manjoj mjeri na pojedinih bušotinama i lokalnog su karaktera, tako da ne postoji mogućnost lateralnog povezivanja u širem području. Uglavnom su polimiktog sastava ali ima i monomiktnih.

Pješčenjaci su razvijeni na gotovo čitavom prostoru istraživanja no zanimljiva je spoznaja da nedostaju u taložnom profilu člana Mosti na više od šezdeset bušotina. Prevladavaju srednjezrnasti, ali ima i krupnozrnasti, dok su sitnozrnasti pješčenjaci rijedki razvijeni.

Boja pješčenjaka varira u raznim nijansama sive, smede i zelene, a glavni su klastični sastojci kvarc, tinjci, feldspati, kloriti, glaukonit i odlomci stijena (kvartici, chert, metamorfiti, intruzivi, piroklastiti). Vezivo je najčešće karbonatno ali i karbonatno-glinovito, kvarc-sericitsko, glinovito silicijsko i limonitno-glinovito-sericitsko.

Lapori su guste, kompaktne stijene sive do tamno sive i zelenkastosive, bijeložučkaste do crvenkastosmeđe i tamnosmeđe boje. U osnovnoj vapnovito-glinovitoj, ponekad i pjeskovitoj pelitomorfnoj masi neravnomjerno su razmješteni kvarc, feldspati, tinjci, ulomci karbonata i metamorftita, te piritizirani oblici mikroflosila i ulomci fosilnih organizama.

Gline su veoma malo zastupljene i javljaju se kao izdvojeni paketi unutar breča ili su pak vezivo u tim brečama. Neprozirnu osnovu čine finolističavi minerali glina u kojoj su uklopljena zrnca kvarca, feldspata,

kvarcita, karbonata, te listići tinjca, klorita i sericita siltinih do arenitnih dimenzija.

Vapnenci su svijetlo do tamnosive, te raznih nijansi smeđe boje. Uglavnom su guste i čvrste, dobro vezane stijene. U osnovnoj masi koju čini finozrnasti kalcit sa dispergiranom glinovitom supstancicom nepravilno su raspoređeni ulomci karbonatnih stijena, kvarcita, cherata, feldspata, tinjaca, kalcita, limonita, sericita, pelita te eruptiva i metamorftita. Česti su i ostaci ljušturica ili cijeli oblici mikrofosila.

Efuzivi su razvijeni u području gotovo svih naftoplinskih polja ali u sjevernom i sjeveroistočnom dijelu istraživanog područja nedostaju. Utvrđeni su na raznim nivoima u stupu miocenskih naslaga pa je otvoreno pitanje da li se radi o vulkanskoj aktivnosti u više faza ili se ponekad radi o istoj fazi.

Vulkanoklastični sedimenti obuhvaćaju kisele vulkanske tvorevine nastale taloženjem piroklastičnog materijala sa većom ili manjom količinom sedimentnog materijala. S obzirom na udio piroklastičnog i sedimentnog materijala prevladavaju tufiti i tufovi, a dimenzije uklopaka ukazuju na brečolike piroklastične stijene.

4. PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA

Glavninu podataka korištenih u ovom radu čini dokumentacija o bušenju dubokih istražnih i razradnih bušotina. Ukupno je u razmatranje uzeto 253 bušotine.

Prikupljanje podataka predstavljalo je dug i složen posao zbog dislociranosti i nepostojanja jedinstvene baze podataka. Korišteni su raspoloživi izvori koji, međutim, nisu uvijek bili dostačni za određivanje svih atributa na svim bušotinama. Primjerice, podloga tercijara nabušena je na svega 74 bušotine, što uz nejednolik raspored u istraživanom području ne daje mogućnost crtanja kvalitetne strukturne karte. Velik dio podataka je zbog toga očitan sa strukturalnih karata izrađenih po raznim autorima na temelju seizmičkih profila, te je dobiven prihvatljiv broj i gustina za izradu karte. I za druge atribute podaci su dopunjeni na isti način, te je osnovana baza podataka koja je unatoč necjelovitosti i nedostacima, dobra podloga za potrebe ovog istraživanja.

Crtanje karata urađeno je kompjuterskim programom RADIANT, koji može prihvatiti podatke u vidu koordinata x, y i z, za jednoliko i nejednoliko raspoređene točke na neprekinutoj površini.

Na površini od 600 km² uspostavljena je kvadratna mreža veličine stranica 300x300 m, što čini 6700 elementarnih celija. Na temelju izračunatih vrijednosti u čvorovima mreže nacrtane su strukturne karte i karte debljina. Numeričke vrijednosti poslužile su i za izračunavanje srednjih vrijednosti u elementarnim celijama što je urađeno s pomoću programa dBASE IV, koji je podatak za svaku celiju računao iz vrijednosti u četiri čvora koji čeliju čine. Ovako priređeni podaci orga-

nizirani su u oblik podesan za korištenje sa programom ASSISTANT PROFESSIONAL.

5. OBRADA PODATAKA SUSTAVOM ZA AUTOMATSKO UČENJE ASSISTENT PROFESSIONAL

Veliki broj podataka ponekad je uzrok nemalih problema jer uobičajeni postupci sređivanja i prikazivanja ne dovode uvijek do rješenja. Ovdje nam mogu pomoći elektronička računala i programirani sustavi za automatsko učenje iz poznatih primjera, koji otkrivaju za ljudsko oko prikrivene odnose među numeričkim podacima, a kojima pridodana specijalistička znanja stručnjaka omogućuju izgradnju ekspertnih sustava. Osnovni je zadatak pronalaženje odnosa među poznatim parametrima te utvrđivanje pravila odlučivanja, koja se zatim mogu primijeniti i u područjima gdje su parametri prepostavljeni ili pak nepotpuni.

ASSISTANT PROFESSIONAL je programski paket koji na temelju obrade poznatih podataka i specijalističkih znanja korisnika, pomaže pri odlučivanju i rješavanju stručnih problema u raznim područjima ljudske djelatnosti. Na temelju poznatih primjera i postojećeg znanja stvara se novo znanje i kreira stablo odlučivanja, kojim je moguće vršiti klasificiranje, pohranjivanje, sređivanje, testiranje, prikazivanje i procjenjivanje novih istražnih objekata. Program može prihvatiti i nesigurne ili djelomice pouzdane podatke, te razlučiti važne od nevažnih podataka pri rješavanju određenog problema. Prednost programa je u brzini kojom utvrđuje pravila odlučivanja, ali isto tako u mogućnosti da stručnjak interaktivno sudjeluje u kreiranju stabla odlučivanja uključujući pritom svoje znanje i iskustvo u rješavanju geološke problematike.

Kompjuterski program ASSISTANT PROFESSIONAL je razvijen u Institutu "Jožef Štefan" u Ljubljani (CESTNIK et al., 1987) za primjenu na IBM PC pod MS-DOS operativnim sustavom.

Područje naftno-plinskih polja u istočnom dijelu Dravske potoline podesno je za obradu ekspertnim sustavom zbog velikog broja poznatih podataka, što osigurava visoku točnost pri donošenju pravila odlučivanja. Podaci za "vođeno učenje" su prikupljeni za 253 istražne i razradne bušotine od kojih 139 pozitivnih, 88 negativnih i 26 geološki pozitivnih. Svaka bušotina određena je slijedećim obilježjima:

PODTER - podloga tercijara;

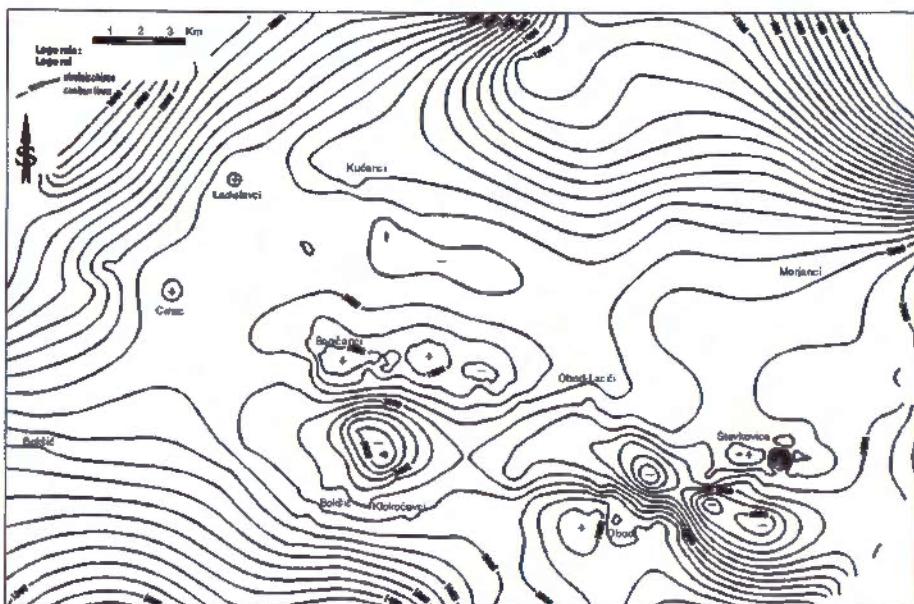
KROMOS - krovina člana Mosti formacije Moslavacka Gora;

KROBRE - krovina breča (krovina krupnozrnastih klastičnih stijena);

KROLEŽ - krovina ležišta;

PODBRE - podina breča (podina krupnozrnastih klastičnih stijena);

DEBMOS - debljina člana Mosti;



Sl. 2 Strukturna karta krovine člana Most.

Fig. 2 Structure map of the top of Most member.

DEBBRE - debljina breča (debljina krupnozrnastih klastičnih stijena);

EFDEBR - efektivna debljina breča (efektivna debljina krupnozrnastih klastičnih stijena);

DEBKRI - debljina člana Križevci formacije Moslavacka Gora;

DEBIFG - debljina formacije Ivanić Grad;

DEBKIF - debljina formacije Kloštar Ivanić;

DEBILF - debljina Bilogorske formacije;

DEBLOF - debljina formacije Lonja;

SIEVER - udaljenost elementarne ćelije od južnog ruba istraživanog područja;

ISTOK - udaljenost elementarne ćelije od zapadnog ruba istraživanog područja.

Na temelju podataka iz poznatih primjera (bušotina), za svako obilježje uradena je strukturalna karta (sl. 2). S obzirom na predstavljeni izbor obilježja željelo se utvrditi moguću zavisnost naftoplilonosnosti o elementima geometrije sedimentacijskog bazena. Prema karakteru svrstani su poznati primjeri (bušotine) u jednu od tri kategorije (razreda): pozitivna, geološki pozitivna i negativna, što kasnije omogućava klasificiranje istraživanog područja prema predloženim kategorijama.

Programski paket ASSISTANT PROFESSIONAL računa pravila odlučivanja iz poznatih primjera i predstavlja ih u obliku stabla odlučivanja. Kasnije se ta pravila mogu koristiti za testiranje i pojedinačno razvrstavanje novih primjera. Čvorove i grane stabla odlučivanja definiraju atributi, a listove vrijednosti atributa i razredi.

Vrijednosti obilježja prethodno navedenih u radu, dobivene su iz podataka izračunatih programom RADIAN, a svaka (ili gotovo svaka) od 6700 elementarnih ćelija, ima odgovarajuću vrijednost za pojedina obilježja. Za 253 ćelije, u kojima su smještene bušotine sa poznatim podacima urađeno je i razvrstavanje u raz-

rede: pozitivno, geološki pozitivno, negativno, te ove ćelije sa pridanim atributima predstavljaju primjere za učenje, prema zahtjevima programa.

Ukoliko su vrijednosti obilježja nepoznate (primjerice: nije nabušen određeni reperni horizont ili naslage nisu probušene u cijeloj debljinu) program dopušta i unošenje podatka "nepoznato". Razred ne može biti "nepoznat" i u takvom slučaju primjer se izostavlja iz obrade.

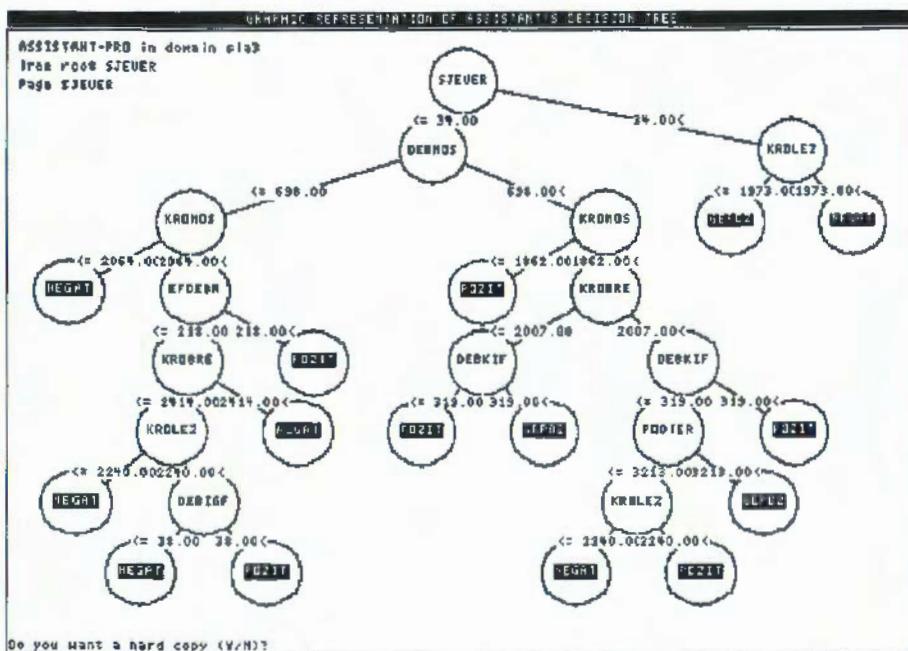
Mada su podaci za generiranje stabla odlučivanja prikupljeni korektno to ne isključuje mogućnost pojave informatičkog šuma u primjerima za učenje. Razlog može biti visok udio "nepoznatih" vrijednosti atributa, u različite razrede razvrstani atributi istih vrijednosti, itd. Da bi se poboljšala točnost i smanjila složenost stabla odlučivanja korištena je mogućnost izbora "samo dobrih primjera" te je program uzeo u obzir pouzdane podatke, a dvojbene je isključio iz razmatranja. Na taj način program generira stablo odlučivanja na temelju 162 primjera (bušotina), ali pri testiranju na točnost uzima u obzir sve primjere (253).

Stablo odlučivanja može se generirati automatski ili interaktivno. U automatskom modu stručnjak odreduje ulazne elemente, a u interaktivnom na temelju svih elemenata bitnih za odlučivanje, stručnjak kreira stablo odlučivanja koristeći vlastito znanje i iskustvo osobito pri izboru redoslijeda obilježja.

U obradi korištene su mogućnosti i automatskog i interaktivnog rada. Urađen je niz pokušaja sa različitim ulaznim uvjetima da bi se dobio prihvatljivo stablo odlučivanja u smislu obima i točnosti.

Stablo odlučivanja može se predstaviti prikazom na ekranu računala, tekstualnom listom i grafičkim prikazom. Sva tri prikaza služe za procjenjivanje i poboljšavanje stabla odlučivanja testiranjem i klasificiranjem pojedinih primjera.

Grafički prikaz je jasno i čitljivo slikovno predstavljanje stabla odlučivanja. Prikazani su atributi sa bitnim



Sl. 3 Stablo odlučivanja.

Fig. 3 Decision tree.

graničnim vrijednostima te listovi sa oznakom razreda (sl. 3).

Stablo odlučivanja testira se u cilju utvrđivanja točnosti razvrstavanja primjera. Može se provoditi pojedinačno ili skupno, za sve ili samo za primjere prethodno odabrane za testiranje, koji su bili isključeni iz procesa generiranja stabla odlučivanja. Testiranje točnosti svih primjera za stablo odlučivanja dalo je vrijednost 70.36% što se smatra dobriim rezultatom, a to znači da su i ulazni parametri dobro pripremljeni.

Razvrstavanje novih primjera pretpostavlja se prije svega u području za koje je stablo odlučivanja izradeno. To ne znači da se u susjednim ili u područjima sa sličnim odnosima i problematikom ne mogu primjeniti ista pravila, ali rezultate valja oprezno interpretirati i smatrati ih informativnim.

Dosadašnjim postupkom utvrđena su pravila odlučivanja za razvrstavanje primjera u razrede na temelju

poznatih primjera (253 bušotine) a sada ih treba primijeniti da bismo utvrdili razred (pozitivno, geološki pozitivno, negativno) za sve ostale čelije (6700) u kvadratnoj mreži, kojom je područje istraživanja podijeljeno na jednakе površine. U tu svrhu koristimo se datotekom uspostavljenom crtanjem strukturnih karata, u kojoj su atributi predstavljeni vrijednostima za svaku elementarnu čeliju.

6. REZULTATI

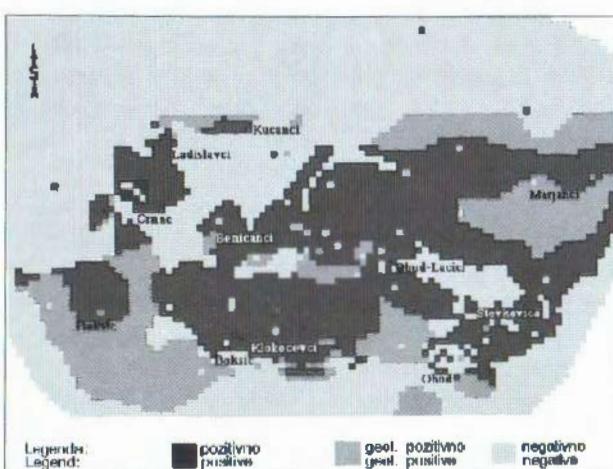
Karta prognoze naftoplintonosnosti (sl. 4), predstavlja prikaz perspektivnosti istraživanoga područja u smislu nakupljanja ugljikovodika, kao rezultat razvrstavanja na temelju stabla odlučivanja generiranog ekspertnim sustavom ASSISTANT PROFESSIONAL.

Raznim nijansama sive boje predstavljena su potencijalno pozitivna, geološki pozitivna i negativna područja.

Može se uočiti visoka podudarnost dijelova terena razvrstanih kao pozitivni sa naftoplinskim poljima koja se nalaze u proizvodnji. U pozitivna su razvrstana i neka područja koja su slabije istražena ili dosada nisu istraživana bušenjem, te bi na te dijelove trebalo usmjeriti pravce daljnjih istražnih radova. To se odnosi na područje južno i jugozapadno od strukture Crnac (dvije manje odvojene zone) i sjeveroistočno prema strukturi Kućanci.

Područje zapadnog dijela polja Bokšić također je zanimljivo za istraživanje, kao i područje između polja Bokšić-Klokočevci i Beničanci, te sjeveroistočno od polja Beničanci prema Marjancima, s time da sjeverni rub tog područja ima 67% vjerojatnu pozitivnost, a još sjevernije smještena je uža geološki pozitivna zona.

Konačno, pozitivna bi trebala biti i zona sjeverno od polja Obod-Lacići, koja se proteže prema jugoistoku



Sl. 4 Karta prognoze naftoplina nosnosti.

Fig. 4 Oil and gas forecasting map.

(sjeverni dio polja Števkovica), a zatim povija prema sjeveroistoku.

Područje Marjanci i Sječe razvrstano je u geološki pozitivno. U istu kategoriju spada područje južno i jugozapadno od polja Bokšić, pa ih ne bi trebalo potpuno isključiti iz dalnjih geoloških radova. Preostali dio terena ne daje izgleda za pozitivne nalaze.

7. ZAKLJUČAK

Obrada geoloških podataka primjenom ekspertnog sustava ukazuje da područje istočne Podravine u kom su smještena naftno plinska polja Beničanci, Bokšić-Klokočevci, Crnac, Kućanci, Ladislavci, Obod, Obod-Lacići i Števkovica i nadalje ostaje zanimljivo za istraživanje u smislu pronađenja novih ležišta ugljikovodika. S obzirom na visoku istraženost područja pri lociranju svake nove bušotine potrebno je u najvećoj mogućoj mjeri koristiti podatke dosadašnjih istraživanja, kako bismo povećali vjerojatnost pozitivnog nalaza. Prikupljeni podaci o strukturalnim i litološkim karakteristikama za 253 istražne i razradne bušotine poslužile su kao podloga za obradu ekspertnim sustavom.

Na temelju rezultata istraživanja može se zaključiti da su u naftogeološkom smislu najzanimljivije naslage člana Mosti, litološki predstavljene krupnozrnastim klastičnim stijenama (karbonatne, efuzivne i polimiktne breče, brečokonglomerati, konglomerati), sitnozrnastim klastičnim stijenama (razmrljeni lapor i vapneni lapor) i neklastičnim stijenama (vapnenci, dolomiti, efuzivi). U podini proizvodnog kompleksa nalaze se stijene mezozojske i paleozojske starosti a neposrednu krovinu čine laporji donjeg panona koji u dijelu područja nedostaju, te gornjepanonske i donjopontske naslage.

Karta prognoze naftoplilonosnosti, dobivena obradom podataka ekspertnim sustavom prikazuje istraživano područje kroz tri vrijednosna razreda: pozitivno, geološki pozitivno i negativno i na taj način označava dijelove terena zanimljive za daljnja istraživanja.

Primjena ekspertnog sustava u obradi podataka ima značajnu uporabnu vrijednost već iz razloga što je to jedini način kojim možemo utvrditi suvisle odnose među velikim brojem podataka uključujući pritom i specijalističko znanje stručnjaka. Potrebno je istaknuti da metoda nije isključiva i treba je shvatiti kao dobro pomagalo u složenom postupku istraživanja na naftu i plin. Posebna prednost je u tome što se uspostavljena pravila odlučivanja za neko područje mogu mijenjati dodavanjem i novih podataka, a isto tako mogu poslužiti za kvalitativnu procjenu svakog novog projekta u području, veoma jednostavnim postupkom klasifikacije.

Pri tom moramo imati na umu da je vjerojatnost točne procjene od 70% postignuta u ovom radu prilično visoka, ali unatoč tome, sadrži i 30% netočnih pokušaja.

Tijekom izrade rada uočene su mogućnosti poboljšanja postupka obrade što će doprinijeti kvalitetnijim rezultatima, pa u tom smislu treba:

- posebnu pažnju обратити verifikaciji ulaznih podataka,
- strukturne karte crtati kompjuterskim programima koji omogućavaju kvalitetnija strukturalna rješenja,
- koristiti što više "sirovih" podataka koji nisu doživjeli interpretativne promjene,
- proširiti broj atributa koji utječu na klasifikaciju (primjerice: temperatura, poroznost, propusnost, geo-kemijski parametri, proizvodne karakteristike itd.).

LITERATURA

- BARIŠIĆ, M. (1982): Prikaz strukturalnih odnosa i intenziteta razvoja struktura na području Magadenovac-Marjanci -Valpovo (Dravska potolina).- Nafta, 11, 603-613, Zagreb.
- CESTNIK, B., KONONENKO, I., BRATKO, I. (1987): ASSISTANT 86 - A Knowledge elicitation tool for sophisticated users. Progress in machine learning, Sigma press, 31-45, Wilmslow.
- CRNIČKI, J. (1980): Primjena matematičkih metoda kod geoloških istraživanja.- Savjetovanje o naučnim i tehničko-tehnološkim istraživanjima u geologiji, rudarstvu i metalurgiji, 99-108, Neum.
- CRNIČKI, J. (1990): Prikaz razvoja ekspertnih sistema u geologiji. Okrugli stol Stanje i pravci razvoja informacionih sistema u geologiji i rudarstvu Jugoslavije, 15 str., Beograd.
- HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije.- Disertacija, Posebno izdanje, Nafta, 221 str., Zagreb.
- KRANJEC, V. & PRELOGOVIĆ, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske.- Geološki vjesnik, 27, 95-112, Zagreb.
- JELASKA, V. (1985): Facijelna interpretacija naslaga između EK markera Rs7 i Pt u području jugoistočnog dijela Dravske potoline.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, Zagreb.
- NAJDENOVSKI, J. (1971): Tektonika šireg područja Vilansko-Međecke zone.- Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, Zagreb.
- PANDŽIĆ, J. (1979): Litofacijski odnosi miocenskih tvorevina istočne Slavonije i Bosanske Posavine.- Zbornik radova III god. naučnog skupa I sekcije ZSN JAZU, Novi Sad, 2, 383-402, Zagreb.
- PLETIKAPIĆ, Ž., GJETVAJ, I., JURKOVIĆ, M., URBIHA, H., HRNČIĆ, Lj. (1964): Geologija i naftoplilonosnost Dravske potoline.- Geološki vjesnik, 17, 48-70, Zagreb.
- PLETIKAPIĆ, Ž. (1979): Vjerojatnostni pristup istraživanju i razradi ležišta nafta i plina.- Zbornik radova RGN, Zagreb.
- RADIĆ, J. & HRNČIĆ, Lj. (1979): Rezultati istraživanja i perspektive naftoplilonosnosti Dravske potoline.- Zbornik radova III godine naučnog skupa I sekcije ZSN JAZU/Novi Sad, 2, 333-350, Zagreb.
- RAFFAELLI, P. (1978): Matematička geologija i njena uloga u dalnjem razvoju geologije u Hrvatskoj.- Geološki vjesnik, 30/2, Zagreb.
- ŠIMON, J. (1973): O lithostratigrafском stupu tercijarnih naslaga u području istočne Slavonije.- Nafta, 3, 119-127, Zagreb.
- ŠIMON, J., BATUŠIĆ, V. (1974): O lithostratigrafском stupu naftnog polja Beničanci.- Zbornik radova znanstvenog skupa I sekcije ZSN JAZU (Opatija 1973), 75-89, Zagreb.



Sedimentological and Geochemical Characteristics of Carbonate Rocks from the K/T Boundary to Lower Eocene in the Karst Area (NW Adriatic Platform)

Bojan OGORELEC¹, Tadej DOLENEC², Franco CUCCHI³, Romeo GIACOMICHI⁴,
Katica DROBNE⁵ & Nevio PUGLIESE³

Key words: K/T boundary, Paleocene, Sedimentology, Carbonate platform, Carbon and oxygen isotopes, Geochemistry, Radiometry, Slovenia, Italy

Abstract

The transition of Maastrichtian to Danian is reflected besides the extinction of some biota species also in its facies and geochemistry. The K/T boundary is characterised by 20 cm to 2 m thick breccia of intertidal origin. Extreme depletion in the $\delta^{13}\text{C}$ content (up to -10‰ PDB) was found just at this boundary and is related to global climatic changes. Danian limestone was deposited in different environments of shallow restricted platform, while during Thanetian and Ilerdian the platform became again more and more open. The content of Ir at K/T transition is lower than 0.2 ppb, due to very high content of CaO (over 54%) and rapid carbonate production. Somewhat higher values of relative radiometric activity are observed in Maastrichtian succession of rocks if compared with Danian limestone.

INTRODUCTION

The transition from Cretaceous to Tertiary is one of the most documented events in the history of Earth. Geological events which took place at the K/T boundary include mass reduction and extinction of many organisms (GARTNER & Mc GUIRK, 1979; RUSSELL, 1979 and others), general climatic cooling (Mc LEAN, 1978; THIERSTEIN, 1982), enrichment with Ir and other elements (ALVAREZ et al., 1980, 1984; GANAPATHY, 1980; PREISINGER et al., 1986; LINDINGER, 1988), the decrease in $\delta^{13}\text{C}$ of marine carbonates (LETTOLLE & RENARD, 1980; MAGARITZ, 1989) and that of organic matter (SCHIMMELMAN & DE NIRO, 1984; MAYERS, 1992). Several possible explanation for these global perturbation events have been proposed among which the "impact theory" of a large extraterrestrial object is one of the most common (ALVAREZ et al., 1980; ALVAREZ, 1987).

The aim of this paper is to test these "impact hypothesis" by means of sedimentological, geochemical and isotope study at the K/T boundary and to state the same characteristics in the Paleocene beds. The carbonate succession was in four up to 150 metres thick section on the Karst area - localities Padriciano, Sopada and Dolenja Vas (West and East) which are up to 20 km apart (Fig. 1).

Limestone was deposited in different environments and conditions on the widespread Adriatic - Dinaric carbonate platform (HERAK, 1986; BUSER, 1989; JURKOVŠEK et al., in press). Relatively continuous transition of the Cretaceous to the Tertiary beds in shallow water environment is quite rare in the Tethys region. The rocks are predominantly developed as deep water sediments (GUBBIO-ALVAREZ et al., 1990; EL KEF & CARAVACCA-LINDINGER, 1988) and flysch (Goriška Brda - DROBNE & PAVŠIČ, 1991; DOLENEC & PAVŠIČ, in press). In some places on carbonate platform this transition is missing due to longer and ephemeral emersion phases (Savudrija - PLENIČAR et al., 1969; Islands Cres, Pag, Brač - JELASKA et al. 1994; GUŠIĆ & JELASKA, 1990).

Biostratigraphy of investigated sections is presented by PUGLIESE et al. in this volume of proceedings ("Micro- and macrofossils from K/T boundary through Paleocene in the Northern Adriatic Platform") as well as in other papers (DROBNE et al., 1988, 1989; CAFFAU et al. 1994).

MICROFACIES AND SEDIMENTOLOGY (B. Ogorelec, F. Cucchi, K. Drobne & N. Pugliese)

Carbonate rocks of the investigated sections were deposited in different sedimentary environments on the shallow platform. Therefore the various microfacies and biogenic diversity is their characteristics (Fig. 2).

Maastrichtian rocks show uniform development. Beds of light gray limestone are 10 to 60 cm thick.

¹Institute of Geology, Geotechnics and Geophysics, Dimičeva 14, 61109 Ljubljana, Slovenia.

²Department of Geology, Univ. Ljubljana, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.

³Instituto di Geologia e Paleontologia, Univ. Trieste, Piazzale Europa 1, 34127 Trieste, Italy.

⁴Depart. of Physics, Univ. Trieste, Via Valerio 2, 34127 Trieste, Italy.

⁵Paleontological Institute ZRC-SAZU, POB 306, 61001 Ljubljana, Slovenia.

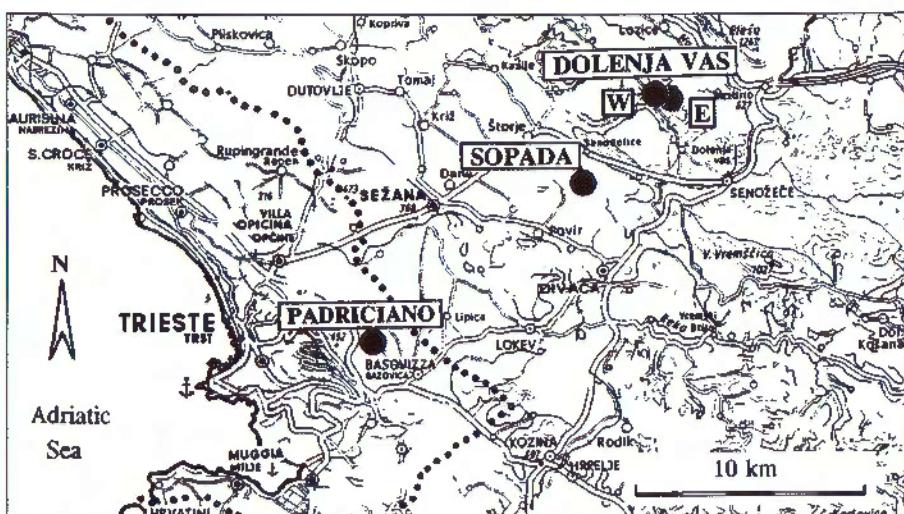


Fig. 1 Location map of investigated Paleocene sections in the Karst area.

Structurally this is gently washed biomicritic and pelbiomicritic limestone (wackestone to packstone) deposited in a very shallow and relatively well created restricted platform. Carbonate content varies from 96 to 99.2% of CaCO₃. Valves of pachyodont pelecypods are mostly fragmented and frequently show bioerosion (Pl. I, Fig. 7). Among other fossils benthic foraminifers (Pl. I, Fig. 8) are present, mainly Miliolidae and locally ostracods, and some characean girogonites as well. Pellets and thin plasticlasts represent abiogenic component. Sediment just below the K/T boundary gets somewhat darker. Structurally it is biomicrite to pelbiomicrite (wackestone and packstone). Deposition in lagoonal environment with some freshwater influence is indicated by ostracods and characeans. The content of organic matter is somewhat higher in comparison with the sediment below it and reaches up to 1.5%. This sediment is characterised by intensive bioturbation, plasticlasts and coccoid cyanophyta frambooids, which indicate anoxic conditions in the sediment surface during depositon and early diagenesis.

The K/T boundary itself is characterised by a 20 cm (Dolenja Vas) up to 2 metres (Padriciano) thick layer of intraformational plastic breccia (Pl. I, Fig. 6) and of supratidal flat pebble conglomerate. After HANSEN et al. (1995) this breccia is interpreted as "debris flow". Breccia particles are some mm to 4 cm in diameter, with diverse degree of roundness. Matrix itself is biomicritic, containing frequent *Paronipora* colonies and organic matter. *Rhynchonella liburnica* can be observed in some intraclasts. This breccia indicates a short lasting emersion phase at K/T boundary time interval, which could last in Dolenja Vas for at least 40 ky (HANSEN et al., 1995).

Limestone of Lower Danian age is dark gray to black coloured, and contains 96 to 98% of carbonate. Structurally it is biomicrite to biopelmicrite (mudstone to packstone according to the fossil content) and deposited under very low energy conditions. It is disturbed by thin stromatolitic laminae (Pl. I, Fig. 5) and flat pebble conglomerate that are still indicative for sedimenta-

tion in littoral lagoonal environment. This type of sediment is confirmed also by numerous shrinkage pores, *Paronipora* and bioturbated. A 60 cm thick layer of stromatolitic dolomite, influenced by early diagenetic dolomitisation is obseved in section Dolenja Vas - W in this stratigraphic unit. Small benthic foraminifers rarely occur in the rock with *Dasycladaceae* algae. Traces of phosphate mineral collophane are observed as tiny brown nests in some layers.

At the transition from Lower to Upper Danian a rise of the sea level occurred. It is evident, according to higher energy index of the rock and disappearance of textures, that are characteristic for intertidal environment. The limestone is becomming lighter; biosparite type prevails over biomicrite (packstone to wackestone). Besides numerous miliolids (Pl. I, Fig. 4) and algae some hydrozoans and massive corals occur here. They often build smaller patch-reefs. The corals are subjected to recrystallisation and bioerosion.

Well bedded limestone of Thanetian age was deposited on very shallow but areated open platform (pack-stone, grainstone and boundstone). In some layers shrinkage pores and *Paronipora* indicate intertidal environment again (Pl. I, Fig. 3). Corallinacean algae and conical foraminifers are the prevailing fossils (Pl. I, Fig. 4).

During Ilerdian the platform became even more open. Large benthic foraminiferes (nummulitids and alveolinids, Pl. I, Figs. 1 and 2) are rock building constituents. Grainstone and packstone type of limestone is the most common. In some places the rock assumes a biocalcarenit character.

CARBON AND OXYGEN ISOTOPIC COMPOSITION OF LIMESTONE (T. Dolenc)

The carbonate isotopic composition of the 70 investigated limestone samples shows the variation of $\delta^{18}\text{O}$ in the range between +23.05‰ and +27.90‰ (SMOW)

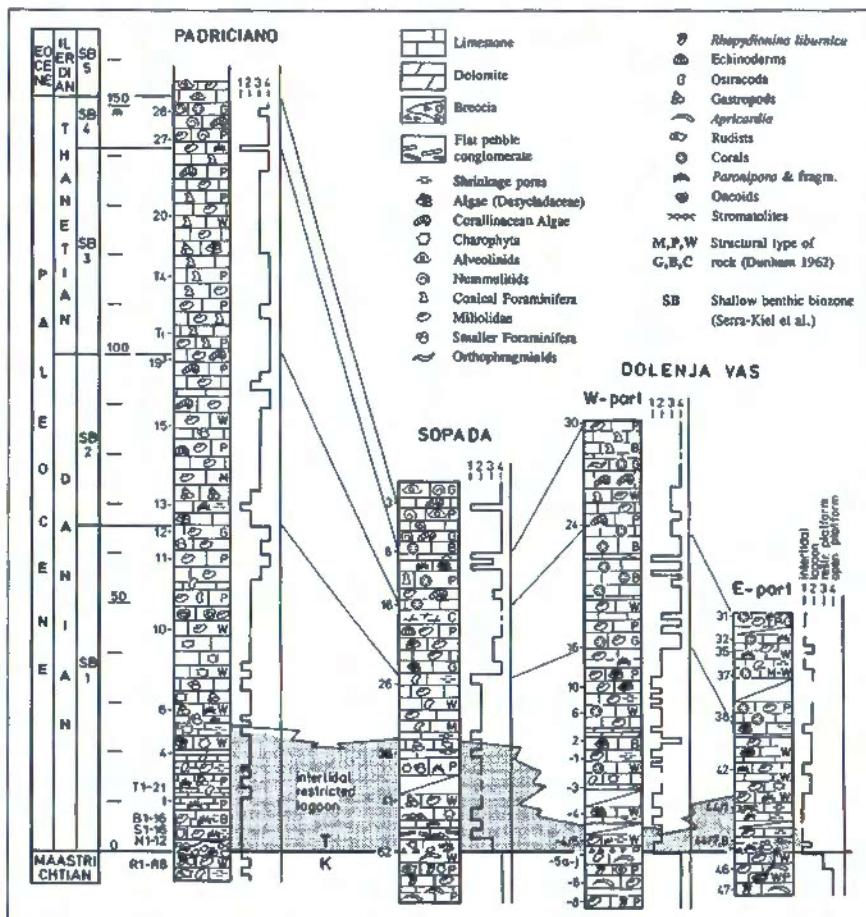


Fig. 2 Stratigraphy, lithology and sedimentary environment of Padriciano, Sopada and Dolenja Vas sections. SB - shallow benthic biozonation (SERRA-KIEL et al., in press).

and of $\delta^{13}\text{C}$ between +2.72‰ and -9.80‰ (PDB) (Fig. 3). Our study has shown that the transition from Cretaceous to Paleocene is characterised by a shift in $\delta^{13}\text{C}$ toward more negative values. Extreme depletion in $\delta^{13}\text{C}$ of this boundary carbonate sequence, up to -7.15‰ at Sopada section and up to -9.80‰ at Padriciano which is among the greatest ever measured in the extinction related boundaries, suggests the strong influence of light terrestrial carbon in sedimentary basin at the time of the K/T transition. We suppose that these isotopic anomalies are related to global climatic changes, caused by impact of an extraterrestrial body (ALVAREZ et al., 1980), followed by the destruction and combustion of terrestrial plants. The depletion in $\delta^{18}\text{O}$ content of the Upper Cretaceous limestones probably reflects slightly higher temperature conditions at the end of Cretaceous age followed by a further tendency towards climatic cooling across the K/T boundary. A negative, but not such extreme $\delta^{13}\text{C}$ excursion of K/T boundary sediments towards lighter values has been also reported from some other K/T boundary localities on the carboante platform (DELVALLE & BUSER, 1990; DOLENEC et al., 1995) and hemipelagic and flysch sediments (LETTOLE & RENARD, 1980; SHACKLETON & HALL, 1984; KELLER & LINDINGER, 1989; MAGARITZ, 1989; DOLENEC & PAVŠIČ, in press).

GEOCHEMISTRY (B. Ogorelec)

Preliminary geochemical analyses of 14 samples in the section Dolenja Vas - West and Sopada were focused on three metres thick intervals of the K/T transition. Most of the samples were analysed on 32 elements, 6 of the samples also include determinations of rare earths and some other incompatible elements. According to high carbonate content in the rock (over 54% of CaO) no special distinction can be observed below and above the K/T boundary as previously expected. Nevertheless, there is two to threefold increase of content observed for Ga, Co, Ni, V, Sm and Zr 60 cm below the K/T boundary in Dolenja vas - W section (Ga 50-450 ppb, Ni 3-12 ppm, Co 6-32 ppm, V 10-85 ppm, Sm 8-25 ppm, Zr 10-45 ppm). Rare earth element content of all investigated limestone samples is below or around 0.1 ppb, while of some other incompatible elements (Os, Ru, Rh, Pt, Pd) the amount is also below 1 ppb, except for Re (1-3 ppb).

The content of Ir is in 6 investigated samples lower than 0.2 ppb. Inspite of all that somewhat higher content of Ir can be expected in the limestone of the K/T boundary since HANSEN et al. (1995) observed appreciable higher values (5.8 ppb Ir) in the carbon fraction of the K/T breccia in Dolenja Vas - W section. Therefore, additional detailed analyses are planned.

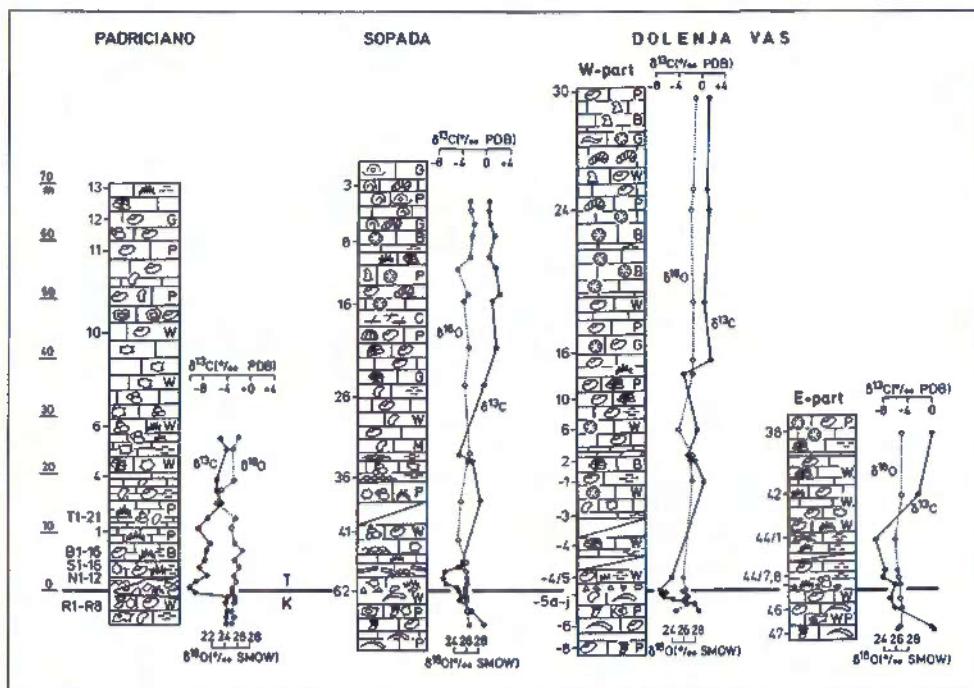


Fig. 3 $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ stable isotopic composition in the Padriciano, Sopada and Dolenja Vas sections (measured by T. Dolenc). Legend on Fig. 2.

ACTIVITY OF NATURAL RADIONUCLIDES (R. Giacomich)

The data of the activity of natural radionuclides concern lithotypes of the K/T boundary of the Dolenja Vas - W sequence (2.5 m) and short series of samples, including the K/T boundary, of the Padriciano sequence (40 m). The measurements are related to the activity per mass unit of each sample (Fig. 4). They concern the g radiations from ^{214}Pb and ^{214}Bi in hypothesized secular equilibrium with ^{226}Ra and ^{238}U .

In the Maastrichtian limestones the measurements obtained at Padriciano present values from 73 to 97 Bq/Kg, meanwhile at Dolenja Vas - W they vary from 12 to 47 Bq/Kg.

In the Padriciano sequence, the breccia of the K/T boundary shows a very low value (21 Bq/Kg). The low-

ermost Danian lithotypes in the Padriciano sequence show values which vary irregularly from 22 to 76 Bq/Kg), meanwhile those of the Dolenja Vas - W sequence range from 5 to 25 Bq/Kg.

Thus, the Maastrichtian limestones show relatively higher values than those of the Danian. It is also evident that the values obtained at Padriciano are always higher than those of Dolenja Vas - W. Ongoing study will be addressed to focus on the possible link between the palaeoenvironment and amount of activity of natural radionuclides with particular attention to ^{214}Pb and ^{214}Bi . Up to now, it seems possible to highlight that the limestones of very restricted settings (Padriciano sequence) present higher values of activity of natural radionuclides than those of the lagoon of Dolenja Vas - W.

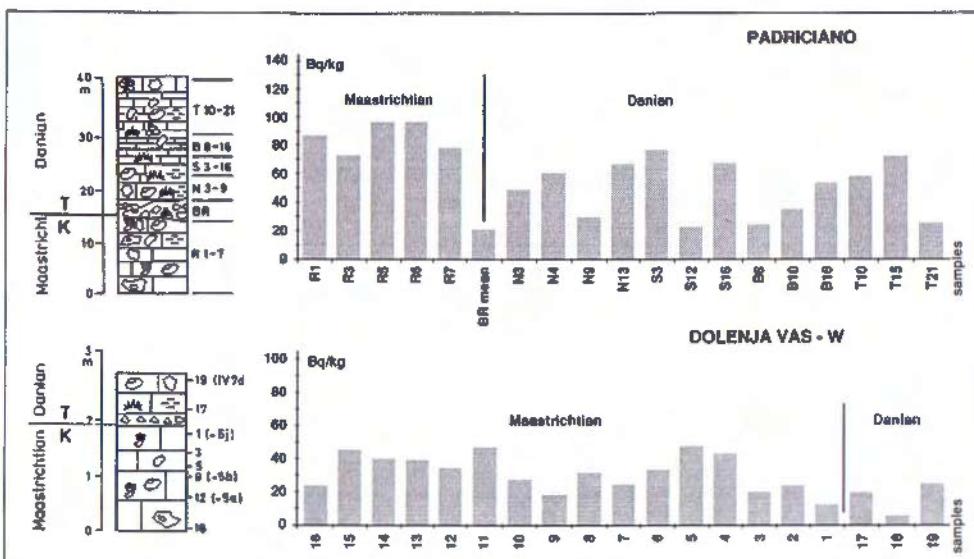


Fig. 4 Activity of natural radionuclides in limestone of Padriciano and Dolenja Vas - West sections (measured by R. Giacomich).

DISCUSSION

The research has shown that global changes on the K/T boundary are also reflected in abiotic characteristics of carbonate rocks in the Karst region. With respect to the fact that the carbonate production was very intensive (some metres thick sequence of limestone in comparison with some cm thick layers of noncarbonaceous rocks in the Tethys area). The conclusions can be the following:

- Sedimentary environment on the K/T boundary changes from open shallow platform to littoral lagoon with intertidal conditions and ephemeral emersion phases (up to 2 m thick strata and lenses of breccia).
- In the stable isotope composition appreciable enrichment in light $\delta^{13}\text{C}$ (up to -10‰ PDB) can be observed, whereas $\delta^{18}\text{O}$ does not show any evident variations.
- Slight enrichment with some elements just below the K/T boundary (Ga, Ni, V, Sm, Zr).
- The rudistid limestone of Maastrichtian age indicates somewhat higher radiometric activity with regard to the Paleocene limestone.
- Danian limestone has been deposited in different environments of shallow restricted platform, frequently in intertidal environments, and it contains rather diverse association of fossils as well as increased content of organic matter.

In Thanetian and Ilerdian the platform became again more and more open. Carbonate production was with respect to large benthic foraminifera, corallinacean algae and coralline-hydrozoan patch-reefs intensive.

Acknowledgements

The present contribution is the result of international scientific cooperation among the geological institutions in Trieste and Ljubljana (Alpe - Adria Project). The research was granted by Ministry of Science and Technology of the Republic of Slovenia and by Italian Ministry of University Scientific Research and Technology.

REFERENCES

- ALVAREZ, L.W. (1987): Mass extinctions caused by large bolide impacts.- *Phys. Today*, 40, 23-34.
- ALVAREZ, L.W., ALVAREZ, W.F., ASARO, F. & MICHEL, H.V. (1980): Extraterrestrial cause for the Cretaceous - Tertiary extinction.- *Science*, 208, 1095-1100.
- ALVAREZ, W., ALVAREZ, L.W., ASARO, F. & MICHEL, H.V. (1984): The end of the Cretaceous: Sharp boundary or gradual transition.- *Science*, 223, 1183-1186.
- BARRERA, E. & KELLER, G. (1990): Stable isotopic evidence for gradual environmental changes and species survivorship across the Cretaceous/Tertiary boundary.- *Paleoceanography*, 5, 867-890.
- BUSER, S. (1989): Development of the Dinaric and the Julian Carbonate platforms and of the intermediate Slovenia basin (NW Yugoslavia).- *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 40, 313-320.
- CAFFAU, M., CUCCI, F., DROBNE, K., GALVANI, R., PLENIČAR, M., PUGLIESE, N. & TURNŠEK, D. (1994): Stop 3 - Padriano.- *Paleobenthos Trieste*, 6 - 11 giugno 1994, 1-11, Trieste.
- DELVALLE, D. & BUSER, S. (1990): Microfacies analysis of limestones from the Upper Cretaceous to the Lower Eocene of SW Slovenia (Yugoslavia).- *Geologija*, 31-32, 351-394, Ljubljana.
- DOLENEC, T., CUCCI, F., GIACOMICH, R., MARTON, E. & OGORELEC, B. (1995): Abiotic characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary on the Karst area (isotopes, geochemistry, geochronology, and paleomagnetism).- In: MONTANARI, A. & COCCIONI, R. (eds.): Impact cratering and evolution of Planet Earth, 4th Int. Workshop of ESF, Ancona, Abstracts and field trips, 68-69.
- DOLENEC, T. & PAVŠIČ, J. (in press): Elemental and stable isotope variations in the Cretaceous - Tertiary boundary sediments from the Soča Valley, NW Slovenia.- *Terra nova*.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., BARATTOLO, F., TURNŠEK, D. & ZUCCHI-STOLFA, M.L. (1989): The Dolenja vas section, a transition from Cretaceous to Paleocene in the NW Dinarides, Yugoslavia.- *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 40, 73-84.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., ZUCCHI-STOLFA, M.L. & TURNŠEK, D. (1988): Maastrichtian, Danian and Thanetian beds in Dolenja vas (NW Dinarides, Yugoslavia) - Microfacies, foraminifers, rudists and corals.- *Razprave 4 razr. SAZU*, 29, 147-224, Ljubljana.
- DROBNE, K. & PAVŠIČ, J. (1991): Clastic carbonate deposits in SW Slovenia and Istria.- *IGCP Proj. 286 - Early Paleogene Benthos*, 2nd Meet. Postojna, ZRC-SAZU, 19-21, Ljubljana.
- GANAPATHY, R. (1980): A major meteorite impact on the Earth 65 million years ago: evidence from the Cretaceous - Tertiary boundary clay.- *Science*, 209, 921-923.
- GARTNER, S. & Mc GUIRK, J.P. (1979): Terminal Cretaceous extinction - Scenario for a catastrophe.- *Science*, 206, 1272-1276.
- GUŠIČ, I. & JELASKA, V. (1990): Upper Cretaceous stratigraphy of the Island of Brač.- *JAZU*, 69, 160 p., Zagreb.
- HANSEN, H.J., DROBNE, K. & GWOZDZ, R. (1995): The K/T boundary in Slovenia: Dating by magnetic susceptibility stratigraphy and an iridium - anomaly in a debris flow.- In: MONTANARI, A. & COCCIONI, R. (eds.): Impact cratering and evolution of Planet Earth, 4th Int. Workshop of ESF, Ancona, Abstracts and field trips, 84-85.
- HERAK, M. (1986): A new concept of the geotectonics of the Dinarides.- *Acta Geol.*, 16/2, 1-42, Zagreb.
- JELASKA, V., GUŠIČ, I., JURKOVŠEK, B., OGORELEC, B., ČOSOVIĆ, V., ŠRIBAR, L. & TOMAN, M. (1994): Upper Cretaceous geodynamic evolution of the Adriatic-Dinaric carbonate platform.- First Int. Meet. on Perimediterranean carbonate platforms, Marseille, Abstr., 81-82.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. (in press): Formacijska geološka karta 1:50.000 južnega dela Tržaško-komenske planote.- *Geologija*, 38, Ljubljana.
- KELLER, G. & LINDINGER, M. (1989): Stable isotopic, TDC and CaCO₃ record across the Cretaceous/Tertiary boundary at El Kef, Tunisia.- *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 73, 243-266.
- LETOLLE, R. & RENARD, M. (1980): Evolution des teneurs en $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates pelagiques axis limites Crétacé - Tertiaire et Paléocène - Eocene.- *C. R. Acad. Sci. Paris*, 290, 827-830.

- LINDINGER, M. (1988): The Cretaceous/Tertiary boundaries of El Kef and Caravaca - Sedimentological, geochemical and clay mineralogical aspects.- Mitt. geol. Inst. Univ. Zürich, N. Folge 272, 1-218.
- MAGARITZ, M. (1989): $\delta^{13}\text{C}$ minima follow extinction events: A clue to faunal radiation.- Geology, 17, 373-340.
- MAYERS, P.A. (1992): Changes in organic carbon stable isotope ratios across the K-T boundary: Global or local control.- Chem. Geology, 101, 283-291.
- MCLEAN, D.M. (1978): A terminal Mesozoic "greenhouse": lessons from the last.- Science, 201, 401-406.
- PLENIČAR, M., POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1969): Osnovna geološka karta SFRJ, List Trst 1:100.000.- Sav. geol. zav. Beograd.
- PREISINGER, A., ZOBETZ, E., GRATZ, A.J., LAHODYNSKY, R., BECKE, M., MAURITSCH, H.J., EDER, G., GRASS, F.R., STRADNER, H. & SURENIAN, R. (1986): The Cretaceous/Tertiary boundary in the Gosau basin, Austria.- Nature, 322, 794-799.
- RUSSEL, D.A. (1979): The enigma of extinction of the dinosaurs.- Animal Reviews of Earth and Planetary Sciences, 7, 163-182.
- SCHIMMELMAN, A. & DE NIRO, M.J. (1984): Elemental and stable isotope variations of organic matter from a terrestrial sequence containing the Cretaceous/Tertiary boundary at York Canyon, New Mexico.- Earth. planet. Sci. Letters, 68, 392-398.
- SERRA-KIEL, J., HOTTINGER, L., DROBNE, K., FERNANDEZ, C., LESS, G., JAUHRI, A.K., PIGNATTI, J., SAMSO, J.M., SIREL, E., TAMBAREAU, Y., TOSQUELLA, J., ZAKREVSKAYA, E. (in press): Benthic Foraminifera from Paleocene and Eocene.- In: The Mesozoic - Cenozoic Chronostratigraphic Framework, SEPM Spec. Publ.
- SHACKLETON, N.J. & HALL, M.A. (1984): Carbon isotope data from Leg 74 sediments.- Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. 74, 613-629.
- THIERSTEIN, R.H. (1982): The terminal Cretaceous extinction event and climatic stability.- In: Studies in Geophysics - Climate in Earth history, National Academy Press, 90-95, Washington.

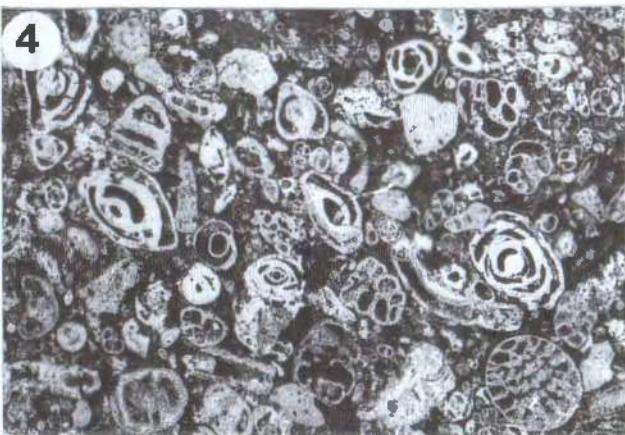
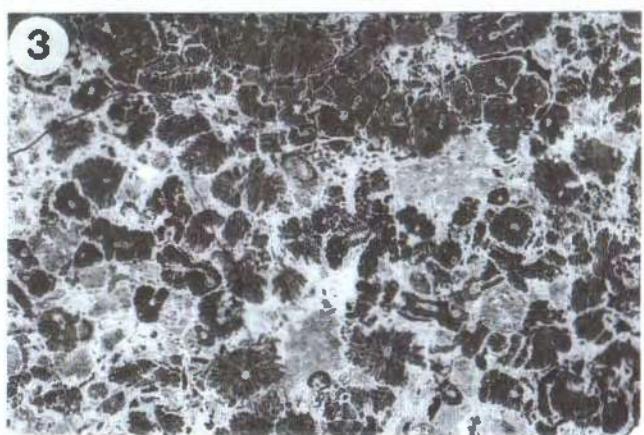
PLATE I

Characteristic microfacies of Maastrichtian and Paleocene beds in Karst area

All enlargements 10 x.

1. Foraminiferal - peloidal packstone with alveolinids, Sop 1, Ilerdian.
2. Foraminiferal grainstone with nummulitids, Sop 3/2, Ilerdian.
3. *Paronipora* sp. in muddy carbonate matrix, Sop 11, Thanetian.
4. Packstone with numerous miliolids and agglutinated conical foraminifers, Sop 10, Thanetian.
5. Laminated stromatolitic boundstone with shrinkage pores (loferite), Sop 50, Danian.
6. Intertidal breccia with reworked muddy clasts, Sop 61, K/T boundary.
7. Biomicritic wackestone with *Bournonia* sp., Dv - 5a, Late Maastrichtian.
8. Foraminiferal packstone with *Rhynchonella liburnica*, Dv - 9, Late Maastrichtian.

PLATE I



Automatska obrada površinskih geodinamskih parametara Sjeverne Hrvatske u GIS okruženju

Ivan OPIĆ¹, Mate DRAGAŠ² & Davorin KEREKOVIĆ³

Ključne riječi: prostorna baza geodinamskih strukturno-tektonskih podataka, geovizualizacija, automatski grafički dizajn kartografske podloge i sadržaja

Sažetak

Geodinamska rekonstrukcija Sjeverne Hrvatske (južni dio Panonskog bazena) radila se u sklopu makro-projekta "Aktualizacija modela sedimentacije Sjeverne Hrvatske". Cilj ovih aktivnosti odnosi se na izradu što boljeg modela koji će omogućiti pronađak novih rezervi ugljikovodika.

Od trenutka kad se iz krute organske tvari generiraju tekući i plinoviti ugljikovodici od neobične važnosti za njihovu migraciju i akumulaciju su geodinamska zbivanja sa svim pripadajućim atributima.

Površinska geodinamska istraživanja prostora Sjeverne Hrvatske za potrebe otkrivanja nafte i plina, obavljena su u nekoliko etapa i pomoću nekoliko metoda.

Konačni rezultat navedenih aktivnosti bio je, među ostalim, formiranje površinskih strukturno-tektonskih karata M 1: 100.000. Obradu velikog broja grafičkih podataka opisanih nizom atributa vrlo uspješno smo rješili uz pomoć GIS alata (tehnologije).

U rješenju kompleksne geodinamske grade i odnosa unutar istražnog prostora uspostavljeni su modeli istražnog prostora, geodinamske baze prostornih podataka i kartografske vizualizacije geodinamskih parametara.

Geodinamska rekonstrukcija Sjeverne Hrvatske (južni dio Panonskog bazena) radi se u sklopu makro-projekta "Model sedimentacije Sjeverne Hrvatske" (MSSH). U tom području do sada je proizvedeno oko 70 milijuna m³ nafte i oko 30 milijardi m³ plina. Projekat godišnje proizvodnje u posljednjih desetak godina je oko 2 milijuna m³/godišnje nafte i oko 2 milijarde m³/godišnje plina.

Cilj ovih aktivnosti odnosi se na izradu što boljeg modela koji će omogućiti pronađak novih rezervi ugljikovodika.

Od trenutka kad se iz krute organske tvari generiraju tekući i plinoviti ugljikovodici od neobične važnosti za njihovu migraciju i akumulaciju su geodinamska zbivanja sa svim pripadajućim atributima. Obradu velikog

broja grafičkih podataka opisanih nizom atributa vrlo uspješno smo rješili uz pomoć GIS alata (tehnologije). Osim toga ova međufaza iskorištena je i za pripremu grafičkih prikaza GIS tehnologijom za iduće faze izrade modela.

Geodinamski procesi i pojave su u uskoj svezi sa stazom, povijesti i postankom stijena, te karakteristikama bazena. Sa stanovišta naftno-geoloških i drugih istraživanja postoje brojni razlozi njihovog istraživanja, kao npr.

- formiraju moguće putove ili barijere za komuniciranje svih vrsta fluida i energije,
- osnovna su predispozicija hidrodinamskog ponašanja,
- kontinuirani su pratičac postanka i razvoja sedimentacijskog bazena i sedimenata,
- sudjeluju u formiranju strukturalnih formi u bazenu,
- stvaraju predispozicijske osnove pojavljivanju erupтивnih stijena i dr.

U rješavanju kompleksne geodinamske grade i odnosa istražnog prostora uspostavljeni su modeli istražnog prostora, geodinamske baze prostornih podataka i kartografske vizualizacije geodinamskih parametara.

ANALIZA ISTRAŽNOG PROSTORA I FONDOVSKOG MATERIJALA

Istraživanje strukturnog sadržaja i tektonskih odnosa određenog prostora sadrži sve komponente geostatističkog pristupa problematice. Nivo uredenosti tog geostatističkog skupa u svezi je s karakteristikama okruženja i projektiranom svrhom i ciljevima radnih zadataka. U procesu digitalizacije prostornih i atributivnih komponenti neophodno je cijelovito sagledavanje svih faktora iz faze generiranja kao i budućih obrada. Posebnu pažnju treba posvetiti slijedećim aspektima:

- tematskoj definiciji prethodnih projekata,
- karakteristikama terena,
- vrsti i kvaliteti podloga (satelitske i avio-scene, mjerilo topografskih karata),

¹GEOIST, Antuna Nemčića 33, 10430 Samobor, Hrvatska.

²INA Naftaplin, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.

³INA-INFO, GIZIS, Ul. grada Vukovara 78, 10000 Zagreb, Hrvatska.

- primjenjenom nivou znanja, kriterijima autora i dr.

Površinska geodinamska istraživanja prostora sjeverne Hrvatske, za potrebe otkrivanja nafte i plina, obavljena su u nekoliko etapa i pomoću nekoliko metoda:

- analizom satelitskih scena,
- analizom avionskih scena,
- terenskim provjerama opaženih formi,
- korelacijom s podacima iz osnovne geološke karte,
- korelacijom s regionalnim i detaljnim gravimetrijskim kartama,

- korelacijom s dostupnim litofacijskim kartama i dr.

Konačni rezultat navedenih aktivnosti bio je, među ostalim, formiranje površinskih strukturno-tektonskih karata za pojedine dijelove sjeverne Hrvatske u mjerilu M 1:100.000. Na kartama su grafički prikazane tektonske linije grupirane u pet klase:

- rasjedi prvog reda,
- rasjedi prvog reda s naznakom spuštenog bloka,
- rasjedi drugog reda,
- rasjedi drugog reda s naznakom spuštenog bloka,
- rasjedi trećeg reda i pukotine.

Kriteriji klasifikacije tektonske linije odnosili su se na duljinu i intenzitet pomaka, granice među ambijentima, povezanost s gravimetrijskim strukturama, diskontinuitet blokova različite starosti i dr.

Rezultati analitičke obrade satelitskih i avio-scena nisu u potpunosti kvalitativno i kvantitativno identični, radi različite moći razlučivanja, što je rezultiralo sa dva seta istovrsnih interpretativnih podloga. Za daljnje postupke digitalizacije, imajući na umu mjerilo budućih podloga, odabran je set generiran pomoću satelitskih scena.

BAZA GEODINAMSKIH PODATAKA

Postupkom digitalizacije i obrade u GIS tehnologijama u INA-INFO - GIZIS Centru, formirano je pet zasebnih datoteka, za svaku klasu (tip) rasjedne linije. Svaka rasjedna linija predstavljena je jedinstvenim identifikacijskim brojem i nizom parova koordinata (X,Y). Ovako uspostavljena organizacija uzrokovana je potrebama neposrednog grafičkog prikaza i korištene programske podrške, što nas je ovom prilikom zadovoljilo.

U procesima budućih obrada trebat će izvršiti reorganizaciju datoteka u bazu podataka. Glavni problem u takvom pristupu odnosit će se na formiranje jedinstvenog identifikacijskog broja i dodatnih atribucija. Potrebno je naglasiti da u ovoj vrsti automatizacije autorima nisu poznati općenito dogovorenii kriteriji i standardi koji bi mogli poslužiti kao uzor. Analizom prostornog obilježja površinskih geodinamskih komponenti definiran je model buduće baze geodinamskih

strukturno-tektonskih podataka (BGSTP).

Naknadne intervencije kod ažuriranja sadržaja i dizajna BGSTP, te potreba za složenim obradama u 2D i 3D prikazima, uvjetuje primjenu suvremenih programskih alata u izgradnji i podršci relacijskim bazama podataka (RDBM), kao što su ORACLE, DBASE i dr., te primjenu GIS SW na radnim stanicama (Workstation).

Pregled stanja i naknadnih intervencija nad fondom automatiziranih podataka analizirano je radi budućih sličnih obrada:

Klasa	Mem.(bytes)	Br. linija	Br. intervencija
I red	223338	1126	110
I red spušten blok	70674	324	68
II red	362046	1877	140
II red spušten blok	34768	160	7
III red	486998	2695	144

Jedno od postignuća obavljenih radova odnosi se na procjenu vremenskog angažiranja za pojedine faze rada:

aktivnost	vremenska jedinica
• analiza fondovskog materijala	1.0
• skaniranje	0.1
• imenovanje (identificiranje)	1.0
• vektoriziranje	2.0
• inkrementiranje	2.0
• atributiranje	4-6.0

Vremenska jedinica izračunata je kao relativan broj odnosa potrebnog vremena obavljanja pojedinih aktivnosti i vremena potrebnog za analizu cijelokupnog materijala.

VIZUALIZACIJA STRUKTURNO-TEKTONSKIH KARATA

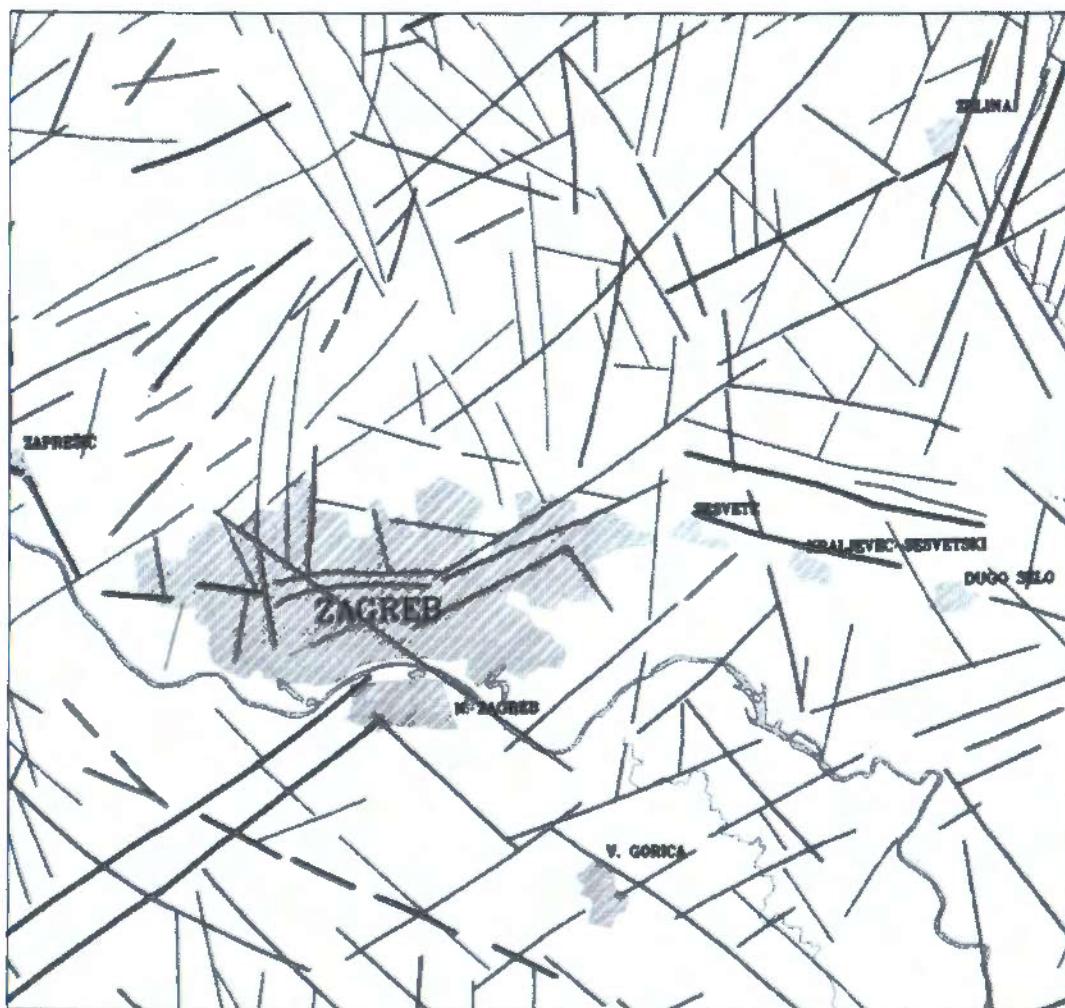
Jedan od postavljenih ciljeva radnog zadatka odnosi se na automatizaciju dizajna podloge i tematskog sadržaja kod izrade površinske strukturno-tektonske karte (sl. 1).

DIZAJN PODLOGE GRAFIČKOG PRIKAZA

Dosadašnji klasični način izrade topografske podloge, radi tematskog prikaza sadržaja zamijenjen je automatiziranim postupcima. Digitalizirani topografski entiteti, kao što su rijeke, državne granice, poligoni naselja i dr., dopunjeni su legendom, sastavnicom, naslovom, oznakom mjerila i dr.

Kvaliteta i gustoća digitaliziranog sadržaja prilagođena je mjerilu i autorovim zahtjevima.

Relativno jednostavnim postupcima ažuriranja digitaliziranih topografskih i drugih entiteta moguće je bitno djelovati na kartografski dizajn podloga. Za te potrebe na raspolaganju je softverska i hardverska GIS podrška.



Sl. 1. Prikaz digitaliziranog sadržaja strukturno-tektonskih elemenata dijela sjev. Hrvatske.

DIZAJN SADRŽAJA

Digitalizirane identifikacijske i prostorne komponente entiteta moguće je digitalnim postupcima grafički dizajnirati i istaknuti. Budući se postupak crtanja izvodi na kolor elektrostatskom ploteru, pojedine tematski odabrane entitete moguće je naznačiti različitim debljinama i širokom paletom boja. Njihovom je kombinacijom moguće istaći informatički sadržaj budućim korisnicima.

Digitalizacijom postupaka i komponenti kod dizajniranja i prikaza tematskog kartografskog sadržaja stvorene su pretpostavke za automatsku izradu površinske strukturno-tektonske karte područja sjeverne Hrvatske, kao i za mogućnost automatskog utjecaja svih atributa, bilo pojedinačno ili skupno, na strukturno-tektonske forme (entitete).

ZAKLJUČCI

Aktivnostima strukturno-tektonskih obrada podigao se nivo uredenosti istražnog prostora, ali i istakao problem kvalitativnih i kvantitativnih komunikacijskih i drugih šumova među sudionicima obrade i primjene. Da bi se odgovorilo zahtjevima suvremene automatske obrade pristupilo se organizaciji i uspostavljanju digitalizirane baze geodinamskih podataka.

Integralnim prikazom digitaliziranih strukturno-tektonskih podataka područja sjeverne Hrvatske uočen je niz problema, od faze metodološkog pristupa istražnom prostoru, ujednačene primjene kriterija obrade, intra-, inter- i multidisciplinarne primjene rezultata, te mjesta i uloge procesa daljnje automatizacije strukturno-tektonskih podataka.

U nastavku radova bit će neophodno usmjeriti aktivnosti na:

- usvajanje odgovarajućih metodologija, te ispitivanje SW rješenja,
- opću i tematsku sistematiku znanja,
- sistematiku budućih obrada,
- sistematiku tematskih slojeva (informatiziranih podloga) i prikaza za buduće inter-, intra- i multidisciplinarnе obrade.

S naftno-geološkog stajališta utvrđeni su:

- generalni smjerovi propusnih (tenzionih) i nepropusnih (kompresionih) rasjednih i pukotinskih sustava,
- mogući migracioni putovi,
- tilt (uzdizanje, spuštanje, rotacija).

Hidrogeološka istraživanja lokaliteta Cerna-Vinkovci (istočna Hrvatska)

Ivan OPIĆ¹, Julije THALLER², Božo GALIĆ³ & Rudolf KÖNIG⁴

Ključne riječi: automatska obrada hidrogeoloških podataka, povratna veza, Cerna, GIS alati, GEOGRAPH

Sažetak

Gospodarski razvoj grada Vinkovaca praćen je potrebom za sve većim količinama kvalitetne pitke vode. U zadovoljenju svojih sadašnjih potreba gradu je na raspolaganju 130 l/s, a do 2000. godine planira se zahvat od 200 l/s.

U proteklom vremenu izvršena su značajna ulaganja u hidrogeološka istraživanja šireg vinkovčkog podzemlja. U procesima istraživanja korištene su brojne metodologije, obrade i zaključivanja. Prikupljen je značajan fond raznovrsnih podataka i informacija. Koncipiranjem novih hidrogeoloških istraživanja lokaliteta Cerna strateški se opredijelilo za paralelno odvijanje radova automatizacije i prostorne obrade prethodnih podataka i informacija regio-naльнog značaja, te aktivnosti bušenja istražnih bušotina. Uspostavljanjem paralelnog odvijanja ovih dviju grupa aktivnosti omogućena je provjera brojnih komponenti kompleksnog regionalnog hidrogeološkog modela, odnosa sa lokalnim hidrogeološkim modelom Cerna, te, u stvarnom vremenu, povratnog djelovanja na lociranja novih istražnih bušotina, kao i budućih istražnih radova. Relociranjem novih istražnih bušotina ovakav je pristup djelomično provjeren u praksi. Kompletniji odgovor očekuje se po završetku procesa automatizacije cijelog korpusa prethodnih podataka i informacija, završetku istraživačkih aktivnosti, te vrednovanju prognozirane i novouspostavljene slike stanja podzemlja.

Ovim radom bit će prikazan proces interaktivnog djelovanja prostorne analize podataka na odvijanje hidrogeoloških aktivnosti.

PRETHODNA ISTRAŽIVANJA

Sustavna hidrogeološka istraživanja podzemlja Sjeverne Hrvatske za potrebe vodosnabdjevanja stanovništva započeta su 1962. godine. Njihov osnovni cilj odnosio se na definiranje slike stanja u podzemlju, o kolektorskim i pokrovnim stijenama, te postojanju povoljnih strukturalnih formi za formiranje vodocirpilišta. U izgradnji slike stanja korišteni su radovi prethodnih hidrogeoloških, naftogeoloških i dr. aktivnosti. Do 70-tih godina stvoren je hidrogeološki model podzemlja

Sjeverne Hrvatske. Definirane su dvije zone na osnovu karakteristika vodnog fluida. Prva zona opisana je kao litološki kompleks koji sadrži vodu nižih temperatura i mineralizacije. Drugu zonu predstavlja dublji litološki kompleks sa vodama više mineralizacije i temperature. Karakteristika područja Sjeverne Hrvatske je da su u tim prostorima zastupljene obje zone. Za potrebe vodosnabdjevanja stanovništva tih prostora od posebne je važnosti prva zona. Njoj se posvetilo dosta pažnje u što detaljnijem istraživanju. Istražnim hidrogeološkim radovima prva hidrogeološka zona opisana je brojnim podacima i informacijama. Područje Istočne Slavonije posebno je detaljno istraživano, postoje brojni radovi o instaliranim istražnim i eksploatacijskim objektima.

POSTIGNUĆA DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA

Istraživanje, pronalaženje i uspostavljanje brojnih vodocirpilišta diljem Istočne Slavonije najveće je postignuće dosadašnjeg odnosa prema hidrogeološkim resursima. Tijekom dugogodišnjih istraživanja i eksploatacije vodnih georesursa uspostavljen je bogat fond signifikantnih podataka, informacija i spoznaja, na osnovu kojih je definiran hidrogeološki i gospodarski model. Domeni postignuća pribraju se brojni uočeni problemi i nerješeni zadaci.

HIDROGEOLOŠKI MODEL

Prva hidrogeološka zona u posavskom dijelu Istočne Slavonije raščlanjena je na četiri vodonosna člana: Velika Kopanica, Vinkovci, Nijemci i Strizivojna. Ovakav hidrogeološki model podzemlja istraživan je i prepoznavan na mnogim lokalitetima ovog područja.

Uspostavljeni model je pojednostavljena slika stvarnih zakonitosti i odnosa u prirodi. Budući da svako modeliranje prirodnih procesa i pojava u samom početku dovodi do pojednostavljenja stvarnosti, mora se predvidjeti povratna veza model - stvarnost, sve do eventualne izgradnje novog modela.

¹GEOIST, Antuna Nemčića 33, 10430 Samobor, Hrvatska.

²INA Istraživanje i proizvodnja nafta i plina, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.

³Vinkovčki vodovod i kanalizacija, Ružina 9, 32100 Vinkovci, Hrvatska.

⁴Poglavarstvo Vukovarsko-sremske Županije, 32100 Vinkovci, Hrvatska.

GOSPODARSKI MODEL

Suvremeni razvoj i obnova Istočne Slavonije, a s time i vinkovačke regije, imao je za posljedicu isticanje sve većih potreba za kvalitetnom pitkom vodom, što je rezultiralo novim hidrogeološkim istraživanjima te bušenjima brojnih zdenaca. Unatoč tomu ostao je deficit pitke vode. Gospodarski model rješenja tog problema odnosi se na izgradnju regionalnog vodovoda kojim bi se nadoknadio iskazani deficit. Dvojan pristup u osiguranju dovoljnih količina kvalitetne pitke vode ističe potrebu gospodarskog odnosa prema oba raspoloživa resursa.

PROBLEMATIKA PRETHODNIH ISTRAŽIVANJA

U postizanju što konzistentnije slike o hidrogeološkoj gradi podzemlja, zakonitostima i bilančnom stanju rezervi, primjenjivane su raznovrsne i brojne istraživačke metode. Istima se pored brojnih rješenja ukazalo i na brojne probleme, koji su doveli u sumnju neke od prethodnih komponenti slike o hidrogeološkoj gradi i odnosima u podzemlju. Djelomičnim, gotovo nikad cjelovitim, poznavanjem slike stanja hidrogeoloških odnosa u podzemlju posebno su istaknuti problemi sedimentacije u bazenu, lateralnih i vertikalnih odnosa litoloških članova, regionalne i lokalne hidrodinamske konzistentnosti u bazenu, strukturnotektonskih odnosa, povezanosti dubine sa površinom i dr. Brojni problemi sve više su naglašavali potrebu za kvalitativnim promjenama u pristupu hidrogeološkim istraživanjima Istočne Slavonije. Ukaživano je na potrebu matematičkog modeliranja zakonitosti u podzemlju te sustavne i cjelovite reobrade korpusa podataka i informacija. Prvi takvi pokušaji načinjeni su za potrebu izrade matematičkog modela pojedinih vodonosnih horizontata. Dobiveni rezultati ukazivali su na nesklad između empirijskih i teoretskih pretpostavki dosadašnjeg modela.

SISTEMSKA ANALIZA

Pristupajući projektiranju vodocrpilišta u Černi postavljen je prioritetan zadatka za reobradom što većeg broja postojećih podataka i informacija. Da bi se to postiglo bilo je neophodno kvalitativno podići stupanj uredenosti podataka i informacija o prethodnim istraživanjima, te omogućiti automatsku obradu podataka. Poseban naglasak bio je na reobradi fondovskog materijala "Vinkovačkog vodovoda i kanalizacije", te dijela dokumentacije koju je na raspolaganje stavio "INA Naftaplin".

Pregledom fondovskog materijala sagledan je spektar mogućih problema u podizanju razine uredenosti na istraživanom prostoru Istočne Slavonije. Na osnovu

prethodnih iskustava u primjeni metoda sistemske analize i automatske obrade podataka u naftno geološkim istraživanjima panonskog bazena ista je bila osnovom u pristupu ovom problemu.

Pored već poznate hidrogeološke problematike sistemskom analizom formiran je novi set problema od faze prikupljanja, obrade, do distribucije novih podataka i informacija.

Problematika iz te domene odnosi se na: prikupljanje prethodnih materijala; njihovu cjelovitost (ažurnost, kompletnost); usporedivost; uspostavljanje jednoznačnih kriterija kod prikupljanja, analize i obrada postignuća (jedinice, sustavi, standardi, priprema uzoraka, instrumentarij); prepoznavanje objekata (po nazivu, prostoru, izvodaču, investitoru); skraćenom imenovanju (šifriranju) objekata i istraživanja (analitičkih metoda); organizaciji i obradi atributivnih, numeričkih i grafičkih obilježja; inkrementiranju hidrogeološkog prostora (točkasto, intervalno, poligonsko, trodimenzionalno); organizaciji grafičkih (kartografskih) podloga (mjerilo, dizajn) i dr. Rješenjem navedene problematike omogućiti će se podizanje razine uredenosti slike stanja hidrogeološkog sustava.

INFORMATIČKI MODEL

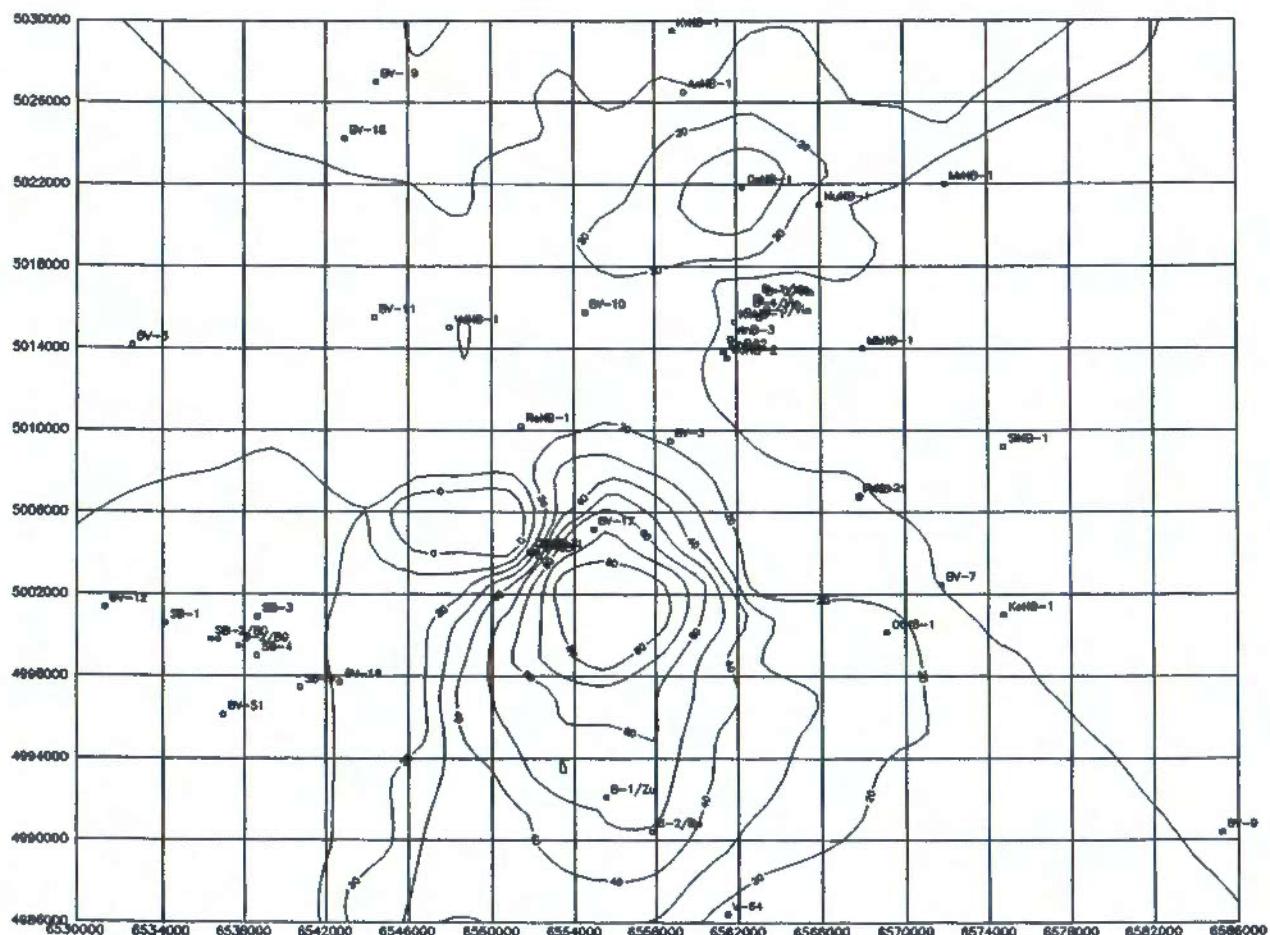
Sustavnom analizom raspoloživog korpusa fondovskog materijala, te prvih preliminarnih rezultata AOP obrada, izgrađena je predodžba o budućem informatičkom hidrogeološkom modelu, koji se sastoji od prostorne baze podataka, strojnih i programske metoda i alata, te uvođenja odgovarajuće organizacije za upotrebljivanje modela.

MODEL BAZE PODATAKA

Na osnovu sustavnog sagledavanja dostupne dokumentacije pristupilo se definiranju modela baze podataka o svim raspoloživim podacima i informacijama (istraživanjima, objektima, fondovskom materijalu i dr). Radi kratkoće vremena, na ovom razine gotovosti, ureden je set raznovrsnih datoteka, međusobno povezanih zajedničkim atributom u kojemu je opisana šifrirana identifikacija objekta i opisivanog intervala. Organizacija datoteka uspostavljena je na osobnom računalu u dBASE okruženju. Međusobno povezivanje niza uspostavljenih datoteka nije u potpunosti riješeno, a što je u svezi sa problematikom definiranja jedinstvene hidrogeološke šifre (ključa) hidrogeoloških objekata i njihovih dijelova (intervala).

PROBLEM REOBRADE PODATAKA, INFORMACIJA I SPOZNAJA

Osnovni cilj reobrade odnosio se na postizanje novih kvalitetnijih postignuća iz područja uočene prob-



Sl. 1 Distribucija klorja u podzemnim vodama Istočne Slavonije.

lematike. U postizanju tog cilja postavljen je niz zadaća, koje je trebalo pokušati riješiti ili dodatnim istraživanjima, primjenjujući nove metode, ili naknadnim obradama organiziranog korpusa podataka. Ovakvim pristupom procesima dodatnih obrada uočen je niz novih problema iz područja integracije različitih sadržaja, njihove nestandardizirane i neažurne gotovosti, te njihovog stavljanja u geografsko i prostorno okruženje. Na ovaj način došli smo do problema organizacije prostorne baze hidrogeoloških podataka, te zahtjeva za primjenom odgovarajućih GIS alata. Posebno je naglašen problem odnosa modela reljefa terena, te raspoloživih površinskih i podpovršinskih hidrogeoloških podataka. Tijekom automatske izrade interpretativnih podloga uočen je problem dizajniranja interpretativnih podloga. Ovaj problem sastavni je dio općeg problema geovizualizacije tematskih sadržaja u okruženju osobnih računala ili grafičkih radnih stanica. Znatnu podršku ovakvom pristupu rješavanja hidrogeološke problematike pružio je programski alat GEOGRAPH.

REZULTATI PRETHODNIH AUTOMATSKE OBRADA PODATAKA ZA LOKALITET CERNA

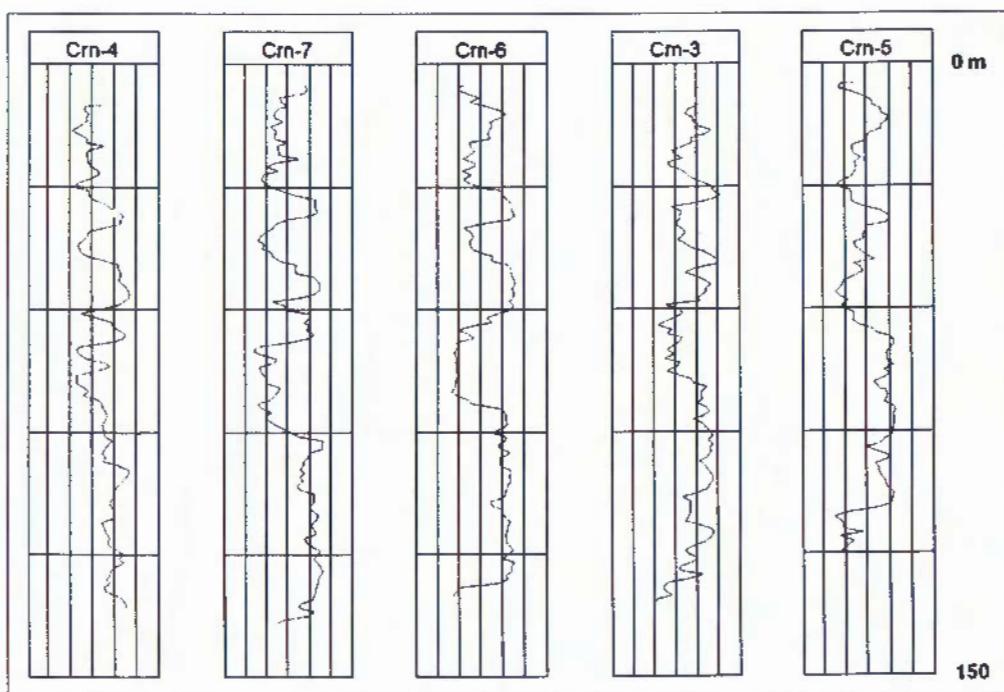
Na osnovu ovako koncipiranog okruženja automatske obrade raspoloživog korpusa hidrogeoloških

podataka, informacija i prethodnih spoznaja, pristupilo se procesu reobrade šireg područja Cerne. Djelomično su obradeni i na magnetne medije uspostavljeni podaci o 252 objekta, interesantnih za hidrogeološka istraživanja.

Uvidom u stanje hidrogeoloških istraživanja detaljnije se pristupilo AOP obradi i analizi:

- morfotektonskih odnosa,
 - litološke grade i odnosa,
 - geoelektričnih mjerena,
 - elektrokaračnih mjerena (krivulja zračenja prirodne radioaktivnosti),
 - granulometrijskih parametara,
 - hidrogeoloških parametara,
 - geokemijskog sadržaja vodonosnika,
 - sedimentnog bazena.

Na ovoj razini prethodnih radova od posebnog su značaja bile kartografske i grafičke podloge o stupnju klastičnosti, dubinama i debljinama geoelektričnih sredina, prostornoj distribuciji komponenti geokemijskog sadržaja vode (sl. 1), prostornoj analizi ponašanja oblika krivulje prirodne radioaktivnosti (sl. 2), i dr. Dobiveni rezultati ukazali su na brojna nova rješenja kod formiranja slike o hidrogeološkim odnosima i zakoni-



Sl. 2 Ponašanje krivulje prirodne radioaktivnosti u bušotinama smjera JZ - SI.

tostima lokaliteta Cerne i dijela Istočne Slavonije, s posebnim naglaskom na omogućavanju planiranja budućih aktivnosti. Od 5 relociranih strukturno-piezometarskih bušotina, sve su dosegle razine sa subarteškom vodom.

Brojne formirane interpretativne podloge ukazale su na komunikacijske šumove u pridobivanju novih postignuća. Rješenje tog problema je u usvajanju alata automatske obrade grafičkih podataka i njihovog okruženja.

ZAKLJUČAK

Sastavni dio hidrogeoloških aktivnosti odnosi se na uspostavljanje modela, kojima se na pojednostavljen način predstavljaju odnosi u prirodi. Radi toga, modeliranje u sebi ima ugradenu sustavnu pogrešku o kojoj se mora voditi računa, te je na nju potrebno djelovati povratnim vezama. Uspostavljanjem povratne veze model - rezultati modeliranja na svim nivoima istraživanja, znatno će se podići kvaliteta obrada. Procesi automatske obrade i reobrade raspoloživog fonda podataka i informacija doveli su do podizanja razine uredenosti sustava, a time i do kvalitetnijih postignuća.

Automatskom obradom dostupnog fonda podataka o širem području Cerne omogućeno je egzaktnije pretpostavljanje i zaključivanje. Isto je dalo prve rezultate.

Vododrživost kompenzacijskog bazena Gusić polje

Ante PAVIČIĆ & Franjo FRITZ

Key words: Surface storage basin, Karst, Water losses

Abstract

Before constructing the basin, the Gusić polje was intermittently inundated and water sank with the rate of up to 5 m³/s. Calcareous paleodepression of the polje is uneven and filled with clayey sediments and a silty travertine having the total thickness from 1 to 35 m. Although the basin is constructed where there was no ponors (swallow holes) nor suffosional forms, during its test filling water losses of up to 7.4 m³/s were recorded. After closing of some ponors, appeared others. To prevent it, the basin was covered by a clayey carpet. However, the ponors open again and they are filled (closed) during the plant repairing and water losses now ranging between 0.5 and 1 m³/s. Several facts are supposed to cause these losses - a poor construction of the influent channel, embankments and early ponors covered by Quaternary deposits. In addition, groundwater sporadically moisten the bedrock of Quaternary deposits. The fluctuation of water level results in the appearance of pressures and underpressures below the basin. It occurred especially after the clayey carpet construction. Various explorations are proposed. They are aimed at the selection of an optimal remedial work which has to be performed as soon as possible.

1. UVOD

Kompenzacijski bazen Gusić polje dio je hidroenergetskog sistema HE Senj. Predviđen je za dnevno izravanjanje sa zapreminom oko 5 mil. m³. Zbog nepovoljne vododrživosti terena bazen je izведен u dijelu polja bez ponora i sufozija, zapremine 1.37 mil. m³. To znatno umanjuje elastičnost rada postrojenja HE Senj.

Prije izgradnje bazena Gusić polje je bilo plavljeno uz poniranje vode maksimalno oko 5 m³/s. Kompenzacijski bazen je ostvaren nasipima dužine 3210 m, koji povezuju dovodne vode iz akumulacije Kruščica i rijeke Gacke s ulaznim uredajem u tlačni tunel Gusić polje-Hrmotine. Pokusnim punjenjem 1965. godine ustanovljeni su gubici: u rujnu 6.4 m³/s, a u prosincu 7.4 m³/s. Odlučeno je da se unutar bazena popratnim nasipima ostvari mali bazen zapremine 746 000 m³, čime su ostvareni još lijevi i desni bazen. Sanacija malog bazena glinovitim tepihom izvedena je 1966. godine i zatim su sanirani lijevi i desni bazen.

Ponori se medutim i dalje otvaraju, saniraju se u vrijeme remonta postrojenja, a gubici se kreću između 0.5 i 1 m³/s, ovisno o stupnju sanacije. Traži se optimalna sanacija, koju bi trebalo izvesti u što kraćem vremenu.

2. ISTRAŽENOST TERENA

Na veoma razvedenom paleoreljefu izgradenom iz jurskih vapnenaca i manje dolomita istaložene su kvartarne taložine debljine između 1 i 35 m. Najveće su debljine unutar jedne izrazite depresije u paleoreljefu središnjeg dijela polja (sl. 1 - profil).

Prije izvedbe bazena nije vršeno hidrogeološko kartiranje niti hidrogeološka studija šireg terena. Izveden je velik broj geomehaničkih istražnih bušotina i manji broj bušotina nekoliko desetaka metara u osnovnu vapnenačku podlogu. Organizirano je opažanje razine podzemne vode i izvedeno je geoelektričko profiliranje i sondiranje stjenovite podloge polja.

Podaci o istražnim radovima mogu se danas naći u projektnoj dokumentaciji Elektroprojekta, Zagreb. Navest ćemo samo hidrogeološki značajne podatke.

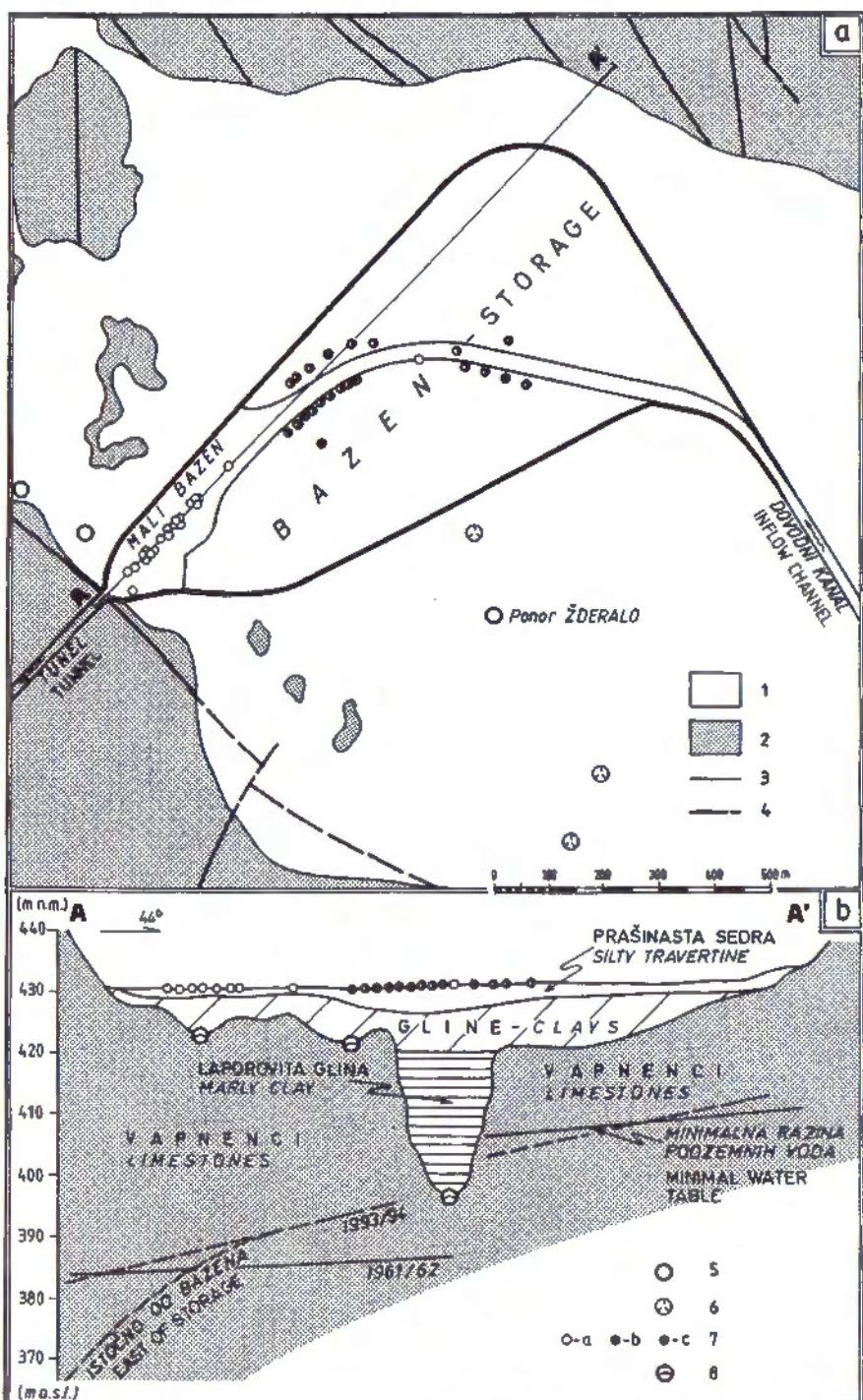
U elaboratu ELEKTROPROJEKTA (1963) navodi se da su neke bušotine inicirale urušavanje i da kod poplave polja izlazi kroz sufozije voda sa zrakom. "Kod varijacije nivoa podzemne vode, voda često prelazi granicu između kvartara i stijene" (str. 57).

Dodatna opsežna plitka geomehanička bušenja izvedena su nakon ustanovljenih gubitaka vode kod probnog punjenja. Opisane su pojave gubitaka vode i mjerena gubitaka (ELEKTROPROJEKT, 1965, 1966).

Najviše podataka istražnih radova vezanih uz vododrživost bazena sredeno je u elaboratima ELEKTROPROJEKT (1967). Ustanovljeno je da se razina podzemnih voda spušta i niže od 50 m ispod polja. Prilikom probnog punjenja bazena, kada su ustanovljeni gubici od 7.4 m³/s, uočeno je izbijanje zraka i otvaranje novih ponora, kao i uzdužnih pukotina u kvartaru.

U idejnem projektu sanacije (ELEKTROPROJEKT, 1983) sumnja se da se voda gubi kroz tijelo izvedenih nasipa u krško podzemlje. Navodi se da su gubici veći kod većih oscilacija vode u bazenu.

Radi smanjenja popavljanja iskopa tlačnog tunela Gusić polje-Hrmotine, odvojak Gacke u Gusić polje usmjerjen je u susjedno krško polje i od tada se više



Sl. 1 Hidrogeološka karta i profil.
Legenda: 1) djelomično propusne kvarterne naslage; 2) propusni jurski vapnenci s manjim lećama dolomita; 3) geološka granica; 4) rasjed; 5) ponor; 6) sufozijska pojava; 7) sufozijski ponori, pojava: a) jedanput, b) dva puta, c) više puta; 8) prepostavljeni ponor u paleodepresiji.

Fig 1 Hydrogeological map and cross section. Legend: 1) Partly permeable Quaternary deposits; 2) Permeable Jurassic limestones with thin lenses of dolomites; 3) Geological boundary; 4) Fault; 5) Ponor (swallow hole); 6) Suffosion phenomenon; 7) Suffosion ponors: a) hole appeared once, b) hole appeared twice, c) hole appeared many times; 8) Assumed ponor in the paleodepression.

nikada nije podzemna voda digla do dna tunela niti je podzemna voda izbijala na površinu polja (PAVLIN, 1991).

Kompenzacijski bazen izведен je na procjeni zadovoljavajuće vododrživosti kvarternog pokrivača. Okruženoj vapneničkoj podlozi nije posvećivana veća pažnja. Ostavljeno je da se pokušnim punjenjem ustani u vododrživost kvarternih taložina, što je učinjeno tek neposredno prije početka rada postrojenja HE Senj. Uzroci ustanovljenih gubitaka ($7.4 \text{ m}^3/\text{s}$) nisu otkriveni. Za nove gubitke iznalazila su se tehnička rješenja sanitiranja lokaliteta gubitaka vode. Prva takva pojava bila je

promjera 2 m i duboka preko 3 m, a kasnije su pojave dosegale do promjera oko 5 m i dubine do 6 m.

Tijekom izvedbe glinenog tepiha uništeni su piezometri, pa vodostaji u stjenovitoj podlozi kvartera više nisu mjereni. Kako su nakon saniranja jedne nastale druge sufozije, to je na reviziji posljednjeg prijedloga sanacije ukazano na povezanost problema s vapneničkom podlogom. Izradena je geološka karta M 1:5000 nešto šireg područja i sedam istražnih bušotina - piezometara (PAVIČIĆ, 1992). Bušotine su se morale izvesti izvan bazena i locirane su uz njegov vanjski rub. Paralelno je sanirana novonastala sufozija, ali su time

gubici samo djelomično sanirani i opet se postupno povećavaju. U novoizbušenim bušotinama - piezometrija mjeri se razina podzemne vode, a u tijeku su geofizička ispitivanja metodom G.P.R. (Ground Probing Radar) s mogućnošću interpretacije podataka do dubine 10 m.

3. HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Područje Gusić polja izgraduju vapnenci jure s pro-slojcima i lećama dolomita i naslage kvartara. Detaljnim kartiranjem registrirani su brojni rasjedi i izdvojeno je nekoliko tektonskih blokova. Unutar relativno spuštenog tektonskog bloka nastalo je proširenje Gusić polja.

Najstarije kvartarne naslage su laporovite gline sačuvane samo u dvije najdublje depresije u paleoreljevu polja. Na njima su istaložene crvenosmeđe gline debljine do nekoliko metara, a debljina je ovisna o neravnom paleoreljevu polja. Gline su prekrivene mladim sedreno-prašinastim naslagama različitog stupnja litifikacije. Debljina im je prosječno 1-2 m, mjestimice manja ili veća, ovisno o erodiranju površini crvenosmeđe gline (sl. 1, profil).

Ispitivanje propusnosti pokazalo je propusnost prašinaste sedre $k=10^{-4}$ cm/s, a crvenosmeđe gline $k=10^{-6}$ do 10^{-7} cm/s. Glinoviti laporci ocjenjuju se kao nepropusne stijene. Tijekom sanacija uočeno je da se unutar prašinaste sedre mogu razviti kanalići, te da na granici s glinom može doći do koncentriranog tečenja podzemne vode u smjeru ponora (sufozija). Istražnim bušenjem (PAVIČIĆ, 1993) ustanovljene su u karbonatnoj podlozi lokalno i Jelar naslage, što upućuje na veoma intenzivna tektonska kretanja u području polja. Nabušeno je dosta kaverni, ali i kompaktne dionice.

Uz rub polja nema pojava izvora. Ponori i sufozije nalaze se uz južni rub i u dijelu sredine polja, pa je bazen izgrađen izvan tih pojava (sl. 1). Novonastali ponori i sufozije javljaju se u dijelu bazena gdje su kvartarne naslage najdeblje i gdje su depresije ograničene rasjedima rekognosciranim fotogeološkom obradom i na temelju geofizičkih podataka. Jednom sanirana pojava u tom dijelu polja najčešće se ponovo reaktivira.

Opažanja razine podzemne vode nisu vršena kontinuirano, niti s dovoljno pažnjom. Postojeći podaci nedovjedno pokazuju nagli pad vodnog lica u području debelih laporovitih gline, koje dosežu do oko 396 m n.m. S uzvodne, sjeverne strane su vodostaji uvijek viši od te kote. S nizvodne strane je prije izvedbe bazena minimalna razina bila desetak i više metara ispod te kote, a maksimalna je dopirala do površine polja (oko 432 m n.m.). Prema podacima iz bušotina uz rub bazena, danas su nizvodno od najdubljih gline manje razlike između minimalnih i maksimalnih razina i kreću se 386 i 413 m n.m. i iznimno uz južni rub polja, između 364 i 377 m n.m. (sl. 1, profil).

4. RAZVITAK POLJA I OKRŠAVANJA

Uz navedene podatke pokušat ćemo analizirati geomorfološke procese koji su doveli do današnjih hidrogeoloških karakteristika područja Gusić polja. Ovi procesi povezani su s okršavanjem šireg područja, a za razvitak Gusić polja najznačajnije je usijecanje rijeke Gacke, čime je nastao uzvodniji Drenov Klanac, što je u tom kraju dovelo do općeg snižavanja razine podzemnih voda. Prvi ponori u Gusić polju razvili su se u vrijeme modeliranja paleoreljefa, prije taloženja kvartarnih naslaga. Voda je dotjecala rijekom Gackom i iz lokalnog sliva, ponirala u najdubljim dijelovima i povremeno je plavila paleoreljef. Tada se je razvila osnovna podzemna drenažna mreža. Laporovite gline prekrile su najniže ponore, a istaložene su vjerojatno prije usijecanja Drenovog Klanca krajem pleistocena i početkom holocena. Usijecanjem Drenovog Klanca i zatim naglim spiranjem proluvijalnih gлина, koje pokrivaju velike površine u slivu Gacke, naneštene su velike količine gline u Gusić polje, pokrivajući relativno brzo neravnini preostali paleoreljef s tamošnjim ponorima. Paralelno s tim procesom i nadolaskom više vode, otvaraju se novi ponori na višim kotama uz južni kraj polja, ali je i dio starih ponora ostao aktivan (istočno od bazena), pa je nastavljeno protjecanje već postojećom podzemnom mrežom i ispod polja. Nakon usijecanja Drenovog Klanca i smanjenja dotoka vode početkom holocena, voda Gacke tekla je preko glinovitih naslaga u novonastale i u starije aktivne ponore, erodirajući u sušnom razdoblju glinu. U tom razdoblju započinje taloženje prašinaste sedre. Dubina okršavanja se postupno produbljivala, lokalni povremeni izvori i estavele su nestajali, a u sušnom razdoblju je razina podzemne vode doprla i preko 50 m ispod polja. Izvedbom bazena nastupili su uvjeti veće destabilizacije kvartarnih taložina, odnošenja glinovitog materijala kroz kanale ponora iz paleodepresije i ostalu mrežu podzemnih voda ispod polja. Očito da postoje i uvjeti za stvaranje tlaka i podtlaka kod nagle promjene razine podzemne vode. Oni su vjerojatno veći nakon izvedbe glinenog tepiha, što pospiješuje ispiranje gline na kontaktu s paleoreljeffom i stvaranje šupljina koje dovode do urušnih ponora.

5. ZAKLJUČAK I PRIJEDLOZI

Vododrživost bazena, temeljena na vododrživosti kvartarnih naslaga, nije se pokazala stvarnom. Naknadnom izvedbom glinenog tepiha gubici su smanjeni, a daljnji gubici se pripisuju neizvedbi glinenog tepiha ispod dovodnog kanala i popratnih nasipa, te mjestimice nepotpuno izvedenom glinovitom tepihu. Sanacije na tim osnovama samo su djelomično i kratkotrajno uspijevale i gubici nisu do danas sanirani.

Aktivnosti pokrenute poslije prijedloga posljednje sanacije usmjerile su razmišljanja i istražne radove i na drugačije tumačenje uzroka pojave gubitaka vode, što se u osnovi svodi na slijedeće.

Dubina do vapnenačke podloge polja je u najvećem dijelu 6-7 m i na toj visini je zaravan u paleoreljefu, unutar koje su bile najmanje dvije depresije, dubla oko 28 m. Kako je glavnina ponora (sufozija), koji se pojavljaju, saniraju i zatim ponovo pojavljaju, unutar kvartarnih naslaga debljih od 6-7 m, odnosno unutar depresija u paleoreljefu, očito je da su te pojave povezane s reaktiviranjem starih ponora, koji su bili aktivni prije taloženja kvartarnih naslaga. To je područje unutar najniže spuštenog tektonskog bloka i vjerojatno najniže spušteni dijelovi tog bloka. U području najniže depresije i tamošnjih laporovitih glina je izraziti pad razine podzemne vode. Razina vode je s uzvodne strane u višekrakoj viša od dna depresije, dok je nizvodno u sušnom razdoblju niža od dna depresije, što potvrđuje da je drenažna mreža iz vremena paleodepresije i danas osnova otjecanja podzemnih voda iz područja Gusić polja. To potvrđuje i ponor u središnjem dijelu polja istočno od bazena.

Pliće sufozije, koje nastaju uzduž nizvodnog dijela kanala i popratnih nasipa, nakon sanacije najčešće se ne obnavljaju. To ukazuje na slabiju propusnost vapnenačke podloge i na manji negativni utjecaj kolebanja razine podzemne vode.

U razmatranju pojave gubitaka vode treba računati i s propusnošću sedrenog praha, te odvođenjem tih voda uzduž ranijih "korita", kojim su prije taloženja prašinaste sedre tekle vode tadašnje Gacke do ponora.

Osnovne opasnosti za gubitke vode prijete od spomenutih urušnih ponora nastalih reaktiviranjem ponora u paleodepresiji. Problem je što bi se elementi uzroka tih pojava trebali istraživati u području samog bazena, a ne, kako je to započeto, uz vanjski rub bazena. Istražni radovi (detaljnije upoznavanje paleoreljefa, tektonike, okršavanja, lokalne promjene unutar kvartarnih taložina, prisutnost tlaka i podtlaka, odnosno "zarobljenog zraka" i dr.) ne mogu se obaviti u vrijeme remonta postrojenja. Stoga se predlaže izvedba novog bazena, istočno od postojećeg, za kojeg ima prostora, iako sa sličnom problematikom vododrživosti, koja bi se bez žurbe mogla dobro istražiti, posebno uvjeti aktivnosti tamošnjeg ponora i nastanka sufozija. Ostvarenje novog bazena omogućilo bi izvedbu potrebnih istražnih radova unutar postojećeg bazena i u konačnici fleksibilniji rad postrojenja. Bez tih istražnih radova ne sagledavamo mogućnost potpune sanacije bazena, niti izradu ekonomske analize za konačan izbor rješenja kompenzacijskog bazena, bez obzira na radikalne promjene tipa sanacije (primjerice, prekrivanje bazena plastičnim folijama).

LITERATURA

- ELEKTROPROJEKT (1963): HE Senj - glavni projekt. Kompenzacioni bazen Gusić polje, istražni radovi, tehnički opis, predmjer i predračun za nasipe i kanal u bazenu Gusić polja.- knj. III, Fond struč. dok., Elektropunkt, Zagreb.
- ELEKTROPROJEKT (1965): Pojave ustanovljene kod pokusnog punjenja bazena Gusić polje.- Arh. struč. dok. Elektropunkt, Zagreb.
- ELEKTROPROJEKT (1966): Mjerenje procjednih gubitaka u Gusić polju.- Arh. struč. dok. Elektropunkt, Zagreb.
- ELEKTROPROJEKT (1967): HE Senj - sanacija kompenzacijskog bazena Gusić polja.- knj. 1 - tekst, knj. 2 - nacrti. Fond struč. dok. Elektropunkt, Zagreb.
- ELEKTROPROJEKT (1983): Sanacija kompenzacijskog bazena Gusić polje - hidrogeološki radovi.- Fond struč. dok. Inst. geol. istraž, 12/93, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. (1992): Sanacija kompenzacijskog bazena Gusić polje - hidrogeološki radovi.- Fond struč. dok. Inst. geol. istraž, 80/92, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. (1993): Sanacija kompenzacijskog bazena Gusić polje. Geološka determinacija bušotina V-1 do V-7.- Fond struč. dok. Inst. geol. istraž, 12/93, Zagreb.
- PAVLIN, B. (1991): Orientacijski izvještaj o hidrogeološkim i geotehničkim podacima na području bazena Gusić polje u svezi s njegovim otješnjenjem.- Zagreb.

Mogućnosti vodoopskrbe iz ličkog dijela sliva rijeke Zrmanje

Ante PAVIČIĆ & Ante RENIĆ

Key words: Karst hydrogeology, High plateau, Groundwater use

Abstract

A relatively shallow karstification in the hinterland of the hydrogeological barrier Velebit (catchment area of the tributary Ričica) and in the area of the hydrogeological barrier Bruvno (catchment area of the tributary Otuča) brings about a low retention capacity of this karst area, where surface streams prevail and where there are no typical karst springs. The water that sinks within the Štiakadsko-Gračačko polje and in Popina flows out from major karst springs along the right bank of the river Zrmanja. The springs are grouped in the upper, medium and low courses of the river. The catchment area of these springs is poorly inhabited and industrial plants almost do not exist. A considerable portion of water from the upper river course sinks and flows subterraneously into the river Krka catchment area (Miljacka spring). All spring waters at Muškovci and a part of the Zrmanja river water are used for the regional waterworks of northern Dalmatia. The water from the springs Krnjeza, Krupa, Reljino Vrelo and Mijića Vrelo are not used. Additional amounts of water can be used by constructing surface storages on the river Zrmanja.

UVOD

Sliv veoma izdašnih izvora uz desnu obalu Zrmanje prostrano je krško područje jugoistočne Like i Velebita, te graničnog područja Like i Dalmacije. U morfološkom smislu u slivu se ističu najviši dijelovi masiva Velebita s južne strane, ličko-gračačka zaravan u središnjem dijelu, te Ličko sredogorje i Bruvno u sjevernom dijelu. Hidrografska mreža je relativno oskudna, a razvijena je samo na zaravni, te području Bruvna. Osim riječica Ričice i Otuče, tu su i manji potoci Bašinica, Kijašnica, Suvaja, Krivak, Brnićevo i dr. Planinski potoci zapadno od Sv. Roka - Radučica, Opsenica, Holjevac i Krušnica, koji dotječu sa sjevernih padina Velebita, ne pripadaju slivu Zrmanje. Za hidroenergetski sustav HE Obrovac akumulirane su vode Ričice i Otuče za kompenzacijски bazen Štikada, a u Ričicu se prebacuju i vode iz male akumulacije na Opsenici.

Preostali dijelovi terena su bez površinskih tokova, posebno planinski dio, gdje je tečenje voda isključivo podzemljem. Unatoč relativno velikoj količini padalina

od preko 1.500 mm (FILIPČIĆ, 1992), područje sliva zbog neravnomjernog rasporeda padalina (jesenski i proljetni maksimum) ljeti osjeća nedostatak vode.

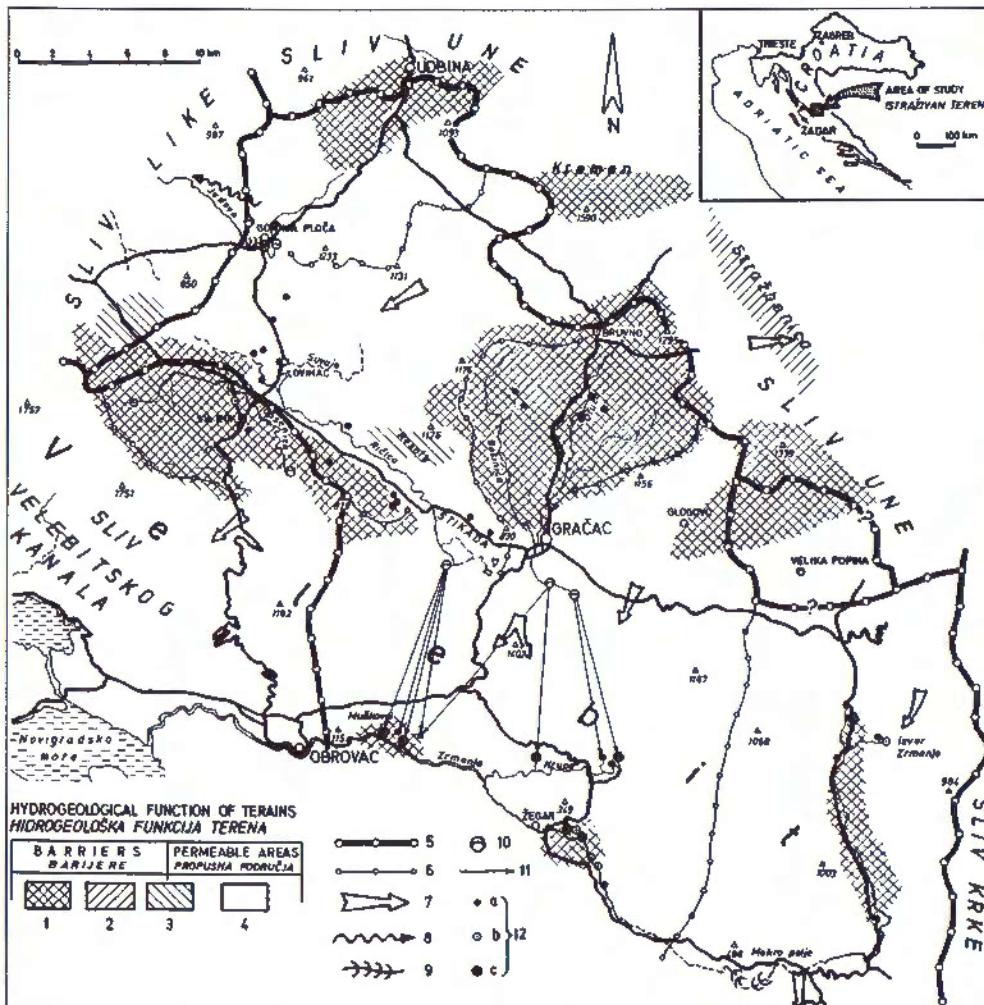
Slivno područje je slabo naseljeno, a veća naselja su prije domovinskog rata uz Gračac bila Lovinac i Sv. Rok. Vodoopskrba za ova naselja rješena je gradskim vodovodom Gračaca sa zahvatom na Ričici i lokalnim vodovodima za Lovinac, Sv. Rok, Bruvno i Tomingaj. Stanovništvo izvan spomenutih naselja vodoopskrbu je rješavalo individualno iz manjih izvora, cisterni i zdenaca.

Sve vode iz sliva u prirodnim uvjetima, prije izgradnje hidroenergetskog sustava HE Obrovac, istjecale su preko velikih krških izvora uz desnu obalu Zrmanje. Vode izvora kod Muškovaca koristi Sjeverodalmatinski regionalni vodovod.

HIDROGEOLOŠKI ODNOŠI

Područje sliva izvora uz desnu obalu Zrmanje obuhvaća strukturne jedinice Bruvno, dijelove struktura Ličko sredogorje-Udbina, te jugoistočni Velebit i Popina (sl. 1). U gradi terena zastupljeni su litostратigrafski članovi od karbona do kvartara. Prema hidrogeološkim svojstvima stijena, njihovom strukturno-tektonskom položaju i morfološkim karakteristikama terena, u slivu su odredene hidrogeološke funkcije pojedinih dijelova terena (PAVIČIĆ & RENIĆ, 1993). Potom kriteriju izdvojene su hidrogeološke barijere i propusna područja. Potpunoj hidrogeološkoj barijeri pripada područje sjeveroistočnih padina Velebita od Raduča do Štikade. Ova barijera spriječava podzemno otjecanje iz propusnog područja dijela Ličko-gračačke zaravni uz Ričicu i Suvaju, a u svom zaledu uvjetuje malu dubinu do podzemne vode i stalnost toka Ričice.

Potpuna hidrogeološka barijera Bruvno je u sjeveroistočnom dijelu sliva. Izgrađena je iz nepropusnih i djelomično propusnih naslaga. Okršenost stijena na području barijere je plitka i slaba, egzistiraju stalni površinski tokovi i stalni izvori male izdašnosti ($Q_{\min} \approx 5 \text{ l/s}$). Hidrogeološka barijera Udbina je na rubnom sjevernom dijelu sliva. Na njenom području su pojave izvora male izdašnosti ($Q_{\min} \approx 1 \text{ l/s}$) i stalan vodotok Mutilić. Ova barijera spriječava otjecanje podzemne vode prema slivu rijeke Une.



Sl. 1 Hidrogeološka karta.
Legenda: 1) potpuna hidrogeološka barijera; 2) višeća hidrogeološka barijera; 3) djelomična hidrogeološka barijera; 4) propusno područje; 5) razvodnica - granica sliva; 6) lokalna razvodnica; 7) glavni smjer tečenja podzemne vode; 8) povremeno otječanje površinskih voda izvan sliva; 9) ponorna zona; 10) ponor; 11) utvrđena podzemna voda ponor - izvor; 12) krški izvori minimalne izdašnosti: a - $Q < 10$ l/s, b - $Q = 10 - 100$ l/s, c - $Q > 100$ l/s.

U istočnom dijelu sliva izdvojene su podzemne hidrogeološke barijere Kremen i Popina. Barijera Kremen je najvećim dijelom izvan promatranog sliva, a usmjerava podzemnu vodu prema mazinskoj depresiji, odnosno Uni, a barijera Popina na kojoj je više izvora male izdašnosti ($Q_{\min} \approx 1$ l/s) sprječava podzemno otjecanje prema Uni iz područja istočno od Gračaca.

Potpuna hidrogeološka barijera uzduž gornjeg toka rijeke Zrmanje izgrađena je iz donjotrijskih nepropusnih naslaga. Uvjetuje pojavu jakih krških izvora Zrmanje i stalni tok Zrmanje do Palanke. Lokalne podzemne hidrogeološke barijere su i u srednjem toku Zrmanje u poljima kod Žegara i Muškovaca, gdje se preko debelih neogensko-kvartarnih laporanja i glina preljevaju velike količine vode.

Izdvojene su i nepotpune hidrogeološke barijere, višeća Stražbenica, koja je izvan sliva Zrmanje, i djelomična Resnik, koja usmjeruje podzemnu vodu između potpunih hidrogeoloških barijera Bruvno i Velebit.

U području hidrogeološke barijere Bruvno, unutar promatranog sliva izvora uz desnu obalu Zrmanje izdvojen je podsliv Otuča. Područje Opsenica-Holijevac-Krušnica na hidrogeološkoj barijeri Velebit izvan je predmetnog sliva.

Preostali dio sliva izvora uz desnu obalu Zrmanje je pravo propusno krško područje u kojem su, prema prostornom rasporedu voda i vodnih pojava, izdvojene dvije bitno različite hidrogeološke cjeline. Prva je područje sliva s plitkim okršavanjem i malim dubinama do podzemne vode, gdje egzistira stalni tok Ričice i stalni izvori u najnižim dijelovima terena. Ovo stanje posljedica je pozitivne funkcije hidrogeoloških barijera Bruvno i Velebit. Navedeno propusno područje izdvojeno je kao podsliv rijeke Ričice. Granice podsliva su dobro definirane u području barijera, dok su u terenima izvan barijera granice zonarne. Površinske vode povremenog bujičnog toka Mutilić-Suvaja-Jadova otječu u susjedni sliv rijeke Like, a podzemne vode iz tog dijela sliva otječu prema izvorima u području Lovinca i lijeve obale Ričice (BIONDIĆ & GOATTI, 1976). Sve vode iz ovog podsliva otječu Ričicom i podzemno kroz uski pojaz između hidrogeoloških barijera Bruvno i Velebit prema zonama s ponorima u Štikadskom polju.

Druoj cjelini unutar propusnog područja pripada dio sliva između hidrogeoloških barijera Popina i Bruvno, kao i prostrano planinsko područje Velebita. To je područje bez površinskih tokova, a podzemna voda u terenima južno od Štikadsko-gračačkog ponornog pod-

ručja je na dubini od preko 100 m ispod razine polja. Sjeverno od ponora u području između Glogova i Gračaca, dubina do podzemne vode je manja od 50 m. Uputna je prirodnost tom dijelu sliva područja Velike Popine.

U planinskom području Velebita padaline se brzo infiltriraju duboko u podzemlje do krških kanala kojima teku ponorne vode sa štikadsko-gračačkog horizonta. Glavnina tih podzemnih voda izvire na velikim krškim izvorima uz desnu obalu Zrmanje nizvodno od Ervenika i izvorima Krupe.

Podzemni kanali velebitskog područja razvili su se uzduž jakih poprečnih i dijagonalnih rasjeda - granica tektonskih blokova, što je i uzrok da su izvori grupirani kao izvorište Krupe-Krnjeze, izvorište uz Žegarsko polje i uz polje kod Muškovaca. Veze ponora na štikadsko-gračačkom horizontu s izvorima uz Zrmanju i Krupu, dokazane su obilježavanjem ponornih voda (TURNER, 1955, 1960a, b; GRGAS, 1979).

Podzemne vode iz užeg dijela sliva gornjeg toka Zrmanje dijelom izviru u izvorišnom području Zrmanje, a dijelom otječu podzemno prema jugu, te ispod višećeg toka Zrmanje zajedno s ponornim vodama s područja Mokrog polja, otječu u sлив Krke preko izvora Miljacka (FRITZ et al., 1985).

MOGUĆNOSTI VODOOPSKRBE I ZAŠTITA VODA

Na temelju gore navedenih hidrogeoloških odnosa i pojava voda na površini, ocijenjene su mogućnosti vodoopskrbe.

U podslivu rijeke Ričice više je stalnih izvora, ali relativno male izdašnosti. Ričica je za ovaj dio terena erozijska baza, prema kojoj se dreniraju podzemne vode i iz područja sjeverno od Gornje Ploče. Podsliv Ričice nema značajnijih retencija podzemne vode zbog relativno plitkog okršavanja. Većina krških izvora u karbonatnoj zaravni kod Lovinca su povremeni, a veći stalni izvori Klokočuša, Begovac, Banice, Šarića vrelo i Begovac lovinački u ljetnim mjesecima imaju izdašnost od 1-3 l/s.

Na klastičnim naslagama između Sv. Roka i Štikadskog polja u desnom priobalju Ričice, više je stalnih izvora pojedinačne minimalne izdašnosti do 4 l/s, odnosno ukupno iz ovog područja u sušnom dijelu godine istječe oko 35 l/s. Značajniji su Vriline, Jadičevac, Bentina, Dvogrlica i Crno vrelo. Na rijeci Ričici, erozijskoj bazi podsliva, mogu se kontrolirati sve količine vode koje se prikupljaju u podslivu, a visegodišnjim mjerjenjem na profilu "štikadski most" utvrđen je za površinu podsliva od 226 km² srednji godišnji protok od 7,52 m³/s. Opažani minimalni protoci su oko 50 l/s (ELEKTROPROJEKT, 1974). Prema iznesenom, u podslivu Ričice značajnijih količina vode u minimumu nema, a iz Ričice se danas koristi za vodovod Gračac 40 l/s. Prije domovinskog rata stanovnici Lovinca, Sv. Roka i sela Ričica koristili su vodu lokalnog vodovoda s Vriline i Mračaja.

Uz lijevu obalu Ričice nizvodno od Lovinca, dva su stalna krška izvora i to Bakovac ($Q_{min} = 1 \text{ l/s}$) i Ušivak ($Q_{min} = 1,5 \text{ l/s}$), a u sjeveroistočnom boku Štikadskog polja Krivak ($Q_{min} = 5 \text{ l/s}$) i Jakšića vrelo ($Q_{min} = 1 \text{ l/s}$).

U podslivu Otuče više je izvora minimalne izdašnosti od 1-3 l/s, naselje Bruvno opskrbљuje se vodom s Ledenika, Tomingaj s Crnog vrela, a Kijane s Jelačinog točka. Lokalnim vodovodima riješena je vodoopskrba zaseoka Surle, Glogovo i Velika Popina. Moguće je zahvatiti u sušnom dijelu godine još oko 5 l/s na izvorima Veliki i Mali Ljubozvizd. U području gornjeg toka Zrmanje u sušnom dijelu godine najizdašniji izvori su izvor Zrmanje (150 l/s), Crno vrelo (15 l/s) i Kusačko jezero (70 l/s). Uz srednji tok Zrmanje su Reljino vrelo s minimalnom izdašnošću od 700 l/s i Mijića vrelo s 350 l/s, a rijeku Krupu čine izvor Krupe (100 l/s), Ljubičića vrelo (9 l/s), Orovača (40 l/s) i Krnjeza (100 l/s). U području Muškovaca izdašni izvori Dorinovac, Čavlinovac i Sekulića vrelo su kaptirani za Sjeverodalmatinski regionalni vodovod. Njihova ukupna minimalna izdašnost ne prelazi 300 l/s. U prirodnim uvjetima sušnog dijela godine s izvora u Muškovcima i iz rijeke Zrmanje smije se crpiti ukupno do 1150 l/s vode za potrebe regionalnog vodovoda (ELEKTROPROJEKT, 1987) jer je minimalni protok na Berberi buku u srpnju i kolovozu manji od 2 m³/s, a kao biološki minimum mora se propustiti koritom Zrmanje najmanje 1 m³/s. Vidljivo je da bi već za sadašnje potrebe vodoopskrbe susjednog obalnog područja, Zadra, zatim Benkovca, Obrovca, te Paga i drugih otoka, male vode Zrmanje trebalo implementirati izgradnjom više akumulacija. To je jedino moguće cijelovito rješavanje vodoopskrbe sjeverodalmatinske regije. Postojeći regionalni vodovod dimenzioniran je na 3,2 m³/s na koliko su procijenjene i ukupne potrebe (BJEDOV, 1995). Do sada su provedeni istražni radovi za akumulacije Prevjes, Žegar i Zrmanja.

Za zaštitu voda sliva izvora uz Zrmanju do sada su provedeni tek minimalni istražni radovi (FRITZ & PAVIČIĆ, 1983). S obzirom na gore opisane hidrogeološke odnose, evidentan je neposredni utjecaj ponornih voda na kvalitetu voda na izvorima uz desnu obalu Zrmanje. Olakotna je okolnost da je područje sliva slabo nastanjeno, industrijski nerazvijeno s ekstenzivnom poljoprivredom, što su pozitivni elementi za očuvanje podzemne vode od onečišćenja. Nepovoljno je da se najveće naselje Gračac nalazi na krškoj zaravni, praktički u zoni ponora, odakle vode vrlo brzo dotječu na izvore u dolini Zrmanje i Krupe. Posebnu opasnost predstavljaju otpadne vode pogona prerade kože, te neuredeno odlagalište komunalnog i industrijskog otpada Gračaca (PAVIČIĆ, 1990).

Prije rata su potencijalni onečišćivači bila i danas razorenja i napuštena naselja na zaravni od Lovinca do Gračaca, gdje su otpadne vode otjecale u Ričicu. Prilika je da se tom problemu posveti posebna pozornost kod izrade urbanističkih planova u sklopu obnove. Očuvanje kvalitete vode u Ričici je prioritet, jer u tom

području nema jakih krških izvora, pa je najracionalniji zahvat vode za vodoopskrbu iz otvorenog vodotoka Ričice. Najveći dio vode iz podsliva Ričice uvodi se u akumulaciju Štikada i koristi za pogon HE Obrovac, pa u vrijeme rada elektrane ove vode ne dotječu do ponora, a time nemaju utjecaja na kvalitetu voda izvora u Muškovicima.

ZAKLJUČAK

Na temelju raspoloživih hidroloških podataka prikupljenih prije rata, kao i spoznaja o hidrogeološkim odnosima u području sliva izvora uz desnu obalu Zrmanje, upoznate su prirodne mogućnosti za rješavanje vodoopskrbe, kako lokalnog stanovništva tako i cijele sjeverodalmatinske regije. U slivu su, s obzirom na problematiku, izdvojene dvije cjeline. Prva je područje zaleđa Velebita, gdje prirodni uvjeti omogućuju rješavanje vodoopskrbe samo za lokalno područje. Glavnina raspoloživih količina vode su u vodotocima Ričica i Otuča, a male izdašnosti izvora u sušnom dijelu godine upućuju da je u ovom krškom području najrationalnija izgradnja zahvata za vodoopskrbu na spomenutim vodotocima. U slučaju potreba, dodatne količine vode mogu se osigurati izgradnjom akumulacija na potocima zapadno od Sv. Roka, izvan sliva Ričice, odnosno Zrmanje.

Druga cjelina je dolina Zrmanje i masiv Velebita s količinama voda koje su prije rata zadovoljavale temeljne potrebe šire regije. Izgradnjom akumulacija na vodotoku Zrmanje u potpunosti bi se zadovoljilo povećanje potreba za vodom i omogućilo daljnji razvoj sjeverodalmatinske regije.

U području sliva, koje je relativno slabo naseljeno, najveću opasnost od zagadenja voda Zrmanje i izvora uz desnu obalu Zrmanje predstavljaju otpadne vode Gračaca, te neuređeno odlagalište komunalnog i industrijskog otpada kod Glogova. Budući se za regionalni

vodovod koriste i vode iz Zrmanje, to je potrebno obratiti pozornost na utjecaj poljoprivredne djelatnosti na poljima uz Zrmanju i Krupu. Stoga je kod primarne zaštite crpilišta za sjeverodalmatinski regionalni vodovod prvenstveno potrebna sanacija tih izvora zagadenja i stalna kontrola cijelog sliva Zrmanje.

LITERATURA

- BIONDIĆ, B. & GOATTI, V. (1976): Regionalna hidrogeološka istraživanja Like i Hrvatskog Primorja.- Fond str. dok. IGI, 6181, Zagreb.
- BJEDOV, T. (1995): Višenamjensko korištenje akumulacijskih jezera rijeke Zrmanje.- 1. hrvatska konferencija o vodama, 2, Dubrovnik.
- ELEKTROPROJEKT (1974): HE Obrovac, idejni projekt, knjiga 1, hidrološke podloge.- Arhiv Elektroprojekta, Zagreb.
- ELEKTROPROJEKT (1987): Sliv Zrmanje. Studija, višenamjensko uređenje i korištenje voda u slivu Zrmanje.- Arhiv Elektroprojekta, knj. H 10, Zagreb.
- FILIPČIĆ, A. (1992): Klima Hrvatske.- Geografski horizont, 2, Zagreb.
- FRITZ, F. & PAVIČIĆ, A. (1983): Regionalni vodovod sjeverne Dalmacije. Zaštita voda. Osnovni hidrogeološki uvjeti.- Fond struč. dok. IGI, 326/83, Zagreb.
- FRITZ, F., PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1985): Izvorešte Miljacka u kanjonu Krke. Hidrogeologija sliva i izvořne zone.- Fond struč. dok. IGI, 349/85, Zagreb.
- GRGAS, T. (1979): Bojenje ponora Radusinovac u Gračačkom polju.- Fond struč. dok. HMZ, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. (1990): Prijedlog lokacija deponija na području općine Gračac.- Fond struč. dok. IGI, 134/90, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1993): Hidrogeološka studija graničnog područja Lika-Dalmacija.- Fond struč. dok. IGI, 83/93, Zagreb.
- TURNER, S. (1955): Bojenje Jelar ponora kod Gračaca.- Arhiv HMZ, 17, Zagreb.
- TURNER, S. (1960a): Bojenje ponora Jabukovac kod Gračaca.- Arhiv HMZ, 53, Zagreb.
- TURNER, S. (1960b): Bojenje Krčić ponora kod Gračaca.- Arhiv HNZ, 53, Zagreb.

Odnos hidrotermalnih ili pseudohidrotermalnih procesa i pojava ugljikovodika u Dubokoj Dravi

Marica PAVLEKOVIĆ¹, Marija JOVANIĆ², Damir KARAN²,
Rajko PERICA² & Miroslav SYRINEK²

Ključne riječi: Duboka Drava, hidrotermalni procesi, redox reakcije

Key words: Deep Drava, Hydrothermal processes, Redox reactions

Sažetak

Tektonska jedinica "Duboka Drava" obuhvaća zapadni dio Dravske depresije. Sedimentne naslage u Dubokoj Dravi nose plinska i plinsko-kondenzatna ležišta. To su horizonti tektoniziranih lithostratigrafskih jedinica, najčešće badenske ili donje panonske starosti, koji su nerijetko i matične stijene.

U ovom radu prikazan je dio rezultata petrološke studije miocenskih naslaga starijih od donjeg pannonia. Oni otkrivaju različite asocijacije mikroelemenata metala, koje se mogu sažeti u tri osnovna facijesa: facijes Au u donjem miocenu, facijes Bi-Cu-Pb u srednjem miocenu i facijes As početkom gornjeg miocena. Mineraloški sastav stijena i povišene koncentracije metala potvrđuju hidrotermalne procese. Prostorni raspored horizonta sa hidrotermalnim procesima i pojava ugljikovodika ukazuje na međusobnu vezu. Ona je uspostavljena najvjerojatnije preko redoks reakcija, do kojih dolazi djelovanjem hidroterme na organsku tvar.

Abstract

"Deep Drava" is tectonic unit in the western part of the Drava depression. Gas and gas-condensate accumulations consist of "Deep Drava" sediments. These are horizons of faulted rocks of different lithostratigraphic units. They belong mainly to the Badenian-Lower Pannonian, where source rocks are often located.

This paper is presenting the results of petrology study in Miocene rocks, which are older than Lower Pannonian. They discover different associations of metal microelements in Miocene sediments: facies Au in Early Miocene, facies Bi-Cu-Pb in Middle Miocene and As facies at the beginning of Late Miocene. The increased metal concentrations and mineral rock structure confirm the hydrothermal processes. Regional disposition of horizons with hydrothermal processes and hydrocarbon appearances point at mutual relation. It is restituted through redox reactions, that are proceeding by hydrothermal activity in organic substance.

UVOD

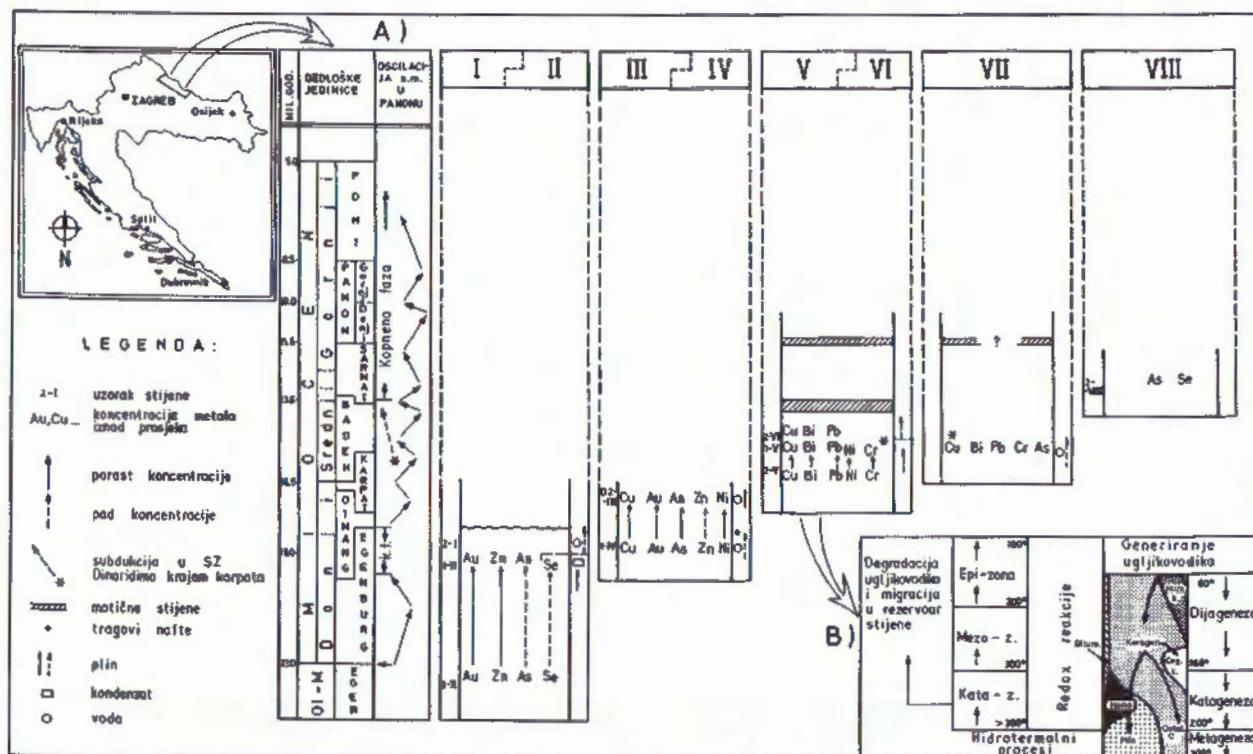
Sumnja u generativni potencijal organske tvari u Dravskoj depresiji za stvaranje tako velikih ležišta prirodnog plina kakva su Molve i Kalinovac, te činjenica da je u plinu registriran He i živine pare (SARIĆA et al. - predavanje u ZSN JAZU, Zagreb, 1988) apostrofira je hidrotermalne procese kao mogući faktor pri stvaranju ležišta ugljikovodika. Ova pretpostavka dobiva potporu u konstataciji da je najveći broj ležišta ugljikovodika otkriven u neogenskim klastitima u Panonskom bazenu uz topografska uzvišenja podloge (MARTINOVIC, 1990) odnosno da u savsko-dravskom području postoji povezanost između ležišta i dubokih lomova (NAJDENOVSKI et al., 1990). Podrška je još snažnija u utvrđenim hidrotermalnim i pseudohidrotermalnim aktivnostima u Panonskom bazenu tokom miocena (SZEDERKENYI et al., 1991). Takve aktivnosti morale su dovesti do izmjene podloge, ali i samih, tek оформljenih sedimenata. Pri tom se ne mogu isključiti

organska tvar i ležišta ugljikovodika, pogotovo ako se zna da su polisulfidi među najčešćim termokatalizatorima pri sazrijevanju kerogena (SURDAM et al., 1989).

U ovom radu obraduje se problem odnosa hidrotermalnih ili pseudohidrotermalnih procesa i ležišta naftne i plina. U tu svrhu je izdvojeno 8 naftno-istražnih bušotina u Dubokoj Dravi sa manje-više utvrđenim karakteristikama ugljikovodika. Hidrotermalni procesi su predmet izučavanja petrološke studije stijena u južnom dijelu Panonskog bazena (Hrvatska), koju izvodi INA-Geološki konzulting. Dio postignutih rezultata obuhvaća izdvojene bušotine u Dubokoj Dravi. Ulazeći u analizu litoloških i geokemijskih karakteristika pojedine lithostratigrfske jedinice dobivena je regionalna distribucija nekih mikroelemenata metala. S druge strane stvorena je pretpostavka o anorganskom geokemijskom okolišu, koji je mogao utjecati na organsku tvar ili izazvati veće migracije ugljikovodika. Sve daljne pretpostavke ili zaključci baziraju se na činjenici da se između rudnih rastvora i organske tvari razvijaju burne redox reakcije.

¹INA-Geološki konzulting, Savska cesta 88a, Zagreb, Hrvatska.

²INA-Naftaplin, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.



ASOCIJACIJE METALA - POSLJEDICA GEOLOŠKIH ZBIVANJA

Pregled prostornog i vremenskog pojavljivanja određenih asocijacija mikroelemenata metala dobiven je unošenjem utvrđenog, povišenog sadržaja na mjesto analizirane stijene u geološkom stupu (sl. 1A). Koncentracije mikroelemenata prikazuju tablica 1.

Iz tablice se vidi grupiranje uzorka iz 8 bušotina u tri skupine (prema zastipljenosti mikroelemenata i njihovoj koncentraciji). Prvu grupu, od I.-IV. bušotine predvodi Au, te se može tretirati kao geokemijski facijes Au. Drugu grupu, od V.-VII. bušotine obilježava Bi u pratnji Cu i Pb, pa odgovara geokemijskom facijesu Bi-Cu-Pb. U treću grupu spada bušotina VIII., bez mineralizacije metala. Da sulfidni minerali ipak dolaze u dubljim ili starijim naslagama, upozorava povišena koncentracija As, odnosno facijes As.

Facijes Au obuhvaća oligo-miocenske i donjomiocenske naslage. Razvio se kao posljedica andezitsko-dacitskog vulkanizma u oligocenu i s njim u vezi hidroermalne aktivnosti. Brečokonglomerat uzorka 3-II. zahvatio je epigenetski tip hidroterme. O tome govori sulfidna impregnacija dolomite osnove stijene. U istoj bušotini donjomiocenske naslage završavaju sa petromiktnim brečokonglomeratom (uzorak I-II.), a preko njega leže sedimenti donjeg panona (glinoviti siltit/pješčenjak). Ovaj drugi tip stijene i veća koncentracija Au i Zn, a manja As i Se, upućuje na mogućnost cirkuliranja pseudohidroermalne otopine duž novonastalog dubokog loma. Postoje indikacije da je krajem donjeg panona reaktiviran horizontalan rasjed.

Uzorci bušotina I., III. i IV. predstavljaju niže temperaturne varijante hidroterme sa Au.

Facijes Bi-Cu-Pb pripada nivou karpatsko-baden-skih sedimenata u bušotini V. To je alterirani tufit-tufični sitnozrnasti sediment uzorka 2-V., koji je ispresjecan vertikalnim mikropslinama. Prsline i prološci su ispunjeni sa rudnim mineralima. Iznad tufita dolazi pješčenjak, tipa sublitoarenit-kalklit, s obzirom na tri generacije cementa - metapješčenjak prikazan uzorkom 1-V. Cement je sastavljen od amorfne mase, ankerita i sulfida. Ovaj paket naslaga upućuje na transgresivno-regresivnu sekvencu, koja je formirana u zoni velikog regionalnog rasjeda paralelnog sa uzdužnom zonom podvlačenja u Dinaridima. U toku tektonske aktivnosti oslobođeni su putevi hidrotermi nastaloj oko većeg intruzivnog tijela utisnutog ranije u prošlosti.

U bušotini VIII. facijes As dolazi u vršnom dijelu bloka, u kojem je kataklastična i hidroermalna metamorfoza povezala različite tipove stijena u jedinstvenu stijensku masu debljine 1000 m. Sinhrono sa djelovanjem, u početku kompresivnih, a zatim tenzionih sila išao je tok hidroermalnih procesa, što je najvjerojatnije posljedica utiskivanja dubokih intruzija u pokrovne stijene. U pripovršinskom dijelu stijenske mase stvorena su dva sistema međusobno ukrštenih pukotina, duž kojih su vršeni centimetarski pomaci, a potom je prodrla hidroermalna otopina. Dok uzorak metabazalta (2-VIII.) pokazuje vrlo nizak sadržaj rudnih elemenata, uglavnom As, nešto Au i Co, uz stijenke pukotina oborenih su sulfidi. Sulfidna masa u društvu sericita i klorita čini prelaznu zonu između stijene i jezgre zona-

Bušotina	Uzorak	Litologija	Koncentracija (Sadrž/sr. sadrž.)								
			Zn	Au	Cu	Pb	Bi	As	Ni	Cr	Se
I.	2.-I.	dolomit	1.8	1333	1.1	-	-	1.3	-	-	-
II.	1.-II.	matrix brečok.	4	526	1.1	-	-	3.4	-	2.5	1.6
II.	3.-II.	brečokong.	2.9	167	0.6	-	-	10.7	-	-	22
III.	D2-III.	biomikrudit	1.4	576	2.7	1.2	-	3.5	3.2	-	-
IV.	1.-IV.	biomikrudit	1.8	666	2.2	-	-	1.7	1.3	-	-
V.	1.-V.	metakalkarenit	-	-	1533	68.9	4330	-	32.9	25.4	-
V.	2.-V.	metatufit	5.5	-	455	108.6	2777	-	4.6	6.4	-
VII.	2.-VI.	grauvaka	-	-	35.4	2	99.4	-	-	1.2	-
VII.	1.-VII.	mikrit	-	-	53.5	6	98.0	64	-	9	-
VIII.	2.-VIII.	alk.bazalt	-	?	-	-	-	31	-	-	0.53

Tablica 1 Koncentracije mikroelemenata u analiziranim uzorcima.

rno građene žice. Idući od ruba prema centru žice dolaze sve niže i niže temperaturno-mineralne parageneze, koje završavaju u jezgri s krupnokristalastim kalcitom. Ovo je posljedica očito naglog hladjenja hidroterme i s time u vezi brzih i kratkotrajnih kemijskih reakcija. Sve se moglo odvijati u rasponu od 200° do ispod 80°C. Budući da se bazalt u vršnom dijelu bloka proslojava sa srednjim vapnenim laporom, u kojem je registrirana badenska-sarmatska fauna, a preko vulkansko-sedimentnog kompleksa leži transgresivna serija, najvjerojatnije donjeg panona, kataklastično-hidrotermalna metamorfoza morala se pojaviti krajem sarmata. Što više, sulfidi u osnovi donje panonskog pješčenjaka zajedno sa žicama zonarne grade u podini upućuju na pravi geokemijski facijes na prijelazu sarmat/panon, koji našim istraživanjem nije zahvaćen. Jedino možemo pretpostaviti da se radi o istoj hidrotermi, koja je uz lagunu kataklastičnu deformaciju vršila metasomatozu vulkanskosedimentne mase i završila sa As, a prilikom otvaranja dubokih pukotina prodrla u viši nivo i započela novi kristalizacijski ciklus.

DISKUSIJA REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Iako sastav mikroelemenata metala u sedimentima donjeg, srednjeg i gornjeg miocena nije isti, procesi njihovog obogaćivanja su isti ili slični. Prije svega su vezani za duboke lomove, duž kojih su cirkulirale vruće otopine metala. Potiskivanje starijih generacija mineralnih parageneza mlađim u osnovi kalkarenita bušotine V. upućuje na reaktivirane procese. Asocijacija metala Cu-Bi-Pb-Ni-Cr dolazi kao posljedica hidrotermalno-metasomatskih i hidrotermalno-sedimentnih procesa, koji su se odvijali kroz vertikalni profil jursko-krednih vapnenaca podloge i karpatsko-badenskih sedimenata. Jedno je sigurno: u najdubljem dijelu litološkog stupa djelovala je visoko-temperaturna hidrotermna. Bila je to

najvjerojatnije otopina klorida metala. Rezultati geo-kemijskih ispitivanja ugljikovodika u ovoj bušotini (Interna dokumentacija INA-Naftaplina, Zagreb) dozvoljavaju pretpostavku da je u jurškim sedimentima bilo ležište nafte. Između otopine klorida metala i nafte moglo je doći do organsko-anorganskih reakcija, koje čine segment donjeg dijela sheme na slici 1-B (shema je rezultat spoznaja nakon naših istraživanja i koncepcije generiranja ugljikovodika prema radu iz interne dokumentacije INA-Naftaplina, Zagreb). Na samom početku kemijskih reakcija hidroterma je mogla izazvati raspadanje i redukciju nezasićenih ugljikovodika. Time je vjerojatno uz ostatak C oslobođen CH_4 , koji je migrirao van domašaja aktivnosti hidroterme. Unutar krednog vapnenca, u višem horizontu moglo je doći do oksidacijskih procesa između hidroterme i vapnenca ili hidroterme i određenog sastava ugljikovodika. Pri ovakvim zbivanjima za očekivati je oslobođanje CO_2 anorganiskog podrijekla. Hidroterma je oksidirana u sulfatnu otopinu, vapnenac se raspao na CO_2 i CaCl_2 , a eventualnom redukcijom ugljikovodika oslobođen je ponovo CH_4 . Dobivena polimetalna otopina sulfata nastavila je put prema površini. Ušavši u sedimente karpati našla je na organsku tvar, koja je djelovala kao reduktor i pospješila obaranje rudne mineralizacije iz sulfata. Time je oslabljena ili završena aktivnost hidroterme i stvorena mogućnost za nakupljanje suhog plina u višem horizontu. Samo obaranje sulfidne mineralizacije izazvalo je razgradnju organske tvari na CO_2 i H_2O .

Po istom ili bliskom principu moguće je odvijanje anorgansko-organskih reakcija u preostalim bušotinama. Razlike proizlaze iz karaktera hidroterme i komponentnog sastava ugljikovodika. Efekti mogu biti višestruki pri kontaktu organske tvari sa hidrotermom. Sve se bazira na rapidnom povećanju sazrijevanja kerogena ili njegovoj oksidaciji u komponente CO_2 i H_2O . Pri tom veću ulogu imaju redox reakcije, nego temperatura.

ZAKLJUČAK

Povišen sadržaj metala u sedimentima donjeg i srednjeg miocena, te hidrotermalno izmijenjene stijene znak su hidroermalne aktivnosti tokom miocena. Ona je posljedica dubokih intruzija i subvulkanske aktivnosti, a kontrolirana je neogenskom tektonikom. Komponentni sastav pojave ugljikovodika iznad hidroermalno metamorfoziranih stijena dozvoljava pretpostavku da je hidroterma izvršila destrukciju paleonafti, ili je izazvala rapidno povećanje sazrijevanja organske tvari do njezine razgradnje. Nastale komponente su migrirale van zone djelovanja hidroterme. Prema tome postoji vjerojatnost da su u Dubokoj Dravi hidroermalni procesi bili u funkciji stvaranja plinskih i plinsko-kondenzatnih ležišta.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

- BARIĆ, G. et al. (1992): Sedimentary and geochemical characteristics of rocks and fluids of the western part of the Drava depression.- Nafta, 43/4-5, 225-238, Zagreb.
- Interna dokumentacija INA Naftaplin, Zagreb.
- MARTINOVIC, S. (1990): Pretpostavka o poreklu neogenih ležišta ugljikovodika u Panonskom bazenu.- XII. Kong. geol. Jug., I, 444-453, Ohrid.
- NAJDENOVSKI, J. et al. (1990): Položaj naftoplinskih ležišta u savsko-dravskom području s obzirom na tektonsku i vulkansku aktivnost.- XII. Kong. geol. Jug., III., 563-575, Ohrid.
- ROYDEN L.H. & HORVATH F. (eds.): The Pannonian Basin - A Study in Basin Evolution.- Am. Assoc. Pet. Geol., Mem., 45, Tulsa and Budapest.
- SZEDERKENYI, T., ARKAI, P. & LELKES-FELVARI, Gy. (1991): Crystalline Groundfloor of the Great Hungarian Plain and South Transdanubia, Hungary.- Internacionlalni simpozij Geodynamic Evolution of the Pannonian Basin, 261-273, Beograd.
- SURDAM, R.C. et al. (1989): Organic-Inorganic Interactions and Sandstone Diagenesis.- AAPG, 73/1, 1-23.
- TISSOT, B.P. & WELTE, D.H. (1984): Petroleum Formation and Occurrence.- 2nd ed., Springer Verlag, New York, 207 p.

Sanacija uljnih zagađenja u priobalnom pojasu

Želimir PEKAŠ, Robert LIPOVAC, Boris MUNDA & Renato UCCELLINI

Ključne riječi: uljno zagadenje, sanacija, obalni pojas

Sažetak

Veliki broj industrijskih objekata i različitih tipova spremnika za ugljikovodike izgrađenih u obalnom pojusu predstavljaju potencijalnu opasnost zagadenja mora širih razmjera.

U radu su sažeto prikazani sanacijski radovi izvedeni u različitim litološkim sredinama zagadenim različitim vrstama ugljikovodika. Kako se u svim slučajevima radi o zagadenom podzemlju pod direktnim utjecajem oscilacija razine mora, naglasak je dan na osobitosti rada u ovakovim uvjetima, koji otežavaju ionako obimne i dugotrajne sanacijske radove.

Iskustva u rješavanju akcidentnih situacija ukazuju na potrebu ispitivanja potencijalno zagadenog podzemlja i provedbu sanacije prije pojave zagadenja u moru.

Key words: Oil pollution, Restoration, Coastal area

Abstract

A considerable number of industrial plants and a various types of hydrocarbon reservoirs constructed in the coastal area, are representing a potential danger in wide relations for sea-pollution.

In this paper are concisely described recovery works that have been carried out on various lithologic units, polluted by various kinds of hydrocarbons. Since in all cases, it is a question of polluted underground under the direct influence of sea-level oscillation, here are pointed out particular work conditions that make difficult anyhow extensive and longlasting recovery works.

Experiences in solving the accidental situations point at necessity of examination of polluted underground and recovery implementation before pollution manifestation in the sea.

UVOD

Zagadenje mora ispred Rafinerije nafte Urinj u jeku turističke sezone 1993. god. pokazalo je da, osim ekološke katastrofe, takav tip akcidenta može izazvati i cijeli niz drugih negativnih posljedica. Spoznaja o postojanju velikog broja industrijskih objekata i spremnika za ugljikovodike u obalnom pojusu Jadranskog mora, koji zbog lošeg održavanja u svakom trenutku mogu postati novi izvor akcidentnog zagadenja, zahtjeva detaljno proučavanje ovog tipa zagadenja i razradu sanacijskih postupaka.

Dosadašnja zagadenja mora ugljikovodicima kod nas su rješavana uglavnom samo postavljanjem plivajućih brana i čišćenjem mora do prividnog prestanka istjecanja, a dugotrajna cijedenja i povremeno jača istjecanja su smatrana bezopasnim i nečim na što se ne može utjecati.

Problemi zagadenja krškog podzemlja ugljikovodicima u priobalnom pojusu relativno su slabo opisani i u svjetskoj literaturi, a proizvodači nisu dovoljno razvili specifičnu opremu potrebnu za ovakove uvjete.

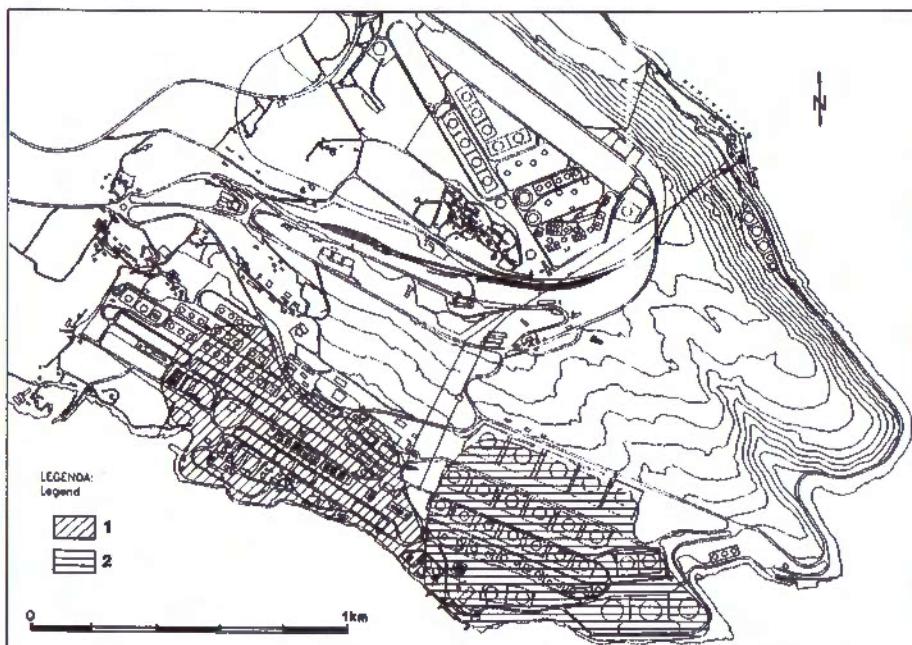
Cilj ovog rada je da, na osnovu naših iskustava u sanaciji zagadenog podzemlja različitim tipovima ugljikovodika u različitim litološkim sredinama, pokažemo

svu složenost sanacijskih radova i ukažemo na neke od specifičnosti na koje treba obratiti osobitu pozornost.

SANACIJA ZAGAĐENJA U RAFINERIJI URINJ

Rafinerija Urinj je izgrađena na karbonatnim naslagama gornjokredne starosti koje su na jednom dijelu transgresivno pokrivene karbonatnim Prominskim brečama. Sve ove naslage se odlikuju vrlo izrazitom sekundarnom pukotinskom poroznošću. Na sjevernom dijelu poluotoka uz more nalazi se uski pojasi fliša koji predstavlja hidrogeološku barijeru, tako da se uglavnom sve podzemne vode dreniraju na južnoj strani poluotoka, gdje su smještena procesna postrojenja i rezervoarski prostori.

Ispitivanjem rafinerijske opreme i kemijskim analizama materijala koji je istjecao, provedenim neposredno poslije pojave zagadenja u moru, nije otkriven neposredni izvor zagadenja. Izradom drenažnog kanala u neposrednom zaledu mjeseta istjecanja relativno brzo je spriječeno istjecanje zagadenja u more. Istovremeno, otpočeli su istraživački radovi na utvrđivanju dimenzija zagadenog podzemlja i otkrivanju mjeseta istjecanja ugljikovodika u podzemlje. Istraživačkim radovima je



Sl. 1 Područje sanacije u Rafineriji Urinj: 1 - područje procesnih postrojenja; 2 - područje A i D grupe spremnika.

Fig. 1 Restoration areas in Urinj Refinery: 1 - Process plant area; 2 - Area of reservoir groups A and D.

obuhvaćeno cijelokupno područje procesnih postrojenja površine $0,5 \text{ km}^2$ (sl. 1), tijekom kojih su izbušene 82 bušotine ukupne dubine 1.750 m i izvedena cijelokupna hidrogeološka istraživanja s ciljem definiranja hidrodinamičkih odnosa u podzemlju. Na osnovu toga je izrađen projekt sanacije koji je trenutno u tijeku.

Pošto se cijelokupno zagadeno podzemlje nalazi pod direktnim utjecajem oscilacija mora, od početka se obavljaju mjerena razine i debljine sloja ugljikovodika, te oscilacija mora. Za potrebe praćenja promjena u podzemlju i efekata sanacijskih radova izrađen je informacijski sustav Urinj, u koji je do sada pohranjeno i obradeno cca 80.000 podataka.

Dosadašnje aktivnosti na ovom dijelu rafinerijskog prostora rezultirale su vađenjem cca 3.200 m^3 čistih ugljikovodika iz drenažnog kanala, razvojem posebnog tipa crpke i crpljenjem 1.000 m^3 ugljikovodika iz bušotina, te neprekidno čistim obalnim morem.

Izkustva polućena iz akcidentne situacije nametnula su potrebu preventivnog ispitivanja i ostalih dijelova rafinerijskog prostora. Do sada je istraženo područje A i D grupe spremnika ukupne površine $0,4 \text{ km}^2$ (sl. 1). Odredene su granice širenja zagadenja za što je bilo potrebno izbušiti 23 istraživačke bušotine ukupne dubine 800 m. Završetkom hidrogeoloških ispitivanja odredene su lokacije za eksplotacijske bunare, čijom će izradom otpočeti sanacijski postupak.

Zbog određenih sumnji u efikasnost odabrane metodologije istraživanja i sanacije, koje su posljedica nedostatka iskustva na sličnim projektima u Hrvatskoj, angažirano je, od strane Rafinerije, pet inozemnih specijaliziranih tvrtki sa zadatkom provjere dosadašnjih radova. Pozvani stručnjaci Water & Soil Remediation iz Mantove-Italija, E.M.I.T. Gruppo Aqua iz Milana-Italija, Remediation & Prevention Technology iz Rima-

Italija, LOBBE iz Kölna-Njemačka i W.I.S.E. iz USA-a su potvrdili pravilnost dosadašnjih radova, a trenutno su u tijeku aktivnosti na zajedničkom razvoju potrebne opreme.

SANACIJA U RAFINERIJI MLAKA

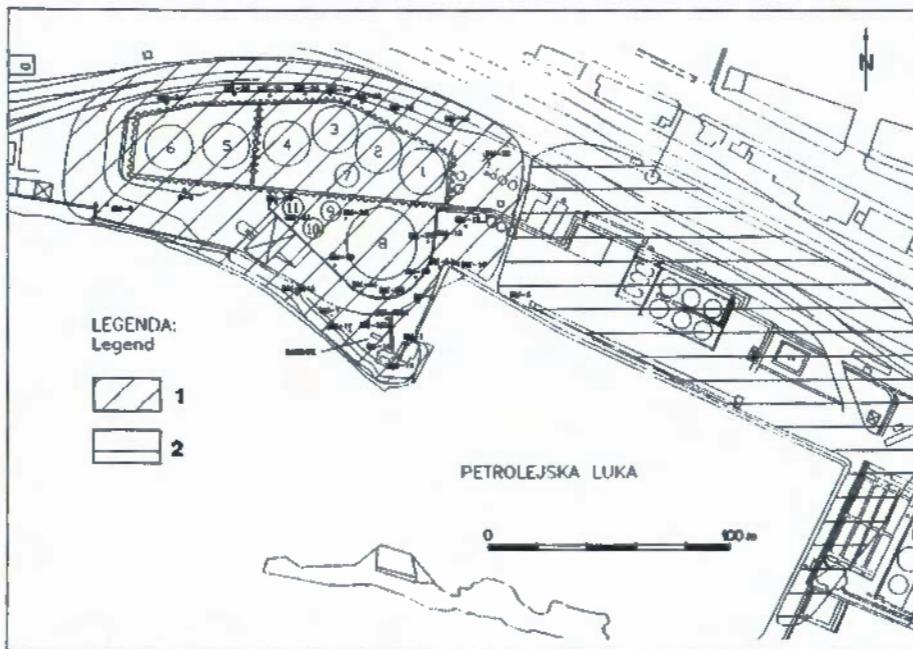
Rafinerija nafte Mlaka izgrađena je prije 110 godina na nasipom proširenom obalnom pojusu u centru Rijeke. Od šezdesetih godina rafinerija preradije samo teške frakcije nafte koje se, kad dospiju u podzemlje, ponašaju bitno drugačije od benzinskih frakcija.

Početkom 1994. god. počelo je istjecanje ugljikovodika u more van Petrolejske luke. Sanacijski radovi, koji su počeli u ljeto iste godine, imali su za cilj sprečavanje istjecanja zagadenja u more na obalnom pojusu izvan Petrolejske luke (sl. 2). U tu svrhu su izbušene 34 istraživačke bušotine ukupne dubine 300 m i obavljeni detaljni hidrogeološki radovi. Izgraden je drenažni sanduk kojim je sprječeno istjecanje zagadenja u more i djelomično očišćeno neposredno zalede.

Završetkom ove faze odlučeno je da se prošire sanacijski radovi na zalede Petrolejske luke (sl. 2). Do sada je izbušeno 40 istraživačkih bušotina i obavljaju se hidrogeološki radovi s ciljem određivanja lokacija za eksplotacijske objekte.

Od početka sanacije kontinuirano se obavljaju mjerena u buštinama i moru, a podaci se pohranjuju u informacijski sustav MLAKA.

Dosadašnjim sanacijskim radovima u potpunosti je sprječena mogućnost istjecanja ugljikovodika na obalnom pojusu izvan Petrolejske luke i iz podzemlja je izvadeno cca 350 m^3 čistih ugljikovodika.



Sl. 2 Područje sanacije u Rafineriji Mlaka: 1 - područje izvan Petrolejske luke; 2 - područje unutar Petrolejske luke.

Fig. 2 Restoration areas in Mlaka Refinery: 1 - Area outside petroleum port; 2 - Area inside petroleum port.

SANACIJA ZAGAĐENJA KOD HOTELA "ADMIRAL" U OPATIJI

Incidentno zagadenje obalnog mora ispod hotela "Admiral" u Opatiji, koje se dogodilo u rujnu 1994. godine, pokazalo je da i mali izvori zagadenja mogu prouzrokovati izuzetno velike štete, osobito ukoliko se dogode u tijeku turističke sezone.

Uzrok pojave zagadenja u moru je bilo oštećenje spremnika ulja za loženje i nepropisno izgrađena tankvana. Prestankom jačeg istjecanja ugljikovodika u more prevladalo je mišljenje nekih stručnjaka da se podzemlje očistilo, što je rezultiralo kašnjenjem sanacijskog postupka i nepotrebnim dodatnim troškovima čišćenja mora. Ponovna istjecanja većih količina ugljikovodika u more, tijekom listopada iste godine, napokon je sve uvjerila u neophodnost provedbe sanacije zagađenog podzemlja.

Istraživačkim radovima je utvrđeno da u podzemlju postoji znatna količina ugljikovodika, koja u određenim hidrodinamičkim uvjetima istječe u more. Lokacija drenažnog bunara je odredena na taj način da onemoći istjecanje ugljikovodika u more, a istovremeno ne ometa nesmetan rad hotela.

Dosadašnji rezultati sanacijskog postupka garantiraju čisto more tijekom ovogodišnje turističke sezone, a iz podzemlja je do sada izrađeno cca 1.000 l čistih ugljikovodika.

OSOBITOSTI SANACIJSKIH RADOVA U PRIOBALNOM POJASU

Onečišćenja okoliša ugljikovodicima spadaju u kategoriju teških zagadenja koja je vrlo teško sanirati, pri čemu je sanacijski postupak vrlo skup i dugotrajan. U

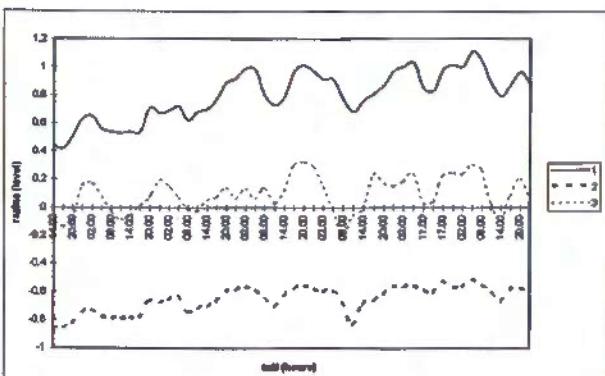
slučajevima pojave zagadenja u krškom priobalnom pojusu, koje je pod direktnim utjecajem oscilacija razine mora, uočene su odredene osobitosti na koje treba obratiti osobitu pozornost prilikom planiranja i izvođenja sanacije. Na osnovu dosadašnjih iskustava, mišljenja smo da radove generalno treba izvoditi u tri faze, koje se vremenski mogu preklapati:

1. sprečavanje istjecanja u more i držanje zagadenja pod kontrolom,
2. određivanje dimenzija zagađenog podzemlja i izrada projekta sanacije,
3. sanacija zagađenog podzemlja.

Vrlo skup i komplikiran postupak čišćenja mora i sprečavanje širenja zagadenja u akvatoriju, iziskuje brzo sprečavanje istjecanja zagadenja u more. Pri tome je osobito važno detaljno proučiti mehanizam istjecanja, odrediti dužinu ugrozenog obalnog pojasa i odabrati zahvat koji će u potpunosti zaštiti more. Istovremeno, potrebno je u što kraćem roku pronaći i sanirati izvor zagadenja.

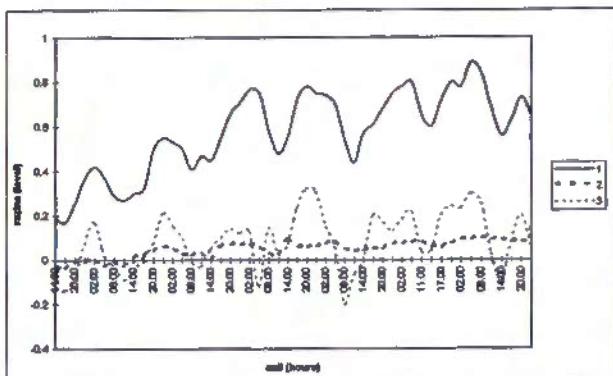
U sklopu radova na određivanju granica zagađenog podzemlja osobitu pozornost treba obratiti na dubinu bušenja, dužinu i mjesto ugradnje filterske sekcije. Osim padalina, na razinu podzemne vode u priobalnom pojusu, a time i sloj ugljikovodika, utječu i oscilacije razine mora. Bušotina mora biti uredena tako da omogućava praćenje debljine sloja ugljikovodika u svim uvjetima.

Oscilacije razine mora ne utječu samo na oscilaciju razine plivajućeg sloja ugljikovodika nego i na njegovu debljinu. To iziskuje kontinuirana mjerjenja promjene razine mora i razine te debljine sloja ugljikovodika, koja su neophodna za projekt sanacije i praćenje efekata sanacijskog postupka. Pri tome treba imati u vidu da granica ulje - voda nije i razina podzemne vode. Na



Sl. 3 Razine izmjerene u bušotini B-20 od 6.2. do 12.2.1995.: 1 - razina ugljikovodika; 2 - razina vode; 3 - razina mora.

Fig. 3 Measured levels in borehole B-20 between February 2 and February 12, 1995: 1 - hydrocarbon level; 2 - water level; 3 - sea level.



Sl. 4 Razine izmjerene u bušotini E-1 od 6.2. do 12.2.1995.: 1 - razina ugljikovodika; 2 - razina vode; 3 - razina mora.

Fig. 4 Measured levels in borehole E-1 between February 2 and February 12, 1995: 1 - hydrocarbon level; 2 - water level; 3 - sea level.

slikama 3 i 4 su pokazana dva dijagrama s različitim ponašanjem sloja.

Za kvalitetan projekt sanacije neophodno je provesti detaljna ispitivanja hidrodinamičkih uvjeta u podzemlju, s osobitim naglaskom na ispitivanje vodopropusnosti po vertikalni. Rezultate trasiranja tijekova podzemne vode treba analizirati s osobitom pažnjom, jer ne samo što ne odgovaraju brzine, nego je u određenim slučajevima primijećeno i odstupanje smjera širenja zagadenja od smjera tijeka podzemne vode.

Osobit problem za sanaciju zagadenja u priobalnom pojasu čini nedostatak adekvatne opreme za crpljenje ugljikovodika iz podzemlja. Velika vodopropusnost naslaga je uzrok neekonomičnosti izrade bunara većeg promjera u koji bi se instalirali sistemi crpljenja s dvije crpke, jer se ne mogu postići dovoljno veliki radijusi utjecaja, a crpke za crpljenje čistih ugljikovodika ne zadovoljavaju sve uvjete.

ZAKLJUČAK

Dosadašnja iskustva u rješavanju akcidentnih situacija u priobalnom pojasu pokazuju da se radi o složenim i dugotrajnim sanacijskim zahvatima, koji zahtijevaju angažman stručnjaka iz različitih područja.

Vrlo visoki troškovi čišćenja mora i sprečavanja širenja zagadenja u akvatoriju nameću potrebu preventivnog ispitivanja ugroženih područja prije pojave zaganjenja u moru.

POPIS KORIŠTENE LITERATURE

- BOUWER, H. (1978): Groundwater Hydrology.- Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- CONCAWE (1979): Protection of groundwater from oil pollution.
- KRAMER, W. (1982): Groundwater pollution from gasoline.- Monitoring Review, 18-22.
- MAYER, D. (1993): Kvaliteta i zaštita podzemnih voda.- Zagreb
- SYLVESTER, K. & LANDON, R. (1982): Subsurface oil contamination.- Monitoring Review, 54-57.

Geologija hrvatskog dijela Baranje

Mato PIKIJA, Krešimir ŠIKIĆ, Milka SARKOTIĆ-ŠLAT & Nikola MAGAŠ

Ključne riječi: Stratigrafija kvartara, Baranja, Hrvatska

Key words: Quaternary Stratigraphy, Baranja, Croatia

Sažetak

Geološkim kartiranjem izdvojeni su sedimenti i vulkaniti badena, te različiti genetski tipovi kvartara (riječno-jezerski i proluvijalni sedimenti u podini prapor, kopneni i močvarni prapor, sedimenti aluvijalnog niza - riječnih terasa, poloja i korita). Virmska starost naslaga kopnenog prapora kao i badenska starost andezita dokumentirana je radiometrijskim mjerjenjima. Na temelju praćenja vremenskog slijeda i analize nastanka riječnih terasa, te mineraloških i granulometrijskih odlika sedimenata, rekonstruirani su odnosi riječnih tokova za najmladeg pleistocena kao i smjerovi njihovog premještanja tijekom holocena.

Abstract

Sedimentary and volcanic rocks of Badenian age, as well as different genetical types of Quaternary sediments (alluvial-lacustrine and proluvial sediments, terrestrial and marsh loess, alluvial sediments) were separated during geological mapping of the Croatian part of the Baranja region. Würmian age of terrestrial loess and Badenian age of the andesite are documented by radiometrical measurements. On the basis of vertical succession and analysis of river terraces, as well as mineralogical and granulometrical characteristics of sediments, relations between different river tracts during the youngest Pleistocene and directions of their movement during the Holocene were reconstructed.

1. UVOD

Istraživano područje nalazi se u krajnjem sjeveroistočnom dijelu Hrvatske, a površina mu je oko 1150 km² (sl. 1). Omedeno je rijekama Dravom i Dunavom, a na sjeveru i sjeverozapadu državnom granicom s Republikom Madarskom. U reljefu Baranje razlikuju se tri morfogenetske jedinice: Bansko brdo, zaravni i riječne nizine (terase i poplavna područja). Bansko brdo je izduženo asimetrično uzvišenje s pružanjem jugozapad-sjeveroistok, dužine oko 21 km, a širine do 5 km s najvišom kotom Kamenjak (243 m). Na jugu i zapadu brdo uglavnom postupno prelazi u zaravni, dok na sjeverozapadu granicu morfoloških jedinica čini dolina rijeke Karašice. Nizine pripadaju područjima tokova Drave, Dunava i Karašice, a granice s prethodnim jedinicama pretežito čine dobro izraženi terasni strmci. U zoni sutoka Drave i Dunava prostire se Kopački rit, poznati ornitološki rezervat.

Sustavna geološka istraživanja Baranje započeta su šezdesetih godina prošlog stoljeća. Prvi geološki prikaz dao je SZABO (1867), a na preglednoj geološkoj kartici izdvojio je bazalte i bazaltnе breče, kongerijske slojeve, les i aluvij. Cjelovitije geološke prikaze još su dali LENZ (1872, 1873), MATYASOVSKY (1880), LOČZY (1914), STRAUSZ (1927), JENKO (1959, neobjavljeno), a sveobuhvatan rad o geomorfologiji Baranje BOGNAR (1990). Hidrogeološke prikaze Baranje dali su URUMOVIĆ (1973) i BABIĆ et al. (1978). Razma-

trano područje Baranje obuhvaćeno je listovima OGK 1:100.000 Osijek (MAGAŠ, 1987), Donji Miholjac (HEĆIMOVIĆ, 1986) i Mohač (PIKIJA & ŠIKIĆ, neobjavljeno), na kojima se temelji ovaj prikaz.

Za dozvolu korištenja rezultata mikropaleontoloških analiza zahvaljujemo L. ŠIKIĆ (tercijar) i I. VELIĆU (d. kreda). M. KLADNIČKOM i S. VITAS zahvaljujemo na kompjutorskoj izradi priloga i obradi teksta.

2. PREGLED GEOLOŠKE GRAĐE

Geološkim kartiranjem na području Baranje izdvojene su naslage badena i kvartara (sl. 2). Dubokim istražnim bušenjem na naftu i plin kraj Darde u podlozi kvartara utvrđene su metamorfne stijene paleozoika, te sedimenti miocena i pliocena. Bušenjem za potrebe vodoopskrbe kraj Belog Manastira nabušeni su donjokredni vapnenci i sedimenti badena. Geološkim kartiranjem, uz korištenje rezultata ranijih istraživanja i bušenja, također je omogućena i približna rekonstrukcija slijeda dogadaja tijekom mlađeg kvartara.

Najstarije stijene (sedimenti i vulkaniti) otkrivene na površini Baranje pripadaju badenu. Napomenuto je da su vapnenci badena nabušeni u području Belog Manastira, a sedimenti badena pretpostavljeni su i u bušotini Darda-2, gdje na njima leže naslage ponta i pliocena. Sedimenti badena sastoje se od laporanog, pjesackog, pješčenjaka, konglomerata, te bioklastičnih i bio-



Sl. 1 Položajna karta istraživanog područja.

mikritnih vapnenaca. Starost naslaga potvrđena je nalazima i odredbom makro (mekušaca) i mikrofosila (foraminifera). Interstratificirani tufovi i montmorilnitne gline upućuju na sinsedimentacijsku vulkansku aktivnost (andeziti, vulkanske breče). PAMIĆ & PIKIJJA (1987) detaljno opisuju andezite, a navode i izotopsku starost (K-Ar metodom) andezita kraj Begovca od $14,5 \pm 0,4$ ma, te andezita kraj Velikog brda od $13,8 \pm 0,4$ ma, što potvrđuje badensku starost ispitivanih stijena.

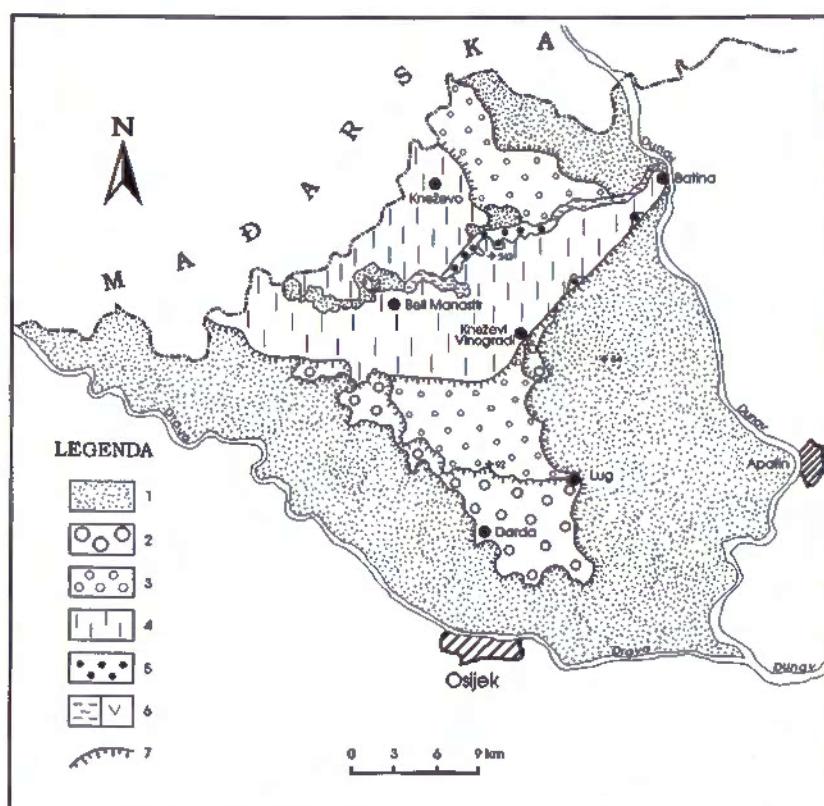
U buštinama kraj Darde dokazani su sedimenti ponta, a pretpostavljeni su sedimenti panonske i pliocenske starosti (MAGAŠ, 1987; BOGNAR, 1990).

Osim spomenutih izdanaka badena rasprostranjenih duž sjevernih padina Banskog brda, ostalu, skoro cijelu površinu Baranje izgraduju kvartarni sedimenti. Najstariji otkriveni dio kvartara taložen je tijekom mladeg interstadijala vurma ($W_{2/3}$). Spomenuta starost određena je na temelju analize apsolutne starosti radiokarbonskom metodom ^{14}C . Analizom vapnenačkih kućica

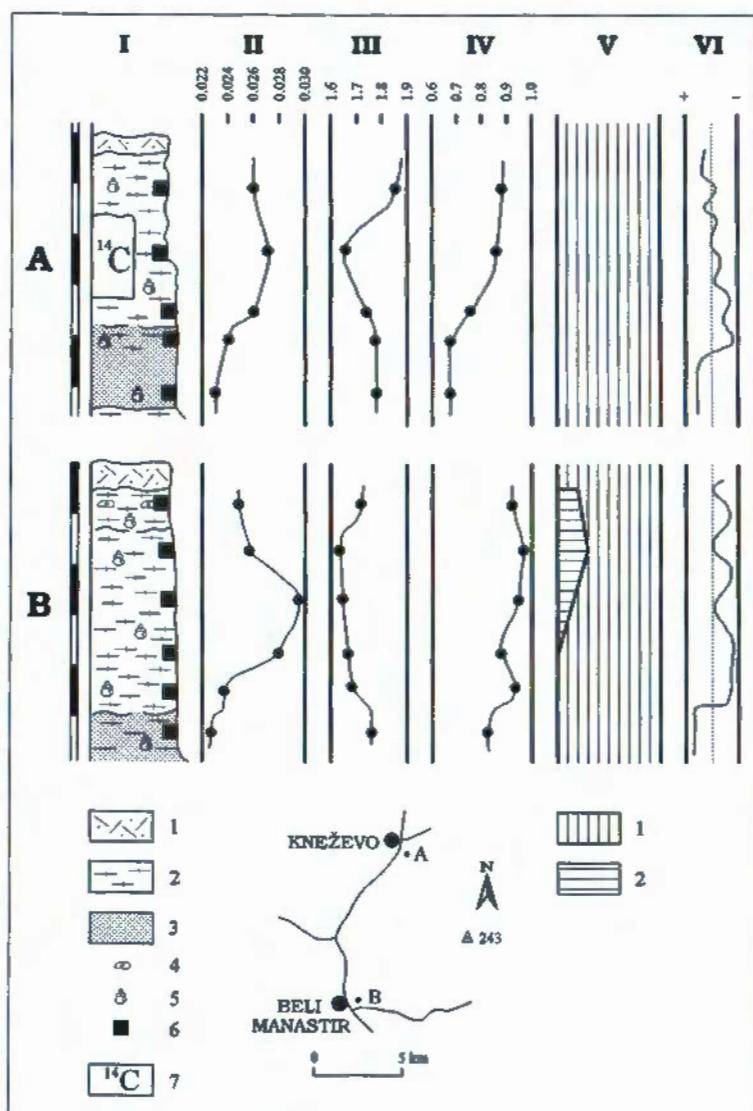
puževa iz lokaliteta neposredno južno od Branjine, dobivena je starost od 35000 ± 2400 godina, a analizom vapnenačkih koncrica od 23000 ± 1000 godina. Stvarna apsolutna starost je negdje između dobivenih rezultata. Litološki sastav, teksture i geometrija sugeriraju na taloge stvarane stalnim i povremenim bujičnim tokovima, te vjerojatno sedimente predgornih delti. Za sada je otvoreno pitanje kojim dijelom pjeskoviti sedimenti u podlozi praporu na zaravnima i riječnim terasama odgovaraju sedimentima spomenutog interstadijala. Vjerojatno, granulometrijski kontinuirano sedimenti interstadijala prelaze u prapor stadijala gornjeg vurma (W_3). Ovisno o izgledu reljefa i prirodnem okolišu (kopno, voda), taložen je kopneni ili močvarni prapor te često njihovi medusobni prelazi. Unutar stadijala gornjeg vurma (W_3) prisutne su najmanje dvije zone "fossilnog tla" koje upućuju na izrazitija zatopljenja, a sastav faune brojnih fosila, pretežito puževa, upućuje na općenito kolebljive klimatske prilike i na zatopljenja još nižeg reda (sl. 3).

Iz praporu su odredene brojne zajednice makrofosila karakteristične za hladnodobna do kolebljiva klimatska razdoblja područja stepa, šuma i livada. Na makrofossilima (pužićima) s tri lokaliteta izvršena su mjerena apsolutne starosti radiokarbonskom metodom ^{14}C (SRDOČ et al., 1989) i dobiveni rezultati u rasponu od 16500 ± 400 do 21000 ± 500 , upućuju na gornjovirmsku starost praporu (sl. 5).

Unutar taloga aluvijalnoga niza najznačajniji su sedimenti terasa i poplavnih područja (sedimenti poloja i riječnih korita). Na temelju mineralnog sastava i granulometrijskih odlika mogu se jasno razlikovati sedimenti



Sl. 2 Pregledna geološka karta Baranje (bez tektonskih elemenata). Legenda: 1 - sedimenti poplavnih područja, mladi holocen do danas; 2 - mlada riječna terasa, stariji holocen; 3 - starija riječna terasa, mladi virm; 4 - prapor, gornji (mladi) virm; 5 - sedimenti interstadijala (klasti Branjine); 6 - sedimenti (a) i vulkaniti (b) bade-na; 7 - terasni strmac.



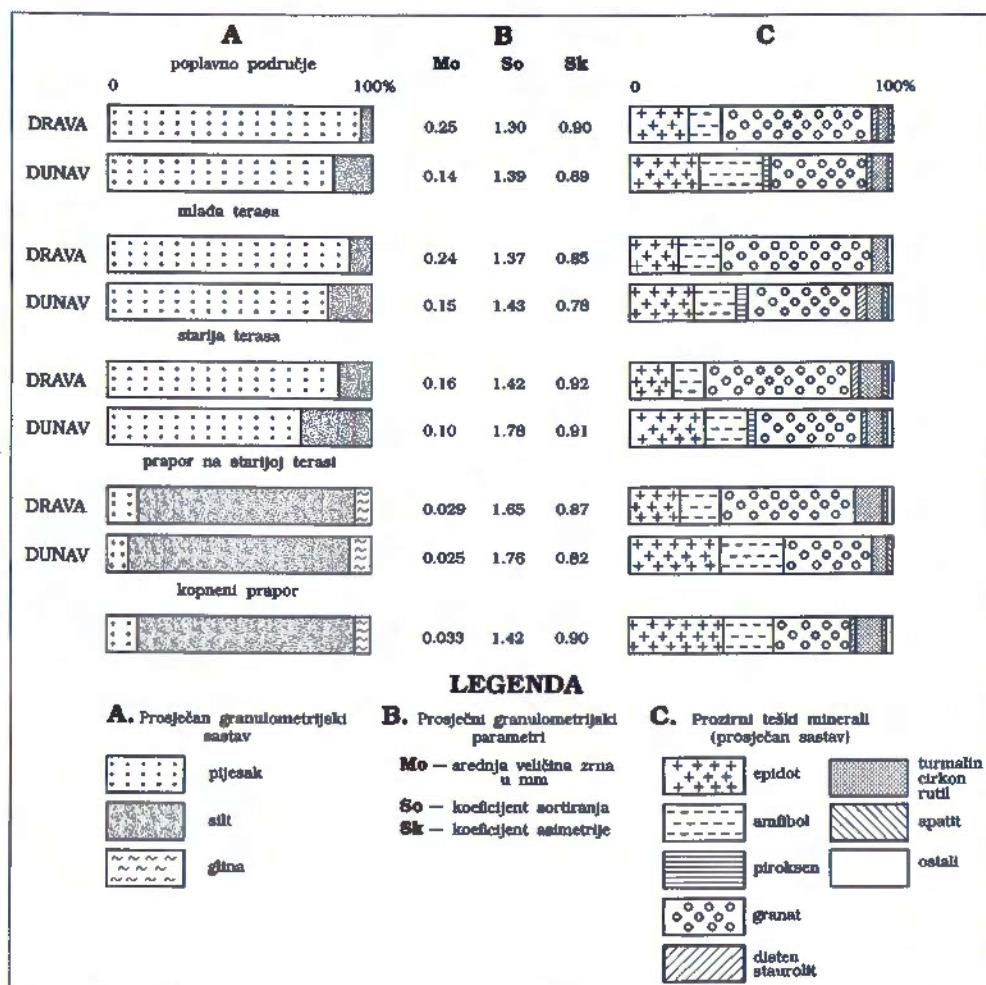
Sl. 3 Litološke, granulometrijske i faunističke odlike praporu zaravni. A - pozajmište ciglane Kneževi i B - pozajmište ciglane južno od Belog Manastira. I litološki stupovi: 1 - humus; 2 - silt (prapor), 3 - "fossilno tlo", 4 - konkrecije, 5 - makrofosili, 6 - uzorci, 7 - uzorak za analizu apsolutne starosti; II medijan; III sortiranost; IV asimetričnost; V fosili: 1 - kopnena sredina; 2 - vodena sredina; VI relativni temperaturni odnosi.

Drave i Dunava. Općenito uzevši pijesci Drave su krupnozrnati, bolje sortirani, sadržavaju manje silta, imaju znatno više kvarca i teških minerala među kojima dominira granat, a sporedni minerali su epidot i amfibol. Kod dunavskih pijesaka uz granat su podjednako zastupljeni epidot i amfibol, a piroksen je gotovo redoviti sastojak teške mineralne frakcije (sl. 4). Pijesci Dunava imaju i nešto više karbonatnih čestica.

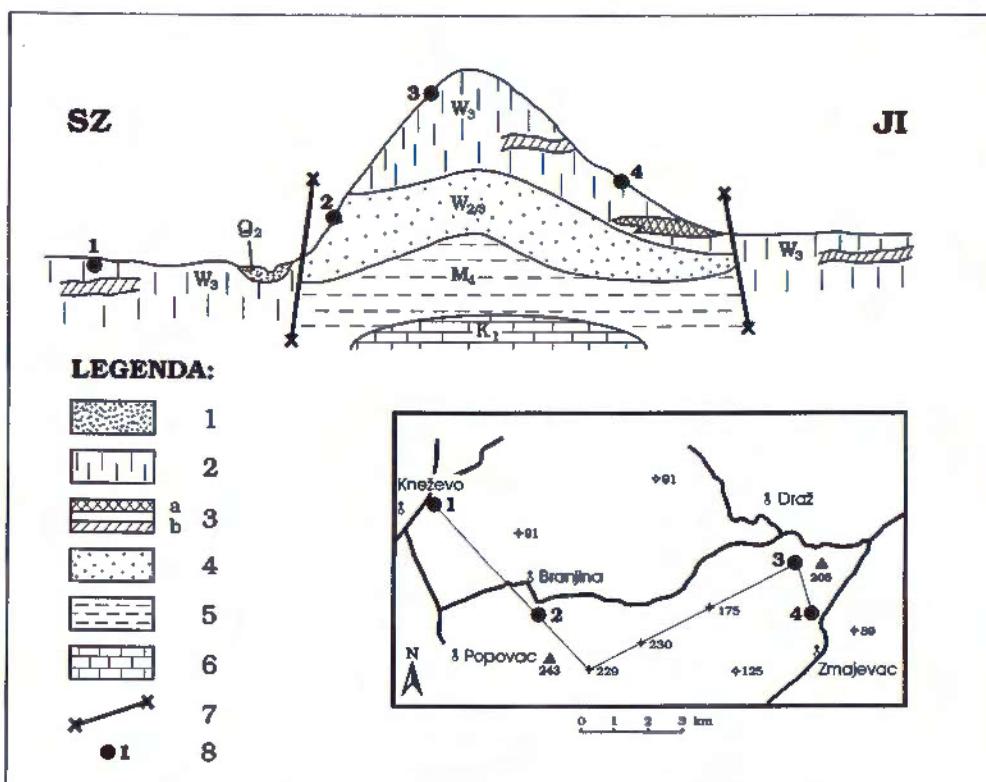
Početak formiranja starije (više) terase Drave i Dunava vezan je vjerojatno na razdoblje drugog interstadijala virma ($W_{2/3}$), a završetak vjerojatno na fazu posljednje humidne zone gornjeg virma ($W_3^{2/3}$), budući da pokrov na tim terasama čini prapor najmladeg virma. Terasu sjeverno od Banskog brda formirao je Dunav, a južno od Banskog brda Drava. Rubni terasni strmac približnog protezanja od Baranjskog Petrovog Sela, preko Grablika, Kozarca i Kneževih Vinograda, do Zmajevca, ujedno je krajnji sjeverni domet toka Drave za vrijeme srednjeg i gornjeg virma. Sutok Drave i Dunava se u to vrijeme nalazio negdje između Batine i Kopačkog rita, vjerojatno na prostoru današnje Bačke.

Tijekom donjeg holocena, južno od Batine, Dunav se usjecao u sedimente starije (virmske) terase Drave, stvorio terasni strmac na potezu Kneževi Vinogradci-Grabovac-Lug, što je njegov krajnji zapadni domet. Tada je formirao vlastitu nižu terasu, koja je kasnije raznesena mlađim radom dunavskih voda, a njen se ostatak može pratiti na potezu Kneževi Vinogradci-Jasenovac Pusta. Današnji trend toka Dunava je ponovna erozija desne (zapadne) obale i usjecanje u vlastite sedimente. Istovremeno, u starijem holocenu i Drava formira terasni strmac s približnim protezanjem od južnog dijela šume Haljevo, preko Čeminca i Koha Čarde do Luga. Stvara vlastitu nižu terasu, kasnije dijelom razorenu, čiji se manji ostaci mogu pratiti na potezu sjeverno od Bolmana, a veća površina sjeverno i istočno od Jagodnjaka, Uglješa, Darde i Kopačeva. Sutok Drave i Dunava u tijeku starijeg holocena vjerojatno se nalazio negdje u području sjevernog ruba Kopačkog rita.

Sjeverno od Banskog brda starija holocenska terasa Dunava, ako je postojala, danas je u potpunosti raznese-



Sl. 4 Usporedni prikaz granulometrijskog i mineralnog sastava riječnih pjesaka i prapora.



Sl. 5 Shematski geološki profil kroz Bansko brdo i dio zaravnji, s približnim položajem točaka analiza apsolutne starosti. Legenda:

- sedimenti holocena;
- prapor;
- zone "fossilnog tla", a - starija i b - mlada;
- sedimenti interstadijala (klastiti Branjine);
- naslage badena;
- naslage donje krede;
- rasjed;
- mjesta analiza apsolutne starosti.

na mladim holocenskim i recentnim radom dunavskih voda. Na kraju treba napomenuti da su promjene smjeđova tokova Dunava i Drave, kao i formiranje terasa, odnosno terasnih strmaca, usko povezani s neotektonskim pokretima na širem prostoru Baranje.

Uz prikazane rezultate naša istraživanja otvorila su i potrebe dodatnih istraživanja, kao na primjer: specijalistička sedimentološka istraživanja; dodatne analize apsolutne starosti; geokemijsko i paleopedološko proučavanje "fosilnih tala" i utvrditi sigurne odnose pješčanih naslaga (horizonata) "ciljanim" bušenjem.

LITERATURA

- BABIĆ, Ž., ČAKARUN, I., SOKAČ, A. & MRAZ, V. (1978): O geologiji kvarternih naslaga porječja rijeke Drave.- Geol. vjesnik, 30/I, 43-61, Zagreb.
- BOGNAR, A. (1990): Geomorfologija Baranje. Znanstvena monografija.- Savez geogr. društva Hrvatske, Posebna izdanja, 7, 1-312, Zagreb.
- CSASZAR, G. (1989): Transgressive Urgonian sequence with black "pebbles" from the Villany Mountains, Hungary.- Acta Geologica Hungarica, 32/1-2, 3-29, Budapest.
- GOLUB, Lj. (1957): Bazalt-andezit kod Popovca u Baranji.- Geol. vjesnik, 10, 111-122, Zagreb.
- HEĆIMOVIĆ, I. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Donji Miholjac.- Geološki zavod, Zagreb (1984), Savezni geološki zavod, Beograd.
- JENKO, K. (1959): Geološko snimanje Popovačkog brda (Baranja).- Fond struč. dok. Inst. za geol. istraž., Zagreb.
- LENZ, O. (1872): Aus dem Baranyer Comitat.- Verh. Geol. Reichsanst., 14, 290-294, Wien.
- LENZ, O. (1873): Geologische Mittheilungen aus dem Baranyer Comitat.- Verh. Geol. Reichsanst., 5, 89-90, Wien.
- LOCZY, L. v. jun. (1914): Geologische Verhältnisse des Gebirges von Ban (Kom. Baranya).- Jahresbericht Ung. Geol. Reichsanst. für 1913, 401-409, Budapest.
- LUGOVIĆ, B., MAJER, V. & STRUMPFEL, W.E. (1990): Geochemical Characteristics of Basaltic Andesites from Baranja (Croatia, Yugoslavia).- Geol. vjesnik, 43, 135-142, Zagreb.
- MAGAŠ, N. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Osijek.- Geološki zavod, Zagreb (1986). Savezni geološki zavod, Beograd.
- MAURITZ, B. (1920): A Bani-hegység bazaltszerű közetei.- Mathematisches und Physikalisches Jahrbuch, 37, 62-65, Budapest.
- MATYASOVSKY, J. v. (1880): Paläontologische Beiträge zur Kenntnis der jüngeren mediterranen Schichten des Baranyaer Comitatus.- Naturhist. Hefte, 4, 243-248, Budapest.
- MILOJEVIĆ, B.Ž. (1950): Baranjska lesna zaravan.- Geograf. glasnik, 11-12, 39-44, Zagreb.
- PAMIĆ, J. & PIKIJA, M. (1987): Badenian Andesites and Pyroclastics from Baranja in Northern Croatia (Yugoslavia).- Acta geol. Hung., 30/1-2, 111-132, Budapest.
- PRELOGOVIĆ, E. & CVIJANOVIĆ, D. (1983): Prikaz neotektonskе aktivnosti dijela Slavonije, Baranje i Bačke.- Geol. vjesnik, 36, 241-254, Zagreb.
- RUKAVINA, D. (1983): O stratigrafiji gornjeg pleistocena s osvrtom na topla razdoblja i njihov odraz u naslagama na području Jugoslavije.- Rad Jugosl. akad. znan. umjet., 404/19, 199-221, Zagreb.
- SRDOČ, D., OBELIĆ, B., HORVATINOVIĆ, N., KRAJCARIĆ-BRONIĆ, I. & SLIJEPEČEVIĆ, A. (1989): Rudjer Bošković Institute Radiocarbon measurements XL.- Radiocarbon, 31/1.
- STRAUSZ, L. (1927): A Bani hegység mediterrán rétegei.- Földt. Közl., 56, 118-122, Budapest.
- SZABO, J. (1867): Földtan jegyzeteg Batina-Bán és a mohácsi szigetről 1865 April 3-5.- Mag. Földt. Tars. Munkalatai, 3, 133-141, Budapest.
- URUMOVIĆ, K. (1973): Hidrološke značajke Baranje.- Geol. vjesnik, 26, 247-255, Zagreb.
- WEIN, G. (1967): Über die Tektonik Südost-Transdanubiens.- Földt. Közl., 97/4, 371-395, Budapest.



Modeliranje otjecanja primjenom matematičkog modela na području krša

Krešimir PLANTIĆ

Ključne riječi: simulacija otjecanja, hidrološko prognoziranje

Key words: Outflow simulation, Hydrologic forecast

Sažetak

Svako povećanje efikasnosti u proizvodnji električne energije, kao i smanjenje opasnosti od poplava opravdava ulaganje u racionalnije korištenje postojećih hidroenergetskih objekata. To je posebno izraženo pri nedostatku drugih energetskih izvora te visoke cijene fosilnih goriva. Optimalizacija rada hidroelektrana važna je na slivovima složene hidrogeološke grade s većim brojem akumulacija i hidroelektrana, gdje dotok u nizvodnim akumulacijama ovisi o radu uzvodnih postrojenja. Stoga je modeliranje otjecanja, odnosno izrada kratkoročnih hidroloških prognoza dotoka neophodna za uvodenje modela upravljanja sustavom u realnom vremenu. Predloženi rad prikazuje primjenu hidrološkog modela "SSARR" pri razvoju modela otjecanja na području krša, odnosno simulaciju otjecanja na području sliva akumulacije Peruća.

Abstract

Each increase in efficiency of electric power production as well as decrease of flood risk justifies investment in more rational harnessing of the existing hydropower plants. That is especially marked in the condition of deficiency of other power sources and with high prices of fossil fuel. Optimization of hydropower plant operation is extremely important in the watersheds having composite hydro-geological structure with several reservoirs, where inflow in the downstream reservoirs largely depends on the management of the upstream plants. Therefore outflow modeling, that is short-term hydrologic forecast of inflow, is indispensable for introducing model for system management in the real time. This paper deals with application of hydrologic model "SSARR" in developing model of outflow for the karst area, i.e. watershed of the Peruća reservoir.

1. UVOD

Uvažavajući napredak informatičke tehnologije, razvoj programske podrške, te potrebe neposrednih korisnika na slivu, u Institutu za elektroprivredu i energetiku - Zagreb, razvijena je primjena hidrološkog simulacijskog modela SSARR.

Modeliranje otjecanja kao i izrada hidroloških analiza, te na osnovu toga prognoza dotoka, izuzetno je kompleksan posao, budući da ovisi o brojnim faktorima i njihovim medusobnim varijacijama u vremenu i prostoru. Kako bi se mogle točno utvrditi količine otjecanja, odnosno dotoci na pojedinim profilima sliva, u svijetu, a i kod nas, koriste se metode matematičkog simuliranja otjecanja pomoću konceptualnih dinamičkih hidroloških modela.

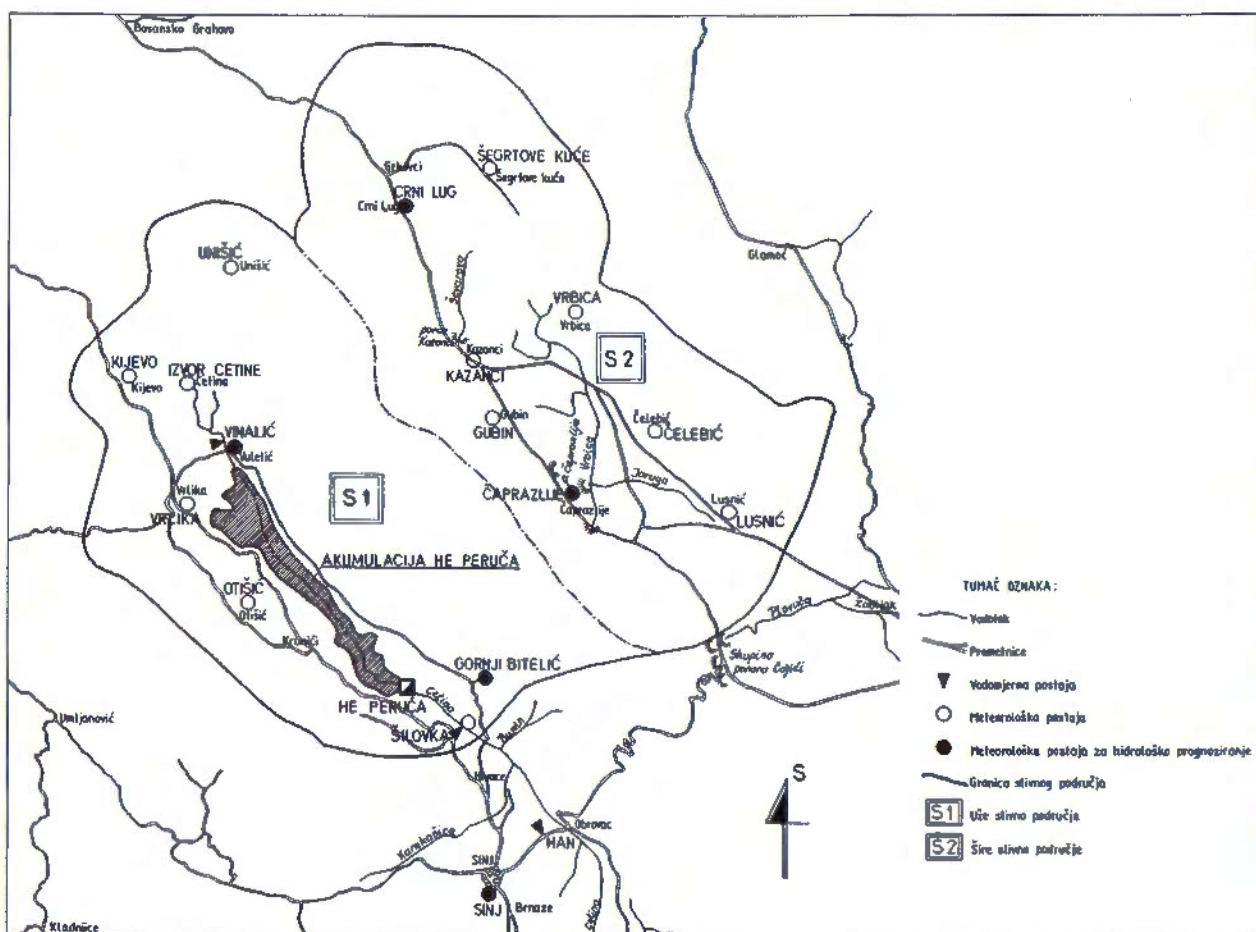
Hidrološki model SSARR je izabran s obzirom da je to jedan od prvih konceptualnih modela razvijen za kontinuirane simulacije, te da je razvoj modela diktiran realnim potrebama za hidrološkim analizama i prognozama. Model se u svijetu već duže vrijeme uspješno primjenjuje za kratkoročno hidrološko prognoziranje u sklopu dnevнog planiranja hidroproizvodnje, podesan je za modeliranje otjecanja sa slivova s proizvoljnim

rijecnim sistemom i različite hidrogeološke grade, te zahtjeva relativno dostupne hidrogeološke i hidrometeorološke podatke.

2. OPIS I NAMJENA HIDROLOŠKOG MODELA

Model SSARR (The Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation Model) je konceptualni hidrološki matematički model za modeliranje otjecanja i prognoze dotoka na slivu. Simuliranjem na modelu, mogu se pratiti osnovni elementi hidrološkog ciklusa, od oborina koje padnu na sliv, pa do protoka na izlaznom profilu sliva. Algoritmi proračuna zasnivaju se na uvjetima bilansa voda u dijelu hidrološkog ciklusa. Osnovni ulazni podaci su: ukupna količina oborina, podaci o taloženju i otapanju snijega, temperatura zraka, te podaci o isparavanju i vlažnosti zemljишta.

Vodni tokovi, tj. ukupno otjecanje odvija se površinskom, potpovršinskom i dubinskom komponentom, a modelom se može pratiti pojedinačan tok ovih komponenti sve do izlaznog profila sliva. Propagacija toka svih triju komponenti vrši se kroz linearne rezervoare. Sumiranjem komponenti na izlazu iz modela dobiva se konačni oblik izlaznog hidrograma.



Sl. 1 Slivno područje akumulacije Peruća.

Osnova SSARR modela razvijena je još 1956. godine za potrebe hidroloških analiza i izradu prognoza dotoka na slivu rijeke Kolumbije. Model je realiziran kao zajednički projekt Portlandskog odjela za prognoze Savezne hidrometeorološke službe SAD-a i Sjeverno-pacifičkog odjela vojne inžinjerije SAD. Od tada, stalno se dograđuje i usavršava, te se danas u svijetu i kod nas uspješno koristi za hidrološke analize otjecanja, kao i za operativno hidrološko prognoziranje i planiranje hidropotrošnje u realnom vremenu. Model se sastoji od tri osnovna modula: modul za simulaciju oborina/otjecanje, modul za propagaciju toka, te modul za analizu rada i upravljanje akumulacijama. Povezivanjem tih triju osnovnih modula, uspostavlja se hidrološki model slivnog područja.

Simulacija otjecanja vrši se u diskretnim vremenskim intervalima od 0,1 do 24 sata. Dužina vremenskog intervala bira se u ovisnosti od potreba, veličine i složenosti slivnog područja, te raspolaživosti podataka. Konačni cilj ovakovih simulacija je proračun dotoka na kontrolnim profilima sliva pri različitim hidrološkim stanjima i različitim meteorološkim uvjetima.

Programska podrška modela napisana je u programskom jeziku FORTRAN, a model je operativan na velikim računalima, kao i na osobnim računalima tipa IBM-PC. Originalna američka verzija programa instalirana je na računalo Instituta, gdje je dosad uspješno

izvršeno modeliranje otjecanja za više slivova u Hrvatskoj. Tako je model SSARR primjenjen za modeliranje otjecanja i izradu hidroloških analiza za sliv Cetine, sliv Zagorske Mrežnice, modeliranje dotoka i procjedivanja u Drežničkom Polju, kao i za modeliranje otjecanja i hidrološko prognoziranje za slivove HE Vinodola, HE Senja i akumulacije HE Peruća.

3. KARAKTERISTIKE SLIVNOG PODRUČJA AKUMULACIJE PERUĆA

Topografija i površine - Sliv akumulacije Peruća obuhvaća područje gornjeg toka rijeke Cetine od njenog izvora, pa do brane Peruća (sl. 1). Ukupna slivna površina omedena je topografskom vododjelnicom i iznosi oko 1250 km^2 . Najveći dio sliva čini planinsko područje (cca 60%), dok su ostali dijelovi kraška polja i zaravni. Zbog visinskih razlika, kao i zbog potreba razvoja simulacijskog modela, slivno područje je podjeljeno na 2 podsliva. Prvi podsliv (uže slivno područje) obuhvaća sliv Cetine od izvora, do vodomjerne postaje Šilovka, te samu akumulaciju Peruća i iznosi 628 km^2 . Drugi podsliv, (šire slivno područje), odnosi se na dio Livanjskog polja, s čijih se horizonata uglavnom podzemnim tokovima prihranjuje Cetina. Taj dio podsliva iznosi 622 km^2 . Granica između podslivova pro-

teže se od vrha Svilaje kod Zelova, preko v.p. Šilovka zapadno od vodotoka Rurnin i skupine ponora Čajići, do planine Golija. Na slici 1 prikazana je situacija sливног područja akumulacije Peruča za koje je izrađen matematički model otjecanja.

Hidrogeologija - Dosadašnja hidrogeološka istraživanja ukazala su na složenost hidrogeoloških odnosa. Rezultati istraživanja potvrđuju da je tlo najvećim dijelom izgrađeno od vapnenastih materijala s izrazitim karakteristikama razvijenog krša: brojni izvori i ponori, škrape, ponikve i kraška polja. Vapnenci se osim po starosti razlikuju i po sastavu i strukturi, a svrstavaju se u sekundarno propusne stijene. Razlog tome je velik broj pukotina, vrtača, jama i spilja, koje su posljedica tektonskih procesa i mehaničkog, erozivnog rada podzemnih voda. Na područjima velike zastupljenosti takovih vrsta stijena, vode koje padnu, brzo poniru u podzemlje, te se otjecanje odvija uglavnom podzemnim tokovima, a površinsko otjecanje ako i nastane, kratkog je vijeka. Među vapnenastim stijenama, iako su uglavnom jako vodopropusne, postoje i velike razlike u propusnosti, kako u horizontalnom, tako i u vertikalnom smjeru. Uz vapnence javljaju se i dolomiti na kojima se zbog njihove slabije propusnosti nalaze tereni s normalno razvijenom hidrografskom mrežom površinskog otjecanja. Kod dolomita veće propusnosti, formirani su tereni s oblicima kraške sredine. Unutar samog sliva, dolomiti između kraških polja nemaju ulogu barijere, već samo usporavaju ili usmjeruju kretanje tokova podzemnih voda unutar sliva.

Klimatološke karakteristike - Na tom području javljaju se promjenjiva zračna strujanja uvjetovana strujanjem zračnih masa s mora ili s kopna. Posljedica toga su česte izmjene vlažnih i suhih, odnosno toplih i hladnih zračnih masa. Utjecaj maritimne klime (topla i sušna ljeta, blage i vlažne zime), ograničen je planinskim masivima dinarskog pravca pružanja (sjeverozapad-jugoistok). Kraška polja u samoj kotlini Cetine izložena su pretežno kontinentalnoj klimi. Posljedica ovih utjecaja, uz razlike u visine pojedinih dijelova sliva su i izrazite razlike u rasporedu i ukupnoj količini oborina.

Hidrometeorološki podaci - Prve meteorološke postaje na širem dijelu sliva osnovane su krajem prošlog stoljeća (Livno), da bi nakon drugog svjetskog rata došlo do intenzivnog razvoja mreže meteoroloških postaja. Postaje su uglavnom koncentrirane po obodima većih kraških polja i to na visinama između 200 i 1200 m n.m. Iako su postaje po horizontalnom i vertikalnom rasporedu povoljno raspoređene, s mnogih nedostaju merni podaci ili su nepouzdani, a od 1991. godine mnoge su na privremeno okupiranom području, te su podaci nedostupni. Za potrebe razvoja modela sliva, te kalibracije i verifikacije parametara otjecanja, upotrebljeni su podaci koji na zadovoljavajući način karakteriziraju meteorološke prilike na slivu za oborine (kiše), količinu i raspored sniježnog pokrivača, temperaturu zraka i isparavanja s postaja Sinj, Vinalić, Gornji Bitelić, Čaprazlje i Crni Lug.

Kod modeliranje otjecanja kontrolni profil je bio brana akumulacije Peruča. Dotoci u akumulaciju potrebni za kalibraciju modela dobijeni su bilanciranjem iz podataka o proizvedenoj količini električne energije, zabilježenim prelevima i ispuštanjima, te na osnovu izmjerениh razina u akumulaciji preko krivulje razina/volumen akumulacije.

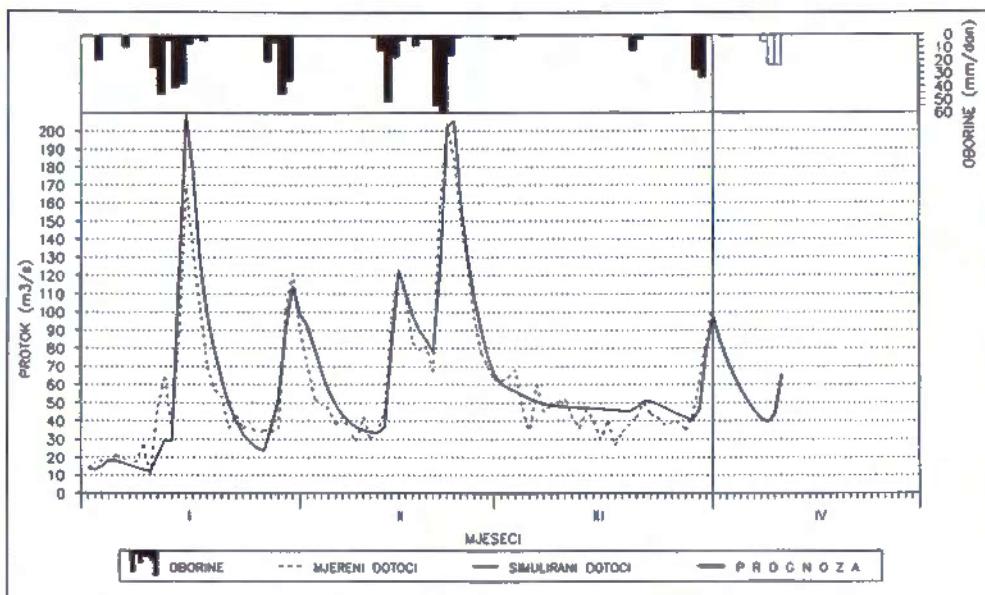
Izgrađenost - Akumulacija Peruča je prva velika akumulacija u kršu na našem području, ukupnog volumena od preko 540 hm³. Namjena velike akumulacije i hidroelektrane u gornjem toku rijeke je, uz proizvodnju električne energije i izravnanje vodnih valova. Time se od poplava štiti nizvodno područje Hrvatskog i Sinjskog polja, te stvara dragocjena rezerva vode neophodna za sustav vodoopskrbe i navodnjavanja u sušnom razdoblju. Voda iz akumulacije, osim što se energetski iskorištava na HE Peruča, koristi se i u nizvodnim hidroelektranama na Cetini (HE Đale, HE Zakučac i HE Kraljevac). Pribranska hidroelektrana Peruča je sastavni dio hidroenergetskog sustava sliva Cetine. Sagradena na rijeci Cetini 15 km sjeverozapadno od Sinja, a u redovnoj je proizvodnji je od 25.11.1960. godine. Srednja godišnja proizvodnja iznosi oko 120 GWh.

4. RAZVOJ MODELA ZA SLIV AKUMULACIJE PERUČA

Na cijelokupnom slivu rijeke Cetine postoji preko 60 kišomjernih i 5 temperaturnih postaja, te 15 vodomjernih profila. U sklopu studije: "Osnove upravljanja hidroenergetskim sistemom sliva Cetine" (Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb i Hidroprojekt, Zagreb sa suradnicima, Zagreb, 1990), za potrebe analize i kontrole podataka, izrađena je hidrometeorološka baza podataka u koju su pohranjeni svi dotad priključeni podaci. Analiza i prikaz tih podataka nalaze se u navedenoj Studiji.

Na slivu akumulacije Peruča nalazi se 16 kišomjernih postaja. Analizirajući zabilježene hidrograme na kontrolnom profilu sliva (brana akumulacije Peruča), s godišnjim hodom oborina navedenih postaja, proizlazi da je najbolja podudarnost oborina/dotoci za područje užeg dijela sliva s postaja Vinalić i Gornji Bitelić, a za šire područje, s postaja Crni Lug i Čaprazlje. Osim toga te postaje imaju dugotrajne kontinuirane nizove podataka, te su podaci s njih upotrebљeni pri izradi matematičkog modela sliva, kalibraciji i verifikaciji parametara otjecanja.

Pri razvoju modela, usvojena je ukupna slivna površina od 1250 km². Zbog visinskih razlika na slivu i rasporedu kišomjernih postaja, slivno područje je podijeljeno na dva podsliva. Analizirajući sливne površine pojedinih kišomjernih postaja (dobivene metodom izohijeta), kao i doprinos s tih postaja zabilježenim dotocima u akumulaciju, tijekom kalibracije usvojeni su slijedeći težinski koeficijenti: Čaprazlje (0,33), Crni Lug



Sl. 2 Prognoza dotoka u akumulaciju Peruća.

(0,23), Vinalić (0,21) i Gornji Bitelić (0,23). Budući da za analizirano razdoblje s tih postaja ne postoje adekvatni podaci o količini sniježnog pokrivača i sadržaju vode u njemu, temperaturi zraka i isparavanju, ti podaci su preuzeti s meteorološke postaje Sinj.

Temperaturni gradijent porastom visine usvojen je s $1,25^{\circ}\text{C}$ na svakih 100 metara, početna temperatura smrzavanja kiše s $0,0^{\circ}\text{C}$, a početna temperatura otapanja snijega s $1,0^{\circ}\text{C}$. Odnos nadmorske visine s protokom površine uzet je u odnosu: 30% površine na 330,0 m n.m., a 70% površine na 750,0 m n.m. Između tih kota, model sam vrši interpolaciju. Propagacija otjecanja odvija se preko linearnih rezervoara, te su usvojena 3 dubinska rezervoara, 2 potpovršinska i 1 površinski. Najbolji rezultati simulacija dobiveni su kod koncentracije dubinske komponente otjecanja od 360 sati, potpovršinske 48 sati, a za površinsku komponentu od 24 sata.

Vremenski period diskretizacije iznosi je 24 sata, odnosno 1 dan, budući da su i prikupljeni ulazni podaci srednje dnevne vrijednosti.

Kalibracija parametara modela - Kalibracija parametara otjecanja hidrološkog modela je veoma složen postupak, pri kome se u prvoj fazi analiziraju već zabilježeni protoci na kontrolnom profilu sliva, veličine i položaj slivnih površina, raspored meteoroloških postaja, te podaci o oborinama, rasprostranjenosti i stanju sniježnog pokrivača, temperaturi zraka i ukupnom isparavanju. Postupak kalibracije sastoji se u iterativnom određivanju početnih vrijednosti parametara, analizirajući izmjerene i rekonstruirane (simulirane) dotoke u akumulaciju. Na taj su način određeni nezavisni parametri modela, parametri koji omogućuju simulaciju odvijanja dinamičkog procesa površinskog, dubinskog i potpovršinskog otjecanja. Početne vrijednosti nezavisnih parametara odredene su na osnovu veličine, položaja i karakteristika slivnog područja, te analizom rezultata proračuna. Postupak je ponavljan

sve dok nisu postignuti zadovoljavajući rezultati pri ekstremnim vrijednostima, kao i mjesечноj i godišnjem bilanciranju.

Verifikacija parametara modela - Postupak verifikacije parametara sastoji se u simulaciji otjecanja s već kalibriranim parametrima iz predhodnog razdoblja, ali s ulaznim hidrometeorološkim podacima iz idućeg razdoblja. Ukoliko se na kontrolnom profilu sliva, nije dobilo zadovoljavajuće poklapanje izmjerenoj i simuliranoj hidrogradi, kao i ukupne bilance, postupak se vraćao na početak, odnosno na kalibraciju.

5. HIDROLOŠKO PROGNOZIRANJE

Hidrološko prognoziranje vodostaja i protoka rijeka, razina i dotoča u akumulaciju, kao i otjecanje sa slivova, rješava se u svjetu već nekoliko desetljeća i obuhvaća širok raspon dugoročnih, srednjeročnih i kratkoročnih hidroloških prognoza. Cilj operativnog ili kratkoročnog hidrološkog prognoziranja je, da se na osnovu zatečenih hidroloških uvjeta na slivu i kratkoročnih meteoroloških prognoza, osiguraju hidrološke prognoze za sliv za 4, 7 ili 10 dana unaprijed.

Uloga operativnih hidroloških prognoza je omogućavanje efikasnijeg rada hidroenergetskih objekata, uz istovremeno zadovoljenje postavljenih vodoprivrednih i vodoopskrbnih uvjeta. Uz to, kratkoročne hidrološke prognoze omogućuju točnu ocjenu stupnja opasnosti od poplava i doprinose minimalizaciji preljevnih gubitaka.

Sustavi za hidrološko prognoziranje predstavljaju cjelinu tehničkog sustava s programskim sustavom i organizacijom prikupljanja i obrade podataka. Kompleksnost sustava ovisi o izboru koncepcije hidrološkog prognoziranja, složenosti slivnog područja, veličini hidroenergetskog potencijala, te broju akumulacija i hidroelektrana na slivu.

Prognostički hidrološki model SSARR je na sadašnjem stupnju razvoja predviđen za izradu hidroloških prognoza dotoka u akumulaciju Peruća do 10 dana unaprijed. Na slici 2 je prikazan primjer hidrološkog prognoziranja.

6. ZAKLJUČAK

S namjerom približavanja prognostičkog hidrološkog modela SSARR naponrednim korisnicima na slivu, razvijen je matematički model otjecanja za slivno područje akumulacije Peruća i razradena procedura za izradu hidroloških prognoza dotoka. Pouzdanost hidroloških prognoza ovisi o stupnju kalibracije i verifikacije parametara otjecanja, kao i o točnosti meteoroloških prognoza. Osnovni princip hidrološkog prognoziranja svodi se na identifikaciju zatečenog hidrološkog stanja na slivu, te uz pomoć razvijenog hidrološkog modela i uz poznavanje meteoroloških prognoza, izradu hidroloških prognoza.

Pravilnim korištenjem i daljnjim razvojem hidrološkog prognostičkog modela SSARR, te na osnovu toga adekvatnim upravljanjem hidroenergetskim sustavom Cetine, moguće su znatne gospodarstvene koristi. Da bi se to moglo ostvariti, potrebno je kontinuirano mjerjenje, prikupljanje, arhiviranje i ažuriranje hidrometeoroloških podataka i meteoroloških prognoza. Prema američkim iskustvima, primjenom SSARR modela za prognozu dotoka, moguće je uz iste hidrološke prilike povećati proizvodnju za 0,3 do 0,5 %. Na osnovu tih iskustava, točnom prognozom dotoka samo u akumulaciju Peruća, bilo bi moguće na elektranama sliva Cetine (HE Peruća, HE Đale, HE Kraljevac i HE Zakučac), uz već izgrađena postrojenja i zaposlen stručni kadar, povećati prosječnu godišnju proizvodnju za barem 0,5 %. To znači od prosječnih blizu 2.000 GWh godišnje proizvodnje, povećanje za 10 GWh godišnje, što uz prosječnu cijenu od 10 američkih centi po KWh, iznosi 1.000.000 US \$. Dodatne koristi postigle bi se i kod vodoopskrbe i navodnjavanja, te znatno smanjila opasnost od poplava.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

Osnove upravljanja hidroenergetskim sistemom sliva Cetine.- Institut za elektroprivredu i energetiku Zagreb i Hidroprojekt Zagreb sa suradnicima, Zagreb, 1990.

BONACCI, O.: Karst Hydrology with Special Reference to the Dinaric Karst.- Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokio

NEMEC, J. (1986): Hydrological Forecasting, Design and Operation of Hydrological Forecasting System.- D. Reidel Publishing Company.

PROGRAM DESCRIPTION AND USER MANUAL FOR S S A R R MODEL (Streamflow Synthesis & Reservoir Regulation) - U.S. Army Engineer Division, North Pacific Portland, Oregon

PLANTIĆ, K. (1994): Razvoj modela za prognoziranje dotoka u akumulaciju Peruća korištenjem osobnog računala.- Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb.

Srednjopleistocenska malakofauna Glogovice kod Slavonskog Broda (Slavonija, Hrvatska)

Marija POJE¹, Zlata JURIŠIĆ-POLŠAK² & Marko ŠPARICA³

Ključne riječi: malakofauna, srednji pleistocen, pretaložena fauna, Glogovica, Slavonija

Key words: Malacofauna, Middle Pleistocene, Resedimented fauna, Glogovica, Slavonija

Sažetak

U regulacijskom kanalu Glogovice na periferiji Slavonskog Broda otkrivena je dobro sačuvana lubanja s kljovama stepskog slona vrste *Mammuthus armeniacus* (FALCONER) s bogatom srednjopleistocenskom faunom molusaka (40 determiniranih vrsta i 492 jedinke). Osim autohtone pleistocenske faune otkrivena je i bogata pretaložena donjobaden-ska fauna foraminifera (20 vrsta) i 19 vrsta tercijarnih molusaka. Starost pleistocenske faune određena je nalazom stepskog slona *Mammuthus armeniacus* (FALCONER) i šumsko-stepske tople malakozajednice, te je uvrštena u razdoblje 10-13 (^{18}O) kisikove izotopne kronologije. Prisutnost srednjopleistocenske faune na dubini od svega 4 m objašnjena je tektonskim, radikalnim pokretima i snažnim erozijskim procesima.

Abstract

In the regulation channel Glogovica on the outskirts of Slavonski Brod well preserved skull with tusks of steppe elephant *Mammuthus armeniacus* (FALCONER) and rich Middle Pleistocene mollusc fauna (40 determined species and 492 specimens) have been found. Besides autochthonous Pleistocene fauna rich resedimented Lower Badenian fauna consisting of forams (20 species) and 19 species of Tertiary molluscs have been determined. Stratigraphic position of Pleistocene fauna has been determined on the basis of findings of steppe elephant *Mammuthus armeniacus* (FALCONER) and wood-steppe warm climate malacofauna, and their age is determined as being of 10-13 ^{18}O phase of oxygen isotopic chronology. The presence of Middle Pleistocene fauna at depth as shallow as 4 m is explained by tectonic radial movements and intense erosional processes.

1. UVOD

Kvartarne naslage u okolini Slavonskog Broda taložene su na velikim površinama i imaju veliki gospodarstveni značaj. Poznavanje njihovih geoloških značajki kroz dosadašnja istraživanja samo je djelomično.

Brojni autori koji su istraživali neogenske stijene Dilj gore tek su općenito opisivali kvartarne taložine, a samo neki su se bavili njihovom problematikom. Tako je GRIMMER (1899) objavio podatke o nalazima gornjopleistocenskih sisavaca iz aluvijalnih naplavina rijeke Save. O stratigrafskoj i paleontološkoj problematici kvartara ovog područja pisao je MALEZ (1970, 1971, 1978), a ŠIMUNIĆ et al. (1973) su opisali pleistocenske i holocenske naslage na temelju podataka iz bušotina u Brodskom Posavlju.

Do sada su kvartarni sedimenti najpotpunije prikazani na Osnovnoj geološkoj karti M 1:100000, listovi Nova Kapela i Slavonski Brod (ŠPARICA et al., 1980,

1987). Izdvojeno je više genetskih cjelina pleistocenske i holocenske starosti. Međutim detaljnija stratigrafska podjela nije izvršena zbog nedostatka dobre biostratigrafske dokumentacije.

Facijesna raznolikost sedimenata, koja je bila uvjetovana klimatskim promjenama i tektonskim procesima, rezultirala je brojnim genetskim tipovima i njima pripadajućim malakozajednicama.

U području Slavonskog Broda izdvojeni su slijedeći genetski tipovi kvartarnih sedimenata (neki od njih su prikazani na sl. 1): prapor, eolski pijesak, padinske (deluvijalne) naslage, pećinski sedimenti, fosilna tla i dr. U akvatičkim prostorima taložene su: riječne, jezerske, barske, močvarne naslage, proluvijalni sedimenti i raširene semiteretičke (glinovite) naslage.

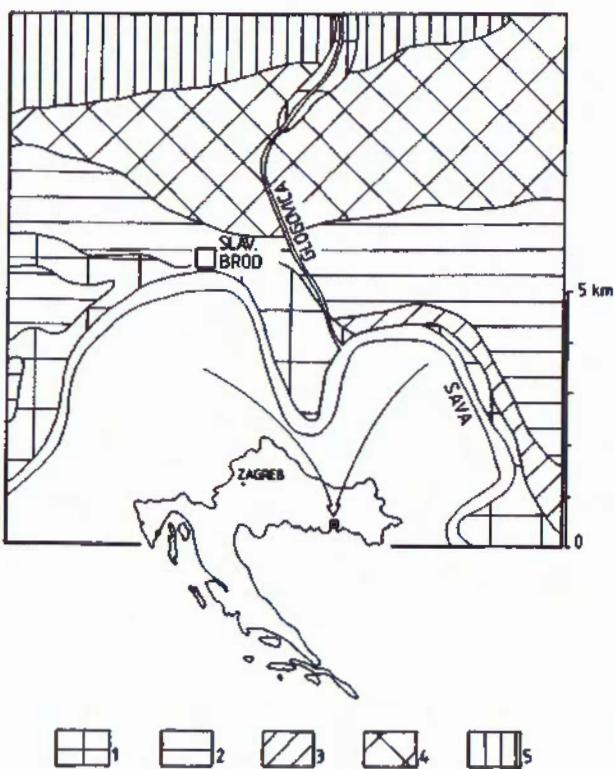
Na nekim lokalitetima ovi genetski tipovi sedimenta sadrže bogatu faunu mekušaca.

Debljina kvartarnih naslaga u Brodskom Posavlju iznosi od 60-120 m (ŠIMUNIĆ et al., 1973).

¹Zavod za paleontologiju i geologiju kvartara HAZU, A. Kovačića 5, 10000 Zagreb, Hrvatska.

²Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.

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



Sl. 1. Pregledna geološka karta okolice Slavonskog Broda. Legenda:
1 - Aluvij; 2 - Organogeno-barski sedimenti; 3 - Jezerski sedimenti; 4 - Prapor i močvarni prapor; 5 - Pliocen.

2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Prilikom izvođenja radova na regulacijskom kanalu potoka Glogovica kod Slavonskog Broda, otkrivena je u sloju zajedno s ostacima stepskog slona vrste *Mammuthus armeniacus* (FALCONER) i bogata fauna mukušaca. U profilu naslaga visine 4,30 m izmjenjuju se različiti litološki članovi, koje je opisao MALEZ (1978) navodeći:

- a) humus
- b) žuta dosta sipka zemlja, mjestimice jako zbijena i prutasta, debljine 1,10 cm,
- c) sloj pjeskovite gline, debljine 90 cm,
- d) krupnozrni pjesak, debljine 10 cm,
- e) sitnozrni šljunak, debljine 25 cm,
- f) plava masna glina, unutar koje je leća žutosmeđeg pjeska. Debljina ovog člana je preko 2,5 m i ovdje su nađeni ostaci riba, ptica, sisavaca i bogata fauna molusaka.

Pleistocenska malakofauna sadrži 40 vrsta molusaka, od toga 84% pripada kopnenoj, a 16% vodenoj fauni. Ukupno su izolirane 492 jedinke (tablica 1). Prema ekološkim karakteristikama kopnenih vrsta, fauna pripada toploj i vlažnoj razdoblju i to šumsko-stepskog okoliša. Ne može se govoriti o "velikoj šumi", već o šumarcima unutar većih travnatih, stepi sličnih predjela. Očuvanost faune je vrlo dobra, brojni primjerici "velikih" puževa su neznatno oštećeni kao npr. *Helix*

sp., *Arianta arbustorum*, *Bradybaena fruticum* i dr., što upućuje na autohtonji položaj faune. Vodene vrste su također dobro sačuvane, no njihov mali postotak u cijelokupnoj fauni govori o dopavljenom materijalu iz obližnjih akvatičnih prostora kakvih je u to vrijeme bilo mnogo u području savske, dravske i slavonsko-srijemske potoline. Vodenu faunu čine vrste stajačih ili lagano tekućih voda (močvare, bare, jezera), osim pleistocenske vrste *Unio crassus batavus* MOTON RELETT (odredba A. ŽAGAR-SAKAČ), čiji biotop su srednji i gornji tokovi rijeka. Ova vrsta je bujičnim tokom doplovljena u prostor današnjeg kanala Glogovice zajedno s bogatom malakofaunom tercijarne starosti i brojnim badenskim foraminiferama.

Prema geografskom rasprostranjenju vrsta vodena fauna je jednolična. Uglavnom je zastupljena vrstama holarktičkog, palearktičkog i evropskog rasprostranjenja. Kopnene vrste naprotiv pokazuju široki areal prostiranja. Najveći postotak pripada evropskim vrstama (22,13%), vrste vezane za šire alpsko područje zastupljene su s 11,16%, a srednjoevropske, mediteranske, južnoevropske, pontomeridionalne i dr. s 9,53%. Ovi postoci su pokazatelji "toplih" razdoblja sa znatnim udjelom vrsta (imigranata) iz južnih i istočnih krajeva. Naime, u hladnodobnim zajednicama prevladavaju sa skoro 80 i više posto vrste širokog rasprostranjenja (holarktičke, palearktičke i evropske), dok se u toplim razdobljima pojavljuje sve veći i veći broj vrsta iz raznih geografskih područja, stvarajući "lepezu" istočnoevropskih, zapadnoevropskih, mediteranskih, pontomeridionalnih i meridionalnih vrsta. Nadalje, 40 determiniranih vrsta, daljnji je pokazatelj tople klime, jer u glacijalnim i stadijalnim razdobljima njihov broj rijetko prelazi 15 vrsta.

Od determiniranih vrsta dvije imaju provodnu vrijednost i to *Aegopinella ressmanni* i *Macrogaster ventricosa* za interglacialna i interstadijalna razdoblja (Tab. I). Vrsta *Aegopinella ressmanni* ima i stratigrafsku vrijednost, provodna je za srednji pleistocen.

Relativna starost pleistocenske faune određena je nalazom stepskog slona vrste *Mammuthus armeniacus* (FALCONER) (MALEZ, 1978, LENARDIĆ, 1994). Ta se vrsta u Europi pojavila krajem glacijala Günz, a nestala početkom glacijala Riss. Evolucijski tijek bio je postupan, od primitivnih stadija s obilježjima prethodne vrste *Mammuthus meridionalis*, do visoko razvijenih, progresivnih, s obilježjima nasljedne vrste *Mammuthus primigenius* (RAKOVEC, 1954). Kojem razvojnom stupnju pripada nalaz iz Slavonskog Broda nije utvrđeno.

Malakofauna Glogovice pripada toplom i vlažnom razdoblju s provodnim vrstama za interglacialna i interstadijalna razdoblja, pa je moguća starost ginc-mindelski ili mindel-riški interglacial. Međutim nema tipičnih i brojnih vrsta provodnih za srednji pleistocen, ali ima znatan broj vrsta, koje se u velikom broju nalaze u gornjopleistocenskim prapornim naslagama Slavonije (POJE, 1986, 1988). Ističu se prije svega vrste *Arianta*

Vrste	E	Broj jedinki
<i>Aegopinella cf. ressmanni</i> (WESTERLUND)	1W!!	23
<i>Bradybaena fruticum</i> (MÜLLER)	2W(M)	11
<i>Vitrella crystallina</i> (MÜLLER)	2W(M)(+)	45
<i>Trichia striolata</i> cf. <i>suberecta</i> (CLESSIN)	2W(M)(+)	20
<i>Arianta arbustorum</i> (LINNE)	2W(M)(+)	11
<i>Macrogaster cf. ventricosa</i> (DRAPARNAUD)	3W(h) !	2
<i>Perforatella bidentata</i> (GMELIN)	3Wh(+)	4
<i>Helix</i> sp.	W	3
<i>Pupilla triplicata</i> (STUDER)	4S(+)	4
<i>Chondrula</i> cf. <i>tridens</i> (MÜLLER)	4S(+)	13
<i>Granaria frumentum</i> (DRAPARNAUD)	4S(+)	8
<i>Vertigo pygmaea</i> (DRAPARNAUD)	50	1
<i>Vallonia</i> cf. <i>costata</i> (MÜLLER)	50(W)(+)	12
<i>Vallonia</i> cf. <i>pulchella</i> (MÜLLER)	50	16
<i>Pupilla muscorum</i> (LINNE)	50+	35
<i>Orcula dolium</i> (DRAPARNAUD)	7Wf(+)	12
<i>Euconulus fulvus</i> (MÜLLER)	7M(+)	2
<i>Punctum pygmaeum</i> (DRAPARNAUD)	7M(+)	9
<i>Cochlicopa lubrica</i> (MÜLLER)	7M(+)	45
<i>Trichia hispida</i> (LINNE)	7M+	50
<i>Trichia plebeia</i> (DRAPARNAUD)	7M	7
<i>Limax</i> sp.	7M(+)	35
<i>Succinea oblonga</i> DRAPARNAUD	8H+	35
<i>Succinea putris</i> (LINNE)	9P(+)	2
<i>Physidae</i> indet.		2
<i>Clausilia</i> sp.		4
<i>Bithynia</i> cf. <i>leachi</i> (SHEPPARD)	10P(+)	5
<i>Lymnaea palustris</i> (MÜLLER)	10P(+)	7
<i>Anisus leucostomus</i> (MILLET)	10Pp(+)	1
<i>Anisus spirorbis</i> (LINNE)	10Pp	2
<i>Lymnaea truncatula</i> (MÜLLER)	10SPpp	8
<i>Lymnaea auricularia</i> (LINNE)	10S	1
<i>Gyraulus</i> cf. <i>albus</i> (MÜLLER)	10S	3
<i>Gyraulus</i> cf. <i>laevis</i> (ALDER)	10S	3
<i>Planorbis carinatus</i> (MÜLLER)	10S	1
<i>Valvata piscinalis</i> (MÜLLER)	10SF	10
<i>Physa acuta</i> DRAPARNAUD	10SF	1
<i>Lymnaea peregra</i> cf. <i>ovata</i> (DRAPARNAUD)	10S(F)	1
<i>Unio crassus batavus</i> MOTON RECLETT	10	3
<i>Pisidium</i> sp.	10	35

Tablica 1. Pleistocenska fauna molusaka.

Legenda: E - ekološki i biostratigrafski simboli (prema LOŽEK, 1964): 1-3W vrste raznih šuma; 4S vrste stepa; 50 vrste otvorenih područja; 7M vrste raznih srednjevlažnih staništa; 8H vrste ekstremno vlažnih staništa; 9P vrste voda: P-močvare, Pp-periodičke močvare, S-stajaće vode, F-tekuće vode; !! provodne interglacijalne vrste; ! vrste toplih razdoblja; (+) vrste koje lokalno dolaze u prapornim naslagama; + vrste koje pretežno dolaze u prapornim naslagama.

arbustorum i *Bradybaena fruticum* koje su indikatori završnih, a i početnih faza glacijala. U zajednici s drugim vrstama one tvore "Bradybaena" i "Arianta" faunu koje su početna i završna faza u sukcesiji glacijalnih fauna (LOŽEK, 1964). Na temelju ovih, a i drugih pokazatelja, smatra se da malakofauna zajedno s nalazom stepskog slona *Mammuthus armeniacus*, pripada završetku mindel-riškog interglacijala (Holstein) i početku glacijala Riss (Saale), te da se može uvrstiti u granice faza 10-13 (^{18}O) kisikove izotopne kronologije.

Zajedno sa zajednicom autohtonih pleistocenskih molusaka, nadjeni su brojni pretaloženi fosili iz starijih neogenskih slojeva. Oni su transportirani vodenim tokovima na što ukazuje leća žutosmeđeg pijeska u plavoj masnoj glini (sloj f), nalaz vrste *Unio crassus*

batavus, neki primjeri puževa izduženih kućica kao npr. *Cochliocopa* i dr., na kojima su izbočeni dijelovi izbrušeni čak do nivoa kolumela. Možda bi se kod nekog budućeg pažljivog uzimanja uzorka (orijentiranih) i posebnom metodom prepariranja moglo utvrditi točan smjer toka vode, donosa materijala i konačno rekonstruirati izvorišno područje.

Najstariji pretaloženi fosili su bentičke i planktonske, donjobadenske foraminifere. Bentičke foraminifere su polomljene, znatno oštećene, dok su planktonske vrste dobro očuvane. Sve foraminifere su limnitizirane (tablica 2).

Na donji panon ukazuje fragment karakterističnog fosila *Caspia (Baglivia) cf. ambigua*, dok iz pontskih naslaga potječe fragmenti limnokardida i kongerija, kao

i vrste *Pyrgula atava*, *Melanopsis cf. decollata* i *Prososthenia sepulcralis*.

Najveći broj primjeraka i vrsta potječe iz pliocena i to donjo- i srednjopaludinskih naslaga. Donjopaludinskim naslagama pripadaju vrste: *Viviparus neumayri*, *V. eburneus*, *V. ambiguus*, *Tylopoma oncophora*, *Pseudoamnicola (Sandria) kochi*, *Bithynia labiata* i *Theodoxus sycophantus*. Srednjepaludinske naslage predstavljene su vrstama: *Viviparus bifarcinatus*, *V. nothus*, *Valvata sibinensis*, *Melanopsis hastata*, *M. pterochila* i *Lithoglyphus cf. acutus decipiens* (tablica 2).

Fosili su u različitoj mjeri "izvaljani" i oštećeni. Od pretaloženih vrsta dobro su sačuvani viviparidi koji su čvrstih ljuštura, a vjerojatno su imali kraći transport nego pontski ili badenski fosili. Fragmenti limnokardida i kongerija pa i neki melanopsidi jako su zaobljeni valjanjem, pa ukazuju na veću istrošenost i dulji transport. Foraminifere i fragmenti bodljici ježinaca predstavljaju marinske faunističke elemente, dok su viviparidi, neritide i melanopsidi pripadnici brakične i slatkovodne sredine.

3. DISKUSIJA

Prema paleostruktturnim kartama šireg područja Brodske Posavine, naslage srednjeg i donjeg pleistocene pojavljuju se na dubinama od 150-200 m i dopiru do cca 50 m ispod površine terena (HERNITZ, 1983). Pojava tih naslaga u Glogovici na svega 4-5 m dubine dokaz su tektonskih, radijalnih pokreta (ŠIMUNIĆ et al., 1973; ŠPARICA et al., 1973), kao i značajnih erozijskih procesa.

Pleistocenska kopnena malakofauna je autohtona, dok je vodena fauna pretrpjela neznatan transport. Relativna starost pleistocenske faune odredena je nalazom stepskog slona i tople šumsko-stepske faune mukušaca, te je uvrštena u razdoblje 10-13 (^{18}O) kisikove izotopne kronologije.

Pretaloženi mikrofosili i makrofosili potječu iz erodiranih stijena neogenske starosti, koje izgraduju Dilj goru u neposrednom zaledu Brodske Posavine.

Autori se zahvaljuju kolegicama A. Žagar-Sakač, T. Vlahović i D. Miletić na paleontološkim odredbama.

FAUNA FORAMINIFERA

bentičke

Elphidium crispum (LINNE)

Sphaeroidina bulloides d'ORBIGNY

Melonis padanum (PERCONIG)

Amohistegina sp.

Lenticulina sp.

Cibicides sp.

Bulimina sp.

Uvigerina sp.

Brizalina sp.

planktonske

Praeorbulina glomerosa (BLOW)

Praeorbulina transitoria BLOW

Globorotalia mayeri (CUSHMAN & ELLISOR)

Globorotalia sp.

Globigerinoides trilobus (REUSS)

Globigerinoides sp.

Globoquadrina altispira (CUSHMAN & JARVIS)

Globoquadrina dehiscens (CHAPMAN, PARR & COLLINS)

Globigerina praebulloides (BLOW)

Globigerina bulloides d'ORGIBNY

Globigerina diplostoma REUSS

odredbe: T. Vlahović i D. Miletić

TERCIJARNA MALAKOFAUNA

Theodoxus (Theodoxus) sycophantus BRUSINA

Valvata (Cincinnia) sibinensis sibinensis BRUSINA

Viviparus neumayri BRUSINA

Viviparus eburneus NEUMAYR

Viviparus ambiguus NEUMAYR

Viviparus bifarcinatus bifarcinatus BIELZ

Viviparus nothus BRUSINA

Tylopoma oncophora BRUSINA

Bithynia labiata NEUMAYR

Caspia (Baglia) cf. ambigua BRUSINA

Prososthenia sepulcralis (PARTSCH)

Lithoglyphus acutus decipiens BRUSINA

Pyrgula atava BRUSINA

Pseudoamnicola (Sandria) kochi BRUSINA

Melanopsis cf. decollata (STOL.)

Melanopsis hastata NEUMAYR

Melanopsis pterochila pterochila BRUSINA

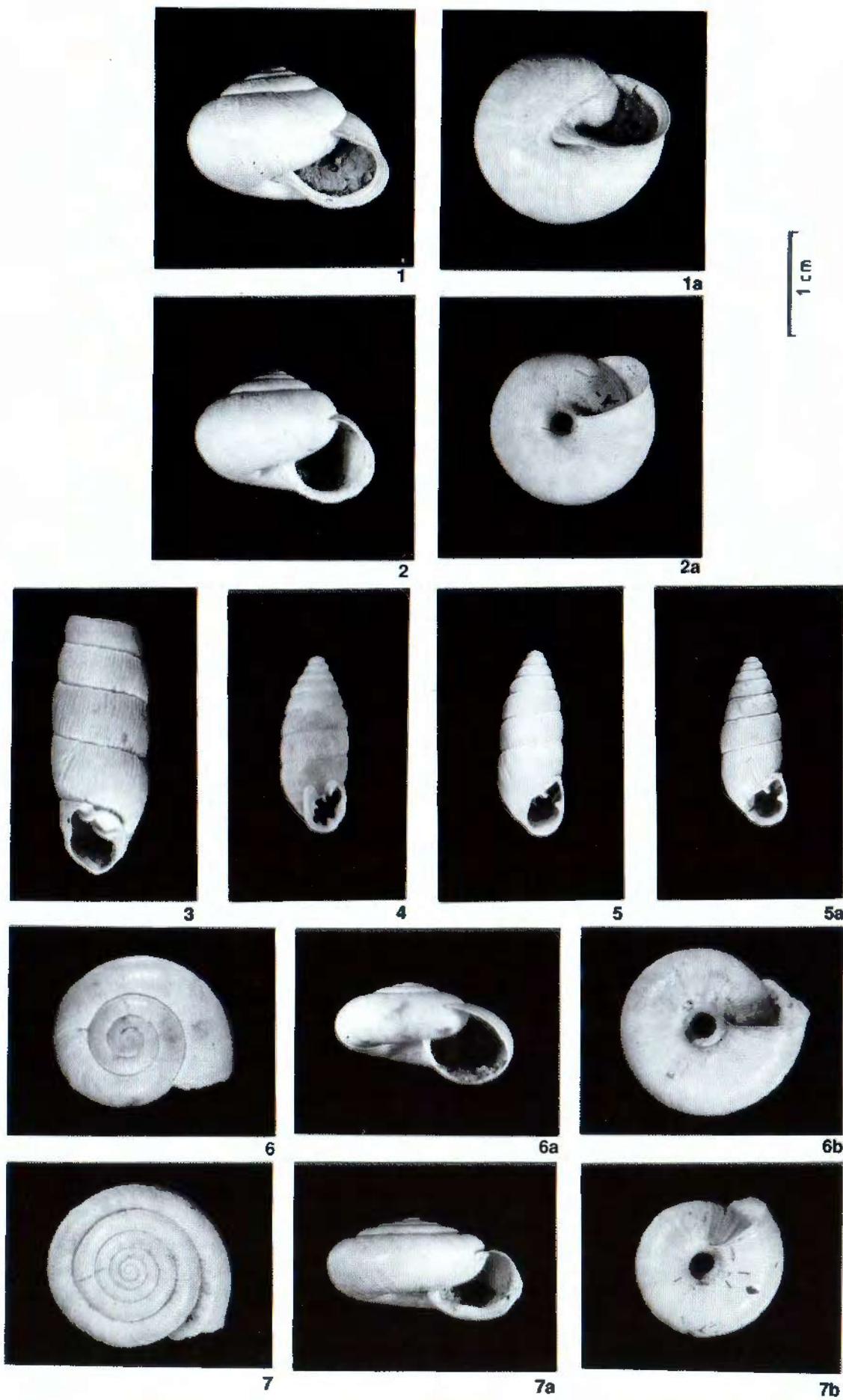
Congeria sp.

Limnocardium sp.

Tablica 2. Pretaložena fauna.

TABLA I

1, 1a.	<i>Arianta arbustorum</i> (LINNE)
2, 2a.	<i>Bradybaena fruticum</i> (MÜLLER)
3	<i>Macrogastra cf. ventricosa</i> (DRAPARNAUD)
4	<i>Granaria frumentum</i> (DRAPARNAUD)
5, 5a.	<i>Chondrula cf. tridens</i> (MÜLLER)
6, 6a, 6b	<i>Aegopinella cf. ressmanni</i> (WESTERLUND)
7, 7a, 7b	<i>Trichia hispida</i> (LINNE)



4. LITERATURA

- GRIMMER, J. (1899): Fossile Säugetierreste aus der Save.- Wiss. Mitt. Bosn.-Herz., 6, 842-850, Wien.
- HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije (disertacija).- Nafta, 1-221, Zagreb.
- LENARDIĆ, J. (1994): Description and Morphometric Analysis of the *Mammuthus armeniacus* (Falconer) skull from Slavonski Brod (Croatia).- Geol. Croat., 47, 157-166, Zagreb.
- LOŽEK, V. (1964): Quartärmollusken der Tschechoslowakei.- Rozpr. Ustr. Geol., 31, 1-374, Praha.
- MALEZ, M. (1970): Izumrli sisavci Slavonije.- Zbornik rad. I Znan. Sab. Slav. i Baranje, 101-105, Osijek.
- MALEZ, M. (1971): Kvantargeološke karakteristike Brodskog Posavlja.- Rad. Centr. org. naučn. istraž. rada u Vinkovcima, 1, 373-379, Zagreb.
- MALEZ, M. (1978): Paleontološka i kvantargeološka istraživanja u 1973. godini.- Ljetopis Jugosl. akad. znan. i umjet., 78, 559-572, Zagreb.
- POJE, M. (1986): Ekološke promjene na vukovarskom prapornom ravnjaku proteklih cca 500.000 godina.- Geol. vjesnik, 39, 19-42, Zagreb.
- POJE, M. (1988): Malakocene graničnog područja između tipičnog karbonatnog i smedeg beskarbonatnog prapora Slavonije.- Rad JAZU, 441, 169-180, Zagreb.
- RAKOVEC, I. (1954): O fosilnih slonih iz Slovenije.- Razprave Slov. akad. znan. umet., 2, 215-275, Ljubljana.
- ŠIMUNIĆ, A., ŠPARICA, M. & ŠIMUNIĆ, Al. (1973): Kvartarne naslage na području Slavonski Brod-Staro Petrovo selo.- Geol. vjesnik, 26, 73-82, Zagreb.
- ŠPARICA, M., BUZALJKO, R. & PAVELIĆ, D. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Slavonski Brod L 34-97.- Sav. geol. zavod, Beograd, 56 str.
- ŠPARICA, M., JURIŠA, M., CRNKO, J., ŠIMUNIĆ, An., JOVANOVIĆ, Č. & ŽIVANOVIĆ, D. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Nova Kapela L 33-108.- Sav. geol. zavod, Beograd, 55 str.

Dinaric Thrust Tectonics in the Southern Julian Prealps (Eastern Southern Alps, NE Italy)

Maria Eliana POLI & Adriano ZANFERRARI

Key words: Thrust tectonics, Paleogene, External Dinarides, Eastern Southern Alps, Southern Julian Prealps, NE Italy

Abstract

The fundamental tectonic framework of the Southern Julian Prealps (NE Italy) is a complex thin-skinned thrust-sheets system, mainly Paleogene in age. Thrusts are NW-SE trending, typically with staircase and duplex geometries and top-to-SW tectonic transport. The Dinaric thrust-sheet pile is now variously overprinted by different sets of structures, linked to the evolution of the Middle Miocene to Holocene thrust belt-foreland system of the Eastern Southern Alps.

1. GEOLOGICAL SETTING

The Southern Julian Prealps (SJP), easternmost part of NE Italy at the boundary to Slovenia (Fig. 1), belong to the sector of the External Dinarides located in the Middle Miocene-Holocene foreland of the W-E trending S-vergent thrust belt of the Eastern Southern Alps. The fundamental tectonic framework of SJP formed during Paleogene (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987 cum lit.), locally and weakly was reactivated and deformed in Chattian-Burdigalian times (MASSARI, 1990; CASTELLARIN et al., 1992), and more strongly deformed from Middle Miocene to Holocene (MASSARI et al., 1984; ZANFERRARI et al., 1982).



Fig. 1 - Study area.

In the SJP outcrop only cover sequences which range from Upper Triassic (Main Dolomite, Dachstein Limestone) to Middle Eocene (Cormons Fm.). In the framework of the Mesozoic paleogeography the study area belongs to the Upper Triassic-Upper Cretaceous Friuli carbonate Platform and to its Jurassic-Cretaceous slope toward the Tolmin Basin. Starting from Campanian-Maastrichtian until Early Eocene the eastern margin and slope of the Friuli platform underwent a strong synsedimentary tectonics: carbonate platform progressively drowned, its slope and Tolmin basin shifted towards SW. The subsiding areas were filled by thick mixed carbonate-siliciclastic turbidites, characterized by carbonate megabreccias and mixed megabeds. During Lutetian in SJP (and eastern Friuli Plain) ended the filling stage of the basin sutured by mostly siliciclastic deltaic deposits, i.e. the upper part of the Cormons Fm. (TUNIS & VENTURINI, 1992 cum lit.).

2. TECTONIC FRAMEWORK

PREVIOUS KNOWLEDGE

According to the previous knowledge the SJP are considered a weakly deformed and shortened region (CAROBENE & CARULLI, 1981; CAROBENE et al., 1981; BIGI et al., 1990; MASSARI, 1990 cum lit.; CASTELLARIN et al., 1992 cum lit. and many others), contrary to the adjoining strongly deformed W-Slovenia (MLAKAR, 1969; PLACER, 1973, 1982) and E-Dolomites (DOGLIONI, 1987; DOGLIONI & BOSELLINI, 1987), which show a typical thrust tectonics with a severe shortening. Moreover, because of the relationships with the Neogene-Quaternary thrust belt of the Eastern Southern Alps a Paleogene age for the main compressive phase in the SJP is commonly accepted.

Tunis and Venturini (TUNIS & VENTURINI, 1992 cum lit.; VENTURINI & TUNIS, 1989, 1992) disagree with this tectonic frame: they doubt the existence of Paleogene Dinaric thrusts not only in SJP but also in W-Slovenia. In their opinion the basic tectonic framework of SJP and W-Slovenia is linked to a Neogene-

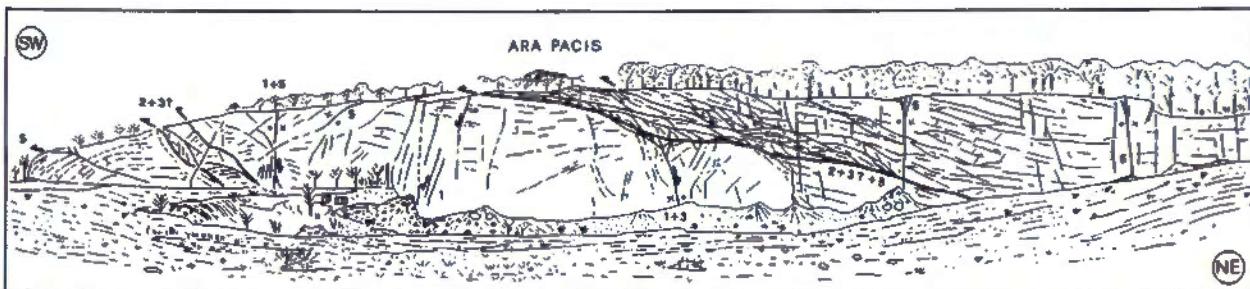


Fig. 2 - Present deformation style in SJP. Numbers refer to the five phases described in text: note constant and widespread reactivation of inherited structures proved by different sets of kinematic indicators. Thin N140°-striking SW-vergent Dinaric thrusts sheets form the basic tectonic framework; thrusts (2 + 3? ± 5) displace previous N130° normal faults (1 + 3 + 5) and are cut across by Neopalpine dextral or sinistral strike-slip faults (5). On the left one of the small WSW-ENE-striking S-vergent Neopalpine thrusts (5), accomodating contraction at the termination of a NNE-SSW sinistral strike-slip fault in Medea hill. Senonian limestones in a broad quarry of M. di Medea/Gorizia; section is 400 m long; redrawn from photos.

Quaternary (or Middle Eocene pp. to Quaternary) transpressive tectonics, mainly acting along dextral NW-SE trending strike-slip faults.

NEW FIELD RESEARCHES AND STRUCTURAL ANALYSIS

To solve the problem of the discrepancy in tectonic style between SJP and the surrounding areas and to test the congruence of the TUNIS & VENTURINI model with the field data, in 1993 we started to revise the tectonics of SJP, through detailed geological mapping and structural analysis in test-areas and along transects.

We have systematically measured: bedding planes; folds; extension and shear fractures; normal, reverse and strike-slip faults; low-angle detachments and brittle shear zones; fracture cleavages and stylolitic foliations. Kinematics indicators on fault planes, as fault grooves and striae, calcite fibre steps, stylolites, slickolites and slickolite striae, have been measured to define the direction and the sense of displacement of the thrust sheets.

The different structures have been grouped in structural associations on the basis of the observed structural relationships, of their coherence within a certain kinematic context, of their geometrical features, of the style and quantity of deformation.

3. DINARIC THRUST TECTONICS OF THE SJP AND THEIR LATE CRETACEOUS-HOLOCENE TECTONIC EVOLUTION: FIRST RESULTS

On the basis of the collected data (POLI, 1994, 1995; POLI & ZANFERRARI unpubl. data) the features of the main shortening phase of SJP (i.e. the Paleogene Dinaric or Mesoalpine phase) and the relationships between the Dinaric framework and the subsequent Neopalpine (i.e. Chattian to Holocene) tectonics begins to be outlined. Consequently it arises a complex deformational history, ranging from Campanian-Maastrichtian to Holocene.

1. Late Cretaceous extension tectonics: progressive drowning and towards SW shifting of the margin of the Friuli Platform

In the carbonate sequences of the Friuli Platform outcropping in SJP this phase has produced mainly N130°-striking listric normal faults and related vertical extension fractures and en échelon gash fractures; there are also NNE-SSW striking normal faults. Near the normal faults the Upper Senonian limestones are often cut across by neptunian veins filled by red micrite; on the sanked blocks there are masses of coarse-grained carbonate breccias with clasts bounded by Scaglia Rossa-like marls.

In our opinion the kinematics and the geodynamic meaning of this tectonics are still to define correctly. According to TUNIS & VENTURINI it represents a transtensive event, that created pull apart basins filled by turbiditic sequences from Maastrichtian until Early Eocene.

2. Paleogene (mainly Middle-Late Eocene?) NE-SW compression (= main Dinaric = Mesoalpine phase): thin-skinned thrust tectonics forming a broad NW-SE-trending SW-vergent thrust belt

Thrust faults and related structures are widespread everywhere in SJP from the meso- to the macroscale, strongly involving all the outcropping stratigraphic units (Late Triassic to Middle Eocene). Thrusts are mostly NW-SE striking but can range from WSW-ENE to NNW-SSE; staircase trajectory, oblique and lateral ramps have typically developed. NW-SE frontal ramps and NNE-SSW lateral ramps often have inverted inherited Mesozoic normal fault. All kinematic indicators prove a general tectonic transport top-to-SW.

Along the thrust faults plurimetric shear zones have developed, on which there are shear microlithons, s/c structures and duplexes (Fig. 2, from POLI, 1995). Within thin-bedded arenitic-marly turbiditic sequences the deformation has propagated mostly along bedding planes and low-angle shear planes. Within thick-bedded or massive Cretaceous neritic limestones and within

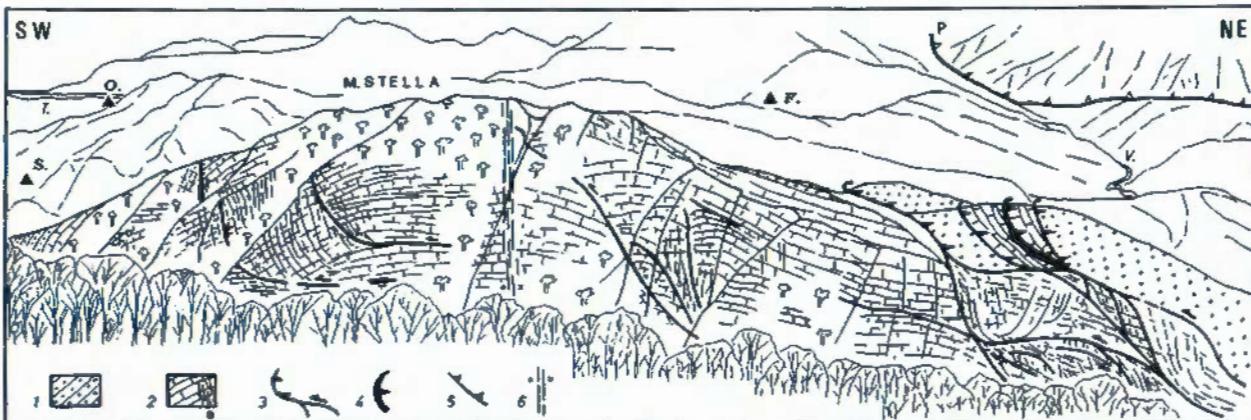


Fig. 3 - Tectonic sketch of right slope of Torre Valley in the Bernadia Mts. from top of Mt. Carnizza. The natural section, approx. 2.5 km long, shows the Dinaric tectonic framework of SJP; note the severe shortening of this part of Friuli carbonate Platform. NW-SE-striking SW-vergent thrusts display ramp-flat and duplex geometries both in Cretaceous limestones and in mainly Lower Eocene turbiditic sequences. Top on the right the E-W-trending S-vergent Periadriatic thrust, present front of the Middle Miocene-Holocene thrust belt of Eastern Southern Alps. In this part of the Southalpine foreland the present N-S-deformation is acting mainly through sets of dextral and sinistral strike-slip faults and local reactivation of Dinaric thrusts (see text). Legend: 1 - flysch sequences; 2 - neritic limestones (a - affected by intense fracture and/or stylolitic foliations); 3 - Dinaric thrusts; 4 - Dinaric brittle shear zone; 5 - Periadriatic thrust (P); 6 - set of dextral strike-slip faults; O - Osoppo; S. - Sammardenchia; F. - Flaipano; T. - Tagliamento River; V. - Vedronza Stream (redrawn from photos).

calcareous and calcirudites of the turbiditic sequences ramps have formed, sometimes also steeply inclined; in this cases strong stylolitic foliation and/or fracture cleavage have accommodated the displacement of the thrust sheet.

Deformation happened in the brittle regime, forming brittle shear zones in all the lithologic units; detachments have prevailed in the thin-bedded sequences. Cataclastic flow and pressure solution are the dominant deformational mechanisms in the carbonatic rocks.

Duplex geometries from meso- to macroscale represent one of the most significant features of the Dinaric framework of SJP (POLI, 1994), proving a more severe shortening than supposed. Therefore the crustal shortening of SJP is consistent with that of W-Slovenia and E-Dolomites. For example, revisiting with techniques of structural analysis and detailed geological mapping the classic section of M. Bernadia, based on the Bernadia-1 well (MARTINIS, 1966), a much more complex tectonic fabric springs (Fig. 3). Finally, preliminary data seem to indicate that the thrust sheets of SJP little extend along strike, laterally overlapping one to other along oblique and lateral ramps.

3. Chattian-Burdigalian NE-SW compression (= beginning of Neoalpine = Insubric phase): strike-slip tectonics and probably, local reactivation of Dinaric thrusts

In SJP it can be observed two sets of conjugate strike-slip faults (respectively N20° dextral and N60°+80° sinistral), bisected by a set of subvertical extension fractures, N40°±50° striking. The structural relationships between these systems and the structures of the main Dinaric phase and those of the main Neoalpine phase collocate this event between the aforementioned phases. Therefore this event corresponds to the Chat-

tian-Burdigalian phase, in agreement with MASSARI (1990), CASTELLARIN et al. (1992) and others. On the basis of seismic reflection lines (AMATO et al., 1976) these authors state a weak reactivation of the external thrusts, at present buried in the eastern Friuli Plain. Because of the lacking of post-Lutetian rocks in the SJP, we cannot confirm this statement, that in any case we consider as probable.

4. NW-SE compression (= evolution of Neoalpine phase): scanty effects of strike-slip tectonics

Scarce, dextral N80°-striking and sinistral N160°-striking strike-slip faults, accompanied by subvertical extension fractures N135°-striking, have been locally measured, mostly in the carbonate sequences. This structural association weakly displaces the Dinaric thrust system and is weakly and locally cut off by the Southalpine one. Relationships between the faults of the third and the fourth group have not been observed. Lacking a sufficient quantity of data we hypothesize that these structures can be referred to a stage of the main Neoalpine phase of the Eastern Southern Alps (5th event), maybe to a Late Miocene-?Early Pliocene stage (CASTELLARIN et al., 1992).

5. Approx. N-S compression (= main Neoalpine phase of Eastern Southern Alps): strike-slip tectonics in the foreland of the Eastern Southalpine thrust belt and weak deformation of inherited Dinaric structures

On the Dinaric thrust belt, weakly deformed by the structures of 3rd and 4th structural associations, the main Neoalpine deformation is propagating. The approx. N-S compression, which forms the E-W-trending S-vergent thrust belt of the Eastern Southern Alps, is

both producing new structures in the foreland (= SJP and Friuli Plain) and reactivating pre-existing ones.

The most widespread structures (both new and reactivated) are conjugate systems of strike-slip faults (respectively sinistral NNE-SSW- to NE-SW-striking and dextral NNW-SSE- to NW-SE-trending) and related N-S-striking vertical tension fractures. Along these faults strike-slip duplexes often develop, accomodating deformation at bends and stepovers. Therefore zones of either contractional or extensional deformation form. Gentle folding of the previous tectonic framework, weak detachments and reactivations of inherited Dinaric thrust faults with NNW-SSE to N-S slip vectors are typical Neoalpine structures in the foreland. A good example is shown by the present tectonic fabric of the carbonatic hill of M. di Medea (in the easternmost Friuli Plain near Gorizia), which is located at the termination of a NNE-SSW sinistral strike-slip fault: on the western block (i.e. Medea hill) contraction is accomodating by an imbricate fan of small WSW-ENE-striking S-vergent thrusts and detachments, together with gentle folding (POLI, 1995).

3. CONCLUDING REMARKS

1. The tectonic framework of SJP is the result of a long and complex tectonic history: only in Senonian-Holocene times the SJP underwent five deformations at least.
2. The main Dinaric compressive event (Paleogene in age) has generated the SJP fundamental tectonic framework, i.e. a thin-skinned SW-vergent thrust-sheets system. A typical feature of the NW-SE trending thrust belt is the abundance of duplexes, locally evolved to antiformal stacks and foreland dipping duplexes.
3. This structural style suggests that the crustal shortening in SJP must be much more intense than previously hypothesized, i.e. of the same range of that in W-Slovenia and E-Dolomites.
4. The Dinaric thrust belt of the SJP at present belongs to the foreland of the W-E striking S-vergent thrust belt of the Eastern Southern Alps, Middle Miocene to Holocene in age. Consequently, it is now overprinted by a N-S deformation and displays different effects of a complex strike-slip tectonics.
5. The observed structural relationships, together with the well-known stratigraphical evidence, prove the independence of timing between the Dinaric thrust belt and the Southalpine one.

REFERENCES

- BIGI, G., CASTELLARIN, A., COLI, M., DAL PIAZ, G.V. & VAI, G.B. (1990): Structural model of Italy, Sh. 2. Scale 1:500,000.- C.N.R. Quaderni Ric. scient., 114.
- CARBENE, L. & CARULLI, G.B. (1981): Foglio 26 Tolmino.- In: CASTELLARIN, A. (ed.): Carta tectonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200,000. C.N.R. P.F. Geodinamica, pubbl. 441, 14-18.
- CARBENE, L., CARULLI, G.B. & VAIA, F. (1981): Foglio 25 Udine.- In: CASTELLARIN, A. (ed.): Carta tectonica delle Alpi Meridionali alla scala 1:200,000. C.N.R. P.F. Geodinamica, pubbl. 441, 39-45.
- CASTELLARIN, A., CANTELLI, L., FESCE, A.M., MERCIER, J.L., PICOTTI, V., PINI, G.A., PROSSER, G. & SELLI, L. (1992): Alpine compressional tectonics in the Southern Alps. Relationships with the N-Appenines.- Annales Tectonicae, 6, 62-94.
- DOGLIONI, C. (1987): Tectonics of the Dolomites (Southern Alps, Northern Italy).- J.Struct.Geo., 9, 181-193.
- DOGLIONI, C. & BOSELLINI, A. (1987): Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps.- GeoL. Rundsch., 76, 735-754.
- MARTINIS, B. (1966): Prove di ampi sovrascorimenti nelle Prealpi friulane e venete.- Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova, 25, 33 p.
- MASSARI, F. (1990): The foredeeps of the northern Adriatic margin: evidence of diachroneity in deformation of the Southern Alps.- Riv. It. Paleont. Strat., 96, 351-380.
- MASSARI, F., GRANDESSO, P., STEFANI, C. & ZANFERRARI, A. (1984): The Oligo-Miocene molasse of the Veneto-Friuli region, Southern Alps.- Giorn. Geol., 48, 235-255.
- MLAKAR, I. (1969): Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja (Nappe structure of the Idrija-Žiri region).- Geologija, 12, 5-72.
- PLACER, L. (1973): Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko žirovskega ozemlja (Reconstruction of the nappe structure of the Idrija-Žiri region).- Geologija, 16, 317-334.
- POLI, M.E. (1994): Evidenze di tettonica a thrust dinarica nelle Prealpi Giulie Meridionali (Italia Nord-orientale).- Atti Ticinesi Sci. Terra, ser. spec., 3 (1995), 99-114.
- POLI, M.E. (1995): Analisi strutturale del Monte di Medea (Friuli Orientale - Gorizia).- Atti Ticinesi Sci. Terra, ser. spec., 4 (in print).
- TUNIS, G. & VENTURINI, S. (1992): Evolution of the Southern Margin of the Julian Basin with Emphasis on the Megabeds and Turbidites Sequence of the Southern Julian Prealps (NE Italy).- Geologia Croatica, 45, 127-150.
- VENTURINI, S. & TUNIS, G. (1989): Nuovi dati ed interpretazioni sulla tettonica del settore meridionale delle Prealpi Giulie e della regione al confine tra Italia e Jugoslavia.- Gortania, 10, 5-34.
- VENTURINI, S. & TUNIS, G. (1992): Nuovi dati stratigrafici, paleoambientali e tettonici sul Flysch di Cormons (Friuli Orientale).- Gortania, 13, 5-30.
- ZANFERRARI, A., BOLLETTINARI, G., CAROBENE, L., CARTON, A., CARULLI, G.B., CASTALDINI, D., CAVALLIN, A., PANIZZA, M., PELLEGRENI, G.B., PIANETTI, F. & SAURO, U. (1982): Evoluzione neotettonica dell'Italia nord-orientale.- Mem. Sci. Geol., 35, 355-376.



Hidrogeološki odnosi u vodonosniku uz riječni tok nakon dugotrajne eksploatacije i postupka deferizacije

Zlatko POLLAK

Ključne riječi: hidrogeologija, vodonosnik, riječni tok, eksploatacija, deferizacija

Key words: Hydrogeology, Aquifer, River, Groundwater withdrawal, Purification

Sažetak

Hidrogeološki odnosi su u kvartarnim naslagama veoma različiti, zbog heterogenog sastava naslaga u horizontalnom i vertikalnom smislu. Posebno su dinamični odnosi u vodonosniku koji je u direktnoj vezi s površinskim tokom rijeke. Tijekom više od 15 godina izučavani su hidrogeološki odnosi na jednom od crpilišta podzemne vode grada Karlovca - Gazi. Crpilište Gaza locirano je neposredno uz površinski tok rijeke Korane. Primarni litološki sastav kaptiranog vodonosnika te neposredne krovine i podine uvjetovao je ne samo različitu mogućnost i način zahvaćanja podzemne vode, nego i različite geohidrauličke parametre, pa i kakvoću podzemne vode. Na relativno malom prostoru prisutna je podzemna voda sa zadovoljavajućom kakvoćom, kao i podzemna voda koja se prije korištenja mora kondicionirati, zbog prekomjerne količine željeza, mangana i H_2S .

Desetogodišnjom eksploatacijom i primjenom odstranjanja željeza u samom vodonosniku izvršene su gotovo trajne promjene u vodonosniku i njegovoj neposrednoj krovini i podini, što je rezultiralo i promjenom kakvoće podzemne vode.

Abstract

Hydrogeological properties of Quaternary sediments are very often strongly different, due to their heterogeneity in the horizontal as well as in the vertical sense. Especially dynamic interaction can be found in an aquifer which is in direct contact with a stream. Hydrogeological conditions of water plant - Gaza in Karlovac were studied within a period of 15 years. Water plant Gaza is situated very close to the river Korana. Lithological constituents of the aquifer as well as its overlying and underlying formations have caused not only the different manner of tapping of ground water but also difference in its geohydrological and geohydrochemical parameters. So, in the relatively small area is present ground water of satisfying quality as well as the ground water that has to be purified because of too much iron, manganese and H_2S .

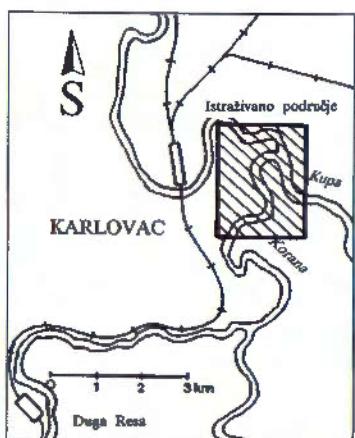
Ground water withdrawal applying Vyredox method of purification of ground water is going on more than 10 years at water plant Gaza. Continuous treatment of ground water results in permanent exchange of quality of ground water.

UVOD

Vodoopskrba u sjevernom dijelu Republike Hrvatske se uglavnom rješava na račun podzemnih voda. Većim dijelom kaptirani su vodonosnici kvartarne starosti, koji su u neposrednom kontaktu s površinskim tokom rijeka. Takav je slučaj i s gradom Karlovcom gdje se, zbog relativno malih količina podzemne vode koje su se mogle crpititi iz dolomita (Borlin), počelo s vodoistražnim radovima duž riječnih dolina. Rezultati istražnih radova su pokazali da Karlovac, iako grad na četiri rijeke, vodoopskrbni problem može riješiti jedino vodozahvatnim bušenim zdencima kojima će se kaptirati riječne naslage rijeke Korane. Na svim se crpilištima - Mekušje, Švarče, Brzice i Gaza obnavljanje podzemne vode vrši gotovo isključivo iz površinskog toka rijeke Korane. Bez obzira na relativnu blizinu površinskom toku podzemna voda nema identičan sas-

tav vodi rijeke Korane niti u hidrokemijskom, a niti u mikrobiološkom pogledu. Vrijeme kontakta fluida s krutim dijelom vodonosnika bilo je dovoljno da se na jednom dijelu crpilišta Gaze kvaliteta podzemne vode tako drastično promijeni da je potrebno podzemnu vodu prije korištenja kondicionirati.

Kondicioniranje podzemne vode provodi se u samom vodonosniku adaptiranim Vyredox metodom, metodom koja je tada prvi puta primijenjena u našoj zemlji. Crpilište je, uz prekide zbog ratnih operacija, u funkciji od 1983. god. Za čitavo vrijeme eksploatacije vrše se sistematska praćenja izdašnosti pojedinih zdenaca, razine podzemne vode, vodostaja Korane, a posebno se analizira kvaliteta podzemne vode s kemijskog i mikrobiološkog aspekta. Zbog specifičnih hidrogeoloških odnosa dodatno se prate hidrotermalni odnosi u podzemlju, količine slobodnog O_2 i CO_2 te povremeno prisutnost bakterija koje immobiliziraju metale (MIB).



Sl. 1. Situacija istraživanog područja.

HIDROGEOLOŠKI ODNOŠI

Karlovačka crpilišta Gaze nalaze se kod ušća Korane u Kupu (sl. 1). Maksimalna debljina kvartarnog pokrova na istraživanom području ne prelazi 20 m. Vodozahvatnim zdencima kaptiran je relativno tanak vodonosnik u neposrednoj blizini površinskog toka rijeke Korane. Vodonosnik tvore pjeskoviti šljunci čija se debljina kreće između 2 i 7 m, koji se istanjuju prema Kupi. Srednja vrijednost hidrauličke provodljivosti za taj vodonosnik je $k = 5 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$. Na slici 2 se daje karta transmisivnosti istraživanog i kaptiranog vodonosnika. Eksploatacionali zdenci locirani su uglavnom u prostoru maksimalnih vrijednosti transmisivnosti. Krovinu vodonosnika tvore praktično vodonepropusne prašinaste gline ($k < 1 \times 10^{-7} \text{ ms}^{-1}$), dok se u podini nalaze slabo vodopropusni prašinasti pijesci ($1 \times 10^{-7} < k < 1 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$). Stanje vodonosnika - sa slobodnom ili podzemnom vodom pod pritiskom - ovisi o intezitetu eksploatacije kao i o vodostaju Korane i Kupe. Za ekstremno visokih vodostaja crpilište može biti kraće vrijeme i poplavljeno, pa su u skladu s time i uredena ušća vodozahvatnih objekata. Specifična izdašnost na pojedinim zdencima se u vrijeme testiranja krećala između $q = 7,7 \text{ do } 30,0 \text{ l/s/m}$. Prognozni kapacitet crpilišta određen je matematičkim modelom, a dobivene vrijednosti su valorizirane u praksi.

Obnavljanje rezervi podzemne vode vrši se praktično isključivo na račun površinskih tokova; proračun je pokazao da se oborinama godišnje maksimalno može obnoviti samo 1% od ukupno eksploatiranih količina. Dobra hidraulička povezanost vodonosnika s rijekom Koranom (sl. 3) omogućila je artificijelno prihranjivanje kaptiranog vodonosnika. Nakon izvedbe manje pregrade - brane (u cilju povišenja od 2 m iznad niskog vodostaja) u dijelu korita rijeke Korane ostvareni su praktično stalni srednji vodostaji u prostoru crpilišta, tako da je izdašnost gotovo dvostruko veća nego što se moglo postići za niskih vostaja Korane - kada brana nije postojala.

Na crpilištu Gaza I obavlja se eksploatacija na sedam zdenaca pojedinačnog kapaciteta 11 do 45 l/s koji-ma se ukupno može ostvariti izdašnost od 215 l/s. Na

Gazi II u eksploataciji je šest zdenaca pojedinačnog kapaciteta 20-50 l/s, odnosno može se ukupno crpiti 200 l/s podzemne vode.

Dugogodišnja su opažanja pokazala da hidrotermalni odnosi u podzemlju nisu stabilni. Prosječna temperatura podzemne vode u Karlovcu je oko 12°C , no na ovome se crpilištu, ovisno o godišnjem dobu, temperatura kreće između 8 i 23°C . Kartom hidroizotermi na dan 14. 9. 1990. godine dan primjer stanja u podzemlju (sl. 2). Zbog dinamičkih hidrotermalnih odnosa u podzemlju neki se osnovni geohidraulički parametri (hidraulička provodljivost, transmisivnost) ne mogu kao obično smatrati konstantama. Registrirane razlike u temperaturi uzrokuju značajnu promjenu viskoziteta fluida, i više od 30%, što direktno utječe na geohidrauličke parametre vodonosnika, pa i na količine koje se mogu ostvariti crpljenjem.

GEOHIDROKEMIJSKI ODNOŠI

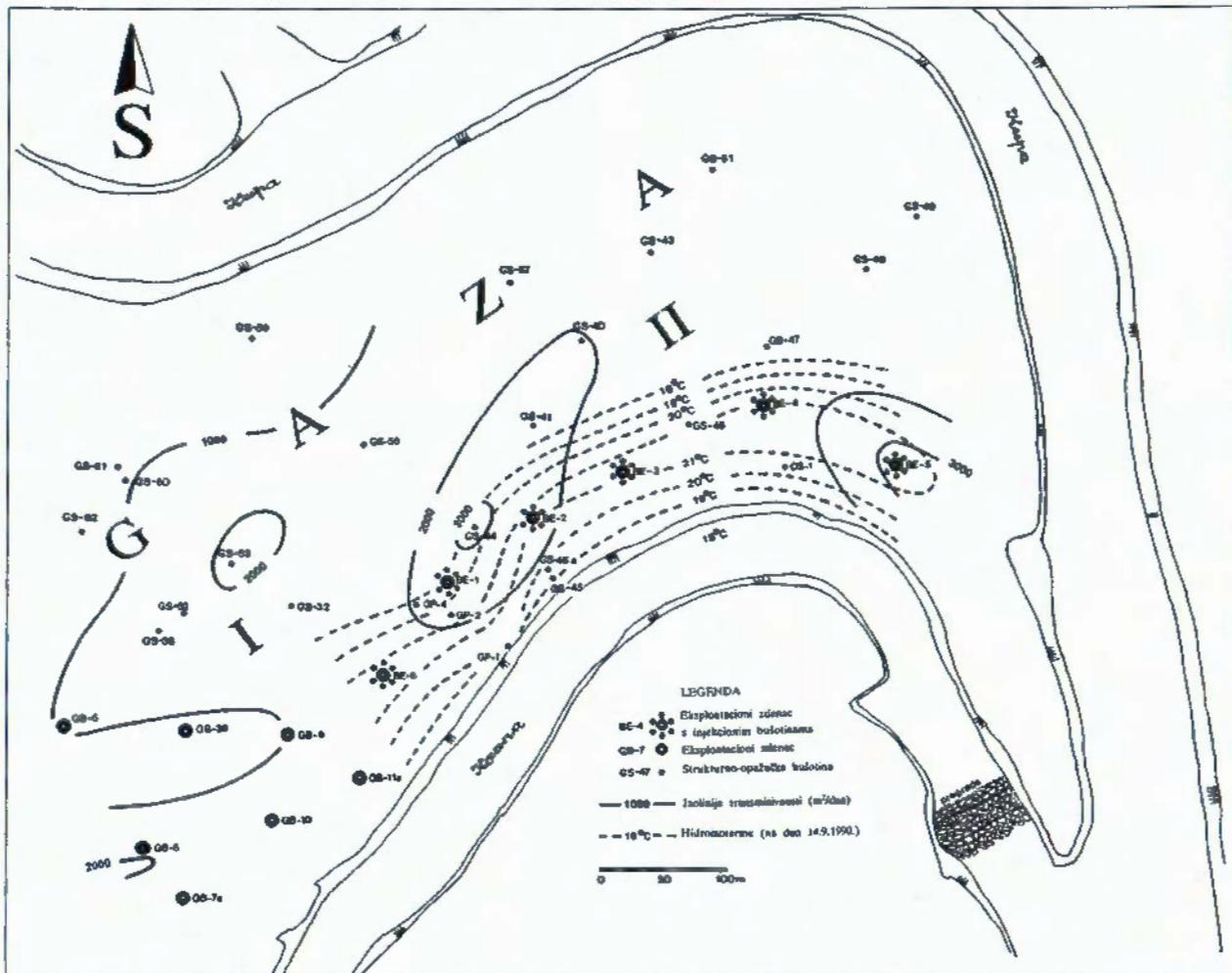
Pouzdani podaci o kemijskom i mikrobiološkom sastavu dobiveni su nakon izvedbe i osnovnih testiranja eksploatacionalih zdenaca. Organizacija za distribuciju vode u skladu s važećom zakonskom regulativom prati kakvoču crpljenje podzemne vode.

Sama kakvoča i kemijski sastav podzemnih voda uvjetovan je (POLLAK & MARUŠIĆ, 1994):

- mineraloško-petrografskim obilježjima vodonosnika i njegove neposredne podine i krovine
- općim hidrogeološkim odnosima, uključujući hidroermalne odnose
- kemijskim procesima
- aktivnošću bakterija u vodonosniku i njegovoj neposrednoj krovini i podini.

Dio Gažanskog polja, nazvan Gaza I, gdje su prisutne podzemne vode sa željezom u tragovima. Podzemna voda crpilišta Gaze II opterećena je željezom, manganom i H_2S -om, pa se prije korištenja mora kondicionirati. Prilikom istražnih radova na području Gaze II utvrđeno je da na pojedinim lokalitetima (GS-43) količina željeza u podzemnoj vodi prelazi 16 mg/l . Ostali parametri kemijskog sastava podzemnih voda kreću se u okviru očekivanih vrijednosti za takvu hidrogeološku sredinu, te se mogu svrstati u kalcijsko-magnizijsko hidrokarbonatne vode.

Treba medutim napomenuti da se 1990. god. započelo s posebnim prikupljanjem i analizama autohtonog mikrobiološkog sadržaja podzemnih voda. Utvrđena je prisutnost raznih rodova bakterija koje imobiliziraju metale (MIB) od kojih su najčešći rodovi: *Leptothrix*, *Galonella* i *Siderocapsa* (POLLAK & MARUŠIĆ, 1994). Ove su bakterije prisutne u vodonosniku Gaza I, gdje se ne vrši deferizacija kao i na prostoru Gaza II, gdje se vrši kondicioniranje podzemne vode u samom vodonosniku.



Sl. 2. Karta transmisivnosti i hidroizotermi crpilišta Gaza.

KONDICIONIRANJE PODZEMNE VODE

S kontinuiranom eksploatacijom kondicionirane podzemne vode na crpilištu Gaze II započelo se 1983. Podzemna voda prekomjerno opterećena željezom, manganom i sumporovodikom kondicionira se u samom vodonosniku i to metodom Vyredox (POLLAK & MARTINELL, 1985). Prilikom testiranja 1978. i tijekom eksploatacije 1993. god. odredene su količine željeza na pojedinim zdencima crpilišta Gaza II (tablica 1).

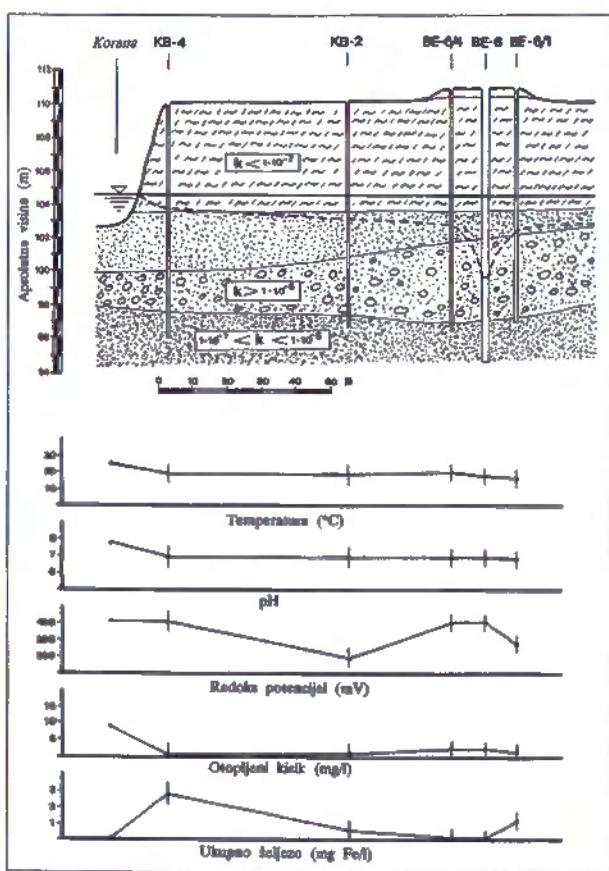
Željezo je u podzemnoj vodi prisutno u dvovalentnoj i trovalentnoj formi (kao fero i feri ion). Osnovni razlozi stanja željeza ovise o pH vrijednostima te o redox potencijalu (Eh) vodonosnika i neposrednog okoliša. Praktična su mjerena pokazala da se pri redox potencijalu manjem od +230 mV pojavljuje željezo u podzemnoj vodi.

Od mnogih bakterija koje mogu immobilizirati metale (MIB) za istraživanu hidrogeološku sredinu područja Gaze najznačajnije su bakterije rodova *Gallionella* i *Leptothrix*. Ove bakterije za svoj metabolizam i proliferiranje koriste energiju koja se osloboda prilikom provedbe željeza iz fero u feri stanje, te u značajnoj mjeri pridonose deferizaciji podzemne vode.

U cilju inteziviranja oksidacijskih procesa, bez obzira na to radi li se o čisto kemijskim ili biokemijskim procesima, pri kondicioniranju podzemnih voda u samom vodonosniku utiskuje se u vodonosnik voda obogaćena kisikom. To je na crpilištu Gaza II ostvareno preko šest injekcionih zdenaca manjih dijametara, koji se nalaze na udaljenosti od 10 m od eksploatacijskog zdenca (sl. 2, 3 i 4). Za postupak injektiranja korištena je ista voda koja se na tom lokalitetu i eksplorira. U pripremnoj fazi razrade crpilišta svakodnevno je praćena količina željeza na svim zdencima. Svaki eksploatacionali i njemu pripadajući injekcioni zdenac ima svoj

Oznaka zdenca	Količina željeza (mg/l)	
	1978.	1993.
BE-1	8,6	0,00
BE-2	5,4	0,00
BE-3	13,6	0,007
BE-4	9,0	0,00
BE-5	10,1	0,007
BE-6	5,8	0,015

Tablica 1 Količine željeza na pojedinim zdencima crpilišta Gaza II prilikom testiranja 1978. i tijekom eksploatacije 1993. god.

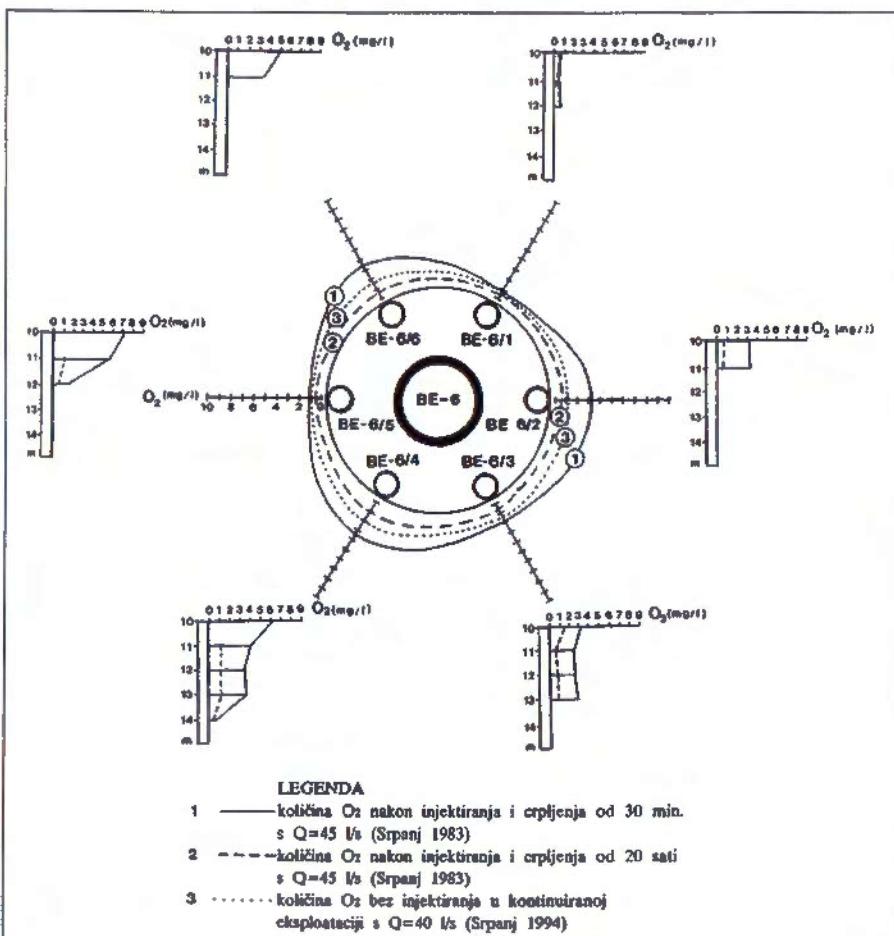


Sl. 3. Geohidrokemijski profil Gaze.

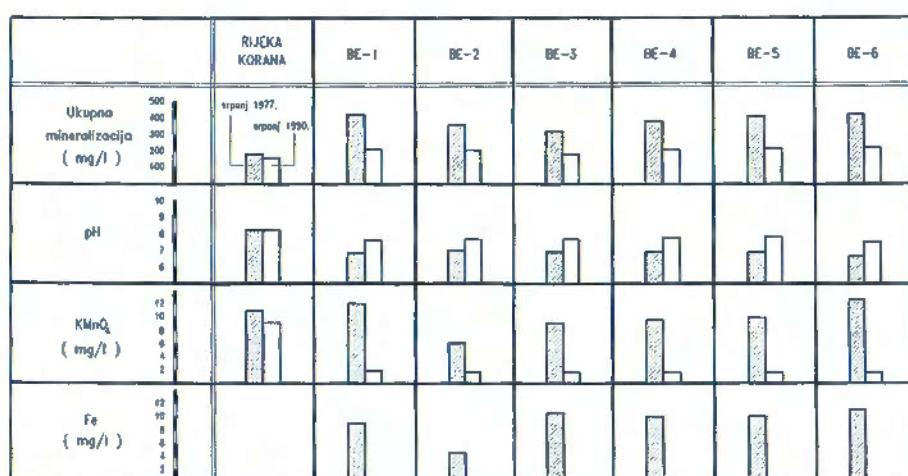
režim tretmana podzemne vode, što je prvenstveno u funkciji od geohidrokemijskih odnosa u neposrednoj blizini zdenca. Injektiranim aeriranom vodom promjenjeno je stanje u okolišu zdenca, pa će se pri eksploataciji umjesto željezovite dobiti čista voda. Rezultat je to novo ostvarenih kemijskih (redox potencijala) i posebice biokemijskih procesa u vodonosniku. Postupno smanjivanje kisika u vodonosniku uvjetovati će neophodnost ponovnog obogaćivanja kisikom, a što se ostvaruje opetovanim injektiranjem kaptiranog vodonosnika.

DISKUSIJA

Osnovni razlog prisutnosti ili neprisutnosti željeza i mangana u podzemnoj vodi jest stanje u vodonosniku i posebice okolišu zdenca. Promjena stanja u tretiranom zdenцу i pratećim injekcionim bušotinama praćena je i kroz prisutnost kisika. Mjerenjima su dobiveni podaci o horizontalnoj i vertikalnoj distribuciji kisika na injekcionim bušotinama u početnoj fazi deferizacionog postupka, kao i tijekom trajne eksploatacije. Rezultati mjerjenja pokazuju da je kaptirani vodonosnik samo prividno homogen i izotropan. Naime, zbog anizotropije vodonosnika koja je evidentna i u horizontalnom i u vertikalnom smislu već na tih 10 m udaljenosti od eksploatacijskog zdenca, različiti su i uvjeti deferizaci-



Sl. 4. Grafički prikaz količine kisika u vodonosniku crpnog polja BE-6.



Sl. 5. Grafički prikaz nekih kemijskih parametara podzemne vode u tijeku eksploatacije Gaze II.

je. Slikom 4 daje se u grafičkom obliku prikaz stanja na eksplotacijskom polju zdenca BE-6; prikazano je stanje u početnoj fazi deferizacionog postupka u srpanju 1983. god. te u istom mjesecu 1994. god. kada se podzemna voda eksploatirala bez injektiranja.

Svako polje eksploatacijskog zdenca ima svoj režim injektiranja odnosno period eksplotacije bez injektiranja, uz osnovni uvjet da voda bude ispravna za piće (sl. 5). Već je u prvoj godini eksplotacije primjećeno da su efekti deferizacije na zdencima BE-2, BE-3, BE-4 i BE-5 znatno trajnijeg značaja nego na zdencima BE-1 i BE-6.

Slikom 6 daje se u grafičkom obliku prikaz efikasnosti deferizacije kroz eksplotacijski period 1983.-1993. god.

Efikasnost postupka (*E*) izražena je kroz odnos eksploriranih (Q_{det}) i injektiranih (Q_{inj}) količina vode. Na kraju prve godine kontinuirane eksplotacije i prim-

jenjenog deferizacionog postupka efikasnost postupka (*E*) na zdencima BE-2, BE-3, BE-4 i BE-5 bila je u prosjeku 10:1, na zdencima BE-1 i BE-6 taj se faktor kretao oko 5:1.

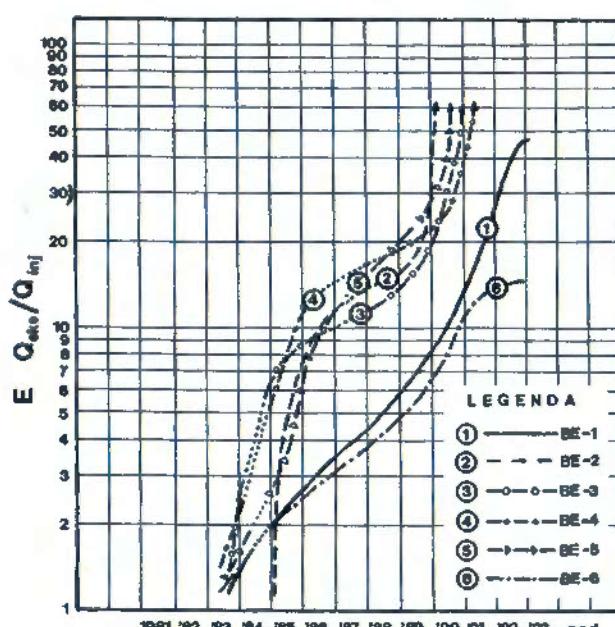
Efikasnost deferizacionog postupka u samom vodonosniku propagirala je do te mjere da je na kraju 1992. injektiranje bilo potrebno vršiti jedino na zdencima BE-1 i BE-6 (sl. 6).

Analiza dugogodišnje prikupljenih podataka dovodi nas do zaključka da je primjenom deferizacionog postupka u samom vodonosniku na većini eksplotacijskih zdenaca Gaze II do došlo trajnih lokalnih promjena okoliša. Ova promjena rezultirala je promjenom kakvoće vode u pozitivnom smislu. Smatra se da navedena promjena karakterizira samo manji prostor oko eksplotacijskih zdenaca.

To se može vidjeti i na prezentiranom geohidro-kemijskom profilu (sl. 3), jer se na prostoru između eksplotacijskih zdenaca i rijeke Korane i nadalje nalaze podzemne vode s prekomjernom količinom željeza.

Promjena kakvoće podzemne vode nije se manifestirala samo kroz količinu željeza, mangana i prisutnosti H_2S , već i kroz druge značajne parametre. Uz prisutnost željeza u tragovima (tablica u tekstu) i očekivano smanjenje ukupne mineralizacije vode, eksploriranoj je podzemnoj vodi smanjen utrošak $KMnO_4$ uz značajan porast pH vrijednosti (sl. 5).

Smatra se da je u promjeni kakvoće podzemne vode, a posebno za trajno održavanje deferizacionih uvjeta u bližoj okolini eksplotacijskih zdenaca, dominantna uloga bakterija koje immobiliziraju metale. Vjeruje se da su u vodonosniku većine zdenaca izvršene trajne irreverzibilne promjene, te da niti u budućnosti na njima podzemnu vodu neće trebati deferizirati.



Sl. 6. Grafički prikaz efikasnosti deferizacijskog postupka u vremenu eksplotacije.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

- APLIN, K.R. & ZHAO, N. (1989): The kinetics of Fe(II) Oxidation and Well Screen Encrustation.- *Ground Water*, 3 168-175, Dublin.
- BANKS, SH.B. & BANKS, D. (1993): Groundwater Microbiology in Norwegian Hard Rock Aquifers.- *Memoires of XXIV-th Congress IAH*, V-1, 407-419, Ås (Oslo).
- HALLBERG, R. & MARTINELL, R. (1976): Vyredox in Situ Purification.- *Groundwater*, 14, 88-93, Worthington.
- MARTINELL, R. (1980): Controlled Water Treatment in Soil, in Situ Removal of Iron and Manganese according to the Vyredox Method.- *IWSA Standing Committee on Water Quality and Treatment*, V, 17-22, Paris.
- POLLAK, Z. (1979): Mogućnost odstranjivanja željeza i mangana u podzemnoj vodi primjenom "Vyredox" metode.- *Gradvinar*, 12, 530-532, Zagreb.
- POLLAK, Z. (1984): Odstranjivanje željeza iz podzemnih voda primjenom deferizacijskog postupka u samom vodonosniku na primjeru crpilišta u Karlovcu.- *Zbornik referata 8. jugoslavenskog simpozija hidrogeologije i inženjerske geologije*, 337-345, Budva.
- POLLAK, Z. & MARTINELL, R. (1985): Subsurface Water Purification Containing Different Substances Among Others Iron and Manganese and an Example the Biggest Vyredox Treatment Plant in Europe.- *Congresso Internazionale sulle Acque Sotterane*, V, 1-18, Taormina.
- POLLAK, Z. & MARUŠIĆ, R. (1994): Prisutnost bakterija koje immobiliziraju metale u nekim vodonosnicima Sjeverne Hrvatske.- *Hrvatske vode*, 8, 549-563, Zagreb.
- REYONEN, V. & REYONEN, Y. (1971): Underground Iron Removal from Groundwater with the Vyredox Method.- *BBR*, 22, 93-94, New York.

Tectonics and Seismicity of the Krško Basin

Marijan POLJAK¹ & Mladen ŽIVČIĆ²

Key words: Krško basin, Tectonics, Earthquake, Seismic source, Capable fault

Abstract

The distribution of earthquakes and the Krško basin tectonic framework suggest their connectionship. Most of the earthquakes are generated at the depth of 5 to 10 km. Seismic sources are likely regional strike-slip faults in NE-SW and NW-SE direction and also thrust faults in NW-SE direction. Faults acting as seismic sources do not seem to have the capability of surface displacement during a seismic event.

INTRODUCTION

The Krško basin has been well investigated due to the possibility of seismic hazard to the Krško Nuclear Power Plant. Two topics are of the main interest and importance: identification of seismic sources, and capable faults (according to the Safety Guide, IAEA, 1991, faults which have a significant potential for relative displacement at or near the ground surface) in the vicinity of the Krško NPP.

The main faults bordering the Krško basin along the Žumberak and Orlica Mts. and the Krško and Marija Gorica hills have been generally considered to be the main seismic sources (ARSOVSKI et al., 1975; SIKOŠEK, 1986; POLJAK & ŽIVČIĆ, 1994; PRELOGOVIĆ & LAPAJNE, 1994). These faults have not considered to be capable of surface displacement during a seismic event. PREMRU et al. (1972) and PREMRU (1994) described numerous fractures and faults at the depth and on the surface as seismic sources, and their recent activity. Recent geologic, geophysical, seismological and geodetic investigations in the Krško basin support the former interpretation.

TECTONICS

The Krško basin is a Neogene syncline overlying Paleozoic and Mesozoic basement (Fig. 1). This in Žumberak Mt. and the Krško hills expresses the "dinaric" structures (ŠKIĆ et al., 1979; POLJAK et al., 1986),

since in the Orlica Mt. and the Marija Gorica hills the main structures stretch in ENE - WSW direction (ŠKIĆ et al., 1979; ANIČIĆ & JURIŠA, 1985).

The basal part of the Neogene sequence is represented by Helvetian beds, occurring at the Žumberak Mt. slope and the central part of the Krško basin and indicates a distinct paleorelief. After the maximum marine transgression in the Badenian, there was supposed uplifting (PRELOGOVIĆ, 1970). ŠIMUNIĆ & ŠIMUNIĆ (1987) suggested that the whole area was under water until the end of the Pontian. Intensive uplifting at the end of the Pliocene caused strong deformations of Pontian beds, that it is well expressed in the Globoko coal mine near Krško (MARKIĆ, 1990). As a result of this uplifting and climate changes, so called Plio-Quaternary sediments were deposited, and they reach the thickness up to 250 m in the Krško basin (MARKIĆ, 1990). These sediments, according to PLENIČAR & PREMRU (1977) form a tectonic depression, and KUŠČER (1993) and VERBIĆ (1993) suggested their folding. The exact age of these sediments has not yet been determined. Sediments of Upper Pleistocene and Holocene horizontally overlie older beds with no sign of tectonic deformation (KUŠČER, 1993; VERBIĆ, 1993).

The latest geophysical investigations (BREZIGAR et al., 1993) and the isopah maps constructed upon the basis of drilling data, show thickening of the Badenian to Upper Pleistocene sediments towards the central part of the Krško basin, as well as eastwards from the Sava fault zone. This may indicate a gradual subsidence of the Krško basin during that time. In addition, there is also indication of activity of transversal and longitudinal faults until the Upper Pleistocene.

SEISMICITY

The Krško basin is a seismically active area (Fig. 2). Parameters of historic, strong earthquakes in years 1628, 1632, 1640 (RIBARIĆ, 1982) are not reliable. More reliable information is available from the end of the 19th century, when macroseismic data were systematically collected (CECIĆ, 1994). ŽIVČIĆ (1993) re-

¹Geološki zavod Ljubljana, Diničeva 14, 61109 Ljubljana, Slovenija.

²Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, 61001 Ljubljana, Slovenija.

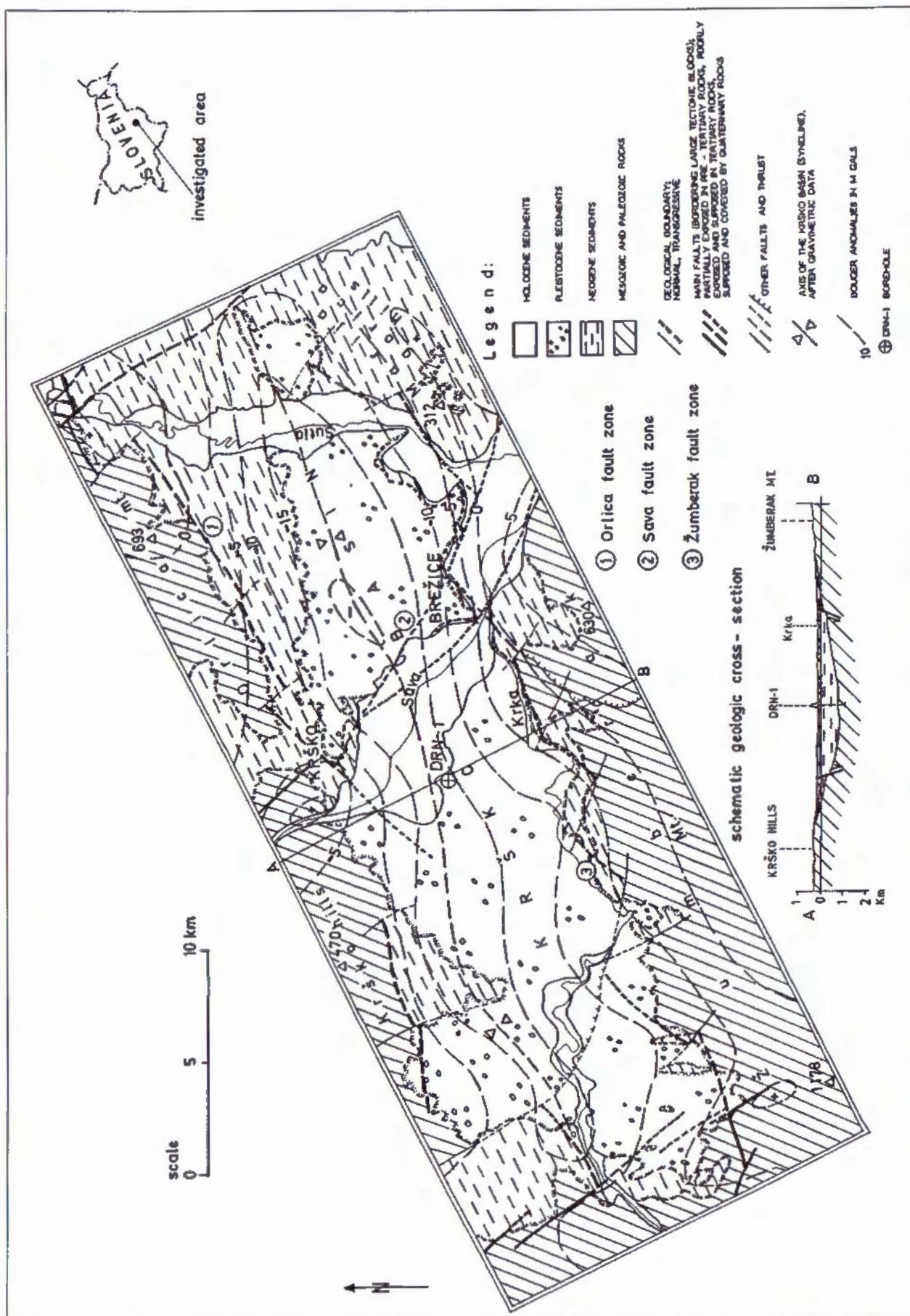


Fig. 1. The map of the Krško basin that illustrates a close relationship of the Neogene syncline, the depression expressed by the Bouger anomalies, and the main tectonic structures that determine the Krško basin.

evaluated and supplemented the existing earthquake catalogue (RIBARIČ, 1982) by using data from neighbouring countries. The error of macroseismically determined epicentres depends on the average spacing between data points in the epicentral area, and in the Krško basin is larger than 10 km for most of the 20th century earthquakes. Also, location of earthquake hypocentre does not necessarily correspond to the location of maximum intensity. The strongest earthquake in the area occurred on January 29th, 1917, and the macroseismic epicentre was located few kilometers north of Brežice (RIBARIČ, 1982). Focal depth estimates vary from 6 km (SHEBALIN et al., 1974) to 13 km (RIBARIČ, 1982).

We located earthquake hypocentres, from the period 1981-1994, by use of arrival times of longitudinal and transversal seismic waves on Slovenian, Croatian, Italian and Austrian seismic networks. The location error is of the order of 5 kilometers for epicentres and of 10 km for focal depth. Two cross sections reveal that most foci are situated within 10 km, of the surface, some between 10 and 15 km in depth and only exceptionally deeper. The strongest earthquake from that period had magnitude $M_{LH}=4.2$ and maximum intensity VI MSK (ŽIVČIĆ et al., 1985).

RECENT TECTONICS AND RELATION TO SEISMICITY

Results of the latest geodetic measurements performed near Krško (VODOPIVEC et al., 1994) indicate gradual subsidence of the central Krško basin at the average rate of 0.4 mm/y for the last 100 years. GPS (Global Positioning System) measurement shows the same pattern of subsidence at a rate of 0.9 mm/y for the last 40 years. Horizontal displacement along the southern slope of the Orlica Mts. has southwestward direction at the rate 3.3 mm/y (?).

Taking into account possible errors, these values match well with the displacement rate estimated upon geological data from the Badenian to the Upper Pleistocene (POLJAK & ŽIVČIĆ, 1994). The rate of the Krško basin subsidence and horizontal displacements along the Sava and Orlica fault zone were both estimated to be 0.1 mm/y.

Fault plane solutions of earthquakes at Raka and Kostanjevica express strike-slip displacement that can be related to southwestward movement of the supposed tectonic block of the Krško basin along the Orlica and Žumberak faults. This displacement may be on the southwestward side of the block absorbed by dinaric thrusts, and in its central part by a tension and normal faulting along the Sava fault zone.

Seismic sources

Earthquakes occurring in the Krško basin may be related to the main tectonic structures. Most earthquakes occur to the depth of 10 km. The depth of the PBS

(probable base of sediments) contrast projected to the investigated area from the DSS (deep sounding seismics) Pula-Maribor profile (JOKSOVIĆ & ANDRIĆ, 1983) is at the depth of 3 - 5 km. Thus, earthquakes occur within the sedimentary cover as well as in the crystalline basement. They may relate to the faults and listric faults that seem to penetrate into the basement. These faults express also horizontal displacement. It is, however, a question whether seismic rupture at depth extends to the surface.

The distribution of epicenters suggests that structures located in the western part of the Krško basin represent seismic sources of greater recent activity. This does not exclude the possibility of related seismic events in the eastern part of the basin in the future.

It should be mentioned that the proposed seismic sources model is almost identical to Heritsch and Seidl's (HERITSCH & SEIDL, 1917) and Tornquist's (TORNQUIST, 1918) seismo - tectonic interpretations of the Krško basin, i.e. with the Kostanjevica "thermal line", the Raka fault, and the Prilipe "active" fault, at least in its southeastern part.

CONCLUSION

Revised hypocentral parameters for the period 1981-1994 show that seismic activity is mainly constrained to upper 10 km of crust and rather evenly distributed over the whole Krško area. For definite seismotectonic interpretation, achieved accuracy is still not satisfactory. It would be necessary to install local network of seismic station which would, together with local crustal velocity model, provide hypocentral locations with errors less than 1 km.

In spite of that, tectonic framework of the Krško basin suggests a relationship of seismicity and the regional structures. The rate of displacement along proposed seismic sources is low, and has continued at the same rate throughout the Neogene and Lower Quaternary. Regarding earthquake size, there is also no evidence that earthquakes of large magnitudes could be generated here. However, further investigations should be undertaken in order to detect possible paleoseismic manifestations as well as recent tectonic movements.

Acknowledgements

We express our acknowledgement for permission to use data of unpublished reports, to the Administration of Republic Slovenia for Nuclear Safety and to the NPP Krško, that supported recent investigations in the Krško basin. We are also thankfull to our domical institutions, i.e. to the Geological Survey Ljubljana and to the Geophysical Survey of Slovenia for access to the other unpublished data used in this paper.

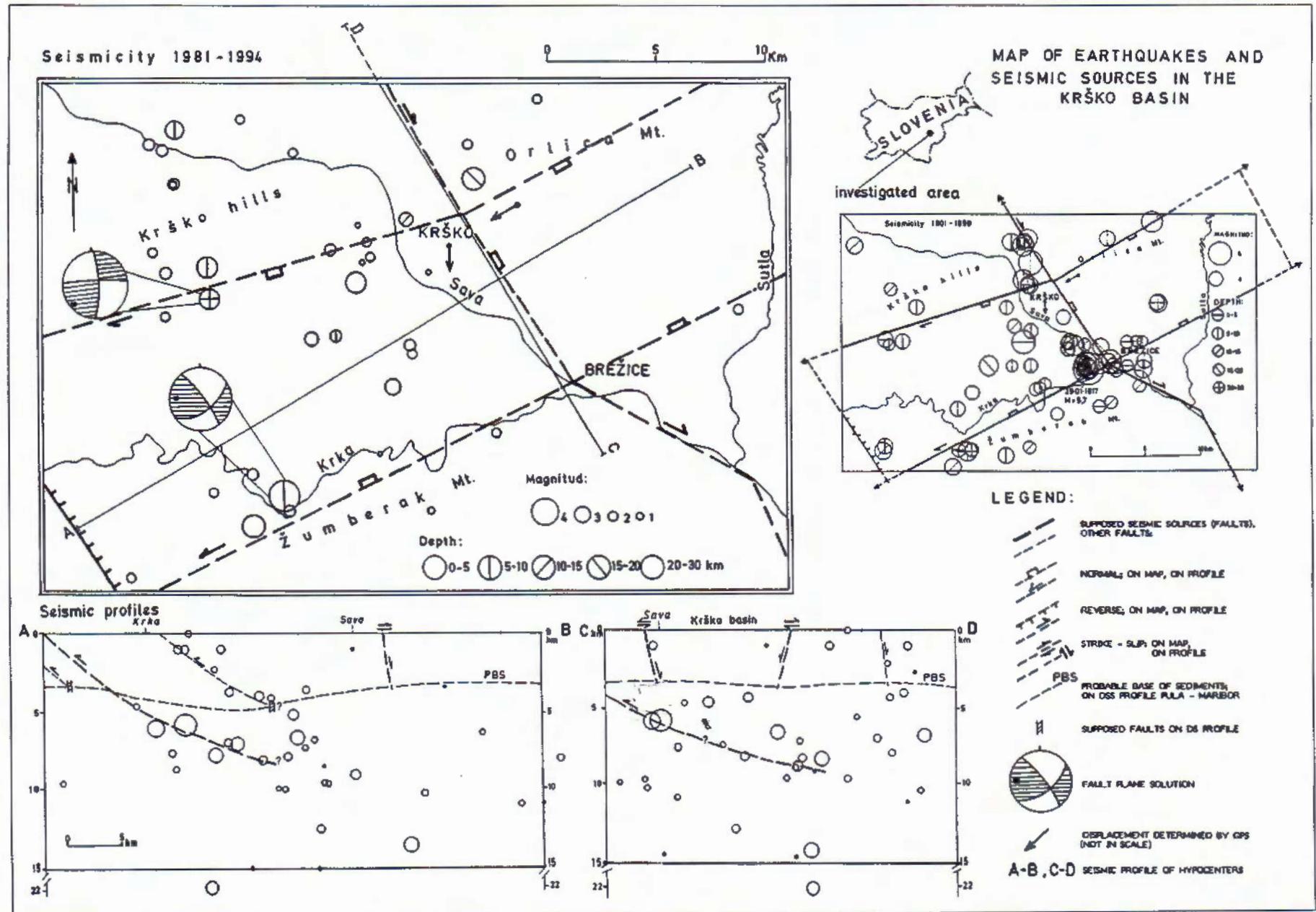


Fig. 2. The map of earthquakes and related seismic sources of the Krško basin. The map of seismicity from 1901 to 1990 presents seismic sources in segments which may generate earthquakes in the Krško basin.

REFERENCES

- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, K. (1985): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Rogatec.- Zvezni geološki zavod, Beograd.
- ARSOVSKI, M., STOJKOVIĆ, M., MIHAILOV, V. & PETROVSKI, D. (1975): Summary of the geological and seismological investigations of the nuclear power plant Krško location.- IZIIS, Skopje, Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost, Ljubljana (unpublished report).
- BREZIGAR, A., TOMŠIĆ, B., STOPAR, A. & ŽIVANOVIĆ, M. (1993): Pregled in reinterpretacija geofizikalnih raziskav v okolini NE Krško.- Geološki zavod Ljubljana (unpublished report).
- CECIC, I. (1994): Macroseismic Practice in Slovenia.- Natural Hazards, 10, 59-64.
- HERITSCH, F. & SEIDL, F. (1919): Das Erdbeben von Rann an der Sava von 29. Jänner 1917.- Mitteil. Erdbeben-Kommission, Neue Folge, 55, 156 p., Wien.
- IAEA (1991): Earthquakes and Associated Topics in Relation to Nuclear Power Plant Sitting, A Safety Guide.- International Atomic Energy Agency Safety Ser, 50-SG-SI (Rev. 1), 45 p., Wien.
- JOKSOVIĆ, P. & ANDRIĆ, B. (1983): Izvještaj o ispitivanju grade zemljine kore dubokim seizmičkim profiliranjem na profilu Pula-Maribor.- Geofizika, Zagreb (unpublished report).
- KRANJC, S., BOŽOVIĆ, M. & MATOZ, T. (1990): Končno poročilo o geoloških raziskavah na Krškem polju za potrebe podzemnega skladiščenja plina, vrtina DRN-1/89.- Geološki zavod Ljubljana (unpublished report).
- KUŠČER, D. (1993): Neotektonika Krške kotline, prehodno poročilo.- Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost, Ljubljana (unpublished report).
- MARKIĆ, M. (1992): Korelacija pliocenskih premogovnih plast v nahajališčih Lendava, Globoko in Kanižarica.- Geološki zavod Ljubljana (unpublished report).
- PLENIČAR, M. & PREMRU, U. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000, list Novo mesto.- Zvezni geološki zavod Beograd.
- POLJAK, M., MARJANAC, LJ., STOJANOVIĆ, B. & ŠTOR, S. (1986): Naftno-geološko kartiranje na območju pregibne cone med Krškim in Novim mestom.- Geološki zavod Ljubljana.
- POLJAK, M. & ŽIVČIĆ, M. (1994): Seismotectonic study.- In: FAJFAR, P. & LAPAJNE, J. (eds.): Probabilistic Assesment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant. Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana (unpublished report).
- PRELOGOVIĆ, E. (1970): Neotektonska kretanja u području između Orlice, Samoborske gore i Medvednice.- Geol. vjesnik, 23, 151-160.
- PRELOGOVIĆ, E. & LAPAJNE, J. (1994): Seismotectonic study.- In: FAJFAR, P. & LAPAJNE, J. (eds.): Probabilistic Assesment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant. Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana (unpublished report).
- PREMRU, U. (1994): Seismotectonic Study.- In: FAJFAR, P. & LAPAJNE, J. (eds.): Probabilistic Assesment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant. Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana (unpublished report).
- PREMRU, U., BASCH, O. & ŠIKIĆ, K. (1972): Geologija širše okolice Krškega, študija za NE Krško.- Geološki zavod Ljubljana (unpublished report).
- RIBARIĆ, V. (1982): Katalog potresov (792 n.e. - 1981).- Seismološki zavod SRS, Ljubljana (internal publication).
- SHEBATIN, N.V., KARNIK, V. & HADŽIEVSKI, D. (eds.) (1974): Catalogue of Earthquakes. Survey of the Seismicity of the Balkan region.- UNDP/UNESCO, Skopje.
- SIKOŠEK, B. (1986): Tektonski in seismotektonski osobini Krško-Bežiškog regiona i Bele Krajine.- Seismološki zavod, Ljubljana (internal publication).
- TÖRNQUIST, A. (1918): Das Erdbeben von Rann an der Save vom 29. Jänner, 1917.- Mitteil. Erdbeben-Kommission, Neue Folge, 52, 117 p., Wien.
- VERBIČ, T. (1993): Kvartarni sedimenti v Krški kotlini.- Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (unpublished report).
- VODOPivec, F., KOLER, B., STOPAR, B., SAVŠEK-SAVIĆ, S. (1994): Opazovanje tektonskih premikov v okolici NE Krško z geodetskimi meritvami.- Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana (unpublished report).
- ŽIVČIĆ, M. (1993): Earthquake catalogue.- In: FAJFAR, P. & LAPAJNE, J. (eds.): Probabilistic Assesment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant. Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana (unpublished report).
- ŽIVČIĆ, M., ALLEGRETTI HRŽIĆ, M., VIDRIH, R. & DETERING, M. (1985): Potresi kod Kostanjevice na Krki 11.3.1984.- Acta Seism. Yug., 11/11, 43-54.

Dinamika nastanka struktura južnog dijela Panonskog bazena

Eduard PRELOGOVIĆ¹, Domagoj JAMIČIĆ², Bruno ALJINOVIĆ³, Josipa VELIĆ¹,
Bruno SAFTIĆ¹ & Mate DRAGAŠ⁴

Ključne riječi: tektonski pokreti, stres, tipovi struktura, recentni strukturni odnosi

Key words: Tectonic movements, Stress, Structure types, Recent structural relations

Sažetak

Razlikuju se tri razdoblja nastanka struktura: prve strukturne promjene između oligocena i donjeg miocena, glavni ekstenzijski procesi u donjem i srednjem miocenu, te novo oblikovanje strukturnog sklopa uz dominaciju desnih transkurentnih tektonskih kretanja od gornjeg pliocena do danas. Izdvojeni su različiti tipovi struktura, određeni pomaci strukturnih jedinica, te naznačene aktivne zone rasjeda.

Abstract

Three stages of structural development are differentiated: initial structural displacements by the end of Oligocene and in Early Miocene, main extension during Early and Middle Miocene, as well as formation of the new structural fabric characterized by dominance of dextral transcurrent tectonic movements from Upper Pliocene till present time. Different types of structures are separated, displacements of structural units are defined and the active fault zones marked.

Strukturni odnosi u području hrvatskog dijela Panonskog bazena oduvijek su izazivali pozornost. U brojnim radovima ili stručnim izvješćima opisane su glavne strukture, rasjedi i njihove značajke. Međutim, nisu bili izređeni podaci primjerice o nastanku struktura, najaktivnijim dionicama rasjeda, vrsti pomaka i osobito o prihvatljivom modelu tektonskih pokreta. U nastojanju rješenja što detaljnijih i cjeleovitijih strukturnih odnosa postupno se javljaju kompleksnija proučavanja, a rezultati se objavljaju. U tom smislu potrebno je izdvojiti pojedine istaknute radove. Poglavitno se to odnosi na otkrivanje značajki neotektonskih pokreta (npr. KRA-NJEC & PRELOGOVIĆ, 1974; PRELOGOVIĆ, 1975), razradu strukturnih odnosa u dubini (ZAGORAC, 1975; BARIŠIĆ, 1978; VELIĆ, 1980; HERNITZ, 1983; NAJDENOVSKI, 1988; WEISSER, 1994), novu geotektonsku klasifikaciju (HERAK, 1986) ili dokaze o neotektonskoj i posebice kvartarnoj tektonskoj aktivnosti (npr. PRELOGOVIĆ & CVIJANOVIĆ, 1983; PRELOGOVIĆ & VELIĆ, 1988, 1992; HEĆIMOVIĆ, 1995). Znatan doprinos slijedi uvedenjem strukturnih mjerjenja (JAMIČIĆ, 1978, 1988) i osobito ključnih regionalnih rješenja u okvirima čitavog Panonskog bazena (npr. ROYDEN & HORVÁTH, 1988; BERGERAT, 1989; HORVÁTH, 1993). Tomu se priključuju i podaci o režimu stresa (RITSEMA, 1974; GRÜNTHAL & STROMEYER, 1986; BERGERAT & CSONTOS, 1988).

Proučavanjem raznovrsnih podataka u Hrvatskoj se došlo do spoznaje o mogućnosti rekonstrukcije nastanka struktura i djelovanja tektonskih pokreta, te detaljnijeg prikaza recentnih strukturnih odnosa od do sada poznatih. U razradi su bili obuhvaćeni površinski i dubinski podaci, većinom neobjavljeni. Važni podaci polučeni su novom obradom satelitskih snimaka, gravimetrijskih karata i seizmičkih profila, dubinskih geoloških i strukturnih karata, zatim karata debljina pojedinih stratigrafskih članova, geomorfoloških karata, te strukturnih mjerjenja.

U rekonstrukciji postanka struktura izdvojeno je pet razdoblja s prikazom odnosa približno krajem donjeg i srednjeg miocena, posebice krajem panona i ponta, te u recentno vrijeme (slika 1 a, b, c, d i e). U prvim prikazanim razdobljima ističe se djelovanje stresa orijentacije 25-205° do 45-225°. Osobito su aktivni lijevi transkurentni rasjedi. U njihovim zonama se otvaraju romboidne grabe (*pull-apart*). Uz to regionalni pomaci kompaktnih blokova (strukturnih jedinica) prema SI uvjetuju postupno nastajanje velikih (Sava, Drava) i lokalnih zona ekstenzije. Važna je zona rasjeda Medvednice (1 u slici 2), zatim zona uz južnu granicu Panonskog bazena (3), dijelovi rasjeda Sava (2) i Drava (4), te rasjedi uz zapadni rub Slavonskih planina i potez Vinčkovci - Slavonski Brod. Ekstenzija je osobito izražena u donjem i srednjem miocenu (slika 1 a, b). Između

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

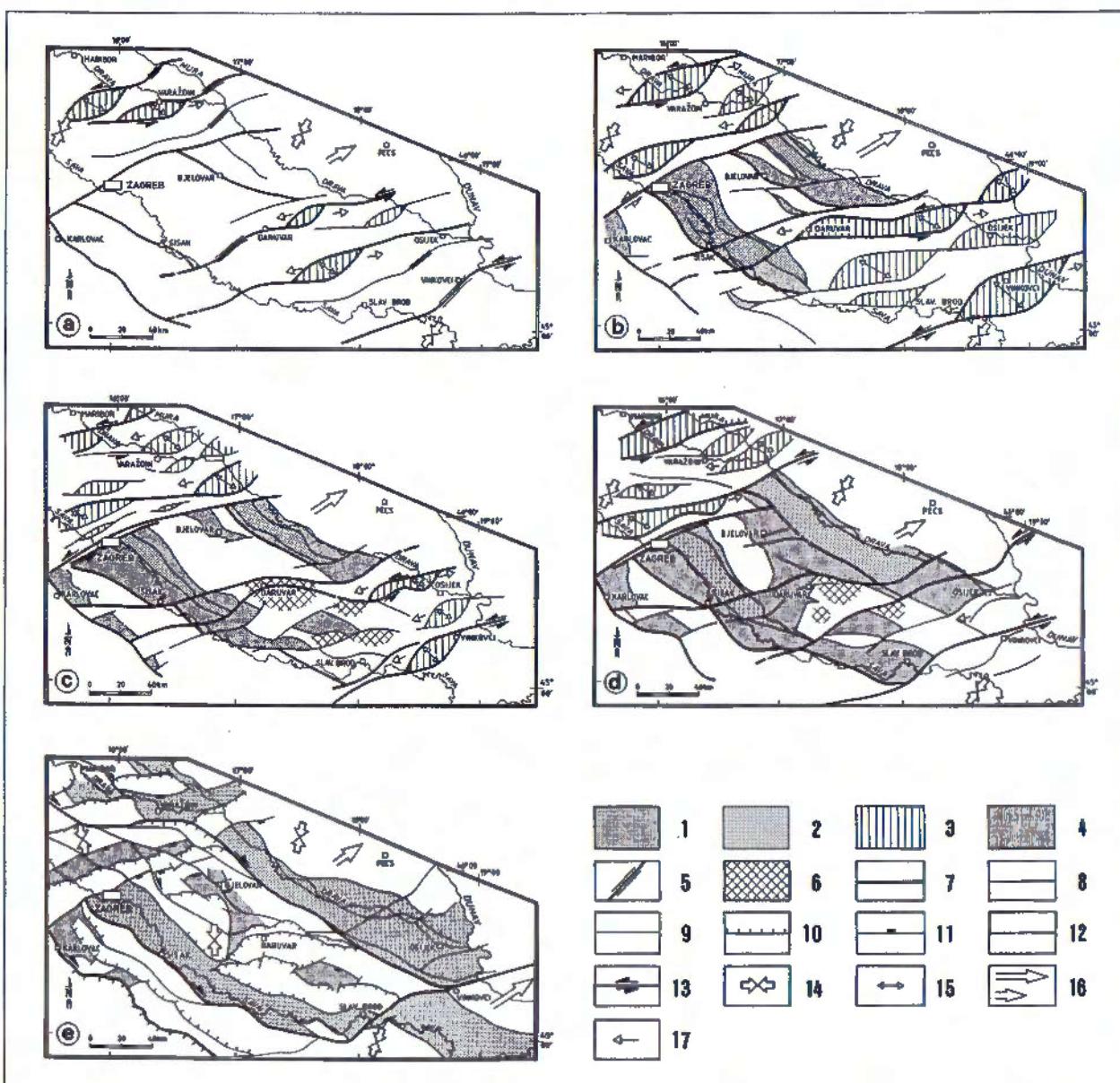
²Institut za geološka istraživanja, Sachova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.

³Geofizika, Savska cesta 64, 10000 Zagreb, Hrvatska.

⁴INA-Naftaplin, Šubičeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.

ekstenzijskih zona dolazi do postupnog sužavanja prostora, svijanja transkurentnih rasjeda i zatvaranja pojedinih romboidnih graba. U panonu i pontu pokazuju se zone izražene kompresije (slika 1 c, d).

U gornjem pliocenu nastaje značajna promjena orijentacije stresa (slika 1e). Na temelju linearnih zapisa duž lijevih transkurentnih rasjeda dobivene su vrijednosti za zapadni, središnji i istočni dio obuhvaćenog područja:



Sl. 1. Rekonstrukcija strukturalnih odnosa: 1a - približno krajem donjeg miocena, 1b - krajem srednjeg miocena, 1c - krajem panona, 1d - krajem ponta; 1e - u recentno vrijeme. Tumač: A: Strukture: Velike zone ekstenzije: 1 - plićke strukturne depresije (debljina naslaga do 1.000m); 2 - dublje strukturne depresije (najveća debljina naslaga veća od 1.000m); 3 - zone ekstenzije tipa romboidne grabe (*pull-apart*); 4 - lokalne strukturne depresije u recentnom strukturalnom sklopu; 5 - zone mogućeg postanka romboidne grabe; 6 - izražene zone kompresije (nastajanje većih *flower*-struktura). B: Rasjedi: 7 - zone rasjeda najznačajnije u oblikovanju strukturalnog sklopa; 8 - zone rasjeda značajne u oblikovanju strukturalnog sklopa; 9 - ostali važni rasjedi recentnog strukturalnog sklopa; 10 - reversni rasjed; 11 - normalni rasjed; 12 - rasjed bez određenog karaktera; 13 - rasjed s naznakom horizontalnog pomaka krila. C: Tektonski pokreti - stres: 14 - os kompresije; 15 - os ekstenzije; 16 - regionalni smjer kretanja strukturalnih jedinica: a) s većim pomakom, b) s manjim pomakom; 17 - smjer relativnog pomaka struktura.

Fig. 1 Reconstruction of structural relations: 1a - approximately by the end of Early Miocene, 1b - by the end of Middle Miocene, 1c - by the end of Pannonian, 1d - by the end of Pontian; 1e - recent stage. Legend: A: Structures: Major extension zones: 1 - shallower structural depressions (thickness of deposits up to 1,000m); 2 - deeper structural depressions (thickness of deposits over 1,000m); 3 - extension zone in the shape of rhomboid graben (*pull-apart* basin); 4 - local structural depressions within the recent structural framework; 5 - zones of possible formation of rhomboid graben; 6 - marked zones of compression (formation of major flower-structures). B: Faults: 7 - the most important fault zones in formation of structural framework; 8 - fault zones important in the formation of structural framework; 9 - other important faults of the recent structural framework; 10 - reverse fault; 11 - normal fault; 12 - undefined fault; 13 - strike-slip fault with sense of horizontal displacement marked; C: Tectonic movements - stress: 14 - axis of compression; 15 - axis of extension; 16 - regional direction of movement of structural units: a) bigger displacement, b) smaller displacement; 17 - relative displacement of structures.

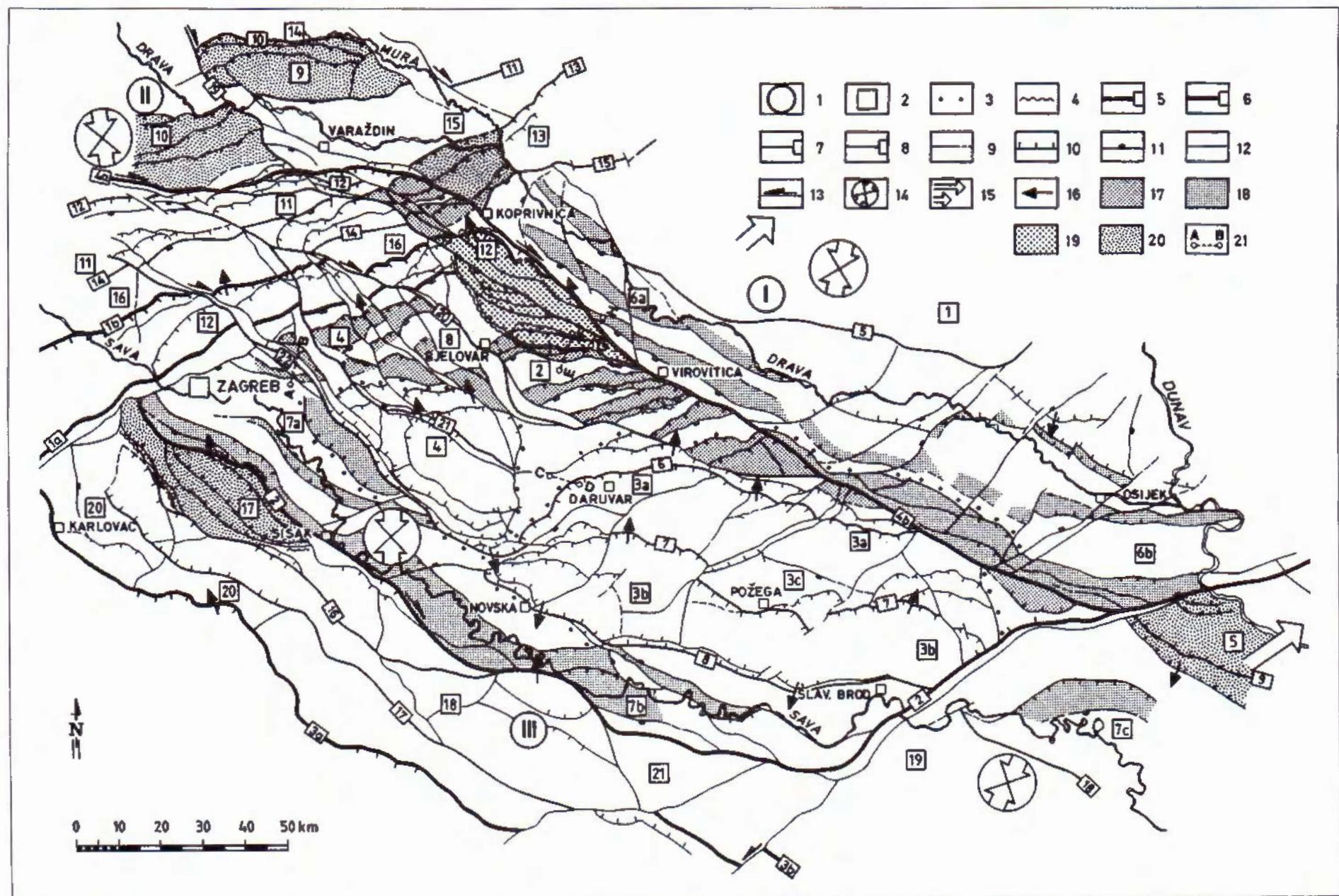
345-165°, 0-180°, 11-191°. Nastaju bitne promjene u strukturalnom sklopu. Aktivno je desno transkurentno kretanje blokova. Naročito se izdvaja zona koju čini rasjed Velenje-Rogatec (4a) i Drava rasjed (4b). Zona ima obilježe *wrench*-rasjeda. Desni tektonski transport uzrokuje potpuno zatvaranje nekadašnjih romboidnih graba. Prostori, primjerice između Save i Drave su izdignuti i lijevo rotirani približno 30-40° (JAMIČIĆ, 1978, 1988, 1995). Tijekom rotacije struktura tercijarne naslage su borane s orijentacijom osi istok-zapad. U slici 2 prikazani su recentni strukturalni odnosi. Strukture i rasjedi su klasificirani prema važnosti u sklopu. Zasebno su označeni regionalni i lokalni pomaci strukturalnih jedinica.

ZAKLJUČAK

Navedena razrada nastanka struktura podudara se s prihvaćenim modelom u okvirima Panonskog bazena, te regionalnim tektonskim pokretima. Pri tom se pozornost obraća na djelovanje stresa unutar pojedinih prikazanih strukturalnih jedinica, te promjenama njihove orijentacije u najmladem aktivnom razdoblju. Tada se uspostavlja model tzv. transpresije s dominacijom *wrench*-rasjeda. Najvažnija zona Velenje-Rogatec-Drava (4a, b) sa Sava rasjedom (2) ili šire rasjedom Karlovac-Prijedor (3a) ograničava znakovit prostor. Postižu se odredene strukturne odlike. Rasjedi s desnim horizontalnim pomakom dovode do ekstenzije prostora u smjeru istoka-sjeveroistoka. Između tih rasjeda nastaje suženje strukturalnih jedinica uz izrazito javljanje lijevitih transkurentnih rasjeda. Bore su reversne. Izražene su strukture tipa domino (*en-échelon*) između nizova transkurentnih, desnih rasjeda, npr. duž Bilogore, oko Bjelovara, Kalnika, Ivančice. Izrazitom kompresijom oblikuju se tzv. *flower*-strukture s reversnim rasjedima suprotog nagiba (slika 3, profili A-B, E-F i G-H) i to u regionalnom planu (između prije spomenutih rasjeda) ili lokalno, npr. u Bilgori (2) i Vukomeričkim goricama (17). Rotacija strukturalnih jedinica (Slavonsko gorje, Moslavacka gora) dodatno dovodi do novog boranja u rubnim dijelovima ili unutar strukturalnih depresija. Reversni rasjedi su naročito aktivni duž sjeverozapadnih, sjevernih krila strukturalnih jedinica (npr. slika 3, profil C-D).

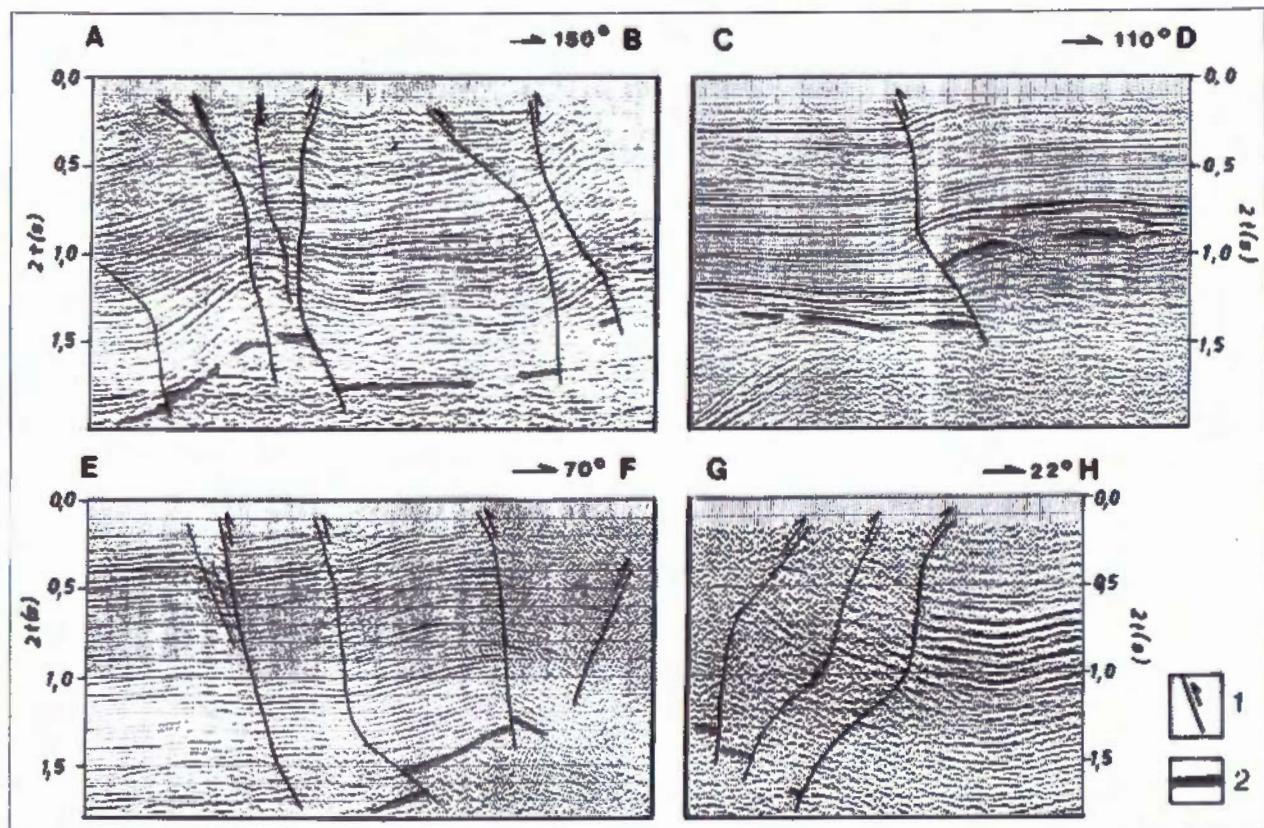
LITERATURA

- BARIŠIĆ, M. (1978): Prilog rješavanju strukturalnih odnosa tercijarnih naslaga u istočnom dijelu Savske potoline.- IX kong. geologa Jugoslavije, Zbornik radova, 189-208, Sarajevo.
- BERGERAT, F. (1989): From pull-apart to the rifting process: the formation of the Pannonian Basin. - Tectonophysics, 157, 271-280, Amsterdam.
- BERGERAT, F. & CSONTOS, L. (1988): Brittle tectonics and paleostress-fields in the Mecsek and Villány mountains (Hungary). Correlations with the opening mechanisms of the Pannonian basin.- Acta Geol. Hung., 31/1-2, 81-100, Budapest.
- GRÜNTHAL, G. & STROMEYER, D. (1986): Stress Pattern in Central Europe and Adjacent Areas.- Gerlands Beitr. Geophysik, 95, 5, S, 443-452, Leipzig.
- HEĆIMOVIĆ, I. (1995): Tektonski odnosi šireg područja Kalnika.- Disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, I-152, Zagreb.
- HERAK, M. (1986): A New Concept of Geotectonics of the Dinarides.- Acta geologica, 16/1, Prir. istraž. 53, JAZU, 1-42, Zagreb.
- HERNITZ, Z. (1983): Dubinski strukturalno-tektonski odnosi u području istočne Slavonije.- Disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, Nafta, XII+221, Zagreb.
- HORVÁTH, F. (1993): Towards a mechanical model for the formation of the Pannonian basin.- Tectonophysics, 226, 333-357, Amsterdam.
- JAMIČIĆ, D. (1978): Prilog poznavanju tektonskih odnosa Papuka i Krdije.- JAZU, IV god. znan. skup, 199-206, Stubičke Toplice.
- JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturalni sklop slavonskih planina (sjeverni Psunj, Papuk, Krdija).- Disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč u Zagrebu, I-157, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1995): Uloga lijevitih rasjeda kod oblikovanja strukturalnog sklopa Slavonskih planina.- Geol. Croatica, u tisku.
- KRANJEC, V. & PRELOGOVIĆ, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriji SR Hrvatske.- Geol. vjesnik, 27, 95-112, Zagreb.
- NAJDENOVSKI, J. (1988): Dubinski geološki odnosi i razvitak struktura u tercijarnim sedimentima Požeške kotline.- Disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, VII+146, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. (1975): Neotektonska karta Hrvatske.- Geol. vjesnik, 28, 97-108, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & CVIJANOVIĆ, D. (1983): Prikaz neotektonskih aktivnosti dijela Slavonije, Baranje i Bačke.- Geol. vjesnik, 36, 241-254, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & VELIĆ, J. (1988): Kvartarna tektonska aktivnost zapadnog dijela Dravske potoline.- Geol. vjesnik, 41, 237-253, Zagreb.
- PRELOGOVIĆ, E. & VELIĆ, J. (1992): Correlation of Quaternary Sediments and Tectonic Activity of the Eastern Part of the Drava River Depression.- Geol. Croatica, 45, 151-162, Zagreb.
- RITSEMA, A. R. (1974): The earthquake mechanisms of the Balkan Region.- UNDP Project R 3EM/70/172, UNESCO.
- ROYDEN, L. H. & HORVÁTH, F. (eds.) (1988): The Pannonian Basin. A study in Basin Evolution.- AAPG Memoir, 45, 1-394, Tulsa & Budapest.
- VELIĆ, J. (1980): Geološka građa zapadnog dijela Savske depresije.- Disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, IV+137, Zagreb.
- WEISSER, M. (1994): Neke značajke strukturalno-tektonskih i naftno-geoloških odnosa starijih miocenskih naslaga u zapadnom dijelu Dravske potoline.- Magistarski rad, Rud.-geol.-naftni fak. Sveuč. u Zagrebu, VI+98, Zagreb.
- ZAGORAC, Ž. (1975): Interpretacija gravimetrijskog reziduala i njena primjena u području Savske i Dravske potoline.- Disertacija, Rud.-geol. fak. Univ. u Beogradu, I-86, Beograd.



Sl. 2. Klasifikacija struktura i rasjeda. Tumač: A. **Regionalne strukturne zone:** 1 - središnji dio Panonskog bazena (I); zapadni (II) i južni dio Panonskog bazena (III). B. **Strukturne jedinice:** 2 - a) središnji dio Panonskog bazena: Mecsek-Villany (1); Bilogora (2); Slavonsko gorje (3); Rvana gora - Papuk - Krndija (3a), Psunj - Požeška gora - Dilj gora (3b), Požeška kotlina (3c); Moslavačka gora - Vrbovec (4); Fruška gora (5); Drava (6); zapadni dio (6a), istočni dio (6b); Sava (7); zapadni dio (7a), središnji dio (7b), istočni dio (7c); Bjelovar - Ilova (8); b) zapadni rubni dio Panonskog bazena: Ormoške gorice (9); Haloze - Macelj - Trojane (10); Kalnik - Ivanščica - Orlica (11); Jagnjedovac - Medvednica - Žumberačka gora (12); Legrad - Nagykaniza (13); Zala (14); Mura (15); Krško - Hrvatsko zagorje (16); c) južni rubni dio Panonskog bazena: Vukomeričke gorice - Šamarica (17); Zrinjska gora - Kozara - Prosara (18); Motajica - Trebovac - Majevica (19); Karlovac - Glina (20); Lijevče polje - Bukovik - Tuzla (21); 3 - reverse flower-strukture (*compressional duplexes*): a) u cijelosti razvijene, b) djelomično razvijene u zonama rasjeda s desnim horizontalnim pomakom; 4 - granice lokalnih struktura nastalih uslijed rotacije ili pomača strukturalnih jedinica Slavonskog gorja i Moslavačke gore. C. **Rasjedi:** 5 - rasjedi granični regionalnim strukturalnim zonama: zona Medvednica rasjeda (1): Zagrebački rasjed (1a), rasjed Brežice - Koprivnica (1b); Savski rasjed (2); rasjedi uz južnu granicu panonskog bazena (3), dionice: Karlovac - Prijedor (3a), Lakaši - Dobojski - Tuzla (3b); 6 - regionalni rasjed s horizontalnim pomakom (desni wrench-rasjed), dionice: Velenje - Rogatci (4a), Drava (4b); 7 - granični rasjedi strukturalnih jedinicama: Villany rasjed (5); Papučki rasjed (6); rasjed Psunj - Požeška gora - Dilj gora (7); rasjed Novska - Slavonski Brod (8); Fruškogorski rasjed (9); Ljutomerski rasjed (10); Murski rasjed (11); rasjed Ivanščica - Kuna gora (12); rasjed Legrad - Nagykaniza (13); rasjed Kalnik - Orlica (14); rasjed Koprivnica - Somogy (15); Pokupski rasjed (16); rasjed Glina - Prijedor (17); rasjed Šamac - Brčko - Bijeljina (18); 8 - rasjedi s desnim horizontalnim pomakom: rasjed Maribor - Varaždin - Koprivnica (19); Bjelovarski rasjed (20); Moslavacki rasjed (21); rasjed Stubica - Ivanić-grad - Kutina (22); 9 - rasjedi granični strukturama, najvažniji prateći rasjedi i ogranci; 10 - reverse rasjedi; 11 - normalni rasjedi; 12 - rasjedi bez sigurno određenog karaktera; 13 - rasjedi s naznakom horizontalnog pomaka. D. **Deformacije, tektenski najaktivnije zone:** 14 - stres; 15 - regionalni smjer pomaka strukturalnih jedinica: a) veći pomak, b) manji pomak; 16 - smjer pomaka dijelova strukturalnih jedinica povoljno orientiranih spram regionalnog stresa. E. **Lokalne izdignute strukture:** 17 - strukture nastale u užoj zoni rasjeda s horizontalnim pomakom; 18 - strukture nastale unutar velikih ekstenzijskih zona ili u njihovim rubnim dijelovima; 19 - izražena flower-struktura Bilogore; 20 - strukturne jedinice Haloze - Macelj - Trojane, Ormoške gorice, Fruška gora i Vukomeričke gorice; 21 - trase seizmičkih profila.

Fig. 2 Classification of structures and faults. Legend: A. **Regional structural zones:** 1 - central part of the Pannonian basin (I); western (II) and southern part of the Pannonian basin (III). B. **Structural units:** 2 - a) in the central part of Pannonian basin: Mecsek-Villany Mts. (1); Bilogora Mt. (2); Slavonian Mts. (3); Rvana gora Mt.- Papuk Mt. - Krndija Mt. (3a), Psunj Mt. - Požeška gora Mt. - Dilj gora Mt. (3b), Požeška valley (3c); Moslavačka gora Mt. - Vrbovec (4); Fruška gora Mt. (5); Drava (6): western (6a), eastern part (6b); Sava (7): western (7a), central (7b), eastern part (7c); Bjelovar - Ilova river (8); b) in the western marginal part of the Pannonian basin: Ormoške gorice Mt. (9); Haloze Mt. - Macelj - Trojane (10); Kalnik Mt. - Ivanščica Mt. - Orlica Mt. (11); Jagnjedovac - Medvednica Mt. - Žumberačka gora Mt. (12); Legrad - Nagykaniza (13); Zala depression (14); Mura depression (15); Krško - Hrvatsko zagorje (16); c) in the southern marginal part of the Pannonian basin: Vukomeričke gorice Mt. - Šamarica Mt. (17); Zrinjska gora Mt. - Kozara Mt. - Prosara Mt. (18); Motajica Mt. - Trebovac Mt. - Majevica Mt. (19); Karlovac - Glina (20); Lijevče field - Bukovik - Tuzla (21); 3 - reverse flower-structures (*compressional duplexes*): a) completely developed and b) partly developed in the zones of dextral strike-slip faults; 4 - borders of local structures formed due to rotation and translation of structural units of Slavonian Mts. and Moslavačka gora Mt.. C. **Faults:** 5 - faults bordering regional structural zones: zone of Medvednica Mt. fault (1): Zagreb fault (1a), Brežice - Koprivnica fault (1b); Sava fault (2); faults on the southern border of the Pannonian basin, sections (3): Karlovac - Prijedor fault (3a), Lakaši - Dobojski - Tuzla fault (3b); 6 - regional strike-slip fault (dextral wrench-fault), sections: Velenje - Rogatci fault (4a), Drava fault (4b); 7 - faults bordering structural units: Villany fault (5); Papuk Mt. fault (6); Psunj Mt. - Požeška gora Mt. - Dilj gora Mt. fault (7); Novska - Slavonski Brod fault (8); Fruška gora Mt. fault (9); Ljutomer fault (10); Mura fault (11); Ivanščica Mt. - Kuna gora Mt. fault (12); Legrad - Nagykaniza fault (13); Kalnik Mt. - Orlica Mt. fault (14); Koprivnica - Somogy fault (15); Pokupje fault (16); Glina - Prijedor fault (17); Šamac - Brčko - Bijeljina fault (18); 8 - dextral strike-slip faults: Maribor - Varaždin - Koprivnica fault (19); Bjelovar fault (20); Moslavina fault (21); Stubica - Ivanić-grad - Kutina fault (22); 9 - faults delimiting structures, the most important satellite and branching faults; 10 - reverse fault; 11 - normal fault; 12 - undefined fault; 13 - strike-slip fault with the sense of the displacement marked. D. **stress regime, deformations, the most active tectonic zones:** 14 - stress; 15 - regional direction of movement of structural units: a) bigger displacement, b) smaller displacement; 16 - direction of displacement of structural units fragments. E. **structure types - locally uplifted structures:** 17 - formed between the fault zones with dextral horizontal displacement; 18 - formed within or in the marginal parts of major structural depressions; 19 - marked flower-structure in Bilogora Mt.; 20 - structural units: Haloze Mt. - Macelj - Trojane, Ormoške gorice Mt., Fruška gora Mt. and Vukomeričke gorice Mt.; 21 - locations of seismic sections.



Sl. 3 Seizmički profili. Tumač: 1 - rasjed s naznakom pomaka krila; 2 - podinska ploha neogenskih naslaga.

Fig. 3 Seismic sections. Legend: 1 - fault with marked displacement; 2 - basement of Neogene deposits.



Seizmotektonska aktivnost Kvarnerskog područja

Eduard PRELOGOVIĆ¹, Vlado KUK², Domagoj JAMIČIĆ³,
Bruno ALJINOVIĆ⁴ & Krešimir MARIĆ²

Sažetak

Obuhvaćeno područje poznato je po seizmičkoj aktivnosti. Brojnost podataka o potresima i nove razrade dubinskih geoloških struktura omogućili su izradu seizmotektonskih profila i određbe seizmotektonskog modela. Temeljni su pomaci Jadranske platforme i odupiranja masa stijena Dinarida. U dodirnom prostoru u reversnim zonama nastaju potresi. Uz to kompresija prostora izaziva rotaciju i naglašene desne pomake struktura.

Abstract

The explored area is known for its seismic activity. The construction of seismotectonic profiles and definition of a seismotectonic model is enabled by numerous earthquake data giving a new insight into underground structural relations. The model is based on shifting of the Adriatic platform and resisting of the rock masses of the Dinarides. The earthquakes originate from the contact area marked by reverse zones. At the same time, compression of the area causes rotation and marked dextral displacements of structures.

Razmatrano područje izrazito je seizmički aktivno. Epicentri potresa naglašeno su koncentrirani u zoni koja se prostire između Senja, Vinodola, Rijeke i Ilirske Bistrice s jasnim nastavkom prema Furlaniji. Stalni su bili pokušaji usporedbe seizmičke aktivnosti s geološkim strukturama. To se osobito razabire u radovima pretežito seizmotektonskog sadržaja (npr. BIONDIĆ et al., 1975; PRELOGOVIĆ et al., 1981; SKOKO et al., 1987; ALJINOVIĆ et al., 1987). Važne doprinose, u tom smislu, pružaju radovi u kojima se obraduju strukturni, posebice regionalni tektonski odnosi (npr. MARTINIS, 1975; PRELOGOVIĆ & KRANJEC, 1983; BLAŠKOVIĆ, 1990, 1991; HERAK, 1991). Veoma su značajni novi podaci o seizmotektonskoj aktivnosti i općenito seizmotektonskom modelu šire kontaktne zone Dinarida i Alpa (SLEJKO et al., 1989; CARULLI et al., 1990; DEL BEN et al., 1991; VENTURINI, 1991). Tomu treba dodati tumačenja o režimu stresa (RITSEMA, 1974; GRÜNTHAL & STROMEYER, 1986; ANDERSON & JACKSON, 1987), te posebice iscrpne strukturno-inženjerske geološke obrade riječkog područja (BENAC, 1994; JAMIČIĆ et al., 1995). Dolaskom novih podataka javila se potreba detaljnijeg određivanja seizmotektonске aktivnosti. U tu su svrhu, osim korištenja navedenih ili šire poznatih radova geološkog i geomorfološkog kartiranja, načinjene razrade gravimetrijskih karata, seizmičkih profila, satelitskih snimaka, elemenata strukturnog sklopa i seizmoloških podataka.

U slici 1 prikazani su epicentri potresa. Radijusi kružnica proporcionalni su magnitudi potresa. Prema

povijesnim podacima nekoliko potresa intenziteta VIII° MCS dogodio se između Ilirske Bistrice i Rijeke. Od Rijeke prema Senju locirani su i potresi intenziteta IX° MCS. U ovom stoljeću dogodili su se slijedeći najjači potresi:

- Bribir-Grižane kod Crikvenice: 12. ožujka 1916. godine; magnituda 5,8; dubina žarišta 18 km; epicentralni intenzitet VIII° MCS;
- Senj: 11. rujna 1925. godine; magnituda 4,8; dubina žarišta 30 km; epicentralni intenzitet V° MCS;
- otok Krk: 6. veljače 1939. godine; magnituda 4,9; dubina žarišta 12 km; epicentralni intenzitet VII° MCS;
- Ilirska Bistrica: 31. siječnja 1956. godine; magnituda 5,1; dubina žarišta 14 km; epicentralni intenzitet VII° MCS.

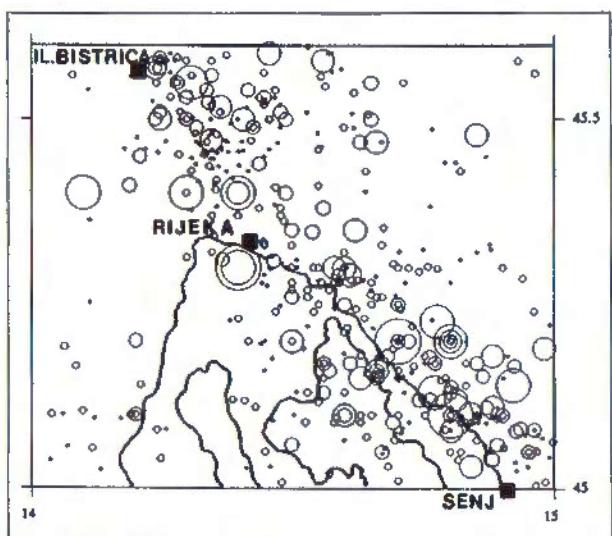
U obuhvaćenom području razlikuju se tri regionalne strukturne jedinice: Istra (I u sl. 2), Adrijatik (II) i Dinarik (III). Njihovim granicama protežu se zone reversnih rasjeda. Za razliku od DEL BEN et al. (1991) vjerojatan je nastavak Riječkog rasjeda (2) prema dolini Raše, a rasjeda Ilirska Bistrica-Vinodol-Senj prema Postojni. Takoder uz istočnu obalu Istre u seizmičkim profilima utvrđeni su strmi, reversni rasjedi (sl. 2). Usporedba strukturnog sklopa i nizanja epicentara potresa (sl. 1) pokazuje seismogenost jedinica Adrijatika i Dinarika, pogotovo šire njihove dodirne zone. Recentni tektonski pokreti, uzročnici javljanja potresa, mogu se odrediti iz podataka strukturno-geološkog mjerjenja u graničnoj zoni Dinarika oko Rijeke i u sjevernom dijelu

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

²Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Geofizički zavod, Horvatovac b.b., 10000 Zagreb, Hrvatska.

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

⁴Geofizika, Savska 64, 10000 Zagreb, Hrvatska.

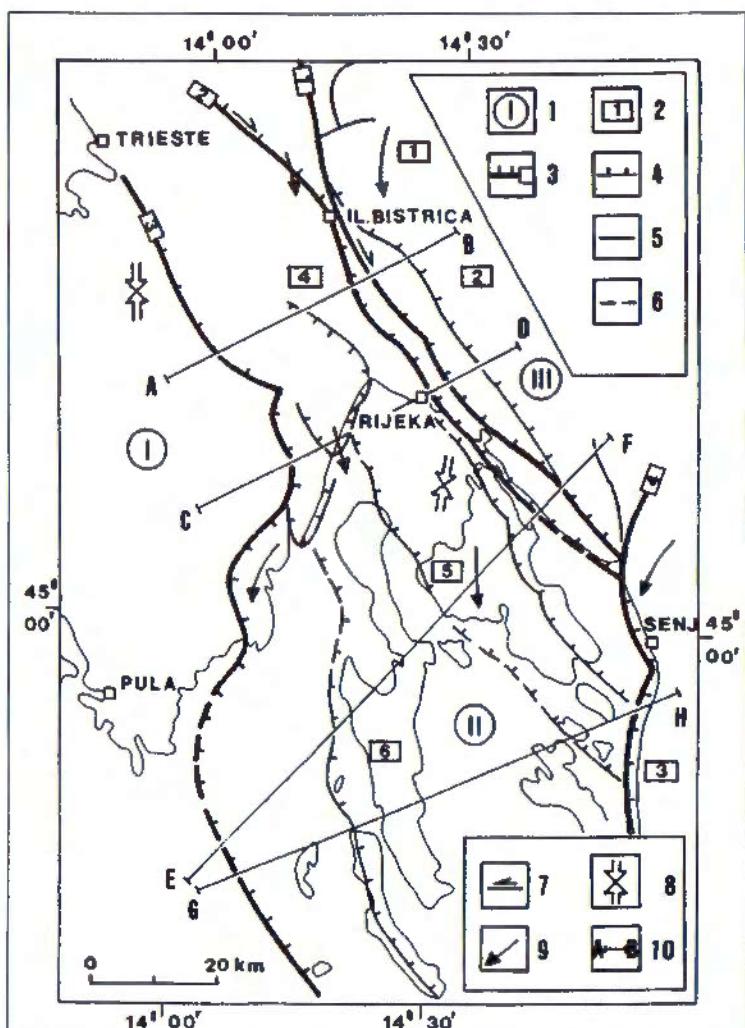


Sl. 1 Karta epicentara potresa.
Fig. 1 Map of earthquake epicenters.

otoka Krka. Razlikuju se dva tektonski aktivna razdoblja. U starijem su oblikovane strukture generalnog pružanja SZ-JI. Ključno razdoblje počinje u gornjem pliocenu i traje do danas (PRELOGOVIĆ & KRAN-

JEC, 1983; PRELOGOVIĆ, 1989). Zamijećene su slijedeće činjenice: znatna promjena djelovanja stresa približno u pravac S-J (Rijeka između 340-160° do 355-175°, inklinacije 5-7° i otok Krk između 350-170° do 13-193°, inklinacije oko 10°), zatim boranje naslaga pružanja Z-I, te izraženi desni pomaci krila duž izdvojenih reversnih rasjeda. U detaljima, primjerice na otoku Krku, javljaju se i strmi rasjedi pružanja SSZ-JI s desnim razmicanjem, te sustavi pukotina i zjapečih rasjeda orijentacije SI-JZ. Kalcitne taložine u špiljama stare su oko 40.000 godina (JAMIČIĆ et al., 1995).

Za prikaz seismotektonski aktivnih zona u prostoru izabrana su četiri profila (sl. 3). Žarišta potresa nalaze se u prostoru do 30 km, uz Velebit 36 km dubine. Koncentracije žarišta potresa mogu se usporediti sa zonama rasjeda. Uključujući još neke dubinske podatke dobiveni su i nagibi seismotektonski aktivnih zona. Obraća se pozornost na aktivne zone između rasjeda Ilirska Bistrica-Vinodol-Senj (1) i Raša-Rijeka (2): veoma strmi nagib u profilima A-B, C-D, te blaži u profilu E-F (sukladno zapažanjima BLAŠKOVIĆA, 1991, i DEL BEN et al., 1991) uz proširenje aktivne zone uključenjem rasjeda otoka Krka.



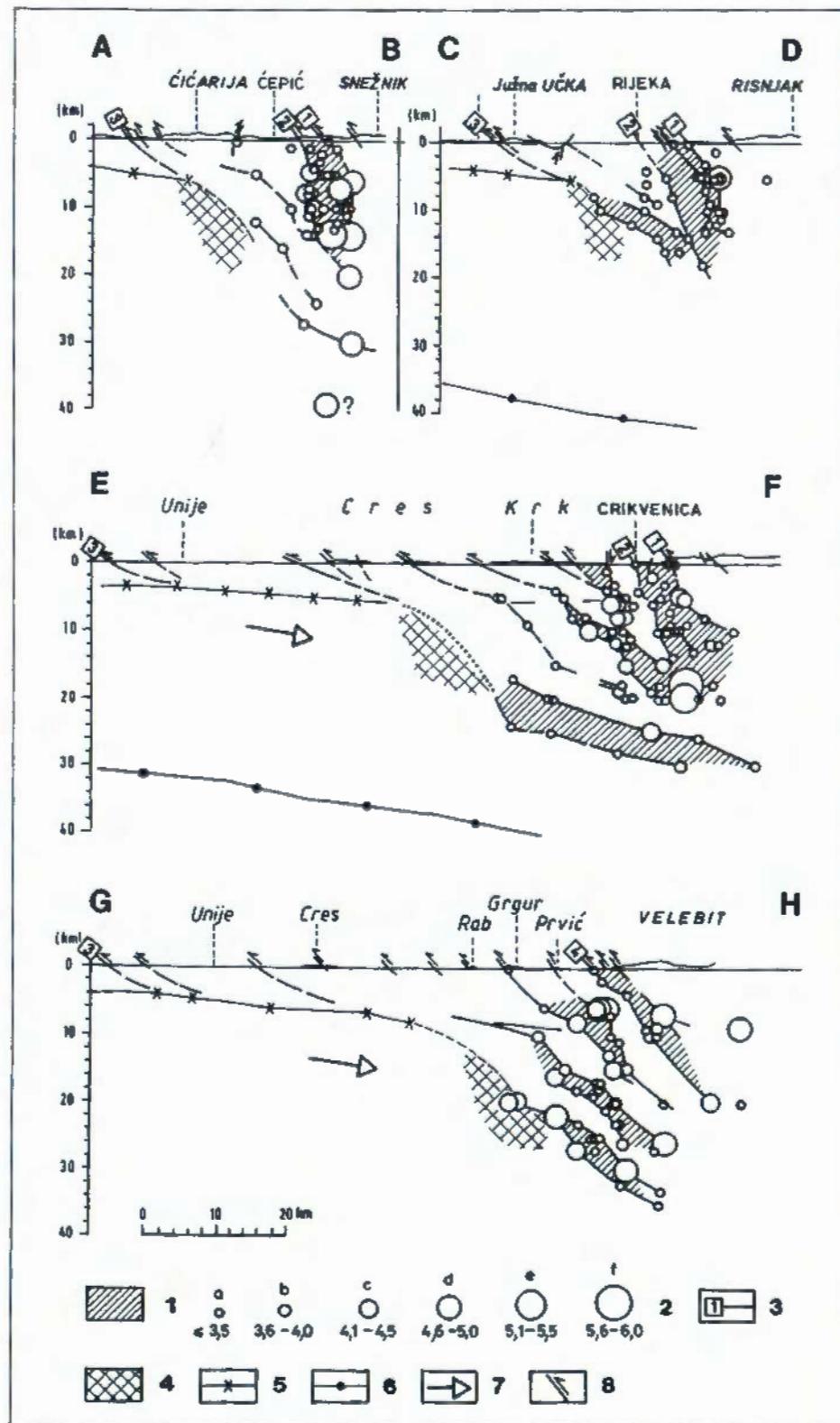
Sl. 2 Struktorna karta. Tumač: 1 - regionalne strukturne jedinice: Istra (I), Adriaticum (II), Dinaricum (III); 2 - strukturne jedinice: Pivka - Snežnik (1), Risnjak - Velika Kapela (2), Velebit (3), Čićarija - Učka (4), Rijeka - Krk (5), Cres - Rab (6); 3 - najvažniji rasjedi strukturnog sklopa: rasjed Ilirska Bistrica - Vinodol - Senj (1), rasjed Raša - Rijeka (2), rasjed Čićarija - Učka - Lošinj (3), Velebitski rasjed (4); 4 - reversni rasjedi; 5 - rasjedi bez sigurno definiranog karaktera; 6 - prepostavljene dionice rasjeda; 7 - rasjedi s naznakom horizontalnog pomaka; 8 - stres; 9 - pomaci struktura uz površinu; 10 - seismotektonski profili.

Fig. 2 Structural map. Legend: 1 - regional structural units: Istra (I), Adriaticum (II), Dinaricum (III); 2 - structural units: Pivka - Snežnik Mt. (1), Risnjak Mt. - Velika Kapela Mt. (2), Velebit Mt. (3), Čićarija Mt. - Učka Mt. (4), Rijeka - Krk (5) Cres - Rab (6); 3 - the most important faults in structural framework: fault Ilirska Bistrica - Vinodol - Senj (1), fault Raša - Rijeka (2), fault Čićarija Mt. - Učka Mt. - Lošinj (3), Velebit Mt. fault (4); 4 - reverse fault; 5 - fault without surely defined character; 6 - supposed fault sections; 7 - fault with marked horizontal displacement; 8 - stress orientation; 9 - displacement of structures close to the surface; 10 - seismotectonic profiles.

ZAKLJUČAK

Na temelju prikazanih podataka uočava se seizmotektonski model. Temeljni su pomaci Jadranske platforme i odupiranje masa stijena Dinarida. U dodirnoj zoni u prostoru se javljaju potresi. Profili pokazuju najprije blago podvlačenje masa stijene Jadranske platforme. Rasjed Čićarija-Učka-Lošinj (3) u dubini se

podudara s podinskom plohom karbonatnog kompleksa naslaga. Približno na potezu otok Rab-Čićarija slijedi naglo, relativno strmo podvlačenje. Između tog poteza i granice Dinarika u reversnim zonama javljaju se potresi. U aktiviranju tog prostora bitni su odnosi i spomenuti pomaci glavnih masa stijena. Orientacija stresa ukazuje da je u tijeku rotacija i naglašeno desno pomičanje struktura osobito u graničnoj zoni Dinarika.



Slika 3 Seizmotektonski profili.
Tumač: 1 - seizmotektonski aktivna zona, 2 - epicentri potresa (oznake magnituda), 3 - najvažniji rasjedi strukturnog sklopa: rasjed Ilirska Bistrica - Vinodol - Senj (1), rasjed Raša - Rijeka (2), rasjed Čićarija - Učka - Lošinj (3), velebitski rasjed (4); 4 - zona većih gravimetrijskih gradjenata; 5 - podinska ploha karbonatnog kompleksa naslaga; 6 - Mohorovičićev diskontinuitet; 7 - smjer podvlačenja Jadranske platforme; 8 - smjer pomaka krila rasjeda.

Fig. 3 Seismotectonic profiles.
Legend: 1 - seismotectonically active zone; 2 - earthquake epicenters with marked magnitudes; 3 - the most important faults in structural framework: fault Ilirska Bistrica - Vinodol - Senj (1), fault Raša - Rijeka (2), fault Čićarija Mt. - Učka Mt. - Lošinj (3), Velebit Mt. fault (4); 4 - zone of higher gravimetric gradients; 5 - basal surface of carbonate sedimentary complex; 6 - Moho layer; 7 - direction of subduction of Adriatic platform; 10 - direction of displacement on a fault.

LITERATURA

- ALJINoviĆ, B., PRELOGOViĆ, E. & SKOKO, D. (1987): Novi podaci o dubinskoj geološkoj gradi i seismotektonski aktivnim zonama u Jugoslaviji.- Geol. vjesnik, 40, 255-263, Zagreb.
- ANDERSON, H. & JACKSON, J. (1987): Active tectonics of the Adriatic region.- Geophy. J.R.A.S., 91, 937-983.
- BENAC, Č. (1995): Inženjerskogeološke osobitosti obalnog pojasa i podmorja riječkog zaljeva.- Disertacija, Rud.-geol.-naftni fak. Sveučilišta u Zagrebu, 1-152, Zagreb.
- BIONDIĆ, B., CVIJANoviĆ, D., SKOKO, D. & VULIĆ, Ž. (1975): Seismotektonika područja Rijeke.- Zbor. radova Jug. simpozija seizmikorajonizaciji, 19, 1-5, Plitvička jezera.
- BLAŠKOViĆ, I. (1990): Nova globalna tektonika i primjena koncepte u području Jadranskog mora.- Pomorski zbornik, 28, 555-587, Rijeka.
- BLAŠKOViĆ, I. (1991): Raspored uzdužnih, reversnih i normalnih rasjeda i konstrukcija oblika i dubine ploha podvlačenja.- Geol. vjesnik, 44, 247-256, Zagreb.
- CARULLI, G.B., NIKOLICH, R., REBEZ, A. & SLEYKO, D. (1990): Seismotectonics of the Northwest External Dinarides.- Tectonophysics, 179, 11-25, Amsterdam.
- DEL BEN, A., FINETTI, I., REBEZ, A. & SLEYKO, D. (1991): Seismicity and seismotectonics at the Alps-Dinarides contact.- Boll. di Geofis. Teor. ed App., XXXIII/130-131, 155-176, Trieste.
- GRÜNTHAL, G. & STORMEYER, D. (1986): Stress pattern in Central Europe and adjacent areas.- Gerlands Beitr. Geophysik, 95/5, 443-452, Leipzig.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi i mobilistički osvrt na genezu i strukturu.- Acta geologica 21/2, 35-117, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D., PRELOGOViĆ, E. & TOMLJENoviĆ, B. (1995): Folding and deformational style in overthrust structures on Krk island (Croatia).- Mech. of Jointed and Faulted Rock, 359-362, Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- MARTINIS, B. (1975): The Friulian and Julian Alps and Pre-Alps. Struct. model of Italy.- C.N.R., Quaderni de "La Ricerca Scient.", 90, 17-49, Roma.
- PRELOGOViĆ, E. (1989): Neotectonic movements in the Northern part of Mt. Velebit and a part of Lika (SW Croatia).- Geol. vjesnik, 42, 133-147, Zagreb.
- PRELOGOViĆ, E., BLAŠKOViĆ, I., CVIJANoviĆ, D., SKOKO, D. & ALJINoviĆ, B. (1981): Seismotektoniske karakteristike vinodolskog područja.- Geol. vjesnik, 33, 75-93, Zagreb.
- PRELOGOViĆ, E. & KRANJEC, V. (1983): Geološki razvitak područja Jadranskog mora.- Pomorski zbornik, 21, 387-405, Rijeka.
- RITSEMA, A.R. (1974): The Earthquake mechanism of the Balkan Region.- UNDP Project R. 3EM, 70/172, UNESCO, Skopje.
- SKOKO, D., PRELOGOViĆ, E. & ALJINoviĆ, B. (1987): Geological structure of the Earth's crust above the Moho discontinuity in Yugoslavia.- Geophys. J.R.A.S., 89, 379-382.
- SLEYKO, D., CARULLI, G.B., NIKOLICH, R., REBEZ, A., ZAFERRARI, A., CAVALLIN, A., DOGLIONI, C., CARRARO, F., CASTALDINI, D., ILICETO, V., SEMENZA E. & ZANOLLA, C. (1989): Seismotectonics of the Eastern Southern-Alps: a Review.- Boll. di Geofis. teor. ed App., XXXI/122, 109-136, Trieste.
- VENTURINI, C. (1991): The Upper Adriatic wedge: a hypothesis on the Neogene evolution of the Eastern Southalpine chain.- Geol. del Basemento Italiano. Con. di memoria di Tommaso Cocozza, 80-82, Siena.



Paleogene Depositional History of the Eastern Venetian Basin, Northern Adriatic

Vlasta PREMEC FUČEK¹, Ljubomir BABIĆ², Ivan A. MESIĆ¹,
Željka MARIĆ-ĐUREKOVIĆ¹ & Dubravko LUČIĆ¹

Key words: Paleogene stratigraphy, Off-shore wells,
Northern Adriatic, Venetian Basin

Abstract

Three Paleogene units have been differentiated in the northern Adriatic offshore. (A) Pelagic limestones and marls with bioclastic intercalations are Paleocene to early Middle Eocene in age. The area was neighboring the Istrian Platform. (B) Marls with two types of intercalations of the late Middle Eocene and Late Eocene reflect an introduction of siliciclastic component presumably from the north, and a supply of the carbonate material from the Istrian side. (C) Latest Eocene and Early Oligocene marls have been deposited on the upper slope or outer shelf and reflect a shallowing of this part of the Venetian Basin.

INTRODUCTION

The northernmost portion of the Adriatic offshore area consists of two large-scale units (Fig. 1; JENKO & BISTRičić, 1978; ĐURASEK et al., 1981; CATI et al., 1987). The Istrian Platform to the east shows a thick succession of the Jurassic, Cretaceous, and Paleocene to Middle Eocene carbonates, which were predominantly deposited on a shallow platform (POLŠAK, 1973; TIŠLJAR et al., 1983; KALAC & TARI-KOVAčić, 1986). The carbonates are overlain by Middle to Late Eocene basinal clastics. In contrast, the Venetian Basin situated to the west shows basinal Jurassic and Cretaceous deposits (CATI et al., 1987). The Paleogene sediments have not been documented, although the existence of the early Paleogene Scaglia deposits and Middle-Late Eocene clastics have been recorded in a log published by CATI et al. (1987). The purpose of the present work is to present data on the Paleogene succession in this area based on the study of three deep exploration wells (Fig. 1).

THREE PALEOGENE STRATIGRAPHIC UNITS

The differentiation of three Paleogene units (A, B and C) is based on the character of sediments and geo-

physical logs, well to well correlation, and on the biostratigraphic analysis using planktonic foraminifera (see PREMEC FUČEK, Abstracts-book).

(A) PELAGIC LIMESTONES AND MARLS WITH BIOCLASTIC INTERCALATIONS

Description of sediments. The base of the unit is defined by a decrease in the CaCO₃ content in mudstones down to ca. 85% approximately at the Cretaceous-Paleogene boundary. The unit mostly consists of lime wackestones and mudstones in the lower part, which develops into limy marls, and, only in IM-5, into marls. These fine-grained sediments are rich in planktonic foraminifera and are commonly bioturbated. Bioclastic intercalations and irregular lenses consist of larger benthic foraminifera (commonly *Discocyclina*), smaller benthic foraminifera, and planktonic foraminifera, fragments of corallinaceans, bryozoans, and echinoderms, and clasts of platform carbonates.

Depositional environments. Lime mudstones and wackestones with planktonic foraminifera are pelagic deposits. The bioclastic intercalations reveal an introduction of particles from a carbonate shelf and slope by gravity flows. Locally occurring irregular and patchy forms of bioclastic packstones were probably produced by sliding and/or mudflows, and the depositional setting was probably situated on a slope or at the base of slope.

Age. Planktonic foraminifera enable recognition of the Paleocene and Early Eocene times, and besides, the standard biostratigraphic zones P 10, P 11, and the lower part of the zone P 12 (early Middle Eocene) (BERGGREN & MILLER, 1988).

(B) MARLS WITH INTERCALATIONS OF MIXED AND BIOCLASTIC COMPOSITION

Description of sediments. This unit is 400-500 m thick, and its upper part in IM-5 was removed by erosion (Fig. 2). The sediments are dominantly marls, which contain intercalations of thin siltstones and sandstones of mixed carbonate-siliciclastic composition, and intercalations of bioclastic beds. Marls are rich in

¹INA-Industrija naftne, Naftaplin, Geological Exploration & Development Division, Laboratory Research Dept., Lovinčićeva 1, 10000 Zagreb, Croatia.

²Institute of Geology and Paleontology, Dept. of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Kralja Zvonimira 8, 10000 Zagreb, Croatia.

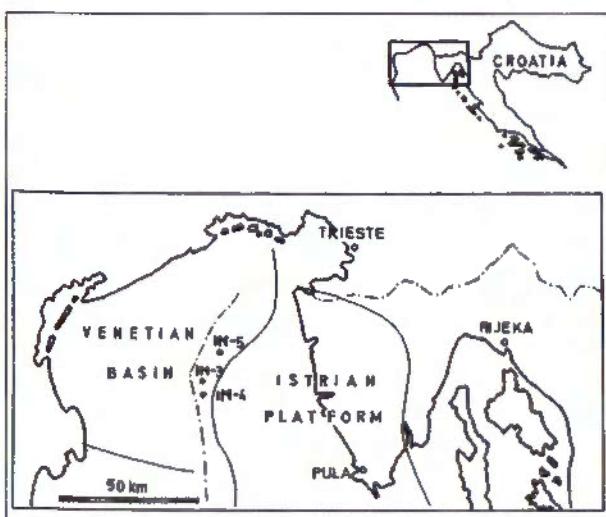


Fig. 1. Situation of three wells studied and the boundary between the Istrian Platform and Venetian Basin according to JENKO & BISTRČIĆ (1978).

planktonic foraminifera. The sandstones and siltstones show sharp bases, occasional horizontal lamination, and vertical size grading. Non-carbonate particles are quartz, biotite, muscovite, and chlorite. Bioturbation is common. The bioclastic sediments are similar in form and composition as those in the unit (A).

In IM-5 there are soft-sediment bending and liquefactional deformations of marly and silty material, and marly and silty clasts floating in muddy matrix. Pebbles of sandstone, quartz, and coal may be associated.

Depositional environment. Marls rich in planktonic foraminifera are hemipelagic sediments. Thin sandy and silty beds of mixed composition are likely to represent distal turbidites. The Istrian Platform could not produce such detritus, and it must have derived from sources situated to the north, which must have experienced a tectonic deformation, which induced a supply of non-carbonate. Soft-sediment deformations and floating marl clasts in the upper part of the unit (IM-5) have been produced by slope failure, which resulted in mud flows, and indicate a sloping topography. Associated extraclast pebbles, including a coal pebble, reflect the advance of the coast. This is also indicated by an increase of the proportion of smaller benthic foraminifera in washed samples around the boundary between units (B) and (C), and in presumed upper slope or shelf environment for the overlying unit (C).

Age. The unit corresponds to the upper part of the zone P 12, then P 13, P 14, P 15, and P 16, i.e. to the late Middle Eocene and a greater part of the Late Eocene (BERGGREN & MILLER, 1988).

(C) MARLS

Description of sediments. This unit occurs in two wells, and is lacking in IM-5, where Pliocene deposits directly overlie the unit (B) (Fig. 1). The unit is represented by monotonous silty marls with rare and thin

siltstone beds. The marls contain abundant planktonic foraminifera. In contrast to the lower units which were characterized by more than 80 and 90% of planktonic foraminifera in washed samples, their proportion in this unit dropped to some 50%.

Depositional environment. The quiet environment of the monotonous marls with the proportion of planktonic foraminifera of ca. 50% probably indicate an upper slope or outer shelf environment.

Age. Planktonic foraminifera indicate the zones P 17, P 18, P 19, and P 20 corresponding to the uppermost Late Eocene and Early Oligocene (BERGGREN & MILLER, 1988).

CONCLUSION: PALEOGEOGRAPHIC SETTING AND EVOLUTION

The beginning of the Paleogene succession reflects a continuation of the Late Cretaceous deeper-water deposition (VESELI et al., Abstracts-book). The lower part of the succession (Unit A -Paleocene to early Middle Eocene), which is dominantly pelagic, originated within an eastern portion of the Venetian Basin neighboring the shallow carbonate environments and talus of the Istrian Platform.

The basin, as well as the Istrian Platform, persisted during the late Middle Eocene and the most part of the Late Eocene (Unit B). This part of the basin was filled with hemipelagic marl, with detritus derived from northerly situated deformed regions, and with carbonate material derived from the Istrian Platform.

At the end of the Eocene and during the Early Oligocene the depositional area was an upper slope or shelf showing a monotonous marl deposition (Unit C). The supply from the Istrian Platform ceased.

REFERENCES

- BERGGREN, W.A. & MILLER, K.G. (1988): Paleogene tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetobiochronology. - *Micropalaeontology*, 34/4, 362-380.
- CATI, A., SARTORIO, D. & VENTURINI, S. (1987): Carbonate platforms in the subsurface of the Northern Adriatic Area. - *Mem. Soc. Geol. It.*, 40, 295-308.
- DURASEK, N., FRANK, G., JENKO, K., KUŽINA, A. & TONČIĆ-GREGL, R. (1981): Contribution to the understanding of oil-geological relations in NW Adriatic area (Engl. summary). - *Proceedings Complex Oil-Geological Problems Off-Shore and Costal Parts of the Adriatic Sea*, 201-213, Split.
- JENKO, K. & BISTRČIĆ, A. (1978): Contribution to the knowledge of the biostratigraphic relationship of Upper Paleogene, Neogene, and Quaternary in the Dugi Otok Basin (Engl. summary). - *Proceedings 9. Congr. Geol. Jugosl.*, 25-39, Sarajevo.
- KALAC, K. & TARI-KOVAČIĆ, V. (1986): Paleogene deposits in the Adriatic subsea (Engl. summary). - *Proceedings 11. Congr. Geol. Jugosl.*, 2, 285-299, Tara.
- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. (1973): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100,000. Geology of Rovinj sheet (Engl. summary). - Federal Geological Institute, Beograd, 51p.

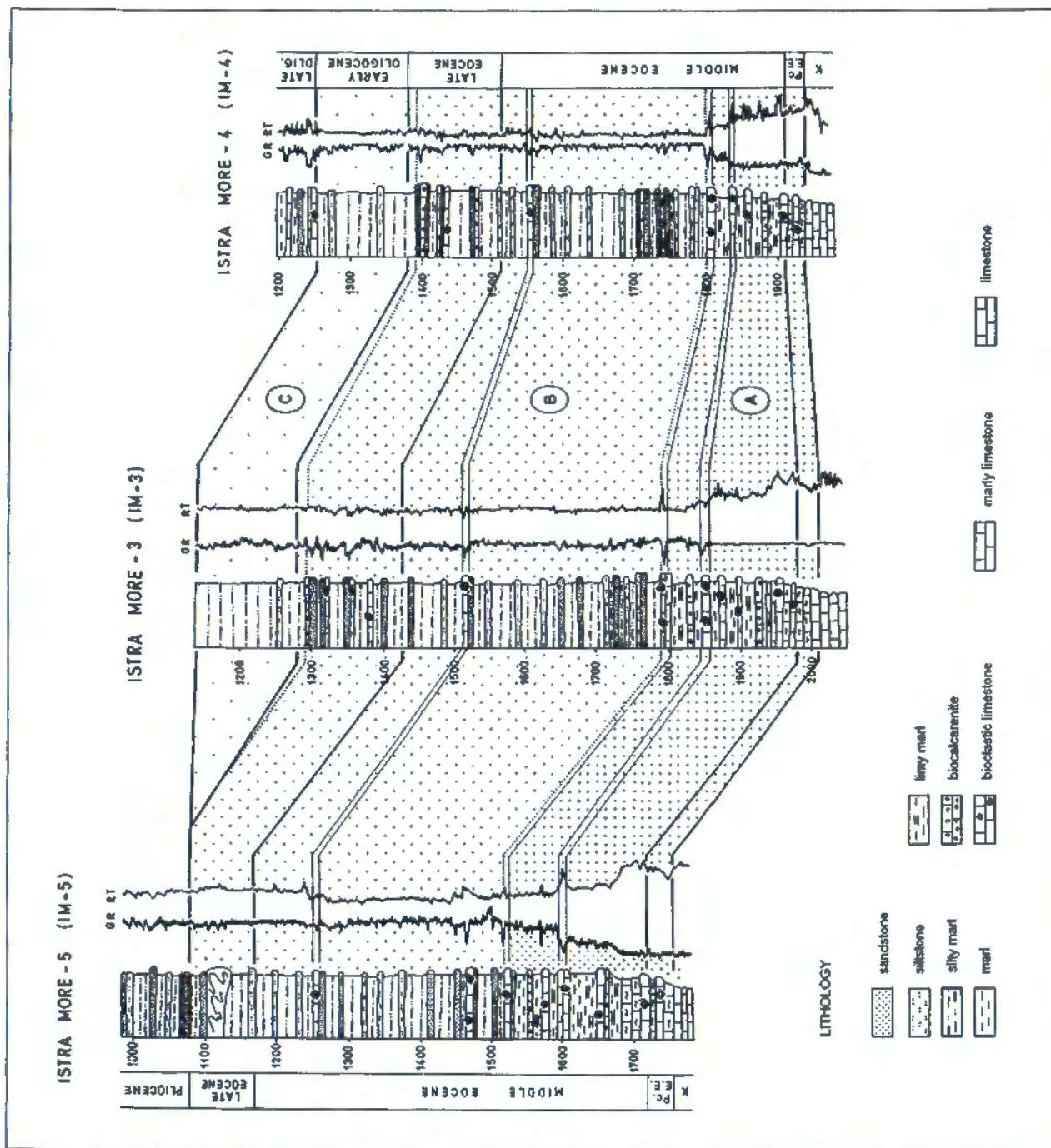


Fig. 2. Paleogene successions in three deep wells in the Northern Adriatic with simplified lithology. Important bioclastic intercalations/horizons used as markers are outlined. A, B, and C are three units differentiated in this paper.

TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., RADOVČIĆ, J. & CRNKOVIĆ, B. (1983):
Upper Jurassic and Cretaceous peritidal, lagoonal, shallow marine and perireefal carbonate sediments of Istria.- In: BABIĆ, Lj. & JELASKA, V. (eds.): Contributions to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. Excursion Guidebook, 4th Inter. Assoc. Sedim. Regional Meeting, 13-35, Split.

Taxonomy and Biometry (Applied to the Eocene Corals from the Island of Krk - Croatia)

Nediljka PRLJ-ŠIMIĆ¹, Jasenka SREMAC² & Vlasta ČOSOVIĆ²

Key words: Solitary corals, Eocene, Biometry, Micro-structure, External morphology, Krk Island, Croatia

Abstract

Numerous solitary corals have been collected from the Eocene sediments at the island of Krk. The great abundance of specimens, along with the good preservation, allowed the implementation of biometrical analysis. At scatter diagrams two distinct clusters can be distinguished, confirming existence of two coral species: *Nicaeotrochus cyclolitoides* (BELLARDI) and *Chevalieriphyllia costata* (D' ACHIARDI). Greater variability of parameters occurs in *C. costata* specimens, which is probably caused by stronger sensitivity of species regarding the changes in environmental conditions.

MATERIALS AND METHODS

Coral specimens have been extracted from the clastic sediment mechanically with boring tools, and chemically cleaned with the diluted hydrochloric acid. Longitudinal and transverse sections have been exposed through the thin sections or acetate peels for the purposes of microstructural analysis. Several polished specimens have been stained with Indian Ink in order to accentuate the difference between the skeleton and the infillings or secondary calcite overgrowths.

For biometrical analysis the following parameters have been measured (Fig. 1):

- the largest diameter of the calyx (D);
- the smallest diameter of the calyx (d);
- the total height of the calyx (H).

The obtained data have been plotted in scatter diagrams and histograms.

INTRODUCTION

The abundant coral fauna, composed of the numerous solitary corals and several coral colonies has been collected from the Eocene marls and sandstones at the localities Risika, Baška Nova and Baščanska Draga on the island of Krk. This fauna is a part of the large fossil collection of the Croatian Natural History Museum in Zagreb.

The existence of corals from this area has been known for the long time (OPPENHEIM, 1914; MATOUŠEK, 1924), but the fauna has not been studied in detail.

During the postgraduate studies, N. Prlj-Šimić (1994) has determined coral taxa on the basis of macro-structural and microstructural elements.

Dominant forms are *Nicaeotrochus cyclolitoides* (BELLARDI) with over 200 specimens, and *Chevalieriphyllia costata* (D' ACHIARDI) with over 20 specimens.

The existence of such large number of specimens initiated the biometrical study.

TAXONOMY

For the long time the determination of corals has been based exclusively upon the external morphology (shape of the calyx, number and shape of the costae, number and arrangement of the septa). Recent investigations of the benthos in general have shown the great dependence of the external morphology to the environmental conditions (water energy, light penetration, nutrients).

Therefore, the need for the more reliable criteria in taxonomy has appeared. In coral taxonomy the analysis of microstructure became unavoidable. Dissepiments, pali, trabeculae and other internal skeleton elements should be examined from longitudinal or transverse sections of the calyx.

Among the numerous coral specimens collected at the island of Krk, small (1-3 cm in diameter) cone-shaped scleractinian corallites with small basal portion prevail. Dominant form has been determined as *Nicaeotrochus cyclolitoides* (BELLARDI), (BARTA-CALMUS, 1973, 1987), with 210 specimens. Corallites

¹Croatian Natural History Museum, Demetrova 1, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²University of Zagreb, Faculty of Science, Department of Geology and Paleontology, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

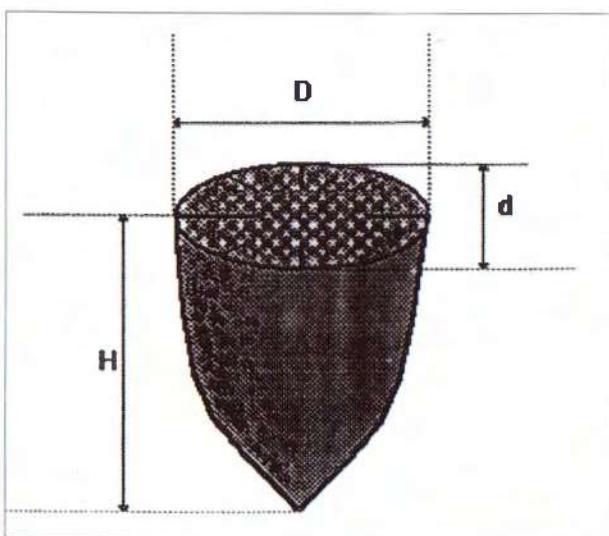


Fig. 1. Schematic reconstruction of coral calyx showing the way of measuring the parameters H (the total height of the calyx), d (the smallest diameter of the calyx) and D (the largest diameter of the calyx) (not in scale).

resemble the acorn-cap in outline. The external surface is covered with longitudinal costae. The transverse section is circular with about 120 septa arranged in 5 to 6 cycles. Columella and pali are absent. Dissepiments, synapticulae and complex trabeculae are visible. Column wall is paraseptothecal. This species is widely distributed at three localities (Baška Nova, Baščanska Draga and Risika).

At Risika locality *N. cyclolitoides* specimens are accompanied with similar cone-shaped corallites (22 specimens); elliptical in transverse section and with slightly curved basal portion. These specimens have been determined as *Chevalierophyllum costata* (D'ARCHIARDI) (RUSSO, 1979). Their external surface is ornamented with two orders of longitudinal costae. More than 100 septa are arranged in 6 cycles. Pali and dissepiments are absent. Columella is parietal and trabeculae are complex. Column wall is septothecal.

BIOMETRY

In the last decade the application of biometrical studies in corals has been introduced (BARTA-CALMUS, 1987) in order to complement the taxonomical criteria.

The authors have applied this method for the first time to the coral specimens from Croatia. The method has been improved by introducing a new parameter - total calyx height - in biometrical studies.

Pairs of parameters (the largest diameter versus the smallest diameter of calyx; the largest diameter against the total calyx height and the smallest diameter against the total calyx height) yielded the scatter diagrams in which the two separate clusters can be distinguished. The means of the size parameters of calyx are invariably well correlated (some of the combinations are

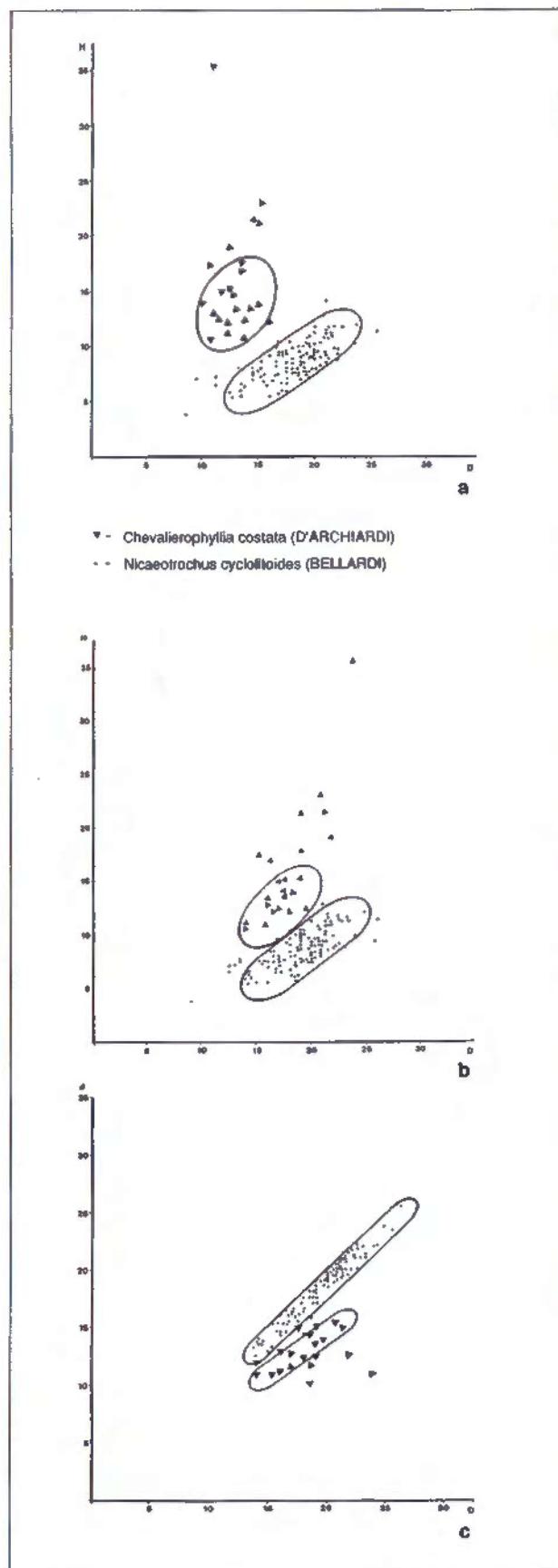


Fig. 2 a-c. Scatter diagrams of H , d and D and combinations for *N. cyclolitoides* and *C. costata* specimens (all measurements in mm) from the Risika site.

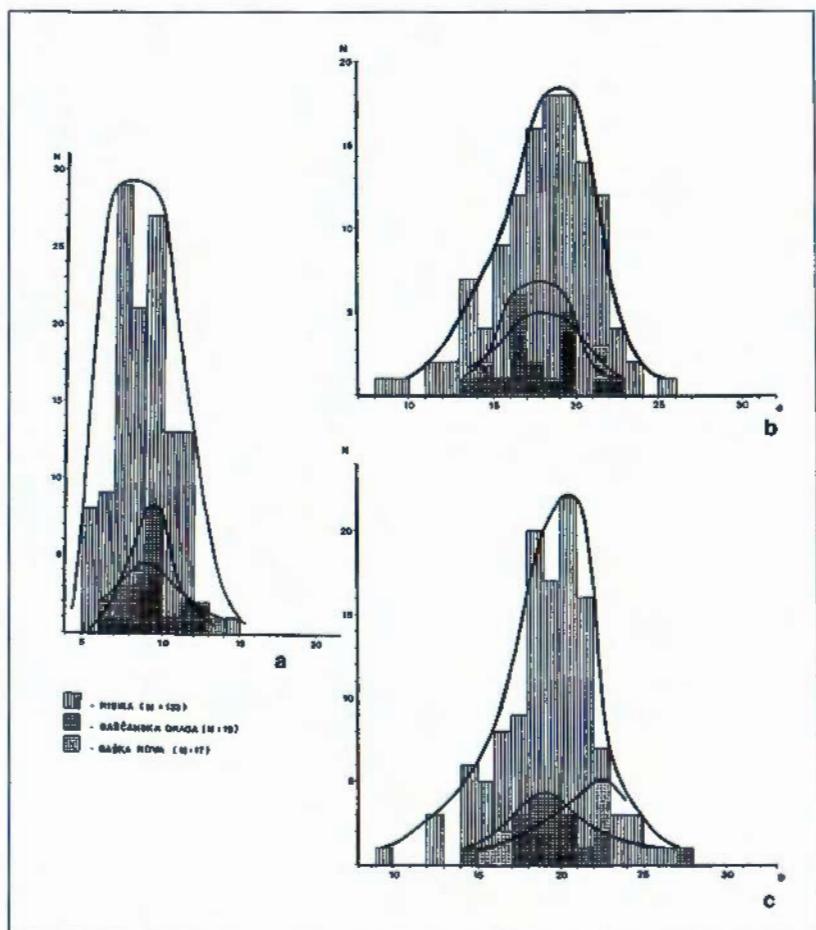


Fig. 3 a-c. Histograms of H, d and D for the species *N. cyclolitoides* from three studied localities (N - indicates the number of individuals). Frequency distribution reflects homogeneous populations.

shown in fig. 2 a-c). The clusters of *C. costata* species are relatively wide compared to the more elongate clusters of the pairs of parameter means in *N. cyclolitoides* specimens. The overlap between the clusters of these two species is almost excluded. The poorer positive correlation in clusters related to the species *C. costata* gave us the opportunity to consider the environmental conditions (substrate, depth, salinity,...) as the factor influencing the final external morphology in *C. costata* individuals.

The frequency distribution (Fig. 3 a-c) of all observed parameters in *N. cyclolitoides* specimens from the three different sites indicates fairly normal distribution in unimodal pattern.

CONCLUSIONS

Abundant, but uniform coral fauna has been collected at three localities at the island of Krk. The two scleractinian species *Nicaeotrochus cyclolitoides* (BEL-LARDI) (210 specimens) and *Chevalieriphyllia costata* (D'ACHIARDI) (22 specimens) have been determined on the basis of external morphology and microstructure.

Biometrical analysis has been applied considering the largest and the smallest diameter as well as the total height of the calyx. Two separate clusters confirming the existence of the two species can be clearly distinguished at scatter diagrams (fig. 2 a-c). The less correlative clusters of *C. costata* indicate the higher sensitivity of this species to the environmental factors. Thus can be explained the smaller number of specimens and the limited distribution of this species. Unimodal pattern of the frequency distribution for *N. cyclolitoides* corallites refers to the fairly normal distribution, and in situ character of the coral fauna.

Monospecific or duospecific fauna at Risika, Baška Nova and Baščanska Draga localities provides the evidence for unfavourable environmental conditions.

Considering the recent distribution of solitary corals in warm seas, depth of over 100 meters can be presumed.

REFERENCES

- BARTA-CALMUS, S. (1973): Revision de collections de medrepraires provenant du Numulitique du Sud-Est de la France, de l'Italie et de la Yougoslavie septentrionales.- PhD Thesis, Univ. Paris VI, I - 695, Paris.
- BARTA-CALMUS, S. (1987): *Pattalophyllia D'Achiardi* 1867 et *Nicaeotrochus* nov. gen. Definition des taxons les composant (Scleractiniaires, Caryophlliidae) au Tertiaire.- Bull. Soc. Sci. hist. nat., 118, 69-93, Paris.
- MATOUŠEK, O. (1924): Geologicke studie v severni Adria, hlavne na ostrove Krku.- Spisy Prir. fak. Karlovy univ. v Praze, 36, Praha.
- OPPENHEIM, P. (1914): Die Eozäna fauna von Besca Nuova auf der Insel Veglia.- Verh. Geol. Reichsanst., 7/8, 189-202, Wien.
- PRLJ-ŠIMIĆ, N. (1994): Eocenska koraljna fauna Hrvatske.- Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zagreb, 72p.
- RUSSO, A. (1979): Studio monografico sui Coralli dell'Eocene di Possagno (Treviso, Italia).- Acc. Naz. Sc. Lett. Art Modena, 6/21, 1-87, Modena.



Strukturni i paleomorfološki uvjeti postanka sintektonskih breča na Ćićariji

Božo PRTOLJAN, Nenad OŠTRIĆ, Ladislav FUČEK, Mirjana MIKNIĆ & Igor VLAHOVIĆ

Ključne riječi: karbonatne breče, tektonika, Ćićarija,
Hrvatska

Key words: Carbonate breccia, Tectonics, Ćićarija,
Croatia

Sažetak

U području SI dijela Ćićarije istražena su dva tipa klasičnih karbonatnih breča različitog podrijetla i strukturnog položaja. Stariji brečokonglomerati po svojim svojstvima pretežito odgovaraju Jelar naslagama, a taloženi su na okršenoj cenomanskoj podlozi. Sastoje se od promjenljivog udjela uglastih, poluuglastih i zaobljenih klasta cenomanskih vapnenaca i dolomita, te foraminferskih vapnenaca. Pored mjestimice vidljivih fragmenata foraminifera u matriksu, unutar paketa se nalaze i slojevi vapnenaca s bentosnim foraminiferama eocenske starosti, koji sadrže valutice vapnenaca i dolomita. Drugi tip breča predstavljaju kaotične, kataklazirane, tektogene monomiktne breče. Zrna su uglavnom angularna, sortiranost je slaba, a veličina fragmenata varira od nekoliko mm do više metara. Pri nastanku ovih breča transport je bio minimalan. Te su breče posljedak djelovanja dispergiranog polja stresa, uslijed čega su cenomanski vapnenci izuzetno raspucani, a tako nastali fragmenti zarušeni u otvorene duboke pukotine.

Abstract

In the NE part of Ćićarija two types of clastic carbonate breccia of different origin and structural position have been determined. Older breccio-conglomerates deposited on karstified Cenomanian beds predominantly correspond to the Jelar deposits. They are composed of variable share of angular, subangular and rounded clasts of Cenomanian limestones and dolomites and Palaeogene Foraminifera limestones. Besides fragments of benthic forams in matrix the succession is characterised by sporadic limestone beds comprising benthic forams of Eocene age and variable amount of rounded clasts of limestones and dolomites. The second type is represented by chaotic, cataclastic tectonic monomict breccias. Clasts are mostly angular, weakly sorted, ranging from few mm to several metre. Transport of clasts was minimal. These deposits are interpreted as being the consequence of dispersed stress field, resulting in intensive tectonic fracturation of Cenomanian deposits, and infilling of clasts formed in this way into deep joints.

1. UVOD

Dosadašnja saznanja o pojавama breča u području Ćićarije temelje se pretežito na istraživanjima ŠIKIĆA et al. (1975). Tada su prvi put izdvojene vapnenačko-dolomitne breče na prijelazu između naslage donje i gornje krede, te breče izdvojene kao dio tzv. flišolikih naslaga. Breče sintektonskog podrijetla spominjane su tek sporadično (BLAŠKOVIĆ & PRELOGOVIĆ, 1966), premda se radi o tektonski izuzetno složenom prostoru. Tek istraživanja novijeg datera, inženjersko-geološki i hidrogeološki orientirana, sporadično dotiču problematiku breča, poglavito se oslanjajući na saznanja o Jelar naslagama iz šireg prostora Dinarida.

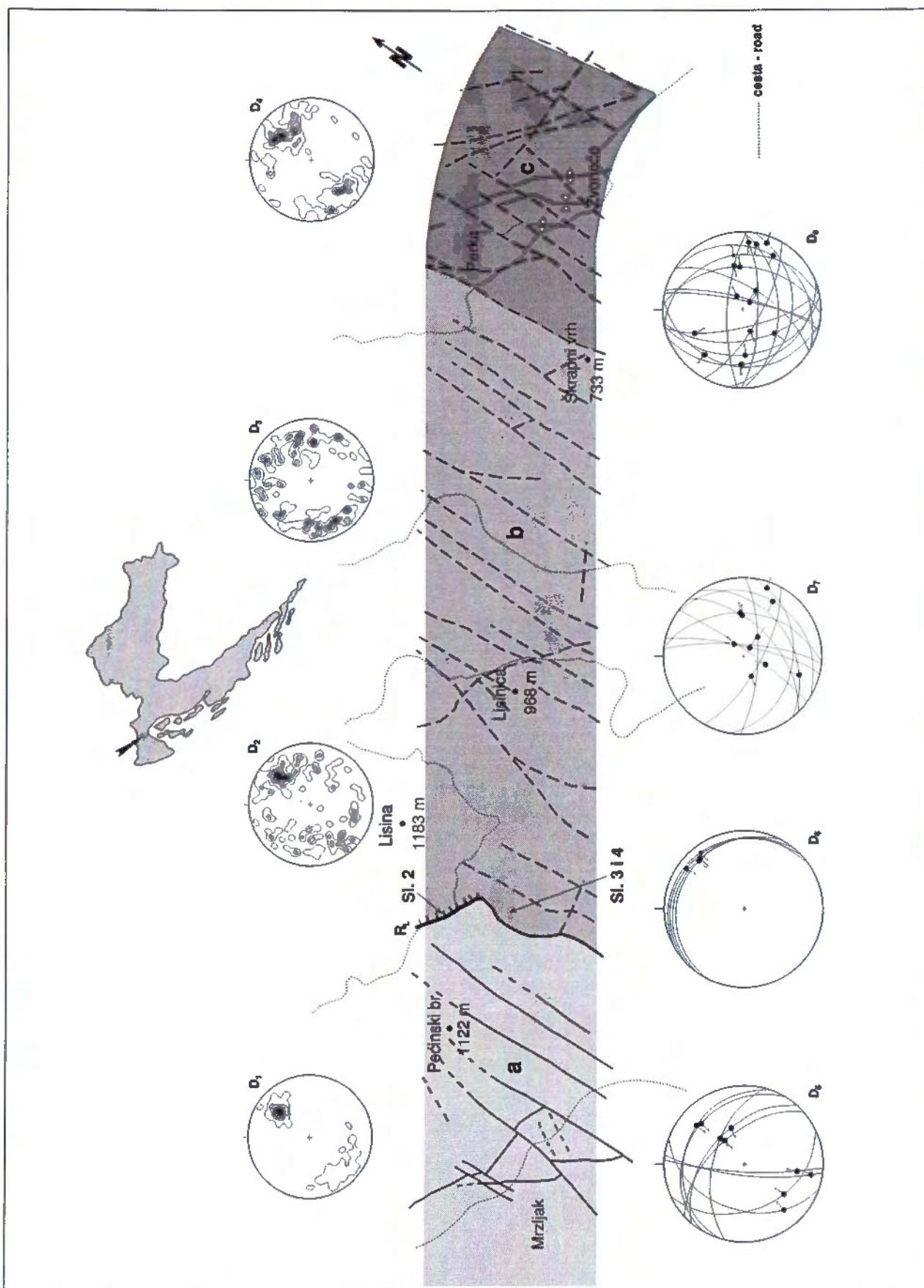
Sedimentološka i strukturolaška istraživanja provedena u sklopu izrade geološke podloge za budući željeznički tunel Ćićarija, rezultirala su novim podacima o strukturi i genezi različitih tipova karbonatnih breča koje se nalaze u ovom području. Ovaj primjer može poslužiti kao predložak za razlikovanje cijelog niza genetski i strukturno različitih tipova breča koje se, nažalost, nerijetko interpretiraju skupno.

Najveću površinu istraživanog terena zauzimaju vapnenačko-dolomitne breče na prijelazu između donje i gornje krede. Te su breče vrlo kompleksnog, nesedimentnog postanka (VLAHOVIĆ et al., 1995).

U ovome su radu na temelju rezultata strukturno-tektonskih i sedimentno-petrografske analize izdvojena još dva tipa klastičnih karbonatnih naslaga koje se pojavljuju isključivo unutar strukturne jedinice Lisina (b na sl. 1): stariji brečokonglomerati, koji po strukturalnim i sedimentnim obilježjima pretežito odgovaraju Jelar naslagama (BAHUN, 1963), i mlade, monomiktne, klastoporne *Lisinske breče* nastale uslijed kolizije blokova u krovinskom krilu plitke navlake tijekom najmladih razdoblja tektonske aktivnosti.

2. POLOŽAJ I STRUKTURA BREČA

Stariji brečokonglomerati se u terenu nalaze na padinama Lisine i Lisinice (sl. 1) u obliku manjih izoliranih pojava dekametarskih do hektometarskih dimenzija. Prvi puta su ih spomenuli BLAŠKOVIĆ & PRELO-



Sl. 1 Shematska karta područja između Mrzljaka i Zvoneća. Označene su tri strukturne jedinice (a - Mrzljak, b - Lisina i c - Zvoneće). Strukturni dijagrami koji pokazuju značajke izdvojenih dijelova istraživanog terena prikazani su pomoću donje polulopte Schmidtove mreže u koju su ucrtni padni pravci ravnina kada su prikazane slojevitosti (dijagrami od D₁ do D₄) i trasama ravnina kada su prikazani rasjedi (dijagrami od D₅ do D₉).



Sl. 2 Monomiktne, klastpotporne *Lisinske breče*.

GOVIĆ (1966), opisujući ih kao nove nalaze prominskih naslaga, čime su ih jasno odvojili od obližnjih breča s prijelaza donje u gornju kredu. To su dobro vezani brečokonglomerati taloženi na okršenoj cenomanskoj podlozi, a sastoje se od promjenljivog udjela uglastih, poluuglastih i zaobljenih klasta cenomanskih vapnenaca i dolomita, te foraminiferskih vapnenaca (uglavnom mikrita s alveolinama, rjede klastima orbitolitesa i trematoformnih, krupnih miliolida, npr. *Idalina* sp.). Nerijetko su prisutni i uklopci foraminifera u matriksu, pri čemu prevladavaju sitne miliolidne foraminifere, te rotalide: *Rotalina trochidiformis* LAMARCK, *Smoutina* sp. i dr. Homotrematide i fragmenti acervulinida su rijetki. Od aglutiniranih foraminifera prisutne su Valvulininae: *Chrysalidina* cf. *alva* (SILVESTRI) i *Cribrobulimina?* sp. U matriksu uzorka koji su podrijetlom iz nešto mirnijih okoliša prevladavaju sitne pojedinačne forme (*Rotalia* sp., *Storrsella* sp.), a mjestimice se nalaze i klasti sitnih numulita. Ova zajednica upućuje na donjoeocensku do srednjoeocensku starost ovih naslaga. Unutar paketa brečokonglomerata nalaze se proslojci i slojevi foraminferskih vapnenaca koji sadrže pojedinačne krupne valutice cenomanskih i paleogenskih vapnenaca. Na temelju sedimentoloških i genetskih obilježja ove se breče mogu usporediti sa Jelar naslagama kako su ih definirali BAHUN (1963, 1974) i HERAK & BAHUN (1980), iako se razlikuju po vidljivim proslojcima foraminferskih vapnenaca i bentosnim foraminiferama u matriksu.

Drugi tip su mlade, kaotične, kataklastične monomiktne *Lisinske breče*, koje se nalaze južno od vrha Lisine. Uklopci su uglavnom angularni zbog minimalnog ili nikavog transporta, a sortiranost je vrlo slaba (sl. 2). Fragmenti u breći pripadaju isključivo sivim vekstonima cenomanske starosti, koji u potpunosti odgovaraju okolnim, više ili manje tektonski poremećenim stijenama, a veličina fragmenata se kreće od nekoliko milimetara do nekoliko metara. U zonama gdje su se odvijali intenzivniji tektonski pokreti breče su zahvaćene rekristalizacijskim procesima, tako da je narušena primarna struktura uklopaka. Mjestimice je izražen visok fitting (medusobni odnos korespondira-

jućih ploha). Meduzrnski prostor je uglavnom milimetarskih, rijetko centimetarskih dimenzija, a ispunjen je kamenim brašnom i/ili sparikalcitom. Ove breče na izdancima gdje su jače povezane ostavljaju dojam homogene stijene, dok se na izdancima gdje je cementacija bila slabije izražena drobe pod prstima. Površinu terena koju izgraduju mjestimice karakteriziraju visoki, piridalni stupovi nastali zbog dubokih zjapečih pukotina, što je dodatno naglašeno intenzivnom karstifikacijom. Mjestimice se unutar njih, u zonama većih pukotinskih sustava pružanja sjever-jug, nalaze uklješteni mali izdanci starijih brečokonglomerata koji odgovaraju Jelar naslagama. To dokazuje da su *Lisinske breče* svakako mlade od eocena.

3. STRUKTURNO-TEKTONSKI OKVIR POSTANKA BREČA

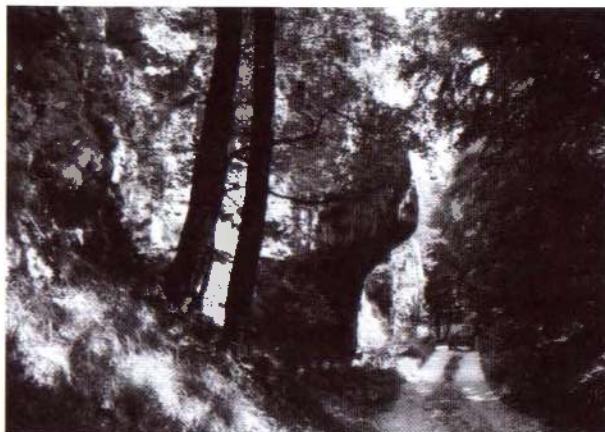
Strukturno tektonski položaj starijih karbonatnih klastita, brečokonglomerata koji se mogu usporediti s Jelar naslagama, treba sagledati u okviru prostornog rasporeda različitih taložnih sustava tijekom njihova taloženja, tj. približno na prijelazu iz paleocena u eocen. Tada su, naime, u području današnje Ćićarije postojali različiti okoliši:

- u jugozapadnom dijelu (ljuskava struktura i područje Planika) prevladavali su uvjeti karbonatne platforme, gdje je na gornjoturonsko-konijačkoj podlozi taložen cijeli slijed foraminferskih vapnenaca sve do prijelaza u fliš;

- u središnjem dijelu (mrzljačka sinklinala) se na podlozi jednake starosti taloži tanki paket foraminferskih vapnenaca (pretežito pomiješani miliolidni i alveolinski vapnenci), vjerojatno u plitkom zaljevu uvučenom u kopno;

- u sjeveroistočnom dijelu na okršenim cenomanskim vapnencima leže opisani brečokonglomerati sa slojevima foraminferskog vapneca, koji upućuju na tektonogeno-siparišne uvjete stvaranja, tj. postojanje uzdignutih i tektonikom raspucanih područja i plitkih zaljeva između njih.

Ukoliko uzmemo u obzir i situaciju na obližnjoj antiklinali Buzet-Savudrija, gdje direktno na gornjem cenomanu transgresivno leže foraminferski vapnenci (VELIĆ & VLAHOVIĆ, 1994), koji u normalnom slijedu prelaze u fliš, možemo zaključiti da je već u doba taloženja foraminferskih vapnenaca postojala izrazita diferencijacija taložnog prostora u širem području Ćićarije. Ovakvu raznolikost možemo tumačiti samo sinsedimentnom tektonikom koja je dovila do nastanka izrazitog reljefa, što je omogućilo razvoj različitih taložnih okoliša na razmjerno malom prostoru. Bitno je naglasiti da opisani brečokonglomerati ukazuju da su uvjeti potrebni za njihov postanak postojali ne samo istovremeno s taloženjem većeg dijela fliša (kako za Jelar naslage na tipičnim lokalitetima navode HERAK



Sl. 3 Morfološka stepenica u području čela navlake Lisine.

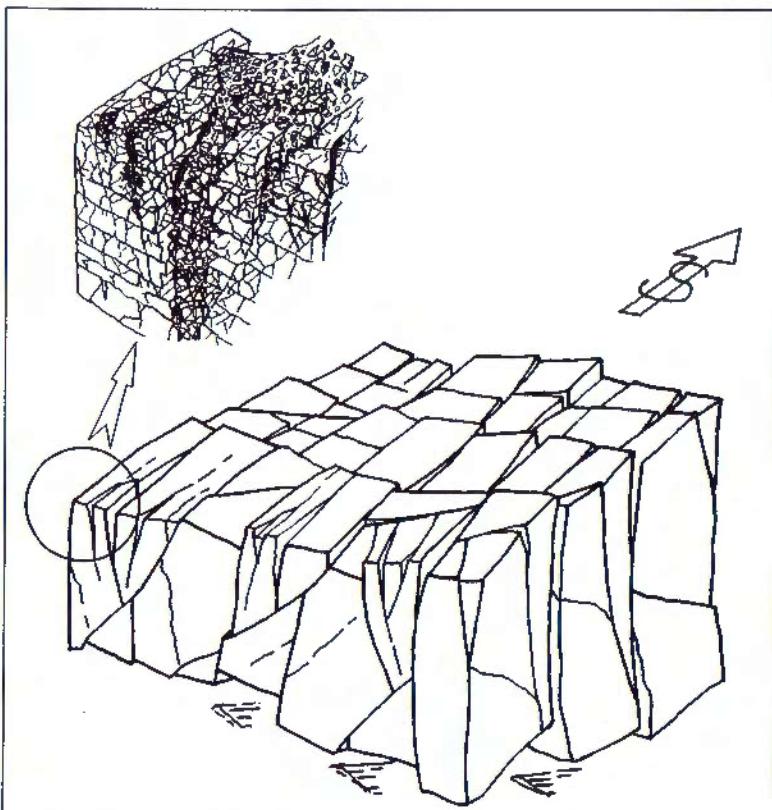
& BAHUN, 1980), već u ovome području i ranije, tj. istovremeno s taloženjem foraminiferskih vapnenaca.

Lisinske breče su do sada bile nepoznate ili su u najboljem slučaju poistovjećivane s drugim vrstama breča. U svrhu definiranja strukturno-tektonskih značajki istraživani teren je podijeljen u nekoliko razmijerno homogenih strukturalnih cjelina (sl. 1). Osnovni kriterij kod izdvajanja pojedinih cjelina bili su pravilnost i konzektventnost strukturalnih elemenata, odnosno njihova kinematska harmoničnost. Na tom su načelu između Mrzljaka i Zvoneća izdvojene tri homogene cjeline. Neke od strukturalnih cjelina podijeljene su u dva ili više manjih blokova, ovisno o tome je li se cijela strukturalna cjelina ponašala homogeno ili je podijeljena rasjedima manjeg inteziteta.

Lisinske breče se nalaze na prostorno ograničenom dijelu istraživanog terena, prije svega zato jer je presudnu ulogu u njihovu strukturalnom položaju i genezi imao reversni rasjed Lisine (sl. 1, R_L). On se pruža jugozapadno od Lisiničkog vrha i razdvaja strukturalnu cjelinu Mrzljaka (a) od Lisine (b). U podinskom krilu mu se nalaze donjoturonski kalcifierski vapnenci, a u krovinskom cenomanske naslage. Osim utjecaja na strukturu breča taj je rasjed imao i vrlo značajnu ulogu u kreiranju tektonskih odnosa u ovome dijelu Čićarije. Sâma paraklaza je mjestimice obilježena približno pet metara širokom zonom rekristaliziranih cenomanskih vekstona unutar koje se ponegdje nalaze 10 do 20 centimetara debele leće dolomitnog grusa i gline. Pružanje paraklaze je od sjeverozapada prema jugoistoku, tj. dinaridsko (sl. 1, D₆), blagog nagiba (10 do 20°) stvarajući 5-10 metara visoku morfološku stepenicu (sl. 3). U području Lisine, gdje se nalaze istraživane breče, taj je rasjed razmaknut mlađim rasjedom pružanja sjever-jug, tako da u tome dijelu na površini nije vidljiva morfološka stepenica.

Iako ovaj rasjed ima veliki utjecaj na cijelokupni strukturalni sklop ovog dijela Čićarije mi ćemo se u ovome radu posvetiti isključivo kinematskim procesima koji su u krovinskom krilu rasjeda generirali *Lisinske breče*.

U dijagramu položaja slojeva (sl. 1, D₂) krovinskog krila rasjeda zapaža se njihov nepravilan raspored, što ukazuje na nehomogenu, dezintegriranu strukturalnu cjelinu. Međutim, ipak se mogu izdvojiti dva skupa podataka. Prvi je predstavljen malim maksimumom u sjeveroistočnom dijelu dijagrama, a odnosi se na dio



Sl. 4 Pojednostavljeni prikaz postanka *Lisinskih breča*.

naslaga koje se prate neposredno uz čelo navlake, kao posljedica male debljine krovinskog krila u ovome dijelu terena.

S druge strane niz malih maksimuma centrifugalno razbacanih po periferiji dijagrama prezentira manje blokove koji se nalaze u zaledu navlačne fronte, odnosno u dijelu strukture koji je udaljeniji od glavne rasjedne plohe. U ovom su dijelu prisutni subparalelni rasjedi koji pripadaju navlačnoj lepezi, kao i mladi rasjedi uz koje je dolazilo do malih pomaka.

Sukladno prethodno iznešenom, dijagrami rupturnih komponenti mjereni u krovini navlake (sl. 1, D₁ i D₄) pokazuju niz rasjeda od subvertikalnih do blago položenih paraklaza. Uz rasjede sjever-jug u ovom se dijelu prate i rasjedi pružanja istok-zapad uzduž kojih su se, kao i uz prethodne, razvijali dekametarski reversni ili, rijeci, normalni skokovi krila. Nerijetko su to samo jaki sustavi zjapecih pukotina uzduž kojih nije bilo znatnijeg pomaka blokova. Tu su još prisutni, premda diskretno, i rasjedi dinaridskog pružanja (sjeverozapad-jugoistok) koji zbog male zastupljenosti nemaju bitnog utjecaja na sklop. Važni su utoliko što ukazuju na prisutnost starijih strukturnih elemenata. Kutovi zakosa strija na mjerenim plohami jako variraju, pa se tako nalaze blokovi kod kojih su kretanja bila vertikalna pa sve do onih sa horizontalnim pomakom. Rasjedi pružanja istok-zapad i sjever-jug ipak nisu imali nekog bitnijeg utjecaja na morfostrukturalna obilježja premda su otvarani u najmladim fazama tektonske aktivnosti. Međutim, oni su uz naslijedene strukture stvorili vrlo kompleksnu tektonsku arhitekturu u kojoj su sile globalnog stresa formirale lokalno, dispergirano polje stresa. U uvjetima ovako velikog rasapa vektorskih komponenti stresa u kroviriskom krilu navlake, blokovi se kaotično premještaju i kolidiraju tijekom navlačenja, a u njima se otvaraju duboke, penetrativne pukotine najčešćeg pružanja sjever-jug. Klastpotporne, monomiktne *Lisinske breče*, koje nalazimo upravo u krovinskom krilu reversnog rasjeda Lisine nastale su drobljenjem materijala *in situ* i ispunjavanjem zjapecih tektonskih pukotina (sl. 4).

Blokovi u krovinskom krilu plitke navlake Lisine vjerojatno nisu dezintegrirani isključivo zahvaljujući rasjedima otvorenim tijekom najmladih razdoblja tektonske aktivnosti. Važnu je ulogu u kreiranju recentnog struktornog sklopa imalo međudjelovanje zatečenih struktura i promjene orientacije globalnog stresa tijekom najmladih razdoblja tektonske aktivnosti.

4. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U postupku postavljanja kinematskog modela za rekonstrukciju slijeda dogadaja koji su prethodili stvaranju recentnog sklopa, odnosno stvaranja breča, pošlo se od prepostavke da su strukture pružanja SZ-JI (dinaridske) bile ishodišne. Opravданost ovakvog pristupa nalazi se u opće prihvaćenoj činjenici da su tijekom pirenejske orogenetske faze većim dijelom stvorene izrazite borane i navlačne strukture Ćićarije (ŠIKIĆ et al., 1975). S druge strane rezultatima geotektonskih i paleomagnetskih istraživanja (DERCOURT et al. 1986; MARTON, 1987) potvrđeno je da su se bitne strukturno-morfološke promjene dogodile tijekom pirenejske orogenetske faze, u kojoj je orientacija globalnog stresa bila sjeveroistok-jugozapad. Tome u prilog govore i saznanja o postojanju različitih taložnih sustava na prijelazu iz paleocena u eocen u području Ćićarije, od onih gdje su na gornjoturonsko-konijačku podlogu taloženi foraminiferski vapnenci i fliš (područje ljuskave strukture i Planika), do tankih paketa foraminferskih vapnaca taloženih u plitkim zaljevima duboko uvučenim u kopno (mrzlijačka sinklinala).

U strukturološkom pogledu, podršku ovim zapažnjima nalazimo u do danas sačuvanom dinaridskom pružanju dijelova strukture Ćićarije (npr. D₁ i D₄ na slici 1). Istodobno je terenskim opažanjima utvrđeno da se te strukture nalaze u područjima razmjerno udaljenim od većih tektonskih zona. To znači da su bile zaštićene od znatnijih deformacija tijekom mlađih razdoblja tektonske aktivnosti, pa su zbog toga sačuvale razmjerno neporemećen zapis djelovanja stresa iz ranijeg stadija tektonske aktivnosti.

S druge strane znatnija odstupanja i narušavanja prije spomenutog pravca pružanja struktura vjerojatno su posljedica deformacija koje se dogadaju tijekom kasnijih razdoblja tektonske aktivnosti. Posebno se to odnosi na razdoblje neogena, kada je orientacija globalnog stresa poprimila pravac djelovanja sjever-jug (GRUNTAL & STROMAYER, 1986).

Bitno je uvažiti i činjenicu da variranje, odnosno nehomogeno ponašanje trajektorija stresa može biti posljedica utjecaja rasjeda i pukotinskih sustava (DELAIR, 1977; LIU, 1983), koji su se razvili u ranom stadiju stvaranja strukture. Tako se tijekom novijeg razdoblja tektonske aktivnosti, zahvaljujući utjecaju starijih struktura, formira heterogeno polje stresa, što rezultira kaotičnom disjunkcijom starijih struktura.

U svakom slučaju, neprijepornu ulogu u stvaranju *Lisinskih breča* imalo je međudjelovanje dva sustava mlađih rasjeda (sjever-jug, istok-zapad) i neravnomjerno očuvanog, naslijedenog sustava rasjeda dinaridskog pravca pružanja. Tako je u uvjetima nove orientacije globalnog stresa došlo do neravnomjernog premještanja i natiskivanja blokova u krovinskom dijelu plitke navlake. Konačni rezultat i logična posljedica kolizije blokova u krovinskom krilu rasjeda Lisine su sintektonskе breče karakteristične upravo za ovaj dio Ćićarije.

5. LITERATURA

- BAHUN, S. (1963): Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta u Lici (trijas i tercijarne Jelar-naslage).- *Geol. vjesnik*, 16, 161-170.
- BAHUN, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar-naslaga.- *Geol. vjesnik* 27, 35-51.
- BLAŠKOVIĆ, I. & PRELOGOVIĆ, E. (1966): Nova nalazišta prominskih naslaga u sjevernoj Istri.- *Geološki vjesnik*, 19, 85-88, Zagreb.
- DECOURT, J., ZONENSHAIN, L.P., RICOU, L.-E., KAZMIN, V.G., LE PICHON, X., KNIPPER, A.I., GRANDJAQUET, C., SBOTSHIKOV, L.M., GEYSSANT, J., LEPVRIER, C., PECHERSKY, D.H., BOULIN, J., SIBUET, J.-C., SAVOSTIN, L.A., SOROKHTIN, O., WESTPHAL, M., BAZHENOV, M.L., LAUER, J.P. & BIJU-DUVAL, B. (1986): Geological evolution of the Tethys belt from Atlantic to Pamir since Lias. *Tectonophysics*, 123, 241-315.
- DELAIR, J. (1977): Fracturation des roches calcaires. Tome 2: Etude détaillée des mikrostructures cassantes et des stylolites affectant un calcaire micritique: analyse géométrique et cinématique, essai d'interprétation génétique.- These 3eme Cycle, Montpellier.
- GRUNTAL, G. & STROMAYER, D. (1986): Stress pattern in Central Europe and Adjacent Area.- *Gerlands Beitr. Geophysik*, 95/5, 445-452, Leipzig.
- HERAK, M. & BAHUN, S. (1980): The role of the calcareous breccias (Jelar Formation) in the tectonic interpretation of the High Karst Zone of the Dinarides.- *Geol. vjesnik*, 31, 49-59.
- LIU, X. (1983): Perturbations de contraintes liées aux structures cassantes dans les calcaires fins du Languedoc. Observations et simulations mathématiques.- These 3eme Cycle, Montpellier.
- MARTON, E. (1987): Paleomagnetism and tectonics in the Mediterranean region.- *Journ. of Geodyn.*, 7, 33-57.
- ŠIKIĆ, D., PLENIČAR, M. & ŠPARICA, M. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, Tumač za list Ilirska Bistrica, L 33-89.- Inst. geol istraž. Zagreb (1965), Sav. geol. zavod, Beograd.
- VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Foraminiferal Assemblages in the Cenomanian of the Buzet-Savudrija Area (Northwestern Istria, Croatia).- *Geol. Croat*, 47/1, 25-43, Zagreb.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I., FUČEK, L., OŠTRIĆ, N. & PRTOLJAN, B. (1995): O podrijetlu i značenju tzv. vapnenačko-dolomitnih breča između donje i gornje krede: primjer Čićarije.- Prvi hrvatski geološki kongres (First Croatian Geological Congress), Opatija 1995, Abstrakti-Abstract Book, 99, Zagreb.

Micro- and Macrofossils from K/T Boundary Through Paleocene in the Northern Adriatic Platform

Nevio PUGLIESE¹, Katica DROBNE², Filippo BARATTOLO³, Mauro CAFFAU¹,
Ruggero GALVANI¹, Miklos KEDVES⁴, Maria Eugenia MONTENEGRO¹,
Camilla PIRINI-RADRIZZANI⁵, Mario PLENIČAR⁶ & Dragica TURNŠEK²

Key words: Biostratigraphy, Sporomorphs, Dasyclads, Foraminifera, Rudists, Gastropods, Corals, Ostracods, K/T boundary, Paleocene, Adriatic platform, Slovenia, Italy

Abstract

Four later Cretaceous to Early Eocene sections across the K/T boundary (Dolenja Vas East and West, Sopada, Padriciano) situated in the northern part of the Adriatic Carbonate Platform were studied. A multidisciplinary approach (biostratigraphy, microfacies analyses, geochemistry and paleomagnetism) allowed us to interpret the sedimentary evolution, the relationship between main floral and faunal changes, the variation of the environmental conditions, and mass extinction on the K/T boundary. The distribution of several fossil groups was studied in detail (sporomorphs, dasyclads, foraminifers, rudists, gastropods, corals, ostracods). The late Maastrichtian was characterized by the last occurrence of rudists and some foraminiferal taxa. Five shallow benthic biozones (SB1 - SB5) have been recognized in the Paleocene and Early Eocene. In the Danian, SB1 and SB2 biozones include oligotypical assemblages of foraminifera and algae of more or less restricted lagoon. The biozones of the Thanetian (SB3 - SB4) and the Ilerdian (SB5) are characterized by more and more well diversified assemblages of taxa which demonstrate a progressive establishment of marine conditions.

INTRODUCTION

This research is a part of a project "Paleobiological and paleoecological events from the Cretaceous/ Tertiary boundary to mid-Eocene in the Karst region", carried out in a frame of a long-term (1995-2000) Alpe-Adria program. Four sections have been selected. Among them, three sections are located in Slovenia (Dolenja Vas East and West, and Sopada), and one in Italy (Padriciano).

This paper focuses on the occurrence of several taxa (algae, spores and pollens, foraminifers, corals, rudists, gastropods and ostracods) in sections studied in order to highlight some autoecological and synecological aspects to increase the knowledge of the environmental evolution from late Maastrichtian to the Ilerdian. Moreover, this research plans to discuss: a) the arrangements of these taxa in the Shallow Benthic (SB) biozonation proposed by SERRA-KIEL et al. (in press) and b) the evolution of the biota in the previously cited time-span also through a multidisciplinary (sedimentology, geochemistry, stable isotops, paleomagnetism) approach using the data obtained by OGORELEC (this volume), MARTON (this volume), and DOLENEC (1995).

DESCRIPTION OF SECTIONS

(N. Pugliese, K. Drobne, C. Pirini-Radrizzani)

Location of the studied sections is shown on Fig. 1 in a simplified geological map of the Karstic region. The sections Padriciano, Sopada, Dolenja Vas East and West were selected because they are characterized by a well-exposed and near complete sequence of deposits from the K/T boundary to Ilerdian and record different paleoenvironmental evolutions (CAFFAU et al., 1994; DROBNE et al., 1988, 1994).

An overview of the biostratigraphy, the main microfacies and lithologies is given in the Fig. 2.

The late Maastrichtian is characterized by light to dark grey rudist limestone. Among the Foraminifera the last occurrence of *Rhapydionina liburnica* (STACHE), *Fleuryana adriatica* DE CASTRO, DROBNE & GUŠIĆ, *Cuneolina ketini* INAN is observed. This limestone was deposited in a restricted lagoon (Dolenja Vas and Sopada) or very restricted lagoon which was influenced by fresh-water inputs as indicated by the finding of characean girogonites (Padriciano section).

¹Istituto di Geologia e Paleontologia, Univ. Trieste, Piazzale Europa 1, 34127 Trieste, Italia.

²Ivan Rakovec Institute of Palaeontology ZRC SAZU, Gosposka 13, 61000 Ljubljana, Slovenia.

³Dipartimento di Paleontologia, Univ. Napoli Federico II, Largo S. Marcellino 10, 80138 Napoli, Italia.

⁴Cell Biological and Evolutionary Micropaleontological Laboratory of the Department of Botany of the J. A. University, P.O.Box 657, H-6701 Szeged, Hungary.

⁵Dipartimento Scienze della Terra, Univ. Genova, Corso Europa 26, 16132 Genova, Italia.

⁶Department of Geology, Univ. Ljubljana, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.

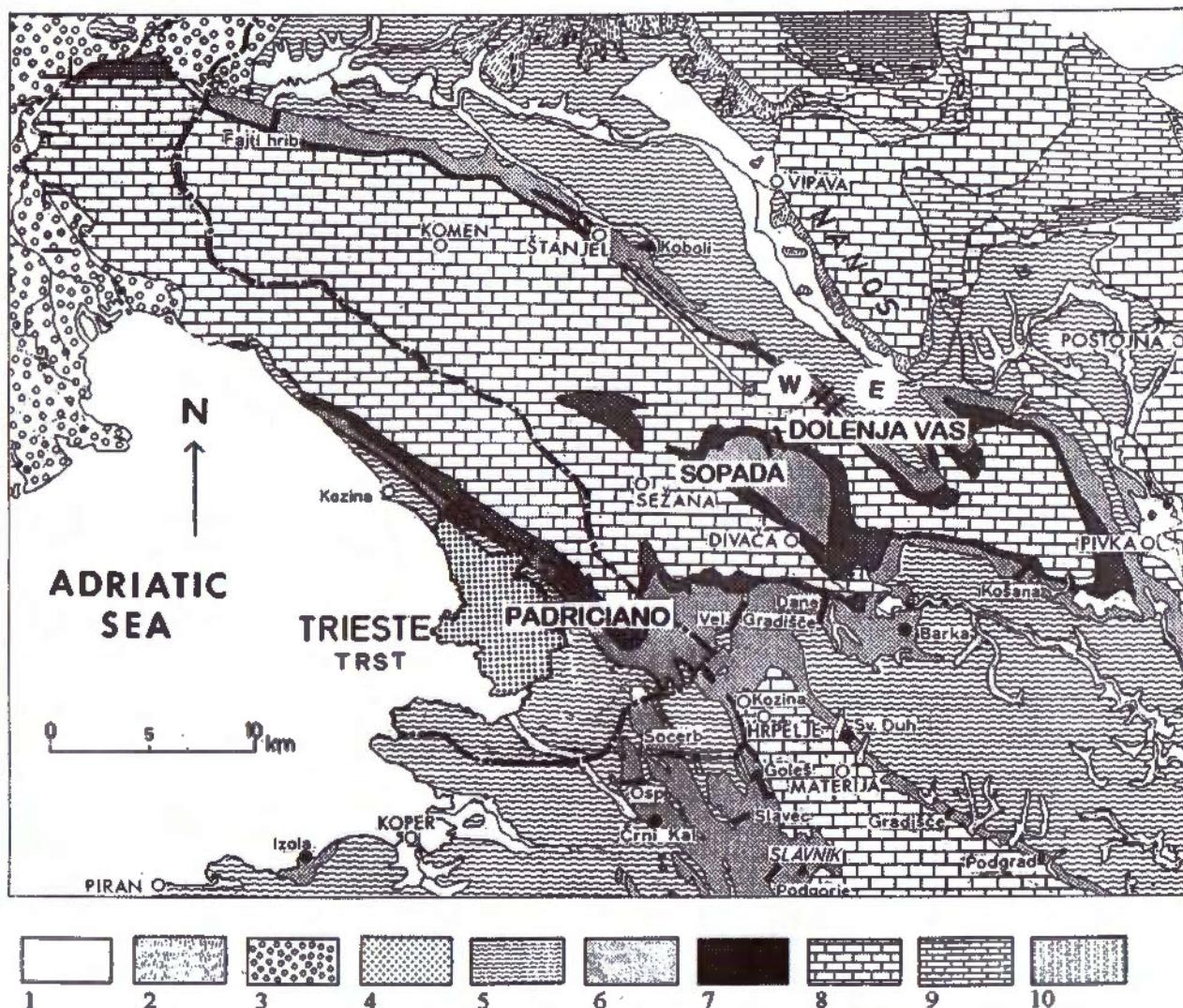


Fig. 1. General geologic map of Karst area (after Drobne, 1977, accomplished by F. Cucchi). Legend: 1 - Alluvium; 2 - Rubble; 3 - Quaternary terraces; 4 - Pliocene clay; 5 - Paleogene flysch; 6 - Kozina beds. Miliolids and Alv.-Numin. Lms.; 7 - Vrme beds (Maastrichtian); 8 - Cretaceous; 9 - Jurassic; 10 - Triassic. KT sections: Padriciano, Sopada, Dolenja Vas - W and E.

The K/T boundary is marked by a breccia bed, which is from few centimeters (Dolenja Vas East section) to 2 m (Padriciano) thick. This breccia is composed of mm - cm "plasticlasts" in a dark micritic matrix and is interpreted as intertidal breccia (DOLENEC et al., 1995), or debris flow deposit (HANSEN et al., 1995). In this matrix an enrichment of iridium has been observed (HANSEN et al., 1995; OGORELEC et al., this volume).

The Danian succession is thick from 45 m (Dolenja Vas, Sopada sections) to almost 100 m (Padriciano section). It is subdivided in three facies types from base to top:

a) dark mud or grain-supported limestones with repeated stromatolitic, bioturbated ("birds' eye") and laminated layers. Their thickness varies from few meters (Dolenja Vas West section) to 25 m (Padriciano and Sopada sections). The fossils are rare and consist of small dasyclads, miliolids, discorbids, "*Protelphidium*", polymorphinid gen. 1, gastropods, ostracods,

and scattered *Paronipora*. Pollen grains and freshwater algae occur in these layers. Reworked paleozoic and triassic sporomorphs are present at Dolenja Vas and Pariciano sections, at the last one also resedimented cretaceous foraminifera *Dicarinella* sp.

b) dark mud or grain-supported limestones, and exceptionally boundstones, with dasyclads, *Scandonea* sp., miliolids, discorbids, and ostracods (Dolenja Vas and Sopada sections). The former three taxa are substituted by characean girogonites, *Lagynophora*, and gastropods in the Padriciano section. Sporomorphs are abundant in the Padriciano section, but rare in Dolenja Vas. The thickness of this facies type varies from 15 m (Dolenja Vas East section) to 40 m (Padriciano section).

c) grey mud or grain-supported limestones, which are 35 m thick at Padriciano, 25 m thick at Dolenja Vas and 15 m thick at Sopada sections. The biofacies mainly consists of corals, dasyclads, miliolids, *Pseudonummulolina* sp., cf. *Helenalveolina* sp., and in

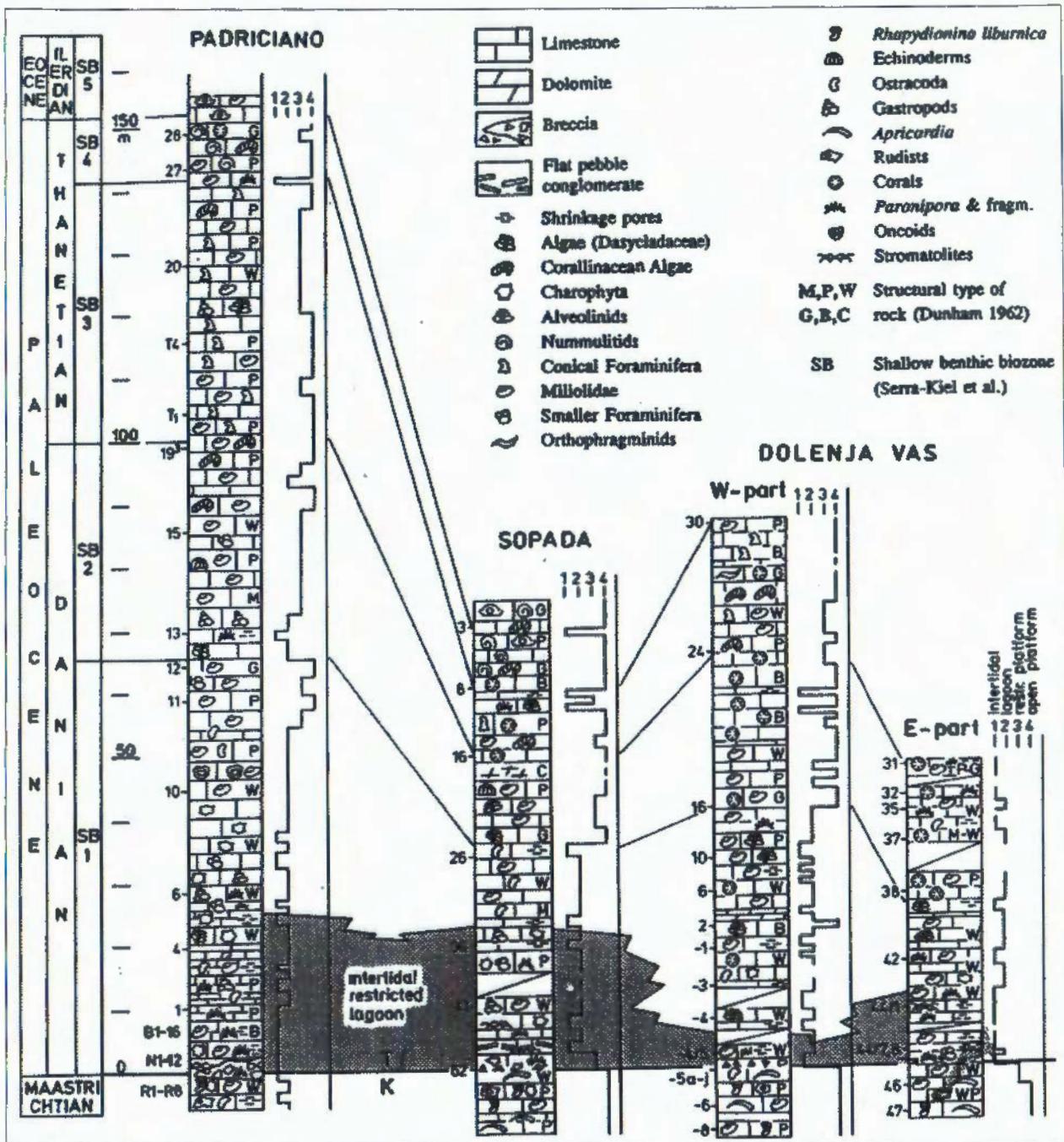


Fig. 2. Stratigraphy, lithology and sedimentology of Padriciano, Sopada and Dolenja Vas sections. SB - shallow benthic biozonation.

the Padriciano section, *Spirolina* sp., and gastropods. Sporomorphs occur in the first two sections.

The lower part of the Danian sequence was deposited in peritidal settings and/or restricted lagoon, sometimes places with strong fresh-water influence (Padriciano section). Towards a progressive evolution to an open shelf high-energy environment is recorded.

The Thanetian beds are from 20 m (Sopada section) to 60 m (Padriciano section) thick, and show two different facies types from the base to the top:

a) grey grain-supported limestones, which are rich in porcellaneous foraminifers with inner structure, agg-

lutinated conical foraminifers, corallinaceans and, in Dolenja Vas and Sopada sections, corals. The thickness is variable: 40 m in the Padriciano, 25 m in Dolenja Vas and 10 m in Sopada sections.

b) grey grain-supported limestones with porcellaneous foraminifers with inner structure, nummulitids and corals. Reworked Paleozoic and Triassic sporomorphs were found, even if their presence was already known during the lowermost Danian of the Dolenja Vas sections. The thickness varies from 10 m in the Sopada section to 16 m (Padriciano section).

From the paleoenvironmental point of view, the Thanetian limestones indicate an open marine shelf setting with more and more progressively increasing index of water energy.

The basal part of the Ilerdian limestones is identified in the Padriciano and Sopada sections. It consists of grey or brownish grain-supported fossiliferous nummulitic limestones of marine settings which record an increasing depth.

SHALLOW BENTHIC ZONATION

(K. Drobne, N. Pugliese)

Corresponds to the distribution of benthic foraminifera in the Tethys the shallow benthic zonation was proposed (SERRA-KIEL et al., in press). Principal boundaries between biozones are established or to the first or to the last appearances of the genera.

According to this proposal the beds are assignable to the SB1 - SB5 biozones in the Karst area.

SB1 - parts a) and b) of the Danian beds on the basis of "*Protelphidium*" sp., and *Scandonea* sp. (Dolenja Vas section).

SB2 - part c) of the Danian beds with the presence of *Pseudonummoloculina* sp. and cf. *Helenalveolina* sp. in the Dolenja Vas and Sopada sections.

SB3 - part a) of the Thanetian limestones where there is the presence of the first agglutinated conical foraminifera: *Fallotella alavensis* MANGIN, and porcellanaceous ones with inner structure: *Glomalveolina primaeva* (REICHEL), *Periloculina slovenica* DROBNE, and in the Dolenja Vas section *Miscellanea juliettae villatae* LEPPIG.

SB4 - part b) of the Thanetian limestones with the presence of porcellanaceous foraminifers: *Glomalveolina levigata* HOTTINGER, *G. dacheliensis* SCHWAGER, *Pseudolacazina donatae* (DROBNE), and *Lacazina blumenthali* REICHEL, *Assilina azilensis* (TAMBARÉAU), and in Sopada section *Hottingerina lukasi* DROBNE.

SB5 - the Ilerdian limestone with the presence of various species of *Alveolina*, *Nummulites* and *Assilina*.

The assignment to shallow benthic biozones SB1 to SB5 is indicated in the stratigraphic columns of the sections (Fig. 2).

BIOTA

This chapter deals with the occurrence of several fossil groups found in the studied sequences from the late Maastrichtian to Ilerdian. For each taxon, interpretations concerning the chronological and paleoenvironmental meaning are given.

CALCAREOUS ALGAE (MAINLY DASYCLADS)

(F. Barattolo)

According to Dolenja Vas (W and E) and Sopada sections it is possible to recognize different algal assemblages. Some floristic changes are probably linked to variations in the water energy. Such an ecological factor can be invoked, for example, to explain the rather sharp change from the Cymopolia interval to the corallinean interval (after the DV23 sample approx.).

Below this boundary the sequence apparently shows an environmental homogeneity in respect to the algal content. This means that environmental modifications as emersion episodes, more or less restricted circulation, variation in salinity, did not influence significantly, in a broad sense, the algal composition. On the other hand the Sopada section exhibits more homogeneous environmental conditions in its whole extension so that it could give more funded indications about the floral (dasycladacean) change in the upper terms of the Paleocene (SB3 - SB4).

While in the Dolenja Vas sections three main algal intervals have been individuated: a) *Acroporella chiapensis* interval, b) Cymopolia interval and c) corallinean interval, in the Sopada section the Cymopolia interval is longer and its terminal part seems characterized by the disappearance of *C. paronai* and *C. cf. elongata* (see cf.= aff.) that is a different species from *C. elongata* and the survivorship of *Cymopolia barberae* only. A subsequent interval can be recognized as well and it could be called *Thrysoporella longa* interval. To sum up I think that the corallinean interval of Dolenja Vas is partly heteropic of these Sopada's last two intervals.

Acroporella chiapensis interval

It is the lowest interval. The algal assemblage is always oligotypic. Very small thin walled tubes usually occur; they can be probably referred to calcified stem parts of charophytes. Rare thalli of *Thaumathoporella* as well as filaments of *Aeolisacus barattoloi* DE CASTRO can also be observed. An infrequent but characteristic dasyclad is *Acroporella chiapensis* DELOFFRE, FOURCADE & MICHAUD. It is a little dasyclad species found in the Chiapas region (Mexico) in the uppermost part of the Ocozocuautla Fm. This unit, 70 m thick, consists of biomicrite and biosparite containing abundant rudist shells and large forams as *Pseudorhaphidionina* sp., *Chubbina jamaicensis* ROBINSON, *Chubbina* cf. *macgillivrayi* ROBINSON, *Kathina delseota* SMOUT, *Smoutina* cf. *crusi* DROGER. According to the fossil content a Maastrichtian age can be inferred for the type level.

Other dasyclads occasionally reported in this interval of the Karst area are *Acicularia* sp. and *Clypeina* (?) sp. nov.; the latter also occurs in the lowest part of the subsequent interval and closely resembles the informal taxon "S4" in DIENI et al. (1985). In these interval also appear, in the upper part, two interesting micropo-

atic taxa (sp. 1: = *Buseria* = "Microproblematicum" in DROBNE et al. (1989), and sp. 2: = *Liburnia* = "DS2" in BUSER & RADOIČIĆ (1987).

Cymopolia interval

It represents the middle and most important algal interval at Dolenja Vas and widely occurs in the whole Karst area with similar characters. The algal assemblage is dominated by *Cymopolia* (*Cymopolia paronai* RAINERI, *Cymopolia* cf. *elongata* DEFRENCE, *Cymopolia frugifera* SEGONZAC, *Cymopolia* n. sp.). In the lower-middle part of this interval two taxa, doubtfully referable to the genus *Clypeina*, commonly occur. They have been pointed out as "*Clypeina* sp. 2" in RADOIČIĆ (1991) and "*Clypeina* nov. sp." in BUSER & RADOIČIĆ (1987).

In the same part also the microproblematica are present.

The first of them can be probably referred to charophytes. Other dasyclads present in this interval are *Jodotella veslensis* MORELLET & MORELLET and *Jodotella sloveniaensis?* DELOFFRE & RADOIČIĆ.

The upper part of this interval is enriched by other taxa as *Orioporella villattae* SEGONZAC, *Clypeina liburnica* RADOIČIĆ, and *Cymopolia barberae* ELLIOTT; this one is overcoming the last appearance of *C. paronai* and could characterize the upper part of the *Cymopolia* interval.

Other algae as *Pseudocymopolia* sp., *Pycnopodium levantinum* JOHNSON, *Pseudolithothamnium album* PFENDER, *Sandalia multipora* DIENI, MAS-SARI & RADOIČIĆ, and *Terquemella* sp. are rather rare.

Orioporella villattae SEGONZAC and *Cymopolia paronai* RAINERI are rather widespread algae. All of them are present in the French Pyrenees (DELOFFRE & GENOT, 1982) and the first taxon also in many other localities of the Tethyan realm (personal data).

Corallinacean interval

The algal content consists mainly of red algae (usually corallinaceans but also solenoporaceans and squamariaceans), both in massive thalli (*Elianella elegans* PFENDER & BASSE, *Pycnopodium levantinum* JOHNSON) and in crustose to subramose thalli (*Pseudolithothamnium album* PFENDER, *Sporolithon* sp., and other non-geniculate corallinacean genera); even geniculate corallinaceans are recorded in this interval.

Thrysoporella longa interval

The algal content consists mainly by *Cymopolia barberae* ELLIOT, *Distichoplax biserialis* DIETRICH and the index taxon *Thrysoporella longa* RADOIČIĆ. The interval is known only from Sopada section consequently the datum is hard to generalize.

Tentative characterization of SB zonation with dasyclads

Acroporella chiapsis interval corresponds partly to latest Maastrichtian, partly to lowest Danian.

SB1 lower part of *Cymopolia* interval. General content:

Cymopolia paronai RAINERI, *C. cf. elongata* DEFRENCE, *C. frugifera* SEGONZAC, *Cymopolia* n.sp. (=*C. pergracilis*). Indicative characters: presence of two microproblematica (*Buseria* and *Liburnia*)

SB2 middle and upper part of the *Cymopolia* interval. General content: similar to SB 1 but with a richer diversified flora. Indicative characters: presence of *Clypeina liburnica* RADOIČIĆ.

SB3 uppermost part of the *Cymopolia* interval. General content: similar to SB 2 with the red algae. Indicative characters: presence of *Cymopolia barberae* ELLIOTT.

SB4 corresponds to the *Thrysoporella longa* interval.

Indicative characters: presence of *Thrysoporella longa* RADOIČIĆ.

PALYNOLOGICAL ANALYSES

(M. Kedves)

The samples were taken from selected layers of sections Padriciano, Sopada, Dolenja Vas - West, and Dolenja Vas - East.

The organic material is in general not well preserved, moreover, in several samples sporomorphs were not observed. Among the Angiospermatophyta the types of Longaxes and Brevaxes - Normapolles, most frequently are determined. The fresh-water algae *Botryococcus braunii* KUETZ rarely occurs.

Surprising is the observation of reworking old Paleozoic mostly *Trachysphaeridium laminaritum*, and probably Triassic form *Craterisporites* sp. The reworked sporomorphs are concentrated in the lowermost Danian and lower Thanetian beds. These finds suggest a large subaerially exposed land of Paleozoic and Triassic layers on the background of the lagoons.

Investigated sporomorphs include mostly Paleocene, and subordinate late Cretaceous taxa.

The distribution of the sporomorphs, particularly the pollen grains, is observed through whole sedimentary sequence in the Padriciano section. In the Dolenja Vas sections the sporomorphs are abundant only around the K/T boundary and in the lower Thanetian. The limestone is extremely poor in organic microremnants in the Sopada section.

The distribution of sporomorphs indicate an evolution from the very shallow brackish-water lagoon, to the marine environment during the carbonate deposition from the late Maastrichtian to the end of Paleocene. The distribution of sporomorphs is presented in table 1.

Sections	Padriciano					Sopoda	Dolenja Vas W & E				
	S						45	44	23	29	
Drobne and Pugliese No.	1	1	6	19	20	/1	47	A	/6	19	20
Kedves No.	4	6	7	11	12	56	58	60	62	64	65
<i>Oculopolis</i>	+										
<i>Papillopolis</i>	+										
<i>Steph. hexaradiatus</i> ? <i>hexaradiatus</i>	+		+	+					+	+	+
<i>Stephanopopollenites h. tribinae</i>		+							+	+	+
<i>Minorpollis</i> fssp.	+								+	+	+
<i>Steph. hexaradiatus semiribinae</i>		+	+						+	+	+
cf. <i>Tetrapolis validus</i>		+									
<i>Calmus</i> type		+									
<i>Engelhardtia</i>			+								
<i>Carya</i>			+								
<i>Palmae</i>			+	+							
<i>tranquillus</i> type			+								
<i>Myricaceae</i>				+					+	+	+
<i>Betulaceae</i>				+					+	+	+
<i>Juglandaceae</i>				+					+	+	+
<i>Trudopolis</i>									+	+	+
<i>Hystrichosphaeridae</i> gen. et sp. indet	+				+	+					
<i>Botryococcus braunii</i>		0	0		0	0	0	0			
rework. <i>Trachysphaeridium laminaritum</i>	#						#	#	#	#	#
rework. <i>Craterisporites</i> fssp.							#		#		
Age after Drobne & Pugliese samples:	Dan.	Th		Dan	Maa /	Danian	/	Than!			

Table I The distribution of sporomorphs

FORAMINIFERA (K. Drobne)

At the end of the Maastrichtian a high diversity in foraminiferal association prevailed in the section of NW part of the Adriatic platform. A long crisis period at the Cretaceous - Tertiary transition interrupted rich life of skeletal organisms on the shallow sea bottom. With a renewed sedimentation in the Danian, rare thin-walled nonionids and discorbids appeared. The first tests with porcellaneous walls were of small sizes, without inner structure: *Scandonea*, *Pseudonummoloculina*. Small tests with a simple basal layer were replaced by larger forms with more complex inner structure in Thanetian: as cf. *Helenalveolina*, *Idalina*, *Periloculina*, *Glomalveolina* in association with agglutinated conical foraminifera and rotaliids. With the increasing depth of the sea nummulitids appeared, and among them the first *Assilina*.

The K/T boundary on the shallow carbonate platform is documented by a radical change in foraminiferal population. The crisis is documented also by abiotic characteristics (OGORELEC et al., this volume; DOLENEC et al. 1995). A great number of foraminifera emerged after the Cretaceous/Tertiary boundary. Rare genera survived: *Laffitteina* and possible immigrants such as *Scandonea*, *Pseudonummoloculina*, cf. *Helenalveolina*. Miliolaceae, not yet well studied, comprise probably more forms which survived from the Cretaceous to the Paleogene.

The evolution of foraminiferal population in the Danian was extremely slow. In the Thanetian the number of foraminiferal genera increased for approximately 8 times in comparison to the Danian. Through each of stages lasted for almost 6 million years. The flourishing of fauna in the Thanetian is one of the evidences for the stabilization of ecological conditions after an expansive transgression. This transgression was manifested in stronger circulation of sea currents along the Adriatic Platform and in the connection of Platforms towards the East and West in the Tethys realm (HOTTINGER, 1988).

RUDISTS (M. Caffau, M. Pleničar)

The late Maastrichtian presents rudists which show the most reduced size among the late Cretaceous forms. In the sections of Dolenja Vas five species: *Bournonia excavata* D'ORBIGNY, *Bournonia* aff. *retrolata* ASTRE, *Biradiolites rotundatus* PLENIČAR, *Eoradiolites* sp., *Apicardia* sp., were determined. Three species: *B. excavata* D'ORBIGNY, *Bournonia* sp., *Apicardia pachiana* SIRNA, were identified in the Padriciano section. Thus, in the Padriciano section the rudist fauna is less diversified than in the Dolenja Vas section.

Such qualitative difference in the rudist fauna composition is probably related to different environmental conditions. The rudist fauna of the Padriciano section is displaced, even if its good preservation condition sug-

gests small displacement phenomena into a setting which is frequently affected by fresh-water inputs, as demonstrated by the interbedded limestones with levels of characean girogonites. The well-diversified fauna of the Dolenja Vas and Sopada sections corresponds to settings of restricted lagoon.

The rudists of the Dolenja Vas and Sopada sections are often found *in situ*. They show tiny shells with vertical protruding ribs. Moreover, the transverse section of the radiolariid valves highlight an outer shell structure constituted by a mixed cellular-lamellar network. Such morphological characteristics give to these taxa good stability on muddy substrates.

The rudists of the Padriciano section show a morphology similar to the specimens of Dolenja Vas sequence. Thus, the life habitat of such rudists had to be muddy like those recorded in Dolenja Vas section. In addition, the ongoing morphological study of *Bourbonia* sp. already highlights an intraspecific variability, as demonstrated by specimens with a variable number of thick and elongated ribs. Such ornamentations mainly develop in the dorsal area and, according to CESTARI (1992) suggest an increased secretory ability of the shell in relation to variable chemical and physical environmental conditions.

GASTROPODS

(M. Caffau, R. Galvani)

The studied sections show gastropods in the Paleocene units. They already occur in the lowermost part of the Danian in the peritidal limestones, together with ostracods, small foraminifers ("*Protelphidium*" sp.), at Dolenja Vas, miliolids and discorbids in all the studied sections, and scattered characean girogonites, in the Padriciano section. Their thin shells without ornamentation testify restricted setting also affected by emersion, as demonstrated by the finding of *Paronipora* sp.

The gastropods seem to be more common in the Padriciano section than in other studied areas. In the former one very abundant gastropods: *Cerithium* cf. *C. goniostoma* STACHE, and *Kallostoma inflatum* STACHE are present in some levels of light to dark grey limestones of the SB1 biozone, together with characean girogonites, ostracods and, sometimes, discorbids. Such oligotypical assemblage is characteristic of fresh and/or restricted brackish water settings.

Other gastropods *Cerithium goniostoma* STACHE, and *?Ischurostoma* sp. occur in the light to dark grey limestones of the last Danian limestone unit (SB2).

After the establishment of marine conditions and the increase of the bottom-energy (uppermost Danian and Thanetian), the gastropods show a decline. In the light grey limestones biofacies (Corallinaceae, several foraminiferal species), they become very rare and, where present, are characterized by a thick and well-ornamented shells of *Cerithium* sp.

CORALS

(D. Turnšek)

The oldest Paleocene corals in the investigated territory of the northern Adriatic Platform were found in the lower Danian at Dolenja Vas West and East only. In this time the nonbuilding branching phaceloid and dendroid forms of the genera *Dendrophyllia* and *Rhizangia* prevailed.

The growth of reefbuilding massive and incrusting plocoid and thamnasteriid corals at Dolenja Vas started in the Upper Danian and continued in the lower Thanetian. The most common genera: *Stylocoenia*, *Actinacis*, *Goniopora*, *Litharaea* built smaller or larger "patch reefs".

In the Sopada locality corals of phaceloid *Dendrophyllia* type began in the upper Danian and continued in lower Thanetian.

The main reef structures of massive and encrusting corals in Sopada as well as in Padriciano, started in the upper Thanetian. These are characterised by the same genera (but different species) as the uppermost Danian and Lower Thanetian in Dolenja Vas supplemented with *Astraeopora*, *Astrocoenia*, *Orbignygyra* and *Pironastraea*.

Based on the identification of coral associations we conclude that the growth of coral reefs started in Dolenja Vas and prograded to the south following the adequate paleogeographic environments, most probably the transgression of the sea.

OSTRACODS

(M.E. Montenegro, N. Pugliese, M. Caffau)

The presence of ostracods is often recorded from the late Maastrichtian to the late Danian of the studied sections. Only the ostracods occurring in the Danian dark limestones with characean girogonites, discorbids, and gastropods could be extracted from the rock in the Padriciano section.

The samples were disaggregated and the residues were washed through a 200 meshes net. In all the other facies types, the ostracods were observed only in thin sections, and are represented by thin well preserved carapaces *in situ* of undefined species.

In the Maastrichtian deposits the ostracods are found in the mud-supported limestones interbedded in levels which show a rich rudist fauna. The ostracods participate to relatively well diversified microfossil assemblages, which are characterized by the last Cretaceous foraminifers *Rhynchonella liburnica*, and *Fleuryana adriatica*, together with small miliolids and some other foraminiferal species. However, such assemblages show a low specific diversity in the Padriciano section, probably in relation to the presence of fresh-water inputs, as demonstrated by the finding of characean girogonites.

Danian ostracods occur in the oligotypical assemblages (small miliolid discorbids, and thin-shelled gas-

tropods) of peritidal settings and/or restricted lagoons. Such oligotipicity is over all evident in the Padriano section where the fresh-water inputs are present. Thus, such ostracod fauna together with other associated taxa seem to indicate settings normally affected by environmental changes. Moreover, such assemblage might be considered opportunistic and able to colonize unstable settings.

Moreover, scattered fresh-water episodes might be indicated by the finding of the ostracods of the part b) of SB 1 biozone. They consist of poorly preserved specimens of fresh-water taxa *Darwinula*, *Paracypridopsis*, *Cypridinae* and Candonidae, and only one specimen is of a marine genus *?Triginglymus*. These occurrences well correlate with the finding of fresh-water algae *Botryococcus* and sporomorphs in the same section.

After a preliminary analysis, the presence of the ostracods seems to decrease during the Thanetian of the Padriano section. This might be related to the increase of the bottom energy of a more and more open marine environment.

CONCLUSIONS

The ecological data derived from the study of the previously described stratigraphic sections allow to refine the interpretation of the paleoenvironmental evolution from the K/T boundary to Ilerdian in the Karstic area.

Within this evolution some biological events have been recognized:

- the disappearance of rudists and main extinction of foraminifers and other Cretaceous taxa just before the end of the Maastrichtian, probably in relation of chemical and physical environmental changes, as demonstrated by high concentrations of some trace elements, the drastic depletion in $\delta^{13}\text{C}$, and to global climatic deterioration due to an impact of extraterrestrial body, as suggested by isotopic anomalies (DOLENEC et al., 1995).

- the renewal of the benthic life after the K/T crisis in the lower Danian during unsuitable conditions for a revitalisation of the floors, as indicated by the negative values of $\delta^{13}\text{C}$ (OGORELEC et al., this volume) and the high intensity of remanence (MARTON et al., this volume), a mode of fresh-water episodes was established by sporomorphs.

- the development of the benthic life (continuous appearances of new taxa) from the upper part of the Danian to the Thanetian and Ilerdian in relation to more and more marine conditions with new vitality, as suggested by the positive values of $\delta^{13}\text{C}$ (OGORELEC et al., this volume).

From the K/T boundary to lower Danian, the taxa which characterize unsuitable environmental conditions of restricted lagoons and peritidal settings mainly consist of small foraminifers (nonionids) and Danian "Discorbidae", gastropods, and ostracods. Such taxa, which are able to survive and/or colonize the unstable environments, might be considered opportunistic. On the contrary, through the Danian up to Ilerdian, the taxa of more and more stable marine conditions are represented by dasyclad algae, agglutinated conical and porcellaneous with inner structure foraminifers, nummulitids and corals.

From the biostratigraphic point of view, the first and the last occurrences of some taxa allow to identify five shallow benthic biozones from Danian to Ilerdian (SB1 - SB5) (SERRA-KIEL et al., in press).

In conclusion, a new Paleocene landscape is proposed for the Karst area. The finding of reworked taxa suggests the existence of already exposed rocks which are older than the Paleocene. Thus, they might indicate the presence of a neighbouring land behind the brackish and marine settings.

Acknowledgements

Meetings of the researchers in this project were financially supported by the Alpe - Adria Community at the Ministry of Science and Technology in Ljubljana and by the Ministry of the University and Scientific Research and Technology of Italy (60% Program). The fundamental work was done within the collaborated institutes in Trieste, Ljubljana and Szeged. To all of them we are grateful for the help.

REFERENCES

- BUSER, S. & RADOIČIĆ, R. (1987): Dasycladacean Algae in Middle Paleocene miliolid limestone in Kras in Slovenia.- *Geologija*, 29-30 (1985-86), 69-91, Ljubljana.
- CAFFAU, M., CUCCHI, F., DROBNE, K., GALVANI, R., PLENIČAR, M., PUGLIESE, N. & TURNŠEK, D. (1994): Stop 3 - Padriano.- *Paleobenthos Trieste*, 6-8 giugno 1994, 1-11, Trieste.
- CESTARI, R. (1992): Biometrical analysis on Gorjanovicia and other radiolitids (Radiolitidae, Hippuritoidea).- *Geol. Romana*, 28, 1-25, Roma.
- DE CASTRO, P., DROBNE, K. & GUŠIĆ, I. (1994): *Fleuryana adriatica* n.gen., n.sp. (Foraminifera) from the uppermost Maastrichtian of the Brač Island (Croatia) and some other localities an the Adriatic carbonate platform.- *Razprave 4. razr. SAZU*, 35, 129-149, Ljubljana.
- DELOFFRE, R., FOURCADE, E. & MICHAUD, F. (1985): *Acroporella chiapasensis* n.sp. algue dasycladacée maastrichtienne du Chiapas (SE Mexique).- *Bul. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, 9/1, 115-125, Pau.
- DELOFFRE, R. & GENOT, P. (1982): Les Algues dasycladées du Conozoïque.- *Bull. Centres Rech. Explor.- Prod. Elf-Aquitaine*, 4, 1-247, Pau.
- DIENI, I., MASSARI, F. & RADOIČIĆ, R. (1985): Paleocene Dasycladacean Algae from Orosei vicinity (Sardinia).- *Mem. Sci. geol.*, 38, 1-77, Padova.
- DOLENEC, R., CUCCHI, F., GIACOMICH, R., MARTON E. & OGORELEC, B. (1995): Abiotic characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary on the Karst area (isotopes, geochemistry, geochronology, and paleomagnetism).- In: MONTANARI, A. & COCCHIONI, R. (eds.): 4th Int. Workshop of ESF on "Impact Cratering and Evolution of Planet Earth" Ancona, May 12-17, 68-69, Ancona.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PLENIČAR, M., ZUCCHI STOLFA M.L. & TURNŠEK, D. (1988): Maastrichtian, Danian and Thanetian beds in Dolenja Vas (NW Dinarides, Yugoslavia). Microfacies, Foraminifers, Rudists and Corals.- *Razprave 4. razr. SAZU*, 29, 147-224, Ljubljana.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., BARATTOLO, F., DOLENEC, T., PLENIČAR, M., TURNŠEK, D., ZUCCHI STOLFA, M.L. & MARTON, E. (1994): Stop 1 - The Dolenja Vas section (Upper Maastrichtian, Lower and Upper Danian, Thanetian).- *Paleobenthos Trieste*, 6-8 giugno 1994, 1-13, Trieste.
- HANSEN, H. J., DROBNE, K. & GWOZDZ, R. (1995): The K/T boundary in Slovenia: dating by magnetic susceptibility stratigraphy and iridium-anomaly in a debris flow.- In: MONTANARI, A. & COCCHIONI, R. (eds.): 4th Int. Workshop of ESF on "Impact Cratering and Evolution of Planet Earth" Ancona, May 12-17, 84-85, Ancona.
- HOTTINGER, L. (1988): Significance of diversity in shallow benthic foraminifera.- In: *Proceedings of the Fourth Symposium on Ecology and Paleoecology of Benthic Communities*, 35-51, Torino.
- INAN, N. (1988): *Cuneolina ketini* (Foraminifère) n.sp. du Maastrichtien d'Anatolie Centrale (Turquie).- *Rév. Paleobiologie*, 7, 327-333, Genève.
- JERSEY, N.J. de (1970): Triassic microspores from the Blackstone Formation Aberdare. Conglomerate and Raceview Formation.- *Geol. Surv. Queensland*, 348 (Pal. Paper, 22), 1-41.
- KRUTZSCH, W. (1961): Beitrag zur Sporenpaläoontologie der praoberoligozanen kontinentalen und marin en Tertiärablagerungen Brandenburgs.- *Berichte der geol. Ges.*, 4, 290-343.
- MARLIÖRE, R. (1958): Les ostracodes du Montien de Mons et résultants de leur étude.- *Mém. Soc. belge de Géol., Paléont. et Hydrologie*, 8/5, 1-53.
- MARTON, E., DROBNE, K., KOŠIR, A., CIMERMAN, F. & ČOSOVIĆ, V. (1995): Paleomagnetism of latest Maastrichtian through Oligocene rocks in Istria (Croatia), the Karst region, and S of the Sava fault (Slovenia).- First Croatian Geol. Congress, Proceedings.
- OERTLY, H.J. (ed.) (1985): *Atlas des Ostracodes de France*.- *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 9.
- OGORELEC, B., DOLENEC, T., CUCCHI, F., GIACOMICH, R., DROBNE, K. & PUGLIESE, N. (1995): Sedimentological and geochemical characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary to Lower Eocene on the Karst area (NW Adriatic platform).- First Croatian Geol. Congress, Proceedings.
- PFLUG, H.D. (1953): Zur Entstehung und Entwicklung des angiospermenen Pollens in der Erdgeschichte.- *Palaeontographica B*, 95, 60-171.
- SERRA-KIEL, J., HOTTINGER, L., DROBNE, K., FERRANDEZ, C., LESS, G., JAURHI, A. K., PIGNATTI, J., SAMSO, J.M., SIREL, E., TAMBAREAU, Y., TOSQUELLA, J., ZAKREVSKE, E. (in press): Benthic Foraminifera from Paleocene and Eocene.- In: *The Mesozoic-Cenozoic Chronostratigraphic Framework*. SEMP, Spec. publ.
- STACHE, G. (1898): Die Liburnische Stufe und deren Grenz-Horizonte.- *Abh. Geol. RA*, 13, 1-170, Wien.
- TAMBAREAU, Y. (1984): Les Ostracodes du "Montien continental" de Hainin, Hainaut, Belgique.- *Rév. de Micropaléont.*, 27, 144-156.
- TIMOFEEV, B.V. (1966): *Micropaleontological investigations of old suits* (Russian).- Nauka, Moscow-Leningrad.

Doprinos poznavanju mineralne parageneze Zrinskih rudnika nedaleko Sv. Jakoba na Medvednici

Biserka RADANOVIĆ-GUŽVICA & Vladimir ZEBEC

Ključne riječi: morfologija kristala, wulfenit, cerusit, kalcit, Medvednica

Na starim materijalima iz rudnika, zatečenim u zbirci Mineraloško-petrografskega odjela Hrvatskog prirodoslovnog muzeja, pored dosad utvrdenog galenita, sfalerita, pirita, dolomita, kremena, te sekundarnog anglezita i cerusita, konstatirani su još wulfenit i kalcit. Wulfenit, kalcit i cerusit razvijeni su u kristalima, pa je bilo moguće izvršiti goniometrijska mjerena. Kristalići wulfenita pločasti su po {001}, kristali kalcita su bačvastog izgleda sa više ojednako razvijenih romboedara i skalenoedara, a kristali cerusita su izduljeni smjerom [100] uz česte sraslance po {110}.

UVOD

Ova rudna pojava je kroz literaturu različito imenovana, rudnik "Bistra" (VRBANIĆ, 1883), Veliki Plazur, te Vlas kapolie ili Vlaskopolie prema Hacquetu (KIŠPATIĆ, 1901), možda najčešće prema najbližoj istaknutoj točci, što je dugo vremena bila jedino crkvica Sv. Jakoba, tako da stariji uzorci tog lokaliteta u zbirci Mineraloško-petrografskega odjela Hrvatskog prirodoslovnog muzeja nose tu oznaku. Kasnije se lokalitet označuje "kod Grafičara", jer je pojava udaljena svega 150 m jugozapadno od planinarskog doma "Grafičar". U novije vrijeme češće je upotrebljavani i termin "Rudarski vrt". Ime "Zrinski rudnici" nastalo je po grofovima Zrinskim, koji su u 17. stoljeću bili vlasnici tog posjeda i tu vadili rudu.

Kristalografska određivanja na materijalima te rudne pojave dosad nisu vršena. Kako smo među dosad poznatim članovima parageneze (gallenit, sfalerit, pirit, dolomit, kremen, te anglezit i cerusit) našli i dobro razvite kristale cerusita, kalcita i, što je posebno zanimljivo, wulfenita, ponukani smo bili da izvršimo ova određivanja.

EKSPERIMENTALNI DIO

Mjerena kristala su izvršena dvokružnim refleksnim goniometrom. Na temelju mjerene vrijednosti iz gnomonske i stereografske projekcije izvršeno je indiciranje ploha zastupljenih formi. Kristalna morfologija prikazana je paralelnoperspektivnim slikama.

CERUSIT

Sitni bezbojni kristalići do 1 mm veličine sakupljeni su povrh trošnijih galenitnih nakupina. Pregled zastupljenih formi na 3 mjerena kristala prikazan je u tablici 1, a izgled kristala prikazan slikom 1. Indiciranje ploha izvršeno je na temelju osnog odnosa $a : b : c = 0,6100 : 1 : 0,7230$ (PALACHE et al., 1951, p. 200).

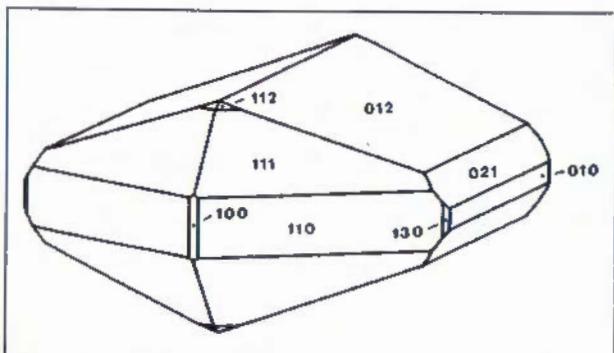
KALCIT

Bezbojni kristalići veliki do 3 mm nadeni su povrh galenita i dolomita. Pregled zastupljenih formi na 5 mjereneh kristala prikazan je u tablici 2.

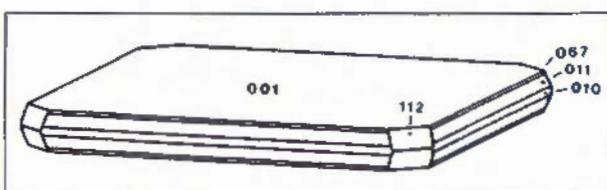
Indiciranje ploha izvršeno je na temelju osnog odnosa $a : c = 1 : 0,8543$ (PALACHE et al., 1951, p. 142). Kristali su bačvastog izgleda, a prikazani su slike 2 i 3.

WULFENIT

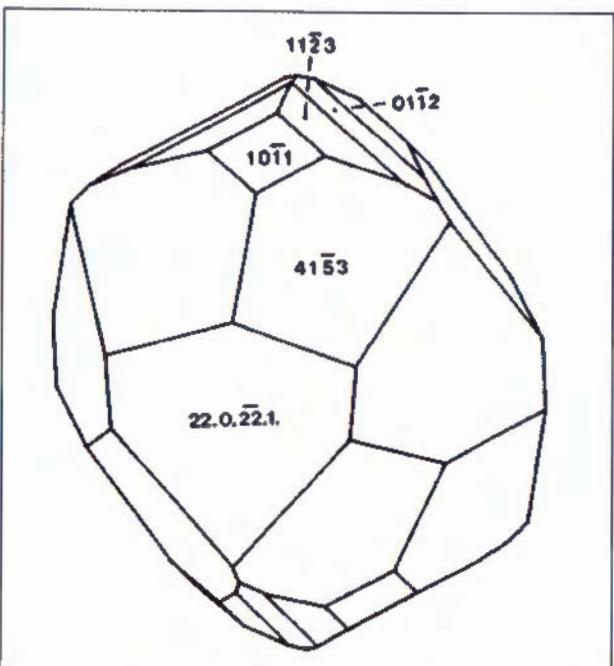
Tipično narančasti, tankopločasti kristali wulfenita veliki blizu 1 mm prisutni su kao mladi članovi ove karbonatno-sulfidne parageneze. Pregled determiniranih formi na 3 mjerena kristala prikazan je u tablici 3. Plohe su indicirane prema osnom odnosu $a : c = 1 : 2,2308$ kako ga citiraju PALACHE et al. (1951, p. 1082) na temelju mjerena Koksharova i nove strukturne orientacije. Na kristalima su jednakost zastupljene forme na gornjoj i donjoj strani kristala, tako da se na njima ne vidi hemimorfna priroda, što može biti rezultat srastanja po {001} (HURLBUT, 1955). Izgled kristala vidi se na slici 4.



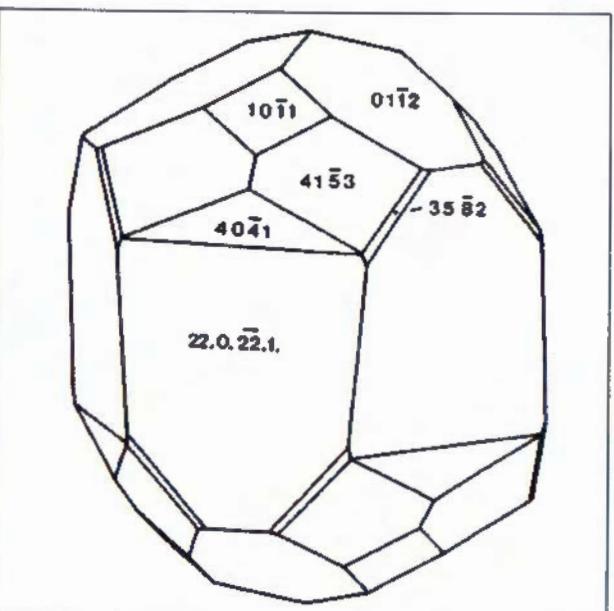
Sl. 1 Cerusit, Zrinski rudnici, Medvednica.



Sl. 4 Wulfenit, Zrinski rudnici, Medvednica.



Sl. 2 Kalcit, Zrinski rudnici, Medvednica.



Sl. 3 Kalcit, Zrinski rudnici, Medvednica.

INDEKS FORME	KRISTAL BROJ		
	1	2	3
010	*	*	*
130	*	*	*
120		*	
110	*	*	*
012	*	*	*
021	*		*
111	*	*	*
132		*	
100	*		*
101	*		
112			*
Sl.			1

Tablica 1 Pregled kristalnih formi, cerusit, Zrinski rudnici.

INDEKS FORME	KRISTAL BROJ				
	1	2	3	4	5
1011	*	*	*	*	*
4041					*
22.0.22.1	*	*	*	*	*
0112	*	*	*	*	*
4153	*	*	*	*	*
3582					*
1123	*	*	*		
2131		*	*		
Sl.	2				3

Tablica 2 Pregled kristalnih formi, kalcit, Zrinski rudnici.

INDEKS FORME	KRISTAL BROJ		
	1	2	3
001	*	*	*
010	*	*	*
011	*	*	*
067	*		*
170	*	*	
112		*	*
Sl.			4

Tablica 3 Pregled kristalnih formi, wulfenit, Zrinski rudnici.

ZAKLJUČAK

Po ŠINKOVČU et al. (1988) rudne pojave u predelu Zrinskih rudnika odnosno Rudarskog vrta nalaze se u dolomitima devonsko-karbonske starosti, a po paragenetskim karakteristikama pokazuju veliku sličnost Pb-Zn ležištima u karbonatima tipa Mežice i Bleiberg. Nalaz kristala wulfenita govori u prilog tome.

LITERATURA

- HURLBUT, C.S. (1955): Wulfenite Symmetry as shown on Crystals from Yugoslavia.- *The American Mineralogist*, 40, 857-860.
- KIŠPATIĆ, M. (1901): Rude u Hrvatskoj.- Rad Jugosl. akad. znan. i umjetn., 147, (Matem.-prir. razr. 30), 1-104, Zagreb.
- PALACHE, C., BERMAN, H. & FRONDEL, C. (1951): *The System of Mineralogy*, Vol. II.- 7th edit., John Wiley and Sons Inc., Chapman & Hall Ltd., New York, London.
- ŠINKOVEC, B., PALINKAŠ, L. & DURN, G. (1988): Rudne pojave Medvednice.- *Geol. vjesnik*, 41, 395-405, Zagreb.
- VRBANIĆ, F. (1883): Rudarska produkcija u Hrvatskoj i Slavoniji godine 1874 -1881 (Bergwerks-Betrieb Croatiens und Slavoniens).- Statistički ured Kr. Hrv. - Slav. - Dalm. zemalj. vlade, Zagreb.

Vodni potencijal jamskih prostora Labinštine

Josip RUBINIĆ, Mirko TOMAŠIĆ & Igor KUKULJAN

Ključne riječi: jamske vode, krške podzemne akumulacije, odnos slatke i slane vode

Key words: Mine underground waters, Karst underground accumulations, Fresh-water and sea-water relation

Sažetak

U radu je dan prikaz hidrogeoloških prilika po prestanku eksploatacije ugljena u jami Pićan, kao i sustavu jama Labin, Raša i Ripenda. Došlo je do potapanja rudarskom eksploatacijom sekundarno narušenih podzemnih prostora, te do formiranja široko rasprostranjenog i u odnosu na razinu mora relativno visokog vodnog lica slatkovodne leće, a koja je u dinamičkoj ravnoteži s morem.

Obzirom na okolnost da čitavi jamski prostor, zbog svoje podzemne otvorenosti i rasprostranjenosti, praktički predstavlja drenažu podzemnih voda šireg okolnog prostora, kao i obzirom na značajnu akumulativnost tako formiranog akvifera, jamske vode su vrlo interesantan vodni potencijal Labinštine, ali i šireg istarskog područja.

Abstract

This paper represents hydrogeological situation after termination of coal exploitation in the Pićan, as well as in Labin, Raša and Ripenda mines. Those mines were flooded, and widely spreaded water level is formed. Water level is in dynamic balance with the sea.

Because whole mining area is spreaded and opened underground, therefore it represents drainage of underground waters of surrounding areas. Another interesting aspect is that aquifer formed like that represents respectable water accumulations and also an interesting water potential for Labin district as well as for Istria in whole.

1. UVOD

Na širem prostoru Labinštine postojalo je više jamskih ugljenokopa, i to kako na širem području samog Labina (jame Raša, Labin, Ripenda...), tako i na području Potpićna (jama Pićan). No, do kraja osamdesetih godina iz njih je prestala eksploatacija ugljena. Izuzetak je jama Tupljak kod Potpićna koja je još uvek aktivna. Na slici 1 dat je situacijski prikaz položaja spomenutih jamskih prostora, njihovih karakterističnih dubina, te lokacija mjesta na kojima trenutno vrši praćenje hidroloških prilika.

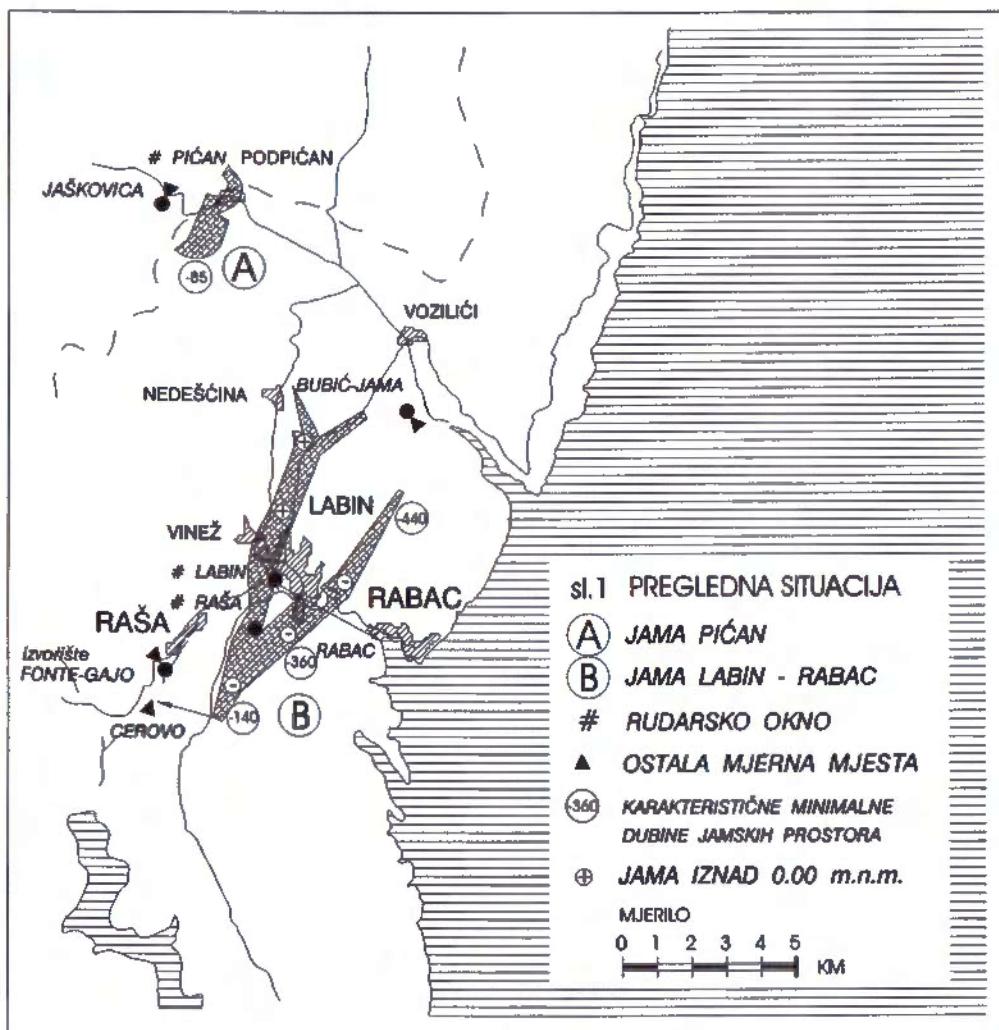
U uvjetima eksploatacije, voda se prikupljala izgrađenim drenažnim sustavom i crpila na više horizonata, od kojih je najniži bio na koti od čak 500 m ispod razine mora. U razdoblju 1971. - 1981.g. prosječne crpljene količine tih voda su kod jame Labin iznosile $0.212 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, kod jame Raša $0.245 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$, dok su kod jame Pićan one bile $0.340 \text{ m}^3 \text{s}^{-1}$.

Prestankom eksploatacije ugljena, te s tim u vezi i prestankom crpljenja vode, došlo je do postepenog potapanja jamskih prostora, te stvaranja novih hidroloških uvjeta. Izrađenim okнима, kanalima i drenažnim objektima omogućen je bolji pristup do vodonosnog sloja - vodne leće koja se formira na tom prostoru, kao i brža cirkulacija podzemnih voda. Istražni radovi na praćenju

vodnog potencijala jamskih voda po dovršetku potapanja jamskih prostora započeli su sredinom 1992.g. u organizaciji JVP istarskih slivova iz Labina. Iako oni nisu zaključeni, već i na osnovu dosadašnjih saznanja može se utvrditi da jamski prostor područja Labinštine predstavlja jedan od najznačajnijih još neistraženih vodnih potencijala Istre, i to kako u pogledu same količine vode koja bi se mogla osigurati iz toga zahvata, tako i zbog akumulativnosti toga prostora, čime bi se režim crpljenja mogao optimalno prilagoditi eventualnom sezonskom karakteru potreba za vodom. Utvrđivanje karakteristika kvaliteta jamskih voda je također predmet tekućih istražnih radova, no zbog njihove još nedovoljne kompletiranosti, ti rezultati nisu sadržani u datom radu.

2. OPĆE KARAKTERISTIKE JAMSKIH PROSTORA

Jamski prostori razvijeni su unutar tzv. produktivnog tercijara labinske i pićanske sinklinale. Labinska ugljenosna sinklinala može se slikovito predstaviti kao izdužena, koso položena, reversno složena (višestruko) sinklinala sa rubno lepezasto složenim zonama ugljenih slojeva u regularnom, i manje u navučenom krilu le-



Sl. 1 Pregledna situacija.

žista. To je uvjetovalo veoma složenu mrežu rudarskih prostorija razvijenih u jami Raša na kotama između +50 i -300 m n.m., a u jami Labin između +100 i -400 m n.m.. Ukupan volumen šupljih prostora u tom, uvjetno rečeno priobalnom jamskom sustavu procijenjen je na 7.150.000 m³ (Studija o mogućnosti korištenja jamskih, izvorskih i površinskih voda na širem području Labina - Fond str.dok. Industropredjekta, Zagreb, 1983).

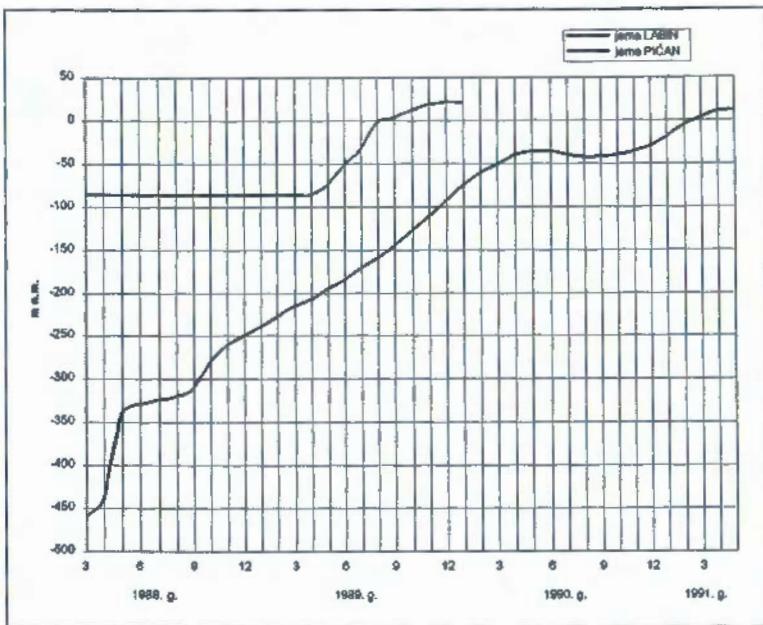
Na prostoru Pičanske sinklinale rastvorene su jame Pičan (s procijenjenim volumenom šupljeg prostora od 1.500.000 m³), te jama Tupljak koja se još otkopava.

Vode koje se javljaju u potopljenim jamskim prostorijama mogu imati višestruko porijeklo:

- Vode koje pritječu iz područja neposrednog krovinskog površinskog sliva, te su u neposrednoj vezi s pojavnama oborina. Zbog male retencijske sposobnosti krovine za prihvatanje tih voda, njihova je pojava kratkotrajna i odvija se karstifikacijskim putevima, kao i privilegiranim putevima nastalim kao posljedica izvođenja jamskih radova. Pri pojavnama takvih voda u jama Raša i Labin, dijelom se one evakuiraju potkopima na višim vodnim horizontima (Rabac, Cerovo), tako da se u manjoj mjeri mijesaju sa temeljnim jamskim vodama.

- Temeljne jamske vode koje se u jamama javljaju kao posljedica dotoka vezanih uz rudarske radove u kredi, kao i kontakta sa tercijarom. To su podinske vode čije se prihranjivanje vrši iz šireg okolnog, pa i regionalnog područja. Njihovo kretanje vezano je uz niže razine karstificiranosti temeljne krede. Novouspostavljena razina jamskih voda sigurno je dijelom izmjenila karakter kretanja podzemnih voda u široj uticajnoj zoni, pa u sadašnjem stanju jamske i te podzemne vode vjerojatno imaju samo posredni medusobni uticaj. U slučaju ponovnog sniženja razine jamskih voda, moguće je da se osjeti u jačoj mjeri uticaj i tih podzemnih voda na režim jamske akumulacije.

- Pojava morske vode u priobalnom jamskom sustavu Labina iskazana je u vidu povećanih saliniteta jamskih voda, utvrđenih u dubljim dijelovima jamskih prostora, kao i u situacijama izbacivanja dijela leće bočate morske vode (kroz okno Labin) pri naglijim pojavnama značajnijih dotoka. Unatoč izuzetne dubine dreniranja u odnosu na razinu mora i njegovu blizinu, prodori mora u jamu nisu bili u većoj mjeri iskazani u tijeku eksploatacije ugljenokopa, tako da je udio mora pri punjenju jamskih prostora sigurno bio zastupljen samo u manjoj mjeri.



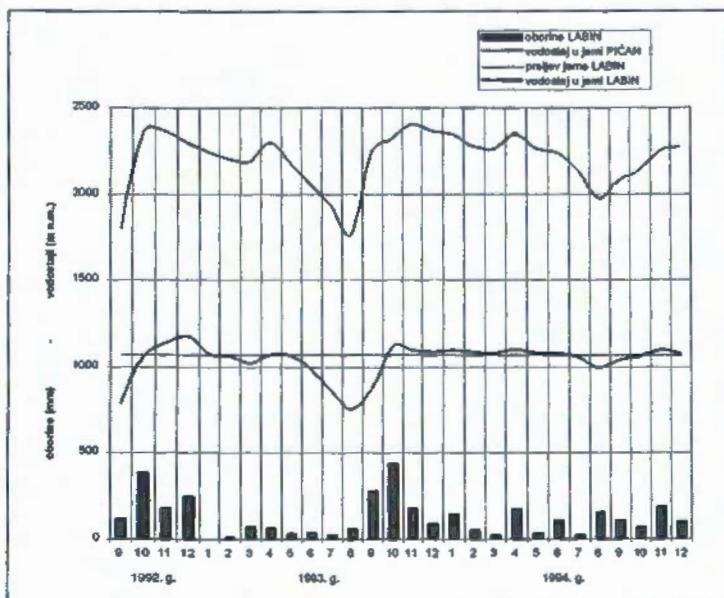
Sl. 2 Krivulja potapanja jamskih prostora.

Potapanje jamskog sustava jama Raša - Labin započelo je u ožujku 1988.g., a završeno je preljevom jamskih voda iz okna Labin na potkopu Rabac u svibnju 1991.g. Početak potapanja je započeo sa dotocima jednakim crpljenjima prije samog potapanja (cca $0.350 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), tj. pri najnižim razinama vode u jami (-450 m n.m.). Kasnije se taj prirodni dotok smanjivao sa podizanjem razine potapljanja - uz normalne varijacije tijekom sušnog i kišnog razdoblja (sl. 2). Potapanje jame Pičan ispod III horizonta (-90m) započelo je još u vrijeme trajanja otkopavanja viših horizonata. Polovinom svibnja 1989.g. nastavljeno je potapanje jame i na višim horizontima, sve do konca listopada 1989.g., kada je ono završeno. Po završenom punjenju iz jame se javlja stalno i praktički konstantno otjecanje vode kroz izgrađeni vodozaštitni stub u spomenuto susjednu, aktivnu jamu Tupljak, i to u količini od cca $0.100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (sl. 2).

3. REZULTATI DOSADAŠNJIH HIDROLOŠKIH ISTRAŽIVANJA

Hidrološka osmatranja dinamike kolebanja jamskih voda započela su u rujnu 1992.g., i predstavljaju osnov započetih vodoistražnih radova u cilju utvrđivanja vodnog potencijala jamskih prostora Labinštine. Kontinuirana limnografska osmatranja razine vode u sustavu jama Raša-Labin vrše se na oknu Raša, a periodična očitanja razine vode, uz uzorkovanja saliniteta jamskih voda, vrše se i na lokacijama okna Labin, te potkopa Raša i Cerovo. Razina vode u jami Pičan osmatra se na oknu Pičan u Potpićnu, te krškom izvoru - jami Jaškovica koja je ponovno po potapljanju jamskih prostora postala aktivna.

Na slici 3 dat je prikaz osnovnih rezultata provedenih osmatranja - mj. količina oborina i sr. mj. razina vode u jami Pičan te u sustavu jame Labin (Raša,



Sl. 3 Kolebanja razina jamskih voda (IX/92 - XII/94).

Labin, Ripenda).

Vrh okna Pićan nalazi se na koti 25.47 m n.m., a preljeva izvora Jaškovica na koti od 22.63 m n.m. U razdoblju provedenih osmatranja (IX. 1992. - XII. 1993.), maksimalni vodostaj na oknu Pićan je iznosio 24.62 m n.m., a minimalni 17.33 m n.m. Obzirom da se jama nalazi izolirana od utjecaja mora, saliniteti jamskih voda bili su vrlo niski i kretali su se između 14 i 35 mg l^{-1} .

Jamski sustav Raša-Labin ima preljev podinskih jamskih voda na oknu Labin pri koti +10.40 m n.m., odakle se iz jame evakuiraju izgradenim potkopom Rabac. U promatranom razdoblju, minimalni vodostaj je iznosio 6.98 m n.m., a maksimalni 13.00 m n.m.

Izmjereni saliniteti jamskih voda variraju ovisno o mjestu i dubini uzorkovanja. Na oknu Raša oni su pri koti 0 m n.m. vrlo ujednačeni i niski - kreću se oko 20 - 25 mg l^{-1} . Pri kotama od cca -100 m n.m., oni ovisno o hidrološkim prilikama variraju u širokim granicama između 20 pa do 120 mg l^{-1} , a pri dnu okna, na još većim dubinama (cca -220 m n.m.) saliniteti su gotovo stalno relativno visoki, te se kreću i do oko 5.000 mg l^{-1} .

Saliniteti voda koje istječu na potkopu Cerovo kreću se u granicama između 10 i cca 50 mg l^{-1} , a što pokazuje da se, zbog visinskog položaja potkopa, radi o dreniranju krovinskih voda.

Na ulazu u potkop Rabac se također vrši uzorkovanje saliniteta voda koje tu dotiču - kao dotoci krovinskih i naljevnih oborinskih voda iz jame Labin i Vinež, ili pak zajedno s preljevnim količinama voda iz samoga okna Labin. Pri pojavi takvih prelijevanja, pogotovo u početnoj fazi prelijevanja, javljaju se i pri vrhu okna (cca 0 m n.m.) relativno visoki saliniteti tih podinskih voda - do oko 1.000 mg l^{-1} . U sušnom razdoblju oni se stabiliziraju, te se kreću do oko 100 mg l^{-1} . Na većim dubinama oni su značajniji, pa tako na dubini od cca -140 m n.m. oni u sušnom razdoblju iznose oko 1.000 mg l^{-1} , a na koti od -340 m n.m. i do preko 3.000 mg l^{-1} .

U kontekstu osmatranja jamskih voda, za spomenut je i pojavu Bubić jame u Plominu. (srednje razine vode u jami cca 1.20 m n.m.), čije vode se koriste za potrebe TE Plomin I i Istarskih ugljenokopa. Ta krška jama nalazi se rubno locirana u odnosu na vodnu leću labinskog prostora, gdje je ona i najtanja. Tako se u sušnim razdobljima razina vode u jami, dijelom i uslijed crpljenja, spušta sve do razine mora. Pri takо niskim vodostajima, redovito dolazi do precrpljivanja, te povećanih saliniteta voda. U isto je vrijeme razina vode u obližnjim jamskim prostorima Labina, u središtu forirane vodne leće, za oko 5-6 m viša. Interesantno je da je kao kod jame Labin i kod Bubić jame utvrđeno da "kod jačeg dotoka vode (jačih kiša), što je u toku osmatranja utvrđeno, dolazi i do naglog porasta saliniteta" (Istražni radovi za utvrđivanje stupnja poremećenosti hidrogeoloških odnosa i praćenja promjena na izvorima šireg

područja Labina; Fond str.dok. INA-projekta, Zagreb, 1989). Prema tim navodima, očito je da i kod Bubić jame dolazi do uvlačenja mora u kavernozni sustav njenog okolnog područja. Nailaskom velikih voda dolazi do brzog nadvišenja razine podzemnih voda i potiskivanja mora. Ukoliko je priliv slatkih voda tako brz da se slana voda ne uspije istjerati prema moru samo njenim normalnim potiskivanjem, linijom najmanjeg otpora dolazi do potiskivanja slanije vode i u samo prirodno okno - tj. Bubić janu. U slučaju jamskih voda Labina, radi se o potiskivanju slanijih voda u okno, te otjecanju kroz potkop Rabac prema moru.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati do sada provedenih istraživanja jamskih voda pokazala su da se radi o interesantnom i respektabilnom vodnom potencijalu. U zoni jame Pićan došlo je do formiranja podzemne retencije jamskih voda koje zbog položaja jame nisu u interaktivnom odnosu sa morem, čime se osiguravaju njihove značajne eksplorabilne rezerve.

Potapanjem prostora jama Labin - Raša formirana je velika podzemna akumulacija, a koja je u procesu stvaranja ravnoteže s morskom vodom. Naravno, na dinamiku međuodnosa slatke i morske vode u tom procesu bitan utjecaj imaju i provedeni rudarski radovi koji su narušili prirodnu strukturu stijenskog masiva tog područja, te time omogućili neposredniju cirkulaciju vode, pa i mora u toj zoni.

Dobivene relativno visoke razine vode u formiranim podzemnim akumulacijama i za trajanja dužih sušnih razdoblja, ukazuju na relativno dobru izoliranost formiranog akvifera u smislu mogućnosti njegova brzog prirodnog pražnjenja prema moru. To ukazuje i na mogućnost da se otješnjenjem najnižeg rudarskog prokopa - Rabac dodatno poveća razina voda u jamskim prostorima, čime bi se, uz dodatno smanjenje njihova saliniteta, povećale i eksplorabilne rezerve jamskih voda.

5. LITERATURA

- BATURIĆ, J. (1962): Problem "kaverne" u Raši.- Krš Jugoslavije, 3, Zagreb.
- BATURIĆ, J., MAGDALENIĆ, A., GREGL, T. & JURAK, V. (1972): Djelomična potvrda Herzbergovog zakona u primorskom kršu.- Zbornik radova 2. jugoslovenskog simpozijuma o hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji, Sarajevo.
- JVP ISTARSKI SLIVOVI (1993): Istraživanje vodnog potencijala jamskih prostora napuštenih ugljenokopa s područja Labinštine (VIII-1992. - III-1993.) - prethodni rezultati započetih istraživanja. Fond str. dok. JVP istarskih slivova, Labin.

Nova otkrića plina i kondenzata u Murskoj depresiji na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec

Šime RUNJIĆ, Mate DRAGAŠ, Vlado HUNDRIĆ & Ante KEDMENEC

Ključne riječi: matične stijene, kolektorska stijena, plin, kondenzat, TOC (Total Organic carbon), kerogen, DST (Drill Steam Testing), HDM (hidrodinamska mjerjenja), propusnost, šupljikavost, radius ispitivanja, ekspander, geotermalna energija

Sažetak

U hrvatskom dijelu Murske depresije tijekom 1993. i 1994. godine, na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec otkrivene su ležišta plina i kondenzata.

Kako je objekt Vučkovec bliži zrelim matičnim stijenama, badenskim vapnovitim laporima, koji generiraju ugljikovodike (kraci put migracije) od objekta Vukanovec to je prvi "napadnut" istražnim bušenjem. Proizvodnim ispitivanjem ležišta na objektu Vučkovec, preko separatora pri određenim uvjetima izračunata je mogućnost pridobivanja 548 000 m³ plina (CH + CO₂) i 5m³ kondenzata na dan.

Utvrđeno zasićenje na objektu Vučkovec upućivalo je na mogućnost zasićenja ugljikovodicima i na objektu Vukanovec, što je i potvrđeno bušotinom Vukanovec - 1. Rezultati ispitivanja su i na ovoj bušotini (objektu) bili izuzetno povoljni.

Ležišta su na oba lokaliteta masivnog tipa. Ležišne stijene su karbonati mezozojske starosti, a pokrov čine kompaktni siltiti miocenske starosti.

UVOD

Područje Murske depresije regionalno - geološki pripada Panonskom bazenu. Nalazi se u jugozapadnom rubu Panonskog bazena, a obuhvaća krajnje sjeverozapadno područje Republike Hrvatske uz granicu sa Republikom Slovenijom u koju dijelom prelazi (sl. 1).

Prirodne granice Murske depresije čine masivi i horstovi alpskog i dinarskog orogena prema zapadu, a jugoistočni prijelaz prema Dravskoj potolini označen je Legradskim pragom. Najbitniji utjecaj na stvaranje strukturalnih oblika u potolini učinili su pokreti tijekom oligocena i početkom miocena koji su izazvali tonjenje te taloženje debelog slijeda sedimenata, nakon čega je uslijedilo uzdizanje koje traje do danas (sl. 2 i 3).

Key words: Source rock, Reservoir rock, Gas, Condensate, TOC (Total Organic carbon), Kerogen, DST (Drill Steam Testing), Well testing, Permeability, Porosity, Radius of investigation, Expander, Geothermal energy

Abstract

During 1993 and 1994 in the Croatian part of the Mura depression new gas and condensate reservoirs were discovered at the Vučkovec and Vukanovec localities.

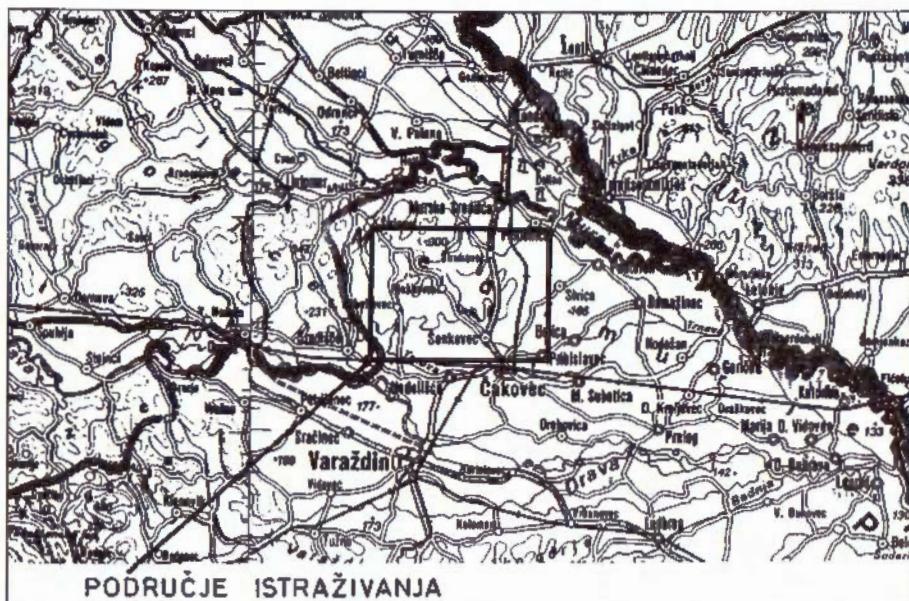
Since the Vučkovec locality is closer than Vukanovec to Badenian limy marls - mature hydrocarbon generation source rocks (shorter migration route), the first exploration well was located at Vučkovec. At the locality production testing through the separator at specified conditions yielded 548.000 m³ of gas (CH + CO₂) and 5 m³ of condensate per day.

The confirmed saturation at the Vučkovec locality indicated the possibility of hydrocarbon saturation at the neighbouring locality as well, as the Vukanovec-1 well proved. Testing results in this well were also very encouraging.

Reservoirs at both localities are of massive type. Reservoir rocks are carbonates of Mesozoic age, while compact siltites of Miocene age form the top.

KRATKI PRIKAZ GEOKEMIJSKIH KARAKTERISTIKA

Vrsta i zrelost matičnih stijena utvrđene su na više lokaliteta. Utvrđena su dva stratigrafska nivoa matičnih stijena. Prvi, stariji, koji i dublje zaliže je badenske starosti. To su gusti silozni latori ili pjeskoviti vapnenički peliti debljine cca 500 metara sa povišenim TOC (1.35%). Kerogen je tipa III koji implicira prekursore terestričkog porijekla. Plići i mladi su miocenske matične stijene sarmatske starosti. To su silozni latori debljine do 120 metara, sa kerogenom tipa II. Utvrđeni su na nekoliko lokaliteta i u širem području. Do sada su na istražnim lokalitetima Vučkovec i Vukanovec izbušene tri duboke istražne, jedna plitka i jedna geotermalna bušotina.



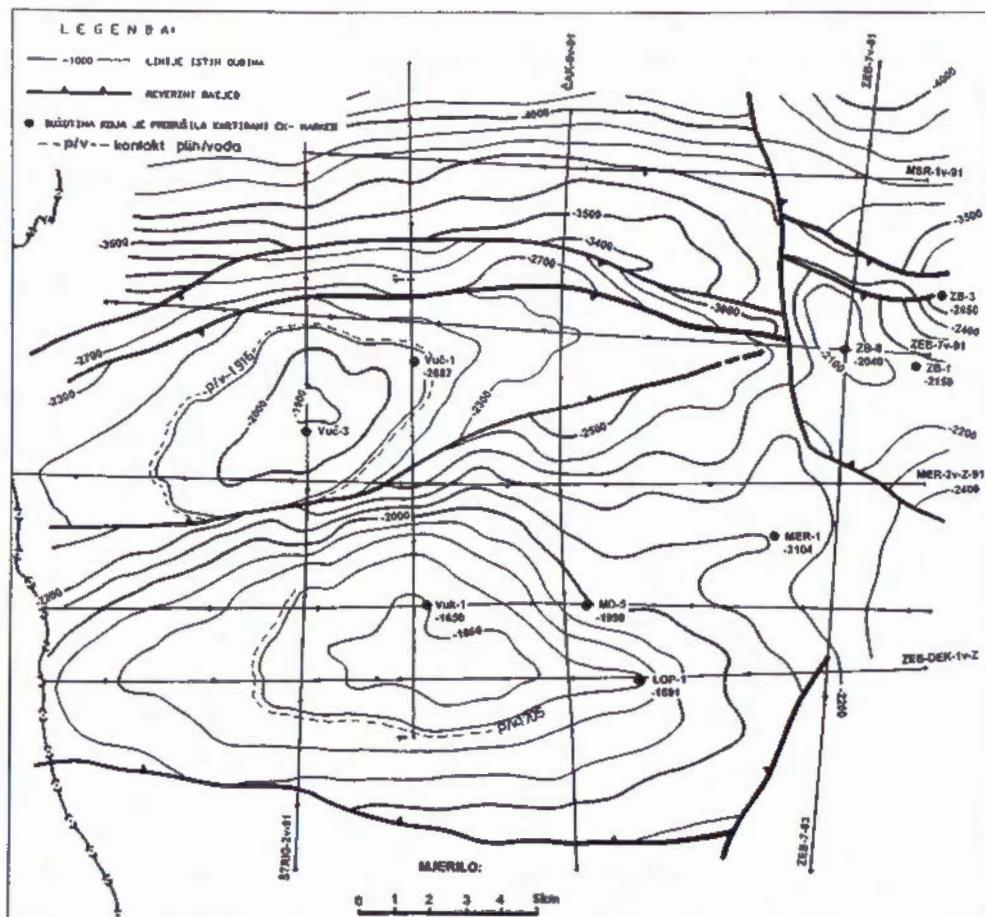
Sl. 1 Situacijska karta.

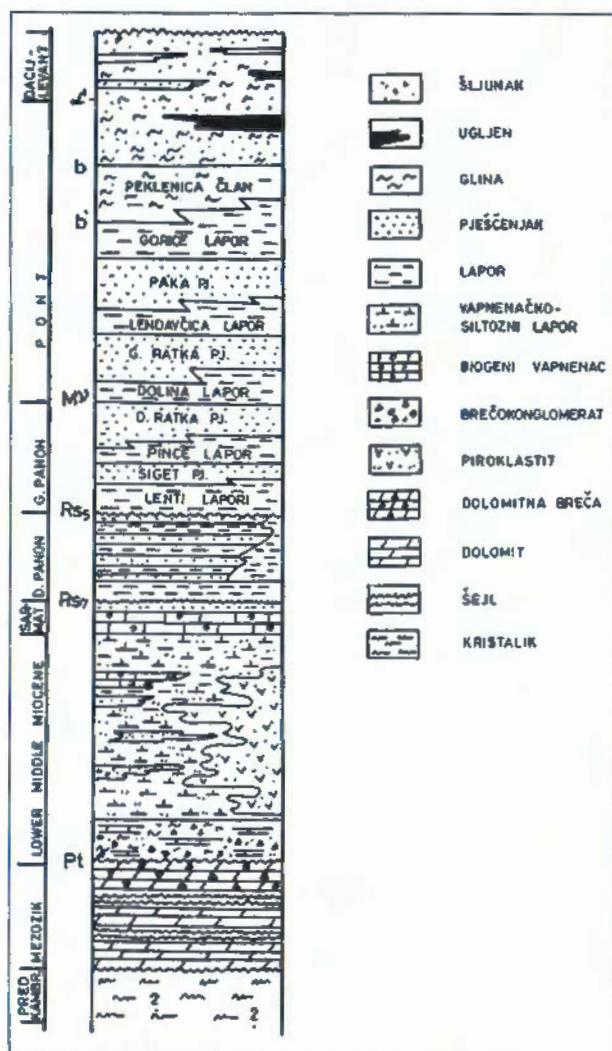
LEŽIŠNE KARAKTERISTIKE

Na lokalitetu Vučkovec ispitana su dva ležišta, brečokonglomerati miocenske starosti i tektonizirane dolomitne breče trijaske starosti, a na lokalitetu Vukanovec ispitani su vapnenačko dolomitični brečokonglomerati trijaske starosti (prema odredbi D. STANKOVIĆ). Na oba lokaliteta se radi o masivnom tipu ležišta sa stratigrafsko - strukturnim zamkama.

Miocenski brečokonglomerati su ispitani jednim DST-om na bušotini Vučkovec-3. Trijaske dolomitične breče ispitane su sa šest DST-a i dva kompletна hidrodinamička ispitivanja (HDM) na bušotini Vučkovec-1 i Vučkovec-3, a vapnenačko dolomitični brečokonglomerati trijaske starosti sa pet testiranja i jednim kompletnim hidrodinamičkim mjerjenjem (HDM) na bušotini Vukanovec-1.

Miocenski brečokonglomerati na bušotini Vučko-





Sl. 3 Shematski litostratigrafski stup Murske potoline.

vec-1 debljine su cca 5 metara, a 13 metara na bušotini Vučkovec-3. Prema analizama jezgri i interpretaciji EK - logova, očito se radi o kolektoru prihvatljive propusnosti osobito u podinskom dijelu sloja koji, međutim, nije zahvaćen ispitivanjem iz tehničkih razloga. Slojni tlak je nešto veći od hidrostatičkog ($g_p = 1.16 \text{ bar}/10 \text{ m}$). Tijekom ispitivanja brečokonglomerati su proizvodili ugljikovodični plin s udjelom ugljika dioksida do 35%. Iz interpretacije proizlazi da je dotok plina ostvaren iz sekundarnog - pukotinskog poroziteta jer primarni porozitet nije došao do izražaja zbog kratkoće mjerena. Mogućnosti sloja su sigurno veće nego je testiranje pokazalo (sl. 4), iz razloga što je bolji dio kolektora ostao neispitan (tehnički razlozi).

Dolomitični kompleks trijaske starosti ispitana je na dubokim istražnim bušotinama Vuč-1 i Vuč-3 sa 6 testiranja i 2 opsežna hidrodinamička mjerena, a na bušotini Vuk-1 s 5 testiranja i jednim hidrodinamičkim mjerjenjem.

Debljina kolektorske stijene do kontakta plin/voda iznosi 86 metara na bušotini Vučkovec-1, a 160 metara na bušotini Vučkovec-3, odnosno 33 metra na bušotini Vukanovec-1. Ukupne geološke pričuve prema prvim

procjenama na oba lokaliteta ($\text{CH} + \text{CO}_2$) iznose 4-5 milijardi m^3 plina uz izvjestan sadržaj kondenzata na lokalitetu Vučkovec.

Za sva je ležišta važno reći da prevladava pukotinski tj. sekundarni porozitet. Velika učestalost pukotina odnosno pukotinskih sustava različitih smjerova i različitih nagiba čini kolektor izuzetno dobro propusnim i prema interpretaciji EK - logova izotropnim. Iz istog razloga postoji nesklad između petrofizičkih analiza i EK - logova. Naime, najkvalitetniji kolektorski dijelovi jezgre nisu bili pogodni za petrofizička ispitivanja zbog rastresitosti. Sva ispitivanja metodom DST-a kao i kompletnim hidrodinamičkim ispitivanjem (HDM) (sl. 4) dala su jednoznačnu sliku ležišta. Radi se dakle o ležištima izuzetno visokih proizvodnih mogućnosti i jako velike propusnosti. Kompletnim hidrodinamičkim ispitivanjem (HDM) je ostvarena proizvodnja plina od nekoliko stotina tisuća kubičnih metara na dan (ovisno o uvjetima mjerena). Međutim valja napomenuti da mogućnost davanja ležišta prelazi i milijun kubičnih metara plina na dan uz relativno male depresije ($D_p < 10\%$).

Analiza plina pokazuje u svim ležištima, izuzev brečokonglomerata miocenske starosti, sastav cca 40% CH i cca 56% CO_2 . Prisutan je i vodik sulfid u koncentraciji od prosječno 80 ppm. Tijekom kompletног hidrodinamičkog mjerena (HDM) pridobivan je i kondenzat u količini od cca 5 m^3/dan . Slojni tlakovi su u okviru hidrostatičkih, a vrijednost propusnosti varira od $70 - 72 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

Prema EK - logovima koji su u suglasju s petrofizičkim analizama srednja vrijednost šupljikavosti je 8%. Očito dobra povezanost pukotina, što je vidljivo iz analiza jezgri, orijentiranih jezgri. EK - logova i konačno DST ispitivanja, omogućuje stabilnu i veliku proizvodnju. Prema interpretaciji dijagrama kompletних hidrodinamičkih mjerena (HDM) vanjske granice ležišta koje su predvidene struktturnim rješenjem nisu dosegnute u radijusu ispitivanja (sl. 4).

Kontakt plin-voda utvrđen je vrlo precizno DST-mjerjenjem, tako da možemo sa sigurnošću tvrditi da je zona kontakta na lokalitetu Vučkovec od 2.158 - 2.161 metar, a na lokalitetu Vukanovec od 1.946 - 1.948 metara (sl. 5).

Obzirom na relativno visoke tlakove na ušću bušotine registrirane tijekom ispitivanja, prvi puta je inicirana ideja o mogućnosti proizvodnje električne energije pomoću ekspandera, koristeći spomenute tlakove.

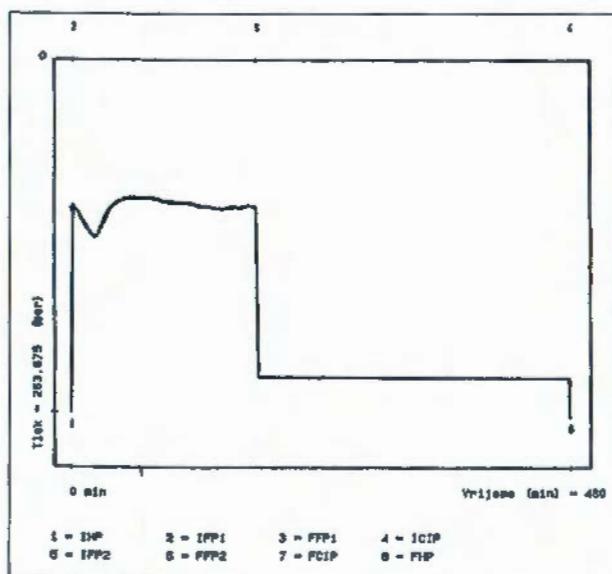
Osim toga, nakon iscrpljenja ležišta ostaje mogućnost korištenja ležišta za geotermalnu vodu.

ZAKLJUČAK

Iz svega do sada rečenog uočljivo je da su novo-otkrivena ležišta na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec masivnog tipa. Na temelju ležišnih karakteristika i dosadašnjih ispitivanja na bušotinama Vučkovec-1,

BUŠOTINE	DST	INTERVAL (m)	KOLEKTOR	ZASIĆENJE	Pext bar	Gp bara/10m	H (m)	kX10 ⁻³ mm ²	S	rī (m)	T (°C)	Q m ³ /dan
VUČ-1	1	482.15-540.00	PJEŠČENJAK	VODA sal.5.7g/lNaCl	54.15	1.01	539				39	
	2	2099.40-2110.00	VAPNENODOLOMITNI BREČOKONGLOMERAT	NEUSPJELO						101		
	3	2286.65-2300.00	DOLOMITNA BREČA	PLIN, KONDEZAT	236.50	1.033	2289	30-40	33	41	118	
	4	2300.85-2311.50	DOLOMITNA BREČA	PLIN	234.29	1.019	2299	57.79	118	147.75	118	
	5	2372.50-2383.00	DOLOMIT	VODA sal.10.11g/lNaCl	236.89	0.999	2370	7.14	1.23	99	131	
	HDM	2292.00-2320.00	DOLOMIT	PLIN	232.85 Puš.94	1.01	2306	kh=2232 k=72	26.67	827		548937 Qkon=5.28 Qw=4.92
VUČ-3	1	1878.5-1887.0	VAPNENAČKI BREČOKONGLOMERAT	MANJE KOL. PLINA	218.45	1.15	1886	0.594	20.5	13.35	110	Q=2200
	2	2261.85-2269.0	DOLOMIT	PLIN	232.55	1.03	2253.6	11.07	7.85	265	130	
	HDM	2304.0-2344.0	DOLOMIT	PLIN	230.60 Puš.135	1.01	2290	kh=1078 k=7	13	710	117	342894 Qkon=3.86
	RTTS PAKER U 7' KOLONI NA 2274m				P dna = 216.5							
	3	2397.3-2405.0	DOLOMIT	PLIN	235.15	0.984	2389.2		znatno			Qw=4.83
	4	2408.3-2416.0	DOLOMIT	VODA, PLIN sal.9.03g/l	235.20	0.981	2397.1		znatno			Q=68000 Q=96
VUK-1	1	1889.5-1901.0	DOLOMITIČNI KONGLOMERAT	PLIN	196.9	1.036	1900	200-300				112000
	2	1900.57-1919.5	DOLOMITIČNI BREČOKONGLOMERAT	PLIN	196.3	1.03	1893.22	56.7			115.6	105000
	3	1921.8-1939.0	DOLOMITIČNI BREČOKONGLOMERAT	PLIN	195.05	1.01	1938	29.97			115	81894
	4	2076.75-2090.0	DOLOMITIČNI BREČOKONGLOMERAT	BEZ DOTOKA								
	5	2150.4-2162.0	DOLOMITIČNI BREČOKONGLOMERAT	VODA, sal.8.5g/lNaCl	211.4	0.98	2161	9.13			114.5	165.00

Sl. 4 Ležište karakteristike.



Sl. 5 Shema dijagrama dubinskog manometra na bušotini Vučkovec-3, interval 2397.30-2405.00 m.

Vučkovec-3 i Vukanovec-1 može se zaključiti o dobrim kolektorskim svojstvima i ekonomski interesantnim pričuvama fluida (plin i kondenzat). Proizvodnja ugljikovodika ostvarena je iz ležišta sa pukotinskom šupljikavosti uz izuzetno povoljne propusnosti (više stotina milidarsija). Tijek ispitivanja praćen kroz kretanje tlaka ukazuje na konstantnost proizvodnje plina pri različitim uvjetima.

Mada su dosadašnja ispitivanja dala dosta podataka za gospodarsko vrednovanje otkrića ipak će u narednom koraku trebati znatno veću pažnju posvetiti otklanjanju tehničkih poteškoća kako bismo dobili što stvarnije podatke, a time i konačan uvid u potencijal novo otkrivenih ležišta.

Valja još jednom naglasiti mogućnost dvostrukе uporabe ležišnog fluida (plin kao pokretač turbine te kao energet), te mogućnost uporabe slojne vode kao nosioca geotermalne energije nakon iscrpljenja ugljikovodika iz ležišta.

LITERATURA

Fond stručne dokumentacije INA-Naftaplin, Zagreb.

High-Resolution Palaeogeographic Maps of Sandstone Reservoirs: GSS Poljana (Pontian, Miocene), Žutica Oil & Gas Field, Sava Depression

Bruno SAFTIĆ¹, Josipa VELIĆ¹, Jožef ŠIMON² & Jurica NOVAK²

Key words: High-resolution stratigraphic mapping, Genetic stratigraphic units, Sandstone reservoirs, Pontian, Pannonian basin, Dipmeter analysis

Abstract

In the western part of Sava depression (SW region of Pannonian basin), in heavily drilled range of Žutica field, sandy-silty-marly deposits of Genetic Stratigraphic Sequence Poljana, mainly the Poljana sandstones of Kloštar Ivanić formation (Lower Pontian), are between 50 and 170 m thick, and have a dendritic palaeodrainage pattern characterized by the three major channel sandstone bodies. An efficient correlation of the shape of SP-curve with the vertical grain-size profiles and laboratory measurements of porosity and permeability, enables an insight into the internal architecture of sedimentary bodies. Their spatial depositional framework is displayed with isopach, net sandstone and log-facies distribution maps. With interpretation of the high-resolution dipmeter measurements deterministic elements are introduced into model of concurrent deposition of sand in bathymetric lows, silt on the slopes and mud on the rises of the bottom of the sea. The applied procedure of palaeogeographic analysis - high-resolution stratigraphic mapping, contributes to synergistic management of sandstone reservoirs all the way from exploration process, through the stage of reservoir development to the final improvements in hydrocarbon recovery.

Žutica Oil & Gas field is situated in the deep zone of the western part of Sava depression, some 40 km east-southeast of Zagreb. It consists of numerous oil and gas pools where hydrocarbons accumulated in Miocene sandstone-marlstone sequences. The field was discovered in 1964 and extensively developed by the end of seventies, a total of 290 wells being drilled. Considering its yearly production, Žutica is today the most important object of Croatian oil-economy. This field presents ideal ground for testing the implementation of high-resolution physical stratigraphy, namely for introduction of genetic stratigraphic units in the sense of GALLOWAY (1989).

The typical section of analyzed unit was established as informal lithostratigraphic unit on the neighboring Ivanić-Grad oil field in 1963 (ŠIMON, 1980), consisting of fine-grained sandstone bodies embedded in silt-

stones and marls. The Poljana sandstones make up lower part of Kloštar Ivanić formation within the Sava group and are chronostratigraphically determined to be Lower Pontian of Late Miocene age, within Neogene sediments of Sava depression in the Croatian part of Pannonian basin system. In this paper, the Poljana sandstones are examined as a marker/MFS-defined unit - Genetic Stratigraphic Sequence (GSS) Poljana, the generalized stratigraphic column and type log display being given on Fig. 1. Quality E-logs enabled precise correlation on the area of ca 50 km² and subdivision of the unit into three parasequences - Genetic Intervals of Strata (GIS) named A₁₋₃, A and A'. The middle unit - GIS A was analyzed in more detail (SAFTIĆ, 1993).

The set of wireline logs on five wells included the High Resolution Dipmeter (HRDIP), a tool primarily designed to measure the magnitude and direction of the slope of sedimentary features. Using the enhanced resolution program - Strata enabling correlation of virtually all the points on the microresistivity curves, after establishing a computation input parameters adequate for all five wells, a step has been made towards relating dip trends to sedimentary environments (BIGELOW, 1990). The most important results of Strata dip pattern analysis are illustrated on the Fig. 2. It is notable that intervals of high correlation on all the Strata plots coincide with less permeable fine-grained parts of sandstone reservoirs. Average dip angle within the GIS A sandstone reservoir is bigger in the northwest situated wells, than in the ones on the southeastern part of the field. A characteristic unimodal distribution of red, drape patterns and blue, palaeocurrent patterns is shown for the Žu-272 well indicating the depositional environment of a fine-grained sand bar. A bimodal distribution of the patterns measured on the Žu-267 well indicates that the red patterns present slopes of a small distributary channel, and the blue ones direction of transport. The computed mean lineation vector coincides in most cases with the interpreted direction of transport.

A thorough correlation of log-markers has been performed through all the wells in the area. In accordance to the type log display, it was found that sandstone bodies do not lap out, but have silty marls as contemporaneous

¹Faculty of Mining, Geology & Petroleum Engineering, University of Zagreb, Pierotijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia.

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

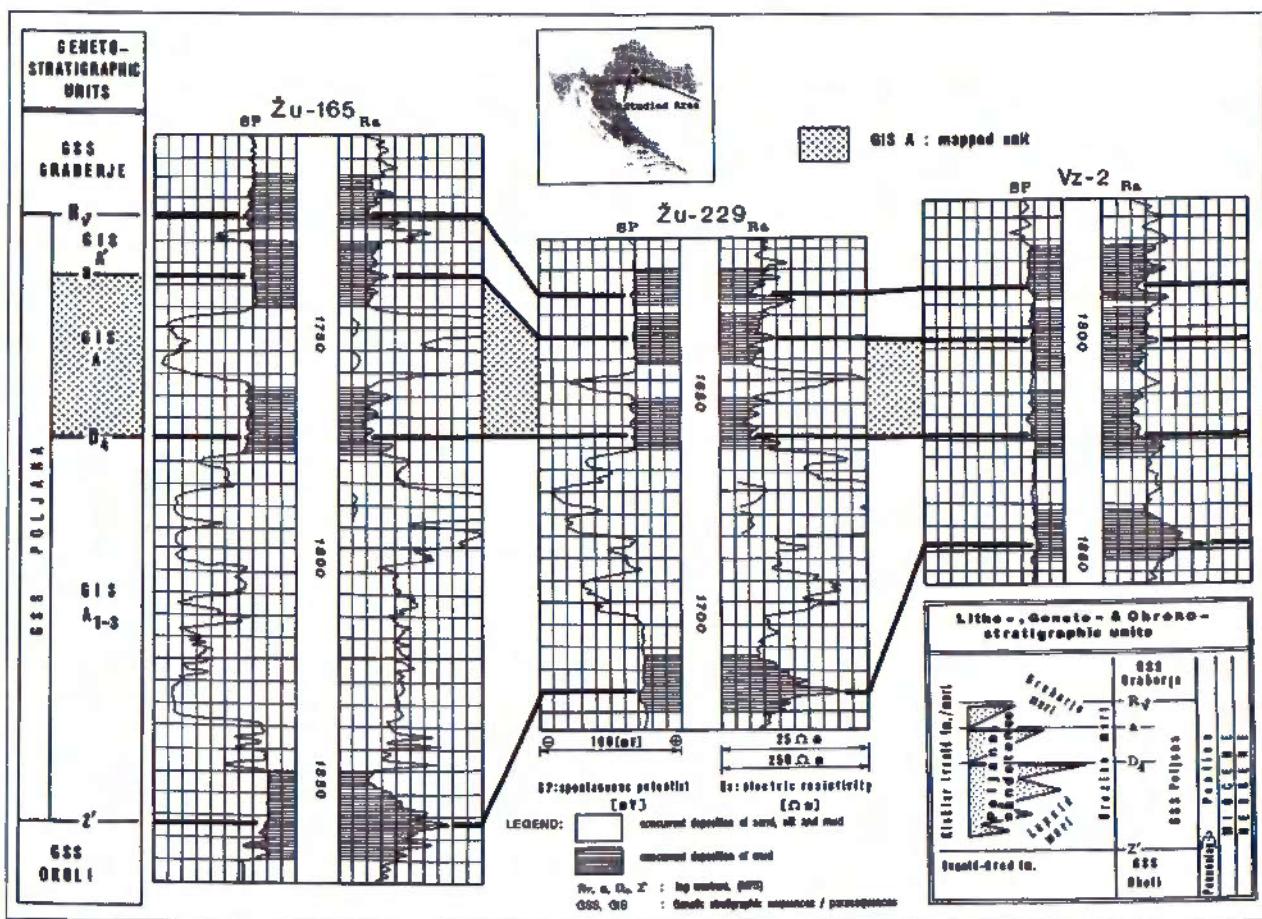


Fig. 1 GSS Poljana: Type Log Display & Stratigraphic Column.

neous equivalents. The thickness of GIS A and sandstone contained therein was measured. To prevent presumptions in the course of interpretation, the isopach and net sandstone distribution map of GIS A has been constructed by the means of computer contouring routine, allowing only moderate directional weighting during calculation of a grid nodes (Fig. 3). Dendritic palaeodrainage pattern was drawn considering the both mapped parameters and arrows showing direction of transport added in accordance to the Strata dip analysis. Establishing a good correlation of a SP-curve shape with a grain-size profiles and laboratory measurements of porosity and permeability justified construction of a log-facies distribution map (Fig. 4) after the method firstly proposed by RUOFF (1976). The map depicts geometry of sandstone bodies by the means of symbols resembling the real shape of SP-curve. The features on both maps are in concordance, allowing the same palaeodrainage pattern to be superimposed.

A conclusion is drawn that in the study of sandstone reservoirs a method of physical stratigraphy with high-resolution palaeogeographic mapping gives additional possibilities of the analysis and reconstruction of depositional environments by drawing conclusions almost exclusively from the shape of sedimentary bodies and well-log measurements related to their internal structure. To substantiate the interpretation, a detailed sedimentological study would be more than desirable. The potential economic importance of minute study of sandstone reservoirs lies in the fact that distribution, respectively prospecting for appropriate reservoirs is mostly connected to their depositional features. Moreover, additional improvements in hydrocarbon recovery can be obtained by deducing the trends of vertical and horizontal heterogeneity of a pool directly from the depositional model.

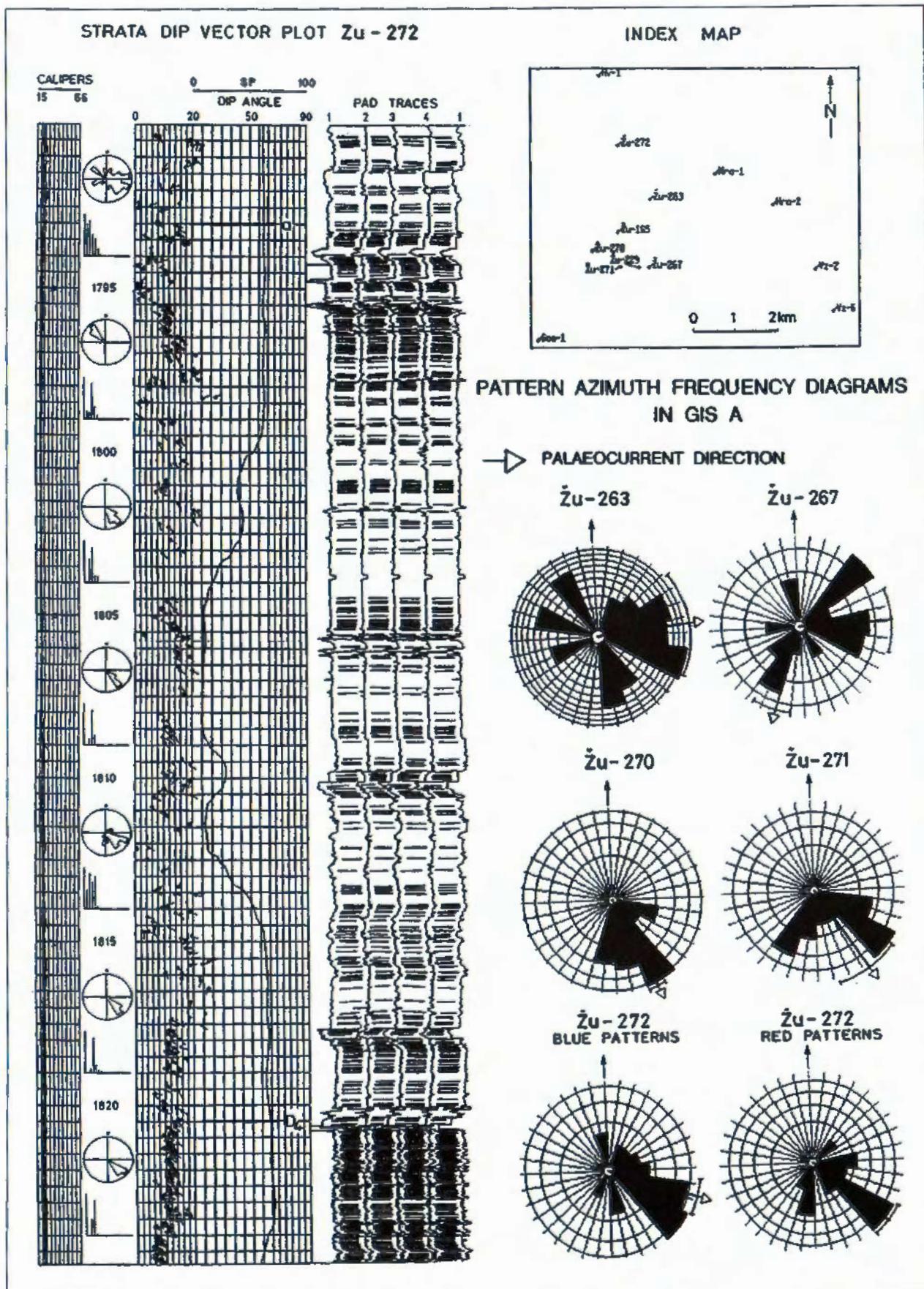


Fig. 2 Analysis of Strata Dip Patterns.

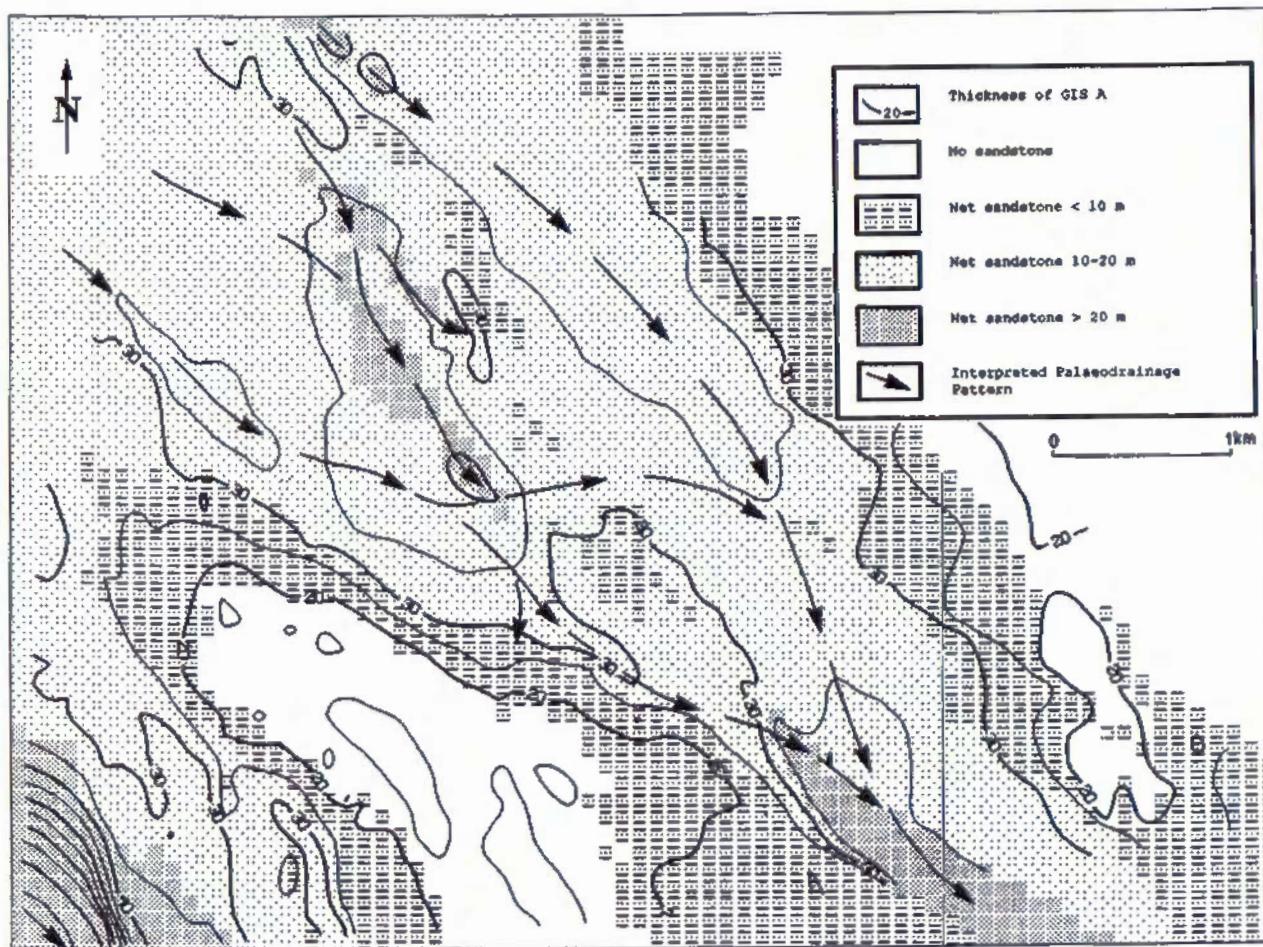


Fig. 3 GIS A: Isopach Map & Net Sandstone Distribution.

REFERENCES

- BIGELOW, E.L. (1990): Ten Steps to Successful Dip Analysis.- Transact. of the 13th European Formation Evaluation Symposium, Section R, Budapest Chapter of the Society of Professional Well Log Analysts & MGE, Budapest, Oct. 22-26, 1990.
- GALLOWAY, W.E. (1989): Genetic Stratigraphic Sequences in Basin Analysis I: Architecture and Genesis of Flooding-Surface Bounded Depositional Units.- AAPG Bull., 73/2, 125-142.
- RUOFF, W.A. (1976): A Technique for Interpreting Depositional Environments of Sandstones from the SP Log Utilizing the Computer.- The Log Analyst, 17/4, 3-10.
- SAFTIĆ, B. (1993): Taložni sustav pješčanih rezervoara genetske sekvencije slojeva pješčenjaka Poljana u neogenskim naslagama polja Žutica.- Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zagreb, 55 p.
- ŠIMON, J. (1980): Prilog stratigrafiji i taložnom sustavu pješčanih rezervoara Sava-grupe naslaga mladeg tercijara u Panonskom bazenu sjeverne Hrvatske.- Unpublished Ph.D. Thesis, University of Zagreb, 66 p.

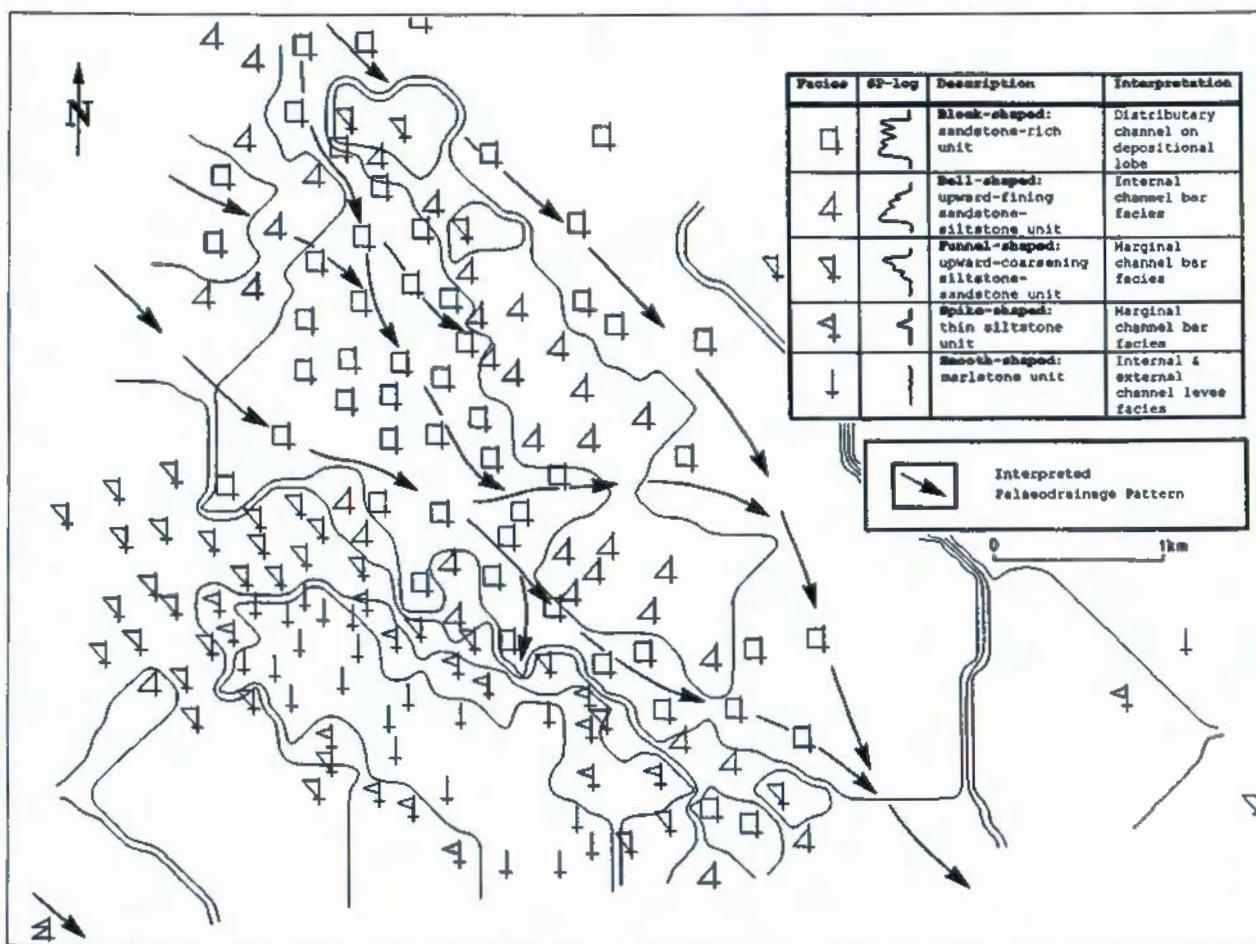


Fig. 4 GIS A: Log-facies Distribution Map.

Strukturno-tektonski odnosi na lokalitetima Vučkovec i Vukanovec

Durdica SELJAN & Bogomil PARLOV

Key words: Seismic lines, Anticline, Structure, Reversed fault, Tertiary base, Exploration well

Abstract

In the search for the new geological hydrocarbon reserves in the Mura depression area, a study has been made on the structural-tectonic relations.

The mapping of the Tertiary base top rocks (EK marker Pt) determined the anticlines Vučkovec and Vukanovec. The structures are situated on the northwest of the Croatian part of the Mura depression. Structural closing surface on the anticline Vučkovec is approx. 10 km² while on the anticline Vukanovec is approx. 5 km². The structures are separated by the reversed faults with the spreading direction SW-NE.

Two exploration wells were drilled on the anticline Vučkovec and both have confirmed the gas saturation in the Tertiary base rocks. One deep exploration well was drilled on the anticline Vukanovec which also confirmed the hydrocarbon presence in the same collector rocks.

The project for the second exploration well is in process.

1. UVOD

U svrhu pronalaska novih geoloških rezervi ugljikovodika na području Murske potoline koje se prostire u Hrvatskoj, napravljena je studija o strukturno tektonskim odnosima tog područja.

U okviru toga rada na strukturnoj karti po podlozi tercijara definirane su nove antiklinalne strukture Vučkovec i Vukanovec.

Istražnim bušenjem 1993/94 god. na tim strukturalama utvrđeno je postojanje ugljikovodika u stijenama podloge tercijara.

Indikacije na postojanje ugljikovodika na tom području poznate su već stotinjak godina kada se je vršila eksploatacija nafte iz površinskih kopova i plitkih bušotina.

Duboko istražno bušenje izvodi se od 1966 god., a intenzivnije se nastavlja 1974. Tada je otkriveno naftno-plinsko polje Zebanec i naftno polje Mihovljani.

Kasnije se izvode detaljna gravimetrijska, magnetometrijska, geoelektrična mjerjenja, seizmičko profiliranje.

Medutim tek 1990/91 god. na području Vučkoveca i Vukanovca snimljena je i mreža seizmičkih profila.

Seizmički profili su relativno dobre kvalitete obzirom na razvedenost terena i jaku tektonsku aktivnost. Zahvaljujući specijalnim obradama znatno je poboljšana kvaliteta seizmičkih profila.

2. STRUKTURNO TEKTONSKI ODNOSSI

Lokaliteti Vučkovec i Vukanovec nalaze se u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske u Međimurskoj Županiji.

Geotektonski to područje pripada Murskoj potolini. Antiklinalne strukture Vučkovec i Vukanovec definirane su na strukturnoj karti po podlozi tercijara (sl. 1). One se nalaze na prostoru Ormoško Selničke antiklinale čiji se istočni dio prostire u Hrvatskoj.

Pružanje Ormoško Selničke antiklinale je jugozapad-sjeveroistok. Jugozapadni dio nalazi se u R Slovensiji (sl. 4).

Antiklinala Vučkovec je izdužena antiklinala pravca pružanja duže osi JZ-SI. Na sjeveru je s dva paralelna reverzna rasjeda odvojena od Ptujsko-Ljutomorske depresije (sl. 4). Skokovi na rasjedima iznose od 300-500 metara.

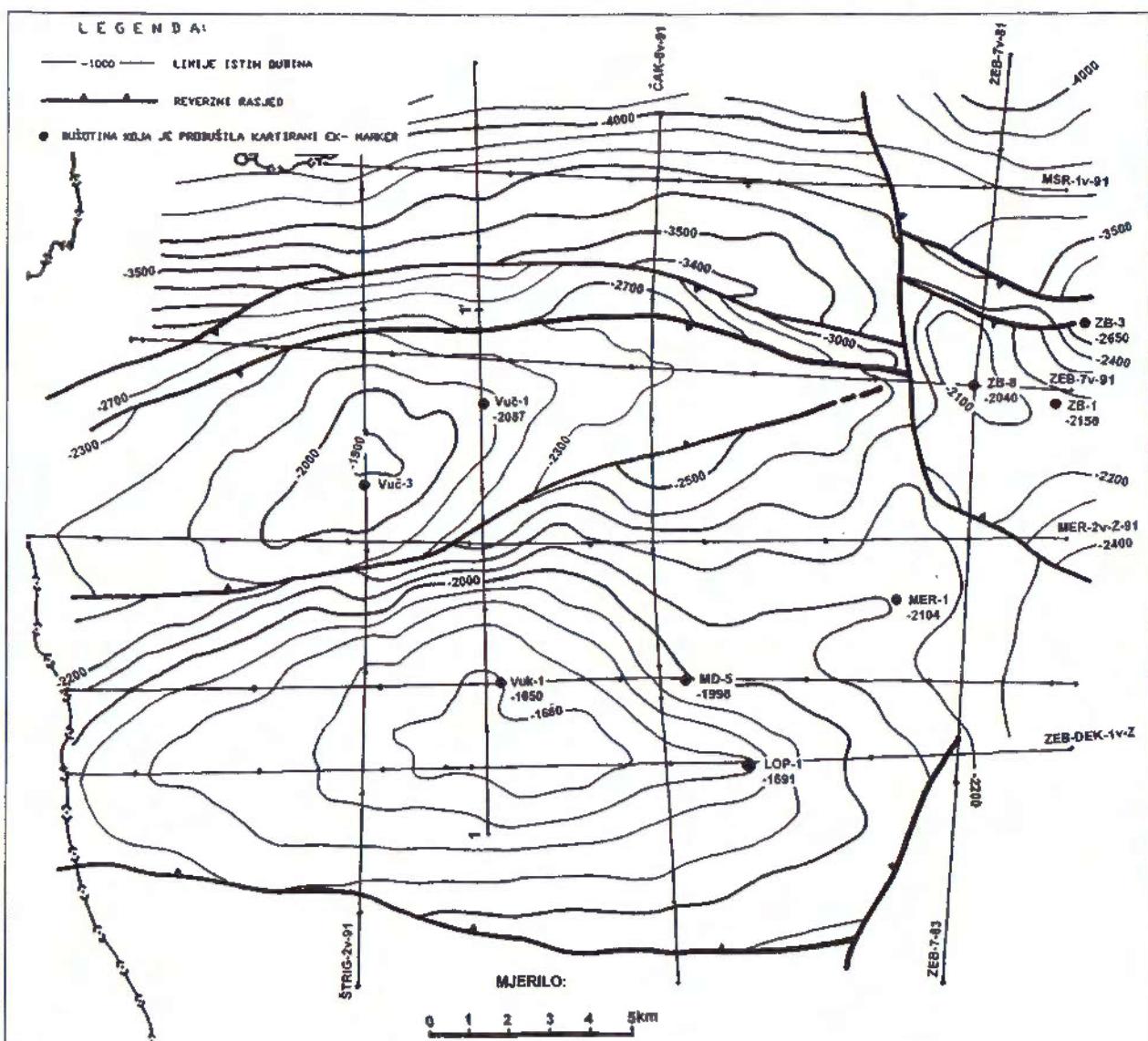
Reverznim rasjedom pružanja JZ-SI odvojena je antiklinala Vučkovec od antiklinale Vukanovec. Prema istoku, također rasjed odvaja strukturu Vučkovec od antiklinale Zebanec koja je istražena 70-tih godina sa šest istražnih bušotina.

Do sada su na antiklinali Vučkovec izbušene dvije duboke istražne bušotine Vuč-1 i Vuč-3. Bušotina Vuč-2 je 1971 god. projektirana za istraživanje tople vode i dosegla je dubinu 914 metara. Površina strukturnog zatvaranja na antiklinali Vučkovec je oko 10 km².

Bušotine Vuč-1 i Vuč-3 utvrđile su zasićenje plinom u stijenama podloge tercijara.

Na sl. 6 prikazan je prognozni i ostvaren geološki stup bušotine Vuč-1. Bušotina Vuč-1 je prva duboka istražna bušotina koja je locirana na tom lokalitetu.

Podloga tercijara (Pt) nabušena je na 2283 metra, što je oko 268 metara dublje od prognozne dubine. Treba naglasiti da je nakon izvedenog mjerjenja brzina na bušotini Vuč-1, položaj interpretiranog seizmičkog refleksa za podlogu tercijara ($2T=1,24$ msek) ostao gotovo nepromijenjen. Razlika u dubini nastala je zbog premale prepostavljene brzine seizmičkih valova.



Sl. 1 Strukturalna karta po EK-markeru Pt (podloga tercijara).

Poznato je da su na području Murske potoline jako velike razlike u brzini širenja seizmičkih valova. Obzirom da na širem području Vučkovca nije bilo podataka mjerjenja brzina interpolirane su vrijednosti. Načinjene su karte seizmičkih brzina za svaki horizont.

Južno od lokaliteta Vučkovec nalazi se antiklinala Vukanovec (sl. 1) pružanja duže osi približno zapad-istok. Struktura je sa sjevera i juga ograničena reverznim rasjedima.

Na sjevernom boku antiklinale slojevi su strmo nagnuti prema rasjedu, dok prema sjeveroistoku tonu u formi strukturnog nosa prema antiklinali Zebanec.

Maksimum antiklinale Vukanovec je zapadno od bušotine Lop-1, gdje je i locirana 1994 god. istražna bušotina Vuk-1. Bušotinom Md-5 definirano je sjeveroistočno krilo antiklinale.

Istražna bušotina Vuk-1 utvrđila je prisustvo ugljikovodika u stijenama podloge tercijara. Površina strukturnog zatvaranja na antiklinali Vukanovec iznosi oko 5 km².

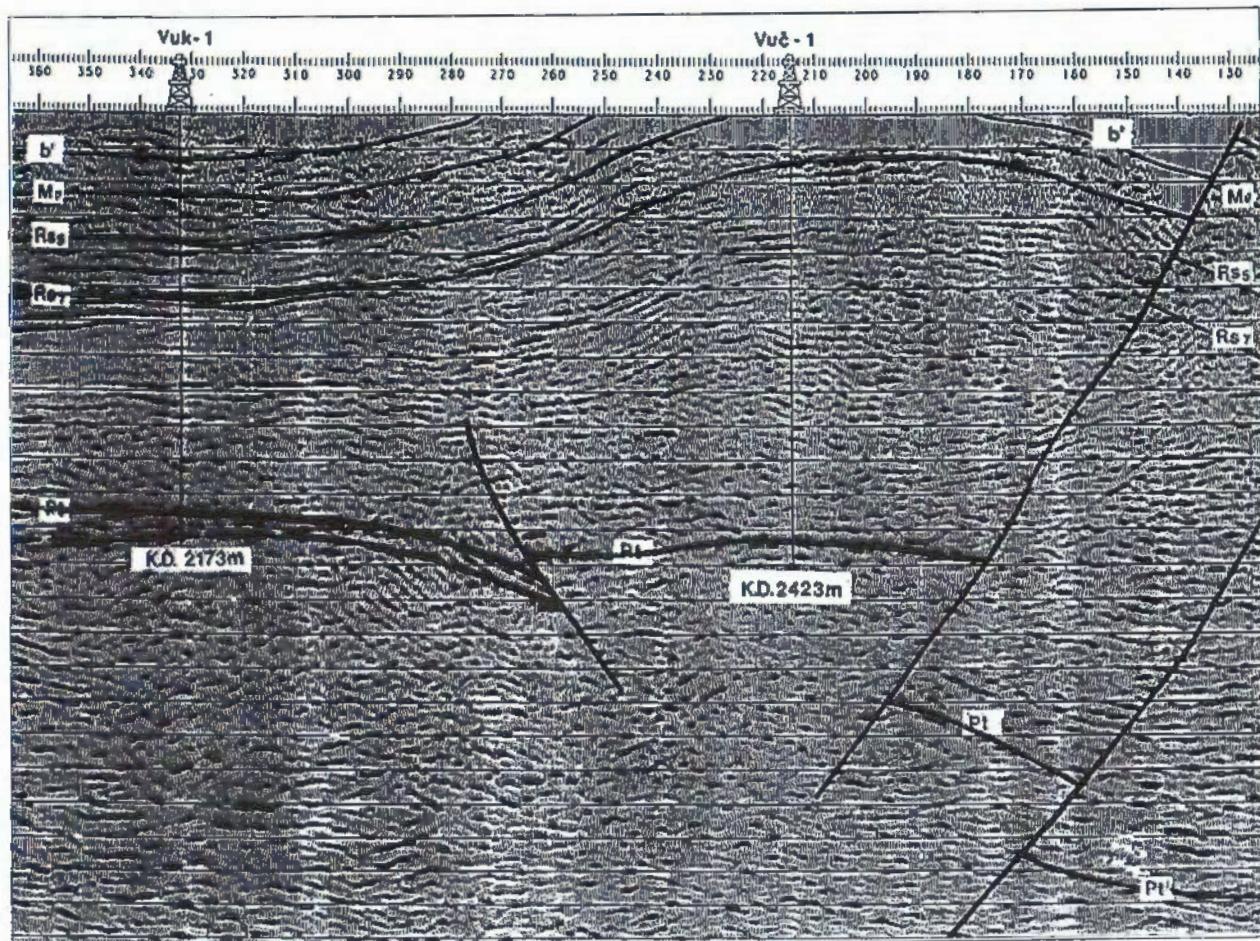
U toku je izrada projektne osnove za istražnu buštinu Vuk-2.

Analizom uzdužnog seizmičkog profila ŠTRIG-5V-91 (sl. 3) vidljivo je struktorno zatvaranje samo na kartiranom reperu Pt (podloga tercijara), dok se mladi sedimenti izdižu prema zapadu i na širem području Vučkoveca i Vukanovca prisutni su na površini.

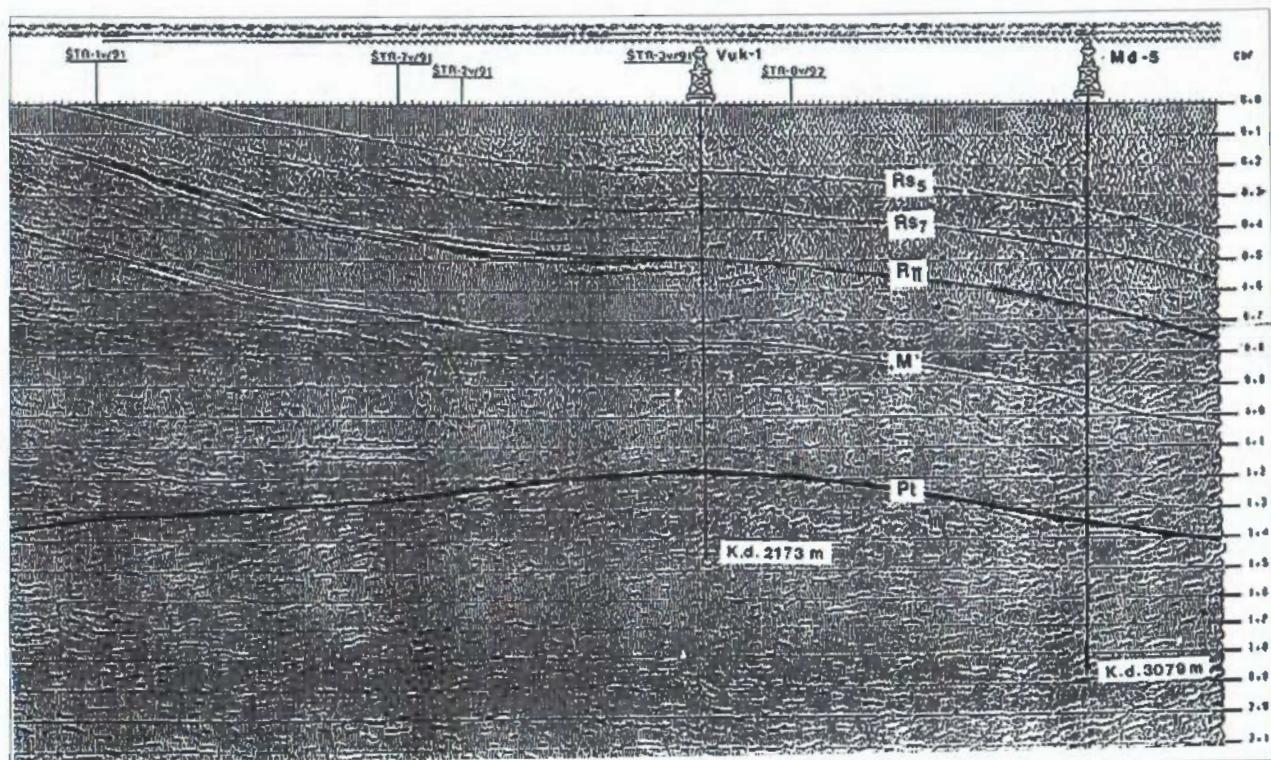
Analizom strukturnih karata koje su izradene za šire područje Vučkoveca i Vukanovca definirano je više rasjeda i struktura.

Nastanak antiklinala Vučkovec i Vukanovec vezano je uz nastanak Ormoško Selničke antiklinale. Stijene podloge tercijara koje su na ovom području najintersetantnije u naftno geološkom pogledu zastupljene su pretežno vapnencima i dolomitima mezozojske starosti. Nakon završene sedimentacije, sredine su bile pod utjecajem tektonskih pokreta i izložene eroziji.

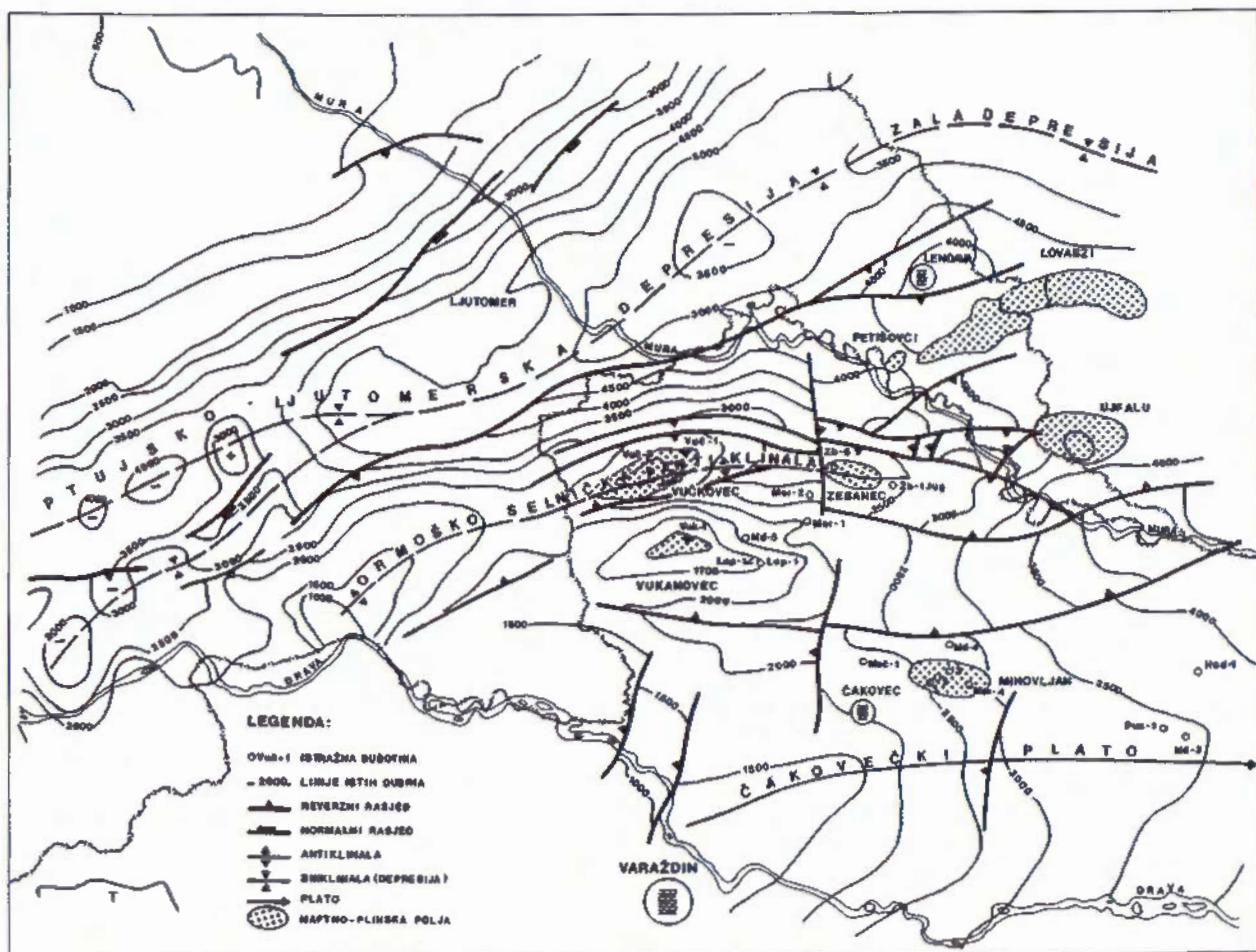
Tektonski pokreti koji su se zbivali krajem oligoceona i negdje početkom miocena na području današnje Ormoško Selničke antiklinale doveli su do tonjenja i



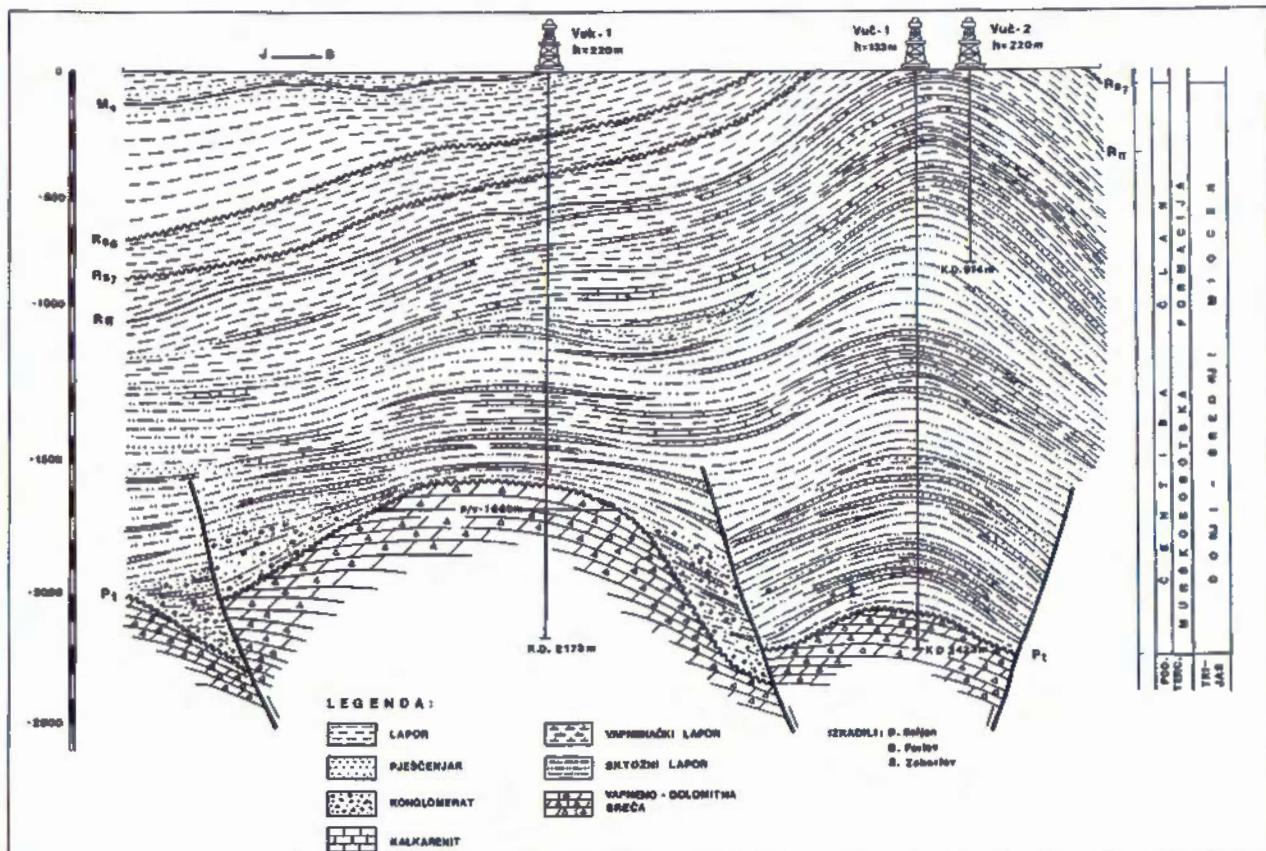
Sl. 2 Interpretirani seizmički profil ŠTRIG-3V-91 s ucrtanim lokacijama bušotina Vuk-1 i Vuč-1.



Sl. 3 Interpretirani seizmički profil ŠTRIG-5V-91 s ucrtanim lokacijama bušotina Vuk-1 i Md-5.



Sl. 4 Kompilaciona strukturalna karta Murske potoline po podlozi tercijara (Pt) s tektonskim elementima.



taloženja debelog slijeda sedimenata. Nakon zapunjavanja tog bazena dolazi do izdizanja. To izdizanje traje još i danas i na to ukazuju rasjedi koji zahvaćaju i najmlade sedimente. Deformacije koje se javljaju, nastale su zbog djelovanja kompresivnih sila, a javljaju se pretežno reverzni rasjedi.

Bušenjem su na tom području ustanovljene velike debljine miocenskih i pliocenskih sedimenata (preko 5000 metara) što ukazuje na bazenski tip sedimentacije.

Interpretacije podloge tercijara bilo je ponekada teško slijediti na seizmičkim profilima zbog razbijenososti kontinuiteta seizmičkih refleksa, izazvanih tektonskim pokretima.

3. ZAKLJUČAK

Antiklinale Vučkovec i Vukanovec su utvrđene na osnovi interpretacije seizmičkih profila koji su snimljeni tijekom 1991 god. Strukturno zatvaranje je definirano samo na struktornoj karti po EK-markeru Pt (podloga tercijara), dok se mladi sedimenti prema zapadu izdižu i izlaze na površinu.

Strukture se nalaze na sjeverozapadu hrvatskog dijela Murske potoline.

Površina struktornog zatvaranja na antiklinali Vučkovec je cca 10 km², dok je na antiklinali Vukanovec oko 5 km².

Strukture su međusobno odvojene reverznim rasjedom pravca pružanja JZ-SI.

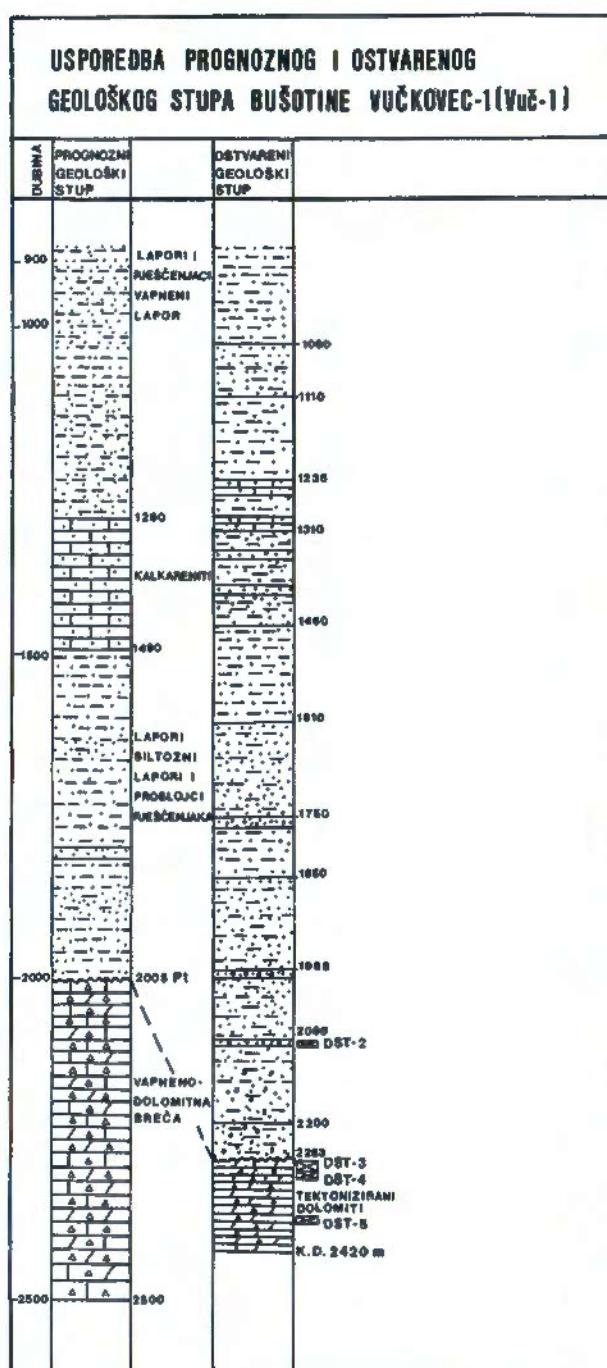
Na antiklinali Vučkovec izbušene su dvije duboke istražne bušotine i obje su utvrđile zasićenje plinom u stijenama podloge tercijara.

Na antiklinali Vukanovec izbušena je jedna duboka istražna bušotina koja je također utvrđila prisustvo ugljikovodika u istim kolektorskim stijenama.

U tijeku je izrada projekta za istražnu buštinu Vuk-2.

4. LITERATURA

Fond stručne dokumentacije INA - Naftaplin.



Sl. 6 Geološki stup bušotine Vuč-1, usporedba prognoznih i ostvarenih podataka.



Hidrogeološke značajke Hercegovine s posebnim obzirom na korištenje i zaštitu podzemne vode

Ivan SLIŠKOVIĆ

Ključne riječi: krški vodonosnici, podzemne barijere, podzemne razvodnice, umjetno napajanje, krške akumulacije

Sažetak

Postojanje obimnih količina podzemne vode kako u krškim tako i u međuzrnskim vodonosnicima Hercegovine omogućava optimalna rješenja vodoopskrbe pučanstva kvalitetnom vodom. Na predočenoj hidrogeološkoj karti prikazane su hidrogeološke funkcije terena, slivovi, podzemni tokovi i glavni krški izvori.

Na karti su izdvojene potpune, nepotpune i viseće barijere, koje usmjeravaju tečenje i akumuliranje podzemne vode u karbonatnim stijenama. Izdvojena su također perspektivna područja za pronaalaženje iskoristive podzemne vode u bezvodnim terenima, udaljenim od zona istjecanja. Odredene su tri zone za istraživanje s realnim mogućnostima za povećanje izdašnosti i za pridobivanje statičkih rezervi podzemne vode. Izdvojena su još i područja perspektivna za vodoopskrbu gdje je potrebno zaštiti potrebna crpilišta. Prikazane su mogućnosti izravnjanja isticanja na krškim vrelima putem izgradnje akumulacija u slivu i postupnim puštanjem vode u ponore u recesivnom hidrogeološkom periodu. Predložena je metodika otkrivanja vodonosnika u zaledu stalnih i povremenih krških vrela koristeći geološka, hidrogeološka, hidrokemijska, hidraulička i geofizička istraživanja.

Key words: Karst aquifers, Underground barriers, Groundwater divides, Artificial recharge, Karst surface storage

Abstract

The existence of large amounts of groundwater in karst and porous aquifers of Herzegovina makes feasible optimal solutions of the public water supply with high-quality water. The presented hydrogeological map shows the hydrogeological functions of terrain, catchment areas, groundwater flow directions and major karst springs. In the map true, partial and hanging barriers are shown. They direct groundwater flow and retention in carbonate rocks. The areas promising for the occurrence of exploitable groundwater in, otherwise, arid areas are separated. They are situated far from the discharge zones. Three exploration zones have been defined; in them, there are real possibilities for the increase of groundwater yield as well as the extraction of static groundwater resources. The areas, where the extraction sites have to be protected, are also delineated. The paper deals also with the possibility to equalize the discharge rate in karst springs by the construction of surface storage in catchment areas and by a gradual outflow from them into ponors during the recession hydrogeological periods. It has been proposed a methodology for the discovery of aquifers in the hinterland of permanent and intermittent karst springs by using geological, hydrogeological, hydrochemical, hydraulic and geophysical exploration.

1. UVOD

Problemi vodoopskrbe i zaštite podzemnih voda uz već poznate probleme bilanciranja voda u kršu i monitoring vezan uz zaštitu podzemnih voda ukazuju na specifičnosti hidrogeologije Hercegovine.

Vodno gospodarenje unutar teritorija Hercegovine je razgraničeno prema orografskim (površinskim) slivovima. Regionalno to je Jadranski sliv, a u široj podjeli to su slivovi rijeka Neretve i Trebišnjice i neposredni sliv Jadranskog mora.

Istraživanja s aspekta zaštite podzemnih voda od površinskih zagadivača su rađena pojedinačno za pojedine studije u kojima su dati podaci o pojedinim toksikantima i njihovoj koncentraciji u vodi. Sa zadovoljstvom se može ustanoviti da su ta zagadenja u

pukotinskim, krškim i najvećim dijelom u međuzrnskim stijenama neznačljiva.

Procjena rezervi podzemnih voda, dinamika i režim izvora, te mogućnosti praćenja izdašnosti istih date su na temelju rezultata višegodišnjih i dvogodišnjih osmatranja i mjerjenja vršenih za razne potrebe. Prikupljen je, obraden i interpretiran veliki broj podataka, koji će korisno poslužiti pri dalnjim hidrogeološkim, hidrotehničkim i prostornim planiranjima u područjima izrađenim od propusnih stijena.

Posljednjih godina hidrogeološka istraživanja i trasiranja podzemnih voda znatno dopunjavaju postojeće praznine, osobito u upoznavanju stvarnih granica slivova ("hidrogeološki sliv"). Bez ovih istraživanja ne može se pristupiti zaštiti crpilišta pitke vode u krš-pukotinskim stijenama. Hidrogeološke barijere i erozi-

jske baze za krške podzemne vode su one preko kojih se podzemne vode Jadranskog sliva postupno preljevaju do najnizvodnije erozione baze - doline Neretve, Trebišnjice, odnosno razine mora. Tu postoje zasebni hidrološki, hidrogeološki i hidraulički uvjeti, čijom spoznajom možemo optimalno gospodariti rezervama podzemnih voda, kako onih dinamičkih, tako i "statičkih".

2. HIDROGEOLOŠKE ZNAČAJKE

2.1. HIDROGEOLOŠKE FUNKCIJE STIJENA

Holokrški region Hercegovine po geološkim, morfološkim i hidrogeološkim značajkama spada u zasebnu cjelinu. Svi autori koji su se bavili hidrogeološkom rajonizacijom BiH-e slažu se u jednom, a to je specifičnost ovog područja kojeg karakterizira duboka i intenzivna karstifikacija karbonatnih stijena. Vodeći litološki članovi u ovoj oblasti su vapnenci. U njima su pukotine i druge vrste šupljina vrlo neravnomjerno raspoređene, a zavise od tektonskih procesa koji su se odvijali u periodu alpske orogene faze.

Kolektori su stijene krško-pukotinske poroznosti, a odlikuju se visokim filtracijskim karakteristikama i velikim prividnim brzinama cirkulacije podzemnih voda. Podinska barijera podzemnim vodama su donjetrijaski klastiti koji su duboko položeni, a javljaju se uglavnom na perifernim obodima na granici sa srednjebosanskim hidrogeološkim rajonom. U Jadranskom slivu donjetrijaski klastiti se javljaju u izvorišnim dijelovima desnih pritoka Neretve (Rakitnica, Ljuta, Treštenica, Neretvica i Rama).

Paleogenski i neogenski sedimenti imaju funkciju nepotpune barijere. Ovi sedimenti su utjecali na pravce razvoja karstifikacije od paleogena do danas.

Posebna karakteristika krških oblasti su krška polja koja su morfološki i hidrogeološki vrlo značajna zbog stvaranja akumulacija u njima. Osobine krških terena su i nepostojanje površinskih vododjelnica, a podzemne linijske vododjelnice vrlo često prelaze u zonarne ovisno o razini podzemnih voda. To su obično nedefinirane

zone sliva koje susrećemo u krškim poljima istočne i zapadne Hercegovine.

Dolomiti, posebno ako su u antiklinalnim strukturalima, su vodonepropusni. U priobalnom pojusu (između Popovog polja i mora) su vodopropusni na određenim lokalitetima, što je posljedica tektonske aktivnosti. Na taj način je objašnjen postanak velikih vrela (Omble, Duboke Ljute i Bistrine).

Značajnu ulogu dolomiti su odigrali i u formiranju vododjelnica u srednjem toku Neretve, kao što su dolomiti antiklinala Drežanke, Doljanke i u masivu Prenja. U slivu Trebišnjice imaju dvostruku ulogu, i to kao barijere podzemnim vodama u antiklinali Zalomke i Lastve, dok južno od Popova polja prema slivu Omble predstavljaju provodnike podzemnih voda.

Brzo napredovanje krških procesa se očituje u velikim fiktivnim brzinama cirkulacije podzemnih voda iz područja Čvrsnice i Čabulje, te Roškog, Rakitnog, Posuškog, Imotskog polja i Mostarskog blata. U pliocenu i kvartaru se na nekim krškim poljima i zaravnima odvija intenzivna tektonska aktivnost koja uvjetuje nastanak krških polja bez taloženja morskih ili jezerskih sedimenata. Takva polja su Mostarsko i Buško Blato u zapadnoj Hercegovini, a u istočnoj Hercegovini Popovo, Ljubomirsko, Dabarsko i Fatničko polje.

Krška polja se nalaze na različitim visinama u zapadnoj Hercegovini. Počev od Kupreškog (1150 mn.m) stepenasto se spuštaju preko Duvanjskog i Livanjskog polja prema slivu Cetine, i preko Posuškog, Imotskog i Mostarskog Blata prema slivu Neretve.

U istočnoj Hercegovini polja se također stepenasto spuštaju od Gatačkog (900 mn.m), Nevesinjskog (850 mn.m), preko Cerkničkog, Dabarskog, Fatničkog i Ljubinjskog k Popovom polju (270 - 220 mn.m). Tercijarne naslage flišnog razvoja imaju funkciju vodonepropusnih barijera ovisno o položaju i zalirganju.

2.2. GRANICE SLIVOVA I AKUMULACIJE PODZEMNIH VODA

2.2.1. Sliv rijeke Neretve u zapadnoj Hercegovini

Zbog zonalnosti granice sliva na zapadu u graničnom području prema slivu Cetine i neposrednom slivu

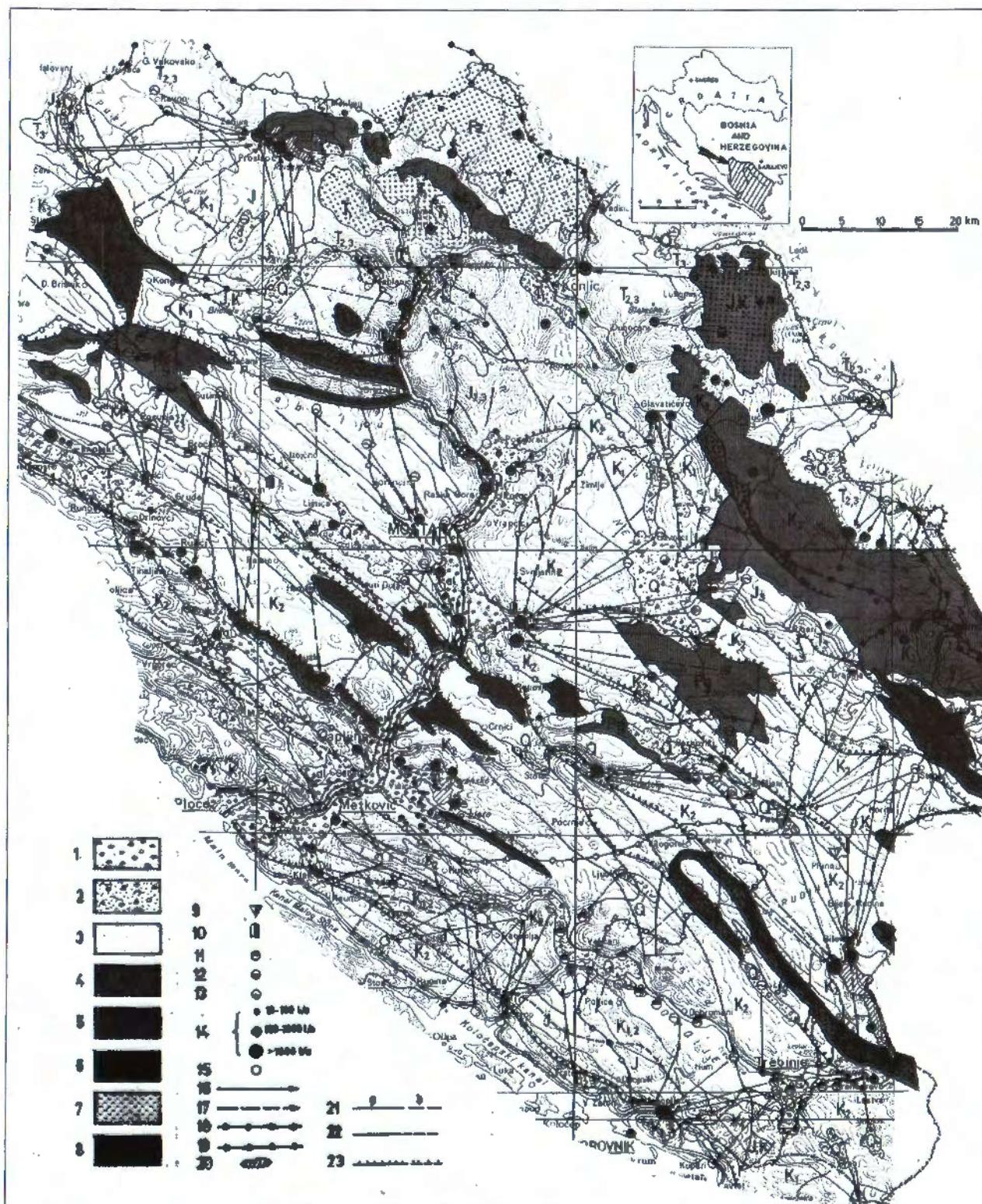
Sl. 1 Hidrogeološka karta sliva rijeke Neretve i Trebišnjice. Legenda: 1 - Aluvijalne naslage (al) - dobro propusne; 2 - Crvenica s vapnenjačkim kršjem (ts), dobra do slaba propusnost; 3 - Vapnenci, dolomiti i dolomitični vapnenci (Pg, K₂, K₁, J, T_{2,3}) - dobre i srednje propusnosti; 4 - Djelomično propusne stijene - pločasti vapnenci, pješčenjaci, breče (J, K, J₃K₁T₃); 5 - Nepropusne stijene (Pg, K₂J, K₂) - potpuna, mjestimično nepotpuna barijera; 6 - Nepropusne naslage tercijarnih bazena (Pl, M, E_{2,3}) - Nepotpuna barijera; 7 - Potpuno nepropusne formacije - fliš, klastiti, škriljavci, filiti, pješčenjaci (T₁, P₂, L, T); 8 - Nepropusne stijene u dubini - duboka barijera; 9 - Jama s vodom; 10 - Špilja s vodom; 11 - Estavela; 12 - Povremeni poror; 13 - Stalan poror; 14 - Krški izvori; 15 - Povremeni krški izvori; 16 - Podzemni tok, dokazan; 17 - Podzemni tok, pretpostavljen; 18 - Površinska razvodnica; 19 - Razvodnica podzemna, pretežno zonalna; 20 - Jezero; 21 - Geološka granica; 22 - Rasjed; 23 - Čelo navlake; a) utvrđen, b) pretpostavljen.

Fig. 1 Hydrogeological map river basin Neretva and Trebišnjica. Legend: 1 - Alluvial deposits (al) - high permeable; 2 - Terra rosa with calcareous fragments, high to low permeable; 3 - Limestones, dolomites and dolomitic limestones (Pg, K₂, K₁, J, T_{2,3}) - high and medium permeability; 4 - Partially permeable rocks - platy limestones, sandstones, brecias (J, K, J₃K₁T₃); 5 - Impermeable rocks (Pg, K₂J, K₂) - full barrier, sometimes partial barrier; 6 - Impermeable formation - tertiary basin (Pl, M, E_{2,3}) - relative barrier; 7 - Completely impermeable formation - flysch, clastic rocks, slates, phyllites, sandstones (T₁, P₂, L, T); 8 - Deep impermeable rocks - deep barrier; 9 - Pit with water; 10 - Cave with water; 11 - Estavelle; 12 - Intermittent poror; 13 - Permanent poror; 14 - Karst springs; 15 - Intermittent karst springs; 16 - Proved underground flow; 17 - Inferred underground flow; 18 - Surface water divide; 19 - Groundwater devide, mostly zonal; 20 - Lake; 21 - Geological boundary; 22 - Fault; 23 - Overthrust front; a) determined, b) supposed.

Jadranskog mora (ponor Roško polje - veza vrulja Dubci kod Brela i Opačac Imotsko polje) površina sliva se smanjuje ili povećava ovisno o absolutnoj koti razine podzemnih voda. Vododjelница prema Crnomorskom slivu u području Kupreškog polja je linijska - površinska. Slivu desne strane Neretve od Jablanice do ušća pripada niz stalnih i povremenih vrela u samom koritu Neretve (Veliki i Mali Praporac, Crno Jezero, Studenac, Radobolja, Crno Oko i Arape Mlin). Slivu rijeke Rame

pripada površina od 790 km^2 velikog krškog područja zapadno od Kovačeva polja. Nakon višekratnih bojenja i proučavanja litoloških, tektonskih i morfoloških odnosa definirano je slivno područje vrela Rame kao asimetrično prema gornjem toku. Najveći dio voda gravitira iz jugoistočnih vapnenjačkih predjela.

Neposrednom slivu Neretve u zapadnoj Hercegovini (sl. 1) nizvodno od Jablanice pripadaju izvori Velikog i Malog Praporca ($Q_{\min} = 870 \text{ l/s}$) i izvor Crno Jezero (Q_{\min}



= 7,2 m³/s). Rijeka Drežanka ima sliv izmodeliran u trijaskim dolomitima jedne monoklinalne strukture. Nakon bojenja ponora u području Donjih Bara utvrđena je podzemna veza sa glavnim vrelom Drežanke ($Q_{\min} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{sr}} = 2,18 \text{ m}^3/\text{s}$). Vododjelnica prema slivu Mostarskog Blata i vrela Studenca i Radobolje je određena visoko izdignutim dolomitima koji usmjeravaju podzemne vode prema jugu tako da je razvode na samom rubu kanjona.

Vrelo Studenac je detaljno istraživano, jer je na njemu izgrađen crpni sistem za vodoopskrbu Mostara. Nakon višegodišnjih detaljnih ispitivanja (izbušeno je 35 piezobušotina i 5 bunara) utvrđeno je da je izvor sifonalni i da jedan dio voda izbija i u koritu Neretve. Prihranjivanje ovog vrela je izduženo područje u smjeru sjeverozapada i sjevera. Nakon punjenja akumulacije Salakovac, minimalna izdašnost vrela Studenac se povećala sa 1,2 na 2,4 m³/s.

Vrelo Radobolje drenira krško područje jugoistočnog dijela planine Čabulje. Bojenjem ponora u Gorancima dokazana je jaka podzemna veza sa vrelom Radobolje. Zbog razlomljenosti i velike okaršenosti vapnenjačkih stijena, vrelo Radobolja ima velike oscilacije u izdašnosti ($Q_{\max} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{sr}} = 3,03 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{\min} = 0,20 \text{ m}^3/\text{s}$).

Sliv donjeg toka Neretve od Mostara do Čapljine kako se proširuje prema zapadu, mada je sve do rijeke Trebižat neposredni sliv vrlo uzak. Pokušaji razgraničenja sliva Mostarskog Blata do današnjih dana nisu uspjeli, jer je na većem prostoru vododjelnica podzemna zonarna. Nedostatak bojenja u ovom prostranom slivu je očit. U sjevernom dijelu sliva odnosi sa susjednim slivovima su donekle jasni, pošto nepropusne mase Drežanke, zaližežući u vidu antiklinale usmjeravaju vode ka jugu. Razvode na sjeverozapadu je donekle definirano bojenjem ponora Miljacka kod Studenih Vrela.

Bojenja ponora u Rakitnom polju dokazuju da je vododjelnica s Tihaljnom šira prostorna zona. U ovom izrazito krškom području i dolomitske stijene gornje krede često su dobro propusne.

Prihranjivanje povremeno plavljenog Mostarskog Blata vrši se povremenim tokom Ugrovače i od stalnih vrela Lištice ($Q_{\min} = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{sr}} = 14,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{\max} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$), Crnašnice ($Q_{\min} = 30 \text{ l/s}$) i Žvatića ($Q_{\min} = 10 \text{ l/s}$).

Mostarsko Blato je plavljeno prosječno 4 do 6 mjeseci u toku godine. Kapacitet ponora je različit i ovisi o vodostaju u Blatu. Prokopan je i tunel od sela Čule koji odvodi vode do rijeke Jasenice sa kapacitetom od 23 m³/s. I pored tunela polje se i dalje plavi, jer kapacitet vodotoka Jasenice ne dozvoljava propuštanje velikih voda. Kod vodenog stuba od 1 m kapacitet ponora je 4,8 m³/s, a kod 4 m kapacitet ponora je 14,52 m³/s, i najzad, kod maksimalno visokih voda za voden stub od 11 m kapacitet ponora je 27,54 m³/s. Ponori sa sjeveroistočnog oboda daju vezu sa vrelom Jasenice ($Q_{\min} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$), dok ponor Orlinjaka na istočnom

obodu daje vezu sa nizvodnim vrelima Crno Oko ($Q_{\min} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}$) i Arape Mlin ($Q_{\min} = 0,14 \text{ m}^3/\text{s}$).

Grudsko vrelo izvire užazno iz više otvorenih jama na potezu od 70 m. Srednja izdašnost vrela je $Q_{\text{sr}} = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Presuši prosječno 3 do 4 mjeseca u godini. U sušnom periodu razina podzemne vode je 10-30 m ispod tla, a izdašnost bunara $Q_{\min} = 200 \text{ l/s}$.

Rijeka Vrlika ponire kod sela Drinovci i javlja se na vrelu Tihaljine (Peć Mlin, $Q_{\min} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$). U podini vrela je dolomit koji čini barijeru. Podzemne vode od ponora Šainovci vjerojatno cirkuliraju i ka vrelima u Kordićima. Tihaljina na potezu od Kordića do Vitine prima vode s lijeve strane od nekoliko stalnih i povremenih vrela Krupa-Klačnica, a stalna vrela u Kordićima imaju minimalnu izdašnost $Q_{\min} = 60 \text{ l/s}$. U mjestu Klobuk svega 80 m od korita Tihaljine izbija užazno vrelo Kloku ($Q_{\min} = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{sr}} = 7,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{\max} = 19,4 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nizvodno od Klobuka pojave krških vrela su uvjetovane navlačenjem krednih vapnenaca na eocenski fliš duž čela Ljubuško-Klobučke navlake. Prvo u nizu krških vrela je povremeno vrelo Podgrab. Maksimalna izdašnost mu prelazi 5 m³/s, a presuši 3 do 4 mjeseca godišnje. Izvor je preljevnog tipa, pa bi se bušenjem u zaleđu moglo dobiti značajne količine vode. U Vitini Tihaljina prima vode od vrela Vrioštice i nešto nizvodnije od Vrela u selu Radišići. Izdašnost vrela Vrioštice je $Q_{\min} = 1,25 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\text{sr}} = 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{\max} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$. U Vitinskom polju javlja se vrelo Studen, $Q_{\min} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

U selu Studenci Trebižat prima vode od Studenčice koja nastaje od više krških vrela među kojima se ističu: Vrilo ($Q_{\min} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$), Vakuf ($Q_{\min} = 1,95 \text{ m}^3/\text{s}$) i Kajtazovina ($Q_{\min} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$).

Zbirni proticaj Studenčkih vrela na limigrafu daje sljedeće odnose proticaja: $Q_{\min} : Q_{\text{sr}} : Q_{\max} = 3,76 : 7,91 : 21,7 \text{ [m}^3/\text{s}]$.

2.2.2. Sliv Neretve u istočnoj Hercegovini i neposredni sliv Jadranskog mora

Akumulacije podzemnih voda istočne Hercegovine prazne se u nekoliko smjera: prema sjeveru u gornji tok Neretve, prema zapadu u srednji i donji tok Neretve i prema jugu u sliv Trebišnjice i neposredno u Jadransko more.

Podzemne vode planinskih masiva Crne Gore i Crvjna i međuplaninske depresije Luka i Kruševljana sjeverno od Nevesinjskog polja prazne se na vrelima Krupca i Lađanice u Glavatičevu.

Vrelo Krupac drenira područje jugozapadno od Glavatičeva, a vododjelnica prema slivu srednjeg toka Neretve je određeno dolomitnom antiklinalom u području planine Crne Gore.

Karbonatne naslage Prenja sadrže odvojene akumulacije podzemnih voda koje se prazne na vrelima Idbra, Glogošnice i Bijele rijeke, te direktno na izvoru Mlječnjaka u Donjoj Grabovici i povremenom Crnom Vrelu, koje presušuje 3 do 4 mjeseca godišnje, a maksimalni proticaji su mu i preko 20 m³/s. Ovo upućuje na cirku-

laciјu većeg dijela podzemnih voda u pripovršinskim dijelovima masiva, a samo duž jačih tektonskih oštećenja podzemne vode cirkuliraju dublje i javljaju se na Salakovačkim vrelima ($Q_{\min} = 0,6 \text{ m}^3/\text{s}$).

Slivno područje vrela Bune i Bunice zaprema prostor od preko 1100 km^2 . Cjelokupni sliv Nevesinjskog polja daje vode vrelima Bune, jer debele mase "promine" na južnoj strani Nevesinjskog polja ne dozvoljavaju otjecanje podzemnih voda prema vrelima Bregave.

Trasiranjem ponora Zlatac, Ždrijelo, ponori Zalomke, bušotina Žljebovi i Ždrijebnik dokazana je jaka podzemna veza sa vrelom Bune. Ponori Biogradci (završetak toka Kolješke rijeke) i Krupac daju vezu s vrelom Bunice (sl. 1).

Buna i Bunica ($Q_{\min} = 6 \text{ m}^3/\text{s}$) se prihranjuju iz karbonatnih kolektora ograničenih planinskim masivima Crvnjem, Bjelašnicom, Snježnicom i Trusinom planinom. Vrelo Bune ($Q_{\min} = 4 \text{ m}^3/\text{s}$) se prihranjuje uglavnom koncentrirano preko ponora Nevesinjskog polja i iz planinskih masiva Veleža, Crne Gore, Crvnja i hercegovačke Bjelašnice.

Slivno područje Bregave vrlo se teško može odrediti, iako je izvršen cijeli niz bojenja u zaledu izvorišta. Na vrelo Bregave vode podzemno dotječu jednim dijelom iz predjela Gatačkog polja prema Fatničkom polju, a odatle ponovo jednim dijelom u Dabarsko polje da bi konačno dospjele na vrelo Bregave. U stepenastom položaju hipsometrijski različitih razina istjecanja, izvor Bregave predstavlja najnižu stepenicu u ovom dijelu sliva Neretve ($Q_{\min} = 0,7 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\sr} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$). Vode iz Fatničkog polja otječu u dva pravca i to preko ponora Pasmice u sliv Trebišnjice i preko Velike Pećine na estavelu Kuti u Dabarskom polju. Vode iz Dabarskog polja otječu preko ponora Ponikve na vrelo Bregave. Estavela Kuti u periodu primanja voda prihranjuje vrelo Trebišnjice.

Velika koncentracija podzemnih tokova na dva krška vrela Trebišnjice i Čepelice uvjetovala je kapacitet izvora, i to: vrelo Trebišnjice $Q_{\min} = 2 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\sr} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{\max} = 450 \text{ m}^3/\text{s}$ (vrelo Trebišnjice se sastoje od 12 izvora) i Čapelica $Q_{\min} = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{\sr} = 11 \text{ m}^3/\text{s}$ i $Q_{\max} = 70 \text{ m}^3/\text{s}$.

Slivno područje Svitavskog i Deranskog blata moramo promatrati zajedno sa primorskim sливом od ušća Neretve do Dubrovnika. Mnogobrojna bojenja u Popovom polju od Trebinja do završetka povremenog površinskog toka Trebišnjice kod Hutova, dokazala su da se vode iz Popovog polja dijele u dva glavna pravca prema Deranskom i Svitavskom blatu, Maloj Neretvici i prema Jadranskom moru. Prema podacima bojenja ponirućih voda, brzina prividnih podzemnih tokova je od 2 do 7 cm/s. Na priloženoj hidrogeološkoj karti vidljivo je da bi se ove podzemne vode mogle racionalno zahvatiti u Gradac polju sjeverno od Neuma.

Zapadni dio Popovog polja prihranjuje izvore u Svitavskom i Deranskom blatu (Londža-Derani $Q_{\min} =$

$0,14 \text{ m}^3/\text{s}$, Segenovka $Q_{\min} = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, Ljubanovo vrelo $Q_{\min} = 0,057 \text{ m}^3/\text{s}$, Bili Vir $Q_{\min} = 0,030 \text{ m}^3/\text{s}$).

3. UGROŽENOST I ZAŠTITA PODZEMNIH VODA

Na temelju prikupljenih podataka o kvaliteti podzemnih voda, u predmetnim hidrogeološkim sredinama, možemo konstatirati da je ista dobra, što je značajno s aspekta korištenja i zaštite. Da bi se održao sadašnji režim kvaliteta podzemnih voda, nužno je poduzeti niz mjera koje moraju u kontinuitetu biti ažurirane, shodno razvoju pojedinih dijelova terena.

Generalno uvezvi sve podzemne vode krško-pukotinskih sredina, prema utvrđenim podacima, uz ponegdje potrebe za mehaničkim porčišćavanjem, a obavezno sa dezinfekcijom, moguće je koristiti za vodoopskrbu stanovništva i druge potrebe. Izuzetak je manji broj izvora gdje su previsoke, u odnosu na standarde, pojedine kemijske komponente u podzemnoj vodi (izvori u dolini Tihaljine, Kloku, Nezdravica, Nenoć, Kordići i dr., gdje je povećan sadržaj sulfata od 300 - 700 mg/l)

Bez obzira što je ranije istaknuto da su najvećem mogućem zagadenju podzemne vode podložne u zoni visokog krša, ipak podzemne akumulacije u ovim prostorima, zbog smanjene naseljenosti, predstavljaju primarno dobru kvalitetu i strateške rezerve podzemnih voda.

Krška polja i podzemne vode u neogenskim bazenima čine treću kategoriju, jer su to obično, hipsometrijski gledano, najniža mjesta gdje se vrši i dreniranje zagadenog površinskog oticaja, a i prirodno su akumulacije podzemnih voda u tim prostorima pod utjecajem drugih mineralnih sirovina koje smanjuju kvalitet tih voda. Tendencija je da se ovi prostori koriste sve više za eksploataciju raspoloživih mineralnih sirovina, naročito uglja, a koriste se za poljoprivrednu obradu, pa je još teže zaštititi te podzemne vode.

Pojedine planinske visoravni i krška polja na kojima se razvija preradivačka industrija postaju potencijalni zagadivači velikih krških vrela. Spomenimo samo neke od potencijalnih zagadivača: Glamoč, Grahovo, Livno, Tomislavgrad, Široki Brijeg, Grude, itd. Primjera radi, napomenimo da bi otpadne vode iz Glamočkog polja mogle ugroziti izvorišne dijelove tri velika sliva (Sane, Vrbasa i Cetine) s preko 10 velikih krških vrela.

Glavno mjesto u zaštiti podzemnih voda pridaje se općim tehničkim i tehnološkim mjerama. Pri tome, primarni je zadatak spriječiti da uopće dode do zagadenja, što se postiže pridržavanjem svih zakonskih propisa, te prirodnih uvjeta svake akumulacije, a na bazi toga pravilno vodenje procesa urbanizacije i industrijalizacije.

4. SMJERNICE BUDUĆIH HIDROGEOLOŠKIH ISTRAŽIVANJA I PROBLEMATIKA KORIŠTENJA PODZEMNIH VODA

Mnogobrojnim bunarskim zahvatima podzemnih voda višestruko je povećana izdašnost pojedinih izvora (stalne rezerve) ili su zahvaćene vode koje su stalno "zarobljene" u pogodnim geološkim strukturama. U terenima gdje se do sada smatralo da nema eksploracionih količina podzemnih voda, uvedenjem suvremenih metoda istraživanja (geofizička, termometrija, radiometrija, itd.), može se utvrditi da postoje značajne zalihe podzemnih voda.

Na drugoj strani, u krškim terenima zalihe podzemnih voda mogu se sačuvati regulacijom neravnomjernog istjecanja na izvorima ili potpunim zahvaćanjem najnižih točaka izljevanja podzemnih voda. Pored toga, regulirano upuštanje površinskih voda u ponore i ponorne zone (projekt Mostarsko blato) može, također, znatno uravnotežiti istjecanje u recessijskom periodu kada su vode i najpotrebnije. Zahvaćanjem voda dubokih izdani u kršu ispod lokalne erozione baze, može se dobiti više kvalitetne pijaće vode.

Kako smo naprijed iznijeli, neujednačeni režim isticanja podzemnih voda iz karbonatnih akvifera zahtijevat će njegovo reguliranje, tj. izravnjavanje istjecanja. Treba dalje razradivati mogućnost "deponiranja" voda u podzemnim akumulacijama u cilju povećanja minimalnih dinamičkih rezervi. Važno je napomenuti i to da su pojedina vrela u zoni vanjskih Dinarida vrlo značajna za vodoopskrbu, što će u perspektivi biti sve akutniji problem obzirom na privredni razvitak. Takvi izvori su vrela Lištice, Studenčice, te irrigacioni sistemi duž donjeg toka Trebišnjice, Tihaljine, Bune i Bunice.

Perspektivne mogućnosti vodoopskrbe iz stijena pukotinske i krško-pukotinske poroznosti su dobre, ukoliko se želi ulagati sredstva u istražne radove. Povoljne mogućnosti su i u hipsometrijskom položaju glavnih podzemnih "akumulacija", koje su uglavnom na višim kotama od velikih urbanih naselja, pa se veći dio stanovništva može opskrbljivati gravitacijom bez značajnijeg utroška energije. Na brojnim vodozahvatima dobivene su značajne izdašnosti, veće nego na obližnjim izvorima, jer se ušlo u stalne (statičke) rez-

erve sa sniženjem kote istjecanja. Postoji cijeli niz lokacija na kojima se mogu istraživanjima ustanoviti stalne količine takozvanih "statičkih rezervi" kvalitetne vode koje se ponovo popunjavaju u povoljnim kišnim periodima. Takva područja u zapadnoj Hercegovini su: zona Klobučko-Ljubuške navlake, sjeverozapadni i jugoistočni obod Mostarskog blata, krška zaravan Medugorje - Čitluk - Hamzići - Rasno, sjeveroistočni obod Imotskog polja i krajnji jugoistočni dio Mamići - Cerovi Doci, sve u zapadnoj Hercegovini i strukturmne zone s vodonepropusnim barijerama u Posuškom polju i izolirane rasjedne pukotine indicirane trasiranjem (vidi priloženu kartu).

U istočnoj Hercegovini perspektivna područja su priobalje rijeke Neretve, izvorište Bregave, krška depresija Gradac sjeverno od Neuma, područje Poplata.

Bunarskim vodozahvatima višestruko se povećavaju izdašnosti, a često se mogu zahvatiti i vode koje pripadaju statičkim (stalnim) rezervama koje nikada ne istječu na površinu. Za potrebe naselja najoptimalniji zahvati su vertikalno, rijedko koso bušeni bunari, a понекad i galerije.

POPIS KORIŠTENE LITERATURE

- JOSIPOVIĆ, J., SLIŠKOVIĆ, I. & JAHIĆ, M. (1982): Hidrogeološke odlike čvrstih stijenskih masa u BiH, mogućnost dobijanja i aspekti zaštite podzemnih voda.- Studija, Arhiv SIZ-a nauke BiH, Sarajevo.
- KOMATINA, M. (1975): Hidrogeološke odlike slivova centralnodinaridskog karsta.- Rasprave Geozavoda - Beograd, posebno izdanje, XVI, 105 str., Beograd.
- MAGDALENIĆ, A. (1971): Hidrogeologija sliva rijeke Cetine.- Krš Jugoslavije, 7/4, Zagreb.
- SLIŠKOVIĆ, I., PLAVŠIĆ, I. & MIOŠIĆ, N. (1990): Bilans podzemnih voda na teritoriji BiH-e za 1989 god.- Sarajevo.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1991): Hidrogeološki odnosi u čvrstim stijenama BiH-e.- Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1994): On the Hydrogeological Conditions of Western Herzegovina (Bosnia and Herzegovina) and Possibilities for New Groundwater Extractions.- Geol. Croat., 47/2, 221-231.
- SLIŠKOVIĆ, I. (1995): Hidrogeološki odnosi na teritoriju Hercegovine i jugozapadne Bosne - Nacionalno izvješće.- Arhiv Vodoprivrede, Mostar.

Holocenska fauna ostrakoda Plitvičkih jezera

Ana SOKAČ

Sažetak

Po prvi put je opisana fauna ostrakoda Plitvičkih jezera. Analizirani su uzorci iz bušotina Prošćanskog jezera i Kozjaka. Nadena je tipična jezerska fauna predstavljena rodovima *Cytherissa*, *Ilyocypris*, *Cyclocypris*, *Cypria*, *Cypridopsis*, *Scottia*, *Potamocypris*, *Candonia*, *Candonopsis*, *Typhlocypris* i *Darwinula*. Ostrakodne asocijacije u jezeru Kozjak upućuju na hladnije uvjete za vrijeme taloženja naslaga, u odnosu na one koji su vladali za vrijeme taloženja Prošćanskog jezera.

Abstract

The ostracod fauna of Plitvice Lakes has been investigated for the first time. The samples from the borehole of Prošćansko and Kozjak lakes were analyzed. Typical lacustrine genera, represented by *Cytherissa*, *Ilyocypris*, *Cyclocypris*, *Cypria*, *Cypridopsis*, *Scottia*, *Potamocypris*, *Candonia*, *Candonopsis*, *Typhlocypris* and *Darwinula*, have been found. The ostracod associations of Lake Kozjak indicate colder conditions at the time of deposition, compared with those of the Prošćansko Lake.

1. UVOD

U okviru multidisciplinarnih istraživanja koje je proveo Institut "Ruder Bošković" iz Zagreba u suradnji s vanjskim suradnicima iz Hrvatske i inozemstva, prikupljeni su uzorci za analize ostrakodne faune. Istraživanjima, koja su započela 1983. godine, obuhvaćene su izotopne analize vode, sedre i sedimenata, kemijske analize vode, biološke analize, posebno dijatomeja i polena, analize rendgenske difrakcije, elemenata u tragovima te sedimentološke analize, a vršena su i seizmička snimanja (SRDOČ et al., 1986). Objavljeni su brojni radovi, posebno o izotopnim analizama, a ovdje će biti spomenuti samo oni koji se odnose na analize sedimenata (POPOVIĆ et al., 1986; JURAČIĆ, 1986; MERKT, 1986), a čiji podaci, uključujući i naprijed spomenuti rad, su korišteni u opisu profila bušotine obradenih u ovom radu.

Uzorci za analize ostrakodne faune potječu iz bušotine u Prošćanskom jezeru i jezeru Kozjak, a osim ovih obraden je jedan uzorak koji je uzet na ušću rijeke Matice u Prošćansko jezero (sl. 1). U jezeru Kozjak analiziran je interval od 0,05-12,35 m, a u Prošćanskom jezeru od 0,22-12,30 m. Približno svakih 1 m uzeti su uzorci za analize ostrakodne faune (sl. 2, 3).

Radiokarbon analizama utvrđena je holocenska starost istraživanih sedimenata, koja za jezero Kozjak iznose 7×10^3 godina, a za Prošćansko jezero 8×10^3 godina (SRDOČ et al., 1986).

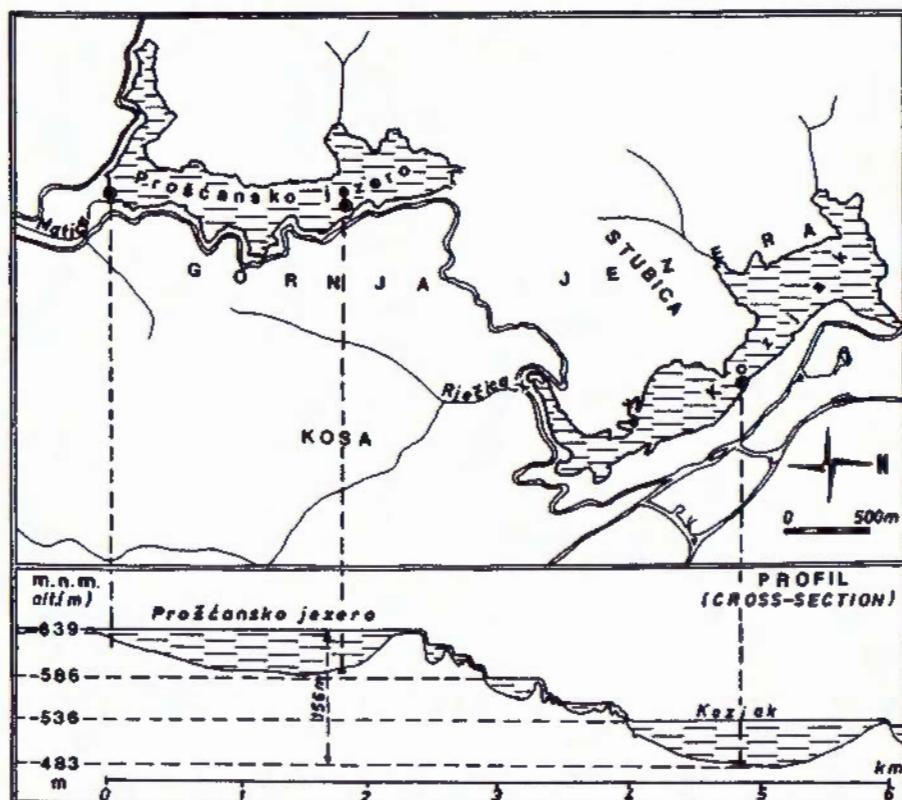
2. LITOLOŠKI PRIKAZ

Sedimenti u jezeru Kozjak pretežno su predstavljeni siltom s više ili manje glinovite komponente. Prvih 10-20 cm sastoje se od jezerskog mulja, a zatim, do otprije 2 m, od silta s rijetkim proslojcima pješčanih slojeva debljine nekoliko milimetara. Dalje se nastavljaju siltozne naslage s veoma finim organskim detritusom, također s proslojcima finozrnog pijeska. Na dubini oko 5 m pojavljuju se vapnenački turbiditi s pijescima srednjeg zrna u osnovi, a sve finijom zrnatošću prema vršnim dijelovima turbiditnog sloja. U nekim dijelovima profila ispod ovog sloja, glinoviti silt sadrži manje koncentracije detritičnog materijala, a vidljiva je i bioturbacija. Izmjena glinovitog silta i finozrnog pijeska nastavlja se do kraja istraženog profila bušotine (sl. 2).

Sedimentacija u Prošćanskom jezeru je jednoličnija. Prevladavaju siltozni sedimenti, s rijetkim ulošcima glina i česticama dolomita terigenog podrijetla. Slojvitost nije vidljiva. U donjem dijelu profila povećava se sadržaj dolomitnih čestica i javljaju se vapnenačke konkrecije, a u samoj osnovi profila sedimenti su predstavljeni sitnozrnim pijescima (sl. 3).

3. RASPROSTRANJENOST OSTRAKODNE FAUNE

Gotovo svi uzorci sadržavali su faunu ostrakoda bogato i lijepo očuvanu. Očuvanost se posebno očituje na nekim ostrakodnim oblicima, kao što je to slučaj kod



Sl. 1 Situaciona skica istraženih bušotina u Prošćanskom jezeru i Kozjaku i pozicija uzorka na ušću rijeke Matice

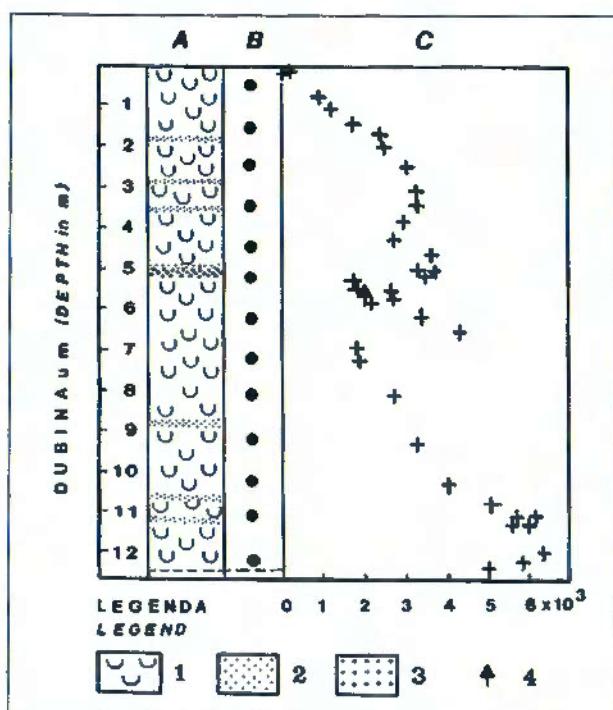
Fig. 1 Situation sketch-map of investigated boreholes in the Prošćansko and Kozjak lakes, and position of the sample on the mouth of river Matica.

vrste *Cytherissa lacustris* (SARS) na kojoj su sačuvane čekinje, koje izlaze iz površinskih pora, a koje su organskog podrijetla i u pravilu se tijekom fosilizacije ne sačuvaju (tab. I, sl. 6). Ove čekinje su važan osjetni organ u ostrakoda i u vezi su s centralnim nervnim sistemom preko živaca koji prolaze kroz ove pore. Osim ostrakoda u uzorcima se rijedno nalaze ostaci mikromoluska, girogoniji hara i biljni plodovi.

Fauna ostrakoda u analiziranim uzorcima iz sedimenta Plitvičkih jezera, predstavljena je slijedećim vrstama:

- Cytherissa lacustris* (SARS)
- Hyocyparis bradyi* SARS
- I. gibba* (ROMDORH) BRADY & NORMAN
- I. lacustris* KAUFMANN
- I. decipiens* MASI
- I. ambigua* LOWNDES
- Cyclocypris ovum* (JURINE)
- C. laevis* (O.F. MÜLLER) VARVA
- Cypria ophthalmica* (G.W. MÜLLER)
- C. exsculpta* (FISCHER)
- Cypridopsis vidua* (O.F. MÜLLER)
- Scottia browniana* BRADY & ROBERTSON
- Potamocypris variegata* (G.W. MÜLLER)
- P. villosa* (JURINE)
- Candona* sp. 1
- C. angusta* OSTERMEYER
- C. sucki* HARTWIG
- C. paralella* G.W. MÜLLER
- Candonopsis kingsleii* (JONES) BRADY & NORMAN
- Typhlocypris triangulata* (KLIE)
- Darwinula stevensoni* (BRADY & ROBERTSON).

U profilu bušotine jezera Kozjak zapažene su veće promjene u asocijacijama ostrakodne faune, što je i razumljivo obzirom na litološki sastav sedimenata. Česte izmjene siltoznih i pjeskovitih sedimenata odražavaju se na asocijacije ostrakodne faune. Jedna od osnovnih značajki je prisutnost vrste *Cytherissa lacustris*, koja je poznata kao stenotermni oblik hladnih voda (KLIE, 1938; BRONŠTAJN, 1947). Ovo je veoma indikativno za tumačenje uvjeta u kojima su se taložili sedimenti u jezeru Kozjak. Često se u zajednici s vrstom *Cytherissa lacustris* nalaze *Hyocypri bradyi*, *I. lacustris* i *I. decipiens* te kandonski oblici, među kojima je najbrojnija vrsta *Candona* sp. 1. Asocijacije koje karakteriziraju brojna zastupanost vrsta *Cytherissa lacustris*, *Hyocyparis bradyi* i *I. lacustris* te manja prisutnost vrsta *Candona* sp. 1 i *Cypria ophthalmica*, nalaze se u intervalu 0,5-1,5 m. Općenito se može reći da se u ovim zajednicama nalaze mali broj vrsta, ali su predstavljene brojnim individuama. Promjena u sastavu faune pojavljuje se u intervalu 3,00-4,65 m, koja se očituje u brojnom zastupanju različitih vrsta, a česti su predstavnici rodova *Cypria*, *Cyclocypris* i *Scottia*. U ovom intervalu nadene su vrste: *Cypria ophthalmica*, *C. exsculpta*, *Cyclocypris ovum*, *Scottia browniana*, *Cypridopsis vidua*, *Potamocypris variegata*, *Hyocyparis bradyi*, *I. lacustris*, *Candona* sp. 1, *C. paralella*, *C. angusta*, *C. sucki*, *C. paralella*, *Typhlocypris triangulata*, *Cytherissa lacustris* i *Darwinula stevensoni*. Zanimljivo je istaći da je jedino u ovom intervalu rijetka vrsta *Cytherissa lacustris*. Slijedeća promjena u asocijacijama faune ostrakoda pojavljuje se na dubini 5,60 m i može se pratiti do dubine 11,25 m. Ovaj interval karakterizira

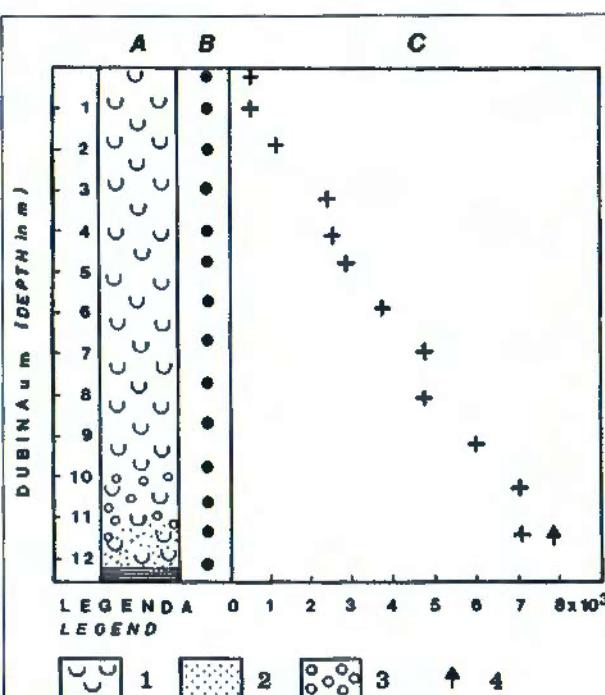


Sl. 2 Profil bušotine u jezeru Kozjak. A) litologija; B) položaj analiziranih uzoraka ostrakodne faune; C) podaci radiokarbon analiza; 1 - glinoviti silt; 2 - pjesak; 3 - srednjezrni pjesak; 4 - drvo. Dopunjeno prema podacima SRDOČ et al. (1986).

Fig. 2 Cross-section of borehole in Lake Kozjak. A) Lithology; B) Position of the samples analyzed by ostracode fauna; C) Data of radiocarbon analyses; 1 - clayey silt; 2 - sand; 3 - middle-grained sand; 4 - wood. Modified from SRDOČ et al. (1986).

brojna prisutnost vrsta *Cytherissa lacustris*, *I. bradyi*, *I. lacustris* i *I. decipiens* te redovita pojava vrste *Candonia* sp. 1, dok su manje zastupani oblici *Cypria ophthalmica*, *Cypridopsis vidua*, *Cyclocypris ovum* i *C. laevis*. Opće obilježje ovog intervala je smjenjivanje asocijacija, među kojima u jednima prevladavaju iliociprisi, a u drugima vrsta *Cytherissa lacustris*. Posljednji analizirani uzorak iz bušotine jezera Kozjak s dubine 11,90-12,35 m sadrži mali broj vrsta, ali je karakterističan po brojčano izraženoj prisutnosti vrste *Candonia* sp. 1, posred koje dolaze vrste *Cytherissa lacustris* i *Cyclocypris ovum*.

Fauna ostrakoda Prošćanskog jezera mnogo je jednoličnija po sadržaju vrsta, što je u suglasju s litološkim sastavom. U poređenju s bušotinom u jezeru Kozjak zapaženo je da se u uzorku na dubini 0,22-0,40 m nalazi slična asocijacija kao ona koja se pojavljuje u jezeru Kozjak na dubini 3,00 m, odnosno karakterizira interval od 3,00-4,65 m. U većem dijelu profila bušotine (1,50-11,30 m) prevladavaju kandonski oblici, a veoma rijetko se javlja vrsta *Cytherissa lacustris*, obično predstavljena pojedinačnim oblicima. Asocijacije ostrakodne faune predstavljene su manjim brojem vrsta u odnosu na one u jezeru Kozjak. Od kandonskih oblika prisutna je samo specifički neodređena vrsta *Candonia* sp. 1, za koju se može pretpostaviti da predstavlja endemski oblik, dok su rodovi *Cypria*, *Cyclocypris* i *Cypridopsis* predstavljeni istim vrstama kao u jezeru



Sl. 3 Profil bušotine u Prošćanskom jezeru. A) litologija; B) položaj analiziranih uzoraka ostrakodne faune; C) podaci radiokarbon analiza; 1 - glinoviti silt; 2 - pjesak; 3 - vapneničke konkrecije; 4 - drvo. Dopunjeno prema podacima SRDOČ et al. (1986).

Fig. 3 Cross-section of borehole in Prošćansko Lake. A) Lithology; B) Position of the samples analyzed by ostracode fauna; C) Data of radiocarbon analyses; 1 - clayey silt; 2 - sand; 3 - calcareous concretions; 4 - wood. Modified from SRDOČ et al. (1986).

Kozjak. Izostaje vrsta *Scottia browniana*, a rod *Potamocypris* zastupan je s vrstama *P. variegata* i *P. villosa*, od kojih je ova druga nadena samo u Prošćanskom jezeru. Veće razlike odnose se na rod *Ilyocypris*. Zajednički oblik za oba jezera je *I. bradyi*, dok su vrste *I. gibba* i *I. ambigua* nadene samo u Prošćanskom jezeru. Asocijacije s brojnim iliociprisima nadena je u posljednjem analiziranom uzorku s dubine 11,80-11,30 m u kojoj su odredene vrste: *Ilyocypris gibba*, *I. ambigua*, *Candonia* sp. 1, *Cyclocypris ovum*, *C. laevis* i *Cypria ophthalmica*.

Uzorak na ušću rijeke Matice u Prošćansko jezero sadrži faunu ostrakoda u kojoj je brojna vrsta *Candonia* sp. 1, pored koje se nalaze *Ilyocypris bradyi*, *Potamocypris villosa*, *P. variegata* i *Cyclocypris ovum*. Uzorak je uzet u pješčanom sedimentu na dubini 0,59-0,67 m.

Osnovna razlika u poređenju faune ostrakoda jezera Kozjak i Prošćanskog jezera, osim naprijed iznesenih razlika u asocijacijama ostrakodne faune, je značajna zastupanost vrste *Cytherissa lacustris* u jezeru Kozjak, dok je sporadično njeno pojavljivanje u Prošćanskom jezeru. Obzirom da je vrsta *Cytherissa lacustris* poznata kao stenotermni oblik hladnih voda, izrazita zastupanost ove vrste u jezeru Kozjak upućuje na zaključak da su hladniji uvjeti postojali u vrijeme taloženja jezera Kozjak, od onih koji su vladali za vrijeme taloženja Prošćanskog jezera. U prilog ovom zaključku su i rezultati istraživanja rendgenske difrakcije sedimenata (PO-

POVIĆ et al., 1986) i sastava stabilnih izotopa (KRAJCAR-BRONČIĆ, 1986), koja su provedena na materijalima istih bušotina jezera Kozjak i Prošćanskog jezera.

Izuzimajući vrstu *Candona* sp. 1 (tab. I, sl. 1-5), za koju se pretpostavlja da je endemski oblik, većina vrsta određenih u sedimentima Plitvičkih jezera poznata je iz slatkih voda Europe, Azije i Amerike. Mnogi oblici pojavljuju se i u starijim naslagama, a posebno su česti u pleistocenu. O holocenskoj fauni ostrakoda u Hrvatskoj do sada nema podataka, ali istraživanja pleistocenske faune Dinarskog krša (SOKAČ, 1975) i Panonskog basena (SOKAČ, 1976, 1978) pružaju mogućnost za utvrđivanje rasprostranjenosti pojedinih vrsta u vremenu i prostoru.

4. ZAKLJUČAK

Bogato i lijepo očuvana fauna ostrakoda Plitvičkih jezera, istražena na materijalima bušotina jezera Kozjak i Prošćanskog jezera, dozvoljava slijedeće zaključke: (1) ostrakodna fauna tipična je za jezerske naslage, a predstavljena je vrstama koje naseljavaju muljevita i pjeskovita dna, (2) razlike u asocijacijama ostrakodne faune unutar istraživanih profila bušotine upućuju na različite ekološke prilike, na koje su ostrakodi veoma osjetljivi, i (3) ostrakodna fauna nađena u sedimentima jezera Kozjak upućuje na hladnije uvjete za vrijemene taloženja naslaga u odnosu na toplige uvjete koji su postojali u jezeru Prošće.

TABLA - PLATE I

- 1-5 *Candona* sp.1
 - 1 Vanjska strana lijeve ljuštare ženke; ušće rijeke Maticice - 0,59-0,67 m.
Exterior lateral view of female left valve; mouth of river Matica - 0,59-0,67 m.
 - 2 Unutrašnja strana lijeve ljuštare ženke; ušće rijeke Maticice - 0,59-0,67 m.
Interior lateral view of female left valve; mount of river Matica - 0,59-0,67 m.
 - 3 Vanjska strana desne ljuštare ženke; ušće rijeke Maticice - 0,59-0,67 m.
Exterior lateral view of female right valve; mount of river Matica - 0,59-0,67 m.
 - 4 Unutrašnja strana desne ljuštare mužjaka; ušće rijeke Maticice - 0,59-0,67 m.
Interior lateral view of male right valve; mount of river Matica - 0,59-0,67 m.

- 6, 8-9 *Cytherissa lacustris* (SARS)
 - 6 Prednji kraj površine ljuštare sa sitastim porama i čekinjom - Kozjak, 6,84-6,96 m.
Anterior part of surface with sieve-type normal pores which bear bristle - Kozjak, 6,84-6,96 m.
 - 8 Vanjska strana lijeve ljuštare - Kozjak, 6,84-6,96 m.
Exterior lateral view of left valve - Kozjak, 6,84-6,96 m.
 - 9 Vanjska strana desne ljuštare - Kozjak, 6,84-6,96 m.
Exterior lateral view of right valve - Kozjak, 6,84-6,96 m.

- 7, 10 *Ilyocypris lacustris* KAUFMANN
 - 7 Središnji dio površine ljuštare s normalnim kanalima pora - Kozjak, 8,51-8,62 m.
Central part of surface with normal pore canals - Kozjak, 8,51-8,62 m.
 - 10 Vanjska strana lijeve ljuštare - Kozjak, 8,51-8,62 m.
Exterior lateral view of left valve - Kozjak, 8,51-8,62 m.

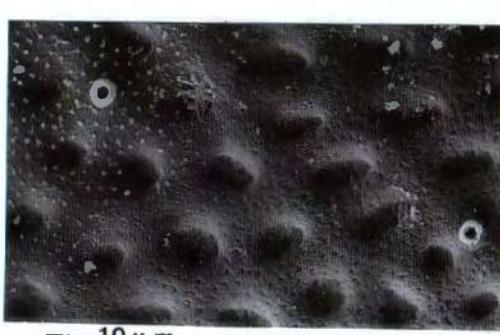
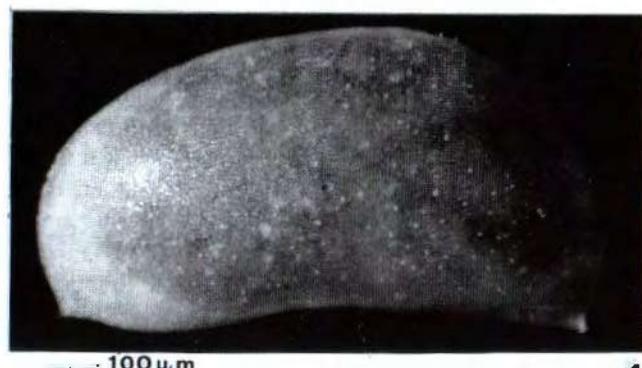
- 11 *Ilyocypris decipiens* MASI
 - Vanjska strana lijeve ljuštare - Kozjak, 0,78-0,88 m.
Exterior lateral view of left valve - Kozjak, 0,78-0,88 m.

- 12 *Cyclocypris ovum* (O.F. MÜLLER) VÁVRA
 - Vanjska strana lijeve ljuštare - Kozjak, 3,63-3,73 m.
Exterior lateral view of left valve - Kozjak, 3,63-3,73 m.

Mikrofotografije (1-5, 11-12) izradila N. Rendulić.

Microphotographs (1-5, 11-12) by N. Rendulić.

Mikrofotografije na scanning elektronском mikroskopu (6-10) izrađene u Tehničkom fakultetu, Minhen.
Scanning electron microphotographs (6-10) by Technical University, Munich.



5. ZAHVALE

Koristim ovu priliku zahvaliti kolegama iz Instituta "Ruder Bošković" dr. B. Obiliću, dr. D. Srdoču, dr. N. Horvatinčić i dr. I. Krajcar-Brončić, koji su mi ustupili materijal za ostrakodne analize i pružili sve potrebne podatke o bušotinama, a također dr. A. Slijepčević, emer. prof. Veterinarskog fakulteta u Zagrebu, koja je potakla ova istraživanja. Također dugujem zahvalnost mr. S. Grgić-Kapelj iz Instituta za geološka istraživanja u Zagrebu, koja mi je pomogla kod odabira uzoraka i kolegi dr. J. Mülleru iz Tehničkog fakulteta u Minhenu, koji mi je omogućio snimanje na scanning elektron-skom mikroskopu.

6. LITERATURA

- BRONŠTAJN, S.Z. (1947): Ostrakoda presnih vod.- U: Fauna SSSR. Izd. Akad. Nauk SSSR, 339 str., Moskva, Leningrad.
- JURAČIĆ, M. (1986): Granulometry and specific surface area of the Plitvice Lakes sediments.- V Skup sediment. Jugosl., Brioni.
- KLIE, W. (1938): Krebstiere oder Crustacea. III: Ostracoda, Muschelkrebsse.- U: Die Tierwelt Deutschlands, 34, Verlag Gustav Fischer, Jena.
- KRAJCER-BRONČIĆ, I. (1986): Stable isotope composition of Plitvice Lake sediments.- V Skup sediment. Jugosl., 134-137, Brioni.
- MERKT, J. (1986): Two cores from lakes Prošće and Kozjak; sedimentology and geochemistry.- V Skup sediment. Jugosl., 138-139, Brioni.
- POPOVIĆ, S., SRDOČ, D. & GRGIĆ, S. (1986): Investigation of the lake sediments and tufa in the National park Plitvice by X-ray diffraction and optical microscopy.- V Skup sediment. Jugosl., 140-142, Brioni.
- SOKAČ, A. (1975): Pleistocene ostracodes fauna in the Dinaric karst.- Geol. vjesnik, 28, 109-118.
- SOKAČ, A. (1976): Pleistocene fauna ostracoda from some karst areas in Eastern Slavonia (Northern Croatia).- Geol. vjesnik, 159-172, Zagreb.
- SOKAČ, A. (1978): Pleistocene ostracode fauna of the Pannonian Basin in Croatia.- Paleont. Jugosl., 20, 1-51, Zagreb.
- SRDOČ, D., OBELIĆ, B., HORVATINČIĆ, N., KRAJCER-BRONČIĆ, I. & MARČENKO, E. (1986): Radiocarbon dating of lake sediment from two karst lakes in Yugoslavia.- Radiocarbon, 28/2a, 459-502, New Haven, Connecticut.

Flokulacija sitnozrnatog materijala u estuariju rijeke Raše

Ivan SONDI¹, Mladen JURAČIĆ² & Velimir PRAVDIĆ¹

Ključne riječi: flokulacija, minerali glina, suspendirani materijal, rijeka Raša

Sažetak

Procesi flokulacije i sedimentacije suspendiranog materijala istraživani su u rijeci Raši i njenom estuariju. Estuar rijekе Raše predstavlja sedimentacijski model malog krškog estuarija sa značajkom bujičnog donosa i intenzivnom sedimentacijom sitnozrnatog suspendiranog materijala, koji uglavnom nastaje trošenjem eocenskih flišnih sedimenata.

Rezultati terenskih i laboratorijskih istraživanja pokazuju da je intenzivna sedimentacija i zatrpanje gornjeg dijela estuarija i pomicanje (progradacija) delte prema moru posljedica procesa flokulacije suspendiranog materijala. Flokulacija suspendiranog materijala je uvjetovana porastom saliniteta vode, značajnim udjelom minerala glina i malom energijom sedimentacijskog okoliša. Minerali glina, s obzirom na njihovu znatnu zastupljenost i površinske fizičko-kemijske značajke, predstavljaju najznačajniju mineralnu fazu u procesima flokulacije.

UVOD

Dva osnovna procesa kontroliraju sedimentaciju sitnozrnatog materijala u prirodnim vodama, a to su flokulacija i gravitacijsko taloženje flokula (McCAVE 1984; KRANCK, 1975). EISMA (1986) koristi pojam flokulacija za sve prirodne procese kojima se čestice u vodenom sustavu vežu u nakupine-flokule. Mehanizam i kinetika procesa flokulacije sitnozrnatog materijala ovise o koloidnom međudjelovanju, mineraloškom sastavu i koncentraciji suspendiranog materijala, utjecaju organske tvari i anorganskih kemijskih spojeva, salinitetu i hidrodinamici (KRANCK, 1991; SYVITSKI et al. 1985; SYVITSKI, 1991; SONDI et al., 1995).

Cilj istraživanja bio je utvrditi granulometrijske i elektrokinetičke značajke suspendiranog materijala, te objasniti utjecaj saliniteta na modificiranje površinskog naboja, te procese flokulacije i sedimentacije suspendiranog materijala koji se pojavljuju u prirodnom sustavu estuarija rijeke Raše.

METODE I TEHNIKE ISTRAŽIVANJA

Granulometrijske značajke suspendiranih materijala analizirane su elektronским brojačem čestica (Coulter Counter, model TA II).

Pokretljivosti suspendiranih čestica, pH i saliniteti u prirodnim uzorcima vode analizirani su aparaturom za mikroelektroforezu (PenKem, model S 3000).

Koncentracije suspendiranog materijala određene su filtracijom 1 dm³ vode kroz Millipore filtere (promjer pora 0,45 µm).

REZULTATI I DISKUSIJA

Mjerenja elektroforetske pokretljivosti (EPM) suspendiranih čestica u rijeci Raši i njenom estuariju pokazuju da su čestice negativno nabijene i da pokazuju niske vrijednosti pokretljivosti (tablica 1).

Istraživanja opisana u literaturi su pokazala da u prirodnim vodenim sustavima čestice nose negativni naboј (HUNTER & LISS, 1979). Teorijski i eksperimentalno je pokazano da adsorpcija iona i organskih molekula mijenja veličinu ali i predznak naboja. BAROUCH & MATIJEVIĆ (1985) su pokazali da i elektrostatske sile između čestica istog naboja, a različitih dimenzija mogu biti privlačne. Može se pretpostaviti da je glavni uzrok flokulacije u prirodnom sustavu Raškog zaljeva djelomična redukcija naboja na površini suspendiranih čestica i smanjenje odbojne energetske barijere uslijed povećanja saliniteta (ionske jakosti) ili pak adsorpcija organskog materijala i/ili amorfnih metalnih oksida i hidroksida koloidalnih veličina.

Intenzivni procesi flokulacije i sedimentacije u estuariju Raše odvijaju se u vrijeme intenzivnog (bujičnog) donosa sitnozrnatog suspendiranog materijala, kada su i koncentracije suspendiranog materijala velike. Nakon kratkog vremena unešeni materijal sedimentira, te se samo male količine sitnozmatih čestica odnose prema srednjim i donjim dijelovima estuarija. To potvrđuje činjenicu da je jedan od značajnih parametara koji utječu na kinetiku flokulacije i koncentraciju suspendiranog materijala (KRANCK, 1981; EISMA, 1986; SYVITSKI et al., 1985).

¹Centar za istraživanje mora, Institut "Ruder Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska.

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

Lokalitet	Koncent. susp. mat. mg dm ⁻³	Salinitet	pH	EPM
Potpican	73	<1	7.6	-1.4
Most Raša	10	29.0	7.9	-0.6
Trget	1.2	33.5	8.1	-0.8
Rt Sočaja	0.2	37.0	8.1	-0.9

Tablica 1. Koncentracija suspendiranog materijala (mg dm⁻³), salinitet, pH i elektroforetska pokretnost (EPMx10⁸ m²s⁻¹V⁻¹) čestica u uzorcima površinske vode rijeke i estuarija Raše (uzorkovan 17.7.1992.).

Granulometrijske krivulje raspodjele veličine čestica za suspendirane čestice u gornjim dijelovima estuarija pokazuju značajke dobro flokuliranog suspendiranog materijala sa značajnim udjelom mineralnih čestica. To potvrđuje pretpostavku da procesi flokulacije u području ušća rijeke Raše u more utječu na transport i odlažanje sitnozrnatog suspendiranog materijala (SONDI et al., 1995).

LITERATURA

- BAROUCH, E. & MATIJEVIĆ, E. (1985): Double-layer interactions of unequal spheres. Part I.- J Chem.Soc. Faraday Trans., 81, 1797-1817.
- EISMA, D. (1986): Flocculation and deflocculation of suspended matter in estuaries.- Netherlands Journal of Sea Research, 20, 183-199.
- HUNTER, K.A. & LISS, P.S. (1979): The surface charge of suspended particles in estuarine and coastal waters.- Nature, 282, 823-825.
- KRANCK, K. (1975): Sediment deposition from flocculated suspensions.- Sedimentology, 22, 111-123.
- KRANCK, K. (1981): Particulate matter grain-size characteristic and flocculation in a partially mixed estuary. Sedimentology, 28, 107-114.
- KRANCK, K. (1991): Interparticle grain size relationships resulting from flocculation.- In: BENNETT, R.H., BRYAN, W.R. & HULBERT, M.H. (eds.): Microstructure of fine-grained sediments: from mud to shell, 125-130, Springer-Verlag, New York.
- MCAVE, I.N. (1984): Erosion, transport and deposition of fine-grained marine sediments.- In: STOW, D.A.V. & PIPER, D.J.W. (eds.): Fine-grained sediments: deep-water processes and facies), 35-69, Blackwell, London.
- SONDI, I., JURAČIĆ, M. & PRAVDIĆ, V. (1995): Sedimentation in a disequilibrium river-dominated estuary: the Raša River Estuary (Adriatic Sea, Croatia).- Sedimentology, 42 (u tisku).
- SYVITSKI, J.P.M. (1991): The changing microfabric of suspended particulate matter-the fluvial to marine transition: flocculation, agglomeration, and pelletization.- In: BENNETT, R.H., BRYANT, W.R. & HULBERT, M.H. (eds.): Microstructure of fine-grained sediments: from mud to shell), 31-137, Springer-Verlag, New York.
- SYVITSKI, J.P.M., ASPREY, K.W., CLATTENBURG, D.A. & HODGE, G.D. (1985): Prodelta environment of a fjord: suspended particles dynamics.- Sedimentology, 32, 83-107.

Sedimentološke i površinske fizičko-kemijske značajke suspendiranog materijala estuarija rijeke Raše

Ivan SONDI¹, Renata SLAVKOVIĆ², Mladen JURAČIĆ³ & Velimir PRAVDIĆ¹

Ključne riječi: specifična površina (SSA), kapacitet kationske izmjene (CEC), suspendirani materijal, prihvatni kapacitet za zagadivala, čestice ugljena, rijeke Raše

Sažetak

Suspendirani materijal rijeke Raše i njenog estuarija istraživan je zbog njegovog značaja u prijenosu i odlaganju zagadivila s kopna u more. Cilj istraživanja bio je istražiti osnovne površinske fizičko-kemijske i sedimentološke značajke suspendiranog materijala koje su značajne za prijenos i određivanje ukupnog prihvatnog kapaciteta istraživanog akvatorija za zagadivila. Određivan je kvalitativni mineraloški i kemijski sastav, granulometrijske i morfološke značajke, udio organske tvari, veličina specifične površine i kapaciteti kationske izmjene.

Rezultati istraživanja pokazuju da suspendirani materijal rijeke Raše u periodu niskih voda ima ograničenu ulogu u prijenosu i odlaganju zagadivila. To je posljedica velikog udjela čestica ugljena u suspendiranom materijalu.

UVOD

Velike količine čvrstog materijala u obliku čestica koje se unose u more potječu s kopna, a u morske sedimentacijske prostore, prvenstveno u područja ušća i estuarija, unose ih rijeke u obliku suspendiranog materijala. Suspendirani materijal je prema prihvaćenoj definiciji ona frakcija čestica, koja je veća od 0.45 µm, a sastoji se od minerala kao što su oksidi, karbonati, silikati i minerali glina te organskog partikulatnog materijala kojeg uglavnom čine mikroorganizmi i proizvodi njihove razgradnje (EISMA & CADEE, 1991; BUFFLE et al., 1992). S obzirom na površinsko fizičko-kemijske značajke, suspendirani materijali, za razliku od krupno zmatog pjeska i šljunka, imaju znatno veće specifične površine i kapacitete kationske izmjene, te su tako reaktivniji u biogeokemijskim procesima u vodenim sustavima (JURAČIĆ et al., 1987; JURAČIĆ & PRAVDIĆ, 1991; SONDI, 1993; SONDI et al., 1994).

Cilj ovih istraživanja bio je utvrditi ulogu suspendiranog materijala u procesima sedimentacije i prijenosa zagadivila s kopna u more analizom površinskih fizičko-kemijskih značajki suspendiranih čestica. Područje istraživanja bilo je estuarij rijeke Raše. Istraživanje je provedeno: (1) terenskim radom (uzorkovanjem suspendiranog materijala u rijeci i estuariju Raše; te (2) laboratorijskim istraživanjima sedimentoloških i površinskih fizičko-kemijskih značajki uzorkovanih materijala.

METODE I TEHNIKE ISTRAŽIVANJA

Suspendirani materijal izdvojen je upotrebom uređaja za tangencijalnu filtraciju Sartorius (model Sartcon II).

Kapaciteti kationske izmjene (CEC) suspendiranih materijala određeni su upotrebom amonijeve selektivne elektrode (BUSENBERG I CLEMENCY, 1973).

Mineralni sastav suspendiranih materijala analiziran je primjenom rendgenske difrakcije na prahu (difraktometar Philips, model PW 1050).

Specifične površine (SSA) odredene su adsorpcijom N₂ standardnom BET metodom (FlowSorb II 2300).

Morfološke značajke suspendiranog materijala istražene su elektronskom mikroskopijom (mikroskop SEM 515, Philips), a EDAX (Model PV 9900) je korišten za određivanje kvalitativnog kemijskog sastava mineralnih čestica u suspendiranom materijalu.

REZULTATI I DISKUSIJA

Uzorkovanje suspendiranog materijala provedeno je od 13-16. prosinca 1994. Procjena ukupnog protoka rijeke Raše u području ušća u doba uzorkovanja iznosi je 4,0-4,5 m³s⁻¹ (RUBINIĆ, osobno priopćenje).

Istraživanja elektronskom mikroskopijom i rendgenskom difrakcijom na prahu su pokazala da za vrijeme niskih voda suspendirani materijal sadrži značajan udio

¹Centar za istraživanje mora, Institut "Ruder Bošković", Bijenička 54, 10000 Zagreb, Hrvatska.

²Sektor za istraživanje i razvoj, Služba laboratorijskih istraživanja, INA-Naftaplin, Lovinčićeva 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.

³Geološki odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb, Hrvatska.

Lokalitet	Salinitet mg dm ⁻³	Konc. susp. mat. m ² g ⁻¹	SSA meqv/100 g	CEC
Potpićan	<1	3	4.8	23
Most Raša	4	8	11.4	41
Trget	33	12	4.2	17
Rt Sočaja	36.5	1	3.4	11

Tablica 1 Površinske fizikalno-kemijske značajke suspendiranog materijala.

čestica ugljena, a minerali glina se pojavljuju u malim količinama. Posljedica toga je smanjenje adsorpcijskih svojstava suspendiranog materijala što se očituje u niskim vrijednostima SSA i CEC (Tablica 1). Čestice su ugljena u vodenim sustav unešene rudničkim vodama ugljenokopa Tupljak. Prijašnja istraživanja su pokazala da čestice ugljena koje su izdvojene iz estuarijskog sedimenta imaju specifičnu površinu $2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ dok im je kapacitet kationske izmjene 9 meqv/100 g (JURAČIĆ et al., 1992). Nasuprot tome, smjesa glina koja je izdvojena iz istog sedimenta ima specifičnu površinu 48,3 m^2g^{-1} , a kapacitet kationske izmjene 68 meqv/100 g (SONDI et al., 1994). Nedostatak najznačajnije mineralne faze u procesima prijenosa i odlaganja zagadivala, minerala glina, potvrđuje činjenicu da biogeokemijski sustav rijeke i estuarija u periodu niskih voda ima mali prihvativni kapacitet za zagadivala. Mali kapacitet prihvata ograničava opseg djelatnosti (proširenje luke, razvoj poljoprivrede), koje se mogu obavljati bez trajne štete na kvalitetu vode.

LITERATURA

- BUSENBERG, E. & CLEMENCY, C.V. (1973) Determination of the cation exchange capacity of clay and soils using an ammonia electrode.- *Clays and Clay Minerals*, 21, 213-217.
- BUFFLE, J., PERRET, D. & NEWMAN, M. (1992) The use of filtration and ultrafiltration for size fractionation of aquatic particles, colloids, and macromolecules.- In: BUFFLE, J. & VAN LEEUWEN, H.P. (eds.): *Environmental particles*. Lewis Publishers, 172-230.
- EISMA, D. & CADEE, G.C. (1991) Particulate matter processes in estuaries.- In: DEGENS, E.T., KEMPE, S. & RICHEY, J.E. (eds.): *Biogeochemistry of major world rivers*, 283-296, Wiley, New York.
- JURAČIĆ, M., MENEGAZZO-VITTURI, L., RABITTI, S. & RAMPAZZO, G. (1987) The role of suspended matter in the biogeochemical cycles in the Adige River estuary (Northern Adriatic Sea).- *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 24, 349-362.
- JURAČIĆ, M. & PRAVDIĆ, V. (1991) The role of suspended matter in assessing the assimilative capacity.- *Chemistry and Ecology*, 5, 241-248.
- JURAČIĆ, M., SONDI, I. & PRAVDIĆ, V. (1992) Recent sedimentation in the Raša River estuary (Istra, Croatia): Are sediments a sink for pollutants?.- 12th International Symposium "Chemistry of the Mediterranean" Evidence of anthropogenic tampering with the marine ecosystem, 32-35, Rovinj, Croatia, May 21-27.
- SONDI, I. (1993) Mineral particles characteristics and their role in transfer and deposition of contaminants in the Raša River estuary (in Croatian).- Unpublished MSc Thesis, University of Zagreb, 99 pp.
- SONDI, I., JURAČIĆ, M., PROHIĆ, E. & PRAVDIĆ, V. (1994) Particulates and the environmental capacity for trace metals. A small river as a model for a land-sea transfer system: The Raša River estuary.- *Science of the Total Environment*, 155, 173-185.

Prirodna osnova prostornog plana Rijeke: inženjerskogeološko vrednovanje terena za urbanističko planiranje

Branimir ŠABAN & Zvonko BLAGUS

Ključne riječi: urbanističko planiranje, prirodna osnova, inženjerskogeološki kompleks, stabilnost, zaštita podzemnih voda, stupanj seizmičke mikrorajonizacije i rajonizacije, kategorija prikladnosti terena za urbanističko planiranje

Sažetak

U radu su prikazani rezultati kompleksnih istraživanja terena i laboratorijskih ispitivanja na osnovi kojih je izvršeno vrednovanje terena za urbanističko planiranje. Prikupljeni podaci omogućili su uspostavljanje korelacijskih ovisnosti između pojedinih od četiri pokazatelja (ocjena svojstava inženjerskogeološkog kompleksa, ocjena stabilnosti, određivanje zone zaštite podzemnih voda od onečišćenja i zaštite izvora i vodotokova, te određivanje stupnja seizmičke mikrorajonizacije i rajonizacije s pripadajućim koeficijentom seizmičnosti), na osnovi kojih je izdvojeno šest kategorija terena različite prikladnosti:

- vrlo prikladni tereni s dobrom i stalnim IG, HG i geotehničkim uvjetima;
- prikladni tereni s dobrom, ali promjenljivim IG, HG i geotehničkim uvjetima;
- uvjetno prikladni tereni s promjenljivim IG, HG i geotehničkim uvjetima;
- slabo prikladni tereni s vrlo promjenljivim IG, HG i geotehničkim uvjetima;
- slabo prikladni do neprikladni tereni s vrlo promjenljivim do lošim IG, HG i geotehničkim uvjetima,
- neprikladni tereni s lošim IG, HG i geotehničkim uvjetima.

Pri određivanju kategorije stabilnosti korišteni su i podaci karte nagiba terena, izradene prema kriterijima urbanista.

1. UVOD

Racionalno i ekonomično urbanističko planiranje u području čvrstih vezanih stijena, u ovom slučaju karbonatnih stijena, dugo je vremena smatrano manjim problemom u odnosu na iste u tlu (neočvrsle i polučvrsle stijene).

Napretkom tehnike građenja, povećanjem objekata i povećanjem količine građenja pojavio se problem velikih razlika čvrstoće i nosivosti stijenske mase u području horizontalnih i drugih dikontinuiteta (kontakt

Key words: Urban planning, natural base, Engineering-geological complex, Stability, Undregroundwater protection, Degree of seismic mikroregionalization and regionalization, Category of terrain suitability for urban planning

Abstract

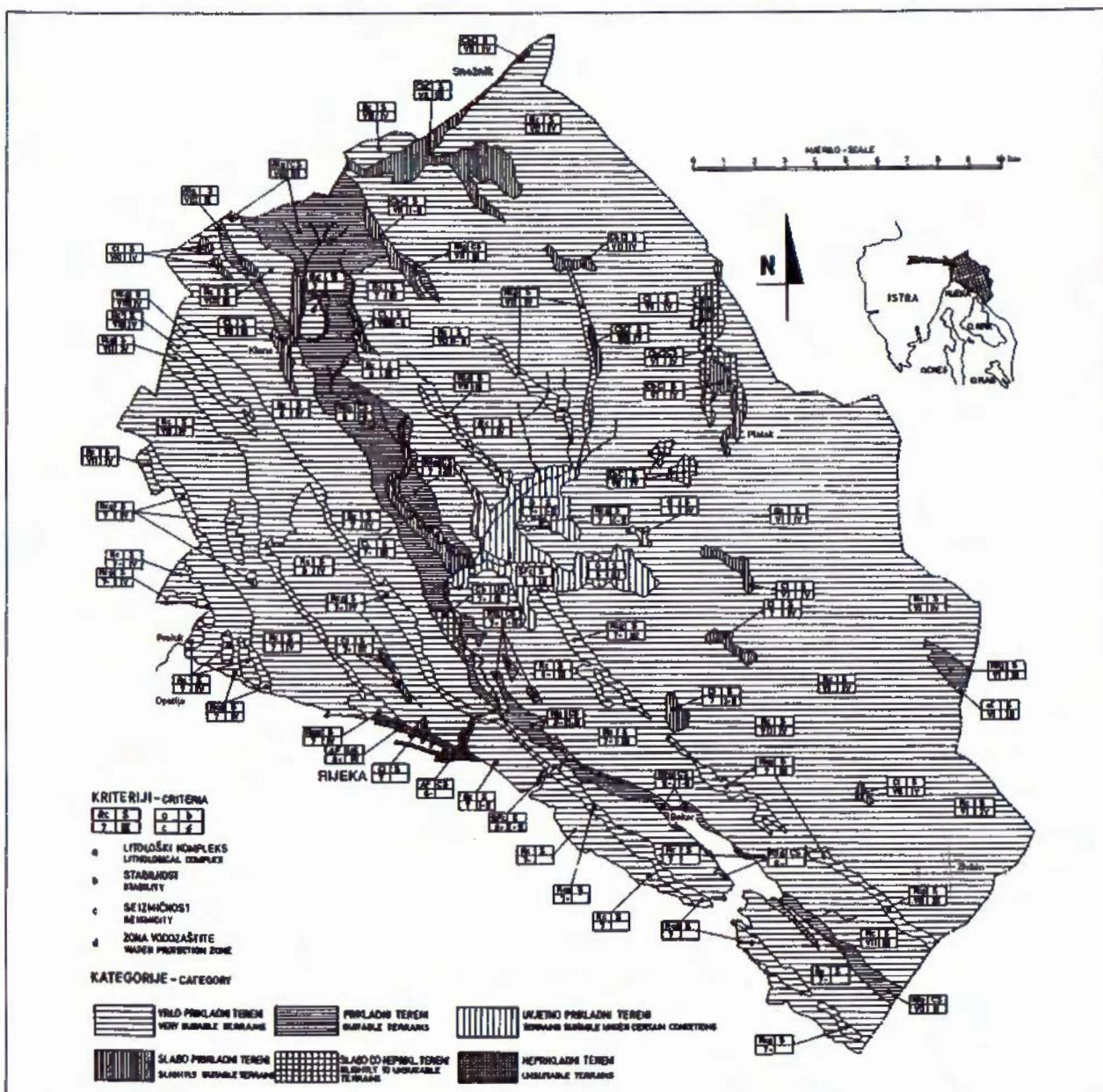
The paper discusses the results of complex terrain explorations and laboratory investigations which served as basis of the terrain evaluation for urban planning. The data acquired made possible to establish the correlation dependence between four indicators (evaluation of the engineering-geological complex features, stability evaluation, determination of underground water zone protection from pollution as well as water sources and flows protection, and the degree of seismic microregionalization and regionalization with appertaining seismicity coefficient), on the basis of which six terrain categories of various suitability were singled out:

- very suitable terrains with good, stable EG, HG and geotechnical conditions;
- suitable terrains with good, but variable EG, HG and geotechnical conditions;
- suitable under certain conditions terrains with variable EG, HG and geotechnical conditions;
- slightly suitable terrains with very variable EG, HG and geotechnical conditions;
- slightly suitable to unsuitable terrains with very variable to poor EG, HG and geotechnical conditions, and
- unsuitable terrains with poor EG, HG and geotechnical conditions.

When defining the category of stability we used the data from the terrain slope maps constructed according to the planners criteria.

stijena u podlozi i stijena pokrivača, kontakt stijena različitih fizičko-mehaničkih svojstava i dr.)

Navedeni problemi inicirani su u području Rijeke već sedamdesetih godina u vrijeme intenzivne stambene i druge izgradnje. U početku ti su problemi rješavani pojedinačno, da bi krajem 1974. godine rezultirali izradom Seizmičke mikrorajonizacije užeg područja grada kao prvog iskoraka prema kvalitetnijem planiranju i projektiranju. Intenzivna izgradnja aktualizirala je povećanje opasnosti od onečišćenja podzemnih voda i tokova te izvora i izvorišta, kojim grad obilu-



Sl. 1 Karta geotehničke prikladnosti terena za urbanističko planiranje.

je. U svrhu zaštite, izradena je Generalna karta mogućih onečišćenja podzemnih voda u M 1:50.000 s ocjenjennim zonama i mjerama zaštite izvora i izvorišta na području grada Rijeke na osnovi koje se mogao kvalitetno ocijeniti ovaj pokazatelj.

Krajem 80-tih godina na zahtjev Zavoda za prostorno planiranje općine Rijeka prišlo se izradi Karte geotehničke prikladnosti terena za urbanističko planiranje, kako bi se u fazi planiranja izbjegli nepovoljni inženjersko-geološki i geotehnički uvjeti ili bi njome urbanisti i projektanti bili upozorenji na pojedine aspekte neprikladnosti.

Zahtjev je rezultirao programom radova, kojim su predviđeni osnovni pokazatelji na osnovi kojih bi se ocijenila prikladnost terena. To su:

- ocjena svojstava inženjerskogeološkog člana ili kompleksa,

- ocjena stabilnosti terena,
- određivanje stupnja seizmičke mikrorajonizacije i rajonizacije, određivanje pripadajućeg koeficijenta seizmičnosti prema kategoriji tla, te
- određivanje zona i mjera zaštite podzemnih voda, izvora i izvorišta.

2. LITOESTRATIGRAFSKA OSNOVA

2.1. Najstarije stijene područja Prostornog plana Rijeke pripadaju klastičnim sedimentima paleozoika, Pz_2 , a zastupljene su siltitima i šejlovima te izmjenom silita i pješčenjaka. U tom području nalaze se i erupтивne stijene u tektonskim kontaktu s mladim i starijim sedimentnim stijenama, vjerojatno trijaske starosti, odredene kao andezit, α.

Dolomiti gornjeg trijasa, T_3^2 , slijedeći su sedimentacijsko-stratigrafski član u superpozicijskom slijedu, koji kontinuirano prelaze u dolomitno-vapnenjačku seriju donjeg lijasa, $J_1^{1,2}$. Serija je dobro do pločasto uslojena, debljine slojeva do 0,5 m. Lijaske naslage završavaju vrlo dobro uslojenim mrljastim vapnencima, $J_1^{3,4}$. Slojevi su debljine 5 do 20 cm.

Sedimenti dogera zastupljeni su izmjenom dolomita i vapnenaca, J_2 , izražene slojevitosti, debljine slojeva od 0,2 do 2 m. Kontinuirano iznad dogerskih vapnenaca i dolomita slijede dobro do pločasto uslojeni vapnenci donjeg malma, $J_3^{1,2}$, debljine slojeva do 0,40 m. Na njima nalaze se vapnenci s proslojcima dolomita gornjeg malma, $J_3^{2,3}$.

Na gornjomalmskim vapnencima slijede vapnjačke breče i vapnenci donje krede, K_1 . Prijelaz iz donje u gornju kredu obilježen je sedimentima tzv. prelaznih naslaga, $K_{1,2}$. Zastupljene su slabo uslojenim do neuslojenim šupljikavim vapnencima i dolomitičnim brečama.

Gornjakredni slijed naslaga započinje izmjenom vapnenaca i dolomita, cenomansko-turonske starosti, $K_2^{1,2}$. Oba litološka člana dobro su uslojena. Kontinuirano na izmjeni vapnenaca i dolomita slijede vapnenci turonske i senonske starosti, $K_2^{2,3}$. Zastupljeni su tzv. smeđim i bijelim rudistnim vapnencima, $K_2^{2,3}$. Transgresivno na erodiranom, gornjem dijelu opisanih vapnenaca slijede foraminferski vapnenci (miliolidni, alveolinski i numulitni) eocenske starosti, $E_{1,2}$. Na istraživanom području u većini slučajeva miliolidni vapnenci potpuno nedostaju. Prijelaz iz karbonatnih naslaga donjeg i srednjeg eocena prema klastičnim fliškim sedimentima srednjeg i gornjeg eocena obilježen je prelaznim naslagama, E_2 . Zastupljene su laporovitim vapnencima u donjem i laporima u gornjem dijelu. Ove naslage isto u većini slučajeva nedostaju. Flišne naslage, $E_{2,3}$, zastupljene su izmjenom siltita i pješčenjaka s proslojcima i lećama sitno do srednjezernih bioklastičnih breča i konglomerata.

Najmladi stratigrafski član područja čine krupnoklastične naslage, E_3Ol_1 , zastupljene krupno do srednjezernim konglomeratima i brečama.

2.2. Kvartarne naslage zastupljene su slijedećim genetskim tipovima: fluvijoglacijalni nanos (fgl), jezerski nanos (j), terasni nanos (t), crvenica (ts), deluvijalni nanos (dl), sipar (s 3 i s2) i nabačaj (n).

- Fluvijoglacijalni nanos zapunjava velike depresije na sjevernom i sjeveroistočnom dijelu područja. To je krupnoklastični nevezani sediment sastavljen od kršja, odlomaka, oblutaka i valutica stijena različite stratigrafske pripadnosti s malo do dosta, a ponegdje i prekomjerno gline i pjeskovite gline, CbC.

- Jezerski sedimenti zapunjavaju veliku depresiju Grobničkog polja. Sastav je različit ovisno o položaju u odnosu na smjer dotoka, te se razlikuju tri varijeteta: šljunak dobro granuliran, srednje do krupnozrn (GW), šljunak slabo granuliran s malo pijeska (GP) i pijesak

krupnozrn s dosta do prekomjerno gline i malo sitnozrnatog šljunka (SfC).

- terasni i deluvijalni nanos kao produkti trošenja flišnih naslaga u podlozi razlikuju se samo po postanku. Pretežno to su gline s manje ili više oblutaka i odlomaka rezistentnijih stijena iz podloge, CI.
- crvenica, kao produkt rastrožbe karbonatne podloge, sastoji se od gline sa ili bez odlomaka stijene iz podloge, CI.
- sipar se sastoji se od kršja, odlomaka i blokova stijene podloge (nekonsolidirani), Bl, ili s glinom (konsolidirani), CbC.
- nabačaj, obuhvaća sve značajnije tvorevine nastale ljudskom djelatnošću, AF.

3. TEKTONSKI ODNOSI

U tektonskom smislu unutar područja Prostornog plana općine Rijeka razlikuju se tektonske jedinice: Podgrad-Kastav, Ilirska-Bistrica-Rijeka-Omišalj-Nov Vinodolski, Snježnik-Risnjak-Tuhobić-Burni Bitoraj i Snežnik (Slov.).

Najveće prostranstvo Prostornog plana zauzima najkomplikiranija tektonska jedinica Ilirska-Bistrica-Rijeka-Omišalj-Nov Vinodolski. Obilježava ju tangencijalni tip deformacija (reversni rasjedi i s njima u svezi navlačenja i ljkavke strukture). Takvog tipa su i grane s ostalim tektonskim jedinicama, tj. s jedinicom Kastav-Podgrad na jugozapadu i zapadu, Snježnik-Risnjak-Burni Bitoraj na sjeveroistoku i istoku, te Snežnik (slov.) na sjeveru. Unutar jedinice razlikuju se strukturne forme: antiklinala Klanca-Bakar-Nov Vinodolski; sinklinala Škurinje-Kozala-Sušak i antiklinala Marčelji-Drenova-Trsat-Kostrena. Ostale jedinice jednostavnijih su formi - od antiklinorija tektonske jedinice Podgrad-Kastav do dijelova raznih strukturalnih formi u ostalim tektonskim jedinicama.

4. HIDROGEOLOŠKA SVOJSTVA STIJENA I POJAVE

Hidrogeološka svojstva stijena ocijenjena su prema litološkom sastavu, stupnju deformacija stijena na površini i dubljim dijelovima (bušotine, morfološke i speleološke pojave), te na osnovi površinskih vodnih pojava (izvori, izvorišta, tokovi, vrulja i dr.). Uzimajući u obzir sve navedene kriterije na području Prostornog plana razlikuju se: dobro propusne, slabo propusne, u cjelini nepropusne i stijene promjenljive propusnosti.

- Vodne pojave (izvori, bunari) svrstani su prema izdašnosti i režimu istjecanja. Neki su kaptirani i uključeni u mrežu vodoopskrbe (Zvir I, Zvir II, Perilo, Dobra, Dobrica i Martinšćica), neki isto kaptirani, ali služe u industrijske svrhe (u tvornici "Rikard Benčić", Mlaka i dr.), a neki malog kapaciteta služe samo za lokalnu upotrebu.

- Površinski tokovi na području Prostornog plana Rijeke su povremeni. Najveći i najstalniji je Rječina, a s isto tako povremenim vodotokom još su Studena potok, zatim Javor potok, pa Briški potok u dolini Drage, Sušica na Grobničkom polju, te Klanska Rječina u dolini Klane.

5. INŽENJERSKA GEOLOGIJA - INŽENJERSKOGEOLOŠKA KLASIFIKACIJA STIJENA I KOMPLEKSA

5.1. Klasifikacija stijena izvršena je na osnovi rezultata mnogih petrografskeih i geomehaničkih ispitivanja izvršenih za potrebe raznih manjih ili većih projekata. Na istraživanom području u tom smislu razlikuju se tri osnovne inženjerskogeološke vrste stijena: nevezane, poluvezane i vezane (očvrsle) stijene.

Nevezane i poluvezane stijene klasificirane su prema AC-klasifikaciji, proširene u području krupnih frakcija nevezanih stijena, i u IG smislu čine pokrivač.

Vezane (očvrsle) stijene sve su karbonatne (Rc), krupnoklastične (breče i konglomerati - Rcg), i sitnoklastične (Rfg) stijene iz grupe stijena koje čine podlogu i breču siparišna (BlCbC), iz grupe stijena, koje čine pokrivač.

5.2. Inženjerskogeološka svojstva terena.

Područje vezanih (očvrslih) stijena (sve karbonatne i veći dio krupnoklastičnih) obuhvaća najveći dio urbaniziranog, a i neurbaniziranog dijela Prostornog plana Rijeke. U užem dijelu grada u tom su području gotovo sve gradske cjeline osim brodogradilišta, luke, područje delte Rječine i Brajde-centar. Sve stijene deformirane su tektonskm zbivanjima, a oštećeni dijelovi naknadno su procesima različitih vidova trošenja dodatno prošireni i oslabljeni i doprinijeli stvaranju raznih oblika nestabilnosti od smanjenja čvrstoće i nosivosti do povećanog slijeganja i diferencijalnog slijeganja. Po iznesenim deformacijama osobito je karakteristično područje strukturno-tektonske jedinice Ilirska Bistrica-Rijeka-Omišalj-Novi Vinodolski. Osobito su značajna oštećenja na mjestima presijecanja poprečnih diskontinuiteta (rasjeda višeg reda) sa spomenutim strukturnim oblicima.

U cjelini kompleks vezanih (očvrslih) stijena ocijenjen je kao "dobro tlo" (PTP-propisi za građenje u seizmičkim područjima - Sl. list br. 50 od 1974. god.). Ova klasifikacija upotrebljena je i pri izboru koeficijenta seizmičnosti za Seizmičku mikrorajonizaciju Rijeke 1974. godine, te je u tom smislu kvalitativno kompatibilna s upotrebljenim kriterijima.

Pri klasifikaciji korišten je i Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje (Sl. list br. 31 od 5.6.1981. god.) na osnovi kojeg su vezane (očvrsle) stijene klasificirane u I. KATEGORIJU TLA, uz uvjet da se objekti visokogradnje ne planiraju u područjima intenzivnih deformacija.

Područje vezanih sitnoklastičnih stijena u strukturnom je smislu definirano sinklinalom Klana-Kozala-Sušak. To su tereni i doline Klanske Rječine, Studena potoka, Rječine, Škurinja, Svilna, doline Oreohovica-Draga-Vitoševa-Bakar-Bakarac-Križiće i kod Fužina.

Vezane sitnoklastične stijene zastupljene su siltitima s proslojcima i lećama pješčenjaka, rjede konglomerata i breča.

Osnovne značajke terena izgrađenog od sitnoklastičnih stijena česta su pojava različitih oblika nestabilnosti, od odrona i jaružanja do klizanja. Nerijetko su te pojave izazvane antropogenim utjecajima.

Inženjerskogeološka, mehanička i fizička svojstva stijena u podlozi daleko su nepovoljnija od vezanih (očvrslih) stijena. Tako npr. dozvoljena opterećenja vezanih stijena iznose od 500 do preko 1200 kp/cm², a u vezanim sitnoklastičnim od 4 do 6 kp/cm². U tom području značajna je i razlika dozvoljenog opterećenja između pokrivača i podloge, koja u pokrivaču iznosi od 1,5 do 2kp/cm².

Prema iznesenim osnovnim karakteristikama i tereni izgrađeni od sitnoklastičnih stijena pripadaju kategoriji "slabo tlo", prema kojoj se vrši i odabir koeficijenta sezmičnosti.

Područja nevezanih stijena vrlo su malog prostora i nisu većih debljina. Značajne su samo u priobalnom dijelu užeg gradskog područja. U tom dijelu zastupljene su nasipom vrlo heterogenog sastava, znatne debljine i različite zbijenosti, a leže ili na marinском nanosu (mulj, prah, pijesak i njihovi međusobni varijeteti), na vezanim (očvrslim) stijenama ili na njihovom kontaktu. Ove stijene pripadaju kategoriji "slabo tlo" uz odabir povećanog koeficijenta seizmičnosti obzirom na visoku razinu podzemne vode (more) i nestabilnu podlogu vrlo promjenljivih geomehaničkih svojstava. Objekte visokogradnje, ako to nije posebno nužno na takvima terenima ne treba planirati.

6. KARTA GEOTEHNIČKE PRIKLADNOSTI TERENA ZA URBANISTIČKO PLANIRANJE

Karta geotehničke prikladnosti za urbanističko planiranje izrađena je na osnovi vrednovanja četiri već iznesena pokazatelja:

- ocjena svojstava inženjerskogeoloških kompleksa ili članova;
- ocjena stabilnosti i nagiba terena;
- određivanja zona i mjera zaštite izvora i izvorišta, i
- određivanja stupnja i koeficijenta seizmičnosti seizmičke mikrorajonizacije (uze područje grada) i seizmičke rajonizacije (šire područje).

Kriterij ocjene svojstava inženjerskogeoloških kompleksa ili člana osniva se na rezultatima inženjerskogeoloških kartiranja, rezultata istražnog bušenja, geomehaničkih ispitivanja, opisa osnovnih hidrogeoloških svojstava pojedinih kompleksa ili članova.

Na osnovi iznesenih kriterija izdvojeni su slijedeći inženjerskogeološki kompleksi i članovi:

- AF - umjetne tvorevine
- BICbC, CbC, GW i GP - nevezane stijene
- GFc, SFc, CL i CI - poluvezane stijene
- Rc - vezane (očvrsle) karbonatne stijene
- Rcg - vezane (očvrsle) krupnoklastične stijene
- Rfg - vezane (očvrsle) sitnoklastične stijene.

Kriterij stabilnosti ocijenjen je pri inženjerskogeološkom kartiranju i rekognosciranju i na osnovi karte nagiba terena, posebno u odnosu na mogućnost pojave određenih inženjerskogeoloških procesa i pojave u područjima izgradenim od sitnoklastičnih stijena.

Na osnovi tako koncipiranog kriterija na području Prostornog plana Rijeke razlikuju se:

- S - prirodno stabilni tereni,
- CS - prirodno uvjetno stabilni tereni i
- US - prirodno nestabilni tereni.

Prirodno stabilnim terenima (S) ocijenjeni su svi Rc i Rcg tereni, GW i GP tereni te GFc i AF područja s Rc kompleksom u podlozi.

Prirodno uvjetno stabilnim (CS) područjima ocijenjeni su dijelovi još nepokrenutih inženjerskogeoloških kompleksa CbC, CL i CI na podlozi od sitnoklastičnih stijena, a

Prirodno nestabilnim (US) tereni na kojima se već zapažaju počeci inženjerskogeloških procesa ili pojava ili oni već postoje.

Kriterij seizmičnosti određen je na osnovi Karte seizmičke mikrorajonizacije Rijeke u M 1:20.000 i Tumača usvojenih članom 69. Odluke o Generalnom urbanističkom planu Rijeke, Sl. novine br. 6 od 27. 2. 1974. god. Prema toj karti uže područje Rijeke nalazi se u dijelu od 7 do 9 stupnja MCS ljestvice za "dobro", "srednje" i "loše" tlo. Seizmičnost područja Prostornog plana izvan Seizmičke mikrorajonizacije određena je na osnovi Karte rasporeda maksimalnog intenziteta potresa u M 1:200.000 s povratnim periodom od 50 i 100 god.

Kriterij određivanja zona i mjera zaštite podzemnih voda, izvora i izvorišta određen je Generalnom kartom opasnosti od onečišćenja podzemnih voda u M 1:50.000, kao sastavnog dijela elaborata Zaštitne zone izvora i izvorišta na području općine Rijeka, I faza istraživanja; zatim Odluci o uspostavljanju zona sanitarnе zaštite i o mjerama zaštite područja izvorišta pitke vode - Sl. list Zajednica Općina Rijeka br. 25/15 od 07. 1983. Prema tim rezultatima Područje općine Rijeka nalazi se u I., II., III i IV zoni zaštite i zoni izvan vodozaštitnog područja. Mjere sanitarne zaštite opisane su u legendi uz Kartu prikladnosti.

Sintezom svih kriterija i ocjene općih značajki pojedinih kompleksa ili članova, bilo je moguće razlikovati šest različitih kategorija prikladnosti terena za urbanističko planiranje:

- VRLO PRIKLADNI TERENI - s dobrim i stalnim inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uvjetima - karakteristično za Rc i Rcg kompleks;
- PRIKLADNI TERENI - s promjenljivim inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uvjetima - karakteristično za Rfg kompleks sa ili bez stijena pokrivača;
- UVJETNO PRIKLADNI TERENI - s dobrom i promjenljivim inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uvjetima - karakteristično za GW, GP i kompleks SFc;
- SLABO PRIKLADNI TERENI - s vrlo promjenljivim inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uvjetima - kompleksi GFc i CL i CI na podlozi od sitnoklastičnih stijena;
- SLABO PRIKLADNI DO NEPRIKLADNI TERENI - s vrlo promjenljivim do lošim inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uvjetima - kompleksi CI, CbC i BICbC na svim stijenama podloge i povećanog nagiba terena, te
- NEPRIKLADNI DIJELOVI TERENA - s lošim i vrlo promjenljivim inženjerskogeološkim, hidrogeološkim i geotehničkim uvjetima - kompleks AF na nestabilnoj podlozi, vrlo različitog konzistentnog stanja i debljine.

Klasifikacija pojedinih terena izvan kategorija za koje su karakteristični, posljedica su utjecaja loših uvjeta, najmanje jednog od ostalih.

Mišljenja smo da ovako koncipiran pristup izradi Karte prikladnosti terena za urbanističko planiranje zadovoljava urbanističke kriterije i može poslužiti kao prirodna osnova pri namjeni prostora.

7. PREGLED VAŽNIJE KORIŠTENE LITERATURE

- BIONDIĆ, B., BLAŠKOVIĆ, I., BUKOVAC, J., CRNOLATAC, I., GRIMANI, I., MILAN, A., NIKLER, L., ŠKIĆ, D., ŠUŠNJAR, M. & VULIĆ, Ž. (1969): Tumač osnovne geološke karte list Crikvenica, M 1:100.000.- Fond str. dok. IGI Zagreb.
- BIONDIĆ, B. & GOATTI, V. (1981): Zaštitne zone izvora i izvorišta na području Rijeke, I faza istraživanja.- Fond str. dok. IGI Zagreb.
- ŠKIĆ, D. & PLENIČAR, M. (1967): Geološki tumač lista Ilirska Bistrica, M 1:100.000.- Fond str. dok. IGI Zagreb, broj 4307.
- VULIĆ, Ž. & BIONDIĆ, B (1974): Seizmička mikrorajonizacija Rijeke i Tumač.- Fond str. dok. IGI Zagreb.



Hidrogeološki aspekti korištenja i ugroženosti podzemne vode u sjevernoj Hrvatskoj

Ante ŠARIN¹, Kosta URUMOVIĆ², Vinko MRAZ¹, Željka BRKIĆ¹ & Branko HLEVNIJAK²

Ključne riječi: hidrogeologija porozne sredine, korištenje podzemne vode, ugroženost vodonosnika

Key words: Hydrogeology of porous media, Ground-water use, Aquifer vulnerability

Sažetak

Sjeverna ili panonska Hrvatska ima relativno pogodne hidrometeorološke i hidrogeološke uvjete za korištenje podzemne vode. U najvećem je dijelu ovog područja infiltracija padalina u podzemlje tolika da ona omogućuje - kada promatramo samo njegove ravnice - četiri do šest puta veće crpljenje podzemne vode od postojećeg u cijelom ovom području. A valja znati da već sada 96% javne vodoopskrbe ovog kraja koristi podzemnu vodu.

Po svojim hidrogeološkim uvjetima čitavo ovo područje predstavlja jednu složenu jedinicu - sjeverno hrvatsku ili panonsku hidrogeološku regiju. Unutar nje su izdvojene tri hidrogeološke provincije: masivi niskog gorja, brežuljkasti obod gorskih masiva i ravnice.

Kakvoća podzemne vode je, za sada, najvećim dijelom pogodna za javnu vodoopskrbu, a i za navodnjavanje. Međutim, zaštita kakvoće ove vode postaje i bit će sve složenija u prostranim ravnicama zbog visoke koncentracije urbanih, industrijskih, prometnih i poljodjelskih postojećih i mogućih onečišćivača. Osim toga, ekstremno su jake geohidrauličke veze najizdašnijih vodonosnika s već zagadenim glavnim rijekama.

Abstract

Northern or Pannonian Croatia has relatively suitable hydrometeorological and hydrogeological conditions for groundwater use. In the largest part of this region, the precipitation infiltration is so high that it enables - if only its plains are considered - four to six times greater groundwater extraction than the actual one in the whole region. It is necessary to mention also that 96% of the actual public water supply of this region is based on groundwater.

Concerning its hydrogeological conditions, this entire region forms one complex hydrogeological region - the Northern Croatian or Pannonian hydrogeological region. Within it, three hydrogeological provinces are separated: low mountain massifs, hilly margin of mountain massifs and plains.

Groundwater quality is, at least now, mainly suitable for public water supply and irrigation. However, the groundwater protection has become and will be ever more complex in large plains due to a high present and potential concentration of urban, industrial, traffic and agricultural sources of pollution. Besides, geohydraulic connections between the highest yielding aquifers and the already very polluted main rivers are extremely high.

1. UVOD

O hidrogeologiji i relevantnim znanstvenim i stručnim disciplinama cijele sjeverne Hrvatske ili njениh dijelova napisano je, vjerojatno, par desetaka tisuća stranica. Ovo mišljenje možemo potkrijepiti podatkom da je jedna rasprava (MILETIĆ, 1969) temeljena na studiji u kojoj su navedeni podaci za 600 takvih publikacija i izvještaja. Koliko ih je još kasnije napisano? Što je s izvještajima od 240 bušotina na naftu i plin korištenih za jednu drugu studiju (URUMOVIĆ et al., 1976)? Dodajmo da je na ovom području izradeno 8 regionalnih hidrogeoloških studija, obranjene tri hidrogeološke doktorske disertacije, te izradeno nekoliko opsežnih tumača triju hidrogeoloških karata, od kojih je onaj za kartu mjerila 1:500.000 (ŠARIN et al., 1980) prava sveobuhvatna monografija. Tu su još obrade više

od 170 dobro izvedenih zdenaca i bezbroj geoelektričnih sondi. Dakle, izvanredno je velik fond pisanih relevantnih podataka i, moglo bi se reći, o ovome jedva ima smisla više pisati.

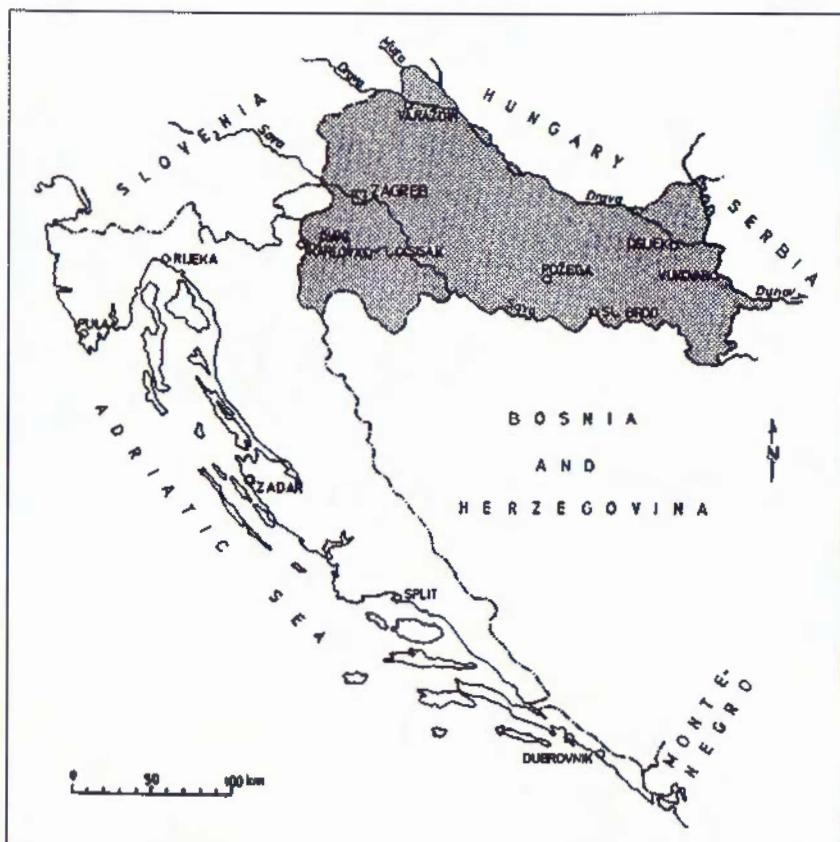
Medutim, svrha ovog izlaganja je podsjetiti hidrogeologe i srodne stručnjake da sjeverna Hrvatska ima znatne mogućnosti korištenja svog podzemnog vodnog blaga, da je ono ugrozeno i da ga treba na vrijeme i zaštititi. Dano je i novo mišljenje o hidrogeološkoj regionalizaciji ovog prostora.

2. FIZIOGRAFSKA I GEOLOŠKA OBILJEŽJA

Sjeverni ili panonski dio Hrvatske zauzima površinu od oko 29.900 km², što je oko 53% područja Republike Hrvatske. Ovim područjima dominiraju ravnice uz

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

²Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Sjeverno hrvatska ili panonska hidrogeološka regija.

Fig. 1 Northern Croatian or Pannonian hydrogeological region.

velike podunavske rijeke - Savu, Dravu, Muru, pa i sam Dunav, a prostiru se na visinama od oko 200 do oko 80 m n.m. Preostali dio ovog područja zauzimaju brežuljci i nisko gorje čiji vrhovi ne dopiru više od 255 do 1060 m n.m., kojih je u zapadnom dijelu ovog područja daleko više nego na gotovo isključivo ravničarskom istoku.

Sjeverna Hrvatska se odlikuje relativno niskim padalinama u odnosu na drugu polovicu zemlje. Godišnji prosjek za razdoblje 1981-1990, prema VUČETIĆ & VUČETIĆ (1994), varira od oko 600 mm na istoku do oko 1000 mm na zapadu. Prema podacima iz citiranog rada, pretpostavljamo da bi prosječne godišnje padaline u čitavoj sjevernoj Hrvatskoj za navedeno razdoblje mogle iznositi približno oko 750 mm.

Dravom blizu ulaska u Hrvatsku, prema J. Ridanoviću (CRKVENČIĆ et al., 1974; BOGNAR et al., 1974), kod Varaždina prosječno protjeće $334 \text{ m}^3/\text{s}$, a kod D. Miholjca $592 \text{ m}^3/\text{s}$, s tim da Murom prosječno dotječe više od $170 \text{ m}^3/\text{s}$ (koliko je mjereno kod Murskog Središća). Savom kod Zagreba prosječno protjeće $314 \text{ m}^3/\text{s}$, a kod Županje $1194 \text{ m}^3/\text{s}$; najveći dio ove razlike stvaraju njeni glavni južni pritoci: Kupa, te Una, Vrbas i Bosna.

Zbog kasnijeg djelomičnog ponavljanja pri opisu hidrogeoloških obilježja, ovdje će litotrasigrafski pregled biti sveden zaista samo na nekoliko najbitnijih podataka. Sjevernu Hrvatsku, prema V. Kranjecu (ŠARIN et al., 1980), izgraduju stijene različitog postanka i sastava, starosti od paleozoika do kvartara. Paleozojski i mezozojski gnajsi, škriljavci i karbonatne stijene pre-

vladavaju u gorskim masivima. Obode masiva najvećim dijelom izgraduju neogenski klastiti i manjim dijelom karbonatne naslage. Ravnice pak prekrivaju debele kvartarne jezerske, riječne, eolske i obronačne klastične naslage.

Prema V. Kranjecu (ŠARIN et al., 1980) i A. Šimuniću (ŠIMUNIĆ, 1992), koji su sintetizirali ranije i vlastite spoznaje, razmatrani prostor pripada jugozapadnom dijelu panonskog bazena. U gradi prevladavaju elementi blokovske tektonike. Stara je panonska masa raskomadana, ponegdje navučena i različito duboko spuštena duž mladih rasjeda i široko zaplavljena debelim tercijarnim i kvartarnim taložinama. Tim prostorom dominira nekoliko velikih graba ili depresija: murska, dravska (u kojoj dubina do predtercijarnih stijena doseže preko 6000 m), savska i slavonsko-srijemska. Pirinejskom orogenezom (srednji eocen - donji oligocen) prekinuta je veza Panonskog bazena s Dinaridima, a savska orogeneza (oligocen) izazvala je velike promjene - izdizanja, eroziju, novo sedimentacijsko područje.

Neotektonsko je razdoblje geološke povijesti Panonskog bazena vezano uz gibanja u razdoblju od neogene do kvartara (KRANJEC & PRELOGOVIĆ, 1974; PRELOGOVIĆ, 1975). Izraženo tonjenje bazena slijedi nakon miocenske transgresije. Tijekom neogena nastaju dravska, savska i slavonsko-srijemska depresija, između kojih se ističu pojedini horstovi, čije je izdizanje počelo u miocenu. Neotektonsko izdizanje Medvednice i Ivanšćice iznosi oko 700 m, Kalnika 500 m, Žumberačke gore više od 800 m, Papuka 700 m, Psunj

750 m i Moslavačke gore više od 400 m. Najmlada se izdizanja duž aktivnih seismotektonskih zona u rubnim dijelovima horstova i depresija (Medvednica, Ivančica, Dilj gora, Psunj, istočni dio Požeške kotline i Zagorja) dogadaju krajem pliocena i u kvartaru.

3. HIDROGEOLOŠKA OBILJEŽJA

Osnovna fiziografska i geološka obilježja razmatranog područja neosporno nameću potrebu za njegovom hidrogeološkom regionalizacijom. Čitavo je područje sjeverne Hrvatske hidrogeološki najopravdavanje smatrati da pripada sjeverno hrvatskoj ili panonskoj hidrogeološkoj regiji. Njoj je na jugu krška hidrogeološka regija koja obuhvaća preostalih 47% Hrvatske (sl. 1). Panonsku hidrogeološku regiju dalje dijelimo na tri hidrogeološke provincije: masive niskog gorja, brežuljkasti obod gorskih masiva i prostrane ravnice.

Masivi niskog gorja su uzvisine čiju otvorenu jezgru tvore pukotinske stijene - predtercijarne eruptivne, metamorfne i klasične stijene, te prilično zastupljene karbonatne stijene - trijaski dolomiti, kao i gornjobadenki (tortonski) vapnenci; ovi potonji samo kada transgresivno leže na predtercijskoj gorskoj jezgri. Ovih je masiva mnogo na zapadu regije, ima ih i u središtu, dok na istoku nema nijednog. To su u Hrvatskom zagorju: Maceljska, Ravna, Desinička i Kuna gora, zatim Brezovica, Strahinjsčica i Ivančica, te Cesogradská gora, Strugača i na rubu Kalnik i Medvednica. Južno od Save, između Kupe i Une, su Petrova i Zrinska gora, a sjeverno od Save Moslavačka gora. Dalje prema istoku, u središtu regije, prostire se Slavonsko gorje: Papuk, Krdija, Psunj i Požeška gora. Jedino su karbonatne stijene vodonosne u iskoristivom smislu.

Brežuljkasti obod gorskih masiva je provincija koja obrubljuje nisko gorje, pa je znatno koncentrirana na zapadu i središtu regije. Međutim, manje prostrani izolirani dijelovi prostiru se i u drugim područjima. Tvore je brežuljkasta podgorja i prigorja gorskih masiva, izolirana brda i manje uzvisine (Medimurske gorice, Bilogora, Dilj, Popovačko i Erdutsko brdo). Čitava je provincija litostatigrافski predstavljena isključivo oligocenskim i miocenskim klastitima, tj. izmjenom glinovito laporovitih naslaga i sitnozrnatih pijesaka ili slabo vezanih pješčenjaka. U cijelini su to slabo propusne ili nepropusne naslage. Vodonosnike mogu sadržavati samo 100-400 m debele gornjopontske (Rhomboida) i donekle donjobadenske (helvetske) naslage.

Ravnice su površinom najveća hidrogeološka provincija; prostiru se na oko 18.900 km². Tvore je kvartarne doline, terase i praporski ravnjaci uz veće rijeke, kao i pliocenski brežuljkasti rubovi tih nizina. Predstavljene su Lonja Vuka - Mura formacijom koja je hidrogeološki detaljno obradena studijom elektrokartočnih mjerjenja u čak 240 bušotina na naftu i plin (URUMOVIĆ et al., 1976). Ta se formacija sastoji od do

1700 m debele izmjene pijeska, praha, gline, njihovih mješavina, a u mnogim predjelima i od debelih naslaga šljunka. Odnos se propusnih i nepropusnih taložina znatno smanjuje s dubinom. Najviši interval, kojemu je dno definirano EK reperom Q', autori smatraju kvartarnim vodonosnikom. Litološki sastav i sedimentacijska geometrija ovog vodonosnika izvrsno se mogu pratiti na 250 km dugom presjeku duž čitavog toka Drave u Hrvatskoj, od granice sa Slovenijom do ušća u Dunav (URUMOVIĆ et al., 1994). Kod D. Miholjca doseže debljinu od 300 m.

4. MOGUĆNOST KORIŠTENJA PODZEMNE VODE

U razmatranom području, kad govorimo o korištenju podzemne vode, prvenstveno se to odnosi na vodoopskrbu stanovništva i industrije. Navest ćemo neke najnovije podatke o vodoopskrbi Hrvatske (GEREŠ, 1995) neznatno korigirane zbog razlika u granicama slivova i ove regije. Naime, u izvornom su radu dani točni podaci, ali se oni odnose na područja i županije, a ovdje razmatramo sjeverno hrvatsku hidrogeološku regiju. Dakle, u ovoj je regiji u 1991. god. potrošnja iz javne vodoopskrbe iznosila oko 10,9 m³/s, a u 1994. god. oko 7,2 m³/s. Pad je potrošnje uzrokovao posljedicama agresije. U 1991. god. se ta voda trošila 45% za potrebe stanovništva a 55% za industriju, s tim da je tada u sjevernoj Hrvatskoj samo 47% njenog stanovništva koristilo javnu vodoopskrbu. Nadalje, prema usmenom priopćenju D. GEREŠA, u sjevernoj Hrvatskoj se u 1991. god. podzemna voda koristila za upravo nevjerojatnih 96% ukupne javne vodoopskrbe.

Pri prikazu hidrogeoloških obilježja ove regije vidi se da u svakoj od njene tri hidrogeološke provincije ima zanimljivih vodonosnika, naročito u trećoj, u ravniciama. U gorskim masivima veliku iskoristivost ima podzemna voda karbonatnih stijena. U njima je priličan broj izvora; nekoliko ih je s izdašnošću većom od 10 l/s. Iz dolomita na Ivančici, Strahinjsčici i Kuna gori zahvaćeno je na izvorima i bušenim zdencima oko 240 l/s (MRAZ & NOVOSEL, 1995). U Slavonskom gorju su karbonatne stijene zahvaćene na izvorima Stražemanki i Veličanke, ukupno blizu 30 l/s.

U brežuljkastom obodu gorskih masiva praktički su iskoristive za javnu vodoopskrbu jedino gornjopontske naslage. Izdašnost bušenih zdenaca, kojima su one zahvaćene, mogu dosezati i do nekoliko litara u sekundi. Te su naslage zanimljive jer tvore opkol gotovo svim masivima.

Zajedno su s aspekta korištenja vode najzanimljivije ravnice ove regije. One se odlikuju nizom hidrogeoloških uvjeta pogodnih za zahvat podzemne vode: imaju posvuda, ogromnog su prostranstva, visoke transmisivnosti na relativno malim dubinama, pokrov im je polupropustan, a ponegdje ga ni nema, pa se relativno dobro obnavljaju infiltracijom padalina. Kod razma-

trnih 170 uglavnom bušenih zdenaca pojedinačne izdašnosti nisu niže od 10 l/s, a dosežu 180 l/s. Izdašnosti nekih skupina bliskih zdenaca (crpilišta Zagreba) dosežu vrijednosti od 1000-1700 l/s. Pretpostavljamo da bi prosječna infiltracija padalina u ovoj provinciji pri potpunom crpljenju cijelokupnog vodonosnika mogla biti 4-6 puta veća od količine koja se 1961. god. koristila za javnu vodoopskrbu cijele regije.

Ovdje nije bilo govora o korištenju podzemne vode za navodnjavanje, niti o korištenju dubljih mineralnih ili termalnih voda za prehrambene, balneološke ili energetske svrhe. U tim se slučajevima radi o specifičnoj hidrogeološkoj problematici, a dijelom i o praktički nekorištenim mogućnostima.

5. O UGROŽENOSTI VODONOSNIKA

Riječ je, dakako, o zaštiti kakvoće podzemne vode. Uvjeti ugroženosti vodonosnika od onečišćenja se razlikuju među provincijama. Tako u gorskim masivima karbonatne stijene, već po svojim hidrogeološkim i hidrokemijskim svojstvima, prirodno sadrže vodu najbolje kakvoće. Nisu ni ugrožene, jer su im područja napajanja praktički bez onečišćivača. Naime, to je nenastanjeno gorje, bez industrije i poljoprivrede, s rijetkim prometnicama samo na nekim rubovima.

U brežuljkastom opkolu masiva, tj. u njegovom gornjopontskom vodonosniku, voda je prirodno dobre kakvoće. U njegovim je područjima napajanja više onečišćivača nego u prvoj provinciji - pojačana je nastanjenost, ponegdje je razvijeno intenzivno voćarstvo, stočarstvo i peradarstvo, treba računati i na naftne objekte, a prometnice su gušće i jače. Međutim, ipak nam se čini da ovaj vodonosnik nije ozbiljnije ugrožen, barem ne na svom većem dijelu.

U ravnicama pak ugroženost vodonosnika je zaista vrlo velika. Tu se nalaze veliki gradovi i mnoštvo manjih naselja, magistralne i druge prometnice, mnoga velika industrijska postrojenja, naftna polja i uredaji. Najveći je dio provincije pokriven obradivim tlom s ponegdje već intenzivnom poljoprivredom, dakle s pojačanom upotrebom gnojiva i pesticida. Osim toga, tuda protječu magistralne rijeke koje već dotječu u Hrvatsku vrlo zagadene, a, primjerice, na zagrebačkim crpilištima, iz kojih se prosječno crpi oko $5 \text{ m}^3/\text{s}$ vode, i do 80% crpljene vode je inducirano; dotječe iz Save. Ponovimo da se kvartarni vodonosnik odlikuje najvećom transmisivnošću i proteže se duž magistralnih rijeke. Takoder ponovimo da su naslage Lonja - Vuka - Mura formacije, koje su isključivi litološki sastav ove provincije, propusnije blizu površine terena nego u

dubini. Uzmemo li, konačno, da se više od 90% postojeće javne vodoopskrbe čitave regije temelji na crpljenju podzemne vode iz ove formacije i da je njen crni potencijal nekoliko puta veći (uzimajući u obzir infiltraciju padalina) - situacija je zaista složena.

6. ZAKLJUČNI OSVRT

Sjeverna Hrvatska se može tretirati kao jedinstvena, sjeverno hrvatska ili panonska hidrogeološka regija. Dvije njene hidrogeološke provincije, masivi niskog gorja i brežuljkasti obod gorskih masiva, koje zauzimaju trećinu površine regije, imaju kvalitetnu podzemnu vodu koja najvećim dijelom nije ugrožena od onečišćenja, ali raspoložive količine mogu podmiriti samo lokalne potrebe.

Treća hidrogeološka provincija, ravnice, dvaput je prostranija od ostalih dviju provincija zajedno. Već sada pokriva više od 90% postojeće javne vodoopskrbe cijele regije. U njoj ima mogućnosti povećanja crpnih količina za, grubo procijenjeno, 4-6 puta. Tu su zahvati vode laki i jeftini, ali ova formacija upravo obiluje ugroženošću vodonosnika od onečišćenja. Koristimo se prilikom podsjetiti da autori ovog izlaganja suraduju na jednom aktualnom istraživačkom projektu kojim se pokušava, u domeni primijenjene hidrogeologije, racionalno pomoći u ocjeni dijela ovih problema (ŠARIN & BRKIĆ, 1994; ŠARIN et al., 1994).

Ima li općih rješenja? Ima. Treba formirati bazu svih relevantnih podataka, podatke proučiti i postaviti regionalne i lokalne modele vodonosnika, te simulirati postojeća i potencijalna crpljenja. Nedovoljno istražene probleme ili područja treba što hitnije istražiti, ali po prioritetima. Treba dovoljno pouzdano istražiti i na kartama prikazati zone različite izdašnosti podzemne vode (pri stalnom crpljenju), te multidisciplinarnim istraživanjem definirati i na kartama ograničiti zone različitih ugroženosti vodonosnika. Dobivene bi rezultate i ideje trebalo znanstveno-stručno temeljito raspraviti i valORIZIRATI, te ih podastrijeti gospodarskim i administrativnim tijelima ("decision makers") koji bi morali uzeti u obzir sve "za i protiv" faktore i na vrijeme donijeti prave odluke. Možda se tada neće dogoditi nešto poput lociranja velikog i kompleksnog postojećeg i potencijalnog onečišćivača, industrijske zone Zagreba, uzvodno od njegova velikog crpilišta. A možda se neće pojavitи ni problemi s glavnim zagrebačkim odlagalištem smeća, u Jakuševcu, lociranom tako da neposredno ugrožava najveće buduće zagrebačko crpilište Črnko-vec. Tražimo li previše? Vjerujemo - ne.

7. LITERATURA

- BOGNAR, A., CRKVENČIĆ, I., PEPEONIK, Z., RIĐANOVIĆ, J., ROGLIĆ, J., SIĆ, M., ŠEGOTA, T. & VRESK, M. (1974): Geografija SR Hrvatske.- Šk. knjiga, 3, 256 p., Zagreb.
- CRKVENČIĆ, I., DUGAČKI, Z., JELEN, I., MALIĆ, A., RIĐANOVIĆ, J., ROGLIĆ, J., ŠEGOTA, T. & ŽULJIĆ, S. (1974): Geografija SR Hrvatske.- Šk. knjiga, 1, 218 p., Zagreb.
- GEREŠ, D. (1995): Putevi razvoja vodoopskrbe u Republici Hrvatskoj.- Zbornik radova, 1. Hrvatska konf. o vodama, Dubrovnik, 1, 111-121.
- KRANJEC, V. & PRELOGOVIĆ, E. (1974): O paleogeografskim i neotektonskim odnosima u tercijaru i kvartaru na teritoriju SR Hrvatske.- Geol. vjesnik, 27, 95-112.
- MILETIĆ, P. (1969): Hidrogeološke karakteristike sjeverne Hrvatske.- Geol. vjesnik, 22, 511-524.
- MRAZ, V. & NOVOSEL, T. (1995): Novija hidrogeološka i geofizička istraživanja dolomitnih vodonosnika Ivanšćice, Strahinjšćice i Kuna gore.- 1. Hrvatski geološki kongres (First Croatian Geological Congress), Zbornik radova (Proceedings), 2, 399-401.
- PRELOGOVIĆ, E. (1975): Neotektonska karta SR Hrvatske.- Geol. vjesnik, 28, 97-108.
- ŠARIN, A., BAHUN, S., FRITZ, F., KRANJEC, V. & URUMOVIĆ, K. (1980): Hidrogeološka karta SR Hrvatske M 1: 500.000, Tumač.- Inst.geol.istr., Zagreb, 157 p.
- ŠARIN, A. & BRKIĆ, Ž. (1994): Groundwater vulnerability evaluation approach in northern Croatian plains. Case study: Ravnik - Kutina area.- Proceedings, 17th Conf. of the Danube Countries, Budapest, 2, 753-758.
- ŠARIN, A., BRKIĆ, Ž., URUMOVIĆ, K. & MRAZ, V. (1994): Možemo li smanjiti poljodjelsko zagadivanje vodonosnika u ravnicama sjeverne Hrvatske? (Prikaz jednog primjenjeno hidrogeološkog pristupa).- Priopćenja, Znan.skup: "Poljoprivreda i gospodarenje vodama", Bizovačke toplice, 1994, 449-460.
- ŠIMUNIĆ, A. (1992): Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog zagorja.- Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 199 p.
- URUMOVIĆ, K., HERNITZ, Z., ŠIMON, J. & VELIĆ, J. (1976): O propusnom mediju kvartarnih, te gornjo i srednjepliocenskih naslaga sjeverne Hrvatske.- Zbornik radova 4. jug. simp. o hidrogeol. i inž. geol., Skopje, 2, 395-410.
- URUMOVIĆ, K., TADIĆ, Z., HLEVNIJAK, B. & PETROVIĆ, M. (1994): Groundwater budget of Quaternary deposits in the Drava valley in Croatia.- Proceedings, 17th Conf. of the Danube Countries, Budapest, 1, 499-504.
- VUČETIĆ, M. & VUČETIĆ, V. (1994): Istraživanje evapotranspiracije nizinskog dijela.- Priopćenja, Znan.skup: "Poljoprivreda i gospodarenje vodama", Bizovačke toplice, 1994, 477-486.

Siverički ugljeviti sedimenti i mogućnost njihove primjene

Berislav ŠEBEĆIĆ¹, Neven TADEJ², Darko ŠPANIĆ³ & Dragutin SLOVENEC²

Ključne riječi: ugljeviti sedimenti, sastav, mogućnost primjene, Siverić

Key words: Carbonaceous sediments, Composition, Possible application, Siverić

Sažetak

Ispitan je mineralni i organski sastav te gornja toplinska vrijednost ugljevitih sedimenata ("čadavca") Siverića, s namjerom da se odredi tip i kakvoća ove sirovine, te ocijeni mogućnost primjene. Također je analiziran ugljen, koji je lečasto interstratificiran u ugljevitim sedimentima.

Rendgenskom difrakcijom utvrđeno je da uzorci uz dominantnu amorfnu komponentu sadrže kvarc i ilit, a jače glinoviti sedimenti sadrže još smektit i kaolinit. Osim navedenih minerala pojedini uzorci sadrže gips i/ili basanit te vrlo malo getita, K-feldspata, plagioklasa, pirite i kalcita.

U humičkom ugljenu stadija zrelosti smedeg ugljena ($\%R_o=0.42$) prevladavaju macerali huminitno/vitrinitne grupe, dok su u ugljevitim sedimentima - karbomineritima, približno istog stupnja zrelosti, iz krovine ugljena najviše zastupljeni inertiniti (fuzinit, semifuzinit te sklerotinit). Gornja toplinska vrijednost ugljevitih sedimenata varira od 5.450 - 8.040 kJ/kg, a smedih ugljena od 11.381 - 20.043 kJ/kg.

Rastresite siveričke smede ugljene moglo bi se briquetirati, dok bi "čadavac" prije transporta u ciglanu u Sinj trebalo sušiti. U ciglani bi se mogao koristiti ugljeviti sediment kao energetski i sirovinski dodatak.

Abstract

Mineral and organic compositions as well as upper thermal value of Siverić carbonaceous sediments (sootcoal) have been examined in order to determine the type and quality of this raw material and to estimate the possibility of its application. There has been analysed also the coal interstratified in lenses in carbonaceous sediments.

By X-ray diffraction, it has been established that, with a dominant amorphous component, samples contain quartz and illite, while more clayey sediments contain also smectite and kaolinite. In addition to the previously mentioned minerals, individual samples also contain gypsum and/or bassanite, as well as quite insignificant quantities of goethite, potash-feldspar, plagioclase, pyrite and calcite.

In the humic coal of brown coal maturity stage ($\%R_o=0.42$), dominant are the macerals of huminite/vitrinite group, while in carbonaceous sediments - carbominerites of approximately equal maturity degree, most dominant in the coal upper layer are inertinites (fusinite, semifusinite as well as sclerotinite). The upper thermal value of carbonaceous sediments varies from 5,450 - 8,040 kJ/kg, and of brown coals from 11,381 - 20,043 kJ/kg.

Loose brown coals of Siverić could be briquetted, while sootcoal should be dried prior to transporting to the Sinj brickyard. The brickyard may use carbonaceous sediments as power and raw material additives.

UVOD

Istraživan je sastav i podrijetlo siveričkih ugljevitih sedimenata, poznatih u nas pod nazivom "čadavi uglen" ili kraće "čadavac". Popularno ime "čadavac" dobio je po njegovom nepotpunom sagorijevanju. Razlikuje se od siveričkih smedih ugljena po većoj količini pepela i vlage, a time i po nižem sadržaju gorive tvari, tj. po ispitanim nižim gornjim ili izračunanim donjim, toplinskim vrijednostima.

Uvidom u rudarsko-geološku dokumentaciju, u Općini Drniš uoči Domovinskog rata, NIKLER et al. (1979) su za siveričko područje izračunali rezerve 1,800.000 t "čadavca" s time da B rezerve čine, 75%, a

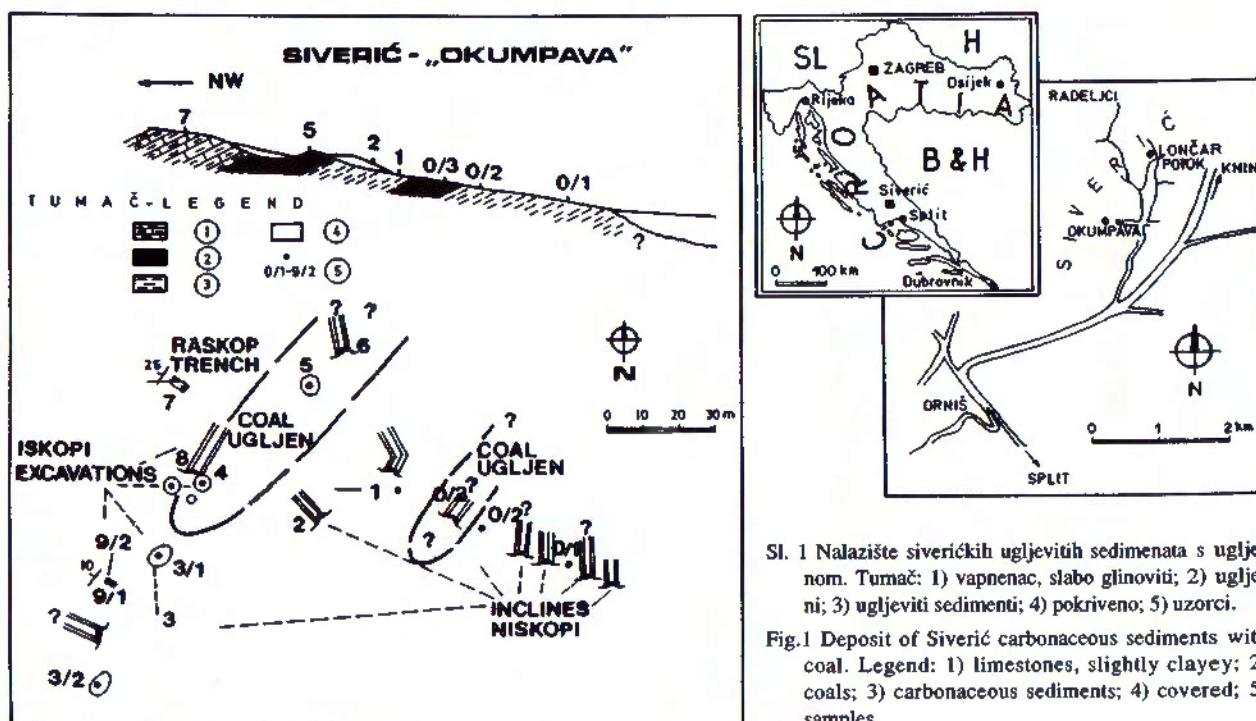
C₁ rezerve 25%. Ugljevitih sedimenata na siveričkom području ima na nekoliko lokaliteta: Tepljuh, Lilić, Bukanica, Perković polje i Siverić. Na temelju 10 osnovnih analitičkih podataka (NIKLER et al., 1979) za navedene lokalitete (ŠEBEĆIĆ, 1991) izračunali smo prosječnu (x) donju toplinsku vrijednost 7829 kJ/kg (raspon od 4252 kJ/kg - 9854 kJ/kg), prosječni sadržaj pepela 28,95% (15,40 - 59,10%) te gorivog sumpora 2,35% (1,60% - 5,12%). Interes za eksploataciju "čadavca" se povećavao, kako su se iscrpljivale rezerve ugljena.

Potrebno je znati da je ugljen u Siveriću i dr. kopan već 1786. (SOLDO, 1978), međutim značajni rudarski radovi započeti su od 1837. kada je u Dalmaciji u 11

¹INA, Razvoj i istraživanje, Šubićeva 29, 10000 Zagreb, Hrvatska.

²Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.

³INA, Naftaplin, Služba laboratorijskih istraživanja, Lovinčićeva bb., 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Nalazište siveričkih ugljevitih sedimenta s ugljenom. Tumač: 1) vapnenac, slabo glinoviti; 2) ugljen; 3) ugljeviti sedimenti; 4) pokriveno; 5) uzorci.

Fig.1 Deposit of Siverić carbonaceous sediments with coal. Legend: 1) limestones, slightly clayey; 2) coals; 3) carbonaceous sediments; 4) covered; 5) samples.

godina iskopano 1,286027 bečkih centi, odnosno 72174 t ugljena, ili prosječno 6561 t/g (FRIESE, 1852). U siveričkom rudniku radilo se do 1971, međutim, kraćim niskopima ugljen, a i "čadavac" je otkopavan pripovršinski na nalazištu Okumpava sve donedavno za privatne potrebe, kako je to usmeno priopćio g. TOMIĆ, nekadašnji tehnički direktor rudnika u Siveriću.

Pokusi s industrijskim loženjem "čadavca" obavljeni su 1949. u ciglani Strmica kraj Knina, pa je konstatirano da je ispečena cijela "vrlo dobra". Iste godine obavljen je pokušno loženje u termoelektrani u Trbovlju te su postignuti isti učinci kao i s normalnim ugljenom, pa se sumnjalo u prosječnost uzorka "čadavca" (NIKLER et al., 1979), jer analize "čadavca", s kojim su obavljeni pokuši nisu načinjene.

METODE ISPITIVANJA

Geološkom prospekциjom obuhvaćeno je područje 150mx100m (sl.1). Točke uzorkovanja povezane su kompasnim poligonskim vlastom na rudarski reper s nadmorskom visinom 427m, a koji je udaljen 100m istočno (az. 94°) od prvog niskopa.

Sadržaj C i H ispitana je metodom Pregla, a S prema ASTM D-1266, dok je sadržaj N određen metodom Dumasa. Posebno je određen sadržaj pepela žarenjem na temperaturi 800°C. Gornje toplinske vrijednosti uzorka ugljevitih sedimenta i ugljena odredene su IKA-kalorimetrom C 400 (tvrtke IKA-Werk iz Staufena) u laboratoriju "Tvornice portland cementa Koromačno".

Analize Si, Fe, P i U su načinjene spektrofotometrijski (UV/VIS), F i N kompleksno-metrijski-titriranjem, te SO₄²⁻ gravimetrijski. Atomskom apsorpcijском

spektrofotometrijom određen je sadržaj Al, Ca, Mg, Na, K, Cd, Ba, Zn, Co i Ni.

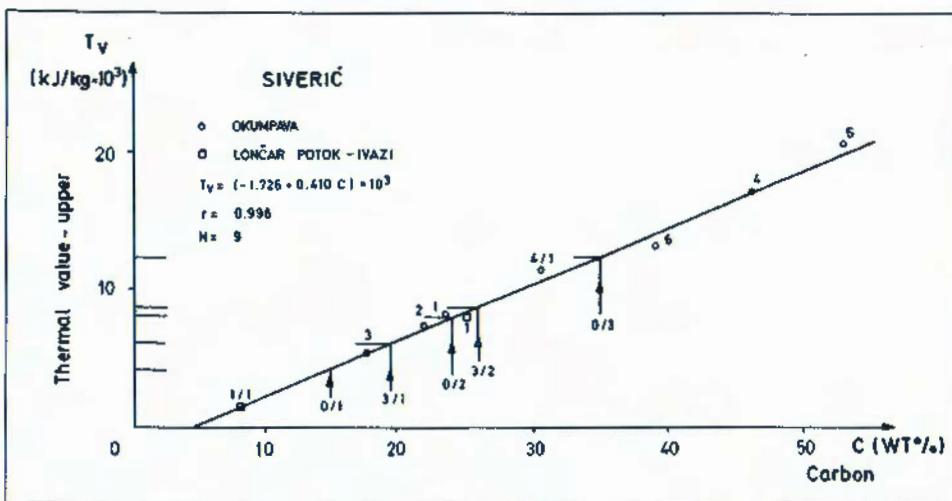
Granulometrijski sastav je određen kombinacijom suhog sijanja i hidrometriranja u Institutu građevinarstva Hrvatske, a mineralni sastav je ispitana rendgenskom difracijom praha uzorka pomoću Philipsovog difraktometra s brojačem, CuK_α zračenjem (U=34 kV, I=18 mA).

Mikroskopska ispitivanja organske tvari obavljena su u reflektiranom svjetlu ($\lambda=546\text{nm}$), a uz uljnu imerziju na mikroskop-fotometru tvrtke Leitz, model MPV-3, dok je ispitivanje krovinskih vapnenaca i podinskog breča-konglomerata obavljeno polarizacijskim mikroskopom tvrtke "Meopta".

Rock-Eval pirolizom dobivene su brze informacije o prisutnim ugljikovodicima na temperaturi 300°C, odnosno o bitumenu (S₁), o ugljikovodicima nastalim od 300°-600°C dezintegracijom kerogena (S₂), o ugljičnom dioksidu nastalim raspodom kerogena na temperaturi 300°-390°C (S₃) te o maksimalnoj temperaturi (T_{max}) stvaranja ugljikovodika termičkom degradacijom kerogena (S₂).

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RASPRAVA O NJIMA

Na temelju rezultata gornjih toplinskih vrijednosti i sadržaja ugljika dijelom su izdvojeni lećasti ugljeni unutar ugljevitih sedimenta (sl. 1). Utvrđena je dvostruko veća debljina ugljena uz krovinske vapnence Okumpave (uz. 4-6), nego unutar ugljevitih sedimenta (uz. 0/3). Sadržaj ugljika u ugljenima je >30%, tj. 30,63% - 52,96%, a i gornje toplinske vrijednosti su im



Sl. 2 Korelacijski odnos između sadržaja ugljika (C) i gornjih toplinskih vrijednosti (T_v) u uzorcima siveričkih ugljevitih sedimenta i ugljenu.

Fig. 2 Correlation between the carbon (C) content and upper thermal values (T_v) in the samples of Siverič carbonaceous sediments and coal.

veće od 10×10^3 kJ/kg, jer variraju od 11.598 kJ/kg - 20.336 kJ/kg. U ugljevitim sedimentima niži su sadržaji ugljika i gornjih toplinskih vrijednosti u odnosu na ugljen, a u skladu su s prijašnjim ispitivanjima.

Izračunata je vrlo značajna linearna korelacija ($r=0,996$) između sadržaja ugljika (C) u ugljevitim sedimentima i ugljenu i pripadajućim im gornjim toplinskim vrijednostima (T_v). Visoka značajnost te veze testirana je za 9 uzoraka Studentovim testom ($t=30,702 < t_{0,005}^{9-2} = 4,029$). Između navedenih varijabli izračunata je jednadžba linearne regresije $T_v = (-1.726 + 0.410 C) \times 10^3$ (sl. 2). Također je izračunata jednadžba linearne regresije između sadržaja pepela (A) i gornjih toplinskih vrijednosti (T_v) i ta je $T_v = (21,906 - 0,276A) \times 10^3$. Postoji negativna korelacija ($r=-0,987$) između navedenih varijabli, a testiranjem je utvrđeno da je i njihova veza značajna, jer je ($t=12,470 > t_{0,005}^{9-2} = 4,029$). S dopunskim uzorkovanjem (uz. 0/1, 0/2, 0/3 te 3/1 i 3/2) te analizom ugljika (C) grafički su (sl. 2) lako procijenjene gornje toplinske vrijednosti ugljevitih sedimenta (~ 4300 kJ/kg- 8850 kJ/kg) i ugljena (~ 12500 kJ/kg, uz. 0/3). U odnosu na prijašnja ispitivanja sadržaj pepela u 9 ugljevitih sedimenta je viši, tj. 55,95% (45,25%-73,41%), a sumpora niži 1,98% (0,06%-3,29%). Kemijskim ispitivanjem je utvrđeno da je sadržaj SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO i K_2O , niži u ugljenu nego u ugljevitim sedimentima, jer ugljeviti sedimenti sadrže više terigenih i kemijskih sastojaka. Također je i sadržaj Ba niži u ugljenu, dok je sadržaj U uglavnom viši. Ostali sadržaji elemenata i mikroelemenata su promjenljivih količina.

Rendgenskom difrakcijom prirodnog praha okumpavskog ugljena (uz. 0/3 i 4-6) osim dominantne amorfne komponente (tablica 1) utvrđen je ilit, kvarc, gips ili basanit, te vrlo malo K-feldspata, ponegdje pirit, a izuzetno kalcit.

U ugljevitim sedimentima Okumpave (uz. 0/2 i 2-3) uz dominantni sadržaj amorfne organske komponente određeno je znatno tinjčastih minerala i kvarca, zatim gips (i/ili basanit) i pirit, te malo ili vrlo malo K-feldspata, plagioklasa, kaolinita, a ponegdje i pirita.

U ugljevitom sedimentu Lončar potoka (uz. 1 i 1/1) utvrđeno je uz amorfnu komponentu, znatno ili malo getita i ilita, smeikit (uz. 1/1), zatim basanit, kvarc, te malo kaolinita (uz. 1) i K-feldspata (uz. 1/1).

Na temelju mineralnog i granulometrijskog sastava ugljevit sediment Lončar potoka (uz. 1/1) je definiran nazivom ugljevit basanitsko (kvarc-)ilitno-smeikitni siltozni "glinac" ili "glinjak" (claystone). Ugljevit sediment iz niskopa (uz. 2) u Okumpavi je ugljevit basanitsko kvarc-tinjčasti (siltozni) pješčenjak, dok je iz iskopa (3) ugljevit gipsno kvarc-tinjčasti siltozni pješčenjak po granulometrijskom sastavu nalik pjeskovitom siltitu. Svi ugljeviti sedimenti su loše sortirani, a granulometrijske krivulje su asimetrične.

Mikroskopski su ispitana tri uzorka ugljevitih sedimenta i jedan uzorak ugljena Siverič-Okumpave. Njihov maceralni sastav dan je u tablici 2. Uzorak 0/3 je nečisti humični ugljen u stadiju smedeg ugljena ($\%Ro=0,42 \pm 0,029$). U njemu prevladavaju macerali huminitne grupe, tj. ulminit i atrinit/densinit i u manjoj mjeri korpohuminit. Liptinitni macerali, u prvom redu kutinit i rezinit, također su konstituenti ugljena, dok je sporinit rijedak. Macerali inertinitne grupe sklerotinit i semifuzinit su manje zastupljeni. U huminitnim maceralima vidljive su brojne pore i pukotine isušivanja kao posljedica intenzivnog atmosferskog trošenja. Prisutne su i šupljine nastale oksidacijom framboida pirita.

Ostala tri uzorka su organskom tvari bogati sedimenti, koji su isključivo terigenog podrijetla. Dok u uzorku 0/2 prevladavaju macerali huminitne grupe, u ostala dva (uz. 2 i 3) najviše su zastupljeni inertiniti: fuzinit, semifuzinit (sl. 3) i sklerotinit, što ukazuje na fuzinizaciju biljnog materijala tijekom taloženja i/ili u početnoj fazi dijogeneze, vjerojatno uslijed sušenja površine treseta u periodima niske vode, ili kao posljedica šumskih požara. Dostignuta termička zrelost je identična onoj kod ugljena.

Rezultati Rock-Eval pirolize organske tvari (tablica 3) pokazali su visoki stupanj komparacije s mikroskopskom analizom. Relativno velika količina slobodnih ugljikovodika (S_1) posljedica su prisutnosti rezinita u uzorcima. Generativni potencijal (S_2) značajniji je u

SIVERIĆ Uzorak Sample	amorfna (organska) komponenta amorphous (organic) component	gips gypsum	bassanit bassanite	gelist goethite	kalcit calcite	kvarc quartz	tinjčasti minerali micaceous minerals	ilit illite	smektit smectite	keolinit kaolinite	plagioklas plagioclase	K-feldspat potash-feldspar	pirit pyrite	otopljene tvari dissolved substances
mas. % - wt. %														
I UGLJEVITI SEDIMENTI CARBONACEOUS SEDIMENTS														
OKUMPAVA														
0/2	prevladava dominant / > 20%	- 20	7			> 15	znatno significant /10%-20%/		?	vrio malo very slight / < 5 % /	malo slight /5%-10%/			
2	prevladava dominant		15			12	znatno significant			vrio malo very slight	malo slight	malo slight	15,98	
3	prevladava dominant	25	vrio malo very slight			10	znatno significant		5		vrio malo very slight		16,87	
LONČAR POTOK														
1	prevladava dominant		12	znatno significant	vrio malo very slight	3		malo slight	malo slight				35,65	
1/1	znatno significant		5	malo slight		8		znatno significant	znatno significant			vrio malo very slight		
II UGLJENI COALS														
OKUMPAVA														
0/3	prevladava dominant	~ 15				10(-15)	znatno significant	?		vrio malo very slight				
4	prevladava dominant	5				2		10		vrio malo very slight	malo slight			
5	prevladava dominant	5				2		malo slight			vrio malo slight			
6	prevladava dominant		- 5	vrio malo very slight	< 5			~ 15		vrio malo very slight				

Tablica 1 Mineralni sastav prirodnih uzoraka siveričkih ugljevitih sedimentata i ugljena.
Table 1 Mineral composition of Siverić carbonaceous sediments and coals natural samples.

UZORAK Sample	Ulminit Ulminite	Atrinit/Densinlit Atrinit/Densinite	Korpohuminit Corpohuminite	Sporinit Sporinite	Kutinit Cuitinit	Rezinit Resinite	Fuzinit Fusinitc	Semifuzinit Semifusinitc	Sklerotinit Sclerotinitc	% Ro
SIVERIĆ-OKUMPAVA 0/3	49	22	5	I	9	6	I	4	3	0.42
SIVERIĆ-OKUMPAVA 0/2	38	31	9	Tr	11	5	Tr	3	2	0.37
SIVERIĆ-OKUMPAVA 2	28	15	-	Tr	3	2	2	44	6	0.44
SIVERIĆ-OKUMPAVA 3	25	8	-	Tr	3	1	13	48	2	0.47

Tablica 2 Maceralni sastav (vol.%) i vitrinitna refleksija siveričkih uzoraka.

Table 2 Maceral composition (vol.%) and vitrinite-reflectance (Ro) in Siverić samples.

uzorcima 0/2 i 0/3, što je rezultiralo višim vodikovim indeksima (HI) tipičnim za naslage u kojima prevladava huminit. Zbog velike količine inertinitnih macerala u uzorcima 2 i 3 vodikovi indeksi su niski. Svi uzorci imaju neobično visoke kisikove indekse (OI), što je posljedica oksidacije organske tvari uslijed atmosferskog trošenja. Niske maksimalne temperature pirolize (T_{max}) česte su kod ugljena i ugljevitih sedimenata u diagenetskoj fazi termičke izmjene. Također su niski produkcijski indeksi (PI), odnosno pokazatelji te pokazatelji kakvoće (S_2/S_3), što je dokaz nezrelosti ali i potencijalnog dobivanja suhog plina iz ugljevite tvari.

Na temelju dosadašnjih rudarskih radova, uključujući istražno bušenje na širem području, utvrđeno je da se ugljeviti sedimenti nalaze na različitim dubinama: 4,5-30m, od 40m-70m i dublje od 100m u krovini i podini ugljena, a rijede se izmjenjuje s ugljenom. Debljina ugljevitih sedimenata za veže siveričko područje varira od 0,18m-12m ($x=3,29m$ za $N=12$ vrijednosti), a za ugljen od 0,4m-11,3m ($x=3,73m$, $N=23$). Našim ispitivanjem u Okumpavi procjenjuje se veća debljina ugljevitih sedimenata te veći odnos debljina ugljevitih sedimenata i ugljena.

Krovinski vapnenci u Okumpavi su po tipu slabije glinoviti fosiliferni mikriti i fosiliferni pilmikriti (w), slabije ili jače rekristalizirani, a ponegdje limonitizirani

i silicificirani. U podini ugljevitih sedimenata Lončar potoka nalazi se vapnenački brečo-konglomerat čiji su fragmenti izgradeni iz različitih tipova vapnenaca: iz fosilifernih mikrita (M), biomikrudita (Ww), također slabije ili jače rekristaliziranih, iz biointrasparsit (g) i dr.

Ugljeviti sedimenti s ugljenom su sastavni mali dio "Promina naslaga". One kronostratigrafski pripadaju višem lutetu (sr.eocen), a najviše priabonu (g.eocen), a ne isključuje se i donjem oligocenu. Neugljeviti dio "Promina naslaga" čine petromiktni konglomerati, breče i brečo-konglomerati, zatim pločasti vapnenci (M, w i p), "laporoviti" vapnenci (M i w, rijde w-p), latori i glinoviti latori. Dok su ugljeviti sedimenti i ugljen stvarani u stajaćim vodama poplavnih ravnica, krupnoklastični sedimenti iz njihove podine, pretpostavlja se, sastavni su dio pokrunjavajućeg, odnosno progradacijskog (regresijskog) dijela sekvensijske deltnog slaza.

Prema sadržaju sumpora siverički ugljeni, a i ugljeviti sedimenti pripadaju malosumporastim (0,5%-1,5% S) do sumporastim tipovima (2,5%-4,0% S). Siverički ugljeni prah je već ranije briquetiran, o čemu je pisao MARUŠIĆ (1966). Stoga se uz sušaru predlaže ponovno načiniti briketarnicu. Upoređujući kakvoću siveričkih ugljena s kakvoćama sličnih ugljena sovjetskih bazena te s njihovim standardima za briketiranje ("GOST") može se konstatirati da bi naši ugljeni uglavnom zadovoljili zahtjeve za briketiranje. Osušeni ugljen i ugljevite sedimente moglo bi se transportirati i u ciglanu u Sinj, gdje bi se mogli umješavati u opekašku glinu i to u količini samo do 10(-20%) da ne dode do cvjetanja sulfatnih soli u opekaškom proizvodu.

Također bi trebalo ispitati mogućnost primjene ugljevitih sedimenata u proizvodnji sulfatno-otpornih portland cementa te kao dopunsku sirovinu neke buduće manje termoelektrane ili toplane s fluidiziranim slojem, koju bi se eventualno moglo izgraditi na ovome području.

Izračunato je (ŠEBEČIĆ, 1991) da bi umješavanjem 10% čadavca s ugljenom u opekašku glinu u "Ciglani Sinj" mjesечно uštedjeli 19,9t mazuta, odnosno 238t mazuta godišnje. Zbog Domovinskog rata i okupacije ovog područja nije bilo moguće sprovesti planiranu



Sl. 3 Ulminite (gore) i semifuzinit. Vidljive desikacijske pukotine. Reflektirano svjetlo, uljna imerzija, povećanje 300x.

Fig. 3 Ulminite (above) and semifusinit. Visible dessicated cracks. Reflected light, oil immersion, 300x.

UZORAK Sample	Corg (%)	S1 (mg HC/g st) rock	S2 (mg HC/g st) rock	S3 (mg CO ₂ /g st) rock	Tmax (C)	PI	S2/S3	HI (mg HC/g Corg)	OI (mg CO ₂ /g Corg)
SIVERIĆ 0/2	12.18	2.90	33,30	43,78	413	0,08	0,76	273	359
SIVERIĆ 0/3	23,38	7,86	65,30	80,00	416	0,11	0,82	279	342
SIVERIĆ 2	7,61	1,25	9,33	21,90	413	0,12	0,43	123	288
SIVERIĆ 3	9,96	1,64	12,91	24,06	414	0,11	0,54	130	242

Tablica 3 Rezultati Rock-Eval pirolize siveričkih uzoraka.

Table 3 Results of Rock-Eval pyrolysis in Siverić samples.

industrijska ispitivanja uključujući i ekološka, tj. ispitivanje stupnja radioaktivnosti sirovine i pečene opeke s dodatkom i bez dodatka čadavca.

ZAKLJUČAK

Zbog nedostatka energenata u nas, a i otežanih uvjeta uvoza u kriznim razdobljima bit će nužno ponovno revitalizirati rudarsko-geološka i kemijsko-tehnološka ispitivanja naših dopunskih energenata: ugljena, ugljeviti sedimenata, a po potrebi "uljnih škriljavaca" i dr. Istraživanja siveričkih energenata treba povezati s istraživanjem energenata šireg područja Bukovice, Sinjskog Polja, Dinare i sl. Nakon ovog ispitivanja, te uvida u rudarsko-geološko istraživanje ugljena i čadavca na siveričkom području može se konstatirati da postoji osnova za rudarsko-geološko istraživanje Okumpave, a pretpostavlja se, potom i za eksploraciju površinskim kopom. Ugljeviti sedimenti, kao i ugljen sastavni su dio "Promina naslaga" u sklopu paleogenske blago valovite sinklinale.

Utvrđeno je da su ispitani siverički ugljeviti sedimenti huminitni i huminitno-inertinitni (gipsno-)basanitski kvarc-tinčasti siltozni pješčenjaci (-do pjeskoviti siltiti), a ima i basanitsko(kvarc-)ilitno-smektitnih siltoznih glinaca. Ugljeni su glinoviti s gipsom ili basanitom kao glavnim primjesama. Ugljeviti sedimenti i ugljen nastali su taloženjem organske i anorganske tvari u zatvorenoj priobalskoj ravnici, gdje je povremeno dolazilo do zasoljavanja sedimentacijskog prostora i jake dehidratacije kada je, gips mogao biti više ili manje transformiran u basanit. Gornja toplinska vrijednost ugljevitih sedimenata varira od 1.598 kJ/kg - 8.247 kJ/kg, a izračunata donja toplinska vrijednost od 1422 kJ/kg - 8040 kJ/kg. Kod ugljena, pretežno lignitnog tipa, a izuzetno mrkog ugljena, gornje toplinske vrijednosti variraju od 11598 kJ/kg - 20336 kJ/kg, a donje toplinske vrijednosti od 11381 kJ/kg - 20043 kJ/kg. U odnosu na prijašnja ispitivanja, utvrđeno je da su anal-

izirani ugljeviti sedimenti s povišenim sadržajem pepela (45,25%-73,41%), a s nižim sadržajem sumpora (0,06%-3,29%). Sljedećim rudarsko-geološkim te kemijsko-tehnološkim ispitivanjem, kao i tehno-ekonomskom ocjenom moći će se dobiti odgovor na pitanje u što optimalno primijeniti siveričke ugljevite sedimente.

Zahvale

Zahvaljujemo gospodи: ing. BRČIĆU te HADŽOVIĆU i ŠPRAJCU, tehničarima iz INA, Razvoj i istraživanje i gospodи ing. IBRAHIMPAŠIĆ iz INA, Naftaplin na kemijskim analizama, te ing KOLJENŠIĆU iz "Tvornice portland cementa, Koromačno" na određivanju gornjih toplinskih vrijednosti. Također zahvaljujemo g. KRALJU, tehničaru iz Naftaplina na Rock-Eval pirolizi, te ekonomisti g. TOPIĆU iz nekadašnje Općine Drniš, što je omogućio pregled siveričke rudarsko-geološke dokumentacije.

LITERATURA

- FRIESE, F. (1852): Tabellen zur Übersicht der österreichischen Bergwerks Production in den Jahren 1823-1847., p. 38-39, aus "Der Bergwerks-Production der österreichischen Monarchie", Wien.
- MARUŠIĆ, R. (1966): Briketiranje. Tehnička enciklopedija 2, (Beto-C), p.153-157. Jug. leksikografski zavod, Zagreb.
- SOLDI, J. A. (1978): Rudnik obitelji Lovrić i Garanjin na Perući kod Sinja. Centar JAZU, 357-358, p.p. 349-378, Zadar.

Neobjavljeni radovi

- NIKLER, L., ŠUŠNJARA, A., SAPAČ, F., i KASTMÜLLER, Ž. (1979): Geološka istraživanja ugljenonosnih naslaga Dalmacije - II faza. Geološki zavod Zagreb, p.p. 76+17 priloga. Fond dokumentacije Općine Drniš.
- ŠEBEĆIĆ, B. (1991): Ugljeviti sedimenti i ugljen Siverića kao dopunski izvor energije - Fond stručne dokumentacije INA, Razvoj i istraživanje, br. 253, p.p. 34, Zagreb.



Inženjerskogeološke značajke fliša srednje Dalmacije

Slobodan ŠESTANOVIĆ

Ključne riječi: Fliš, Inženjerska geologija, Fizičko-mehaničke značajke, Gradevinarstvo, Srednja Dalmacija

Sažetak

Opisane su značajke flišnih naslaga relevantne za graditeljsku praksu, dobivene istraživanjima na području od Šibenika do Makarske. Uspoređeno su prikazane fizičko-mehaničke značajke (prostorna težina, poroznost, čvrstoća na tlak i vlak, kohezija, kut unutarnjeg trenja, količina CaCO_3 , brzina širenja uzdužnih elastičnih seizmičkih valova) i s njima u svezi parametri bitni za izračune u graditeljstvu (Youngov modul, modul na smicanje i Poissonov koeficijent) u ovisnosti o litološkom sastavu flišnih naslaga. Raspravljen je o značenju terenskih i laboratorijskih istraživačkih radova za potrebe gradenja s prijedlogom određivanja RQD indeksa u tankoslojevitom flišu.

1. UVOD

Inženjerskogeološka istraživanja nedvojbeno pripadaju onoj grupi istraživanja od kojih graditelji dobivaju velik broj podataka nužnih za obavljanje svakodnevne djelatnosti u svim fazama - od projektiranja preko izvedbe do uporabe gradevina. Dakako, vrsta i količina istraživačkih radova bit će u funkcionalnoj ovisnosti o složenosti grade terena, ali i o složenosti konstrukcije koju stijena mora preuzeti bez negativnih odraza na nju tijekom uporabe. Pri tome, valja imati u vidu da se u cilju sigurne interakcije gradevine i terena mogu obavljati potrebiti zahvati u terenu, u konstrukciji ili i u terenu i u konstrukciji (ČAGALJ et al., 1980), što će u pravilu ovisiti o gradi terena.

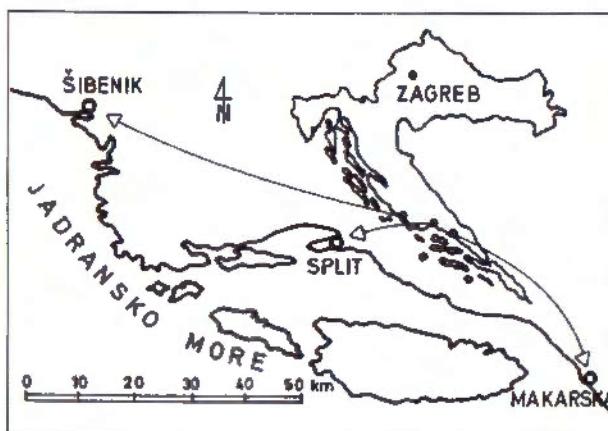
Flišni tereni srednje Dalmacije su eocenske starosti, a njihov položaj i opis su sadržani na kartama i u tumačima koje su za područje Šibenika izradili MA-MUŽIĆ et al. (1971, 1975), za područje Splita MAGAŠ et al. (1973) i MARINČIĆ et al. (1971), a za područje Makarske MAGAŠ et al. (1979) i MARINČIĆ et al. (1977). Zbog različitosti u litološkom sastavu, čestih vertikalnih i lateralnih izmjena, pojava olistolita, nodula čerta i intenzivno tektoniziranih zona, flišne naslage predstavljaju medij kojemu treba obratiti iznimnu pozornost kod istraživanja za potrebe gradenja. Terenski istraživački radovi (inženjerskogeološko karti-

ranje, geofizička istraživanja, izradba raskopa i istraživačkih jama te istraživačko bušenje) daju mnoštvo korisnih podataka neposredno, a pri tome uzeti uzorci koji predstavljaju teren, obradeni laboratorijskim ispitivanjima, upotpunjuju sliku o stvarnim značajkama i upućuju graditelja na možebitne probleme s kojima će se suočiti prilikom realizacije svoje ideje. Ali, određeni se problemi u takvim terenima pojavljuju i prilikom koncipiranja i izvođenja istraživačkih radova, posebice terenskih, kao što je, primjerice, određivanje RQD indeksa prema definiciji (DEERE, 1963, 1968) u tankoslojevitom flišu.

Cilj je ovoga rada ukazati na inženjerskogeološke značajke fliša srednje Dalmacije, dobivene s više različitih lokaliteta inženjerskogeološkim i geofizičkim istraživanjima u širem području Šibenika, Splita i Makarske (sl. 1), obradene u laboratoriju Gradevinskog fakulteta Sveučilišta u Splitu i Instituta gradevinarstva Hrvatske - Poslovni centar Split te poduzeća "Geofizika" iz Zagreba. Ukazano je također i na iskustvene dosege u rješavanju nekih konkretnih problema na terenu i u laboratoriju.

2. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Istraživanja na terenu su sadržavala inženjerskogeološko kartiranje, geofizička istraživanja geoelektričnim i seizmičkim metodama, izradbu raskopa i istraživačkih jama, te istraživačko bušenje s kontinuiranim jezgrovanjem, što je omogućilo dobivanje podataka o litološkom sastavu i promjenama u sastavu po vertikali i horizontali, a podaci o brzinama širenja elastičnih seizmičkih valova posredno su poslužili za izračunavanje Youngovog modula, modula na smicanje i Poissonovog koeficijenta (ROBERTS, 1977; ALEKSOVSKI & MIRAKOVSKI, 1988). Laboratorijskim analizama su određeni podaci o prostornoj težini, poroznosti, čvrstoći na tlak i vlak, koheziji, kutu unutarnjeg trenja i količini CaCO_3 komponente u svim litološkim članovima fliša, što je, za odredene lokalitete, prikazano tablicom 1. Dakako, svi rezultati su poslužili za potrebe projektiranja, prostornog uređenja, izvedbe širokih iskopa i temeljenje gradevina. U nastavku su opisane osnovne značajke flišnih naslaga, što će, uz brojčane podatke iz tablice, upotpuniti sliku o flišu u području srednje Dalmacije.



Sl. 1 Geografski položaj istraženih lokaliteta.

U širem području Šibenika, pretežiti litološki članovi fliša su lapori i detritični vapnenci. Valja napomenuti da se oni ne izmjenjuju po dubini, već su odijeljeni rasjedima lokalnog značenja, a morfološki se uočavaju kao kaskade. Površinska rastrošena zona u područjima koje izgraduju lapori uvijek je mnogo veća od one koja se nalazi iznad detritičnih vapnenaca. Lapori su tankoslojeviti, rijetko s debljinom slojeva većom od 20 cm, dok su detritični vapnenci srednjeslojevite do debeloslojevite stijene. U vapnencima su odredene pojave okršavanja, manifestirane pretežito manjim kavermama, praznim ili ispunjenim produktima trošenja (najčešće crvenicom s kršjem matične stijene). Na rasjednim kontaktima vapnenaca i laporanima, lapori su jako tektonizirani ("zgnječeni"), s elementima slabo izražene dinamometamorfoze, škriljave teksture. Rastrošenost laporanima, izazvana procjedivanjem oborina kroz brojne pukotine ispunjene prašinastom glinom i sitnim kršjem laporanima je registrirana u buštinama do dubine istraživanja (maksimalno 20 m), a potvrđena u izvedenim širokim iskopima.

Područje Splita izgrađuju brečokonglomerati i breče, pješčenjaci, detritični vapnenci i lapori s različitim učešćem CaCO_3 komponente. Prevladavaju pješčenjaci i lapori koji se u pravilu izmjenjuju lateralno i vertikalno. Površinska rastrošena zona ne prelazi 3 m. Slojevi laporanima su najčešće tankoslojeviti, ali se u terenu nalaze i u slojevima debljine od 1 do 1,5 m. Pješčenjaci su u izmjeni s laporanima tankoslojeviti, a ako se izmjenjuju s krupozrnastim litološkim članovima, onda su srednjeslojeviti do debeloslojeviti. Breče i brečokonglomerati su u pravilu srednjeslojevite do debeloslojevite naslage. Fragmenti u krupozrnastim naslagama su dimenzija do 5 cm, a u zonama postupnog prijelaza tih naslaga u pješčenjake fragmenti ne prelaze 5 mm. Vezivo im je kalcitično i laporovito. Mjestimično, zbog djelovanja vode, breče i brečokonglomerati s laporovitom vezivom su rastrošeni, slabih fizičko-mehaničkih značajki. ŠESTANOVIĆ (1989) je u istočnim stambenim naseljima Splita izdvojio, gledajući stabilnosti u prirodnim uvjetima i u uvjetima izvođenja radova, tri osnovne zone: prvu čine trošni tankoslojeviti lapori u izmjeni s

rijetkim slojevima pješčenjaka i laporovitih vapnenaca, također tankoslojeviti; drugu izgraduju lapori koji se mjestimično izmjenjuju s debljim slojevima pješčenjaka, laporovitih vapnenaca i brečokonglomerata i breča, a treću izgraduju tankoslojeviti lapori u čestoj (stalnoj) izmjeni s isto tako tankoslojevitim pješčenjacima i glinama u meduslojnim pukotinama. Debljina rastrošenog pokrivača je u trećoj zoni najveća. Slični odnosi su registrirani i u ostalim djelovima splitskog poluotoka, ali i šire. Tektonski su odnosi veoma složeni, manifestirani pojavama niza lokalnih uzdužnih i poprečnih rasjeda i bora (normalnih, izoklinalnih i prebačenih). Uzdužni su rasjedi rezultirali relativnim spuštanjem blokova, što je djelovima terena dalo kaskadne karakteristike. Lapori u zonama rasjeda su "zgnječeni" i deformirani, škriljave teksture, a na krtim članovima fliša su primjetne brojne strije.

U širem području Makarske registrirano je pretežito samostalo pojavljivanje laporanima srednjeslojeviti do debeloslojeviti i laporovitih vapnenaca u izmjeni s laporanima. Pojave pješčenjaka i drugih krupozrnastih članova fliša i njihova izmjeni s laporanima i laporovitim vapnencima su rijetke. Površinska rastrošena zona poprima, idući od obronaka Biokova prema moru, sve veću debljinu (mjestimično i do 20 m u samome gradu), a njezin sastav je veoma heterogen (obronačno kršje različitih dimenzija slabo vezano glinovitom supstancijom, prašinaste gline niske plastičnosti i gline srednje do visoke plastičnosti sa sitnim kršjem vapnenaca i laporanima). Izgled i značajke promatranog područja vuku podrijetlo iz utjecaja kontakta dvaju litogenetskih kompleksa: karbonatnog jurskog i krednog (Biokovo) i klastičnog eocenskog. Stoga je za ovo je području posebice važno istaknuti, za razliku od splitskog i šibenskog područja, da položaj i fizičko-mehaničke značajke naslaga valja promatrati u okvirima naprezanja i sažimanja kojima su naslage bile podvrgnute.

Istraživačkim bušenjem neposredno iznad laporanima prekrivenih osulinama nalazi se tanka zona prašinaste gline nastala njihovim raspadanjem. Iznad laporovitih vapnenaca takve zone u pravilu nema, ali su u gornjoj zoni pojavljivanja oni izrazito trošni. Na izdancima laporanima i laporovitih vapnenaca u usjecima i zasjecima ceste na prilazima Makarskoj je primjetna deformiranost u smislu "zgnječenosti" i lokalne škriljavosti izazvane slabim dinamometamorfizmom.

3. RASPRAVA

Istraživačkim radovima izdvojena su tri najčešća pitanja o kojima je raspravljanje sa stručnjacima graditeljske prakse u cilju donošenja ispravnih zaključaka o postignutim rezultatima i mogućnostima njihove primjene. To su :

- ovisnost intenziteta trošenja laporanima o količini CaCO_3 komponente,
- ovisnost čvrstoće na tlak o količini CaCO_3 komponente,

Lokalitet	Litološki sastav	Prostorna težina γ (kN/m³)	Poroznost n (% vol)	Čvrstoća (tlačna vlačna)	Kohezija c (kPa)	Kut unutarnjeg trenja φ	Količina CaCO ₃ (%)	Brzina seizmičkih valova v _p (km/s)	Youngov modul Edin (MPa)	Modul posmilka Gdin (MPa)	Poissonov koeficijent μ
Šibenik	površinska razrođena zona	19.1-20.3	5-39		0-15	=24	=52.29	0.2-1.0			0.45-0.42
	rastrojeni lapor	21.3-23.4	4-18	=7.6 ≈0.5	620-740	=28	52.49-53.08	0.7-1.3	1650-3500	700-1300	≈0.36
	nernastrojeni lapor	24.2-24.8	0.9-7	=0.3 ≈0.7	960-1040	=34	51.59-62.63	1.7-2.6	≈11500	≈4400	≈0.28
	laporoviti vapnenci	24.7-25.3	3-9	=21.2 ≈2.5	6100-21000	=45	78.4-83.2	3.2-4.4	16200-38200	≈14800	0.29-0.22
Split	površinska razrođena zona	17.1-20.8	4-36		0-35	21.15-31.5	35.5-59.3	0.3-1.1			0.47-0.41
	glinoviti lapor	23.2-23.8	4-15	=6.3 ≈0.5	1100-1900	=26	31.3-35.0	0.4-1.6	2600-8400	250-700	≈0.34
	lapor	23.5-24.4	1.3-5.8	=14.8 ≈1.3	3400-7000	=28	53.2-64.4	0.9-2.9	9900-14000	620-3500	0.31-0.39
	vapnenički lapor	24.0-24.8	1.0-6.4	=26.2 ≈3.0	9200-14400	=44	68.3-73.3	3.2-4.1	17600-41000	1500-5200	0.30-0.28
Makarska	detrinični vapnenci, pješčenjaci, breče i konglomerati	25.3-26.8	2.3-11.4	=43.5 ≈1.1	17400-23000	=48	88.5-99.8	2.8-4.3	18400-51000	3500-20400	0.33-0.28
	površinska razrođena zona	18.1-19.6	=23		0-12	19.27-26.6	nije ispitivano	0.3-1.1			
	lapor	23.2-23.9	=17	=0.1 ≈0.65	1100-1900	=32	51.4-55.6	1.0-2.0	1900-4000	750-1500	0.31-0.28
	laporoviti vapnenci	24.4-24.6	=9	=23.4 ≈2.7	5200-19400	=45	72.4-74.4	1.6-2.9	10600-12400	3800-4500	0.30-0.27

Tablica 1 Pretežiti rasponi i prosječne vrijednosti fizičko-mehaničkih značajki flišnih naslaga u srednjoj Dalmaciji.

- pouzdanost podataka o RQD indeksu u tankoslojitoj fliši.

Analizom količine CaCO₃ komponente na velikom broju uzoraka flišnih laporanih u području od Šibenika do Makarske, obradenih u razdoblju od početka 1979. do konca 1994. u laboratoriju IGH-Poslovni centar Split i Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Splitu, određeno je da velika većina njih ima između 50% i 75% CaCO₃. Ipak su svi oni na površini, neovisno o količini karbonatne komponente, podložni trošenju pod utjecajem atmosferilija. Ta činjenica ima svojega odraza na postojanost i stabilnost izvedenih kosina, posebice u cestogradnjici. MIŠČEVIĆ (1994) je analizirao otpornost površinskih ploha izgrađenih od laporanih na atmosferske procese na uzorcima koji su sadržavali od 60,63% do 78,74% CaCO₃ komponente i odredio da proces degradacije počinje vrlo brzo, za manje od godine dana, da je nakon nekoliko godina kosina u izrazito degradiranom stanju, da je započeti proces kontinuiran i da se može zaustaviti jedino odgovarajućom zaštitom. O stabilnosti kosina u flišu i njihovoj zaštiti pisali su ŠESTANOVIĆ et al. (1994). Međutim, istraživačkim bušenjem su odredeni degradirani lapor s različitom količinom karbonatne komponente i u dubinama većim od 10 m od površine terena, uz zaključak da je takvo stanje posljedica djelovanja vode koja se procjeđuje s površine, ali i mogućeg postojanja vodnog lica lokalnog značenja, što svakako ima odraza na temeljenje objekata. Vizualno, uzorak djeluje kao glinoviti lapor i loših je fizičko-

mehaničkih svojstava. Pokušajima analiziranja ovisnosti količine CaCO₃ o rastrošenosti laporanih ispod površine nisu dobiveni koeficijenti korelacije koji bi ukazivali na funkcionalnu povezanost. Stoga ovom problemu valja obratiti iznimnu pozornost u smislu određivanja dotoka vode s površine (i mogućnosti njezinoga nakupljanja u podzemlju). To svakako uključuje i potrebu da se na svakom konkretnom primjeru odrede hidrogeološke značajke terena, pri čemu lapore, s obzirom na razlomljenost i odnose u terenu, ne smijemo nekritički smatrati vodonepropusnim naslagama.

Odnos čvrstoće na tlak i količine CaCO₃ komponente istraživali su MAGDALENIĆ et al. (1980), ŠESTANOVIĆ et al. (1984) i ROJE-BONACCI et al. (1985). MAGDALENIĆ et al. (1980) opisuju rezultate ispitivanja za potrebe temeljenja sportskih objekata u Splitu za MIS 79, a kasnije i drugih objekata, i navode kako je tim ispitivanjima odredena veoma čvrsta ovisnost čvrstoće na tlak i vlak o sadržaju CaCO₃. ŠESTANOVIĆ et al. (1984), opisujući značajke laporanih u istočnom dijelu Splita, navode naprotiv da su koeficijenti korelacije između količine CaCO₃ i čvrstoće na tlak u najvećem broju slučajeva bili manji od 0,5 na temelju čega su zaključili da ne postoji dobra veza između tih dva pokazatelja, iako je ona bila očekivana. ROJE-BONACCI et al. (1985) pošli su korak dalje u istraživanju tog odnosa (nakon negativnih rezultata u ispitivanju 232 uzorka s količinom CaCO₃ između 50% i 95%) i prišli analizi nakon grupiranja podataka u

skupine prema postotku CaCO₃ komponente, formirajući pri tome dvije grupe. U prvoj su grupi skupine imale korak od 5% CaCO₃, a u drugoj od 10%. Rezultati su pokazali postojanje veze između ta dva podatka, ali je u zakjučku navedeno da ona nije čvrsta i decidirana zbog postojanja čitavog niza i drugih faktora o kojima ovisi jednoosna čvrstoća na tlak. Upravo takav zaključak uputio je na potrebu cijelovite analize uzorka, pa ŠESTANOVIĆ (1989) objasnjava nemogućnost utvrđivanja funkcionalne veze među promatranim veličinama (analiziranim na uzorcima uzetim prilikom istraživanja za prostorno uređenje i temeljenje novih stambenih naselja u istočnom dijelu Splita) zbog postojanja prslina i defekata u gradi laporanu utvrđenih mikroskopskim i makroskopskim analizama uzorka. Dakle, veza između količine CaCO₃ komponente i čvrstoće na tlak postoji, ali ona rijetko kad može biti funkcionalna zbog nedvojbenog postojanja čitavog niza defekata u gradi laporanu, što je rezultat njegove geneze, ali i svih ostalih postgenetskih procesa koji su na stijenu djelovali. S tim u svezi buduća istraživanja, kad se traže stvarni uzroci manje čvrstoće na tlak od očekivanih u laporima fliša (ali i ne samo u njima), valjalo bi usmjeriti na određivanje defekata u stijeni, a posebice i u mineralima, o čemu je pisao CRNKOVIC (1982).

Analizirajući i opisujući jezgre istraživačkih bušotina za potrebe gradenja, potrebno je izračunati i RQD indeks (DEERE, 1963, 1968) kao jedan od važnih pokazatelja razlomljenosti stijene po dubini. Kod njegove primjene i s tim u svezi kategorizacije stijene, uočena su u flišu srednje Dalmacije ograničenja koja se posebice odnose na:

- debljinu slojeva,
- nagib slojeva i
- pojavu nodula čerta.

Budući da se, prema definiciji, kod određivanja RQD indeksa računaju samo komadi jezgre dulji od 10 cm, ta je metoda (na predloženi način) neprimjenjiva za tankoslojevite naslage fliša, ali i za sve ostale naslage, neovisno o načinu njihovoga postanka, koje se pojavljuju u slojevima debljine manje od 10 cm. Naime, u takvim je slučajevima RQD uvijek jednak nuli, zbog čega se može steći pogrešan dojam da je istražena stijena iznimno jako razlomljena. Slijedom iskustva u flišnim terenima Dalmacije, ŠESTANOVIĆ et al. (1989) predložili su modificiranu definiciju koja polazi od debljine najtanjug sloja. Odnosno, RQD u tankoslojevitim naslagama, u slučajevima kad su debljine slojeva manje od 10 cm, može se izračunati dovoljno točno za primjenu u kategorizaciji, ako se prihvati definicija prema kojoj se računa zbroj svih nerazlomljenih slojeva debljih od najtanjug sloja i dobiveni zbroj podijeli s ukupnom duljinom analizirane jezgre. Primjenjujući ovaku definiciju u praksi, postignuti su vrijedni rezultati te se ona može preporučiti. Dakako, i u ovako modificiranoj primjeni postoje problemi, posebice ako su slojevi strmo nagnuti (što je u srednjoj Dalmaciji čest slučaj), i ako se među slojevima ili u slojevima nalaze noduli čerta, česti u izmjenama breča i detritičnih vapnenaca s pješčenjacima i laporima, koji tijekom bušenja lome naslage slabijih fizičko-mehaničkih značajki i stvaraju sliku potpuno razlomljene jezgre. Stoga na terenu valja posebice pozorno pratiti i analizirati napredovanje bušaćeg pribora i vraćanje isplake, što rezultira brojnim vrijednim saznanjima i pomaže u realnijem određivanju RQD indeksa (NOVOSEL et al., 1980). Odnosno, tek uz brižljivu, detaljnu i cijelovitu analizu rezultata uz obvezatne konsultacije s građevinarima kao krajnjim korisnicima, mogu se očekivati i optimalna rješenja u interakciji teren - građevina.

4. LITERATURA

- ALEKSOVSKI, D. & MIRAKOVSKI, G. (1988): Mogućnost korišćenja seizmičkih brzina za određivanje parametara deformabilnosti, otpornosti i čvrstoće stenskih masa.- 1. jug. simp. o tunelima, 1, 7-16, Brijuni.
- CRNKOVIĆ, B. (1982): Nondestructive method in determination of technical properties of natural stones.- Durability of Building Materials, 1, 35-47.
- ČAGALJ, M., ŠESTANOVIC, S. & GOTOVAC, B. (1980): Temeljenje stambenog tornja u flišnoj sredini.- Zbornik 5. simp. JDMSPR, 1, 317-323, Split.
- DEERE, D.U. (1963): Technical description of rock cores for engineering purposes.- Rock Mechanics and Engineering Geology, 1/1, 16-22.
- DEERE, D.U. (1968): Geologic consideration.- In: STAGG, K.G. & ZIENKIEWICZ, O.C. (eds): Rock mechanics in engineering practice, 1-20, New York.
- MAGAŠ, N., MARINČIĆ, S. & BOROVIĆ, I. (1973): Tumač za OGK, listovi Split i Primošten.- 47 p., IGI Zagreb i SGZ Beograd.
- MAGAŠ, N., MARINČIĆ, S. & BENČEK, Đ. (1979): Tumač za OGK, list Ploče.- 52 p., IGI Zagreb i SGZ Beograd
- MAGDALENIĆ, A., CRNKOVIĆ, B. & JAŠAREVIĆ, I. (1980): Problemi vezani uz radove u flišu.- Zbornik 5. simp. JDMSPR, 2, 93-109, Split.
- MAMUŽIĆ, P., KOROLIJA, B., MAJCEN, Ž., BOROVIĆ, I., MAGAŠ, N., BOJANIĆ, L., BOŽIČEVIĆ, S., BABIĆ, LJ. & ŠIMUNIĆ, A. (1971): Osnovna geološka karta, 1:100000, list Šibenik.- IGI Zagreb i SGZ Beograd.
- MAMUŽIĆ, P., VRSALOVIĆ, I., MULDINI-MAMUŽIĆ, S., KOROLIJA, B., MAJCEN, Ž. & BOROVIĆ, I. (1975): Tumač za OGK, list Šibenik.- 37 p., IGI Zagreb i SGZ Beograd.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N., BOROVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., MAJCEN, Ž., RAFFAELLI, P. & MAGDALENIĆ, Z. (1971): Osnovna geološka karta, 1:100000, list Split.- IGI Zagreb i SGZ Beograd.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N., BENČEK, Đ., MAMUŽIĆ, P., KOROLIJA, B., SIKIRICA, V., IVANOVIĆ, A., ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M., BOROVIĆ, I., GRIMANI, I., MAJCEN, Ž. & BRKIĆ, M. (1977): Osnovna geološka karta, 1:100000, list Ploče.- IGI Zagreb i SGZ Beograd.
- MIŠČEVIĆ, P. (1994): Erozija površinske plohe u naslazi fliša.- Saopć. savjet. "Geotehnika prometnih građevina", 1, 339-346, Novigrad.
- NOVOSEL, T., TUŠAR, Z., MULABDIĆ, M., GARAŠIĆ, M. & KORAŽIJA, S. (1980): Ocena stabilnosti kosina u zasjecima (usjecima) građenih od karbonatnih stijena.- 5. simp. JDMSPR, 1, 185-192, Split.
- ROBERTS, A. (1977): Geotechnology.- Pergamon press, Oxford, New York, Toronto, 347 p.
- ROJE-BONACCI, T., ŠESTANOVIC, S. & ČAGALJ, M. (1985): Analiza odnosa jednoosne čvrstoće i postotka CaCO₃ u flišnim naslagama.- 6. simp. JDMSPR, 1, 104-107, Titovo Velenje.
- ŠESTANOVIC, S. (1989): Inženjerskogeološka istraživanja fliša u istočnim stambenim naseljima Splita.- RGN Zbornik, 1, 69-76, Zagreb.
- ŠESTANOVIC, S., ČAGALJ, M. & BILOŠ, T. (1984): Neke značajke laporanja flišu istočnog dijela Splita.- Zbornik 8. jug. simp. o HG i IG, 2, 363-367, Budva.
- ŠESTANOVIC, S., BARČOT, D. & ČAGALJ, M. (1989): RQD in thin-layered beddings.- Geol. vjesnik, 42, 281-286.
- ŠESTANOVIC, S., ŠTAMBUK, N. & SAMARDŽIJA, I. (1994): Control of the stability and protection of cut slopes in flysch.- Geol. Croat., 47/1, 139-148.

Litostratigrafska raščlamba donjomiocenskih klastita u Hrvatskom zagorju

Antun ŠIMUNIĆ, Radovan AVANIĆ, Alka ŠIMUNIĆ & Ivan HEĆIMOVIĆ

Ključne riječi: donji miocen, klastiti, glaukonit, pješčenjak, maceljski pješčenjak, Macelj formacija

Sažetak

Prilikom izrade litostratigrafske karte Republike Hrvatske, istraživani su maceljski pješčenjaci, poznati samo u zapadnom dijelu Hrvatskog zagorja. To su 300-350 m debele naslage pretežno glaukonitnih pješčenjaka uz koje se pojavljuju još i konglomerati, siliti te rijedko peliti. Geološkim kartiranjem i snimanjem brojnih geoloških stupova utvrđeno je da ovi klastiti predstavljaju jedinstvenu geološku cjelinu koja se može smatrati geološkom formacijom. Preliminarno je nazvana Macelj formacija, prema 718 m visokoj Maceljskoj gori, koju najvećim dijelom izgradi. Na temelju litoloških i teksturnih karakteristika Macelj formacija podijeljena je u tri člana: Vučji Jarek, Čemernica i Lipni Vrh. Raspored litostratigrafskih članova na terenu pokazuje da su stijene ove formacije sačuvane u izduženoj sinklinali koja postupno tone prema istoku.

UVOD

Tijekom 1987. god. započela je izrada litostratigrafske karte Republike Hrvatske na području Hrvatskog zagorja. Istraživanja su bila usmjerena na stariji dio neogenskih naslaga koje su u tom području poznate kao nositelji smedeg ugljena, bentonita, kvarcnog pijeska i drugih mineralnih sirovina. Radovi su izvedeni na području koje je omedeno granicom između Republike Slovenije i Republike Hrvatske, te planinama Strahinšćicom i Ivanšćicom. Velika pažnja istraživača bila je posvećena tzv. maceljskim pješčenjacima koji predstavljaju specifični tip donjomiocenskih klastita kakav nije poznat u ostalim dijelovima Republike Hrvatske. Zbog velike pokrivenosti terena (humusom i bujnom vegetacijom) nije se mogao snimiti jedinstven geološki stup, već su snimani parcijalni stupovi koji su kasnije povezani geološkim kartiranjem. Tom prilikom prikupljen je veliki broj uzoraka za paleontološke, sedimentološke, geokemijske i dr. analize. Na temelju navedenih istraživanja utvrđeno je da maceljski pješčenjaci nemaju jedinstvenu litološku gradu, nego da se uz glaukonitne pješčenjake pojavljuju još i konglomerati, siliti i peliti. Također je utvrđeno da su transgresivni na starije stijene (egerske klastite i trijaske karbonate) te

da preko njih diskordantno naliježu sedimenti otnanga. Prema navedenom vidljivo je da maceljski pješčenjaci predstavljaju jedinstvenu litostratigrafsku cjelinu, dobro odijeljenu od ostalih jedinica, koja se može smatrati geološkom formacijom. Nažalost, zbog toga što se ne radi samo o pješčenjacima nije se mogao zadržati stari naziv, koji je postavio još GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1902), već su ovi klastiti nazvani Macelj formacijom. Ova formacija je na temelju razlika u mineralnom sastavu, veličini zrna te uvjetima postanka podijeljena na tri člana. U bazi se nalazi Vučji Jarek član, a zatim superpozicijski slijede članovi Čemernica i Lipni Vrh. Nazivi članova uzeti su prema lokalitetima na kojima su snimljeni najmarkantniji geološki stupovi. Svrha ovog rada je rješavanje geološke problematike donjomiocenskih klastita i ukazivanje na prednosti litostratigrafske karte pred ostalim vrstama geoloških karata približno istog mjerila.

Ovom prilikom zahvaljujemo gosp. Stjepanu MARKOVIĆU dipl.ing.geol. za pomoć kod geološkog kartiranja, gosp. mr.sc. Krešimiru ŠIKIĆU za odredbu makrofaune i gđi. mr.sc. Lidiji ŠIKIĆ za odredbu mikrofosaila.

O DOSADAŠNJIM ISTRAŽIVANJIMA

Ovaj članak predstavlja nastavak objavljenog rada ŠIMUNIĆ et al. (1990) u kojem je iznesen pregled dosadašnjih istraživanja. Da bi se izbjeglo ponavljanje ukazano je samo na objavljene geološke karte, približno istog mjerila, na kojem je prikazano isto područje.

Prve geološke karte zapadnog dijela Hrvatskog zagorja, mjerila 1:75.000, objavio je GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1902, 1904a, b). Na tim kartama nisu jasno definirani odnosi, ali je iz legende i Tumača vidljivo da maceljski pješčenjaci leže na "Sotzka slojevima" ili na "morskim laporima" i da preko njih naliježe litavac. Potrebno je naglasiti da je Gorjanović-Kramberger, na temelju superpozicijskih odnosa, dobro odredio stratigrafsku pripadnost ovih naslaga.

Dugo godina nije objavljena ni jedna geološka karta ovog područja. Tek 1984. god. tiskan je list OGK Rogatec, mjerila 1:100.000 (ANIČIĆ & JURIŠA, 1984), koji je obuhvatilo i zapadni dio Hrvatskog zagorja. Na

toj karti su kronostratigrafskim slijedom prikazane naslage, te su maceljski pješčenjaci zajedno s ostalim stijenama uvršteni u burdigal.

KRONOLOGIJA GEOLOŠKIH ZBIVANJA

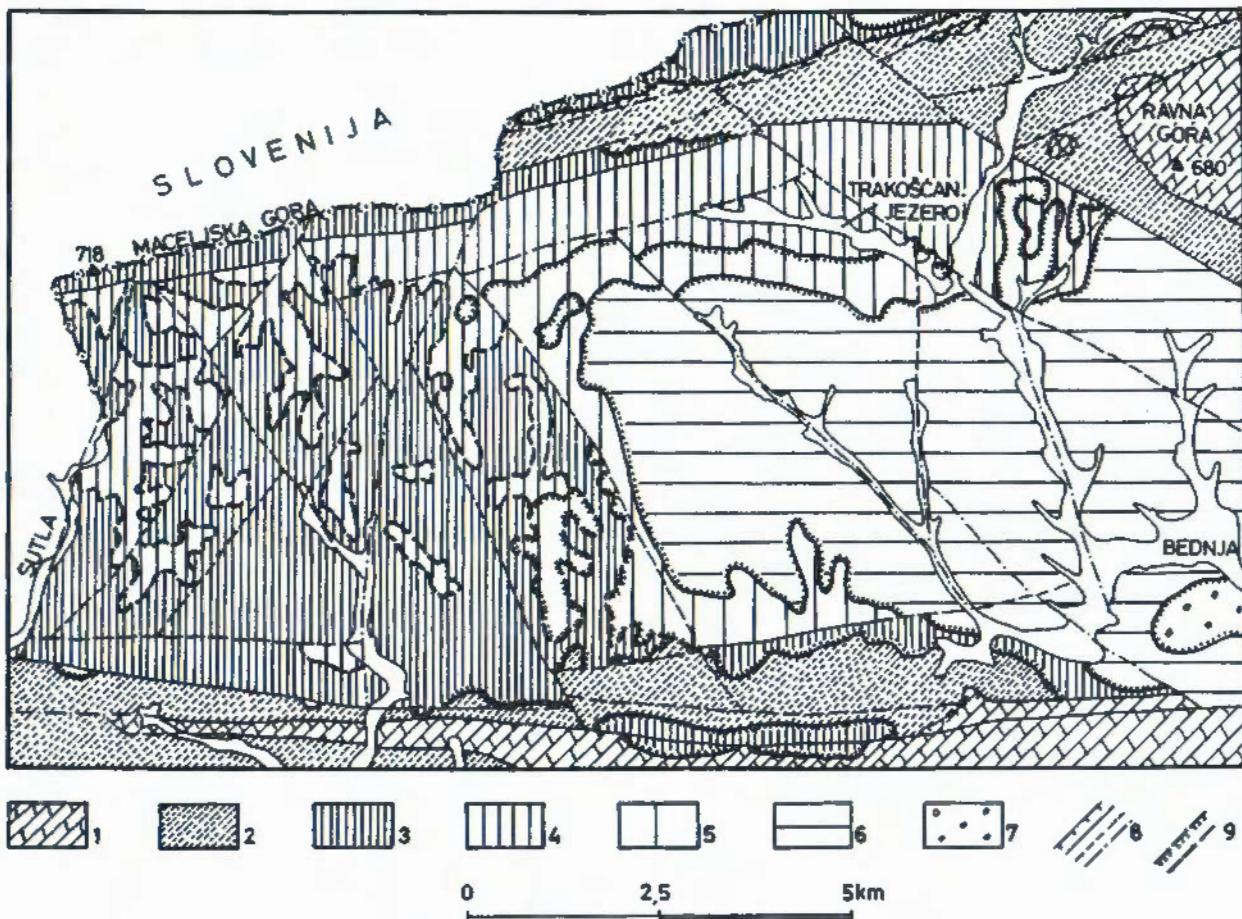
Sedimenti Macelj formacije razlikuju se od ostalih neogenskih naslaga po litološkom sastavu, boji, čvrstoći, a naročito po sadržaju čestica vulanskog porijekla. Valja napomenuti da oni izdanjuju samo u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske i u istočnoj Sloveniji, a može se pretpostaviti da ih ima i na području Medimurja. Naslage sličnog petrografskeg sastava i približno iste starosti poznate su još samo u sjevenoj Mađarskoj (HAMOR, 1985). Lokalno razviće ovih klastita može se objasniti vukanizmom andezitno-dacitnog tipa koji je krajem egera zahvatio područje Hrvatskog zagorja i istočne Slovenije. Usljed tektonskih pokreta došlo je do stvaranja nekoliko rasjednih zona duž kojih su se probili vulkaniti. Danas su poznate tri zone od kojih se dvije važnije sastaju kod Rogaške Slatine (ŠIMUNIĆ & PAMIĆ, 1994). Južna zona proteže se od Rogaške Slatine preko Huma na Sutli, Lepoglave, Varaždinskih Toplica do Slanja. Na njoj je registrirano 12 površinskih pojava andezita, a osim toga andeziti su još nabušeni kod Varaždinskih Toplica i Slanja. U geološkoj literaturi ova je zona poznata kao "linija pršinaca i andezita" (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER, 1904a), ili kao "Zona ožiljaka" (KÖBER, 1952) i dr. Ona se prema zapadu nastavlja u Smrekovečki rasjed (MIOČ, 1978) koji je smatran istočnim nastavkom Periadriatskog linamenta. Od Rogaške Slatine odvaja se, prema sjeveroistoku, druga rasjedna zona koju je KOSMAT (1913) nazvao Donački rasjed. Ona se proteže preko Vinice u Medimurje, gdje su također nabušeni egerski adeziti (PAMIĆ, 1992). Osim navedenih, postoji još jedna kraća rasjedna zona koja se nalazi na jugozapadnim padinama Ravne gore. Na njoj je zapaženo nekoliko manjih pojava andezita i velike količine tufova. Ove rasjedne zone danas označuju rasprostiranje sedimenata Macelj formacije.

Prema terenskim zapažanjima čini se da je prvi vulkanizam započeo još u vrijeme taloženja egarskih lapor. To potvrđuje izmjena lapor i tufa koja je registrirana na nekoliko mjesta u istraživanom području (AVANIĆ et al., 1990). Nakon toga došlo je do nekoliko jačih erupcija koje su izbacile velike količine vulanskog materijala. Tom prilikom na površinu su izbile manje količine andezita i dacita te velike količine tufova. Ova vulanska aktivnost prethodila je tektonskim pokretima koji su borali i izdigli čitavo područje. Kopnena faza bila je kratkotrajna, jer je već početkom egenburga došlo do nove marinske transgresije. Ona je naišla na veoma izražen reljef u kojem su najveća uzvišenja bile vulanske kupe. Njihovom erozijom i denudacijom nastale su velike količine klastičnog materijala koji je bio transportiran u novi sedimentacijski

prostor. Manji dio klastičnog materijala donešen je riječnim tokovima iz udaljenih područja koja su bila izgradena iz metamorfnih, sedimentnih i kiselih erupтивnih stijena. Na donos rijkama ukazuju i veće količine specifično težih minerala, kao što su granat, ilmenit i magnetit. Ovaj detritični materijal vjerojatno potječe iz Alpa jer drugi metamorfno-eruptivni kompleksi nisu bili izdignuti za vrijeme donjeg miocena. U baznom dijelu Macelj formacije mjestimično je dolazilo do nagomilavanja velikih količina krupnoklastičnog materijala vulanskog porijekla, u čemu je velikog udjela imala riječna akumulacija. Tako je primjerice kod sela Drenovec (na južnim padinama Ravne gore) nagomilana velika količina andezitnih valutica koje predstavljaju akumulacije terigenog materijala vjerojatno u deltnom okolišu. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1902) je mislio da ove valutice prestavljaju vulanske bombe, dok je KIŠPATIĆ (1909) zaključio da se radi o oblicima andezita. U drugim dijelovima terena bazni konglomerati i breče nemaju veliku debljinu, lateralno brzo iskljinjavaju te na litostratigrafskoj karti M 1:50.000 nisu mogli biti posebno izdvojeni. Ponekad se na granici egarskih klastita i Macelj formacije nalaze limonitne prevlake, što ukazuje na duži prekid sedimentacije. Daljnje taloženje klastita Macelj formacije odvijalo se u plitkoj, ali dosta užburkanoj vodenoj sredini. Najveći dio naslaga odložen je na tzv. potopljenom žalu odnosno obalnom licu (Vučji Jarek član), a zatim su stvoreni relativno dublji uvjeti prijelazne obalne zone (između obalnog lica i šelfa) u kojem su taloženi sedimenti Čemernice člana. Pred kraj egenburga ponovno su izmijenjeni uvjeti sedimentacije te je povećana akumulacija terigenog materijala vjerojatno u deltnom okolišu u kojem je i taložen član Lipni Vrh. Krajem egenburga područje je bilo zahvaćeno novim tektonskim pokretima koji su prekinuli taloženje sedimenata Macelj formacije.

LITOSTRATIGRAFSKA RAŠČLAMBA MACELJ FORMACIJE

Na početku istraživanja u klastitima Macelj formacije nije naden univerzalni geološki stup kojim bi se dobio pregled kroz sve naslage, te se moralo pristupiti snimanju većeg broja otkrivenih izdanaka. Najviše malih stupova (10-20 m debljine) snimljeno je u zasjecima ceste Đurmanec-Macelj-Podlehnik koja je okomita na pružanje naslaga. Osim toga značajni stupovi snimljeni su u Vučjem jarku, dolini potoka Čemernice te u zasjecima cesta i puteva kod Drenovca, Zagorske Koprivnice i Lipnog vrha (ŠIMUNIĆ et al., 1990). Prilikom snimanja navedenih geoloških stupova pokazalo se da se donjomiocenski klastiti međusobno razlikuju po granulometrijskom i mineralnom sastavu, a naročito po sedimentnim teksturama. Geološkim kartiranjem ustanovljeno je da se ipak može izvršiti zoniranje naslaga, jer se isti tipovi stijena najčešće pojavljuju u istim nivoima.



Sl. 1 Geoščika karta sjeverozapadnog dijela Hrvatskog zagorja. Legenda: 1) Trijas - dolomiti i vapnenci; 2) Eger - šljunci, pijesci, lapori i gline; 3) Vučji Jarek čl. (Macelj form.- egenburg) - konglomerati i glaukonitni pješčenjaci; 4) Čemernica čl. (Macelj form.- egenburg) - pješčenjaci, siltiti i lapori; 5) Lipni Vrh čl. (Macelj form.- egenburg) - konglomerati, konglomerati-pješčenjaci i pješčenjaci; 6) Otnang - konglomerati, pješčenjaci, lapori i gline; 7) Karpat-baden - šljunci, pijesci, breče, vapnenci i lapori; 8) Rasjed - reversni, normalan, - pokriven, - fotografološki utvrđen; 9) Geološka granica - transgresivna, - pokrivena.

Za najstariji nivo (Vučji Jarek član) karakteristično je da ima odlično izraženu kosu planarnu i kosu koritnu slojevitost. Na snimljenim geološkim profilima mogu se izdvojiti setovi srednjezrnatih i krupnozrnatih pješčenjaka, međusobno odvojenih slojevima sitnozrnatih pješčenjaka koji ponekad sadrže mm lamine pelita. Za slojeve sitnozrnatih pješčenjaka karakteristične su pojave valovite laminacije. Ostale teksturne karakteristike ovih naslaga su: planarna kosa laminacija, kosa koritna laminacija, valovita laminacija, imbrikacije, ihnofosili, bioturbacije te pojave "clay chipsa" i intraklasta. Sedimenti ovog člana vezani su na obale visokoenegetskog sistema i to na obalno lice. Na pojedinim izdancima zapaženo je da količina valutica raste prema baznom dijelu nasлага, gdje se ponekad pojavljuje nekoliko slojeva konglomerata. Kao kuriozitet valja spomenuti konglomerate kod Drenovca, koji se sastoje isključivo od valutica andezita, čija debljina prelazi 40 m. Oni predstavljaju značajnu akumulaciju terigenog materijala vjerojatno u deltnom okolišu. Konglomerati kod Zagorske Koprivnice dvojakog su podrijetla. Donji dio predstavlja vjerojatno deltu, a gornji dio je taložen u obalnom licu (ŠIMUNIĆ et al., 1990).

Litološki sastav pješčenjaka ovog člana veoma je interesantan. Njega u prvom redu karakterizira prisutnost izrazito zelenih čestica glaukonita, čija količina varira od sloja do sloja. U ostalim članovima Macelj formacije (Čemernici i Lipnom Vrhu) količina glaukonita postupno opada ili je koncentrirana u pojedinih laminama. Prema sastavu detritusa, karakteru veziva i količini glaukonita, pješčenjaci su određeni kao glaukonitni litični areniti-grauvake ili glaukonitne grauvake. Valja naglasiti da pješčenjaci uz ostale zaobljene ili poluzaobljene sastojke sadrže i posve uglate piroklastične čestice, što ukazuje na istovremeni vulkanizam. To potvrđuje i povremena pojava vulanskog stakla u vezivu pješčenjaka. Najčešći fosilni ostaci u ovim naslagama su ljušturi pektenida koje se veoma rijetko pojavljuju u lumakelama. Odredene su vrste *Chlamys northamptoni* var. *oblita* MICHELOTTI, *Pecten* sp. i *Gastrena fragilis* var. *gracilis* SHAFFER.

Sedimenti člana Vučji Jarek prekrivaju najveće površine na istraživanom području. Izmjerena debljina nasлага na geološkom stupu Vučji jarek iznosi 138 m, ali tu nije dokučena baza niti krovina člana. Prema geološkoj karti i sintetskom geološkom stupu može se

pretpostaviti da debljina člana Vučji Jarek iznosi oko 200 m.

Čemernica član sastoji se od glinovitih i siltnih pješčenjaka te siltova i laporanog. Od teksturnih elemenata u njemu su česte bioturbacije, "clay chips" i pojave ihnofosila, a karakteristična je kosa i paralelna laminacija. Za razliku od sedimentnih tekstura u prethodnom članu, u ovom se članu slojevitost jedva nazire. Na pojedinim izdancima debljina slojeva siltoznih pješčenjaka iznosi više od 6 m. Dolaze isti tipovi pješčenjaka kao i u prethodnom članu, ali sa znatno smanjenim količinama glaukonita. Zbog toga se izmijenila boja ovih klastita, te nije više tamnozelena već žutozelenska i sivožuta. Glaukonit je obično koncentriran u pojedinim laminama. Čestice stijena u pješčenjaku čine piroklastični kvarc i feldspat te kloritizirani biotit, vulkansko staklo, fragmenti tufova i efuziva. Vulkansko staklo ne dolazi u vezivu pješčenjaka, što bi moglo značiti da je vulkanska aktivnost prestala. Karbonatna komponenta je znatno povećana u odnosu na prethodni član. To potvrđuje pojava laporanog koji su jedini nosioci mikroflosila. Određene vrste: *Spiroplectammina carinata* (D'ORBIGNY), *Cibicidoides buday* CICHA & ZAPLETALOVA i *Elphidium flexuosum subtropicum* PAPP pokazuju da su ovi klastiti taloženi tijekom egenburga.

Sedimenti Čemernica člana nastali su ispod baze valova lijepog vremena, odnosno u prijelaznoj zoni između obalnog lica i šelfa. Iz geološke karte (sl. 1) vidljivo je da su oni danas smješteni u središnjem dijelu sinklinale, što se u potpunosti slaže s pretpostavkom o njihovom postanku. Na temelju geoloških stupova i geološke karte može se zaključiti da im debljina ne prelazi 100 m.

Lipni Vrh član predstavljen je pretežito petromiktnim konglomeratima i konglomeratičnim pješčenjacima. Uz njih u manjoj mjeri dolaze sitnozrnnati, tinjčasti litični areniti i sublitični areniti s malo glaukonita te litični areniti s više ili manje glaukonita. U tim naslagama izvrsno je izražena kosa planarna i kosa koritasta slojevitost, te laminacija i bioturbacija. Krupnoklastični sedimenti izgradeni su od izrazito zaobljenih valutica rožnjaka, kvarca, kvarcita, silificiranog tufa, feldspata i fosila, a vezivo je litični pješčenjak. Pješčenjaci imaju isti sastav litičnih čestica, ali razmjerno malo glaukonita. Prevladava kemijski cement, i to dolomitni, limonitni, sideritni i kvarcni uz vrlo malo matriksa. Postanak ovog najmladeg dijela Macelj formacije može se vezati uz priobalje s mjestimičnom značajnom akumulacijom terigenog materijala vjerojatno u okolišu delte.

U ovim klastičnim sedimentima nisu nađeni provodni fosili, pa je njihova stratigrafska pripadnost pretpostavljena na temelju superpozicijskih odnosa. Prema odnosima na geološkoj karti može se zaključiti da im debljina ne prelazi 100 m.

ZAKLJUČAK

Geološkim istraživanjima u zapadnom dijelu Hrvatskog zagorja utvrđeno je da donjomiocenski klastiti predstavljaju jedinstvenu lithostratigrafsku cijelinu koja je preliminarno nazvana Macelj formacijom. Na temelju litoloških i teksturnih karakteristika podijeljena je na tri člana: Vučji Jarek, Čemernica i Lipni Vrh. Nazivni članova uzeti su prema lokacijama snimljenih geoloških stupova. Geološkim kartiranjem utvrđeno je da raspored lithostratigrafskih članova na terenu ukazuje na prostranu sinklinalu koja je sa sjeverne i južne strane omedena antiklinalnim prodorima, a s istoka transgresivno naliježu sedimenti otnanga i badena. Time je lithostratigrafska karta dala potpuno novu sliku zapadnog dijela Hrvatskog zagorja koja do sada nije prikazana ni na jednoj geološkoj karti.

LITERATURA

- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. (1985): Osnovna geološka karta, list Rogatec, M 1:100.000, L 33-68.- Geol. zavod Ljubljana i Institut za geol. istr. Zagreb, Savezni geol. zavod Beograd, 76 str., Beograd.
- AVANIĆ, R., ŠIMUNIĆ, An., ŠIMUNIĆ, Al. & ŠIKIĆ, L. (1990): Klastiti egere ("Socka" slojevi) u Hrvatskom zagorju.- Zbornik radova XIII. kongresa geologa Jugosl., 1, 206-219, Ohrid.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER D. (1902): Geografska karte kraljevine Hrvatske i Slavonije. Vinica, M 1:75.000, Zona 20, Col. XIV.- Izdanje Kralj. zemalj. vlad, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER D. (1904a): Geografska prijegledna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Rogatec-Kozje, M 1:75.000, Zona 21, Col.XII.- Naklada Kralj. zemalj. vlade, Zagreb.
- GORJANOVIĆ-KRAMBERGER D. (1904b): Geografska prijegledna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Krapina i Zlatar, M 1:75.000, Zona 21, Col.XIV.- Naklada Kralj. zemalj. vlade, Zagreb.
- KIŠPATIĆ, M. (1909): Mladje eruptivno kamenje u sjeverozapadnom dijelu Hrvatske.- Rad JAZU, 177, 97-154, Zagreb.
- KOBER, L. (1952): Leitlinien der Tektonik Jugoslawiens.- Posebno izdanje SAZU, I89/3, I-81, Beograd.
- KOSSMAT, F. (1913): Die adriatische Umrandung in der Alpinen Falten region.- Mitt. geol. ges., 6, 61-165, Wien.
- MIOĆ, P. (1978): Tumač za Osnovnu geološku kartu 1:100.000, list Slovenj Gradec.- Geol. zavod Ljubljana, Savezni geol. zavod Beograd, I87str., Beograd.
- PAMIĆ, J. (1992): Trijaske i tercijарne vulkanske i piroklastične stijene iz Murske depresije u Hrvatskoj.- Nafta, 43/6, 295-304, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, Al., AVANIĆ, R. & ŠIMUNIĆ, An. (1990): "Maceljski pješčenjaci" i vulkanizam zapadnog dijela Hrvatskog zagorja.- Rad JAZU, 449, I79-I94, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, An. & PAMIĆ, J. (1993): Geology and petrology of Egerian-Eggenburgian andesites from the easternmost part of the Periadriatic zone in Hrvatsko Zagorje (Croatia).- Acta Geologica Hungarica Vol. 36/3, 315-330, Budapest.

Potencijalnost rudonosnih geoloških formacija Republike Hrvatske

Boris ŠINKOVEC¹ & Eugen KRKALO²

Ključne riječi: rudonosne geološke formacije, hercinske, alpske, Hrvatska

Key words: Ore-bearing geologic formations, Hercinian, Alpine, Croatia

Sažetak

U radu se po prvi puta na temelju geoloških megaciklusa daje formacijski prikaz mineralogenetske regionalizacije u Republici Hrvatskoj. U razmatranju rudonosnih geoloških formacija obuhvaćena su ležišta metala, nemetala i čvrstih energetskih sirovina. Glavne skupine rudonosnih geoloških formacija, kao što su kaledonsko-hercinske, hercinske i alpinske formacije, raščlanjene su u niz karakterističnih rudonosnih podformacija, kod čega su korišteni genetski, geotektonski, kronostratigrafski i formacijski elementi.

Izdvajanjem formacija i njihovih asocijacija analizom litološko-stratigrafskog razvoja pojedinih područja Hrvatske s geopovijesnog, petrogenetskog, metalogenetskog, sedimentološkog, paleogeografskog i geotektonskog stajališta, dobivena je i potencijalnost pojedinih rudonosnih geoloških formacija.

Abstract

In the frame of investigations for Metallogenic map of the Republic of Croatia formation-metallogenic analysis has been performed and, accordingly, geologic formations outlined. On the basis of geologic megacycles, Caledonian-Hercinian, Hercinian, Paleoalpine, Mesoalpine, Neoalpine and Quaternary geologic formations have been recognised. Age, lithologic compositions and ore-bearing potential of selected formations are graphically displayed.

U okviru rada na Karti mineralnih sirovina Republike Hrvatske izradena je formaciono-metalogenetska analiza s izdvajanjem geoloških formacija. Analizom litološko-stratigrafskog razvoja područja Hrvatske s geopovijesnog, petrogenetskog, paleogeografskog i geotektonskog stajališta u koji su uključeni i genetski, a time i kompleksni kriteriji formacijske analize, izvršena je mineralogenetska regionalizacija.

Na temelju geoloških megaciklusa geološke formacije svrstane su u kaledonsko-hercinske, hercinske, paleoalpske, mezoalpske, neoalpske i kvartarne geološke formacije.

1. KALEDONSKO-HERCINSKE GEOLOŠKE FORMACIJE (CH)

1.1. METAMORFNE FORMACIJE PRETEŽNO AMFIBOLITNOG FACIJESA (CH₁)

Petrografska sastav ovih formacija vrlo je raznolik. Prevladavaju paragnasti i tinjevi škriljavci, zatim amfiboliti i amfibolitni škriljavci, grafitni škriljavci i metapješčenjaci, dok su metagabri, mramori, serpentini i peridotiti podređeni. Stupanj metamorfizma ovih stijena

nije jednolik i najčešće je od kloritnog do epidot-amfibolitnog facijesa. Slabije metamorfozirane naslage sastoje se od filita, zelenih škriljavaca i kvarc-muskovitskih škriljavaca. Metamorfizam je bio višefazan, radi čega su česte pojave retrogradnog metamorfizma.

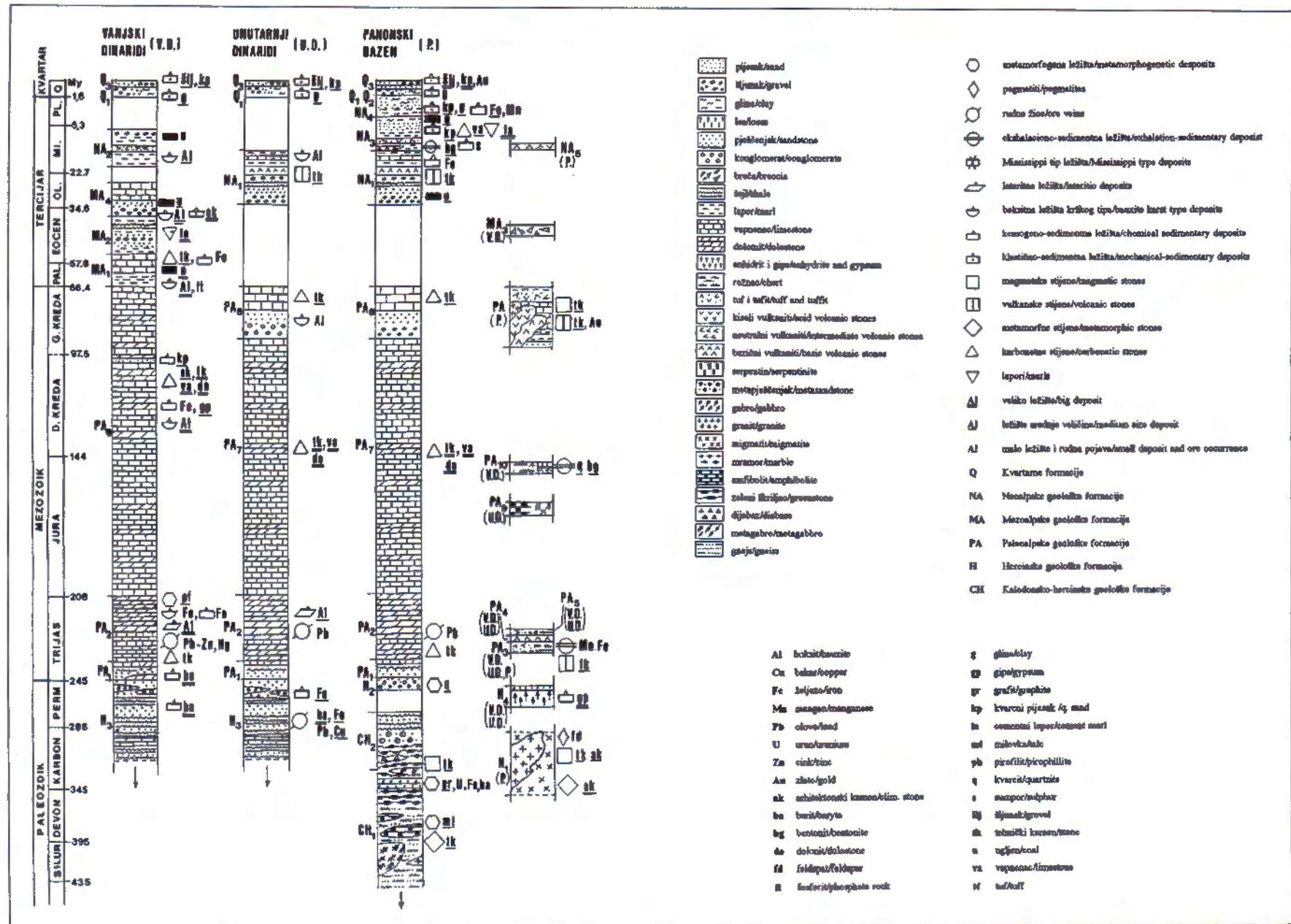
Ove formacije su razvijene na Medvednici i Slavonskom gorju i okolnoj podlozi Panonskog bazena. U njima se nalaze metamorfozirana ležišta i rudne pojave grafit-a, talka, željeza, barita i urana, kao i ležišta tehničkog i arhitektonskog kamena.

1.2. ASOCIJACIJA NISKOMETAMORFOZIRANIH MORSKIH I NEMETAMORFOZIRANIH TERIGENIH I VULKANOGENIH FORMACIJA (CH₂)

Stijene ove formacije izgraduju središnje dijelove Psunja i Papuka, a izdvojene su kao tzv. radlovački kompleksi. Sastoje se pretežno od slejtova i škriljavih metapješčnjaka, a podređeni su filiti, kvarciti i škriljavi metakonglomerati. U nižim i središnjim dijelovima pojavljuju se silovi spilitiziranih dijabaza i ofitnih metagabra. U ovoj formaciji nalaze se ležišta tehničkog kamena.

¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, 10000 Zagreb, Hrvatska.

²Institut za geološka istraživanja, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.



Sl. 1 Geološki stupovi rudonosnih formacija Republike Hrvatske.
 Fig. 1 Geological columns showing resource potential of ore-bearing geological formations in the Republic of Croatia.

2. HERCINSKE GEOLOŠKE FORMACIJE (H)

2.1. GRANITNO-MIGMATITNA FORMACIJA (H₁)

Na zapadnim i središnjim dijelovima Papuka i zapadnom Psunjju, metamorfna formacija CH₁ probijena je većim masama granita. Na području Papuka, s granitima migmatiti sačinjavaju jedinstvenu geološko-petrološku asocijaciju. Na Papuku na kontaktu granita s vapnencima nastali su skarnovi, a unutar migmatita i granita nalaze se pegmatiti s feldspatima. Graniti i migmatiti su pogodni kao tehnički i arhitektonski kamen.

2.2. MORSKA TERIGENA FORMACIJA (H₂)

Ova formacija, za koju se smatra da je permotrijaske starosti, transgresivno prekriva starije stijene slavonskih planina, čije područje je sredinom perma bilo izdignuto i podvrgnuto eroziji. Litološki sastav ove formacije je raznolik, jer je petrografska grada područja koje je dalo materijal za novoformirane sedimente bila različita. Tako se u ovoj formaciji mogu izdvojiti filitni konglomerati, konglomerati, kvarciti i kvarcni pješčenjaci. U ovoj formaciji nalaze se brojna ležišta kvarcita.

2.3. MORSKA TERIGENO-KARBONATNA FORMACIJA (H₃)

Članovi ove formacije zauzimaju manje površine u Lici, Gorskem kotaru, Baniji, Kordunu, Samoborskom gorju i Medvednici. U formaciji prevladavaju šejli, siltiti i pješčenjaci, dok su konglomerati i karbonatne stijene podredene.

U Lici stijene ove formacije su karbonske i permske starosti. U nižim dijelovima serije prevladavaju šejli u kojima su dvije dolomitno-vapnenačke zone, a u gornjem dijelu su pješčenjaci i konglomerati. U Gorskem kotaru prevladavaju permski, a tek manjim dijelom karbonski sedimenti. To su pretežno klastični sedimenti gdje u nižim dijelovima prevladavaju šejli, a u višim pješčenjaci i konglomerati. U Baniji i Kordunu također prevladavaju klastični sedimenti, a samo u Trgovskoj gori, u gornjem dijelu serije su karbonatne stijene, pretežno vapnenci. Starost naslaga pretežno je karbonska i permska, ali su utvrđeni i stariji sedimenti. Slične stijene nalaze se u Samoborskoj gori i Medvednici.

Ova formacija bogato je orudnjena s ležištima različitih genetskih tipova. U Lici se kod Ričica nalaze velika ležišta barita sedimentnog porijekla, u Rudama ležišta željezne rude ekshalaciono-sedimentnog tipa, u Bukovici ležišta željezne rude sedimentnog tipa, a u Rudama, Trgovskoj i Petrovoj gori veliki broj hidrotermalnih ležišta i pojave željeza, bakra, olova i barita.

2.4. EVAPORITNA FORMACIJA (H₄)

Evaporitna formacija pretežno se nalazi duž jakih tektonskih linija u Lici i unutarnjem dijelu Dalmacije (Srb, Knin, Sinj), te zapadno od Samobora. Na pod-

ručju Like i Dalmacije prevladavaju anhidriti koji su u pripovršinskom dijelu prešli u gips. Mjestimično se u anhidritu nalaze slojevi i leće dolomita. Na anhidritu su pješčenjaci permske starosti. Kontakti stijena ove formacije s drugim formacijama pretežno su tektonski.

U ovoj formaciji nalaze se velika ležišta gipsa.

3. PALEOALPSKE GEOLOŠKE FORMACIJE (PA)

3.1. MORSKA TERIGENO-KARBONATNA FORMACIJA (PA₁)

Stijene ove formacije veoma su rasprostranjene, posebno na obodima paleozojskih područja. Često su produkti ove formacije transgresivni na gomjopaleozojske sedimente, ali je ponegdje prijelaz kontinuiran. Debljina formacije je mala, a donjotrijaske je starosti.

Formaciju izgraduju različiti litološki članovi kao tinčasti siliti, pješčenjaci, šejli, lapori, dolomiti i vapnenci. U donjem dijelu formacije prevladavaju klastični, a u gornjem dijelu karbonatni sedimenti.

U Gorskem kotaru se u bazalnom dijelu formacije nalaze dolomiti za koje su vezana značajna ležišta bari- ta.

3.2. ASOCIJACIJA TRIJASKIH KARBONATNIH MORSKIH FORMACIJA (PA₂)

To je najrasprostranjenija trijaska formacija. Kao i ostale karbonatne formacije naročito je rasprostranjena u Vanjskim Dinardima, gdje u srednjem trijasu prevladavaju plitkovodni vapnenci, dok su dolomiti podređeni. U gornjem trijasu, nakon emerzije prevladavaju dolomiti. U Unutarnjim Dinardima, kao i u Panonskom bazenu, dolomiti prevladavaju u srednjem trijasu i često kontinuirano slijede u gornji trijas.

Za ovu formaciju vezana su različita ležišta od kojih su neka i velikih dimenzija kao npr. lička ležišta glinovitog boksita. Nadalje, nalazimo krška i sedimentna ležišta željezne rude, hidrotermalne pojave žive i olova, ležišta cinka i olova Mississippi tipa i metamorfna ležišta pirofilita.

3.3. MORSKA VULKANOGENO-SEDIMENTNA FORMACIJA (PA₃)

Stijene ove formacije raznolikog su litološkog sastava. Od sedimentnih stijena, koje prevladavaju, nalaze se lapori, pješčenjaci, konglomerati, šejlovi i rožnjaci. Vulkanogeni članovi su spilitizirani dijabazi i tufovi (pietra verde). Članovi ove formacije srednjotrijaske su starosti, a nalaze se unutar karbonatne formacije kao zone ograničenog pružanja i debljine do sto metara. U ovoj formaciji nalaze se ekshalativno-sedimentne pojave mangana i željeza, a vulkanske stijene pogodne su za tehnički kamen.

3.4. EFUZIVNA NEUTRALNO-BAZIČNA MAGMATSKA FORMACIJA (PA₄)

Magmatske stijene ove formacije nalaze se kao manje mase uz trijaske sedimentne stijene. U većini slučajeva stijene su spilitizirane. U ovoj formaciji nema rudnih ležišta.

3.5. MORSKA VULKANOGENO-TERIGENA FORMACIJA (PA₅)

Tvorevine ove formacije nalaze se u bazi gornjotriaskih dolomita, a pretežno je razvijena na mjestima negativnih formi reljefa srednjotriaskog paleokopna na koji je transgrediralo gornjotriasko more. Stoga prisustvo ove formacije ukazuje na mogućnost postojanja gornjotriaskih boksita koji su također nastali u udubljenjima paleoreljefa.

Formaciju izgraduju šareni, pretežno crveni i ljubičasti pješčenjaci, šejli i, mjestimično, tufiti, a u gornjem dijelu su crveni konglomerati. Debljina, a mjestimično i protezanje ove serije je malo. Formacija je bez rudnih ležišta.

3.6. MORSKA KARBONATNA FORMACIJA VANJSKIH DINARIDA (PA₆)

Po prostoru kojega zauzima i vremenskom rasponu, ovo je najznačajnija formacija Vanjskih Dinarida. Sedimenti ove formacije nastali su pretežno u uvjetima plitke platforme od lijasa do kraja krede. Prevladavaju različiti vapnenci, dok su dolomiti rijedi. Debljina formacije je znatna.

U formaciji se nalaze ležišta kvarcnog pijeska, glinovitog boksita, male pojave sedimentne željezne rude i mnogobrojna ležišta arhitektonskog i tehničkog karbonatnog kamenja.

3.7. MORSKA KARBONATNA FORMACIJA UNUTARNJIH DINARIDA I PANONSKOG BAZENA (PA₇)

Prostranstvo ove formacije znatno je manje od odgovarajuće prethodne formacije Vanjskih Dinarida. To su također plitkovodni vapnenci, rjeđe dolomiti čija je starost od donje jure, a gornja granica nije ista na cijelom prostoru i kreće se od gornjeg dijela donje krede do donjeg senona. Ta granica je na nekim područjima određena regresijom, koja, međutim nije obuhvatila cijelo područje Unutarnjih Dinarida.

Od korisnih sirovina nalaze se ležišta tehničkog kamena karbonatnih stijena.

3.8. MORSKA TERIGENO-KARBONATNA FORMACIJA UNUTARNJIH DINARIDA (PA₈)

Sedimenti ove formacije nastavljaju se i na karbonatima prethodno opisane formacije bilo kontinuirano ili, češće, nakon transgresije. Pripadaju senonu, a predstavljeni su brečama, konglomeratima, pješčenjacima,

laporima i vapnencima. Stijene ove formacije su krovina rijetkim i malim ležištima boksita.

3.9. PERIDOTIT-SERPENTINSKE FORMACIJE (PA₉)

Stijene ove formacije predstavljene su serpentinitima uz koje se nalaze i različite metamorfne stijene. Ova formacija je krajnji SZ dio velike ofiolitne zone koja se proteže od Makedonije, Srbije i Bosne do Hrvatske, gdje se u Baniji pojavljuje kao manje mase. Serpentini su jurske starosti. Formacija je ekonomski sterilna.

3.10. MORSKA VULKANOGENO-SEDIMENTNA FORMACIJA (PA₁₀)

Ova formacija razvijena je u Vanjskim Dinaridima i nalazi se unutar karbonatnih jurskih sedimenata i manjeg je prostranstva. Malmske je starosti. Izgrađuju je rožnaci i tufovi, čiji su slojevi debeli do nekoliko desetaka metara (lemeške naslage) i mjestimično se izmjenjuju s karbonatnim slojevima. U ovoj formaciji nalaze se ležišta kvarcita i bentonita.

3.11. MAGMATSKO-VULKANOGENO-SEDIMENTNA FORMACIJA (PA₁₁)

Formacija je razvijena u Unutarnjim Dinaridima i Panonskom bazenu. To su flišovite naslage s izmjenom laporanog, pješčenjaka i šejla, a mjestimično i vapnenaca u kojima se nalaze manje mase magmatskih stijena (gabro, dijabaza, bazalta, riolita, spilita i manji proboji granita) i tufova. Starost formacije je gornjokredna. U ovoj formaciji su izdvojena ležišta tehničkog kamenja, a ima i pojava zlata u tragovima.

4. MEZOALPSKE GEOLOŠKE FORMACIJE (MA)

4.1. ASOCIJACIJA KARBONATNIH BRAKIČNIH I MORSKIH FORMACIJA (MA₁)

Donji dio ove formacije predstavljen je liburnijskim naslagama paleocenske i eocenske starosti i transgresivnim je na krednu podlogu, a često zapunjava udubljenja u krednom paleoreljefu. Prevladavaju laporci i laporoviti vapnenci. Produbljavanjem mora nastavljeno je taloženje morske karbonatne formacije na znatno većem prostoru. Naslage su predstavljene alveolinskim i numulitnim vapnencima donjo i srednjoeocenske starosti.

Ova formacija krovina je značajnih ležišta boksita koja se proteže od Istre do Imotskog. U liburnijskim naslagama su ležišta ugljena šireg područja Raše, a pojedini slojevi ugljena su uranonošni. Uz boksite rijetko se nalaze pojave fosforita i željezne rude.

4.2. FLIŠNA FORMACIJA (MA₂)

Flišna formacija razvijena je u Vanjskim Dinaridima i nastala je u uvjetima daljnog produbljavanja

mora. Starost formacije je srednjo i gornjoeocenska, a litološki sastav raznolik: konglomerati, breče, kalklitični areniti, kalklititni pješčenjaci, siltiti, šejli i lapor. Za ovu formaciju vezana su velika ležišta cementnih lapor.

4.3. FORMACIJA KONTINENTALNIH BREČA (MA₃)

Ovoj formaciji pripadaju Jelar naslage koje su rasprostranjene u Vanjskim Dinaridima, a pretežno su srednjeoceanske starosti. S ekonomskog stajališta formacija je sterilna.

4.4. TERIGENO-KARBONATNA BRAKIČNA I MORSKA FORMACIJA (MA₄)

Ova formacija ima veliko prostranstvo u Vanjskim Dinaridima. Gornjoeocenske i oligocenske je starosti, a prevladavaju konglomerati, lapor i vapnenci. Ovoj formaciji pripadaju Prominske naslage, koje pretežno transgresivno i s izrazito kutnom diskordancijom leže preko krednih i donjopaleogenskih sedimenata.

Formacija MA₄ krovina je gornjopaleogenskim ležištema boksita koji se protežu od Obrovca do Imotskog, a u njoj se nalaze ležišta ugljena Bukovice i Drniša i ležišta arhitektonskog i tehničkog kamena.

5. NEOALPSKE GEOLOŠKE FORMACIJE (NA)

5.1. JEZERSKA VULKANOGENO-TERIGENA UGLJENONOSNA FORMACIJA UNUTARNJIH DINARIDA I PANONSKOG BAZENA (NA₁)

Ovoj formaciji pripadaju sedimenti oligocena i donjeg do srednjeg miocena. Predstavljeni su konglomeratima, pješčenjacima i pelitnim sedimentima koji međusobno alteriraju. Sedimentacija koja se odvijala pretežno u slatkovodnoj sredini praćena je ekstruzivnim vulkanizmom uglavnom andezito-bazaltnog karaktera s formiranjem nekova magmatita i njihovih slojevitih piroklastičnih derivata.

U ovoj formaciji nalaze se oligomiocenska ležišta ugljena Hrvatskog Zagorja i Slavonije i male pojave glinovitog boksita i željezne rude.

5.2. JEZERSKA VULKANOGENO-TERIGENA UGLJENONOSNA FORMACIJA VANJSKIH DINARIDA (NA₂)

Ova formacija pretežno je razvijena na području kontinentalnog dijela središnje Dalmacije, a nastala je zapunjavanjem većih izoliranih bazena jezerskim sedimentima. To su pretežno lapor, a u gornjem dijelu formacije konglomerati. U laporima su interkalacije tufova. Kao najstariji član formacije mjestimično se nalaze u udubljenjima paleoreljefa glinoviti boksiti. Na područjima gdje su povremeno vladali močvarni uvjeti nastala su ležišta ugljena. Starost formacije je miocenska.

5.3. VULKANOGENO-TERIGENO-KARBONATNA BRAKIČNO-MARINSKA FORMACIJA (NA₃)

Starost naslaga ove formacije je od badena do donjeg ponta, a razvijena je u Panonskom bazenu. Naslage su predstavljene pretežno karbonatnim i laporovitim stijenama, manje klastitima. U donjem badenu zapažaju se pojave piroklastičnog materijala koji izgrađuje pojedine slojeve unutar lapor. Sedimentacija je u početku tipična marinska s naglašenim transgresivnim karakterom, dok prema mladim sedimentima poprima lagunarni plitkovodni brakični karakter. Marinsko-brakična formacija oplićavanjem postupno prelazi u kontinentalnu formaciju.

U ovoj formaciji nalaze se značajna ležišta bentonita, kvarcnog pijeska i lapor, te ležišta gline, ugljena i sumpora.

5.4. ASOCIJACIJA TERIGENIH UGLJENONOSNIH JEZERSKIH FORMACIJA (NA₄)

Formacija obuhvaća sedimente gornjeg miocena (gornji pont) i pliocena, kada nakon regresije nastaju kontinentalni uvjeti, te se formiraju jezerski i fluvijatilni klastični ili jezerski laporoviti sedimenti. U klastičnom razvoju dominantni litološki član su kvarcni pijesci, dok su u manjoj mjeri zastupljeni šljunci i gline. U pojedinim fazama sedimentacija poprima močvarni karakter te se formiraju slojevi ugljena.

Za ovu formaciju vezana su ležišta ugljena Hrvatskog Zagorja, Slavonije i Korduna, ležišta glina, kvarcnog pijeska, željeza i mangana.

5.5. TERCIJARNA NEUTRALNO-BAZIČNA VULKANSKA FORMACIJA (NA₅)

Formacija je predstavljena manjim masama vulkanskih stijena, praćenih tufovima. Za dio vulkanskih stijena Ivanščice utvrđeno je da su badenske starosti. Formacija je sterilna.

6. KVARTARNE FORMACIJE (Q)

6.1. ASOCIJACIJA KONTINENTALNIH FORMACIJA (Q₁)

Ovim formacijama pripadaju različiti sedimenti pretežno jezerskog i barskog porijekla, kao šljunci, pijesci, glinoviti pijesci, siltovi, organogeno-barski sedimenti i gline. Ovoj formaciji pripadaju ležišta glina (Istra), kvarcnog pijeska i šljunka.

6.2. PRAPOR I EOLSKI PIJESCI (Q₂)

Naročito su razvijeni u sjeveroistočnom dijelu Hrvatske, a predstavljeni su pretežno eolskim pijescima, praporom i drugim sedimentima pleistocenske i holocenske starosti. Formacija sadrži opekarske gline (Slavonija).

6.3. FLUVIJALNE TVOREVINE (Q₃)

Nalaze se uz recentne vodotokove. To su pretežno šljunci i pijesci, a u Panonskom bazenu imaju značajnu debljinu. Mnogobrojna ležišta pijeska i šljunka pripadaju ovoj formaciji.

ZAKLJUČAK

Izuvezvi ležišta boksita koja imaju veliki ekonomski značaj i koja se pretežno nalaze u formacijama MA₁, MA₄ i PA₂, ostala ležišta metala su malog značaja i pretežno su vezana za formaciju H₃. Od ležišta nemetala veće ekonomске važnosti grafiti se nalaze u formaciji CH₁, bariti u formacijama H₃ i PA₁, kvarciti u formacijama CH₂ i PA₄, gips u formaciji H₄, gline u formacijama PA₁₀, NA₃, NA₄ i Q₁, kvarcni pijesci u formacijama PA₆, NA₃ i NA₄, cementni laporci u formacijama NA₂ i NA₃, a arhitektonski i tehnički kamen pretežno u formacijama PA₆ i PA₇. Značajnija ležišta ugljena nalaze se u formacijama MA₁, NA₁ i NA₄.

NAPOMENA

Pri izradi ovoga rada korišteni su mnogobrojni objavljeni i neobjavljeni radovi.



Geochemical Study of Surface Bituminous Occurrences in Cretaceous Sediments of the Outer Dinarides

Darko ŠPANIĆ, Tamara TROSKOT-ČORBIĆ & Marija MARIČIĆ

Ključne riječi: kredni karbonati, Vanjski Dinarići, Dalmacija, matična stijena, bitumen, asfalt, sumpor

Sažetak

Uzorci krednih karbonata bogatih organskom tvari s 15 lokaliteta u Vanjskim Dinariđima (Dalmacija, južna Hrvatska) podvrignuti su detaljnem geochemijskom ispitivanju.

Oblik pojavljivanja organske tvari u sedimentima je različit: od tankih lamina do debljih proslojaka, jednolike raspršenosti unutar mineralnog matriksa, pukotina i šupljina ispunjenih bitumenom ili bituminoznim prevlakama.

Cilj studije je detaljna geochemijska karakterizacija tipova organske tvari i njihova međusobna genetska korelacija.

Rezultati analiza pokazuju prisustvo kerogena tipa I-II u uzorcima finozrnih, laminiranih vapnenaca, koji se mogu smatrati matičnim stijenama vrlo velikog generativnog potencijala. Specifičnost organskog facijesa omogućava generiranje ugljikovodika pri izrazito niskom stupnju termičkog stresa. Usporedbom ekstrakata matičnih stijena i bitumena u pukotinama i šupljinama utvrđen je vrlo visok stupanj sličnosti, što je pokazatelj kratkih migracijskih fenomena.

Key words: Cretaceous carbonates, Outer Dinarides, Dalmatia, Source rock, Bitumen, Asphalt, Sulphur

Abstract

The samples of the organic-rich Cretaceous carbonates from 15 localities in the Outer Dinarides (Dalmatia, South Croatia) were geochemically investigated.

The appearance of the organic matter in sediments varies: from thin laminae to thicker layers, uniform dispersion in mineral matrix, fissures and cavities filled with bitumen or bituminous coatings.

The objective of this study is detailed geochemical characterization of types of organic matter and their genetic correlation.

The results of the analyses show the presence of the kerogen type I-II in fine-grained, laminated limestones, which means the samples investigated are considered as source rocks of very high generative potential. Due to the specific quality of organic facies, hydrocarbon generation appears at very low degree of thermal stress. Comparison of source rock extracts and bitumens in fissures and cavities establishes high degree of similarity, which indicates short migration phenomena.

INTRODUCTION

The objective of this paper is determination of type and hydrocarbon potential of the Cretaceous carbonate source rocks from Dalmatia and their relationship with bitumen occurrences from the same area. Although several papers about Cretaceous organic-rich rocks from Dalmatia were published till now (e.g. JACOB et al., 1983; ŠEBEČIĆ & ERCEGOVAC, 1983; BARIĆ et al., 1987; JERINIĆ et al., 1994), there is still insufficient number of geochemical data on them. We hope that the results obtained this study will serve as the basis for further investigations.

SAMPLES

Samples of the Cretaceous carbonates were collected from 15 locations in Dalmatia (South Croatia). Two types of samples were found: (1) laminated, fine-grained limestones that contain autochthonous organic

matter (kerogen and associated bitumen), and (2) dolomites and fossiliferous limestones with pores, fissures and cavities filled with migrated bitumen.

ANALYTICAL METHODS

Organic carbon contents were determined by combustion of acid insoluble matter in a LECO IR-212 carbon analyser, after treatment with hot 6N HCl.

Powdered samples were analysed on a Rock-Eval II+TOC pyrolysis instrument (ESPITALIE et al., 1985).

Isolation of organic matter for microscopic, elemental and stable carbon isotope analyses was made by conventional HCl/HF/ZnCl₂ procedure.

Organic matter was examined in transmitted, reflected and blue fluorescent light using Olympus BH-2 microscope and Leitz MPV-3 microscope photometer.

Elemental analyses were performed on a LECO CHN-600 elemental analyser (carbon, hydrogen and nitrogen) and LECO SC 132 analyser (sulphur). Oxygen was calculated by difference.

SAMPLE	TOC (wt. %) Leco	TOC (wt. %) R.E.	S_1 mgHC g rock	S_2 mgHC g rock	S_3 mgCO ₂ g rock	T _{MAX} (°C)	PI	$\frac{S_2}{S_1+S_2}$	HI	OI	EOM
Fine-grained, laminated limestones											
MIRCA	7.31	5.31	2.37	39.77	0.91	411	0.06	43.70	748	17	21820
*e	—	4.90	0.58	35.75	0.95	409	0.02	37.63	729	19	—
BRIZI	7.55	3.58	2.83	40.16	1.00	407	0.07	40.16	738	18	19790
e	—	4.98	0.92	37.19	0.93	409	0.02	39.98	746	18	—
KRKMAČA	4.73	4.25	1.34	28.19	1.05	413	0.05	26.84	663	24	7710
BITELIĆ	4.64	4.26	1.61	29.67	1.86	416	0.05	15.95	696	43	7610
e	—	3.74	0.46	24.63	1.65	418	0.02	14.92	658	44	—
JELINJAK	1.85	1.75	0.71	12.71	0.51	413	0.05	24.92	726	29	6297
ZASJEDE	1.16	1.10	0.26	7.96	0.45	405	0.03	17.68	723	40	1554
VUKMIR	5.29	4.89	2.40	37.86	1.82	431	0.06	20.80	774	37	7113
e	—	4.84	1.45	39.54	1.72	440	0.04	22.98	816	35	—
VRDOVO	3.05	2.82	1.56	19.43	0.58	424	0.07	33.50	689	20	14837
e	—	1.95	0.13	13.11	0.50	424	0.01	26.22	672	25	—
G. BRDO	1.71	1.53	0.79	10.30	0.49	425	0.07	21.02	673	32	6897
SLIVNO	10.20	10.19	1.56	82.57	1.95	413	0.02	42.34	810	19	14143
e	—	7.36	0.87	48.11	1.80	416	0.02	26.72	653	24	—
Carbonates with bitumen											
ŠKRIP	1.84	1.64	2.71	11.48	0.41	420	0.19	28.00	700	25	22570
e	—	0.27	0.02	1.30	0.21	425	0.02	6.19	481	77	—
RADOŠIĆI	4.07	4.07	3.88	21.04	1.04	424	0.16	20.23	516	25	62280
e	—	0.19	0.02	0.68	0.32	433	0.03	2.26	357	157	—
VRGORAC	1.70	2.93	7.06	19.87	0.18	427	0.26	110.38	678	6	41890
e	—	0.01	0.00	0.16	0.11	431	0.00	1.46	****	***	—
ROŠCA	5.27	4.63	9.39	30.29	0.58	424	0.24	52.22	654	12	87043
e	—	0.26	0.04	1.67	0.31	424	0.02	5.38	642	119	—
D. DOLAC	8.32	7.56	14.83	44.91	0.67	426	0.25	67.02	594	8	124027
e	—	1.04	0.12	3.29	0.65	423	0.04	6.36	480	75	—
AKRAP	7.43	6.50	26.20	38.06	1.45	420	0.41	26.24	585	22	104435
e	—	0.61	0.12	2.93	0.46	424	0.04	6.36	480	75	—

*e= extracted samples

Table 1 Results of total carbon content (TOC) and Rock-eval pyrolysis of samples from Dalmatia (South Croatia).

Stable carbon isotope analyses were made on a Finnigan-MAT delta E mass spectrometer according to procedure outlined in SOFER (1980).

Extractable organic matter of powdered rock samples was determined by 36-hour Soxhlet extraction with chloroform. Extracts were separated by column liquid chromatography into four fractions: saturated hydrocarbons (alkanes), aromatic hydrocarbons, resins and asphaltenes. Gas-chromatographic analyses of alkane fractions were performed on a Perkin-Elmer Sigma 300 instrument equipped with 50-m fused silica capillary column.

RESULTS AND INTERPRETATION

Fine-grained, laminated limestones

These samples contain organic matter in the range of 1.16 to 10.20% total organic carbon (TOC). Rock-Eval pyrolysis data show the presence of kerogen type I-II (HI=663-810). These high values, as well as low maximum temperature of pyrolysis, indicate thermal immaturity of organic matter. Connected with high organic carbon, generative potential (S_2) is very high (Table 1).

Microscopic examinations of kerogen revealed its amorphous appearance, without any traces of discrete

organic components. Greyish-brown colour in transmitted light and bright green-yellow fluorescence indicates algal and bacterial origin of kerogen (TEICHMÜLLER, 1986). In polished rock sections, organic matter consists of yellow fluorescing, very thin films (alginite B or lamalginite; McKIRDY & KANTSLER, 1980) which tend to follow mineral grains and yellow to brown fluorescing organic-mineral groundmass. Origin of lamalginite is related to blue-green or green algae. Some authors mentioned genera *Nostocopsis* and *Pediastrium* (HUTTON et al., 1980; COOK & SHERWOOD, 1991). Orange fluorescing lensoidal or spheroidal bodies of autochthonous solid bitumen are often visible subparallel to the bedding plane.

Results of elemental and stable carbon isotope analyses are given in Table 2. High H/C ratios establish results of Rock-Eval pyrolysis. Enrichment in heavy ¹³C isotope is evidence for algal origin of organic matter as well as anoxic deposition conditions (SCHOELL, 1984). Very high content of organic-bonded sulphur is characteristic for organic matter in carbonates deposited in highly reducing marine environments. Because of absence of heavy-metal ions (primarily Fe²⁺), sulphur from sulphate reduction process is incorporated into kerogen.

Despite thermal immaturity, all the samples contain high content of extractable organic matter, and high

SAMPLE	Ash (wt.%)	C (wt. % d.a.f.)	H (wt. % d.a.f.)	N (wt. % d.a.f.)	S	O	H/C (atomic)	O/C (atomic)	C/N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ (‰)
Fine-grained, laminated limestones										
MIRCA	7.56	71.35	7.88	0.76	15.45	4.56	1.32	0.05	110	-17.88
BRIZI	16.51	59.98	7.74	0.73	13.57	17.98	1.55	0.22	96	—
KRKMAČA	8.81	69.76	6.78	1.66	11.73	10.07	1.17	0.11	49	-21.58
BITELIĆ	7.55	65.37	7.72	0.61	13.95	12.35	1.42	0.14	125	-22.02
JELINJAK	45.10	65.63	6.94	1.02	13.17	13.24	1.27	0.15	75	—
VUKMIR	6.58	70.16	9.22	1.20	6.16	13.26	1.58	0.14	68	—
SLIVNO	9.72	71.59	8.48	0.70	16.25	3.28	1.42	0.03	119	-22.96
Carbonates with bitumen										
D. DOLAC	9.38	67.24	7.67	0.56	11.70	12.83	1.37	0.14	140	-23.43
AKRAP	4.31	70.27	7.24	0.55	11.08	10.86	1.24	0.12	148	-22.95
d.a.f.= dry ash free; Oxygen calculated by difference.										

Table 2 Elemental and isotopic composition of organic matter in selected samples from Dalmatia (South Croatia).

ratio EOM/TOC. There are two reasons for this: the first one, the presence of primary bitumen originated from algal and bacterial lipids, and the second one, generating of heavy, asphaltene rich bitumen in the stage of diagenesis due to breaking of weak carbon-sulphur bonds.

Gas-chromatographic analyses of alkanes show predominance of n-alkanes in lower molecular range with particularly prominent n-C₁₇, as a characteristic of phytoplankton-derived organic matter (PHILP, 1985).

Carbonates with bitumen

Dolomites and limestones contain 1.84 to 8.32% chloroform soluble bitumen, calculated as total organic carbon (Table 1).

Component analyses of extracts show predominance of resins and asphaltenes (Table 3). Under the micro-

scope, bitumens have very low reflectance (0.05-0.15% Ro) and strong fluorescence (5-15 relative to uranyl standard). These data determine organic matter as asphalt, first member of asphaltite's series. According to JACOB (1976), asphalts and asphaltites are derived from heavy, asphaltene rich oils. However, we assume those asphalt occurrences here investigated are products of early generation from sulphur rich kerogens. After short migration, viscous liquid fills the cavities in the rocks that leads to its transformation into solid bitumen by devolatilisation and polymerisation.

High content of sulphur and enrichment in ³⁴S isotope (Table 2), as well as prominent n-C₁₇, indicate that analysed bitumens originate from algal-derived kerogen, and thus evidence their origin from organic-rich, laminated, fine-grained limestones.

SAMPLE	TOC	EOM	EOM	Sat.	Arom.	Res.	Asph.	n-alk.	i-alk.	Pr n-C ₁₇	Ph n-C ₁₈	Pr Ph	CPI
	(wt.%)	(ppm)	TOC	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		
Fine-grained, laminated limestones													
MIRCA	7.31	21820	29.8	5.21	9.84	8.40	76.55	81.46	18.54	0.84	0.96	1.57	0.98
BRIZI	7.55	19790	26.2	6.39	14.38	12.17	67.06	82.89	17.11	0.73	0.95	1.30	1.07
KRKMAČA	4.73	7710	16.3	—	—	—	—	81.94	18.06	0.42	0.52	1.40	1.11
BITELIĆ	4.64	7610	16.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
JELINJAK	1.85	6297	34.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ZASJEDE	1.16	1554	13.4	—	—	—	—	80.52	19.48	0.41	0.36	3.35	1.00
VUKMIR	5.29	7113	13.4	—	—	—	—	84.09	15.91	0.45	0.56	1.57	2.19
VRDOVO	3.05	14837	48.6	—	—	—	—	94.34	5.66	0.58	0.98	0.32	0.85
G. BRDO	1.71	6897	40.3	—	—	—	—	89.92	10.08	0.52	0.60	1.44	0.89
SLIVNO	10.20	14143	13.9	1.59	4.04	8.51	85.86	—	—	—	—	—	—
Carbonates with bitumen													
ŠKRIP	1.84	22570	122.7	5.97	10.78	28.03	56.22	86.73	13.27	0.46	0.57	2.43	1.06
RADOŠIĆI	4.07	62280	153.0	2.99	3.38	9.51	84.12	—	—	—	—	—	—
VRGORAC	1.70	41890	143.0	14.11	22.99	25.31	37.59	—	—	—	—	—	—
ROŠCA	5.27	87043	165.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D. DOLAC	8.32	124027	149.1	14.60	17.54	26.32	43.05	—	—	—	—	—	—
AKRAP	7.43	104435	140.1	13.82	18.10	25.32	42.76	—	—	—	—	—	—

Sat.= saturated hydrocarbons; Arom.= aromatic hydrocarbons; Res.= resins; Asph.= asphaltenes; Pr= pristane; Ph= phytane; n-alk.=normal alkane; i-alk.= iso-alkane.

Table 3 Results of extractions and fractionations of extractable organic matter (EOM) and gas-chromatographic analyses of alkane fraction.

CONCLUSIONS

The following listing is a summary of inferences based on the organic geochemical analyses of the Cretaceous organic-rich carbonates from Dalmatia:

1. Fine-grained, laminated limestones have a high content of the kerogen type I-II and thus represent excellent source rocks.
2. This organic matter is thermally immature. However, the high content of the organic-bonded sulphur, to be specific, weak carbon-sulphur bonds in kerogen, leads to hydrocarbon generation in an early phase of diagenesis. According to BASKIN & PETERS (1992), onset of oil generation for this type of kerogen is about 0.3% Ro or $410\text{--}415^\circ \text{T}_{\max}$ of Rock-Eval pyrolysis.
3. Chemical and optical characteristics of the solid bitumens which fill fissures, cavities and pores in the rocks classified them as the natural asphalts.
4. Those bitumens are product of the early generation from the above mentioned source rocks. In the absence of cap rocks, bitumen was surface exposed, degraded and transformed from primary viscous liquid into solid bitumen.

REFERENCES

- BARIĆ, G., MARIČIĆ, M. & RADIĆ, J. (1988): Geochemical characterization of organic facies in the Dugi otok basin, the Adriatic Sea (Yugoslavia).- In: MATTAVELLI, L. & NOVELLI, L. (eds.): Advances in organic geochemistry, I. Organic geochemistry in petroleum exploration. *Organic Geochemistry*, 13, 343-349.
- BASKIN, D.K. & PETERS, K.E. (1992): Early Generation Characteristics of a Sulfur-Rich Monterey Kerogen.- *AAPG Bulletin*, 76, 1-13.
- COOK, A.C. & SHERWOOD, N.R. (1991): Classification of oil shales, coals and other organic-rich rocks.- *Organic Geochemistry*, 17/2, 211-222.
- CURIALE, J.A. (1986): Origin of solid bitumens, with emphasis on biological marker results.- *Organic Geochemistry*, 10, 559-580.
- ESPITALIE, J., DEROO, G. & MARQUIS, F. (1985): Rock-Eval pyrolysis and its applications.- Institut Francais du Petrole, 72 p.
- GRABOWSKI, G.J.Jr. (1988): Generation and Migration of Hydrocarbons in Upper Cretaceous Austin Chalk, South-Central Texas.- In: PALACAS, J.G. (ed.): Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks. *AAPG Studies in Geology*, 18, 97-116.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Upper Cretaceous stratigraphy of the island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform.- Djela JAZU, 69, 160 p.
- HUNT, J.M. (1979): *Petroleum Geochemistry and Geology*.- Freeman, San Francisco, 617 p.
- HUTTON, A.C., KANTSLER, A.J., COOK, A.C. & MCKIRDY, D.M. (1980): Organic matter in oil shales.- *Aust. Petr. Explor. Assoc. J.*, 20, 44-68.
- JACOB, H. (1967): Petrologie von Asphaltiten und asphaltischen Pyrobitumina.- *Erdöl u. Kohle*, 20/6, 393-400.
- JACOB, H. (1976): Petrology, nomenclature and genesis of natural solid crude oil bitumens.- *Erdöl Kohle Erdgas*, 76/77, 36-49.
- JACOB, H., JENKO, K. & SPAIĆ, V. (1983): Dispersed solid to semisolid natural oils and bitumens of the Yugoslav Adriatic coastal area (Outer Dinarides).- *Nafta*, 34/12, 693-700.
- JENKYN, H.C. (1991): Impact of Cretaceous sea level rise and anoxic events on the Mesozoic carbonate platform of Yugoslavia.- *AAPG Bulletin*, 75, 1007-1017.
- JERINIĆ, G., JELASKA, V. & ALAJBEG, A. (1994): Upper Cretaceous Organic-Rich Laminated Limestones of the Adriatic Carbonate Platform, Island of Hvar, Croatia.- *AAPG Bulletin*, 78/8, 1313-1321.
- JONES, R.W. (1988): Comparison of carbonate and shale source rock.- In: PALACAS, J.G. (ed.): Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks. *AAPG Studies in Geology*, 18, 163-180.
- MCKIRDY, D.M. & KANTSLER, A.J. (1980): Oil geochemistry and potential source rocks of the Officer Basin, South Australia.- *Aust. Petr. Explor. Assoc. J.*, 20, 68-86.
- MUKHOPADHYAY, P.K., HAGEMANN, H.W. & GORMLY, J.R. (1985): Characterization of kerogens as seen under the aspect of maturation and hydrocarbon generation.- *Erdöl u. Kohle*, 38, 7-18.
- ORR, W.L. (1986): Kerogen/asphaltene/sulfur relationship in sulfur-rich Monterey oils.- *Organic Geochemistry*, 10, 499-516.
- PHILP, R.P. (1985): Biological markers in fossil fuel production.- *Mass Spectrometry Reviews*, 4/1, 1-54.
- POWELL, T.G. (1988): Some Aspects of the Hydrocarbon Geochemistry of the Middle Devonian Barrier-Reef Complex, Western Canada.- In: PALACAS, J.G. (ed.): Petroleum geochemistry and source rock potential of carbonate rocks. *AAPG Studies in Geology*, 18, 45-62.
- SCHOEL, M. (1984): Recent advances in petroleum isotope geochemistry.- *Organic Geochemistry*, 6, 645-663.
- SOFER, Z. (1980): Preparation of carbon dioxide for stable carbon isotope analysis of petroleum fractions.- *Anal. Chem.*, 52, 1389-1391.
- STACH, E., MACKOVSKY, M.T.H., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G.H., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER, R. (1982): *Textbook of Coal Petrology*.- Gebrueder Borntraeger, Berlin, 535 p.
- ŠEBEĆIĆ, B. & ERCEGOVAC, M. (1983): A contribution to the knowledge of kerogen maturity in some bituminous carbonate deposits of the Outer Dinarides.- *Nafta*, 34/4-5, 183-188.
- TEICHMÜLLER, M. (1986): Organic petrology of source rocks, history and state of art.- *Organic Geochemistry*, 10, 581-599.
- TISSOT, B. & WELTE, D.H. (1984): *Petroleum Formation and Occurrence*.- Springer Verlag, Berlin, 699 p.
- WAPLES, D.W. (1985): *Geochemistry in Petroleum Exploration*.- IHRD, Boston, 232 p.

Recentni sedimenti uvale Makirina u Pirovačkom zaljevu (Dalmacija)

Marko ŠPARICA, Mirko BELAK & Josip CRNKO

Ključne riječi: recentni sedimenti, peloid, siliciklastičan detritus, Pirovački zaljev

Sažetak

Recentni sedimenti u uvali Makirina, zbog povoljnih fizikalnih svojstava, kemijskih, organogeno-kemijskih i balneoloških značajki, pripadaju peloidima s praktičnom primjenom u medicinske svrhe.

Siliciklastičan detritus znatno prisutan u ovim talozima potječe iz fliških naslaga. Transportiran je i taložen iz suspenzije i vučnim mehanizmima u plimskom okolišu uvale Makirina.

1. UVOD

Uvala Makirina je južni krak Pirovačkog zaljeva približnog pružanja sjever-jug (sl. 1). Njezina dužina je 1250 m, a prosječna širina cca 300 m. U uvalu ne dotiču stalni vodotoci, osim povremenog, koji utječe u južni dio uvale.

Dno uvale, u kome su vršena istraživanja, pretežno je pokriveno vegetacijom viših morskih biljaka, mjestimično siltoznim pijeskom i muljem (sl. 2). Flora je bujna i vjerojatno predstavlja (zajedno s ostacima faune) materijal za organsku komponentu sadržanu u ovim talozima. Biljke su makroskopski određene kao: *Posidonia oceanica*, *Zoster marina*, *Acetabularia mediterranea* i dr. Specifičan biotop izuzetno je podoban za život i razvoj faune, koja je bogata vrstama i jedinkama.

Dno mora u južnom dijelu uvale rijetko prelazi 0,50 m, dok se prema sjeveroistoku postupno spušta do dubine od 4,50 m do koje su vršena istraživanja (sl. 2).

Višedisciplinarno znanstveno istraživanje recentnih taloga uvale Makirina potaknuto je njihovom praktičnom primjenom. Naime, zbog visokog sadržaja organske tvari, povoljnog granulometrijskog sastava, organoleptičkih i fizikalnih svojstava, te kemijskog sastava, ovi sedimenti se ubrajaju u peloide s primjenom u zdravstvene svrhe.

Talozi su akumulirani u cijelovito ležište dužine cca 1100 m i širine 250-280 m. Postupno povećanje debeline (od 0,0 m do preko 3 m) posebno po dužoj osi, te

Key words: Recent sediments, Peloid, Siliciclastic detritus, Pirovac Bay

Abstract

Recent sediments in the Makirina Cove, due to their favourable physical, chemical, organogenic-chemical and balneological properties, belong to the peloids with practical utilisation in medicine.

Abundant siliciclastic detritus in these sediments have originated from flysch deposits. It was transported and deposited from suspension and by traction carpet mechanisms in tidal environments of the Makirina Cove.

od obale do sredine uvale, daje ležištu oblik relativno izdužene leće (sl. 3).

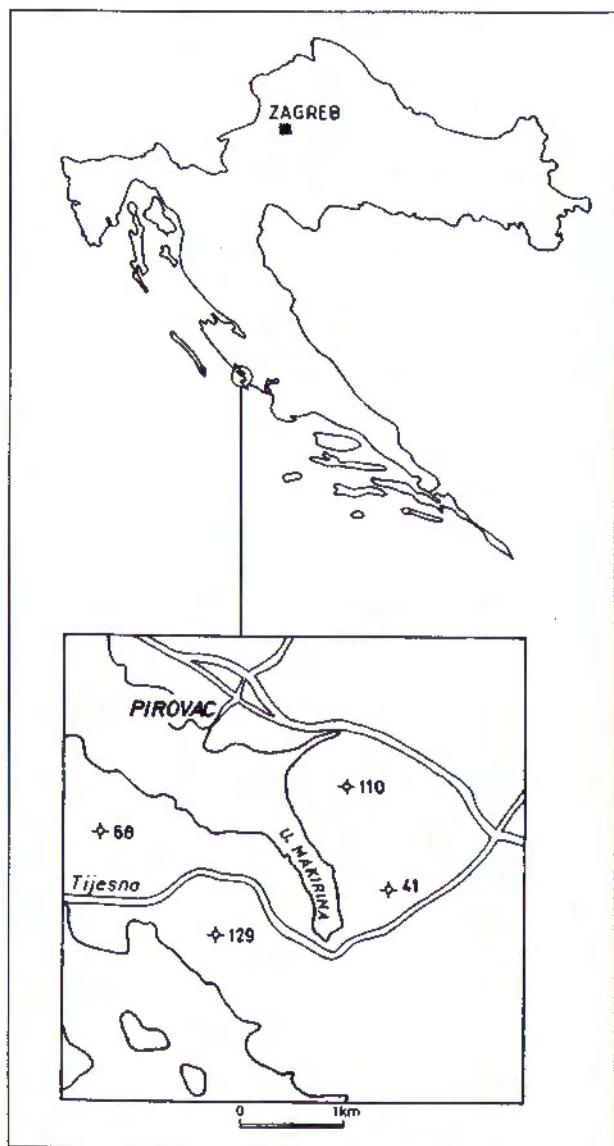
Tri različite metode proračuna rezervi dale su približno isti rezultat, tako da se računa s rezervama od 410.000 m³ recentnog taloga, odnosno peloida izvanredne kakvoće.

Šire područje uvale Makirina izgradeno je od karbonatnih naslaga (dolomiti, vapnenci u izmjeni s dolomitima i vapnenci), koje pripadaju višim nivoima donje krede i gornjoj kredi. Registrirane su i kvartarne (deluvijalne) taložine (ŠPARICA et al., 1989).

2. REZULTATI SEDIMENTNO-MINERALOŠKIH ANALIZA

U priobalnom dijelu uvale do dubine od 0,1-0,5 m sediment je tekućeg konzistentnog stanja, inače je slabo natopljen vodom i plastičan. U dubljim sjeveroistočnim dijelovima uvale, često pri dnu prelazi u glinoviti i mjestimično pjeskovito-šljunkoviti sloj.

Granulometrijske analize recentnog sedimenta uvale Makirina pokazuju da se radi o slabo sortiranom glinovito-pjeskovitom prahu. U sedimentu prevladava frakcija praha, srednje vrijednosti 51%. Pjeskovita frakcija ima srednju vrijednost 31%, a glinovita komponenta 14%. Sadržaj šljunkovite frakcije je vrlo nizak, nalazi se samo u pojedinim uzorcima kao fragmenti ljuštura školjki. Srednja aritmetička vrijednost srednjih mediana zrna svih uzoraka iznosi 0,04 mm. Koeficijenti



Sl. 1 Položajna karta.

sortiranja, koji su izračunati metodom kvartila, ukazuju da je sortiranost vrlo loša, a koeficijenti asimetrije su manji od 1. U tablici 1 prikazan je granulometrijski sastav dviju frakcija recentnog sedimenta ($<0,06$ mm i $>0,06$ mm). Rimski brojevi u tablici označavaju redni broj profila, a brojevi se povećavaju prema otvorenom moru. Udio frakcije $>0,06$ mm smanjuje se prema obali (osim u uzorku IV18A u kojem povećani sadržaj pjeskovite komponente uvjetuju sitne nakupine ljušturića školjki i uzorku II7 koji je uzet iz vrulje uz samu sjevernu obalu zaljeva). Srednja vrijednost pjeskovite frakcije svih uzoraka od profila I do profila V iznosi 29%, a od profila VI do profila X srednja vrijednost pjeskovite frakcije iznosi 42%.

Granulometrijske analize indiciraju smanjivanje veličine zrna od mora prema obali.

Recentni sedimenti uvale Makirina sadrže 55-61% vlage. U suhom sedimentu (uzorci osušeni na 107°C) ima 16-21% organske tvari, te 79-86% anorganske

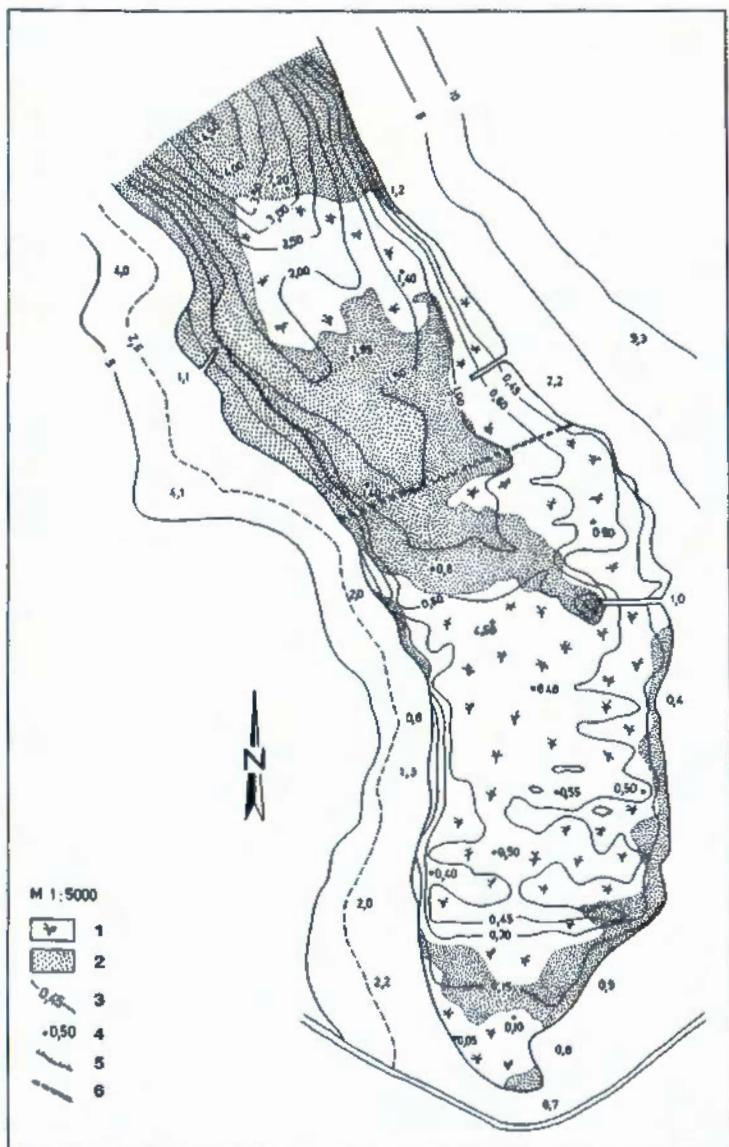
	I2	II7	II9	III1	III14	III16	IV18A	IV22	V26	V28	V30	VI32	VI34	VI38	VII139	VII144	VII146	VII150	X53	X55	
Broj uzorka vel. čestica																					
ispod 0,06	70	50	89	82	100	87	68	30	70	60	70	45	75	59	50	55	63	65	67	52	43
iznad 0,06	30	50	11	18	-	13	32	70	30	40	30	50	25	41	50	45	37	35	33	48	57

Tablica 1 Granulometrijski sastav recentnog sedimenta sveden na dvije frakcije u %

tvari. U razrijedenoj HCl topivo je 32-47% anorganske tvari, a netopivi ostatak iznosi 33-50%.

Iz netopivog ostatka (tretiranje s HCl) napravljen je mineralni sastav lake i teške frakcije. Separacija teških minerala izvršena je bromoforom (sp.t. 2,89). Minerali su determinirani u mikroskopskim preparatima. U tablici 2 prikazan je mineralni sastav lake i teške frakcije.

Laka mineralna frakcija sadržava kvarc i feldspate (Tab. I, sl. 1) i znatno rijede čestice stijena (rožnjak i kvarcit). Kvarc je najdominantniji mineral u lakoj frak-



Sl. 2 Karta dna i dubine mora. Tumač: 1) dno pokriveno vegetacijom; 2) pjeskovito-muljevito dno bez vegetacije, uz obalu česti izdanci stijena; 3) izobata; 4) dubina mora; 5) brak; 6) pregradni zid.

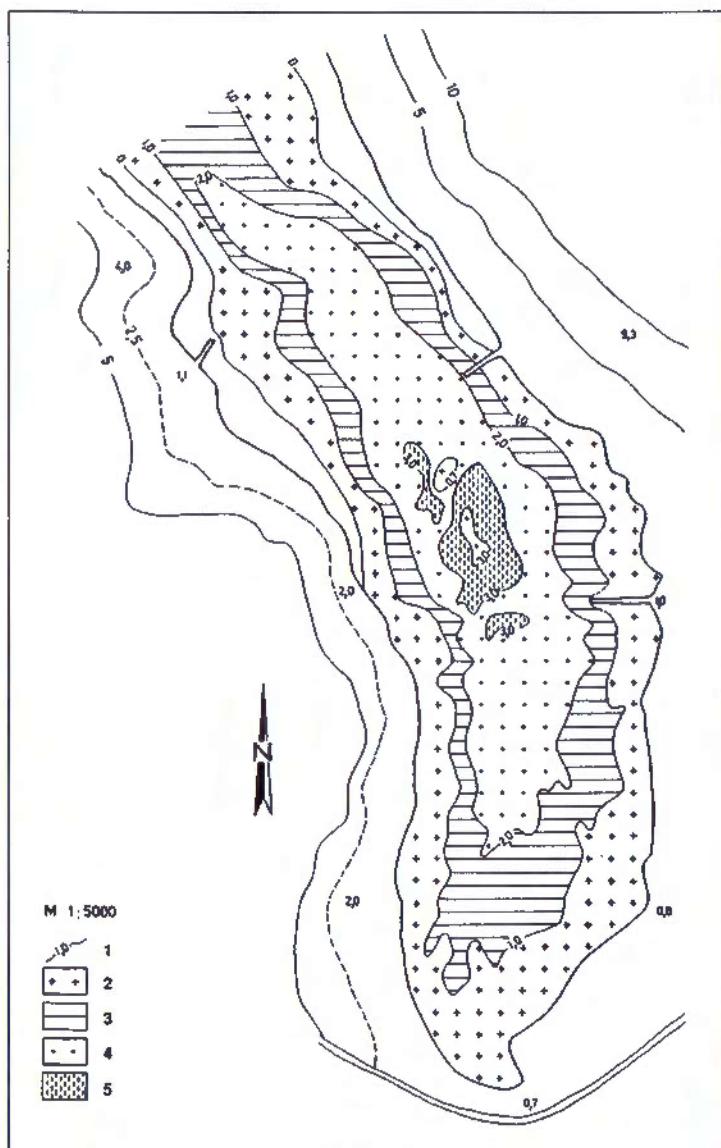
ciji. Zrna kvarca su najčešće poluzaobljena, nepravilnog oblika, unduloznog i homogenog su potamnjena. Njegov prosječni sastav iznosi 63%, uz male varijacije za pojedine uzorke. Feldspati su stalni pratioci u svim uzorcima s prosječnim sastavom od 32%. Zrna feldspata su poluzaobljena i nepravilnog oblika, a u manjoj količini ima zrna feldspata hipidiomorfognog oblika, koja su vrlo slabo zaobljena.

Sadržaj teške mineralne frakcije u netopivim ostacima recentnog sedimenta varira od 3% do 15%. Mineralna asocijacija teških minerala je približno ista u svim uzorcima (Tab. I, Sl. 2). Prosječni sadržaj opäkih minerala iznosi 30%, a prosječni sastav prozirnih teških minerala 70%.

Granat je najobilniji mineralni sastojak prozirnih teških minerala, s prosječnim iznosom od 30,4%. Zrna su nepravilna, slabo zaobljena i često lomljena. Zapazio je samo nekoliko zrna poluzaobljenih idiomorfnih granata u preparatima. Sva zrna odlikuju se svježinom. Pored bezbojnih, znatno su zastupljeni i smedi varijeteti, a u manjoj količini i ružičasti varijeteti granata.

Amfibol je drugi važan proziran teški mineral. Njegov srednji postotni udio je 24,5%. Piroksen je također jako zastupljen u prozirnoj frakciji teških minerala s prosječnim iznosom od 20,8%. Zrna su slabozaobljena, prizmatskog oblika ili su nepravilno lomljena. Epidot i coisit su bitni sastojci svih uzoraka. To su nepravilna i poluzaobljena zrna. Prosječni postotni udio cirkona u teškoj prozirnoj frakciji iznosi 8%. Zrna cirkona različitog su oblika, a također se razlikuju i po stupnju zaobljenosti. Prisutna su zrna cirkona od vrlo zaobljenih do gotovo nezaobljenih (Tab. I, sl. 4). Zrna apatita, turmalina, glaukofana, titanita i krom spinela prisutna su u malim količinama u gotovo svim preparatima.

Sastav lake i teške mineralne frakcije ukazuje da mineralni detritus u sedimentu potječe iz metamorfnih stijena, a u manjoj količini i iz magmatskih stijena s bitnim vulkanskim eksplozivnim utjecajem. Morfometrijske karakteristike rezistentnih minerala ukazuju da je dio mineralnog detritusa pretrpio duži transport i da je resedimentiran u više ciklusa. U području srednje



Sl. 3 Karta izobata: 1) debljina sedimenta od 0-1,0 m; 2) debljina sedimenta od 1,0-2,0 m; 3) debljina sedimenta od 2,0-3,0 m; 4) debljina sedimenta više od 3,0 m; 5) izolinije debljine sedimenta.

Dalmacije sličnu mineralnu paragenezu lake i teške frakcije nalazimo u sedimentima fliša i sedimentima kvartara.

3. DISKUSIJA

Od problema vezanih za postanak recentnih sedimenata uvale Makirina, svakako je najinteresantnije objašnjenje izvorišnog područja i mehanizma transporta siliciklastičnog materijala, koji je znatno zastupljen u mineralnom sastavu taloga. Mogu se iznijeti slijedeće pretpostavke:

1. najvećim dijelom pretaložen iz sedimenata fliša srednje Dalmacije, i transportiran morskim putem plimskim strujama;
2. pretaložen iz kvartarnih sedimenata neposredne okoline, i transportiran eolskim i vodenim putem s kopna;
3. donešen eolskim putem iz različitih područja;

4. donešen eolskim putem iz određenog područja koje može biti i relativno udaljeno, i

5. donešen vulkanskim eksplozijama i eolskim putem.

Mineralna asocijacija vrlo različitih specifičnih težina indicira da eolski utjecaj u donosu siliciklastičnog materijala nije bio najbitniji, jer bi se očekivala određena mineralna separacija tijekom transporta. Zbog toga se prepostavlja kao najvjerojatnija mogućnost da je najveći dio siliciklastičnog detritusa pretaložen iz sedimenata fliša s utjecajem vulkanskog eksplozivnog donosa. Tako pomiješani materijal, suspenzijom, a djelomično i vučnim mehanizmima sedimentiran je u plimskom okolišu uvale Makirina.

S dosta sigurnosti se može prepostaviti da je najveći dio taloga sedimentiran u povjesno vrijeme. Na ovo ukazuje postojanje solane u trinaestom stoljeću u južnom dijelu uvale (STOŠIĆ, 1941). Dakle južni dio uvale bio je u to vrijeme kopno, tek povremeno plavljeno morem. Vjerovatno je i do danas sačuvan pregradni zid u središnjem dijelu uvale (sl. 2), bio u funkciji tadašnje solane.

Sedimentacijski procesi i debljina istaloženih taloga ukazuju na postupno tonjenje dna uvala, što je značajka epirogenetskih pokreta u našem priobalju Jadranskog mora (ŠEGOTA, 1976, 1982).

4. LITERATURA

- STOŠIĆ, K. (1941): Sela Šibenskog kotara.- 289 str., Šibenik.
- ŠEGOTA, T. (1976): Promjena razine mora prema podacima mareografa u Bakru i Splitu.- Geogr. glasnik, 38, 301-312, Zagreb.
- ŠEGOTA, T. (1982): Razina mora i vertikalno gibanje dna Jadran-skog mora od ris-vimskog interglacijskog do danas.- Geol. vjesnik, 35, 93-109, Zagreb.
- ŠPARICA, M., CRNKO, J. & BELAK, M. (1989): Peloid uvala Makirina (Pirovački zaliv).- Fond struč. dok. Instituta za geol. istraživanja, Zagreb.

Broj uzorka	Lako min-frakcija 100%			Teške min-frakcije			Teške min./frakcija 100%			Prosinski teški min. 100%								
	q	f	s	op	proz:minerali	cr	g	py	am	ep	zr	ru	ti	ap	gl			
I-3	61	34	5	3	28	72	13	25	24	28	1	3	1	1	1	2		
II-7	65	32	3	36	64	9	21	20	30	-	1	11	1	1	1	1		
II-11	68	24	8	3	35	65	8	25	16	36	-	10	2	-	1	1		
II-14	69	27	4	8	29	72	12	19	20	34	-	1	9	1	1	2		
II-16	65	31	4	7	30	70	11	31	23	32	1	1	8	1	1	1		
IV-18a	62	33	5	15	25	75	8	29	26	27	1	1	6	2	-	1		
V-26	60	37	3	4	28	72	7	30	14	35	-	1	9	1	-	2		
V-30	67	29	4	7	37	63	9	24	26	28	1	1	6	2	1	1		
VII-39	55	36	9	6	25	75	12	22	18	29	1	1	9	-	2	5		
VII-44	69	35	6	7	27	73	11	20	20	31	2	2	8	-	2	4		
VII-46	58	35	7	7	26	76	13	22	16	30	-	2	8	1	1	6		
X-55	64	31	5	5	42	58	8	27	27	25	1	-	6	3	1	1		

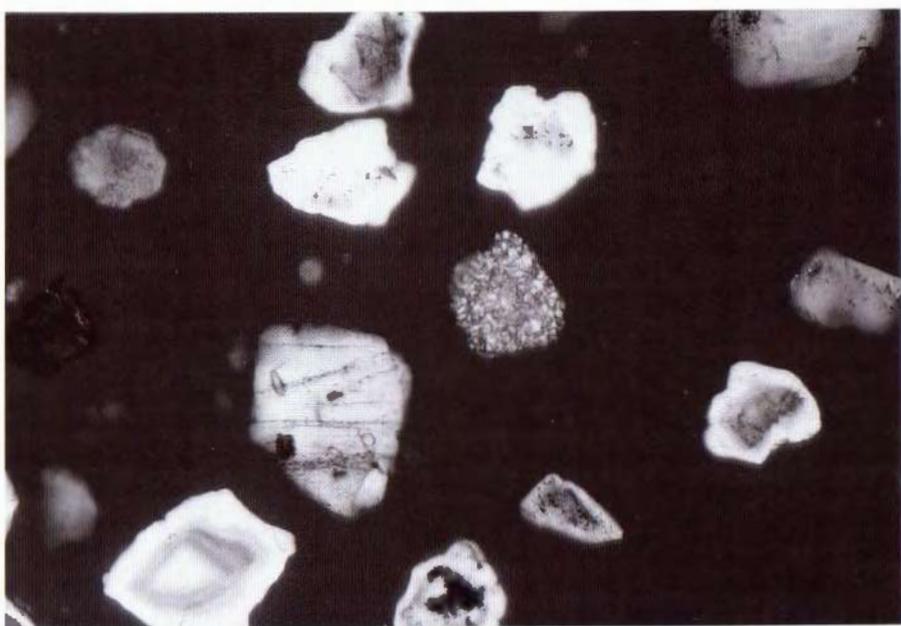
Tablica 2 Mineralni sastav lake i teške frakcije u netopivom ostatku recentnog sedimenta. Legenda: q - kvarc; f - feldspat; s - čestice stijena; op - opaka zrna; ep - epidot; am - amfibol; py - piroksen; g - granat; cr - kromspinel; t - turmalin; zr - cirkon; ru - rutil; ti - titanit; ap - apatit; gl - glaukonit.

TABLA I

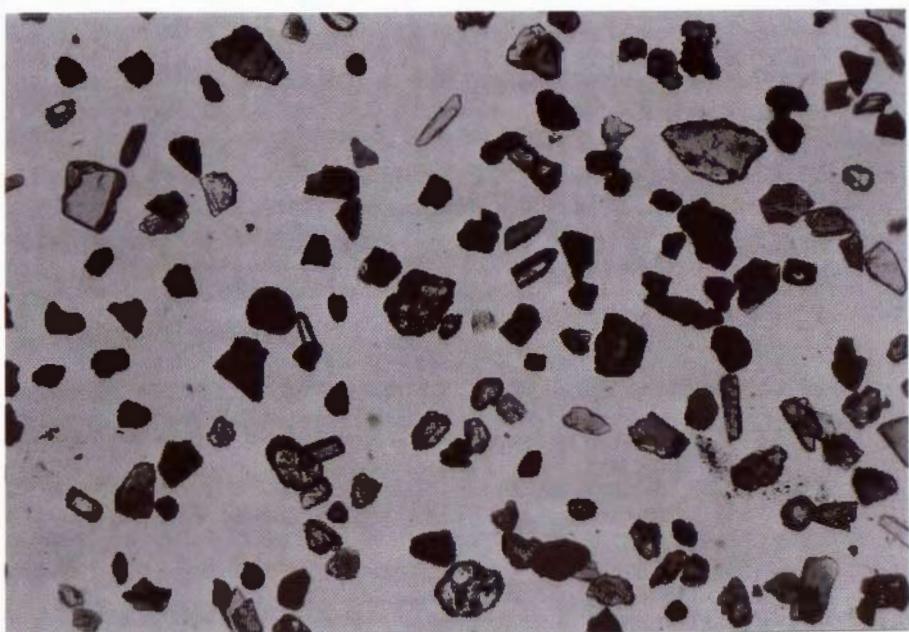
Sl. 1 Kvarc, feldspat i čestice stijene rožnjake u lakoj frakciji. P80x. N+.

Sl. 2 Teška frakcija u kojoj dominiraju granati, amfiboli, pirokseni te različiti oblici cirkona. P32x. N-.

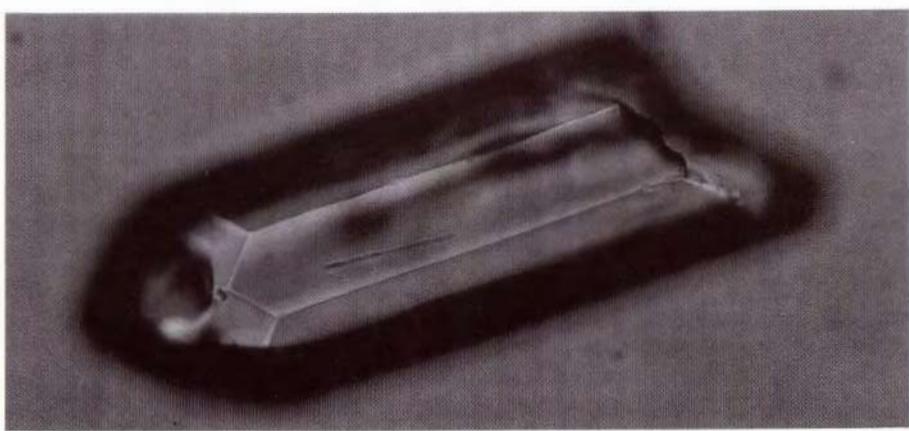
Sl. 3 Cirkon. P320x. N-.



1



2



3

Upper Cretaceous Evolution of the Carbonate Platform in SW Slovenia

Luka ŠRIBAR¹, Ivan GUŠIĆ² & Vladimir JELASKA²

Key words: Southwestern Slovenia, Adriatic-Dinaric carbonate platform, Upper Cretaceous, Upper Cenomanian-Lower Turonian, Upper Santonian-Lower Campanian, Sea-level changes

Abstract

The carbonate platform in Southwestern Slovenia was a part of the Adriatic-Dinaric carbonate platform. Until the Late Cenomanian-Early Turonian it was a palaeogeographically homogeneous territory, while later it was environmentally differentiated. The uninterrupted stratigraphic succession exists only on Mount Nanos, while in other areas sedimentation was interrupted by shorter or longer emersion phases. Eustatic sea-level rise during the Late Cenomanian-Early Turonian caused temporary drowning of the entire platform. The drowning event lasted shorter in the southeastern part, which is explained by tectonic upthrow. Where the platform was not already exposed, shallow water sedimentation was interrupted again in the Late Santonian-Early Campanian, as the result of eustatic sea-level rise.

INTRODUCTION

During the Mesozoic the southwestern region of Slovenia was a part of Adriatic-Dinaric (A/D) carbonate platform (JELASKA et al., 1994), which was one of the largest carbonate platform ever existed. Its dimensions, based on present outcrops, were about 800x200 km (JENKYNS, 1991). GUŠIĆ & JELASKA (1993) described it as an isolated ("intraoceanic") carbonate platform. During the Late Cretaceous Northwestern Slovenia represented a part of inner carbonate platform, except of the Mount Nanos area, which, from the Late Santonian-Early Campanian, seems to be situated close to its northern margin (PLENIČAR, 1975).

The existence of Dinaric carbonate platform in Southwestern Slovenia was established by BUSER (1989). The first interpretation of palaeogeographic development was made by KOCH (1987), but this work lacks of detailed stratigraphic columns of the Karst area, so that the results are defective. The basic stratigraphic investigation on the basis of mollusc fauna were published by PLENIČAR (1960, 1973, 1975, 1977, 1982, 1983, 1993) and on the basis of microfos-

sils by BIGNOT (1972). Latest biozonation was made by ŠRIBAR & PLENIČAR (1991).

MATERIAL AND METHODS

To recognize the main geologic, biologic and tectonic events some selected stratigraphic sections (Fig. 1) were studied and compared with biostratigraphic, lithostratigraphic and sequence stratigraphic methods. Sequence stratigraphy was used as the age model. This was possible because GUŠIĆ & JELASKA (1990, 1993) and JELASKA et al. (1994) have established the validity of the global sea-level cycle chart published by HAQ et al. (1987) for A/D carbonate platform. In this case, as suggested by POSAMENTIER & JAMES (1993), all major differences in the sedimentary dynamic can be explained by local tectonic activity.

RESULTS

Carbonate rocks of the upper part of the Lower Cretaceous and Lower Cenomanian in Southwestern Slovenia cannot easily be subdivided due to lack of characteristic fossils. Dark grey bituminous limestone and early diagenetic dolomite, which pass laterally and vertically one into another, are developed. The thickness of these rocks is over 400 m. In the upper part of the succession, laterally continuous Chondroonta-beds are developed that demonstrate the palaeogeographic homogeneity. This horizon is dated, with the help of foraminifera *Broeckina (Pastrikella) balcanica* CHERCHI, RADOIČIĆ & SCHROEDER, as Late Cenomanian.

Chondroonta-beds are overlain by pelagic, calcisphaere-bering Lower Turonian limestone, which has been defined in the Southern Karst region as the Repen Formation (JURKOVŠEK et al., in press). There are no palaeontological evidences for Early Turonian age of these calcisphaere-bering limestone, because calcisphaeres are associated only with "primitive", opportunistic planktonic foraminifera. These calcisphaere-bering micrites are interpreted as TST. Different thickness of

¹Institute of Geology, Geotechnics and Geophysics, Dimitrova 14, 61000 Ljubljana, Slovenia.

²Department of Geology & Palaeontology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zvonimirova 8, 10000 Zagreb, Croatia.

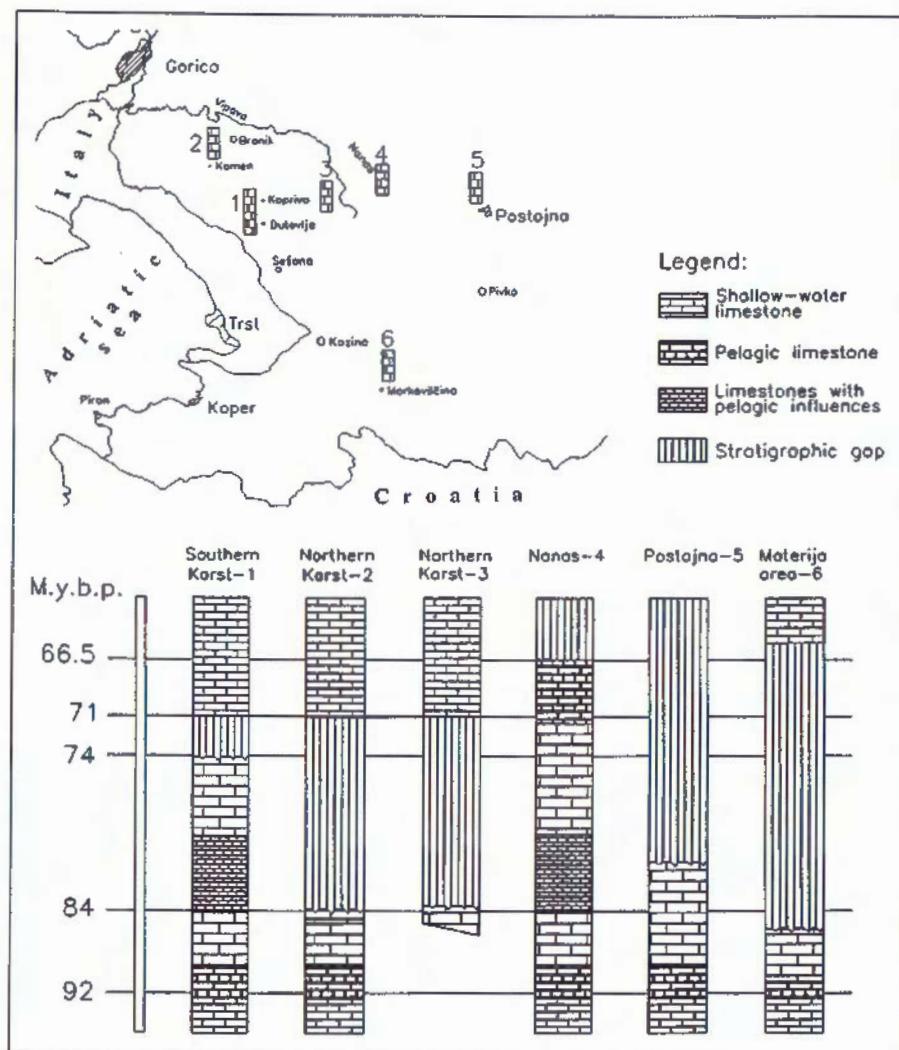


Fig. 1 Selected stratigraphic columns showing Upper Cretaceous sedimentary dynamics on the carbonate platform in SW Slovenia.

the Formation (from 50 to 200 m) is explained here as tectonic upthrow of southeastern region towards Savudrija-Kvarner block (Fig. 2).

After the deposition of the Repen Formation, a long lasting HST followed, living its signature all over the area as aggradational sequence. The formation was named by JURKOVŠEK et. al (1989; in press) as the

Sežana Formation. It is mostly represented by skeletal wackestones to packstones and rudist floatstones. Only in the upper part of the succession some rudist biostromes appear. Gradual enrichment of the foraminiferal assemblage from the basal part to the top of the Formation is observed. The lower part contains, among others *Psudocyclammina sphaeroidea* GENDROT and *Nummolucina heimi* BONET, which disappears in the higher levels, while new milioline forms appear. The first is *Scandonea samnitica* DE CASTRO, followed by *S. mediterranea* DE CASTRO, which later predominates and fully replaces *S. samnitica*. Further on, the following taxa appear: *Dicyclina schlumbergeri* MUNIER-CHALMAS, *Accordiella conica* FARINACCI, *Nummofallotia apula* LUPERTO SINNI, *Murgella lata* (LUPERTO SINNI), *Keramosphaerina tergestina* (STACHE) and, in the areas which were not already exposed, *Calveziconus lecalvezae* CAUS & CORNELLA. According to GUŠIĆ & JELASKA (1990), among these taxa *M. lata* and *C. lecalvezae* seem to have the greatest stratigraphic value. The first is placed in the Upper Santonian and the latter in the Campanian.

The Sežana Formation is capped in all of the area, except for Mount Nanos and the southern part of the

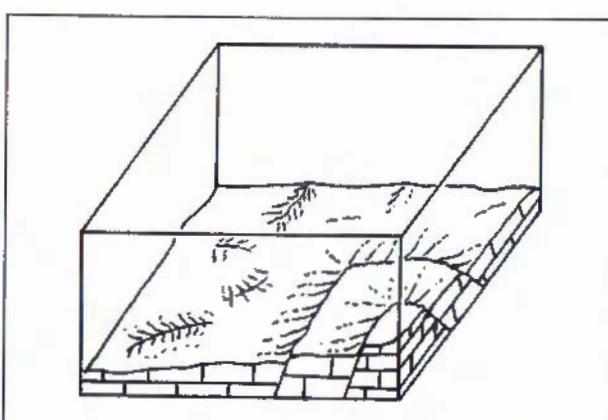


Fig. 2 Idealised palaeogeographic model of the inner carbonate platform during the Late Cenomanian - Early Turonian drowning phase. Note the tectonic upthrow of the southeastern region towards Savudrija - Kvarner block.

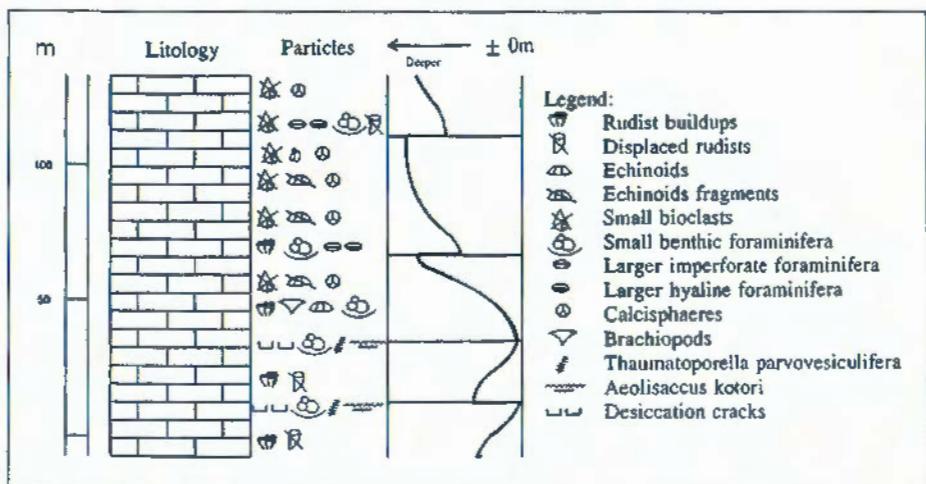


Fig. 3 Stratigraphic column showing changing from shallowing upward to deepening upward cycles in the Late Cenomanian on Mount Nanos.

Trieste-Komen Karst (Fig. 1), with an emersion surface. The break in sedimentation was not synchronous. It began first in southeastern region of Matarija, before the appearance of *M. lata*, and it is therefore placed in the Upper Coniacian. In the northern part of the Trieste-Komen Karst it started after the disappearance of *M. lata*, near the end of the Santonian, while in the Postojna region it began somewhere in the Campanian, which is proved with the first appearance of *C. lecalvezae*. In the area of Mount Nanos and southern Trieste-Komen Karst area, shallow water carbonates are overlain by calcisphaere-bearing bioclastic packstones and correspond to a TST. The thickness of this sequence is about 150 m. On Mount Nanos it is marked with change from shallowing upward cycles to deepening upward cycles (Fig. 3). Shallow water biota, especially imperforate foraminifera became mostly extinct, only in some horizons shallow water biota was able to inhabit the platform, which was in that moment in the catch-up stages of growth. On the other hand, some new hyaline foraminifera appeared (*Orbitoides hottingeri* VAN HINNE). Initial drowning was caused by the second Late Cretaceous sea-level rise, which has begun in the Late Santonian and reached its climax in the Campanian (HAQ et al., 1987). Though its absolute amplitude almost equals that of the Cenomanian-Turonian, the rise of the sea-level occurred at a slower rate, lasted longer and included more short term oscillations. For this reason, it was easy for carbonate deposition to keep pace with the slow sea-level rise. Therefore the sea-level rise did not result in complete drowning and only an incipiently drowned platform was produced.

With the following sea-level fall, the shallow water sedimentation was reestablished and resulted into what was named by JURKOVŠEK et al. (in press) the Lipica Formation. In the Southern Trieste-Komen Karst it was capped by the emersion in the Late Campanian. In contrast, in the Mount Nanos it was capped by the Upper Maastrichtian pelagic limestones (ŠRIBAR & PLENIČAR, 1991), which contains Late Maastrichtian planktonic foraminifer *Gessserina gessneri* (BOLLI). That is supposed to be caused by collapse of the northern plat-

form margin. Shallow water sedimentation has continued into the Middle Maastrichtian, except for the Nanos and Postojna area.

SUMMARY AND CONCLUSIONS

In the Cretaceous, southwest Slovenia was part of the Adriatic-Dinaric carbonate platform. In the Late Cenomanian-Early Turonian, the platform regime was temporarily interrupted by relative sea-level rise, producing pelagic environments ("drowned platform"). The deposits are interpreted as TST. This event is correlated with global eustatic sea-level rise. After that, the carbonate platform regime was reestablished, correlating again with a global eustatic event, in this case a sea level fall, but soon the platform experienced a paleogeographic differentiation. In some areas a long-lasting HST followed, in others (mostly in the southeast) the platform deposition soon came to an end due to tectonic upthrust of the Savudria-Kvarner block. The second Upper Cretaceous eustatic maximum (Santonian-Campanian) also left its signatures, but because it occurred at a slower rate, lasted longer, and included more short-term oscillations, it produced only incipient drowning on the platform ("limestones with pelagic influence" in Fig. 1). The Late Campanian emersion also left recognizable signatures on stable parts of the platform, similar to what has been established in Dalmatian part of the platform (Brac Island, south Herzegovina). Mount Nanos Shows a continuous sedimentation with Upper Maastrichtian pelagic limestones, which is supposed to be caused by collapse of the northern platform margin.

All the data presented indicate that the post-Cenomanian evolution of the platform was more complex than previously thought (e.g. "the dominant theme of this time was one of [platform] recovery", JENKYNS, 1991, p. 1015), with both stable areas conforming with global eustatic events and regional differences due to variable tectonic upthrust, platform margin collapse, etc.

REFERENCES

- BIGNOT, G. (1972): Recherches stratigraphiques sur les calcaires du Crétacé supérieur de l'Éocène d'Istre et des régions voisines - essai de révision du Liburnien.- *Travaux du Laboratoire de Micropaléontologie Univ. Paris VI*, 2, 1-353, Paris.
- BUSER, S. (1989): Development of the Dinaric and the Julian Carbonate Platforms and of the Intermediate Slovenian Basin NW Yugoslavia).- *Mém. Soc. Geol. Ital.*, 40, 313-320, Roma.
- GUŠIĆ, J. & JELASKA, V. (1990): Upper Cretaceous stratigraphy of the island Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform.- *Opera Academiae scientiarum et artium Slavorum meridionalium*, 69, 160 p., Zagreb.
- GUŠIĆ, J. & JELASKA, V. (1993): Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and its consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform.- *Geol. Rundsch.*, 82, 676-686.
- HAQ, B.U., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. (1987): Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic.- *Science*, 235, 1156-1167.
- JELASKA, V., GUŠIĆ, I., JURKOVŠEK, B., OGORELEC, B., ČOSOVIĆ, V., ŠRIBAR, L. & TOMAN, M. (1994): Upper Cretaceous Geodynamic Evolution of the Adriatic-Dinaric Carbonate Platforms.- First International Meeting on Perimediterranean Carbonate Platforms, Abstracts, 81-82, Marseille.
- JENKYNS, H.C. (1991): Impact of Cretaceous sea level rise and anoxic events in Mesozoic carbonate platform of Yugoslavia.- *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 75, 1007-1017.
- JURKOVŠEK, B., POLJAK, M., OGORELEC, B., BUSER, S., TOMAN, M. & ŠRIBAR, L. (1989): Kredne in paleogenske plasti Zunanjih Dinaridov.- *Vodnik ekskurzije, Geološka karta SFRJ 1:50.000*, 35 p., Lipica.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. (in press): Formacijska geološka karta 1:50.000 južnega dela Tržaško komenske planote.- *Geologija*, 38, Ljubljana.
- KOCH, R. (1987): Fazies und Diagenese eines Biostrom-Komplexes Oberkreide, Jugoslawien.- *Zeitschr. Erdöl Kohle, Erdgas, Petrochem.*, Compendium, 78/79, 41-64.
- PLENIČAR, M. (1960): Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem.- *Geologija*, 6, 22-145, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1973): Radioliti iz krednih skladov Slovenije I.- *Geologija*, 16, 187-226, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1975): Hipuriti Nanosa in Tržaško-komenske planote.- *Razprave SAZU*, 4, razred, 18/4, 85-115, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1977): Rudisti v krednih skladih Slovenije.- *Geologija*, 20, 5-31, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1982): Rudistna favna Snežnika.- *Razprave SAZU*, 4. razred, 14/I, 1-26, Ljubljana.
- PLENIČAR, M. (1983): The living environment of the Cretaceous fauna in the northwestern Dinarides.- *Boll. Soc. Pal. Ital.*, 22/I-2, 49-51.
- PLENIČAR, M. (1993): Apricardia pachiniana Sirna from the lower part of Liburnian beds at Divača Triest-Komen Plateau).- *Geologija*, 35, 65-68, Ljubljana.
- POSAMENTIER, H.W. & JAMES, D.P. (1993): An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. - In: POSAMENTIER, H.W., SUMMERHAYES, C.P., HAQ, B.U. & ALLEN, G.P. (eds.): *Sequence Stratigraphy and Facies Associations*. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment., 18, 3-18.
- ŠRIBAR, L. & PLENIČAR, M. (1991): Zgomjekredne cenocone v jugozahodni Sloveniji.- *Geologija*, 33, 171-205, Ljubljana.



Paleoecology and Depositional Environments of the Upper Miocene Sediments in the NW Part of the Sava Depression

Jasna TADEJ & Krešimir KRIZMANIĆ

Key words: Shallow clastic depositional environments, Transgressive succession, Paleoecology, Palynology, Dinoflagellates, Freshwater Upper Miocene deposits, Sava Depression, Paratethys, Croatia

Abstract

The sedimentation of Lower Pontian Iva-sandstones from Iva Production Field took place in brackish to freshwater environment. Due to transgressive reworking of the abandoned delta on inner to outer Paratethys shelf area, a succession of sediments with fining and thinning upward sequences, along with sedimentation of elongate sand ridges and bars, lenticular, sheet-like and channel-fill shelf sand bodies, as well as interbar and shelf marl deposits, have been developed. Distribution and geometry of the sediments were strongly influenced and generated by local topography and storm, current and tidal processes.

INTRODUCTION

The Iva Production Field is situated on the NW part of the Sava Depression, forty kilometres SE from Zagreb, capitol of Croatia. Cored rock intervals from boreholes Iva-15 and Iva-51 were investigated.

Detailed petrographic, SEM, chemical and grain size analyses have been performed as well as fully examination of the structural characteristics of the cores. Besides palynostratigraphic dating of the sediments, the paleoecology is obtained by studying the paleoenvironmentally diagnostic taxa. Palynofacies analyses were carried out by counting 300 macerals in macerates.

PALYNOLOGY

Total organic content vary from very poor to rich in rock macerates of the selected boreholes. Reciprocal relations of the different kerogen groups show an increase of lignohumic clasts portion in deeper well intervals. The differences in the amorphous matter allotment are not sufficiently marked. More applicable

data were gathered by studying liptinite component which have been divided into six characteristic categories: proximal and distal dinoflagellates, other algae, bisaccate pollen, small pollen, and spores. Dinoflagellates abundance generally decreased in deeper well interval rocks. Proximal dinoflagellates prevailed over distal ones in macerates. All this pointed out that the sediments from lower intervals of boreholes Iva-51 and Iva-15 had been deposited on relatively shallow and proximal shelf, while the upper well interval sediments had been deposited in deeper and distal depositional environment on inner to outer shelf of Paratethys. In taphocoenosis dinoflagellate taxa characteristic for outer neritic as well as littoral facies were mixed (Figs. 1 and 2). Due to a mechanical damage and medium to high thermal heterogeneity of the palynomorphs, the resedimentation and migration of nonconsolidated deposits in shallow water shelf area (neritic) become the most probable presumption. That was the reason why the ecologically and stratigraphically different dinoflagellate species were mixed together (Figs. 1 and 2).

Species and generic dinoflagellate diversity is greater in rocks from well Iva-15. It seems that these sediments were deposited in deeper water and more distal environments, more open shelf area respectively, than sediments from well Iva-51.

Abundance of the other algae (*Botryococcus braunii*, *Spirogyra* sp., *Pediastrum* sp.) and bisaccate pollen shows only gentle increasing trend to the older sediments. Trend showing representation increase of the small pollen in deeper well interval macerates, and specially increase of spores abundance, suggests again that the rocks from deeper well intervals were deposited in relatively shallow water depositional environment.

The quality of water was specified according to green algae *Spirogyra* and *Botryococcus* which live in predominantly fresh to brackish shallow waters (VAN GEEL et al., 1980/1981), as well as green alga *Pediastrum* which is exceptional fresh water environment indicator.

Chronostratigraphical division was made regarding palynological biozonation of Hungarian Central Paratethys strata based on phytoplankton analyses, chiefly,

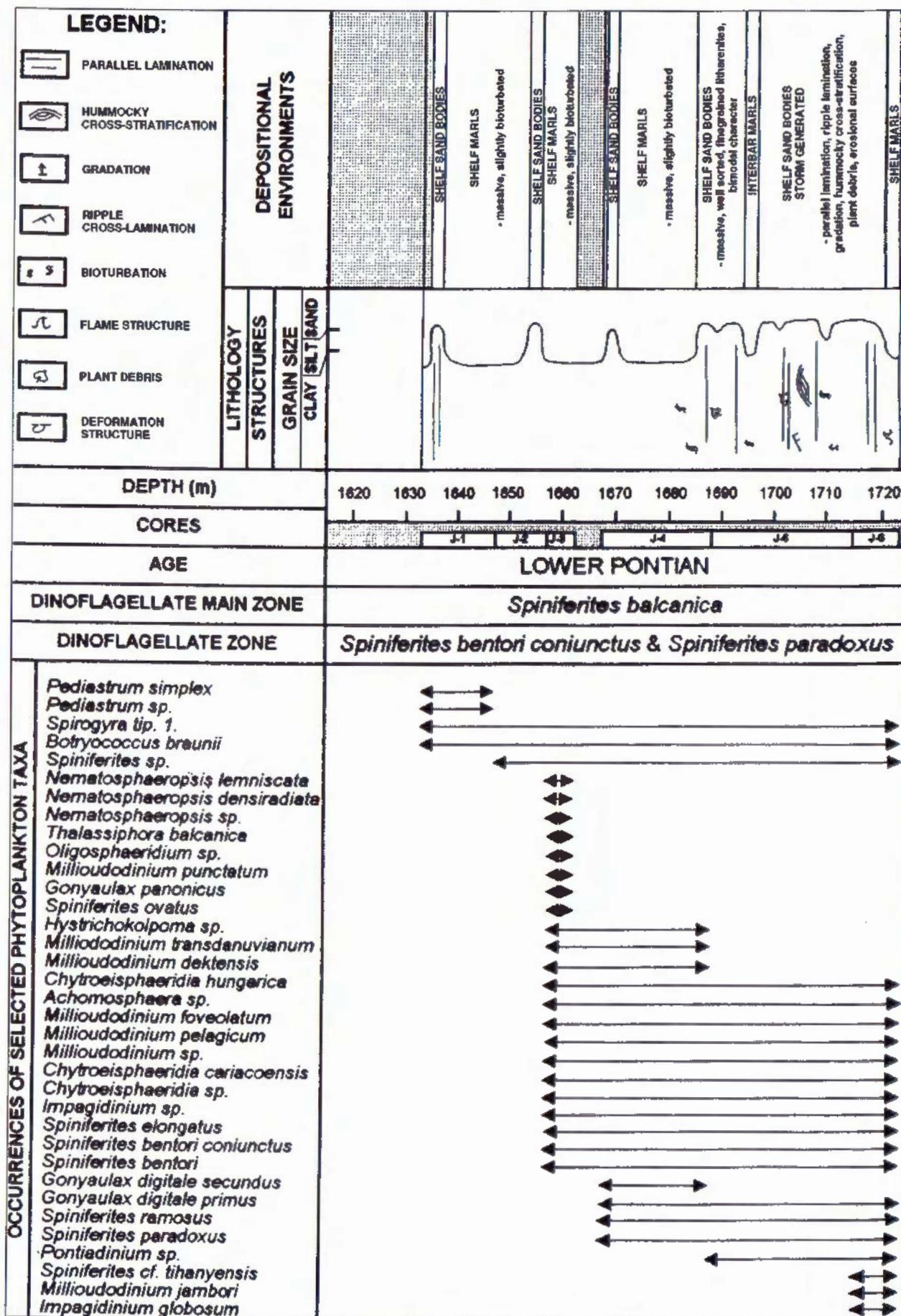


Fig. 1 Stratigraphical column of the well Iva-51 cored intervals.

dinoflagellate cysts (SÜTÖ-SZENTAI, 1982a, 1982b, 1988).

The sediments belong to the Lower Pontian. The age was defined by dinoflagellate species *Spiniferites paradoxus*, *Spiniferites bentori coniunctus*, *Millioudinum foveolatum*, *Millioudinum pelagicum*, etc. (SÜTÖ-SZENTAI, 1988).

PETROGRAPHY

Clastic sediments studied in this paper are Lower Pontian sandstones and marls.

Sandstones are predominantly fine-grained, rarely medium-grained or pebbly litharenites of uniform mineral composition. They mostly contain mono- and polycrystalline quartz grains and dolomite fragments. Less abundant are micas, altered feldspars, chlorites and quartzite, chert, low-grade metamorphic rock fragments. Clay minerals are seldom, mostly kaolinite in form of grain coatings. Grains are subangular to rounded with generally good sorting. Pore space is occupied by dolomite cement, partly displaced by Fe-calcite. Pebby sandstones were determined on Iva-15 well (Fig. 2). Their mineral composition is identical to previously described sandstones, but they contain dispersed coarser (up to 5 mm), well rounded rock fragments (mostly quartzite, chert, quartzarenite).

Pelitic sediments present a mixture of clay and carbonate minerals, and according to chemical analyses are classified as marls to limey marls. Sporadically they contain some silt size quartz grains and micas.

SEDIMENTOLOGY

Based on textural and structural characteristic as well as palynological data of deposits, finning upward transgressive successions were recognized.

According to well-log interpretation prograding delta complex was established on the lowest part of Iva-sandstones. Unfortunately, in the studied wells this interval was not cored. During transgression clastic sediment influx ceased, transforming deltas into sediment trapping estuaries and shallow indented shelf, where elongate, lenticular, sheet-like and channel-fill sand bodies stacked in shelf marls were formed, controlled by topography and shelf processes (PHILLIPS et al., 1985).

In well Iva-51 massive, slightly bioturbated shelf marls with storm generated and thin transgressive sheet-like sand bodies were determined (Fig. 1). Tempestites are characterized by erosional base, amalgamated weakly graded sands containing mud clasts, hummocky cross-stratification, wave-ripple lamination and bimodal character (EINSELE, 1992). Transgressive sheet-like sand bodies are thin, well sorted, homogeneous with no significant structures. They were deposited in low energy conditions of outer shelf.

Sand bodies from Iva-15 well are thicker (Fig. 2) and they were formed by repeated redeposition of delta sediments by storms, current and tidal processes on inner to outer shelf environments. Amalgamated sand bodies with structures significant for storm generated inner shelf sediments were formed (BOURGEOIS, 1980). Due to transgression and storm wanning thick sequences of slightly graded, well sorted homogenous sands were deposited. In the base they contain coarser pebbly sandstone ("lag") with mud clasts probably derived from underlaying strata by erosion during transgression. At the end of transgressive succession the shelf marls were deposited.

CONCLUSION

Regarding the results and discussions presented above, several conclusions about Iva-sandstones from Sava depression were established, some of them for the first time.

Sediments are Lower Pontian in age. Deposition of diverse sand bodies and marls took place in brackish to freshwater environment on inner to outer Paratethys shelf by transgressive reworking of abandoned delta. An interactive impact of local tectonics, subsidence, eustatic changes, paleorelief and all the shelf processes resulted with sedimentation of elongate sand ridges and bars, lenticular, sheet-like and channel-fill shelf sand bodies, as well as interbar and shelf marls.

REFERENCES:

- BOURGEOIS, J. (1980): A Transgressive Shelf Sequence Exhibiting Hummocky Stratification: The Cape Sebastian Sandstone (Upper Cretaceous), Southwestern Oregon.- Jour. Sed. Petrology, 50, 681-702.
- EINSELE, G. (1992): Coastal and Shallow Sea Sediments.- In: EINSELE, G. (ed.): Sedimentary Basins. 94-170, Springer-Verlag, Berlin.
- PHILLIPS, S., SWIFT, D.J.P. & SIEMERS, C.T. (1985): Shelf Sandstones in the Woodbine-Eagle Ford interval, East Texas.- In: TILLMAN, R.W. et al. (eds.): Shelf Sands and Sandstone Reservoir. SEPM Short Course Notes, 13, 503-558.
- SÜTÖ-SZENTAI, M. (1982a): Serves vazú mikroplankton biozonak a Kozep-Dunantúli pannóniai retegosszletében.- MAFI. Evi. Jel. 1980. Rol., 309-344, Budapest.
- SÜTÖ-SZENTAI, M. (1982b): Organic Microplankton and Sporomorphous Remains from the Pannonian from the Borehole Tengelic 2.- Ann. Inst. Geol. Publ. Hung., 65, 205-233, Budapest.
- SÜTÖ-SZENTAI, M. (1988): Microplankton Zones of Organic Skeleton in the Pannonian S. L. Stratum Complex and in the Upper Part of the Sarmatian Strata.- Acta Botanica Hungarica 34/3-4, 339-356, Budapest.
- VAN GEEL, B., BOHNCKE, S.J.P. & DEE, H. (1980/1981): A Palaeoecological Study of an Upper Late Glacial and Holocene Sequence from "De Borchert", The Netherlands.- Rev. Palaeobot. and Palynol., 31, 367-448, Amsterdam.

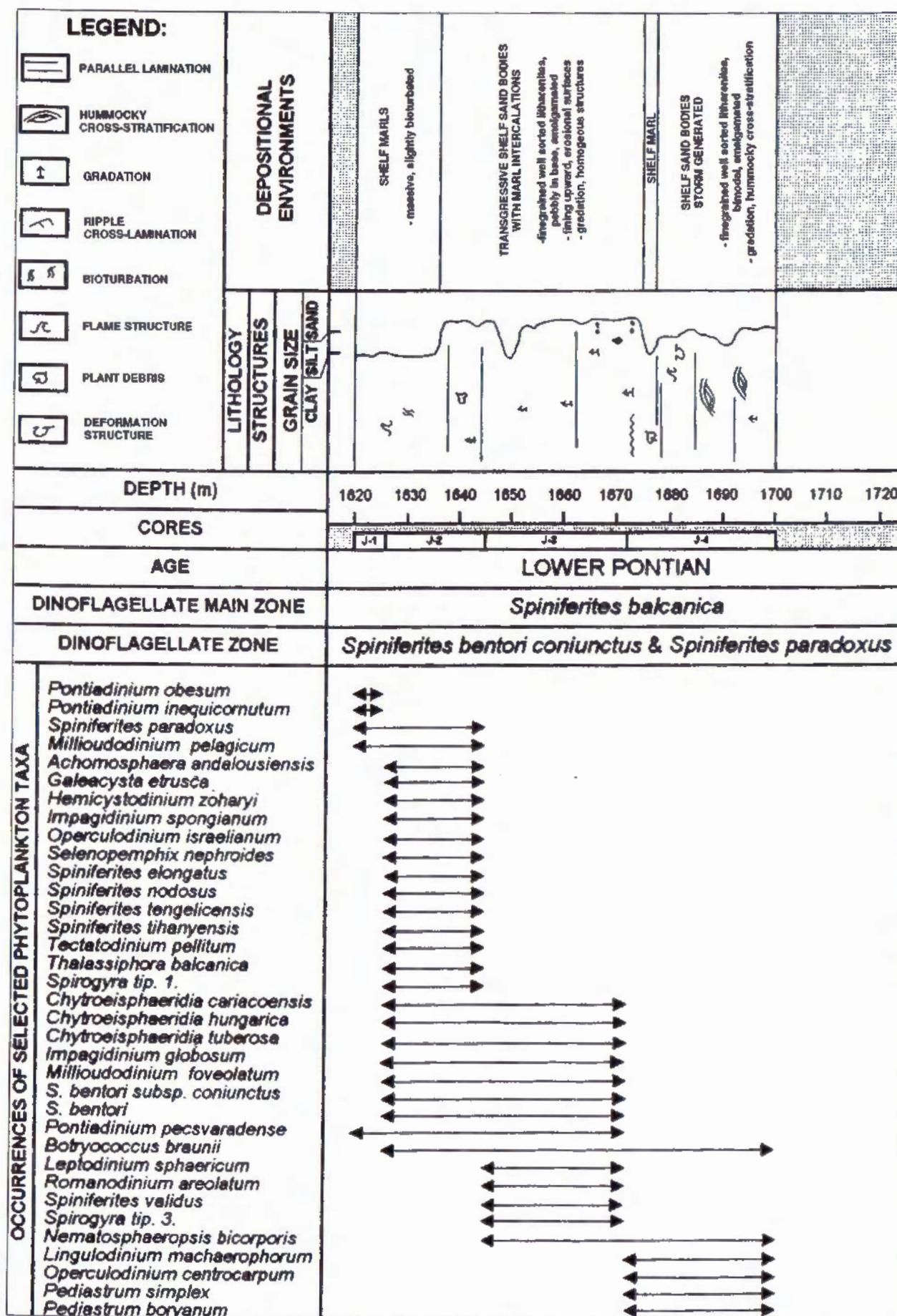


Fig. 2 Stratigraphical column of the well Iva-15 cored intervals.



Razvoj pliocenskih i pleistocenskih naslaga sjevernog i srednjeg Jadrana - karotažni markeri i korelacija

Vlasta TARI KOVAČIĆ

Ključne riječi: karotažni markeri, vulkanizam, podmorje Jadrana

Key words: Marker beds, Volcanic activity, Adriatic off-shore

Sažetak

Kvalitativnom interpretacijom karotažnih dijagrama prirodne radioaktivnosti i spontanog potencijala izdvojeni su karotažni facijesi i markerni slojevi neophodni za uspješnu korelaciju bušotina i sagledavanje geoloških odnosa. Pomoću paleontoloških, petrografskih, sedimentoloških, geokemijskih i kemijskih analiza bušotinskog materijala prepoznat je njihov geološki sadržaj i uvjeti taloženja.

Prikazani su rezultati obrade šezdesetak bušotina uzduž struktturnog uzdignuća Centralnog jadranskoga praga. Karotažni facijes Pl pliocenske starosti sadrži brojne "hot streak" proslojke s povećanim sadržajem organske tvari. Pleistocensi markerni slojevi GR, L₃ i L₂ rezultat su vulkanske aktivnosti i taloženja piroklastičnog materijala (bentonit i tuf) u marinskom okolišu.

1. UVOD I METODE RADA

Pleistocensi slabovezani pješčenjaci nosioci su plina u razmatranom prostoru. Tijekom istraživanja plinskih polja izbušeno je sedamdesetak bušotina (sl. 1) na temelju kojih je izvršena interpretacija i korelacija karotažnih markera. U dosadašnjim radovima je u tu svrhu korištena isključivo krivulja spontanog potencijala (SP-log). Markeri ustanovljeni na taj način nisu pružali sigurnu korelaciju u prostorima gdje su česte izmjene laporanja i pješčano-siltoznih intervala. Na krivuljama prirodne radioaktivnosti (GR-log, spektralog) jasno su izražena tri markerna sloja i jedan karotažni facijes visoke radioaktivnosti, karakterističnog oblika krivulje i širokog rasprostiranja, što je u ovom radu prvi put prezentirano. Gornja dva markerna sloja odgovaraju prije poznatim markerima L₂ i L₃ (TONČIĆ-GREGL et al., ARSIĆ, fond stručne dokumentacije INA Naftaplina) na SP-logu, koji se sada sa sigurnošću mogu korelirati kroz cijeli prostor. Karotažni facijes Pl (pliocen) i marker GR (najdonji pleistocen) vidljivi su jedino na GR-logu. Interpretacijom spektraloga i petrografske analizama ustanovljeno je porijeklo visoke radioaktivnosti, a kartiranjem debljina markernih slojeva, intenziteta radioaktivnosti i njihovog indeksa (debljina

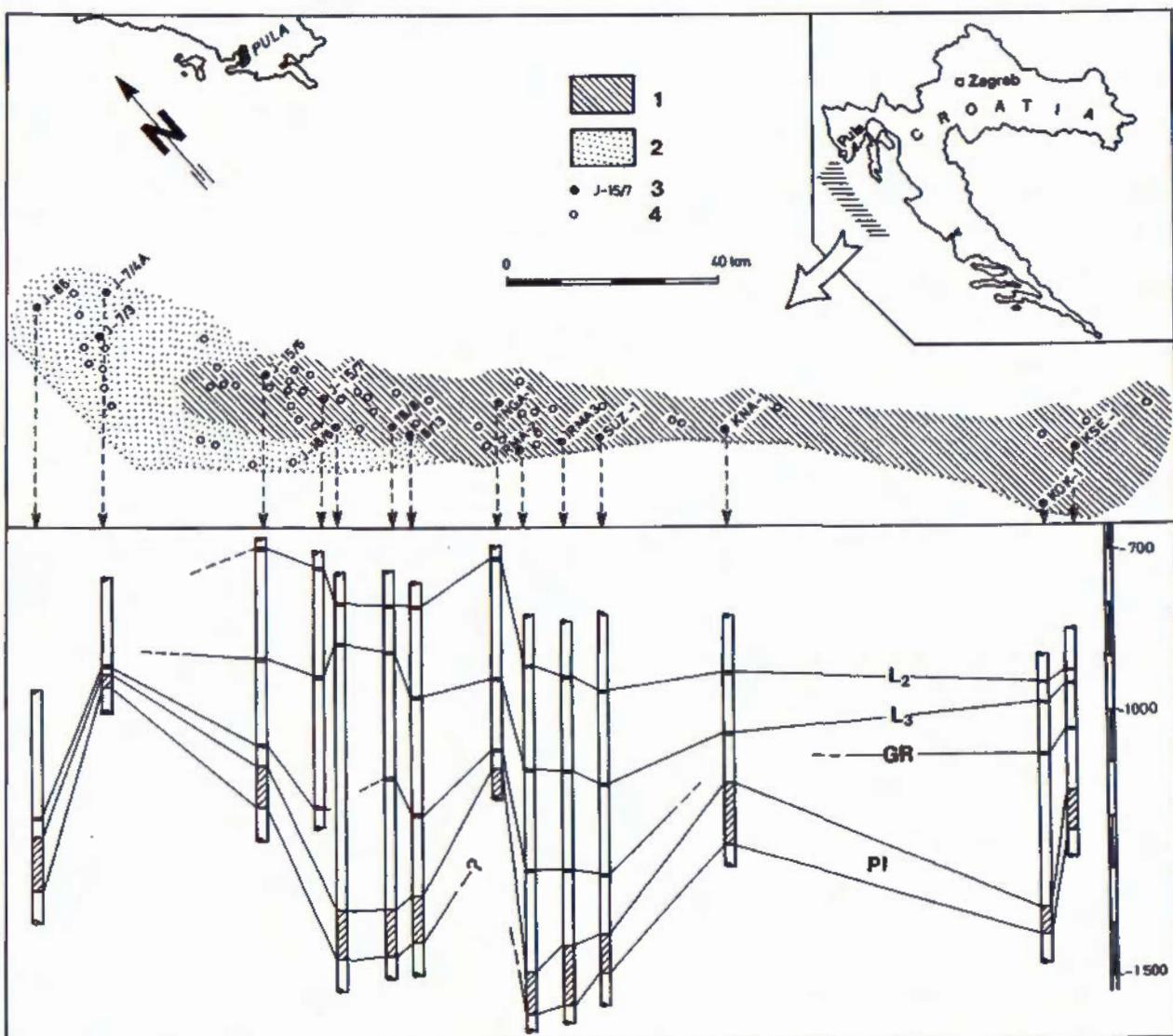
Abstract

The Pleistocene marker beds, as well as the Pliocene wireline facies unite, recognised by qualitative interpretation of GR and SP logs in about sixty wells, present a relevant basis for the correlation and an understanding of the depositional and structural history of the area. High radioactive hot streaks within the Pliocene transgressive unit of massive shale present organic rich clay intervals of marginal marine or low energy marine reductive environment. The radioactivity of the Pleistocene marker beds GR, L₃ and L₂ expressed the pyroclastic layers of bentonite and tuff, that were deposited in the shallow open marine environment. The interbedded volcanics provide the precise stratigraphic information because they present a short term event and indicate the same age as that of the enclosing sediments.

markernog sloja / intenzitet zračenja) prognoziran je položaj vulkana, izvorišta piroklastičnog materijala i utjecaj marinske sredine na njihovu depoziciju.

2. PLIOCEN

Na GR-logu jasno se odražava karotažni facijes Pl (sl. 2), koji se sastoji od brojnih "hot streak" intervala. U donjem dijelu facijesa intervali su deblji i jačeg intenziteta gama zračenja (>200API), a najčešće je odvojen od gornjeg intervalom bez povećane radioaktivnosti. Mjerena spektralogramom pokazuju povećani sadržaj U²³⁸ i Th²³² (VULAMA, 1991) što upućuje na prisustvo organske tvari u glinovito-laporovitom sedimentu. Geokemijskim analizama (BARIĆ et al., fond stručne dokumentacije INA Naftaplina) to je potvrđeno. Kerogen je tipa III i II. Terigeno porijeklo kerogena upućuje na sedimentaciju u reduktivnim uvjetima rubno marinskih močvara. Na njima slijede naslage otvorenog neritika s promjenljivim sadržajem planktonskih i bentičkih organizama. Smanjenje ukupnog broja foraminifera praćeno piritom (MARJANAC, fond stručne dokumentacije INA Naftaplina) u domenu "hot streak" intervala govori o učestalom obnavljanju reduk-



Sl. 1 Položajna karta i shematski profil. Legenda: 1 - prostor u kom su prisutni svi karotažni markeri; 2 - prostor u kome nema markera L_2 i L_3 ; 3 - referentne bušotine; 4 - interpretirane bušotine.

Fig. 1 Location map and schematic cross section. Legend: 1 - area with all marker beds; 2 - area without marker beds L_2 and L_3 ; 3 - referent wells; 4 - studied wells.

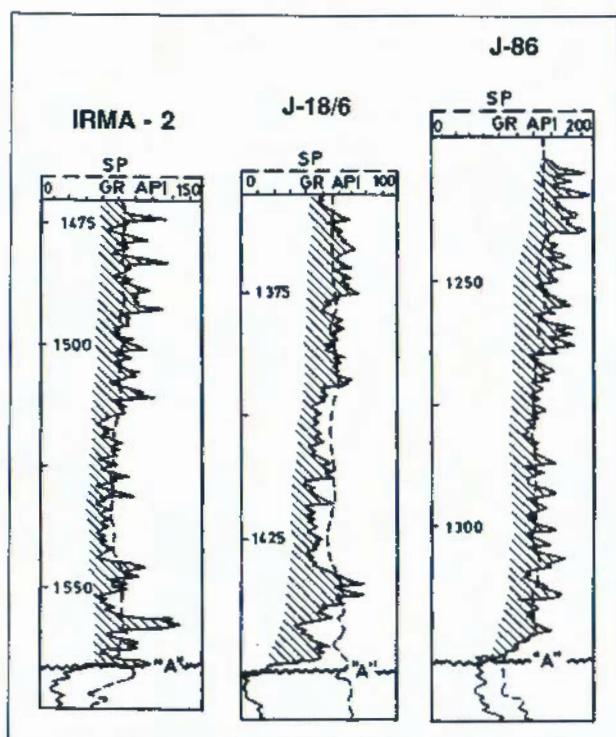
tivnih uvjeta kao odraz oscilacije morske razine. Usporedujući geološke pokazatelje s eustatskom krivuljom (HAQ et al., 1987) donji dio karotažnog facijesa pripada transgresivnoj sekvencijski s tendencijom preodabranja okoliša (maksimum krajem srednjeg pliocena), a gornji dio s tendencijom opločavanja, da bi krajem pliocena na rubu bazena došlo do mjestimične emerzije (KALAC, 1993).

3. PLEISTOCEN

U donjem pleistocenu definirani su karotažni markeri GR, L_2 i L_3 (sl. 3, 4, i 5). GR marker vidljiv je jedino na GR-logu. To je sloj debljine 1-2 metra prisutan u gotovo svim razmatranim buštinama. Njegov karakter određen je interpretacijom spektraloga iz bušotina Ksc-1 i Kok-1. Sadržaj U^{238} iznosi 8 - 13 ppm, Th^{232} je 10 -

12 ppm, a K^{40} je < od 5%, što su vrijednosti svojstvene bentonitu (FERTL, 1979).

Markeri L_3 i L_2 definirani su sedamdesetih godina na krivuljama elektrokarotaže kao slojevi laporanog. Zbog prirode SP-loga, pogotovo ako se u naslagama često izmjenjuju laponi i pješčani intervali, korelacija nasлага dolazi u pitanje. Međutim na GR-logu oba markera imaju svojstven oblik krivulje, identičan u cijelom prostoru (sl. 4 i 5). Usporedujući s krivuljom SP-a očito je da se unutar naizgled jednoličnog laporanog, prema analizi spektraloga i petrografske analizama, nalazi tanko uslojeni bentonit proslojen s marinskим sedimentom koji sadrži hladnodomnu foraminifersku zajednicu - ?glacijsala (KALAC, 1993). Iz toga proizlazi da su sva tri markera sloja nastala ranom dijagenezom radioaktivnog vulkanskog pepela u marinskom okolišu, pa predstavlja najbolji mogući vremenski horizont u vre-



Sl. 2 Izgled karotažnog facijesa Pl.

Fig. 2 Characteristic shape of the wireline log facies Pl.

mensko - prostornoj korelaciji.

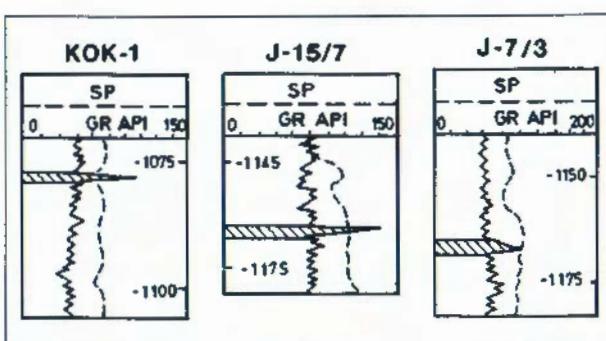
Iz karata intenziteta gama zračenja i debljina markernih slojeva (sl. 6A i 6B) vidljivo je da je donos piroklastičnog materijala bio sa istočnog rubnog dijela pliocensko - pleistocenskog bazena i to iz najmanje tri izvorišta (submarinskih vulkana). Udio marinske komponente ilustrira indeks odnosa debljina markernih slojeva i intenziteta radioaktivnosti (sl. 6C), gdje najmanje vrijednosti pokazuju blizinu izvorišta.

U sjeverozapadnom dijelu prostora kao i u dubljim dijelovima bazena nema piroklastita što smanjuje sigurnost korelacije.

4. DISKUSIJA

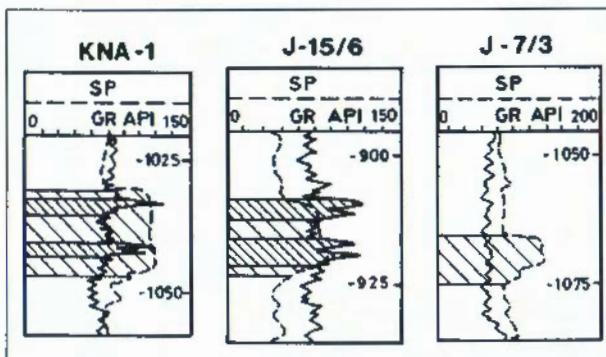
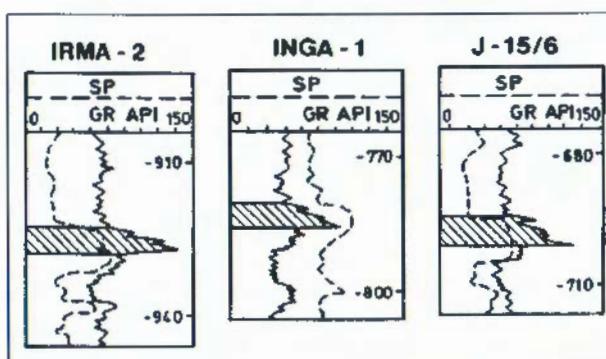
Pliocensko - pleistocenska depresija nastala je uzdizanjem Istarske platforme i Centralnog jadranskog praga tijekom miocena, nakon denudacije izdignutog paleoreljefa u mesinjanu (erozijska diskordancija "A"). Transgresivna sekvencija pliocena započinje glinovito - laporovitim, organskom tvari bogatim naslagama reduktivnog okoliša slanih i osladjenih močvara. Na njima slijede marinske naslage otvorenog neritika u kojima se zbog oscilacija morske razine višestruko obnavljaju reduktivni uvjeti. U dubljem dijelu depresije transgresija započinje u donjem pliocenu, a prema rubovima kasnije, tijekom srednjeg i početkom gornjeg pliocena (KALAC, 1993).

Kroz pleistocen depresija se zapunjava sedimentima transgresivno - regresivnih sekvencijskih, ovisno o klimati-

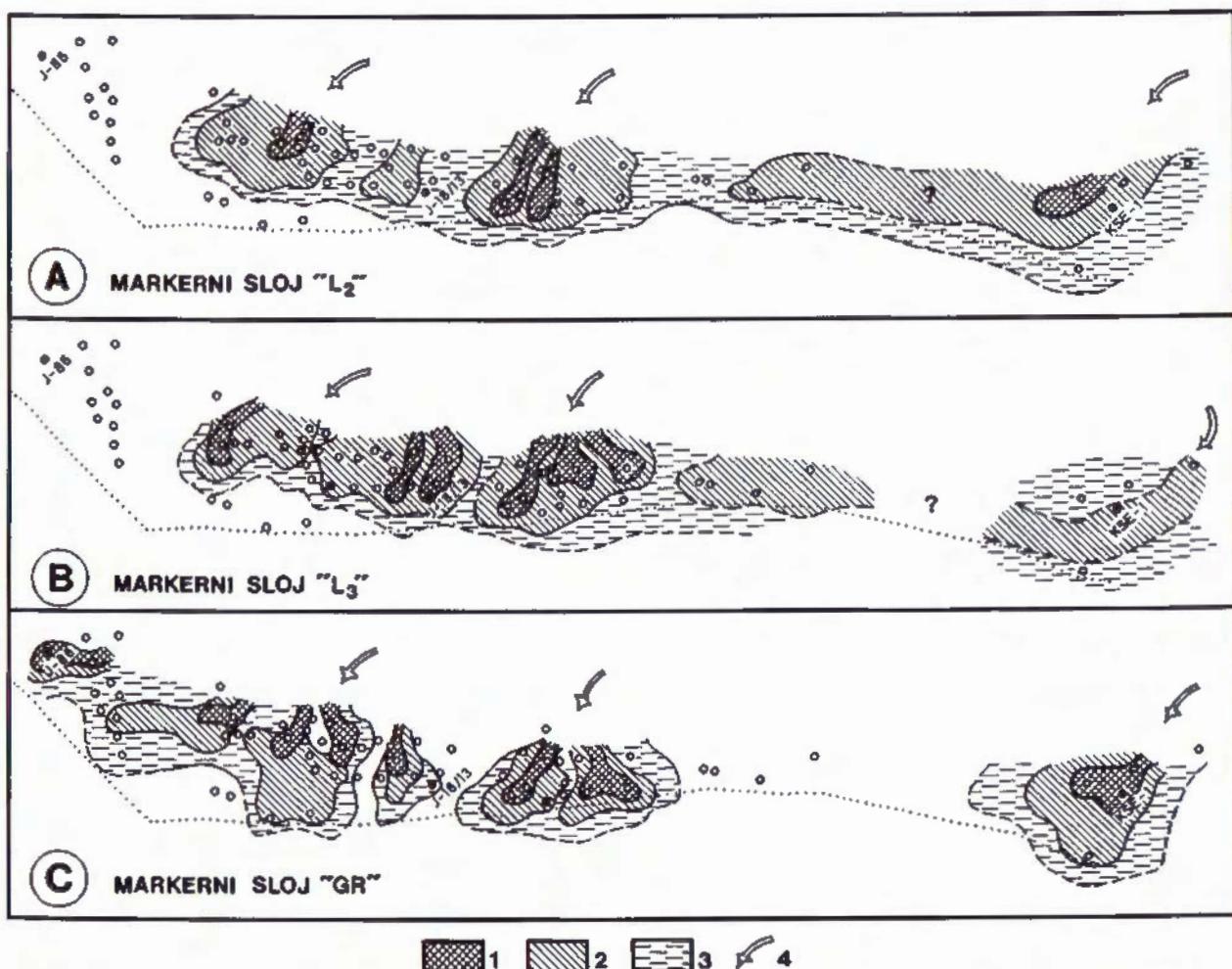


Sl. 3 Izgled markernog sloja GR. Osjenčano - bentonitno-tufitične naslage.

Fig. 3 Characteristic shape of the marker bed GR. Shaded - bentonite and tuff.

Sl. 4 Izgled markernog sloja L₃. Osjenčano - bentonitno-tufitične naslage.Fig. 4 Characteristic shape of the marker bed L₃. Shaded - bentonite and tuff.Sl. 5 Izgled markernog sloja L₂. Osjenčano - bentonitno-tufitične naslage.Fig. 5 Characteristic shape of the marker bed L₂. Shaded - bentonite and tuff.

skim promjenama (glacijacije) i tektonskoj aktivnosti praćenoj vulkanizmom. Markerni slojevi dokazuju tri epizode pojačane vulkanske aktivnosti na prostoru od cca 500 km², kada su nastali paralelni slojevi bentonita (radioaktivni silikatni vulkanski pepeo koji u ranoj dijagenezi prelazi u montmorilonitne i zeolitne gline, FISCHER & SCHMINCKE, 1984) i slabije izmijenjenog vitrinitnog tufa. Rasprostiranje pepela submarinskih erupcija ovisi o nagibu i reljefu padine te morskim strujama, a u blizini vulkana naslage imaju najčešće



Sl. 6 Svojstva markernih slojeva. A) mapa intenziteta gama zračenja markernog sloja L₂. Legenda: 1 - GR >150 API; 2 - GR = 100-150 API; 3 - GR <100 API. B) Debljina markernog sloja L₃. Legenda: 1 - 5-7 m; 2 - 8-15 m; 3 - 15-20 m. C) Utjecaj marinske sredine na depoziciju markernog sloja GR izražen kao odnos debljine sloja i intenziteta gama zračenja. Legenda: 1 - <7 m/GR_{API}; 2 - 7-9 m/GR_{API}; 3 - >10 m/GR_{API}.

Fig. 6 Marker's bed quality display. A) Gamma ray intensity of the marker bed L₂. Legend: 1 - GR >50 API; 2 - GR = 100-150 API; 3 - GR <100 API. B) Thickness of the marker bed L₃. Legend: 1 - 5-7 m; 2 - 8-15 m; 3 - 15-20 m. C) Marine influence expressed as the relation of the thickness and gamma ray intensity. Legend: 1 - <7 m/GR_{API}; 2 - 7-9 m/GR_{API}; 3 - >10 m/GR_{API}.

oblik lepeze. Karte debljina bentonitnih naslaga i intenziteta radioaktivnosti pokazuju donos materijala iz najmanje tri izvorišta smještена uzduž uzdignuća Centralnog jadranskog praga.

5. ZAKLJUČAK

Naslage bentonita idealni su stratigrafski markerni horizonti jer su široko raprostranjeni u vrlo kratkom vremenu. Utvrđivanjem njihovog prisustva u pleistocenskim naslagama jadranskog podmorja omogućena je sigurna stratigrafska korelacija, ali je i otvoreno pitanje vulkanizma i tektonskih procesa koji su ih uzrokovali.

Pliocenske naslage izgraduju glinoviti lapor koji je nemoguće korelirati pomoću SP-loga. Na GR-logu, što je svojstveno takovim naslagama, utvrđeni su intervali visoke radioaktivnosti (hot streaks) neophodni za vremensko - prostornu stratigrafsku korelaciju.

LITERATURA

- HAQ, B.V., HARDENBOL, J. & VAIL, P.R. (1987): Chronology of fluctuating Sea levels since the Triassic.- Science, 235, 1156-1167.
- KALAC, K. (1993): Biostratigrafska istraživanja pliocenskih i kvarternih naslaga podmorja Jadrana.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 127p.
- FERTL, W.H. (1979): Gamma Ray Spectral Data Assists in Complex Formation Evaluation.- Transactions, SPWLA, 6th European Evaluations Symposium, London.
- FISCHER, R.V. & SCHMINCKE, H-U. (1984): Pyroclastic Rocks.- Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio, 427 p.
- VULAMA, I. (1991): Utvrđivanje matičnih stijena na temelju geofizičkih mjerjenja u buštinama.- Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, 129 p.



Lutetian Transgression in Central Istria: the Rogovići-Mečari Section Case

Alceo TARLAO¹, Giorgio TUNIS² & Sandro VENTURINI³

Key words: Tertiary limestones, Central Istria, Transgressive-regressive events, Tectonics

Abstract

Some transgressive-regressive phases are recorded in the Eocene limestones of a well exposed section in the environs of Pazin. Tectonism or/and eustatic events are believed to be the main control on the sequence.

The area of Rogovići-Mečari profile belongs to the southern part of the Pazin syncline. The rim of the syncline consists of Eocene and Cretaceous limestones, northwards basinal flysch sediments deposited. The section is situated immediately south west of Pazin and north of Mt. Kamus; it is accessible through Rogovići (N) or through Mečari by the new road under construction. The section from Rogovići to Mečari is about 1.6 km long; the sequence of beds herein examined is only some tens of metres thick.

Notwithstanding the reduced thickness, the section documents an example of the complex Paleogene stratigraphy influenced by local synsedimentary tectonics. In four well exposed observation points along the profile one can observe: (i) the Cretaceous palaeorelief characterized by neptunian dykes and the sharp boundary between the Cretaceous limestones and the Alveolina-Nummulites limestones; (ii) a small karstic depression underlying the Alveolina-Nummulites limestones infilled by bauxite and by marly limestones of the Liburnian facies; (iii) a very irregular surface within the Nummulites limestones representing a regressive event; (iv) transition from the Nummulites limestones to glauconitic marly limestones very rich in crabs; (v) occurrence of a giant block made of Turonian limestones collapsed from the platform; (vi) occurrence of a very rich and diverse macrofauna at the base of the flysch sequence.

(i) A sharp discontinuity separates the Cretaceous from Middle Eocene limestones (pl. I, fig.1). The time gap represented at the boundary is not easy to quantify due to recrystallization of the Cretaceous limestones. A

Turonian age can be inferred from these relatively open facies with rudistid skeletal fragments and poorly diversified microfauna (*Ophtalmidiidae*, *Ataxophragmidae*, *Nezzazatinella* sp.). Evidence for a prolonged subaerial exposures at the boundaries is provided by the irregular relief due to karstification and by some macroscopic diagenetic features which include dissolution cavities, neptunian dykes (pl. I, fig. 1) and grikes (?). Neptunian dykes are filled both by continental and/or marine sediments: i.e. Alveolina-Nummulites packstones, isolated nummulits, coal (pl. I, fig. 2), stalactites, bauxite, and rare Cretaceous limestones collapsed from the walls. The dykes are likely N-S orientated. Different phases of faulting activity are suggested by the variety of sediments (i.e. bauxite, coal and Eocene limestones) which reflects different stages of infill and by the removal from the walls of the dykes of internal clasts which originally underwent local adaptations to the irregular morphology of the cavities (pl. I, fig. 3). Few grikes (?) widen and connect between each other or with bigger cavities. Both dykes and grikes are filled by extremely poor sorted material; the majority of the clasts are angular to subrounded and appear disorientated. Sometimes the walls of the cavities are interested by stalactitic growths containing bauxite grains. Trend of the infillings suggests different phases of enlargement of the dykes and, therefore, local extensional tectonics.

(ii) A small karstic depression (pl. I, fig. 4), approximately 70-110 cm thick and 4 m long, at the base of Alveolina-Nummulites limestones is filled, from the base to the top of the following: (1) bauxite with a thin lense of coal (see also HAMRLA, 1959) in the upper part and, possibly, a discontinuous very thin horizon of volcanics, for the first time pointed out in the Paleogene of Istria (Princivalle, after examination of our samples); (2) few marly limestone levels with brackish facies characterized by more or less abundant mollusks (*Stomatopsis* sp., *Potamides* sp., etc.), plant remains, ostracods and rare foraminifers; (3) likely fresh water deposits with *Girvanella* rich boundstone/stromatolite facies and without any contribution by marine biota; (4) an horizon representing the transition from brackish facies (biomicrites with discorbids including in the

¹Via S. Martino, 42, I-34100 Trieste, Italia.

²Institute of Geology, p.le Europa, 1, I-34127 Trieste, Italia.

³Via Dradi 31, I-48100, Ravenna, Italia.

upper part zones of grainstones with miliolids, alveolinids and scarce nummulits) to fully marine facies.

This sequence indicates a "fluctuating internal transgression" characterized by microcycles connected to circulation of saline or fresh waters. Owing to the pre-existent karst morphology, the transition from fresh water to brackish and then to marine facies are interpreted to be linked to the shifting of the regional freshwater aquifer rather than to directly invading sea waters (see also CARANNANTE et al., 1994). The lack of pedogenically altered sediments also in the terrestrial deposits and the amalgamation of the uppermost part of this sequence with the basal part of the Alveolina-Nummulites limestones suggest continuity of the sedimentation. In account of the reduced thickness of the overlying Lutetian limestones, is likely to hypothesize that also the fresh water-brackish deposits pertain to the Middle Eocene. Similar successions to this one were recognized in several localities from the Adriatic carbonate platform as Liburnian beds (BIGNOT, 1972; ČOSOVIĆ et al., 1994; DROBNE et al., 1991; PAVLOVEC et al., 1991) and were mostly attributed to the Lower Eocene. Liburnian beds overlaid by Foraminiferal limestones crop out in Stara Baška on the Krk island and in Koromačno Cove on the Cres island (ČOSOVIĆ et al., 1994); the facies are characterized by laminated sediments with numerous tube-like forms, similar to *Girvanella* (*Microcolenus*). In Koromačno Cove, determined foraminifers document the Middle Paleocene to Lower Eocene age (see also HOTTINGER & DROBNE, 1980). However, the marine transgression could have produced similar facies in different periods. Careful palaeobathymetric/sequence analysis of the best Tertiary sections would be necessary to verify these transgressive phases.

(iii) In the Rogovići - Mečari section one of the thinnest complexes of Alveolina-Nummulites limestone and transitional beds is exposed; their thickness from the boundary with Cretaceous to that with flysch amounts to 20-25 m. Within the Foraminiferal limestones, alveolinids occur in the basal part of the succession, but according to the predominant occurrence of Nummulites and subordinately of Discocyclinas, these sediments can be considered as Nummulites limestones or Nummulites - Discocyclinas limestones (see also DROBNE, 1977; DROBNE & PAVLOVEC, 1991).

Within the Nummulites limestones, 4.5-5 m below the top of the unit, an erosional surface with sharp lithological change occurs (pl. I, fig. 5). This, unknown in literature, discontinuity is represented by a wavy, irregular surface. Below the erosional surface, some thin pinched out beds are made up of glauconitic limestones rich in planktonic foraminifers (*A. bullbrookii*) that document a fast deepening and a sudden lowering of the rate of deposition (maximum flooding surface). The transgression has been followed by erosional processes due to flows strong enough to erode the substratum and by a regressive phase that restored the sedimentation of

foramol-type association (macroforaminifers, red algae, bryozoa). The occurrence of pockets of rhodolit rudstones-boundstones with *Lithothamnium* s.l. above the erosional surface points out a sharp decrease of water depth. This evolution is attributed to relative sea level changes as far as that effects of local tectonics have been unlikely (sudden drowning and uplift of the platform?).

The massive Nummulites-Discocyclinas limestones indicate on uniform deposition in a well aerated environment. The depth of deposition can be estimated on 40-50 m. Herein a fine specimen of *Harpactoxanthopsis* VIA (pl. II, fig. 1) has been taken out in a beautiful state; an unusual finding in the Nummulites limestones!

(iv) Near Rogovići, in a succession of three short symmetrical folds, the transition between Nummulites limestones and limestone with crabs has been observed (pl. I, fig.6).

High contents of glauconite in the upper part of the Nummulites limestones and in the lowermost part of transitional beds (packstone with crabs) indicate low rate of deposition, moderate temperature and low alkalinity of the environment; all these conditions are met during marine transgression.

According to planktonics/benthics ratio, JURAČIĆ (1980) interpreted depositional environment of the transitional beds from north of Pićan as 60-100 m deep shelf at the beginning, and about 1000 m by the end of their deposition. In the Mečari section the 40-50 cm thick basal glauconitic fine packstone is very rich in crabs, whereas echinoids and gastropods are more rare; the depth of deposition can be estimated on 150-200 m. Herein most of the marine biota seems autochthonous, except the scarce macroforaminifers. The abundance of crabs represents an interesting palaeoecological problem (see also BACHMAYER & NOSAN, 1959).

Globigerinal carbonate bed made up of totally washed planktonic sediments crops out within green marls, 70 cm above the base of the transitional beds. Transitional beds are considered to have been deposited in deep environment with neglectable water energy, but micropaleontological-sedimentological characteristics of this packstone very rich of globigerinas and other planktonics could represent the reworking of sediments by moderate bottom currents.

According to microfaunal assemblages an high rate of deepening may be inferred between the top of the Nummulites limestone (estimated depth 50-70 m), the packstone with crabs and the green marls (preflysch stage). Within the marls overlying the packstone with crabs, in few metres, the missing of *A. bullbrookii* and the transition between *Turborotalia pomeroli* and *T. cerroazulensis cerroazulensis* occur; the later species documents at least uppermost part of Middle Eocene. Differently from the previous maximum flooding surface, the drowning seems connected with the tectonic activity. By the Middle Lutetian, tectonics caused the break up and collapse of the platform and allowed the

subsequent stage of preflysch deposition. The pre-flysch facies are made up of marls with planktonic forams; the content of clay and silt increases upwards.

(v) Near Mečari a giant limestone block made of karstified wackestone-floatstone with rudist fragments, mollusks, and *Ophthalmidiidae* is directly overlaid by random orientated marls and/or by a debrite level. Owing to the alteration of bauxite along the contact with the host carbonate, grey marls are pyritized (pl. I, fig. 7). The surfaces of the block are characterized by bauxite karst infills and by 3-4 cm thick calcitized crusts with bauxite and iron/oxide. Paleogene limestones make up the bulk of the clasts of the debrite, with minor and rare Cretaceous limestone components. The good rounding of the giant block is unrelated to the present weathering because it was excavated during construction of the road. Thus the block must have been shaped by subaerial erosion and weathering on emerged land prior to resedimentation. Some likely subaerial surfaces may confirm this idea.

There is no indication on the age of karstification; it is very probable that karstification is coeval to that of the other Cretaceous limestones (pre-Lutetian age).

(vi) Some rich in macrofossil levels, few metres thick, crop out at the base of the first thin sandstone interbed; the fossiliferous levels were originated by mud flows and debris flows. Likewise the other "classical" fossiliferous localities in Istria (Grđoselo, Roč, Nugla, Čerešnjevica, Mt. Starai, Gračišće, etc.) the rich and diverse macrofauna (pl. II, figs. 2, 3, 4 and 5) is made up of echinoids, bivalve and gastropod molds, rare nautiloids and equally rare brachiopods and shark teeth, besides of nummulits. Variety and abundance of the specimens in different localities depend on the various palaeoenvironmental controls and transport mechanisms. On the ground of literature (AMBROSI, 1928; CHOROWICZ, 1971; DAINELLI, 1904/5, 1906, 1919; KUHN, 1933; MANEK, 1905; MITROVIĆ-PETROVIĆ, 1969, 1971a, 1971b; OPPENHEIM, 1899, 1902, 1914; PAVLOVEC, 1964; STACHE 1859b; STEFANI & DAINELLI, 1902; TARAMELLI, 1874; TONILO, 1909; VOGL, 1912; see BIGNOT, 1972 for references) and of our observations on the field, *Aturia* sp. (pl II, fig. 2) for the first time is pointed out in Istria.

Meaningful finding of few highly polished, well rounded pebbles (pl. II, fig. 6), herein interpreted as stomach stones, gives considerable problems on their provenances and on the possible animals carrying them away.

REFERENCES

- BACHMAYER, F. & NOSAN, A. (1959): Ein bemerkenswerter Crustaceenfund aus Gračišće bei Kubed (Nord Istrien).- Geologija, 5, 80-85, Ljubljana.
- BIGNOT, G. (1972): Recherches stratigraphiques sur les calcaires du Crétacé supérieur et de l' Eocene d' Istrie et des régions voisines. Essai de révision du Liburnien.- These Trav. Lab. Micropaleont., 2, Univ. Paris VI, 1-353.
- CARANNANTE, G., MINDSZENTY, A., NEUMANN, A.C., RASMUSSEN, K.A., SIMONE, L. & TOTH, K. (1994): Inland Blue-Hole-type ponds in the Mesozoic-Tertiary karst-filling sequences.- IAS 15th Regional Meeting, Ischia, Abstracts, 102-103.
- ČOSOVIĆ, V., KOIĆ, M., MARJANAC, T., MORO, A., GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1994): Some paleontological evidence of the Eocene transgression of the Adriatic Carbonate Platform.- First International Meeting on Perimediterranean Carbonate Platforms, Marseille, Abstracts, 49-50.
- DROBNE, K. (1977): Alveolines paleogenes de la Slovénie et de l' Istrie.- Mem. Suisse Paleont., 99, 1-175, Bale.
- DROBNE, K. & PAVLOVEC, R. (1991): Paleocene and Eocene beds in Slovenia and Istria.- In: Introduction to the Paleogene SW Slovenia and Istria. Field Trip Guidebook IGCP Project 286 "Early Paleogene benthos", 2nd Meeting Postojna, 1991, 7-17, Ljubljana.
- DROBNE, K., PAVLOVEC, R. & ČOSOVIĆ, V. (1991) - Section Ragancini-Lisani, Lower and Middle Lutetian.- In: Introduction to the Paleogene of SW Slovenia and Istria. Field Trip Guidebook IGCP Project 286 "Early Paleogene benthos", 2nd Meeting Postojna, 1991, 83-85, Ljubljana.
- HAMRLA, M. (1959): On the conditions of origin of the coal beds in the Karst Region.- Geologija, 5, 180-264, Ljubljana.
- HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (1980): Early Tertiary conical imperforate foraminifera.- Razprave IV razr. SAZU, 22/3, 193-276, Ljubljana.
- JURAČIĆ, M. (1980): Dubina sedimentacije "lapora s rakovicama" iz odnosa planktonskih i bentičkih foraminifera.- Geol. vjesnik, 31, 61-67, Zagreb.
- PAVLOVEC, R., DROBNE, K., ČOSOVIĆ, V., ŠIKIĆ, L. & BENIĆ, J. (1991): The Pičan profile, Middle and Upper Cuisian, Lower and Middle Lutetian.- In: Introduction to the Paleogene of SW Slovenia and Istria. Field-Trip Guidebook IGCP Project 286 "Early Paleogene benthos", 2nd Meeting Postojna, 1991, 73-84, Ljubljana.
- PAVLOVEC, R. & PAVŠIĆ, J. (1987): Biostratigrafska plasti z rakovicami v Istri.- Geologija, 28/29, 55-68, Ljubljana.

PLATE I

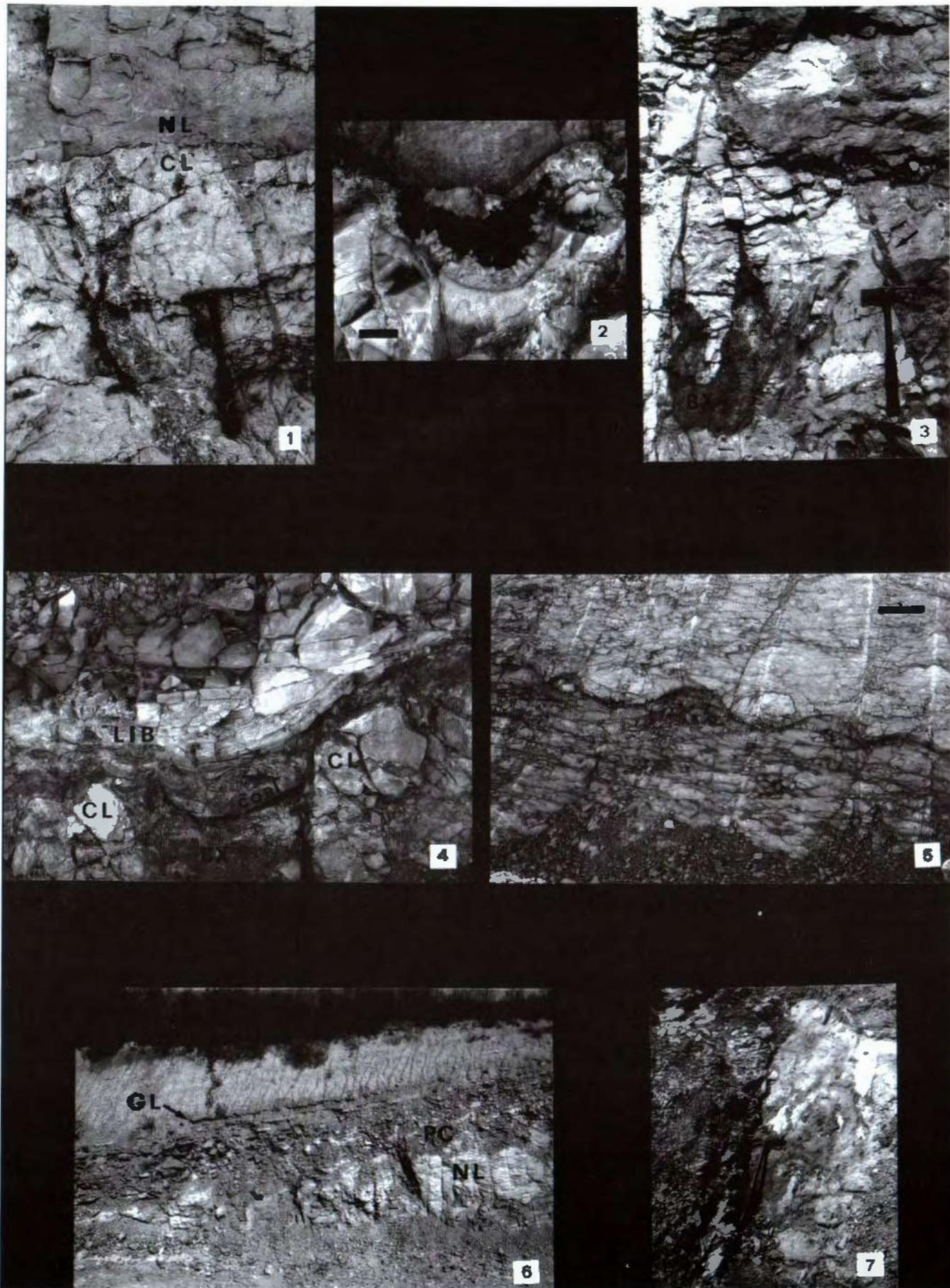
Main observation points of the Rogovići-Mečari profile.

- 1) Sharp contact between Nummulites limestones and Cretaceous limestones and dykes;
- 2) Coal within a cavity, length of the bar = 1 cm;
- 3) Different infills; below, on the right, removal of a stalactite from the walls of dyke;
- 4) Karstic depression filled by bauxite (below) and by Liburnian beds;
- 5) Erosional surface within the Nummulites limestones, length of the bar = 15 cm;
- 6) Transition from Nummulites limestones to packstone with crabs: globigerinal carbonate bed and grey marls above;
- 7) Contact between the limestone block and pyritized grey marls.

PLATE II

Mt. Kamus macrofauna.

- 1) *Harpactoxantopsis* VIA, 1959;
- 2) *Aturia* sp. and *Nautilus disculus* (on the right);
- 3) *Terebratula hoeferi* (on the left), *Pentacrinus diaboli* (middle), *Hemicardium* sp. (on the right);
- 4) From left to right: *Echinolampas luciani*, *Cyclaster stacheanus*, *Schizaster ottelii* and *Hemaster covazzii*;
- 5) Gastropods: *Pleurotomaria lamarcki* (above on the left) and *Ovula* sp (below on the left);
- 6) *Oxirina desori* (on the left) and gastroliths made up of siliceous hard stones.

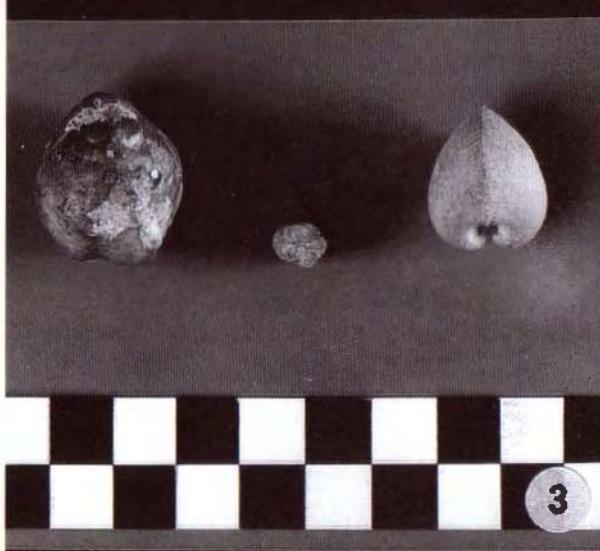




1



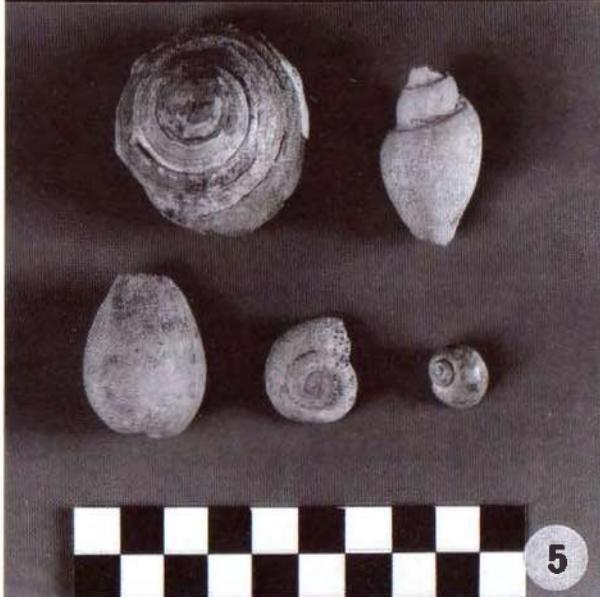
2



3



4



5



6

Osnovni stratigrafski i tektonski odnosi okolice Mrkoplja u Gorskem kotaru

Vladimir TOMIC

Ključne riječi: Gorski kotar, Mrkopalj, trijas, jura, allogenija

Key words: Gorski Kotar, Mrkopalj, Triassic, Jurassic, Allochtony

Sažetak

Šira okolica Mrkoplja izgrađena je od trijaskih i jurskih naslaga s facijesnom diferencijacijom u gornjoj juri, koja je shvaćena kao posljedica različitih tektonskih cjelina. Pretežni dio naslaga je platformskog podrijetla dok pojedine površine malma predstavljaju taložine s pelagičkim utjecajem. Smatra se da postoje prodori podinskih plitkovodnih naslaga (Adrijatik) kroz pelagičke naslage (Epiadrijatik), a na sve su navučene platformske naslage (Dinarik).

Abstract

In the environs of Mrkopalj (Gorski Kotar region) Triassic and Jurassic sediments occur. The existence of different tectonic units have caused that the Upper Jurassic sediments show a great variety of facies types. These sediments were predominantly deposited on platform, while some deposits have strong pelagic influence. The underlying shallow water deposits of the Adriaticum have been uplifted through the pelagic deposits of the Epiadriaticum, and they both were overthrusted by platform deposits of the Dinaricum.

1. STRATIGRAFSKA OBILJEŽJA

Najveći dio sjeverozapadne Velike Kapele (Gorski kotar) izgraduju jurske karbonatne naslage, a predstavljene su naslagama lijasa, dogera i malma. U široj okolini Mrkoplja, uz spomenute jurske naslage, zastupljene su i naslage gornjeg trijasa (sl. 1) (za odredbe mikrofosila zahvaljujem V. Čosović i I. Gušiću a nanofosila J. Beniću).

1.1. Gornjotrijaske naslage u okolini Mrkoplja predstavljene su ranodijagenetskim stromatolitnim dolomitima, koji su nastali u meduplimskom do iznadplimskom okolišu. U rijetkim uločcima dolomitičnih vapnenaca utvrđeni su ostaci foraminifera roda *Aulotortus*, koji upućuju na pripadnost ovih naslaga gornjem trijasu (nor-ret). Dolomiti gornjeg trijasa predstavljaju uvod u kontinuiranu karbonatnu sedimentaciju na jurskoj platformi.

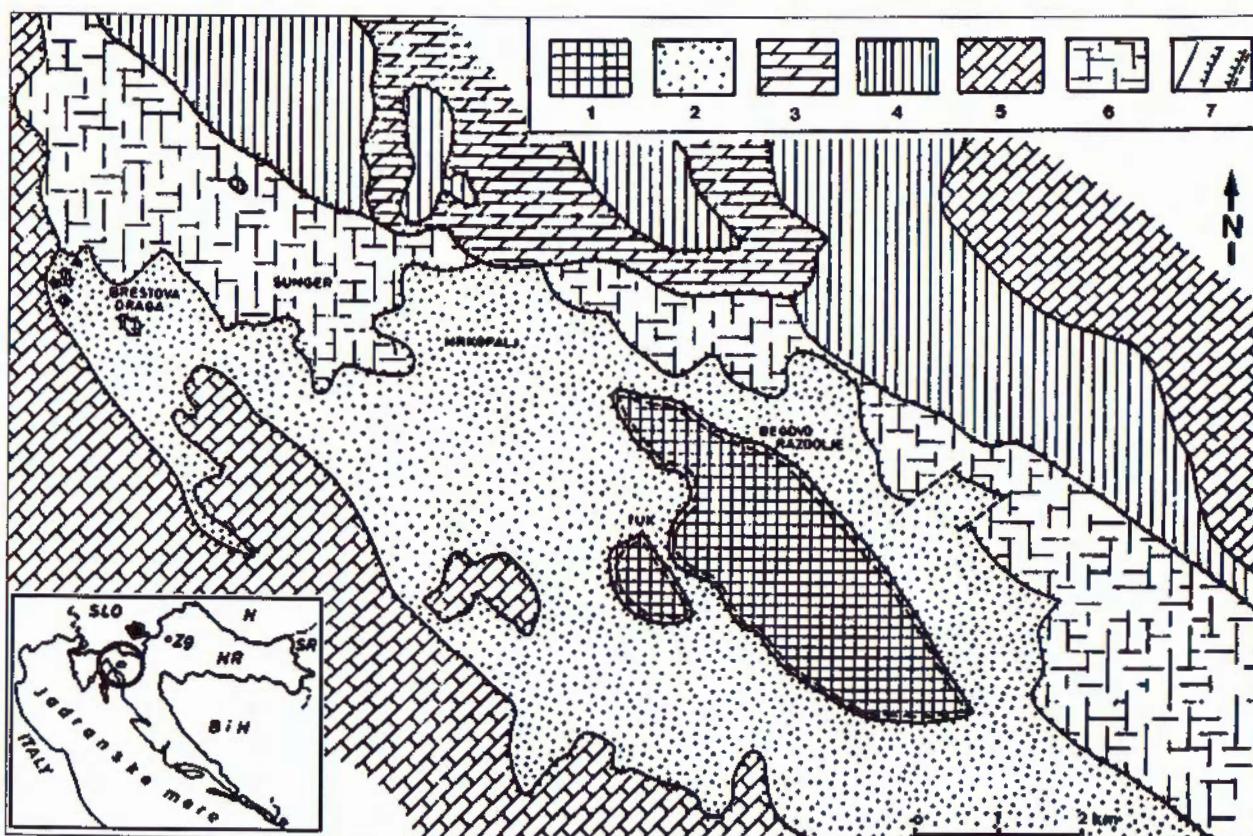
1.2. Naslage lijasa su u ovome radu tretirane kao jedna cjelina, iako su na pojedinim lokalitetima utvrđeni donji, srednji i gornji lijas. To su različiti tipovi plitkovodnih vapnenaca koji se ponegdje horizontalno i vertikalno izmjenjuju s bituminoznim i stromatolitnim dolomitima. Ove naslage su stvarane u meduplimskom i podplimskom okolišu (intertidal/subtidal). Od fosila su utvrđeni: *Palaeodasycladus mediterraneus* (PIA), *Favreina salevensis* (PAREJAS), ostaci litiotida, *Orbi-*

topsellula praecursor (GUEMBEL), *Lituosepta recoarense* CATI, *Pseudocyclammina liassica* HOTTINGER.

1.3. Dogerske su naslage zastupljene vapnencima mikritne osnove. Dolomiti se rijetko javljaju u obliku proslojaka i leća. U višim nivoima dogerskih naslaga nalazimo i sparitne tipove vapnenaca, a zastupljeni su intrasparitima i oosparitima. I za ove naslage može se reći da su nastale u režimu karbonatne platforme. Odredeni su fosili koji ukazuju na prisutnost donjeg i gornjeg dogera: *Mesoendothyra croatica* GUŠIĆ, *Pfenderina salernitana* SARTONI & CRESCENTI, *Pfenderina trochoidea* SMOUT & SUGDEN, *Pfenderella arabica* REDMOND, *Praekurnubia crusei* REDMOND, *Satorina apuliensis* FOURCADE & CHOROWICZ, *Parurgonina caelinensis* CUVILLIER, FOURY & PIGNATTI MORANO.

1.4. Najveća raznolikost u razvoju sedimentata ustanovljena je u naslagama malmske starosti. Postoji diferencijacija koja je ocijenjena kao posljedica taloženja u različitim tektonski definiranim uvjetima. Stariji dio ovih naslaga (donji-srednji malm) su sedimenti koji sadrže pelagičke komponente, a mlađi dio (gornji malm) su naslage grebenskih i prigrebskih karakteristika.

1.4.1. Stariji dio malmskih naslaga zastupljen je dobro uslojenim često silicificiranim tamnim vapnencima s brojnim nodulama, lećama i proslojcima rožnjaka,



Sl. 1 Legenda: 1 - "Prodori dijelom rekristaliziranih karbonatnih naslaga" (Adriјatik); 2 - "Alohtonija jura s pelagičkim elementima" (Epiadriјatik); 3 - "Trijaska navlaka sjeverno od Mrkoplja" (Dinarik); 4-6 - "Navlačni sustav plitkovodne jure" (Dinarik) (4-lijas, 5-doger, 6-malm); 7 - Rasjed, navlaka, izdignuto tektonsko okno.

Fig. 1 Legend: 1 - "Uplifted partially recrystallized carbonate deposits" (Adriatic); 2 - "Allochthonous Jurassic with pelagic elements" (Epiadijatic); 3 - "Triassic nappe north of Mrkoplja" (Dinaric); 4-6 - "Nappe system of shallow-water Jurassic" (Dinaric) (4-Liassic, 5-Doggerian, 6-Malmian); 7 - Fault line, overthrust, uplifted tectonic window.

te rijetkim pojavama dolomita. Vapnenci su mikritne osnove (mudstone/wackestone). Biogeni komponentu čine organsko krje i detritus, koji najvećim dijelom potječe od sitnih foraminifera, radiolarija, spikula sputni, fragmenata sitnih pelagičkih školjkaša i sl. Vapnenci i dolomiti s rožnjacima Velike Kapele faciesno su slični "Lemeš-naslagama" u Svilaji kojima se pripisuje starost gornji kimeridž-donji titon (NIKLER, 1964, 1978; GRIMANI et al., 1973; VELIĆ, 1977 i dr.). Stratigrafski položaj "Lemeš-nasлага" bio je utvrđen na temelju amonita (*Perisphinctidae*) koji su pronađeni na različitim lokalitetima Vanjskih Dinarida (FURLANI, 1910; SALOPEK, 1910; ZIEGLER, 1963; RADOIČIĆ, 1966; CHOROWITZ & GEYSSANT, 1972). Na više lokaliteta u široj okolini Mrkoplja od fosila su pronađeni također ostaci amonita iz skupine *Perisphinctidae*, a od mikrofosila *Nautiloculina oolitica* MOHLER, *Labyrinthina mirabilis* WEYNSCHENK, *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA), *Kurnubia palastiniensis* (HENSON) i dr. Prvom analizom vapneničkog nanoplanktona iz proslojaka laporan u ovim naslagama određeno je nekoliko malmskih vrsta među kojima i *Ellipsagelosphaera gressleyi* GRUEN & ZWEILLI, koja je do sada ustanovljena jedino u oksfordu. Ako se tome doda i podatak da zbog rasjednih kontakata s drugim stratigrafskim članovima donji dio

stupa nije dostupan promatranju, postoji mogućnost da je najdonji dio ovih naslaga i stariji od malma. Različiti tipovi sitnozrnih vapnenaca s mikritnom osnovom, velika prisutnost rožnjaka, te nalazi amonita, planktonskih foraminifera, filamenata pelagičkih školjkaša, sakokoma, radiolarija, velika prisutnost vapnenačkog nanoplanktona, kao i izostanak vapnenačkih algi i drugih plitkomorskih organizama govore da su ove naslage stvarane od komponenata dubljeg mora otvorenog tipa. Za razliku od rubnog prostora u području Breze, južno od istraživanog područja (BUCKOVIĆ, 1994; VELIĆ et al., 1994), gdje je jasan prijelaz u plitkovodnu krovinu, u ovom je prostoru morfološka krovina odvojena tektonskim (navlačnim) kontaktom, pa se ne može ustanoviti prava stratigrafska krovina.

1.4.2. Mladi navučeni dio malmskih naslaga čine naslage grebensko-prigrebskih karakteristika koje su zastupljene različitim tipovima sparitskih vapnenaca s nepravilno raspoređenim lećama dolomitiziranih vapnenaca i bijelih šećerastih dolomita. Glavno paleontološko obilježje ovih naslaga daje prisutnost makrofosila: hidrozoa, koralja, briozoa, stromatoporoida, školjkaša, puževa i dr. (*Nerinea csakyana* HERBICH, *Nerinea castor* d'ORBIGNY, *Ellipsactinia ellipsoidea* STEINMANN, *Ellipsactinia ramosa* CANAVARI, *Sphaer-*

actinia diceratina STEINMANN i dr.). Pored velikog broja makrofosa značajna je i prisutnost mikrofosa, među kojima su utvrđeni različiti oblici vapnenačkih algi i bentičkih foraminifera (*Clypeina jurassica* FA-VRE, *Slapingoporella annulata* CAROZZI, *Protopeneroplis striata* WEYNSCHENK, *Pseudocyclammina lituus* (YOKOYAMA) i dr.).

Iako u fosilnom sadržaju grebensko-prigrebenskih naslaga okolice Mrkoplja nema bitnih razlika, ipak su neke sekundarne pojave i karakteristike omogućile da se unutar njih mogu razlikovati dvije različite cjeline:

- a) Jednu cjelinu čine alohtonе grebensko-prigrebenske naslage koje se u obliku gotovo neprekinute zone promjenljive širine pružaju u pravcu sjeverozapad-jugoistok kroz središnji dio terena. To su pretežno gromadaste do debelo uslojene naslage, koje su prema jugozapadu u navlačnom odnosu prema "lemeškim" naslagama, a prema sjeveroistoku podliježu pod naslage lijasa i dolomite gornjeg trijasa.
- b) Drugu cjelinu čine naslage koje se javljaju sporadično kao tektonski izolirani veći ili manji izdanci unutar zone "lemeških" naslaga. Za njih je karakteristično da su redovito razlomljene te često predstavljaju nepravilne veće ili manje blokove ili "pakete" slojeva. Imaju više prigrebenska nego grebenska obilježja. Vapnenci su često rekristalizirani, a ponegdje i mramorizirani, te je fosilni sadržaj na mjestima gotovo posve uništen. Jedna od karakteristika ovih naslaga je i ta, da izdanci ponekad predstavljaju zdrobljenu masu u kojoj se na istom mjestu mogu naći nepravilno porazmješteni manji blokovi stijena različite starosti.

Iz navedenog se vidi da se naslage malma sastoje iz tri bitno različita člana, što može značiti da su i stvarane u tri različita prostora unutar šireg geotektonskog okvira (Adrijatik, Epiadrijatik, Dinarik; HERAK, 1996, 1991).

2. TEKTONSKA OBILJEŽJA

Svi opisani stratigrafski članovi sadrže u sebi trage različitih tektonskih zbivanja koji upućuju na to da je tektonska građa u ovom dijelu Gorskog kotara znatno složenija nego što se dosada smatralo. Njihov prostorni raspored i medusobni odnosi otkrivaju prisutnost višestrukih tangencijalnih kretanja. Kao osnovna strukturalna karakteristika ističu se tektonski kontakti između pojedinih litostratigrafskih cjelina pomoću kojih su došli u izravan kontakt i oni kompleksi koji se bitno razlikuju u pogledu okoliša u kojem su nastali, što znači bez primarnih prijelaza.

Na toj osnovi mogu se razlikovati četiri strukturno-tektonске cjeline. To su: "Trijaska navlaka sjeverno od Mrkoplja"; "Navlačni sustav plitkovodne jure"; "Alohtonа jura s pelagičkim elementima" i "Prodori plitkovodnih dijelom rekristaliziranih karbonatnih naslaga" (TOMIĆ, 1993).

2.1. Trijaska navlaka sjeverno od Mrkoplja: Dolomiti gornjeg trijasa sjeverno od Mrkoplja isključivo su u tektonskom kontaktu s različitim članovima jurskih naslaga. Na pojedinim izdancima njihovi medusobni reversni odnosi vidljivi su i na površini, dok normalni odnosi nisu ustanovljeni. Unutar površina izgrađenih od gornjotrijskih dolomita nalaze se izolirane površine koje izgradjuju lijaske karbonatne naslage; njih treba smatrati tektonskim oknima, koja su nastala kombinacijom radikalnih neotektonskih izdizanja ranije podvučenih lijaskih naslaga i erozije relativno tankog gornjeg trijsa. U prilog tumačenju takvih odnosa govori i prisutnost mnoštva ponikava u trijaskim dolomitima, kojih u normalnim superpozicijskim odnosima ne bi bilo, kada je poznato da u normalnoj superpoziciji u ovim prostorima ispod dolomita slijede klastiti karnika, donjeg trijasa i paleozoika. Na isti način može se tumačiti potpuni izostanak površinskih vodenih tokova.

2.2. Navlačni sustav plitkovodne jure: Naslage lijasa, dogera i dijela malma mogu se po načinu pojavljivanja i tektonskom položaju prema drugim litostratigrafskim članovima izdvajati i promatrati kao zasebna alohtonа cjelina. Zajednička karakteristika im je da se pojavljuju u obliku zona koje se generalno pružaju sjeverozapad-jugoistok. Širina zona je promjenljiva, a česta je i nepodudarnost pružanja slojeva u njima s pružanjem zona, kao i izrazito povijanje njihovih medusobnih površinskih granica i granica prema drugim izdvojenim cjelinama. Na medusobne navlačne odnose upućuju i navlačak lijaskih naslaga na naslage gornjeg malma sjeverozapadno od Sungera, kao i navlačak dogerskih naslaga na jurske naslage s pelagičkim elementima.

2.3. Alohtonа jura s pelagičkim elementima: Ova jedinica predstavlja u istraživanom području kompleksno tektonsko okno, koje izgradije središnji dio promatranoj područja, a obrubljuju ga različiti elementi "Navlačnog sustava plitkovodne jure" s kojima su u tektonskom kontaktu.

2.4. Prodori plitkovodnih dijelom rekristaliziranih karbonatnih naslaga: Unutar zone jurskih karbonatnih naslaga s pelagičkim elementima nalaze se relativno veće i manje pojave plitkovodnih naslaga, najčešće prigrebenskih karakteristika i gornjomalmske starosti. Na nekim mjestima, kao na primjer, u okolini Brestove Drage u razlomljenoj masi gornjomalmskih plitkovodnih karbonatnih naslaga nalaze se i manji blokovi naslaga različite starosti. Tako se na istom mjestu mogu naći stijene koje litološki odgovaraju trijaskim, lijaskim i dogerskim naslagama kao i s dezintegriranim vapnencima s rožnjakom iz navlake. Njihov je kontakt s "lemeškim" naslagama tektonski. Ovakve pojave treba smatrati neotektonskim prodorima dublje smještenih stjenskih masa kroz ranije formirano alohtonу krovinu.

3. ZAKLJUČAK

Na temelju iznesenih stratigrafskih, tektonskih i facijesnih odnosa može se reći da postoji dovoljno činjenica koje upućuju na navlačne odnose između pojedinih elemenata i izdvojenih cjelina u ovom prostoru. To znači da kod promatranja današnjeg rasporeda pojedinih jedinica treba uzeti u obzir da je njihov prostorni raspored bio drugačiji od današnjega u koji su došli kontinentalnim subdukcijskim procesima.

4. LITERATURA

- BUCKOVIĆ, D. (1994): Litostratigrafska korelacija malma Velike Kapete i Jasvine.- Magistrski rad, Sveučilište u Zagrebu, 98 str., Zagreb.
- CHOROWICZ, J. & GEYSSANT, J.R. (1972): Presence des couches de Lemeš (Calcaires à Ammonites subméditerranéennes du Malm) dans la Lika (Croatie, Yougoslavie).- C. R. Séances Acad. sci., 275, 731-734, Paris.
- FURLANI, M. (1910): Die Lemeš-Schichten. Ein Beitrag zur Kenntnis der Juraformation in Mittel-dalmatien.- Jahrb. Geol. Reichsanst., 60/1, 67-98, Wien.
- GRIMANI, I., ŠUŠNjar, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ. Tumač za list Crikvenica L 33-102, 1:100.000.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1963), Savez. geol. zavod, Beograd.
- HERAK, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides (Nova koncepcija geotektonike Dinarida).- Acta geol., 16/1, 1-42, Zagreb.
- HERAK, M. (1991): Dinaridi - mobilistički osvrt na genezu i strukturu (Dinarides - mobilistic view of the genesis and structure).- Acta geol., 21/2, 35-117, Zagreb.
- NIKLER, L. (1964): Geološki odnosi područja Bijelih stijena u Gorskom kotaru.- Magistrski rad, Sveučilište u Zagrebu, 28 str., Zagreb.
- NIKLER, L. (1978): Stratigrafski položaj grebenskog facijesa malma u sjeverozapadnim dijelovima Dinarida.- Geol. vjesnik, 30/1, 137-150, Zagreb.
- RADOIČIĆ, R. (1966): Microfacies du Jurassique des Dinarides externes de la Yougoslavie.- Geologija, 9, 5-377, Ljubljana.
- SALOPEK, M. (1910): Über den oberen Jura von Donji Lapac in Kroatien.- Mitt. Geol. Ges., 3, 541-551, Wien.
- TOMIĆ, V. (1993): Tectonic relations in Mt. Velika Kapela between Lokve and Bjelolasica.- Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 136 str.
- VELIĆ, I. (1977): Jurassic and Lower Cretaceous Assemblage-Zones in Mt. Velika Kapela, Central Croatia.- Acta geol., 9/2, 15-37, Zagreb.
- VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1994): Relationship of peritidal, reefal and inner carbonate ramp facies in the Upper Jurassic of the Gorski Kotar area (Croatia).- In: First International Meeting on Perimediterranean carbonate platforms, Marseille 5-10 September 1994, Abstracts book, 157-159, Marseille.
- ZIEGLER, B. (1963): Die Fauna der Lemeš-Schichten (Dalmatien) und ihre Bedeutung für den mediterranen Oberjura.- N. Jb. Geol. Paläont., Mh 8, 405-421, Stuttgart.

Thermal Expansion of Clayshale from Mežica Mine Deposite (Slovenia)

Peter TOMŠE¹, Breda MIRTIČ¹ & Janko KUŠEJ²

Key words: Clayshale, Claystone, Thermal expansion, Expanding degree, Nonmetallic mineral raw

Abstract

Large amounts of clayshale can be found as surroundings to layers enriched with lead and zinc ore in the mine deposite. Previous examinations have shown clayshale is suitable for production of expanded aggregate, especially nowadays, when there is no production of such material in Slovenia.

Clayshale expands because of the appropriate chemical composition i.e. amount of organic matter and iron; furthermore because of the suitable mineral and grain size composition.

The article summarizes the first of the all thermal expansion investigations results, which have been attained by appreciating the chemical composition of examined samples, collected on the fifth horizon of Graben mine deposite, where a detailed profile has been made by an investigation pit through the examined clayshale deposite.

INTRODUCTION

Expanded clay aggregate represents (KNIGINA, 1977) porous material with glass appearance and with even distributed pores of spherical shape and bulk density to 200 kg/m³. It is used as a light material resistant at the atmosphere conditions and as a thermal insulation material. The expansion occurring in the ceramic body is caused by steam and gases, formed at different temperatures in the time of pyroplastic state of ceramic body. Gases arise as the consequence of organic matter firing, dehydration, decarbonatization, oxidation, Besides the mineral and grain size composition influences the ability of clayey raw expansion its chemical composition also. The stated dependences have been determined by many authors more than twenty years ago. The chemical composition of representative clayshale samples from Mežica or raw material for expanding in aggregate has been compared to the statements of Riley and Wilson (ROSENBERGER, 1969), TÓTH & CSÁKY (1989) and the results which ROSENBERGER (1969) has collected after Soloninko, Kreusel and Gerwids.

MATERIALS AND METHODS

The territory of Graben deposite is composed from:

- reef limestone,
- dolomitized reef limestone with sphalerite,
- limestone and dolomitized limestone breccia,
- clayshale of ladinian age,
- dolomite with gypsum and anhydrite,
- dolomite with organic matter and marcasite,
- bituminous dolomite.

87 m long gallery has been detailed sampled through the clayshale layers. It has been determined the following layer composition:

- 0 - 10 m dolomitized reef limestone,
- 10 - 12 m soft tectonically deformed clayshale,
- 12 - 14 m dark grey compact bedded clayshale,
- 14 - 24 m soft clayshale,
- 24 - 28 m compact clayshale,
- 28 - 35 m soft clayshale,
- 35 - 39 m compact claystone,
- 39 - 42 m claystone,
- 42 - 50 m grey very compact claystone,
- 50 - 87 m grey very compact claystone.

The investigated raw material is - in accordance with the mineral composition - the illite-chlorite clayshale with quartz and small quantities of calcite and feldspars. 19 representative samples have been composed through the investigated layer in order to determine chemical composition and degree of expansion after the fast firing (up to 1120°C).

RESULTS AND DISCUSSION

Chemical analysis of an average clayshale sample from Graben deposite has been made. The results are represented in the table 1 in comparison to chemical composition of raw material with proposed good expansion properties after Soloninko and Kreusel (ROSENBERGER, 1969).

Gerwids (ROSENBERGER, 1969) has stated that the expansion is due to ratios between some oxides. These ratios are given in the table 2.

¹Dept. of Geology, University of Ljubljana, Aškerčeva 12, 61000 Ljubljana, Slovenia.

²Mine of Lead and Zinc Mežica, 62392 Mežica, Slovenia.

Oxide	Graben	Soloninko	Kreusel
SiO ₂	56.56	50 - 80	54.7 - 70
Al ₂ O ₃	20.98	8 - 25	12 - 23
Fe ₂ O ₃	3.71	3 - 12	4.8 - 9.5
FeO	2.03		
CaO	1.24	3 - 6	2 - 4.5
MgO	3.34		
TiO ₂	0.69		
K ₂ O	1.42	2 - 6	2 - 3.5
Na ₂ O	1.15		
L.O.I.	6.62	6 - 12	
SO ₃	0.96		
Stotal	0.64		
CO ₂ karb.	1.77		
Corg.	3.97		

Table 1 Chemical composition of clayshale from Graben deposite and proposed chemical composition for good expanding raw material after Soloninko and Kreusel in mass.% (ROSENBERGER, 1969).

Deviation of the proposed ratios for Graben sample proves too high quantities of K₂O + Na₂O and organic matter (C) only.

PAWLOW (1960) classified clay raw materials according to the quantities of some oxides and their ratios, in three groups:

- non suitable (I),
- conditionaly suitable (II),
- suitable (III) for expansion (table 3).

Graben clayshale is suitable raw material for expansion after the Pawlow's predictions.

Riley and Wilson (ROSENBERGER, 1969) have composed three components diagram to represent the expansion ability as the function of ratios between determined oxides (Fig. 1). Graben's claystone composition is positioned in expansion range composition in ternary diagram after Riley and Wilson.

Before firing, samples have been dried at 105°C, preheated at 200°C and then fired at 1120°C. The bloating has begun at 1050°C for the soft clayshale and at 1020°C for the compact sort. The expanding efficiency measure (KNIGINA, 1977) is represented with coefficient of expansion

$$K = V_2/V_1,$$

	I	II	III	Graben
(Fe ₂ O ₃ +MgO+Na ₂ O+K ₂ O)/CaO	>4	<4	>4	7.7
free quartz, mass. %	>30	>20		15-20
CaO, mass. %	<2	>3	<3	1.2
free quartz/Smelting oxides	>4	>3	<4	1.2-1.5

Table 3 Suitability of Graben clayshale for expansion after the Pawlow (1960)

- I - nonsuitable raw material for expansion,
II - conditionaly suitable raw material for expansion,
III - suitable raw material for expansion.

Oxide relation	Gerwids	Graben
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.12 - 0.5	0.3
Fe ₂ O ₃ /(Al ₂ O ₃ + SiO ₂)	0.04 - 0.12	0.047
(CaO + MgO)/(Al ₂ O ₃ + SiO ₂)	0.04 - 0.13	0.06
(K ₂ O + Na ₂ O)/(Al ₂ O ₃ + SiO ₂)	0.02 - 0.06	0.033
C/Fe ₂ O ₃	0.10 - 0.2	0.6

Table 2 Allowed oxide ratios as the condition for good expansion effect after the Gerwids in comparison with composition of clayshale from Graben.

where V₁ is the volume of ceramic body before and V₂ is the volume of ceramic body after the bloating. According to the K we distinguish between weak (K <2), medium (2.5<K<4.5) and high (K>4.5) expanded aggregates.

The expansion degree for 19 representative investigated clayshale samples variates from 3.5 up to 5.8. An average K value for the soft clayshale is 4.6 and 5.4 for the compact one.

The calculated bulk density of bodies after the firing is from 0.4 up to 0.6 g/cm³; an average bulk density for the soft samples is 0.5, however for the compact sort declines to 0.4 g/cm³. The samples of the soft clayshale have a little worse expansion degree and consequently higher bulk density than the compact clayshale samples (Fig. 2). Nevertheless both belong to the high expanded aggregates after the bloating.

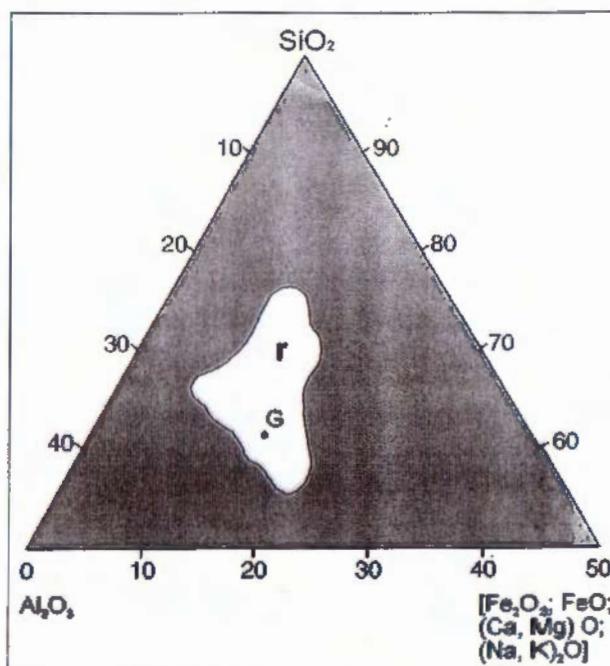


Fig. 1 Ternary diagram after Riley and Wilson: r - expansion range composition after Riley and Wilson; G - expansion point of an average Graben sample.

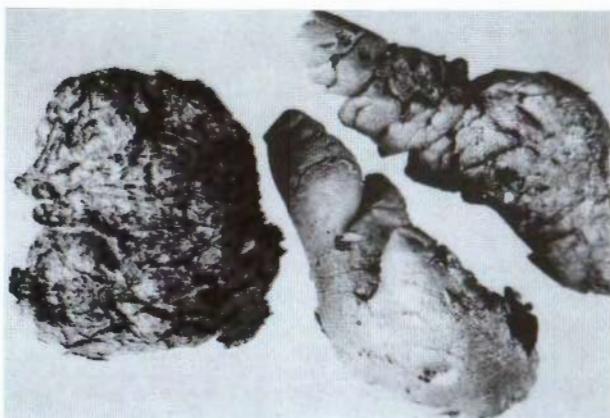


Fig. 2 Samples of soft (left sample) and compact (right samples) clayshale after the expansion at 1120°C.

REFERENCES

- KNIGINA, G.I. (1977): Laboratorie raboti po tehnologiji stroitelnoi keramiki i iskustvenih poristih zapolniteli.- Višaja škola Moskva, Moskva.
- PAWLOW, I. (1960): Einfluss der Viskositätsänderung im Interval von 800 bis 1200°C auf das Sintern und Blähnen leicht schmelzender Tone.- Steklo i keramika, 3, Moskva.
- ROSENBERGER, H. (1969): Chemische und mineralogische Zusammensetzung sowie Korngrossenaufbau von Blahtonen.- Zeitsch. Ang. Geol., 5, 241-247, Berlin.
- TÓTH, M.N. & CSÁKY, I.B. (1989): The role of the smectite group in the bloating process.- Ziegelind. Intl., 42/5, 246-250, Wiesbaden.



Geokemijske karakteristike i porijeklo amfibolita ofiolitne zone u Bosni

Fabijan TRUBELJA¹ & Vesna MARCHIG²

Ključne riječi: geokemijske karakteristike, amfiboliti, škriljci, ofiolitni kompleksi, tektoniti, kumulatne stijene, stijene gornje kore, mikroelementi, obrasci rijetkih zemalja, Eu-anomalija, krivajsko-konjuški masiv, unutrašnji Dinaridi

Sažetak

Amfiboliti i srodni škriljci ofiolitne zone u Bosni karakteristični su pratioci ultramafita plašta (tektoniti), kumulatnih stijena (gabroidi, ultrabajit) i bazičnih magmatita gornje kore (bazalti, dijabazi, spiliti). Klasični razvoj i najveće rasprostranjenje amfibolita nalazimo na području krivajsko-konjuškog ofiolitnog kopleksa. Istraženi su brojni uzorci amfibolita, pratećih kumulata i stijena gornje kore na sadržaj mikroelemenata i elemenata rijetkih zemalja (REE). Dobiveni rezultati omogućuju nam utvrđivanje međusobne genetske veze između magmatita i amfibolita. Amfiboliti prve skupine pokazuju geokemijske karakteristike kumulatnih stijena. Rana kristalizacija plagioklasa u magmatskom ognjištu prouzrokovala je pozitivnu Eu-anomaliju kumulata. Ta je anomalija prisutna i kod veoma brojnih amfibolita (npr. korundski amfiboliti, Vijaka, Vareš i dr.). Drugoj skupini amfibolita pripadaju oni koji vode porijeklo iz bazičnih magmatita gornje kore (npr. amfiboliti Ribnice i dr.). Većina ovih metamorfita odlikuje se spektima rijetkih zemalja (REE) koji su tipični za bazalte konstruktivnih rubova ploča. Porijeklo amfibolita ove skupine potvrđuju i terenske opervacije i mikroskopsko proučavanje strukture.

1. UVOD

Ofiolitna zona unutrašnjih Dinarida je zasebna geotektonska jedinica i prostire se od Banije u Hrvatskoj, preko Bosne i zapadne Srbije, sve do Kosova na jugoistoku. Na teritoriju Bosne ofiolitne stijene zajedno sa okolnim sedimentima zapremaju površinu od nekoliko desetaka tisuća km². Ultrabajične i bazične magmatske stijene, zatim raznovrsni metamorfiti (amfiboliti, škriljci) izgradaju u Bosni brojne planinske masive, među kojima se ističu svojom veličinom krivajsko-konjuški i ozrenski ofiolitni kompleksi. Na prostoru između rijeke Bosne i Vrbasa manji ofiolitni kompleksi izgraduju planine Borju, Mahnjaču, Ljubić i Čavku. Na sjeverozapadu planina Kozara izgrađena je samo manjim dijelom od ofiolitnog materijala. Ofiolitne stijene okolice Više-

Key words: Geochemical properties, Amphibolites, Schists, Ophiolite complexes, Tectonites, Cumulate rocks, Upper crust rocks, Trace elements, REE patterns, Eu-anomaly, Krivaja-Konjuh massif, Inner Dinarides

Abstract

Amphibolites and equivalent schists from ophiolitic zone in Bosnia usually occur together with mantle rocks (tectonites), lower crust rocks (gabbroic and ultramafic), as well as with magmatic rocks of upper crusts (basalts, diabases, spilites). The best development and most widespread occurrence of amphibolites can be found in Krivaja-Konjuh ophiolite complex. Numerous samples of amphibolites were analysed for trace elements including REE and compared with not amphibolized parts of ophiolite sequence. The gained results enabled us to emphasize the genetic connection between magmatic rocks and amphibolites. One group of amphibolites reveals geochemical character of cumulate rocks; early crystallisation of plagioclase in magma chamber produced positive Eu-anomalies in cumulate rocks. This anomaly is present in corresponding amphibolites (i.e. corundum-amphibolite Vijaka-Vareš). The other group of amphibolites is originating in upper crust magmatic rocks (i.e. corundum-amphibolite from Ribnica). They are characterised with REE-patterns typical for basalts from constructive plate margins. This origin is in agreement with field observations as well as with microscopic studies.

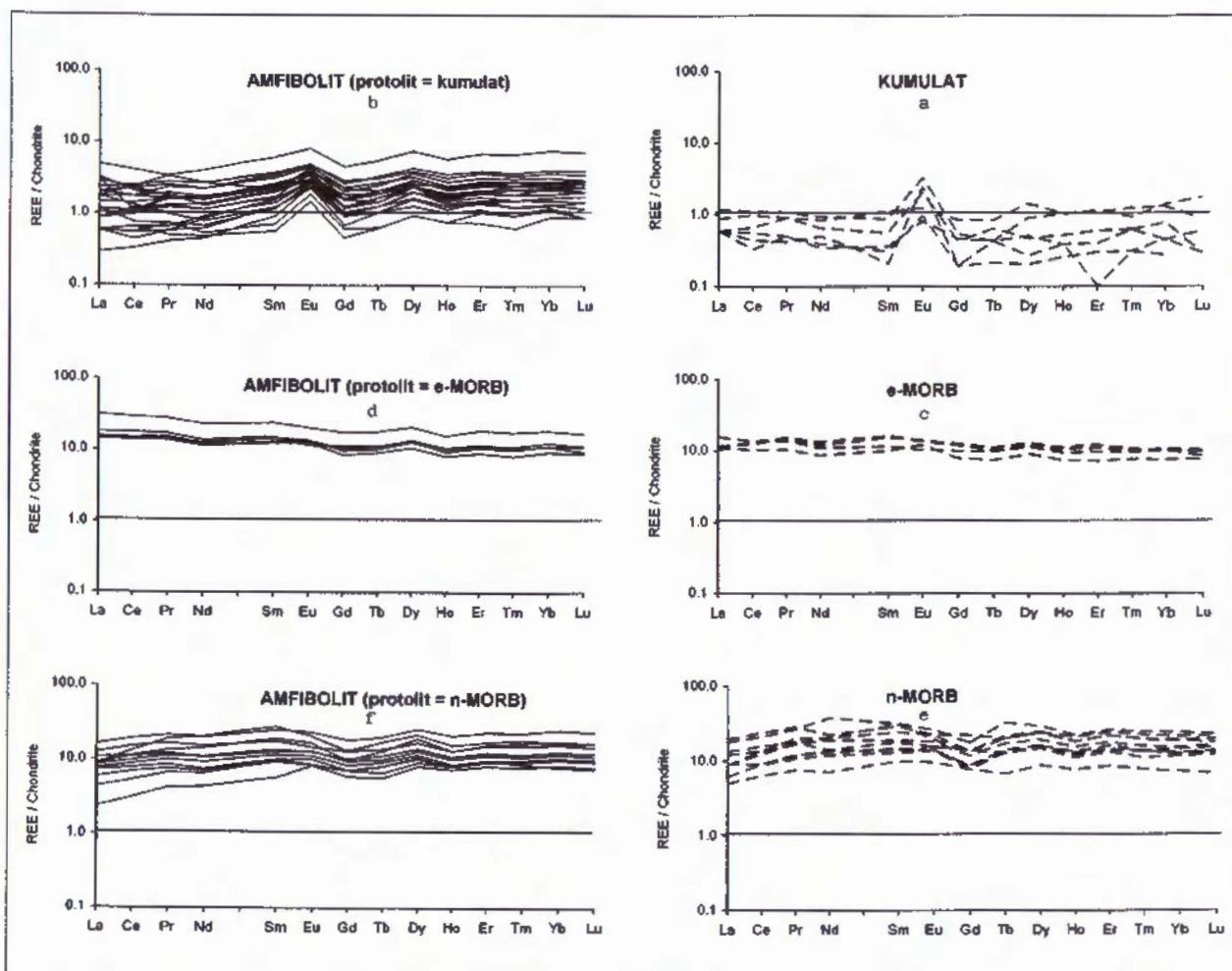
grada u istočnoj Bosni predstavljaju dio velikog ultramafitnog masiva planine Zlatibor.

Ofiolitni kompleksi Dinarida slično ostalim ofiolitnim zonama u svijetu, su pretežno nepotpuni, tektonski razlomljeni, i za njih su vrlo karakteristični tektonski kontakti između pojedinih petrografske članove. Okolni sedimenti pripadaju pretežno grauvakama i šejlovima, rijetko i samo mjestimično čertu i vapnencu. Kontakti između ofiolita i okolnih sedimenata su uglavnom tektonski. Grauvake i šejlove treba smatrati kao ostatke geofizičkog sloja 1 mezozojske oceanske kore Dinaridskog dijela Tetisa koji su vjerojatno nastali negdje u području kontinentalne padine. Rijetko prisutni mikrofossili indiciraju jursku starost sedimenata.

Amfiboliti i srodni škriljci su karakteristični pratioci ofiolitnih stijena i sa njima čine zajedničku prostornu i

¹Geotehnički fakultet Varaždin, Hallerova aleja 7, 42000 Varaždin, Hrvatska.

²Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, Germany.



Sl. 1 Normalizirani obrasci elemenata rijetkih zemalja magmatskih stijena i amfibolita.

genetsku cjelinu. Oni najčešće tvore uže ili šire zone oko ultramafitnih masiva i nalazimo ih od Kozare do Višegrada. Klasičan razvoj i najveće rasprostranjenje amfibolita nalazimo na prostoru krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa. Radiometrijska određivanja izvedena na manjem broju uzoraka ofiolitnih stijena i pratećih amfibolita dala su K-Ar izotopnu starost u rasponu 160-170 milijuna godina (LANPHERE et al., 1975), što dokazuje srednjojursku do gornjojursku starost.

Analizirali smo brojne uzorce magmatita i metamorfta na sadržaj makro- i mikroelemenata te elemenata rijetkih zemalja (REE). Tako dobiveni rezultati, posebno normalizirani obrasci rijetkih zemalja, omogućili su nam utvrđivanje međusobne genetske veze između magmatita i amfibolita. Drugim riječima, razlikujemo dvije skupine metamorfta: za prvu skupinu se može pretpostaviti da vuče porijeklo iz kumulatnih stijena, dok je druga skupina amfibolita produkt metamorfoze stijena gornje kore u istim ili sličnim metamorfnim uvjetima.

2. KUMULATNE STIJENE I NJIHOVA METAMORFOZA U AMFIBOLITE

Pored peridotita sa tektonitnim strukturama, na području krivajsko-konjuškog i ozrenskog ofiolitnog kompleksa veoma su česti i kumulatni peridotiti, koji zajedno sa kumulatnim gabrima pripadaju stijenama donje kore. Nabrojenim stijenama možemo dodati i prelazne kumulate tzv. gabro-peridotite. Kumulatne stijene predstavljaju magmatske diferencijate koji su kristalizirali iz zasebnih magmatskih ognjišta (magma chamber).

Od kumulatnih stijena koje metamorfozom najčešće daju amfibolite su gabroide stijene (troktolit, olivinski gabro, leukokratni gabro) i one se po kemikalnom sastavu najviše približuju amfibolitima. Pored makrokemijske, poseban značaj za geokemijsku korelaciju imaju mikroelementi i elementi rijetkih zemalja. Od karakterističnih makroelemenata kumulatne gabroide stijene sadrže nizak postotak titana, što vrijedi i za sadržaj tog elementa u amfibolitima. Veliko rasprostranjenje kumulatnih gabroide stijena nalazimo i u okolini Višegrada (masiv Varda).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	41.39	47.20	46.69	44.25	42.08	49.65	48.36	49.47	49.67	48.88	46.61	46.80
TiO ₂	0.07	0.07	0.07	0.07	0.11	0.20	0.17	0.19	0.18	0.18	0.07	0.18
Al ₂ O ₃	6.28	27.84	21.95	22.19	23.78	14.76	18.64	19.60	19.17	19.87	15.78	24.29
Fe ₂ O ₃	11.08	2.48	2.94	4.72	5.13	5.17	5.15	3.85	4.67	3.02	4.53	3.83
MnO	0.18	0.04	0.05	0.06	0.08	0.07	0.09	0.08	0.08	0.05	0.07	0.06
MgO	38.84	7.26	10.13	13.73	14.65	13.74	10.79	8.92	10.33	10.16	15.99	8.24
CaO	1.30	13.20	15.32	12.53	11.24	14.52	14.54	15.02	13.67	15.48	15.47	13.91
Na ₂ O	0.02	1.74	2.16	1.60	1.88	1.05	1.49	1.97	1.69	1.72	0.74	2.05
K ₂ O	0.00	0.04	0.04	0.03	0.17	0.12	0.16	0.28	0.05	0.04	0.04	0.06
SO ₃	0.11	0.02	0.07	0.10	0.00	0.02	0.08	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02
Ba	18	18	1	1	68	74	1	95	1	1	24	22
Co	126	25	46	55	53	44	39	32	41	32	41	36
Cr	3408	111	555	237	4316	2446	566	1553	749	1617	2697	843
Ca	35	29	138	67	1	1	42	67	47	54	21	11
Ga	1	12	-	-	6	10	9	16	14	17	8	11
Ni	1861	229	270	493	639	399	402	186	229	264	750	248
Sc	7	4	23	7	-	-	-	-	-	-	24	18
Sr	11	292	134	107	133	80	149	463	144	102	29	127
V	36	1	59	25	70	155	66	131	86	97	70	72
Y	1	1	1	7	1	6	1	1	1	1	12	13
Zn	65	16	12	25	39	19	24	26	20	14	41	27
Zr	1	10	1	1	17	15	22	16	19	13	1	8
La	0.20	0.40	0.00	0.20	0.30	0.80	1.70	1.00	1.00	1.00	0.20	0.60
Ce	0.30	1.00	0.10	0.60	1.00	1.70	3.80	1.00	2.10	1.00	0.60	1.60
R	0.06	0.13	0.01	0.11	0.21	0.20	0.41	0.21	0.21	0.20	0.06	0.24
Nd	0.25	0.60	0.10	0.42	0.62	10.13	1.75	1.04	1.03	1.02	0.31	1.12
Sm	0.06	0.17	0.03	0.11	0.22	0.43	0.46	0.52	0.52	0.51	0.11	0.47
Ba	0.07	0.24	0.11	0.15	0.17	0.25	0.30	0.26	0.20	0.22	0.11	0.28
Gd	0.05	0.14	0.10	0.11	0.26	0.53	0.60	0.31	0.41	0.31	0.12	0.40
Tb	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.09	0.10	0.08	0.07	0.07	0.03	0.09
Dy	0.06	0.15	0.15	0.14	0.32	0.78	0.79	0.73	0.72	0.72	0.29	0.74
Ho	0.02	0.03	0.04	0.04	0.08	0.20	0.19	0.15	0.13	0.12	0.06	0.15
Er	0.06	0.08	0.09	0.12	0.23	0.57	0.55	0.42	0.41	0.41	0.13	0.43
Tm	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.07	0.09	0.06	0.08	0.06	0.02	0.07
Yb	0.10	0.10	0.12	0.17	0.24	0.49	0.62	0.52	0.52	0.41	0.20	0.48
Lu	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.10	0.10	0.07	0.08	0.07	0.03	0.07

Kemijski diskriminacioni dijagrami kumulata pokazuju, isto kao i kod magmatskih stijena gornje kore (bazalt, dijabaz, gabro), da one pripadaju tipu srednjooceanskog hrpta, a nastale su širenjem oceanskih ploča bez utjecaja subdukcije (TRUBELJA et al., 1995).

Kemijski sastav nekih kumulatnih stijena i amfibolita sa kumulatnim protolitom prikazali smo u priloženoj tablici 1.

Normalizirani obrasci elemenata rijetkih zemalja (REE patterns) za kumulatne stijene su vrlo karakteristični. Rana kristalizacija plagioklaza u magmatskom ognjištu prouzrokovala je pozitivnu Eu-anomaliju. Jednaku anomaliju pokazuju amfiboliti i srođni škriljci sa kumulatnim protolitom (sl. 1, a i b). Karakterističan primjer amfibolita koji je nastao iz gabroidnog kumulata je korundski amfibolit od Vijake u okolici Vareša. Isto tako amfibolsko-coisitni škriljac od sela Boljanića na Ozren planini pokazuje geokemijske karakteristike kumulatnog gabra.

3. STIJENE GORNJE KORE I NJIHOVA METAMORFOZA U AMFIBOLITE

Među ofiolitne stijene gornje kore ubrajamo gabre, dijabaze (doleniti) i bazalte. Bitni mineralni sastojci u njima su bazični plagioklasi i klinopirokseni sastava diopsid-augita. Prema raspoloživim podacima istraživanja, najčešće u amfibolite prelaze dijabazno-dolenitne stijene. Karakterističan primjer postepenog prelaza dijabazno-doleritnih stijena u amfibolite granoblastične strukture možemo pratiti na širem prostoru Ribnice na

sjevernom obodu krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa. Djelomična i postupna pretvorba piroksena u amfibol te strukturne promjene stijena jasno zapažamo i u mikroskopskim izbruscima.

Kemizam istraženih magmatskih stijena gornje kore ima karakteristike bazalta srednjooceanskog hrpta (MORB), koji su tipični za konstruktivne rubove ploča. Nekoliko primjera stijena gornje kore i njihov kvantitativni kemijski sastav navodimo u tablici 2. Usporedbe radi, u spomenutu tabelu uvrstili smo i kemizam amfibolita za koje prepostavljamo da su nastali metamorfozom bazaltno-dijabaznih stijena.

Odgovarajuće obrasce elemenata rijetkih zemalja normalizirane prema hondritima prikazali smo na slici 1 (c i e). Na istoj slici vidimo i normalizirane obrasce za neke amfibolite čije smo uzorce sakupili na istom prostoru (sl. 1, d i f). To dokazuje, da se amfibolitizacija odigrala bez veće promjene u kemijskom sastavu stijena, barem što se tiče manje mobilnih elemenata. S obzirom na normalizirane obrasce rijetkih zemalja, razlikujemo dvije podskupine bazalta: n-MORB i e-MORB.

4. ZAVRŠNE NAPOMENE

Metamorfne stijene ofiolitne zone u Bosni nalazimo pretežno kao diskontinuirane komplekse oko svih većih periodotitnih masiva. Kompleksi su uvijek znatno veće dužine nego širine i čine podlogu tektonitnim periodotitima. Mjestimično se amfiboliti javljaju i kao ulošci unutar peridotita.

Tablica 1 Kemijski sastav kumulatnih stijena i amfibolita (makroelementi tež. %, mikroelementi i rijetke zemlje ppm). Legenda: 1-4 KUMULATNE STIJENE: 1) gabro-peridotit, Duboštica; 2) troktolit, Duboštica; 3) olivinski gabro, Konjuh; 4) olivinski gabro, Višegrad; 5-12 AMFIBOLITI I ŠKRILJCI: 5) korundski amfibolit, Vijaka; 6) amfibolsko-coisitni škriljac, Ozren; 7) amfibolit, Duboštica; 8-12) amfiboliti, područje Vijaka-Krivaja-Duboštica

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	48.39	49.50	50.19	50.45	50.03	48.17	47.87	48.12	50.38	47.48	48.51	49.97
TiO ₂	0.99	1.29	0.96	1.32	0.94	1.34	0.73	0.92	1.03	1.70	1.06	1.08
Al ₂ O ₃	17.25	17.30	17.12	15.99	15.66	16.31	16.72	16.04	16.66	13.93	16.20	15.80
FeO ₃	7.03	9.50	8.76	9.60	9.17	9.68	9.94	8.36	9.07	13.54	10.02	10.85
MnO	0.12	0.15	0.14	0.15	0.14	0.17	0.16	0.12	0.15	0.20	0.15	0.17
MgO	6.02	8.37	9.15	7.09	8.95	8.61	8.29	10.78	7.92	8.44	8.64	8.27
CaO	14.36	9.43	8.58	11.49	11.85	11.25	13.05	13.47	11.46	11.48	11.21	10.22
Na ₂ O	4.88	3.55	3.88	2.98	2.57	3.66	2.68	1.43	2.74	2.45	3.37	3.11
K ₂ O	0.31	0.25	0.41	0.30	0.11	0.06	0.05	0.05	0.16	0.19	0.25	0.28
Si ₃	0.03	0.07	0.25	0.05	0.06	0.10	0.04	0.12	0.02	0.04	0.02	0.02
Ba	1	54	1	1	1	1	1	1	245	106	44	33
Ca	70	40	32	46	42	35	36	49	32	51	36	46
Cr	441	286	437	365	472	273	348	772	321	<100	368	237
Co	116	65	68	89	75	57	22	183	38	29	1	46
Cr	13	19	14	19	13	-	17	13	17	26	14	15
N	214	123	157	80	176	134	104	258	107	53	113	106
Sc	-	-	-	-	-	38	-	-	38	-	45	41
Sr	122	259	172	187	102	163	115	83	141	138	161	95
V	245	219	208	233	247	235	262	242	242	419	281	274
Y	15	25	19	25	22	33	10	22	18	38	29	21
Zn	65	60	58	62	48	61	59	36	64	68	77	46
Zr	66	98	63	95	56	66	<50	<50	62	66	62	57
La	5.4	4	3.7	3.5	1.70	2.10	0.80	1.50	4.9	3.00	3.70	2.50
Cr	12.5	11.4	9.4	12.2	5.80	8.30	2.80	4.80	13.2	10.20	10.00	7.10
Pr	1.7	1.86	1.25	1.72	0.92	1.43	0.51	0.81	1.67	1.62	1.46	1.04
Nd	7.14	8.78	5.63	8.42	4.58	8.42	2.74	4.16	7.3	9.14	6.86	4.78
Sm	2.27	3.2	1.98	3.14	1.93	2.81	1.12	1.83	2.43	3.76	2.46	1.93
Eu	0.77	1.03	0.89	1.01	0.71	1.04	0.61	0.61	0.93	1.22	0.96	0.62
Gd	2.61	3.31	2.09	3.14	2.03	2.18	1.52	1.83	2.23	2.54	2.46	1.83
Tb	0.46	0.53	0.35	0.53	0.32	0.61	0.27	0.31	0.43	0.62	0.47	0.38
Dy	3.4	3.93	2.71	3.65	2.64	4.47	2.43	2.74	3.24	5.79	3.89	3.05
Ho	0.74	0.88	0.58	0.86	0.60	0.88	0.57	0.62	0.64	1.02	0.78	0.62
Er	1.93	2.48	1.46	2.43	1.73	2.70	1.62	1.93	1.82	3.15	2.25	1.83
Tm	0.31	0.33	0.25	0.35	0.25	0.36	0.25	0.27	0.26	0.53	0.34	0.29
Yb	2.27	2.38	1.67	2.23	1.63	2.60	1.83	1.73	2.03	3.76	2.56	2.24
Lu	0.29	0.35	0.26	0.34	0.23	0.42	0.26	0.25	0.3	0.56	0.37	0.34

Mineralogija amfibolita i drugih škriljaca je nedovoljno proučena. Ipak, najviše do sada objavljenih podataka sumirano je u monografiji "Geologija Bosne i Hercegovine, knj. 4" (TRUBELJA et al., 1978).

S obzirom na nedovoljno poznavanje mineralogije, poteškoće se pojavljuju i pri klasifikaciji metamorftita. U tim stijenama javljaju se plagioklasi od anortita do albita, zavisno od uvjeta pod kojima su nastali metamorfiti. Amfiboli su predstavljeni sa nekoliko vrsta (edenit, pargasit, kaersutit, zelena hornblenda, smeđa hornblenda, tremolit, aktinolit). Među piroksenima prisutni su i orto i klinopirokseni (enstatit, hipersten, diopsid, omfosit). Granati su česti i karakteristični sastojci amfibolita. Korund je prisutan samo u pargasitnim škriljcima.

Struktura amfibolita i srodnih škriljaca je granoblastična, nematoblastična i porfiroblastična. Ovu posljednju strukturu imaju amfiboliti sa granatom.

U krivajsko-konjuškom ofiolitnom kompleksu javljaju se veoma različiti metamorfiti, koji čine složenu lepezu stijena od zelenih škriljaca do eklogita. Metamorfne stijene istog ili sličnog mineralnog sastava nalazimo i u ostalim ofiolitnim masivima.

S obzirom na cijelokupnu petrografsку asocijaciju u kojoj se javljaju amfiboliti, njihove geokemijske karakteristike i medusobni odnos magmatita i metamorftita, mišljenja smo da i ove stijene možemo uvrstiti među ofiolite. Međutim, to još uvijek nije u skladu sa postojećom i važećom definicijom koju je svojevremeno donijela Penrose konferencija.

Tablica 2 Kemijski sastav stijena gornje kore i amfibolita (makroelementi tež. %, mikroelementi i rjetke zemlje ppm). Legenda: 1-6 STIJENE GORNJE KORE: 1) metabazalt, Tribija, Vareš; 2) dijabaz, Ozren; 3-5) dijabazi, Ribnica, Konjuk; 6) dijabaz, Konjuk; 7-12 AMFIBOLITI: 7) granatni amfibolit, Duboštica; 8) amfibolit, Ribnica; 9) amfibolit, područje Krivaja-Duboštica; 10-12 amfiboliti, područje Ribnica-Krivaja-Duboštica.

5. LITERATURA

- LANPHERE, M.A., COLEMAN, R.G., KARAMATA, S. & PAMIĆ, J. (1975): Age of amphibolites associated with alpine peridotites in the Dinaride ophiolite zone, Yugoslavia.- Earth Planet. Sci. Lett., 26, 271-276.
- TRUBELJA, F., RAMOVIĆ, M., KARAMATA, S., VARIČAK, D. & PAMIĆ, J. (1978): Geologija Bosne i Hercegovine, knj. 4. Magmatizam i metalogenija.- 274 str. Sarajevo.
- TRUBELJA, F., MARCHIG, V., BURGATH, K.P. & VUJOVIĆ, Ž. (1995): Origin of Jurassic Tethys ophiolites in Bosnia - a geochemical approach.- Geologia Croatica, 48, Zagreb (in press).

Uloga eocenskog fliša u rješavanju lokalne vodoopskrbe u kršu

Boris TUŠAK

Key words: Island of Rab, Water supply, Wells, Water level oscilations

Abstract

By observing the regional hydrogeological relations in Karst, flysch is, in principle, observed as a barrier. A regional barrier importance depends on deposit structure. Such a scheme usually neglect the real hydrogeological characteristics of flysch and flysch deposits. In Croatia, where karst appears as "locus tipicus" in world relations, flysch and flysch deposits are, first of all, observed as how much they slow down and limit the underground water movement in carbonate deposits.

From author's experience, hydrogeological structures are appearing as well in flysch where is accumulating underground water, suitable in solving the local water supply. This is in particular relating to tourist-region of Croatian seaside and larger islands in North Adriatic, where local underground water solving brings a great economical advantage.

An alternative solution should be water supplying from distant regions.

Temeljem iskustava stečenih na rješavanju vodoopskrbe na otocima Rabu i Krku tijekom više od dvadeset godina želio bih na jednom segmentu (hidro-tektonskoj jedinici) s otoka Raba pokušati razjasniti hidrogeološke osobitosti fliških naslaga.

HIDROGEOLOŠKE OSOBITOSTI FLIŠKIH NASLAGA

Hidrogeološke osobitosti fliških naslaga uvjetovane su dinamičkim uvjetima za vrijeme i nakon njihova taloženja. Prevladavajući uvjeti u okvirima sedimentacijskog bazona, tj. njegovo oplicevanje, odnosno produbljivanje, kao i donašani materijal uvjetovali su prostorni raspored, veličinu zrna, sortiranost i vrstu veziva pojedinih litoloških članova. Opća značajka je manje više učestala izmjena stijena različitim litofizičkim osobitostima. Usprkos ovim istaknutim raznolikostima, pozornijim pristupom bilo je moguće izdvojiti i na širem području odrediti pojedine istovjetne litološke članove.

Tektonski pokreti koji djeluju i nakon konsolidacije fliških naslaga u vidu navlačenja i rasjedanja uzrokuju

diskontinuitete u smislu prostornog rasporeda određenih, i onako vrlo promjenljivih, osobitosti. U zonama utjecaja tektonskih pokreta formira se sekundarna poroznost.

U skladu s time izdvojeni su hidrogeološki članovi:

1. Dobro propusne stijene,
2. Izmjena slabo propusnih i nepropusnih stijena,
3. Nepropusne naslage

1. Dobro propusne stijene

Na temelju izvršenih hidrogeoloških istraživanja izdvojen je sloj ujednačenih litofizičkih osobitosti, približne debljine 20 m, koji se u uvjetima rasjedne tektonike odlikuju najvećom propusnošću.

2. Izmjena slabo propusnih i nepropusnih stijena

Kompleks naslaga promjenljivih hidrogeoloških osobitosti ovisno o litofizičkim značajkama, intenzitetu rasjedne tektonike i naknadnom djelovanju podzemne vode.

3. Nepropusne naslage

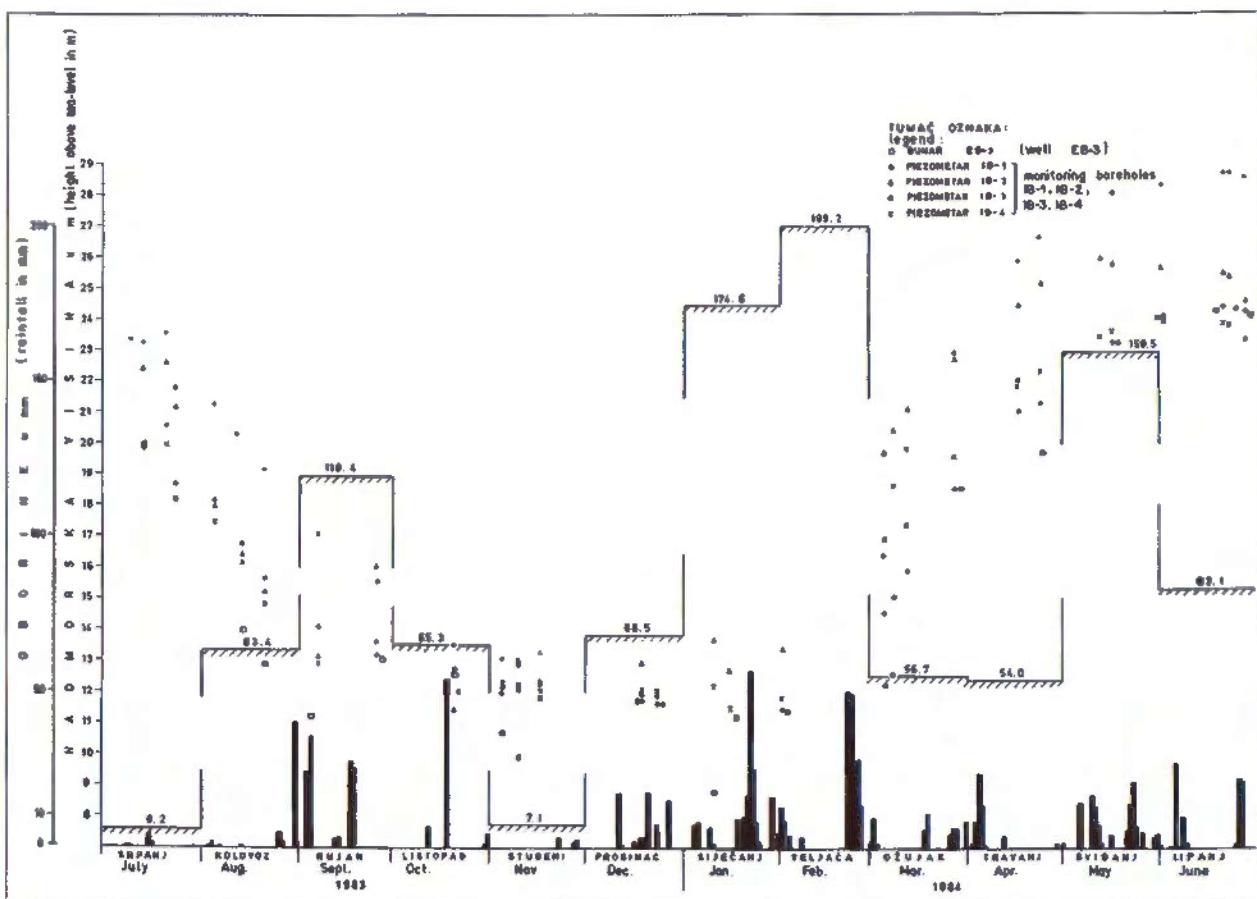
Ovaj hidrogeološki član, sveukupno najviše zastupljen u sukcesiji fliških naslaga, međutim najvećim dijelom prekriven kvartarnim sedimentima, vrši ulogu barijere, kako u regionalnom smislu tako i unutar pojedinih hidrogeoloških jedinica predstavlja nepropusne naslage.

U skladu sa definiranim propusnošću razlikujemo:

- I. vodonosnike
- II. barijere.

I. VODONOSNICI

a) Litofizičke osobitosti sloja konglomeratičnog fosilifernog pješčenjaka u uvjetima rasjedne tektonike omogućuju stvaranje nepravilnih "zupčastih" prijeloma, a s time u vezi i sekundarne poroznosti. S obzirom na veličinu zrna, posebice uklapljenih valutica i makrofotila, te naknadnim fizikalno-kemijskim djelovanjem podzemne vode, oslobadaju se meduprostori, a time se postiže povoljna propusnost. Hidrogeološkim istraživačkim radovima, te polučenim rezultatima dokazane su dobre mogućnosti uskladištenja podzemne vode i



Sl. 1 Kretanje razine podzemne vode na piezometrima IB-1, IB-2, IB-3, IB-4 i bunaru EB-3 i količina oborina 1983. i 1984. godine.
Fig. 1 Ground water level oscillation in the monitoring boreholes IB-1, IB-2, IB-3, IB-4 and well EB-3, and rainfall amounts in 1983 and 1984.

značajan transmisibilitet, kako po pružanju vodonosnika tako i u drugim pravcima, vezano uz rasjedne zone i prateće pukotinske sustave.

b) Izmjena pretežno pješčenjačkih i laporovitih naslaga ima prostorno i s obzirom na ukupnu debljinu tih naslaga, mnogo veće prostranstvo na proučavanom području od vodonosnika pod "a".

Hidrogeološke značajke ovog vodonosnika, osim u izuzetnim okolnostima, u potpunosti se razlikuju od prethodno izdvojenog. Prevladavajući, sitnozrno pješčenjački sedimenti, te interkalacije i izmjene s pelitima nepovoljno djeluju na razvitak rasjedno-pukotinske mreže, a time i na znakovitost hidrogeoloških parametara. Na nekom drugom lokalitetu, gdje ne postoji vodonosnik sa povoljnijim hidrogeološkim značajkama i ovaj kompleks naslaga odigrao bi svoju skromnu ulogu u vodoopskrbi, što je u ostalom i ovdje bio slučaj do 70-tih godina.

II. BARIJERE

Iako se radi o jednoj, i to poglavito laporovitoj litološkoj asocijaciji, s obzirom na prostorni raspored, tj. često ponavljanje u vidu stratifikacije, govori se gledajući na funkciju u množini. Osnovna uloga barijere u okvirima fliških naslaga, posebno na otoku, je zaštita

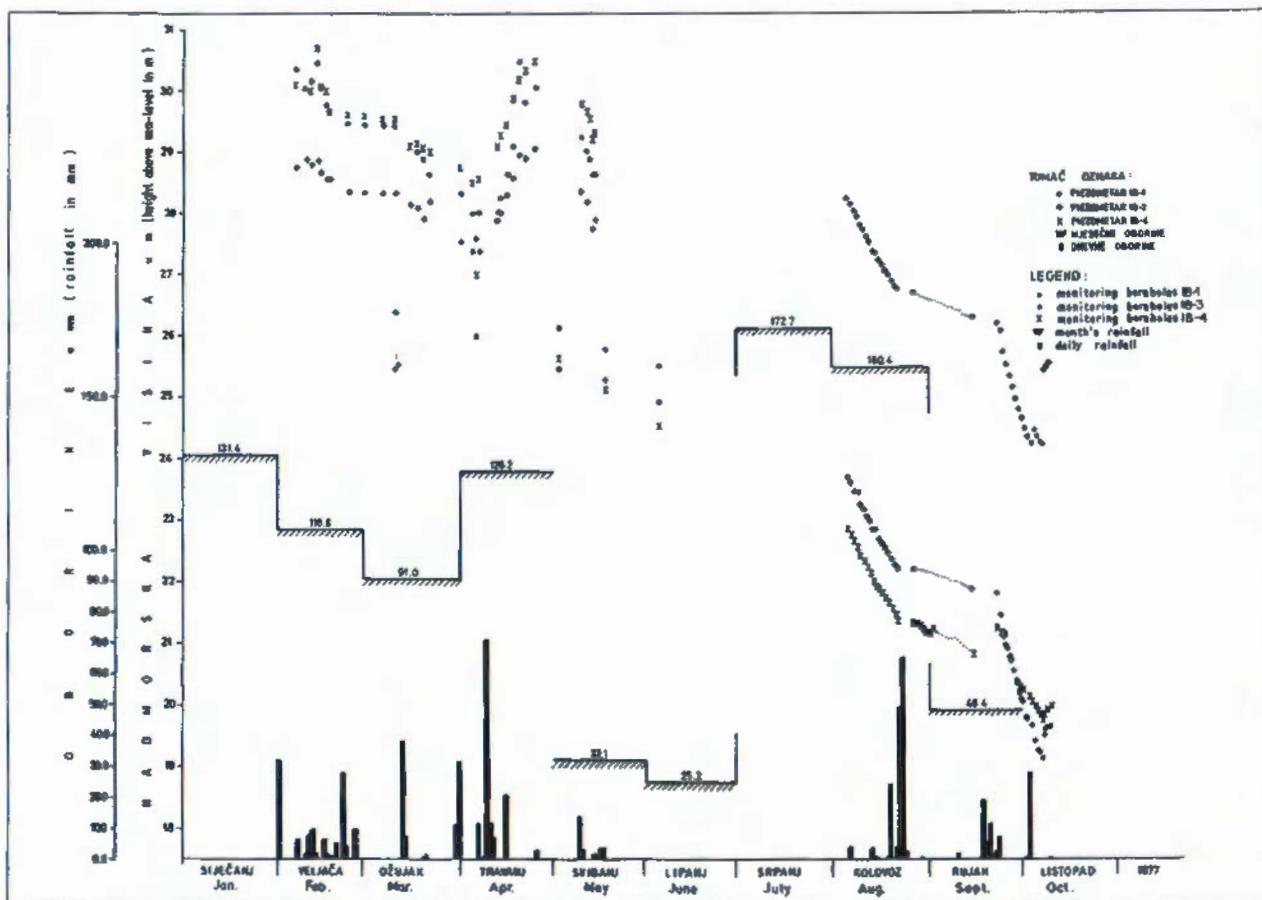
od prodora mora. Prisustvo relativno nepropusnih naslaga s druge strane smanjuje mogućnost infiltracije; okomito, a često i lateralno prekida kontinuitet uskladištenja podzemne vode, odnosno utječe na promjenu hidrogeoloških parametara odvojenih vodonosnika kao i pojedinih intervala unutar njih.

NAPAJANJE I PRAŽNjenje VODONOSNIKA

Izvori koji pripadaju najmlademu dijelu fliških naslaga, stalni i kaptirani, male su ujednačene izdašnosti, oko jedan decilitar u sekundi. Izuzetak čine izvori čija izdašnost oscilira u znatnijem razmjeru i koji su pokazatelji za stupanj zasićenosti vodonosnika.

S obzirom na izuzetno neravnomjernu raspodjelu padavina, naročito kao posljedica dugotrajne suše u ljetnom i jesenskom razdoblju, neki izvori su koncem 1983. godine presušili (sl. 1).

Primjerice, najizdašniji izvor izdvojene hidrotektonske jedinice tek je početkom veljače 1984. godine počeo "funkcionirati", s time da se najprije pojavila samo mala lokva, tj. nije bilo otjecanja. Tek 6. ožujka registrirana je maksimalna količina otjecanja od 1,5 l/s. U travnju i svibnju otjecanje je bilo ujednačeno $Q = 0,6$ l/s, da bi se kod poslijednjeg mjerenja 26. VI. 1984. godine ponovno malo smanjilo na 0,4 l/s.



Sl. 2 Kretanje razine podzemne vode na piezometrima IB-1, IB-3, IB-4 i količina oborina u 1977. godini.

Fig. 2 Ground water level oscillation in the monitoring boreholes IB-1, IB-3, IB-4 and rainfall amounts in 1977.

Zbog izuzetno dugog sušnog razdoblja, te pro-
dužene eksploracije na bunaru EB-3 tijekom čitave
godine razina podzemne vode dosegla je u 1983. godini
najnižu kotu od približno 10 m nadmorske visine.
Zakašnjeo obnavljanje rezervi podzemne vode u fli-
škom vodonosniku uvjetovalo je i izuzetno kasnu poja-
vu otjecanja i na izvoru u uvali Dražina. Tek je prili-
kom mjerena 16. V. 1984. godine utvrđeno otjecanje
od 0,2 l/s, i to sa malom koncentracijom Cl^- od 76,3
mg/l, što ukazuje na znatno učešće padavina.

Napajanje i pražnjenje fliškog vodonosnika zbiva se
ovisno o količini i raspodjeli padavina. Prigodom izrade
eksploatacijskog bunara EB-3 od 7. veljače do 15. svib-
nja 1977. godine vršena su neprekidno mjerena razine
odzemne vode na pijezometrima IB-1, IB-3, IB-4 (sl. 2)
i ustanovljeno je slijedeće:

Nakon prethodnih obilnih padavina vodonosnik je
bio saturiran vodom a razine podzemne vode izmjerene
su na nadmorskim visinama od približno 30 metara.
Ustanovljeno je da je za održavanje razine podzemne
vode na tim kotama uz prevladavajuće uvjete potrebna
mjesečna količna padalina od cca 110 l/m^2 .

Nakon izrade bunara i provedenih testiranja u
kolovozu su vršena crpljenja za potrebe vodoopskrbe, a
od konca kolovoza do sredine rujna nastavljena su
mjerena razine podzemne vode, kada je dokazano
prirodno pražnjenje vodonosnika. Iako je upravo nakon

prestanka crpljenja palo oko 130 mm padavina u roku
od 5 dana, što i nije uobičajeno za taj dio godine, a
srpanj i kolovoz su imali izvanredno visoku količinu
padavina (173-160 mm), trend prirodnog pražnjenja
nije zaustavljen; možda je ipak smanjen. Od 24. rujna
testiran je bunar s količinom $Q = 21.7 \text{ l/s}$. Kroz 14 dana
iscrpljeno je cca 27000 m^3 podzemne vode, pa iako je
povratak praćen samo dva dana razina podzemne vode
na pijezometrima IB-1 i IB-4 nalazila se na pravcu
prethodno praćenog prirodnog dreniranja. Jedino uz
sam bunar postojao je još zaostatak povratka razine
podzemne vode.

Učinjen osrvt bio je potreban iz razloga jer u kasni-
jim godinama, a posebice tijekom mjerena 1983.-1984.
godine nije bilo mogućnosti za opažanja ovakve vrste,
pošto se svaki prekid u eksploataciji izravno odražava
kao deficit u vodoopskrbi. Za razliku od maksimalnih
razina podzemne vode za to potrebnih prosječnih
količina padavina za odražavanje stanja ravnovesja iz
podataka mjerena uočljivo je da pri maksimalnim razi-
nama podzemne vode, koje su zabilježene upravo
tijekom ovih opažanja, nema bitnijih oscilacija, pre-
ciznije rečeno nema sniženja s obzirom na izrazito malu
količinu padavina u travnjaku i listopad-studeni-
prosinac. Sniženjem razine u vodonosniku smanjeno je
njegovo prirodno pražnjenje. Zanimljiv je podatak da se
obnavljanje zaliha u promatranom dijelu fliškog vodo-

nosnika dogada tek nakon dvomjesečnog razdoblja iznad prosječnih mjesecnih padavina. Tangens kuta koji zatvara krivulja sa apscisom i predstavlja obnavljanje zaliha, mnogo je strmiji u usporedbi sa sniženjem pri-godom crpljenja, u što je uklopljeno i prirodno dreniranje vodonosnika.

Učinjen je i bilančni račun uz poprilično stroge kriterije. Debljina vodonosnika smanjena je za pet metara, a za prosječnu vrijednost efektivnog poroziteta usvojena je vrijednost $u = 0,03$.

Dobivene su zalihe u količini od približno $1.200.000 \text{ m}^3$, pa kada se odbije otjecanje na izvoru iznad kote od 25 m.n.m. i količine crpljenja sa dva bunara ostaje još mogućnost povećanja crpljenja s količinom od 8 l/s za razdoblje od četiri mjeseca.

PREGLED KORIŠTENE LITERATURE

- JAHIĆ, M., JOSIPOVIĆ, J. & OSTOJIĆ, Đ. (1981): Metode određivanja osnovnih parametara za proračun bilansa podzemnih voda.- Geoinženjer, Sarajevo.
- MAMUŽIĆ, P. (1961): Geologija otoka Raba.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- TUŠAK, B. et al. (1973): Vodoistraživački radovi na otoku Rabu - I. faza.
- TUŠAK, B. et al. (1977): Vodoistraživački radovi na otoku Rabu - II. faza.
- TUŠAK, B., MAGDALENIĆ, A., UDILJAK, S. et al. (1985): Hidrogeološki istraživački radovi za izradu bilance i određivanje zaštitnih zona na otoku Rabu.- Zagreb.
- VEN TE CHOW (1964): Handbook of applied hydrology.

ZAKLJUČAK

Vodonosnik u fliškim naslagama predstavlja prirodni rezervoar podzemne vode. Zalihe uskladištene ispod kote od 25 m.n.m tako se sporo dreniraju na izvorima male izdašnosti ($Q = 0,1 \text{ l/s}$) da praktički ne utječu na smanjenje piezometarskog pritiska. S obzirom da je potrošnja u ljetnim mjesecima višestruko povećana zbog dolaska turista uskladištene zalihe koriste se u tom razdoblju. Obnavljanje se vrši tijekom godine infilracijom padavina.



Hidrogeološka interpretacija utjecaja okoliša na krške vodonosnike središnje Istre

Tatjana VAZDAR & Kosta URUMOVIĆ

Ključne riječi: krški vodonosnici, vodna bilanca, slivno područje, utjecaj okoliša, središnja Istra

Key words: Karstic aquifers, Water-budget, Catchment area, Environmental impact, Central Istria

Sažetak

Područje središnje Istre predstavlja dio hrvatskoga krša sa specifičnim utjecajem okružja na formiranje vodonosnika i kvalitetu vode u njima. Geološka grada, morfologija terena, velika visina padalina u zaledu i njegova snažna okršenost dovele su do održavanja duboke cirkulacije podzemnih voda i stvoreni su uvjeti za istovremeno, ali različito otjecanje na većem broju izvora. Raspodjela vodne bilance pri tome ovisi o vodostaju u podzemlju i režimu oborina. U takvima uvjetima dolazi do bitnih promjena regionalnih hidrauličkih odnosa, što ima za posljedicu preklapanje slivnih područja izvora i slivovi mogu znatno premašiti one relacije koje su ustavljene trasiranjima ponora. To upućuje da utjecaj okoliša na krške vodonosnike ima prostorno veći, a vremenski dugotrajniji utjecaj, te da u realnim okolnostima uz geološka, hidrološka i hidrogeološka istraživanja postaje posebno važno proučavanje i detaljno snimanje kvalitete podzemnih voda.

Abstract

The Central Istria represents the marginal part of the Croatian karst region characterized by specific environmental impact on aquifers formation and their water quality. Geological framework, morphology of terrain, high level of precipitation in hinterland together with high level of karstification, enable deep circulation of underground waters, thus making conditions for contemporaneous runoff of different magnitude on numerous springs. The distribution of water-budget is dependable on underground water level and precipitation regime. In such conditions substantial changes of the regional hydraulical relations of groundwater system become prominent leading to the occasional catchment area overlap so that areas considerably exceed the relations established by the sink-hole tracings. This speaks in favour of environmental impact on the karstic aquifers that has temporally longer influence and is affecting the larger area, and that in real conditions neighbouring geological, hydrological and hydrogeological investigations become especially important in the study and monitoring of quality of underground water.

UVOD

Područje središnje Istre predstavlja dio hrvatskoga krša sa specifičnim utjecajem okružja na formiranje vodonosnika i kvalitetu vode u njima. Iz takovih krških vodonosnika kroz erodirane fliške naslage probijaju se snažni krški izvori - Sv. Ivan, Bulaž, Gradole. Relativno obilje vode i nastale hidrogeološke strukture održavaju značajno otjecanje i u najsušnjim razdobljima, te su ovi vodonosnici od vitalnog značaja za razvoj čitavog Istarskog poluotoka.

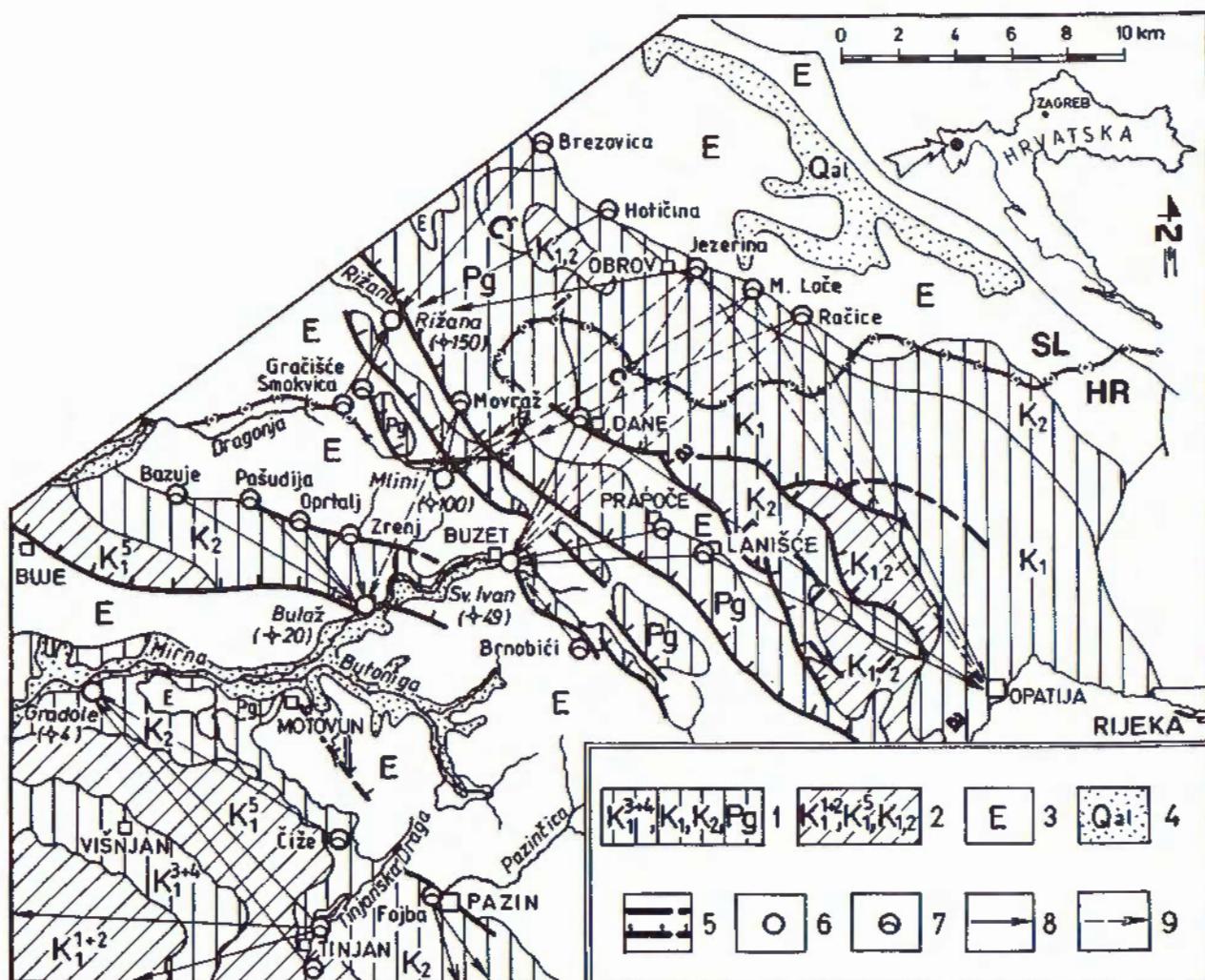
Dok obilje vode osigurava propulsivan gospodarski razvoj kraja, gospodarske aktivnosti imaju, a mogu imati i snažnije, negativne posljedice za kvalitetu podzemnih voda. Poseban utjecaj imaju industrijski pogoni i agronomski djelatnosti, te prometnice i ispusti otpadnih voda naselja, a zbog hidrogeoloških prilika postoji i velika opasnost po kvalitetu podzemnih voda i od nekontroliranog odlaganja otpada (ponikve, ponori, napuštena boksitna ležišta). U takvima okolnostima, da bi se rizik od degradacije kvalitete podzemne vode sveo

na minimum, problem učinkovite zaštite od zagadenja postaje presudan čimbenik.

GEOLOŠKA GRADA

U geološkoj gradi središnje Istre zastupljene su karbonatne i klastične naslage stratigrafskog raspona od donje krede do eocena. Kvartaru pripadaju aluvijalne naplavine površinskih vodotoka.

Najstarije naslage na površini su pločasti vapnenci i podredeno dolomiti donjokredne starosti. U gornjoj kredi i na prijelazu u paleogen nastaje raznovrstan paleokrški reljef u čijim su udubljenjima istaložena brojna ležišta boksita. Transgresivno i diskordantno preko karbonatnih naslaga gornje krede istaložene su karbonatne i klastične stijene paleogena. U starijem dijelu to su litofacijsno razvrstani vapnenci, dok je mlađi dio paleogenskih sedimentata predstavljen flišem. Kvartaru pripadaju glinoviti materijali s različitim omjerom prašinastih, pjeskovitih i šljunkovitih čestica.



Sl. 1 Hidrogeološka karta (geološka podloga prema OGK 1:100 000, list Trst, autori: PLENIČAR, POLŠAK & ŠIKIĆ; list Ilirska Bistrica, autori: ŠIKIĆ, PLENIČAR & ŠPARICA; list Labin, autori: ŠIKIĆ, POLŠAK & MAGAŠ; list Rovinj, autori: POLŠAK & ŠIKIĆ). Legenda: 1 - vapnenci - dobro propusni; 2 - izmjenjena vapnenaca i dolomita, laporoviti vapnenci i vapneno-dolomitne breče - slabije propusni; 3 - fliš (lapići i pješčenjaci) - nepropusne naslage; 4 - pijesci, šljunci, gline - promjenljiva propusnost; 5 - normalan i reverzni rasjed; 6 - izvor; 7 - ponor; 8 - dokazana podzemna veza; 9 - prepostavljena podzemna veza.

U tektonskom pogledu u središnjoj Istri se razlikuju dvije, po struktturnim obilježjima bitno različite jedinice. Jedna se odlikuje relativno jednostavnim struktturnim sklopolom sa slabo izraženim poremećajima (sl. 1). Temeljna struktura je zapadnoistarska antiklinala. To je blaga, normalna, uspravna antiklinala s gornojurskim vapnencima u jezgri. Pružanje joj je sjeveroistok-jugozapad. U jugoistočnom krilu slojevi su blago nagnuti prema istoku do jugoistoku, ali su često i horizontalni. Središnji dio, pretežno izgrađen od karbonatnih klastita, relativno je neporemećen s najčešće blago nagnutim ili vodoravnim slojevima. Kao strukture drugog reda mogu se u ovom prostoru izdvojiti brojni normalni, vertikalni rasjedi s malom veličinom skoka. Oni dijele teren u blokove, a rasjedni kontakti, pogotovo na sjecištima rasjeda, pridonose dubokom okršavanju.

Za razliku od unaprijed opisanog, druga jedinica se odlikuje znatnom struktturnom poremećenošću. Temeljno strukturalno obilježje su reverzni rasjedi, dinarskog pružanja, koji su poremetili izoklinalne bore izgradene od krednih i paleogenskih vapnenaca, te klastita, pa su

tako nastale složene ljudskave strukture što je uvjetovalo i specifične hidrogeološke odnose i krške fenomene. U jezgrama raskinutih izoklinalnih bora nalaze se eocenski klastiti preko kojih su reverznim rasjedima nagurani vapnenci gornje krede i paleogena.

HIDROGEOLOŠKI ODNOSI

Za hidrogeološke odnose i okolnosti pojavljivanja izvora karakteristično je spregnuto djelovanje geoloških, morfoloških i hidroloških prilika. Pri tome odnosi distribucije hidrogeoloških svojstava stijena i njihovog struktturnog sklopa prema pojedinim morfološkim oblicima uvjetuju tipove rubnih uvjeta podzemnih voda, a hidrološke prilike diktiraju intenzitet cirkulacije podzemnih voda i ostvarenje onih pojava koje su uvjetovane visinom vodostaja, odnosno saturiranošću podzemlja.

U morfološkom pogledu u središnjoj Istri izdvajaju se tri cjeline. To su buzetsko-pazinski fliški bazen, ista-

knuta morfostrukturalna jedinica Čićarije i niska karbonatna zaravan. Fliški bazen karakterizira relativno bogatstvo mrežom recipijenata s mnoštvom povremenih bujičnih tokova koji završavaju ponorima na dodiru nepropusnih terena s karbonatnom osnovom. Moguća su i kratkotrajna plavljenja ponorskih zona. Jaka dislociranost padina, izrazita erozija fliških naslaga i spiranja rastrošenog materijala također su značajka ovog najnižeg predjela. Područje Čićarije morfološki je jako izdiferencirano pojavom strmih stuba i planinskih grebena u sklopu ljudskih struktura ili navlaka starijih stijena preko mladih. To daje karakterističan reljef terenu koji se ogleda u nizu terasastih zaravnih koje se stubasto spuštaju od sjeveroistoka prema jugozapadu. Morfološku jednoličnost karbonatne zaravni razbija vrlo izraženi mikroreljef koji se očituje brojnim površinskim i podzemnim oblicima, posebice u obliku ponikvi, spilja, jama i ponora. Oborinske vode najčešće se dijelom infiltriraju u podzemlje, a samo manjim dijelom evaporiraju. Rezultat toga je potpuno pomanjkanje površinskih tokova i pojave izvora.

Prema hidrogeološkim karakteristikama naslage se mogu razlučiti na relativno nepropusne klastične naslage fliša i propusne karbonatne naslage. U sjeveroistočnom krškom platou, na rubu prema kontinentalnim dijelovima rašireni su ogoljni tipični krški predjeli i pojavljuje se relativno velika količina oborina (preko 1500 mm/god). Jedini površinski tokovi su ponornice kratkog toka. Ovdje je uloga fliških naslaga samo u usmjerenju i koncentraciji oborinskih voda na rubne ponore. Naslage fliša u središnjem dijelu imaju snažan utjecaj na formiranje hidrogeoloških struktura. Fliške naslage u ovome području uložene su u ljudske strukture i ponegdje zaliježu ispod razine mora i uzrokuju duboku cirkulaciju podzemnih voda. Na to ukazuju lame i ponori dubine više od 100 m, a da ni jedna ne doseže do razine podzemne vode. Različitosti unutar niske karbonatne zaravni uzrokovane su različitim litološkim sastavom, načinom pojavljivanja, strukturno-tektonskim položajem i oštećenošću karbonatnih naslaga. Na površini su te stijene ujednačeno okršene, međutim pojava proslojaka dolomita, pločastih, škriljavih i laporovitih vapnenaca, te dolomitno-vapnenih breča u naslagama dijela donje krede uz određene geološke strukture (zapadno istarska antiklinala) izgleda da ima utjecaja na kretanje podzemnih voda, pogotovo malih voda.

Jedini stalni površinski vodotok je rijeka Mirna sa svojim pritokama, gdje se i pojavljuju izvori ovoga područja (sl. 1). Pojavu krških izvora Gradole i Sv. Ivan uvjetuju kvartarni glinovito-prašinasti materijali koji ispunjavaju dno doline rijeke i po svojim hidrogeološkim karakteristikama čine cjelinu s fliškim sedimentima. Pojava izvora Bulaž vezana je za kontakt nepropusnih kvartarnih sedimenata i propusnih vapnenaca. To su krški izvori arteškog karaktera, pa kako su kaptirani u sušnom razdoblju crpi se količina veća od slobodnog preljeva. Pojave izvora manjih izdašnosti

vezane su za procijedivanje vode iz fliških rastrošenih naslaga.

REŽIM IZVORA

Tri glavna izvora središnje Istre koji svojim načinom pojavljivanja i režimom protoke izražavaju regionalne hidrogeološke uvjete ovoga područja su Sv. Ivan, Bulaž i Gradole.

Izvor Sv. Ivan, koji je kaptiran za potrebe vodoopskrbe, i još desetak manjih ili većih jezeraca iz kojih povremeno ili stalno istječe voda, čine zajedničku izvorishnu zonu. Izdašnost izvora je relativno ravnomjerna. Maksimalna izdašnost povremeno premašuje 2000 l/s, dok u sušnom razdoblju opadne na crpnu količinu koja se kreće u rasponu od 150 do 220 l/s. Odnos minimalne i maksimalne izdašnosti izvora kreće se oko 10, a odnos Q_{\max}/Q_{\min} zbog mogućnosti sniženja vodostaja ispod razine terena više ovisi o crpnoj količini u sušnom razdoblju nego o maksimalnim izdašnostima. Relativno velika minimalna izdašnost i relativna ujednačenost maksimalnih izdašnosti u odnosu na uobičajene hidrološke uvjete na krškim izvorima omogućena je formiranim rubnim uvjetima. Pri tome presudnu ulogu u regulaciji maksimalnih izdašnosti na izvoru Sv. Ivan ima povremeni krški izvor Tombazin, na rubu doline uz kontakt fliša i vapnenaca, koji u stvari predstavlja preljevanje podzemnih voda iz krškog vodonosnika pri ekstremnim vodostajima (HEVNJAK et al., 1995). U priljevnom području izvora, na višem morfološkom platou nalazi se izvor Pivke (sl. 1) koji se aktivira samo pri vrlo obilnim kišnim razdobljima kada količina poniranja vode premaši prijenosne domete krškog podzemlja. U svim ostalim prilikama podzemna voda cirkulira kroz vapnence ispod fliških naslaga i redovito se izlijeva na izvoru Sv. Ivan. Pri visokim vodostajima, kada razina podzemne vode poraste iznad razine površinskog dodira fliških naslaga u dolini Mirne i rubnih vapnenaca, tada se aktiviraju rubni izvori. Ovi izvori, kao i cijeli niz izvora uz korito Mirne, vjerojatno predstavljaju široku i raznoliku izvorishnu zonu istoga krškog vodonosnika značajnu s gospodarskog stajališta, budući da predstavlja značajnu akumulaciju podzemnih voda u sušnom razdoblju.

Izvor Bulaž, također uzlazni izvor koji se pojavljuje u obliku jezerca promjera oko 50 m i dubine oko 20 m, nalazi se na kontaktu gornjokrednih vapnenaca i aluvijalnog nanosa rijeke Mirne (MAGDALENIĆ et al., 1987). Dno jezerca prekriveno je muljem debljine mjesetimčno veće od 1 m. Izdašnost izvora je vrlo promjenljiva, no izvor ne presušuje. Velike izdašnosti izvora nastupaju kao posljedica intenzivnih padalina i karakteriziraju brzo dreniranje. U sušnom razdoblju utjecaj oborina je slabo izražen. Srednje godišnje izdašnosti nešto su veće od $2 \text{ m}^3/\text{s}$, dok minimalna zabilježena izdašnost iznosi 42 l/s , a maksimalna se kreće oko $38 \text{ m}^3/\text{s}$. Regionalne odnose u slivu izvora Bulaž moguće

je shematisirati složenim spletom kaverni, pukotina i prslina različitog položaja i medusobne povezanosti koje diktiraju provodne karakteristike podzemlja, odnosno akumulacijska svojstva vodonosnika. Prema načinu otjecanja velikih vodnih valova i mogućem procesu razvoja okršavanja idući od površine terena prema dubini, pretpostavlja se više nivoa provodnih pukotina i kaverni. Najniža registrirana razina karstifikacije regionalnog karaktera vjerojatno odgovara kaverni nabušenoj na dubini oko 55 m (28 m ispod razine mora). To istovremeno upućuje na postojanje značajnih akumulacija podzemnih voda ispod razine preljeva izvora Bulaž i mogućnosti njihovog korištenja u sušnom razdoblju.

Izvor Gradole leži na samom rubu doline rijeke Mirne ispod vertikalnih naslaga vapnenaca kredne starosti. Voda izbija iz krške pukotine, uz rub kvarternih naslaga, te i ovaj izvor predstavlja tipično krško uzlazno vrelo. Izdašnost izvora je promjenljiva. Maksimalna izdašnost je do $15 \text{ m}^3/\text{s}$, i upravlјana je veličinom otvora pukotine (GULIĆ, 1973). Minimalna izdašnost kreće se oko 500 do 600 l/s, a samo u slučaju ekstremnih suša ona može pasti i ispod (420 l/s). Odnos minimalne i maksimalne izdašnosti izvora stoga varira do 1:20. Po svojoj izdašnosti u sušnom razdoblju to je najveći izvor na području cijelog Istarskog poluotoka. Dapače, količina njegove izdašnosti pri minimalnim vodostajima nadmašuje ukupnu izdašnost svih značajnijih izvora na ovom poluotoku u sušnom razdoblju. To znači da pri minimalnim vodostajima gotovo 50% voda istječe na jednom mjestu, odnosno na izvoru Gradole. Prema podacima trasiranja pretpostavljeno je da se glavnina vode izvora Gradole napaja na ponoru Čiže (GULIĆ, 1973; MAGDALENIĆ et al., 1993), no realni režim izvora, a posebice relativno velika izdašnost izvora u sušnom razdoblju ukazuje da u istjecanju na izvoru Gradole sudjeluju znatno širi regionalni tokovi.

KRETANJE PODZEMNIH VODA

Za utvrđivanje kretanja podzemnih voda, te dobivanje prividnih brzina kretanja podzemne vode i strukture podzemlja kao i za ustvrdjivanje podzemnih razvodnica, uz hidrogeološke, hidrološke i druge radove izvedena su na širem području i brojna trasiranja podzemnih voda (KRIVIĆ et al., 1987, 1989; MAGDALENIĆ & VAZDAR, 1993). Iz rezultata trasiranja može se zaključiti slijedeće (sl. 1):

- vode koje poniru u visokom platou Čićarije gibaju se duž struktura prema Opatijskoj obali i okomito na strukture i predstavljaju važan dio voda koje istječu na izvoru Sv. Ivan,
- vode koje poniru u središnjim predjelima Istre dreniraju se prema obližnjim izvorima.

Nadalje, na osnovu izvedenih trasiranja, geoloških i strukturnih odnosa u terenu, hidrogeološke funkcije sti-

jena, hidrogeoloških pojava, hidrološke analize istjecanja na izvorima i visine padalina odredene su površine i granice priljevnih područja izvora. Dobivena su relativno mala i odvojena priljevna područja. Tako je za izvor Sv. Ivan pretpostavljeno da drenira jugozapadne dijelove planinskog masiva Čićarije na ukupnoj površini oko 70 km^2 (BONACCI & MAGDALENIĆ, 1993). Također je zaključeno da izvor Bulaž drenira vode iz karbonatnog zaleda, koje se proteže sjeverno i SZ od izvora i iz fliškog područja sjeverno od vapnenačke visoravni i ima priljevnu površinu oko 105 km^2 (MAGDALENIĆ et al., 1987). Za izvor Gradole je prema rezultatima trasiranja zaključeno da drenira vapnenački plato između rijeke Mirne i Limskog kanala na površini 104 km^2 (VAZDAR et al., 1994). Ove površine jamačno zahvaćaju predjele pretežitog dreniranja prema izvorima, no već na prvi pogled uočljiva je divergencija između minimalnih izdašnosti izvora i priljevnih površina. To u svakom slučaju postavlja sumnju u realnost okonturenih slivova. Novija istraživanja povezana s problemima ugroženosti navedenih izvora (URUMOVIĆ et al., 1995) potvrdila su navedenu pretpostavku i ukazala na zamršene uvjete cirkulacije podzemnih voda, te na velika preklapanja slivnih područja, i to ne samo s promjenljivošću oborinskog režima nego i intenziviranjem korištenja podzemnih voda u sušnim razdobljima. Duboka cirkulacija podzemne vode utvrđena bušenjem na izvoru Bulaž govori u prilog mogućnosti širih regionalnih strujanja u sušnom razdoblju, posljedica kojih može biti relativno velika izdašnost izvora Gradole u sušnom razdoblju (URUMOVIĆ et al., 1995). Naime, kako je duboka cirkulacija podzemnih voda prvenstveno uvjetovana geološkim strukturama, a hidraulički uvjeti pojavljivanja pojedinih izvora upravljeni su odnosom morfologije terena i hidrogeoloških struktura, to izrazito heterogeni sustav kanala i drugih šupljina u podzemlju, te raznolika distribucija poniranja oborina dovodi do istovremenog ali raznolikog otjecanja na većem broju izvora. Brzo otjecanje velikih količina podzemnih voda koje se napajaju u neposrednom okružju izvora dovodi do promjene hidrauličkih odnosa. U regulaciji regionalnih hidrauličkih odnosa sudjeluje istovremeno kako proces napajanja poniranjem padalina tako i proces istjecanja podzemnih voda na većem broju izvora. Regionalni hidraulički odnosi u sušnom razdoblju mogu poprimiti takve relacije da se slivovi pojedinih izvora postupno šire prema uzvodnim dijelovima vodonosnika u kojima je otjecanje reducirano relativno nižom regionalnom propusnošću naslaga. Takav sustav toka podzemnih voda u vrijeme niskih vodostaja, hidraulički se može predočiti kao procijedivanje voda uskladištenih u slabije propusnim naslagama prema rasjednim zonama (KOVACS, 1986), preko kojih se napajaju kanali povezani s izvorom. Ekvivalentni hidrogelološki parametri vodonosnika pri kojim se odvijaju tokovi u vodonosniku tijekom niskih vodostaja bitno su različiti od onih pri visokim vodostajima, pa je intenzivno

crpljenje na lokaciji izvora pri minimalnim izdašnostima jedini način za identifikaciju hidrauličkih parametara.

UTJECAJ OKOLIŠA NA PODZEMNE VODE

Na podzemne vode utjecaji okoliša mogu biti višestruki. Na području središnje Istre kao najznačajniji se ubrajaju: industrijski pogoni, otpadne vode naselja, odlagališta otpada, agronomска djelatnost, prometne površine, te zagadene površinske vode.

Ovi utjecaji posebno su naglašeni u periodu velikih voda kada je brza komunikacija od mjesta zagadivanja do izvora. Vrijeme ulaska zagadivala u podzemlje do pojave na izvoru kreće se od nekoliko sati do nekoliko dana, tako da je mogućnost samopročišćavanja neznatna. Zbog različitih vodnih stanja u podzemlju, brzine tečenja i odnos vremena zadržavanja zagadivala u podzemlju u sušnom i kišnom periodu su različiti.

Prema kemijskom sastavu sve su vode Ca-CO_3 tipa. Povremene pojave zagadenja zapažene su na svim izvorima, no u postojećim uvjetima voda se uspijeva kondicionirati do kvalitete pitke vode.

Nepravilno reguliranje odvodnje otpadnih voda jedan je od uzroka zagadivanja voda površinskih vodo-toka i podzemnih voda. Sastav otpadnih voda koje ispuštaju pojedini industrijski pogoni ovisi o vrsti tehnološkog procesa industrije. Pokazatelji takve vrste zagadenja su povišeni sadržaji dušika, amonijaka, suspendirane tvari, te kemijske i biološke potrošnje kisika.

Biološka zagadenja, naročito fekalna i to osobito poslije kiša, česta su pojava na izvorima. Ona su vjerojatno posljedica otpadnih voda iz domaćinstava. Nadalje, kako za odlaganje otpada najčešće služe korita potoka, jame i ponori, te ponikve, napušteni kamenolomi i napuštene boksitne jame, akumulirana nečistoća za vrijeme kiša ispirje se u podzemlje. Kada će se to zagadjenje pojaviti na najbližim izvorima ovisi o hidrološkom stanju podzemlja.

U razdoblju niskih vodostaja na izvoru se smanjuje bakteriološko zagadenje, a to se može tumačiti crpljenjem vode iz dubljih horizonata gdje zbog statičnosti nema preživljavanja bakterija.

Prometnice koje prolaze preko krških terena velika su potencijalna opasnost za podzemne vode zbog mogućeg prevrtanja cisterni i izljevanja naftnih derivata u podzemlje. Stalni su aktivni izvor zagadenja zbog kondenziranih ispušnih plinova motornih vozila i prokapljivanja ulja. Dio toga zadrži se u tlu, a u kišnom razdoblju može doprijeti i do podzemne vode. Povremeno povećan sadržaj olova na izvorima Sv. Ivan i Gradole pripisuje se upravo ispiranju s prometnicama.

Sadržaj nitrata i pesticida u izvorskoj vodi svakodnevno se povećava, što ukazuje na činjenicu da agro-nomska djelatnost ima sve veći utjecaj na kvalitetu podzemne vode.

Interesantna su zapažanja mutnoće vode na izvorma. Pojava mutnoće je funkcija oborina, ali i intenziteta i trajanja oborina. Oborinskim vodama unosi se mutna voda u podzemlje, a istovremeno se u podzemlju pokrene prije nataloženi mulj kao posljedica promjene uvjeta tečenja. Poslije oborina određenog intenziteta mutnoća se javlja naglo, a uočeno je da oborine veličine 30 mm, iako ne uvijek, daju reakcije zamućenja na izvoru.

Zanimljiv je podatak da se u podzemnim vodama izvora često zapaža sadržaj željeza koji je redovito manji od 0.3 mg/l. Ova se pojava može protumačiti kao posljedica truljenja biljnih nanosa u kavernama stalno saturiranih dijelova naslaga. Ovome u prilog govori i podatak da je prilikom bušenja kraj izvora Bulaž nabušena kaverna s ostacima truleži i komadima drveta, na dubini oko 40 m ispod razine mora.

ZAKLJUČAK

U krškom vodonosnom sustavu postoje uvjeti za istovremeno, ali različito otjecanje na većem broju izvora, a raspodjela vodne bilance pri tome ovisi o vodostaju u podzemlju i režimu oborina. Primjerice, u sušnom razdoblju, pri minimalnim vodostajima u podzemlju gotovo 50% voda istječe ne jednom mjestu, na izvoru Gradole. Nazočni režim strujanja podzemnih voda je ne samo posljedica hidrogeoloških struktura i uvjeta napajanja podzemnih voda, nego i promjenljivosti regionalnih hidrauličkih odnosa pri različitim vodostajima. Zbog toga se pojavljuje preklapanje slivnih područja izvora i stvarne priljevne površine premašuju one relacije koje su ustanovljene trasiranjima. Okolnost da slivovi pojedinih izvora mogu znatno premašiti površine istražene trasiranjem ponora upućuju da je utjecaj okoliša na kvalitetu podzemnih voda prostorno veći, a vremenski dugotrajniji. Za promatranje utjecaja okoliša na krške vodonosnike u realnim okolnostima uz geološka, hidrološka i hidrogeološka istraživanja postaje posebno važno proučavanje i detaljno snimanje kvalitete podzemnih voda. Promišljanje zaštite izvora u takvim uvjetima treba prvenstveno usmjeravati na sprečavanje mogućeg zagadenja, vodeći pri tome poglavito brigu o uzvodnim dijelovima vodonosnog sustava.

LITERATURA

- BONACCI, O. & MAGDALENIĆ, A. (1993): The Catchment Area of the Karst Spring Sv. Ivan in Istria (Croatia).- *Ground Water*, 31/5, 767 - 773.
- GULIĆ, I. (1973): Izvor Gradole - krški fenomen u dolini rijeke Mirne.- *Gradevinar*, 5, 152 - 161, Zagreb.
- HLEVNIJAK, B., MAGDALENIĆ, A., VAZDAR, T., URUMOVIĆ, K. & DRAGIČEVIĆ, I. (1995): Uloga izvora Tombazin u regulaciji izvora Sv. Ivan u Istri.- *Zbornik radova 1. Hrvatske konferencije o vodama "Održivi razvoj i upravljanje vodama"*, 2, 53-64, Dubrovnik.
- KOVACS, G. (1986): Special aspects of modeling karstic groundwater systems.- *Karst Water Resources (Proceedings of the Ankara-Antalya Symposium, July 1985)*, IAHS Publ., 161, 27-54, Ankara.
- KRIVIC, P., BRICELJ, M., TRIŠIĆ, N. & ZUPAN, M. (1987): Sledenje podzemnih vod v zaledju izvira Rižane.- *Acta carsologica*, XVI/4, 83-104, Ljubljana.
- KRIVIC, P., BRICELJ, M. & ZUPAN, M. (1989): Podzemne vodne zveze na području Čičarje in osrednjega dela Istre.- *Acta carsologica*, XVIII, 265-295, Ljubljana.
- MAGDALENIĆ, A., BONACCI, O. & JURAK, V. (1987): Sliv izvora Bulaž u središnjoj Istri.- *Krš Jugoslavije*, 12/1, 1-26, Zagreb.
- MAGDALENIĆ, A., BONACCI, O., VAZDAR, T. & HLEVNIJAK, B. (1993): Sliv izvora Gradole. Zone sanitарне zaštite.- *Hidrogeološka i hidrološka studija*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- MAGDALENIĆ, A. & VAZDAR, T. (1993): Hidrogeološka interpretacija trasiranja podzemnih voda u središnjoj Istri.- *Hrvatske vode*, 1/4, 231-238, Zagreb.
- URUMOVIĆ, K., VAZDAR, T., DRAGIČEVIĆ, I. & HLEVNIJAK, B. (1995): Hidrogeološka studija o ugroženosti izvora Sv. Ivan, Bulaž i Mlini.- *Preliminarno izvješće*, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb.
- VAZDAR, T., HLEVNIJAK, B. & MAGDALENIĆ, A. (1994): Zaštita krških izvorišta pitke vode u središnjoj Istri.- *Zbornik referatov međunarodnog strokovnog posvetovanja "Problematika kakovosti pitne in odpadne vode"*, 110-125, Rogaška Slatina.



Pliocene to Pleistocene Alluvial Sediments in Drava River Depression, Northern Croatia

Josipa VELIĆ¹, Ervin MRINJEK² & Jasenka SREMAC²

Key words: Sheet flow, Alluvial fan, Braided river system, Drava river depression

Abstract

Facies analysis of the Pliocene to Pleistocene alluvial sediments found out distinct alluvial systems: (1) alluvial fan systems characterized by gravels mostly with discontinuous sheet-like geometry; (2) sandy braided river systems indicated by characteristic sandy facies arrangement. The flora found in flood plain deposits suggest moderately humid climate.

1. INTRODUCTION

This paper deals with the facies, facies associations and sequences of the Pliocene to Pleistocene alluvial sediments in the Virovitica area in northern Croatia (Fig. 1) in relation to provide insight into alluvial evolution and interpretation.

2. GEOLOGICAL SETTING

In the Virovitica area the Pliocene to Pleistocene sediments are up to 50 m thick. They unconformably overlie the Lower Pliocene sands, marls and clays and are overlain by the Pleistocene loess, lacustrine-marsh silts and clays and eolian sands (GALOVIĆ et al., 1976; MARKOVIĆ, 1984).

The studied quarries are located in hummocky area in the zone of southern marginal fault of Drava river depression - right-hand wrench fault according to DRA-GAŠ et al. (1995). The uplift and horizontal movement as well as deformation of Neogene and Quaternary sediments revealed the most intensive tectonic activity in the Virovitica area. Palaeotectonic analysis found out deepening of the studied area until the Upper Pliocene and since that time successive rising (particularly during Quaternary).

3. LITHOFACIES

Sandy facies predominate in the outcrops. Gravelly facies are also common and are mostly present in the lower part of the outcrops. Relatively thick fine-grained facies are in the outcrop near Cabuna.

Sands are primarily quartz rich but also commonly contain labile components, mostly feldspars and muscovite, carbonate and metamorphic rock fragments.

They vary from fine- to coarse-grained types but medium-grained type is predominant. Grains are surrounded to rounded with generally good sorting.

Gravels are consisting almost completely of quartz clasts (95%) and vary rare clasts of sandstone, metamorphic clasts and dolomite. Clasts are surrounded to rounded. A clast size varies from granule to cobble but prevail finer pebble. Clasts are supported, containing fine-grained to coarse-sand matrix. Some units exhibit open-framework packing. A clast sorting varies from moderate to good.

Fine-grained sediments are silty clays and marls composed of clay minerals and silt-grade quartz. They contain a species rich phytocenosis of *Angiospermae*. Fifteen species have been identified with domination of *Acer* and *Carpinus*, which are indicative of moderate climate and floral colonisation of the young unconsolidated alluvial soils (Table 1).

For the purpose of the facies description and environmental interpretation these layers have been subdivided into 12 lithofacies. The descriptive data of the main lithofacies are presented in Table 2 where have been organized into coded schemes.

4. AN OUTLINE DESCRIPTION AND INTERPRETATION OF LITHOFACIES ASSOCIATIONS

The lower part of outcrops consists of gravels with discontinuous sheet-like geometry in vertical view (Figs. 2 and 3). The sheet-like form is expressed by vertically alternating planar gravel units (facies Gh) with different clast size (granular, pebbly or cobbly units). The units

¹Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Croatia.

²Department of Geology and Palaeontology, Faculty of Sciences, Zvonimirova 8, HR-10000 Zagreb, Croatia.

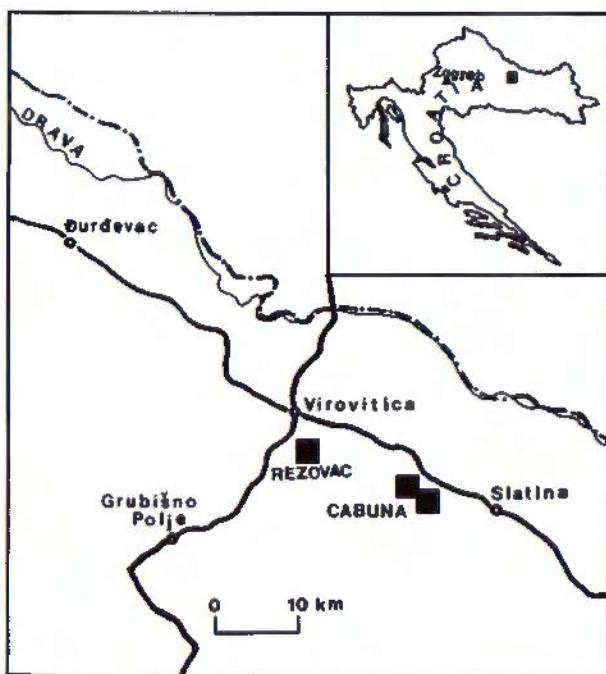


Fig. 1 Situation map.

are 5 to 30 cm thick with >10 m lateral extension. The cobble gravel units have a well-developed imbrication indicating palaeocurrents into N and NE directions. The units are regularly interstratified with the laminated pebbly or granular coarse sand (facies Sh and SI).

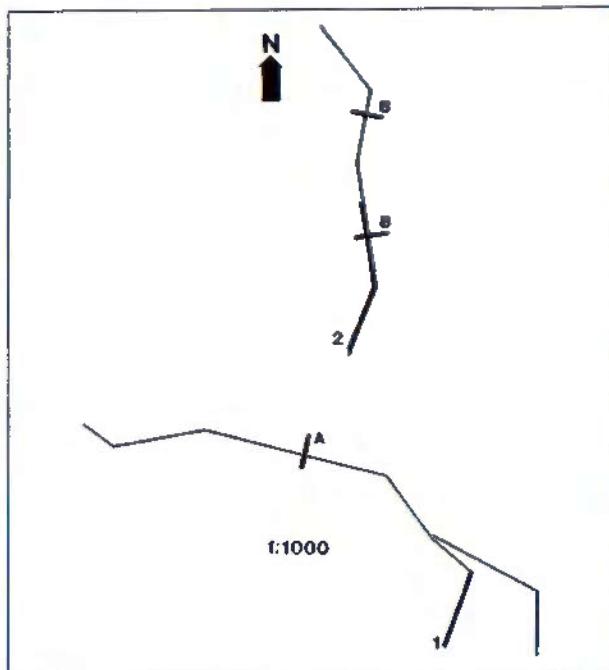


Fig. 2 Position of lateral profiles and logs in Cabuna quarry.

The low-angle cross stratified pebble to sandy pebble gravel (facies Gp) are found in associations with the sheet-like units. This facies is less common than planar-stratified gravel units. Its sets are 20-80 cm thick and usually dip up fan slope (Fig. 3).

SPECIES	FREQUENCY
I CONIFEROPHYTINA	
GINKGOATAE	
<i>Ginkgo biloba</i> LINNÉ	S
II MAGNOLIOPHYTINA (=ANGIOSPERMAE)	
A. HAMAMELIDIDAE	
Hamamelidales	
<i>Liquidambar europaeum</i> A.BRONGNIART	S
Fagales	
<i>Fagus sylvatica</i> LINNÉ	S
<i>Quercus</i> ex.gr. <i>mediterranea</i> UNGER	S
<i>Q. cf. lonchitis</i> UNGER	S
<i>Q. kamischinensis</i> GOPPERT	S
<i>Betula alba</i> LINNÉ	S
<i>Alnus julianaeformis</i> (Steenberg) KVAČEK & HOLY	S
<i>Carpinus betulus</i> LINNÉ	L
Urticales	
<i>Ulmus laevis</i> PALLAS	S
Myricales	
<i>Myrica lignitum</i> (UNGER) SAPORTA	S
<i>Myrica</i> sp.	S
B. ROSIDAE (=ROSIFLORAE)	
Fabales (=Leguminosae)	
Leguminosae gen. et sp. indet.	M
Sapindales	
<i>Acer platanoides</i> LINNÉ	L

Table 1 Flora from Cabuna (Virovitica, NE Croatia). Legend: S=small, M=medium, L=large

FACIES CODE	LITHOFACIES	SEDIMENTARY STRUCTURES	INTERPRETATION
Gm	clast-supported sand, matrix filled, poorly to moderately sorted, granule-cobble gravels	unstratified to crudely stratified rare imbrication	hyperconcentrated flows, unconfined or channelized
Gh	clast-supported, sand matrix filled or sand matrix free framework, moderately to well sorted, granule-cobble gravels	distinctly stratified, imbrication	sheet flows, upper flow regime (high Froude number, high capacity, high competency)
Gp	clast-supported, well sorted, granule-cobble gravels	planar cross-stratification	low-angle antidune in sheet-flows (upper flow regime)
Ge	clast-supported, poorly to moderately sorted, intraclast rich, pebble-cobble gravels	unstratified, rare imbrication	scour fills
St	well sorted, medium- to coarse-grained sands, pebbly sands	large-scale trough cross-stratification	three-dimensional mega ripples
Sp	well sorted, fine- to coarse-grained sands, (pebble sands)	large-scale planar cross-stratification	two-dimensional megaripples, linguoid bedforms, sandwaves
Sh	well sorted, medium- to coarse-grained sands, pebbly sands	horizontally stratified	upper and low flow regime, plane beds
Sl	well sorted, medium- to coarse-grained sands	low-angle trough cross-stratification	dune complexes, scour fills, crevasse splays
Se	poorly sorted, medium- to coarse-grained sands, pebbly sands with intraclasts	unstratified, rarely crude cross-stratification	scour fills
Sr	well sorted, fine- to medium-grained sands	ripple cross-lamination	two-dimensional small ripples
Fl	matrix-supported silty muds fragments and prints	horizontal lamination, leaf	overbank deposits
Fm	matrix-supported silty muds fragments and prints	massive, common leaf	overbank deposits

Table 2. Lithofacies scheme (after MIALL, 1978; MASSARI, 1983).

The middle portion of the gravel complex in the quarry near Cabuna is characterized by erosional surface (with >3m erosional relief) overlain by massive, pebble to cobble and fine-grained intraclasts (facies Ge and Gm). The surface is incised into disturbed and overturned medium- to coarse-grained up to 4m thick

sandy facies (probably facies Sp and Sh) which indistinctly overlie the rest of gravel complex.

The top of gravel part of outcrops is remoulded by erosion of subsequent overland flows (rills, gullies and shallow channels with a braided distributary pattern).

The vertical and lateral arrangement of facies asso-

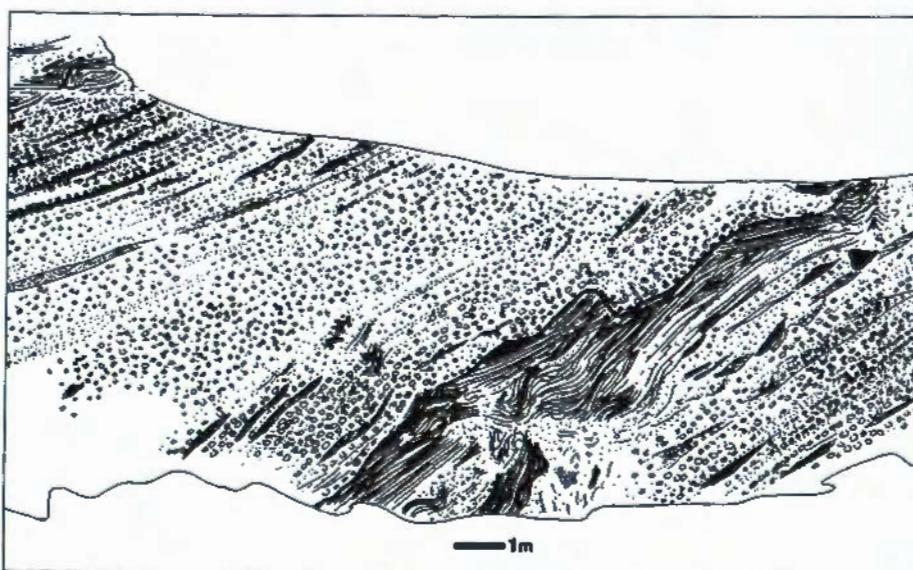


Fig. 3 Profile 1. Beds dip 35° to 20° azimuth.



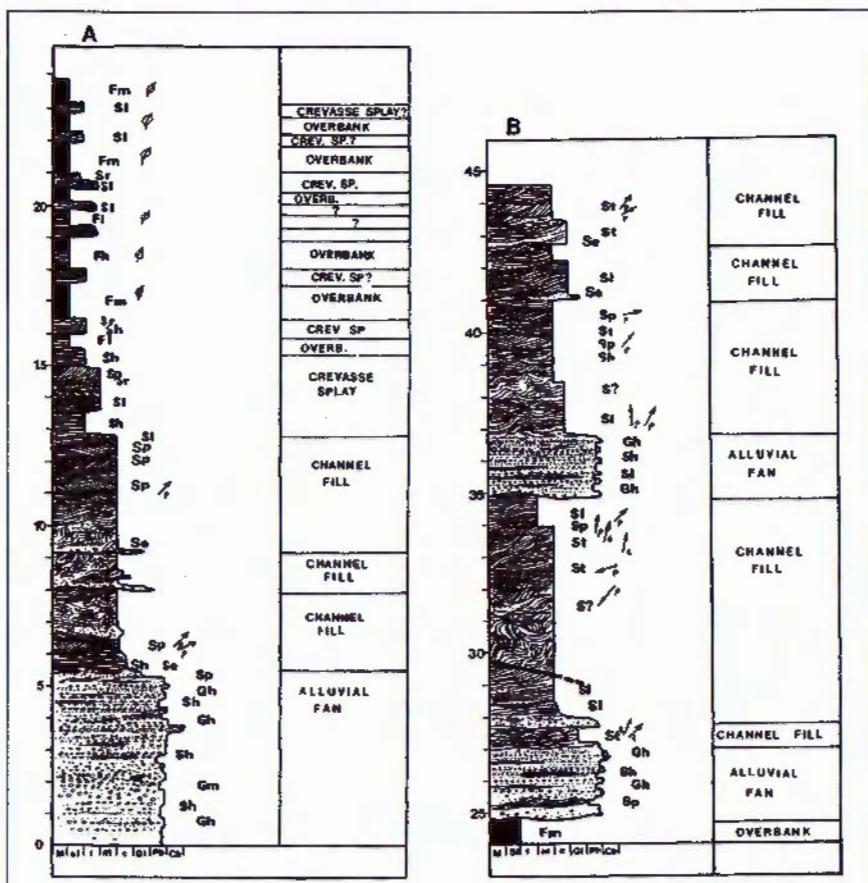


Fig. 4 Description and interpretation of logs A and B.

cations indicate that gravel units represent catastrophic, unconfined sheet flows that expand as they move down alluvial fan. Flow conditions in major sheet flows are supercritical due to the effect of the relatively high slope of the fan surface. The cross-stratified sets (facies

Gp) probably represent antidune sets (BLAIR & MCPHERSON, 1994).

The upper part which entirely consists of sandy facies irregularly (erosively?) overlies the lower part (Fig. 4). Facies arrangement into various sandy bar and chan-

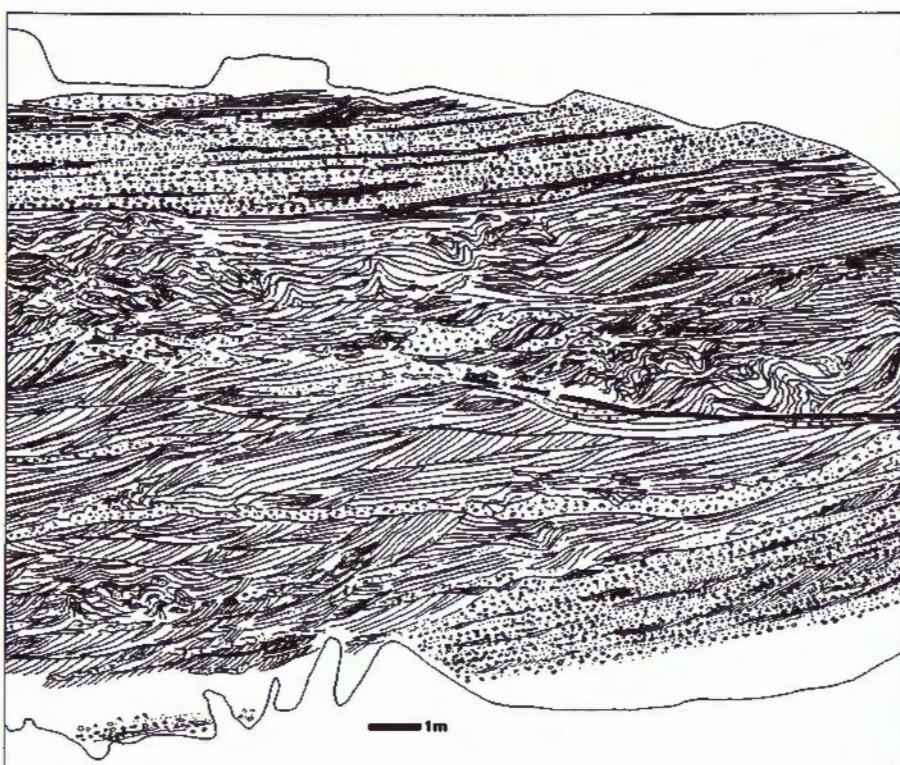


Fig. 5 Profile 2. Beds dip 35° to 20° azimuth.

nel deposits suggest sandy braided river system. The palaeocurrents indicated from trough-axis and planar cross-bed directions were into E direction (Rezovac quarry), and NE direction (Cabuna quarry).

Sandy facies in Rezovac quarry are overlain by 4 m thick flood plain deposits (crevasse splays, levees and overbank deposits), whereas Cabuna quarry (Fig. 2) the floodplain deposits are 8 m thick and present in the middle portion of the sandy complex (Fig. 4). The significant part of sandy complex in Cabuna quarry is sinsedimentary disturbed or overturned (Fig. 5).

5. SUMMARY

The lower part of the outcrops mostly consists of gravels whose discontinuous sheet-like geometry suggest alluvial fan origin. The upper part of the outcrops is dominated by various sandy facies whose characteristics suggest sandy braided river system. The flora found in floodplain deposits indicate moderate climate and the young unconsolidated alluvial soils. The described facies associations are in accordance with the tectonic activity in Virovitica area.

6. REFERENCES

- BLAIR, T.C. & MCPHERSON, J.G. (1994): Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes, and facies assemblages.- *J. Sediment. Resear.*, A64, 450-489.
- DRAGAŠ, M., PRELOGOVIĆ, E., JAMIČIĆ, D., IVKOVIĆ, Ž., VELIĆ, J. & SAFTIĆ, B. (1995): Hydrocarbon Distribution as the Result of Tectonic Events in the Croatian part of the Pannonian Basin.- E.A.P.G., 7th Conference and Technical Exhibition, Glasgow, Scotland.
- GALOVIĆ, I., MARKOVIĆ, S. & MAGDALENIĆ, Z. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Virovitica, 1:100.000.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1976), Savezni geol. zavod, Beograd, 44p.
- MARKOVIĆ, S. (1986): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Podravska Slatina.- Inst. geol. istraž., Zagreb (1984), Savezni geol. zavod, Beograd, 43p.
- MASSARI, F. (1983): Tabular cross bedding in Messinian fluvial channel conglomerates, Southern Alpe, Italy.- In: COLLINSON, J.D. & LEWIN, J. (eds.): Modern and Ancient Fluvial Systems. Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ., 6, 287-300.
- MIALL, A.D. (1978): Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits.- In: MIALL, A.D. (ed.): Fluvial Sedimentology. Mem. Can. Soc. Petrol. Geol., Calgary, 5, 587-604.



Nove tehnike ispitivanja mehaničkih svojstava stijena i stijenskih masa u Hrvatskoj

Ivan VRKLJAN¹ & Boris KAVUR²

Ključne riječi: mehanika stijena, in situ, deformabilnost, primarna naprezanja, stijenska masa

Sažetak

Prikazana su posljednja dostignuća u ispitivanjima mehaničkih svojstava stijena i stijenskih masa u Hrvatskoj. Od laboratorijskih ispitivanja prikazan je postupak ispitivanja deformabilnosti i čvrstoće u triaksijalnim uvjetima. Od in situ ispitivanja prikazani su postupci ispitivanja deformabilnosti velikim tlačnim jastucima, pločama velikog promjera i LNEC dilatometrom, te mjerjenje primarnih naprezanja doorstopper i CSIR metodom.

Key words: Rock mechanics, In situ, Deformability, Rock stress, Rock mass

Abstract

Latest achievements in testing mechanical properties of the rock and rock mass in Croatia are presented. In the area of laboratory testing deformability testing procedure and strength testing in triaxial conditions are described. As to in situ testing, the authors describe deformability testing procedures using a large flat jack, large-diameter plates and LNEC dilatometer, as well as in-situ stress testing using doorstopper and CSIR method.

1. UVOD

Laboratorijska ispitivanja mehaničkih svojstava stijena već duže vrijeme su praksa više geotehničkih laboratorijskih usluga u Hrvatskoj. Vrlo strogi kriteriji za obradu uzoraka kod pokusa jednoaksijalne i triaksijalne kompresije i kod brazilskog pokusa, gotovo redovito su dovodili u pitanje rezultate mjerjenja. Tek na međunarodnom tržištu usluga postavilo se pitanje kvalitete mjerjenja. Tako je bilo i 1989., kada je Zavod za geotehniku IGH iz Zagreba dobio kompletna laboratorijska ispitivanja mehaničkih svojstava na Behkme Dam projektu u Iraku. Posao je dobiven uz uvjet da se ispitivanja obave u skladu s kriterijima ISRM-a. To je zahtjevalo nabavku skupe opreme za obradu i ispitivanje stijena pri jednoaksijalnoj i triaksijalnoj kompresiji. Može se reći da su tada u Laboratoriju za mehaniku stijena Zavoda za geotehniku IGH-Zagreb, obavljena prva ispitivanja u Hrvatskoj kod kojih su poštovani kriteriji koje preporuča ISRM (1979, 1983) i normizira ASTM (1985). Usvojeni su i novi postupci ispitivanja od kojih ističemo mjerjenje deformabilnosti stijene u triaksijalnim uvjetima. Do tada su ova ispitivanja za potrebe hrvatskih firmi redovito obavljana u inozemstvu.

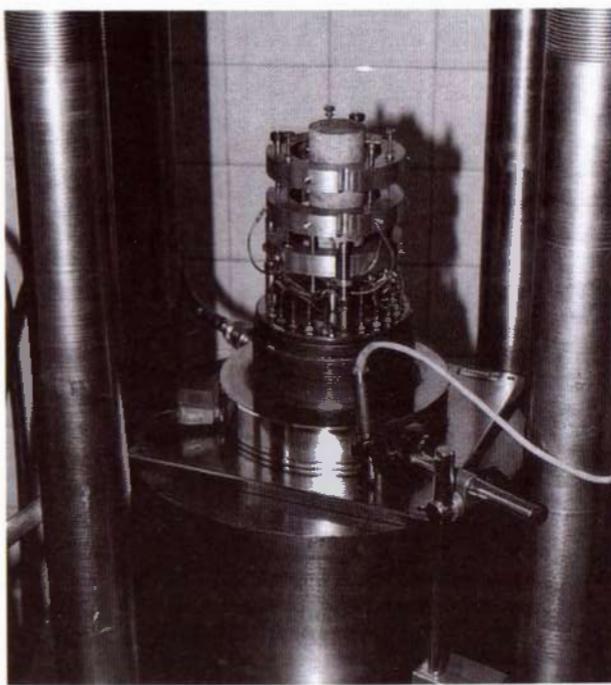
Na polju in situ ispitivanja stijenskih masa iskustvo hrvatskih firmi je mnogo skromnije iako su ispitivanja prof. Nonveillera 1948 godine zabilježena kao druga in situ ispitivanja stijenske mase na području bivše Jugoslavije. Tada je prof. Nonveiller izvršio ispitivanje deformabilnosti stijenske mase u tunelu Razromir u

probnoj komori u kojoj je stijena bila tlačena zrakom. U bivšoj Jugoslaviji in situ ispitivanja stijenske mase intenzivno je razvijano u institutu Jaroslav Černi pod vodstvom prof. Kujundžića. Ovaj Institut je obavljao in situ ispitivanja na cijelom prostoru bivše Jugoslavije. U tom periodu zabilježena su neka ispitivanja deformabilnosti (pokus opterećenja pločom) i posmične čvrstoće od strane hrvatskih istraživača s opremom skromnih svojstava, vlastite konstrukcije. Često je korišten i Menardov presiometar za ispitivanje deformabilnosti stijenske mase u buštinama. Međutim, ova oprema nije omogućavala obavljanje pokusa u skladu s preporukama ISRM-a. Raspadom Jugoslavije pojavila se u Hrvatskoj potreba za vlastitim operativom za obavljanje velikih in situ pokusa. Tako je Geotehnika iz Zagreba tijekom 1992 godine, radi realizacije ispitivanja na tri velika hidrotehnička objekta u Iranu, nabavila opremu za ispitivanje deformabilnosti stijenske mase, posmične čvrstoće diskontinuiteta i mjerjenje in situ naprezanja. Oprema je nabavljena kod njemačke firme Interfels. Treba napomenuti da su ovo bila prva ispitivanja ove vrste koje je vlastitim snagama i opremom izvela jedna hrvatska firma, pri čemu su zadovoljeni strogi kriteriji ISRM-a.

Oprema i stručnjaci Laboratorijskih za mehaniku stijena Zavoda za geotehniku IGH-Zagreb i Geotehniku-Zagreb, svrstavaju ove hrvatske firme u bolje opremljene firme za laboratorijska ispitivanje stijena i in situ ispitivanja stijenskih masa u Evropi.

¹Institut građevinarstva Hrvatske, Janka Rakuša 1, 10000 Zagreb, Hrvatska.

²Geotehnik, Kupska 2, 10000 Zagreb, Hrvatska.



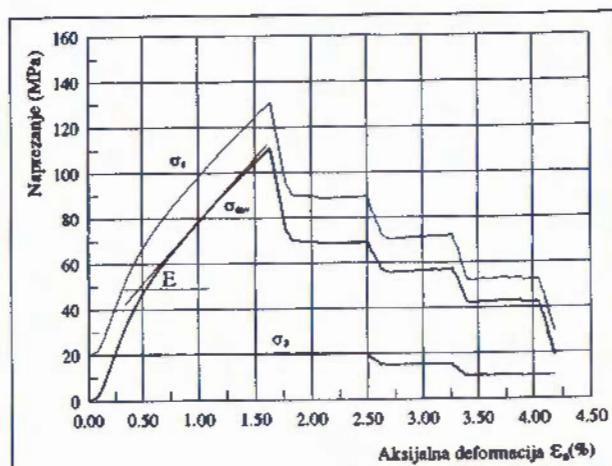
Sl. 1 Oprema za ispitivanje deformabilnosti u uvjetima triaksijalne kompresije.

2. MJERENJE DEFORMABILNOSTI STIJENA PRI TRIAKSIJALNOJ KOMPRESIJI

Ova mjerjenja nisu standardizirana a ne postoji ni preporuka ISRM-a. Mjerena ove vrste obavljaju se u nekoliko svjetskih centara, a od 1992. god. i u Hrvatskoj. Te godine je u Laboratoriju za mehaniku stijena Zavoda za geotehniku IGH-Zagreb obavljeno ispitivanje deformabilnosti i čvrstoće pješčenjaka iz bušotine Okoli za potrebe INA-Naftaplina. Od tada se ova ispitivanja rutinski obavljaju. Zahvaljujući kvaliteti koju Laboratorij postiže pružane su usluge i inozemnim korisnicima, od kojih ističemo ispitivanja za firmu Marc Rich & Co. iz Londona tijekom 1994.

Mjerjenje aksijalne i radikalne deformacije obično se vrše pomoću mjernih traka (strain gauge), zbog jednostavnosti postupka. Međutim ova mjerena imaju neke nedostatke koji značajno utječu na kvalitetu mjerjenja. Mjerna baza je relativno kratka, što u slučaju nehomogenih uzoraka može utjecati na rezultat. Zbog toga je u Laboratoriju za mehaniku stijena Zavoda za geotehniku IGH-Zagreb usvojena tehnika mjerena pomoću induktivnih mjerila. Aksijala deformacija mjeri se pomoću tri vertikalna, a dijametralna deformacija pomoću tri horizontalna mjerila. Moduli deformabilnosti i Poissonov koeficijent izračunaju se iz srednjih vrijednosti triju izmjerena veličina. Mjerila su postavljena na prstenovima koji čine tzv. *deformation jacket* (sl. 1). Tijekom pokusa moguće je kontrolirati pomi fluid, kao što se to radi kod pokusa na tlu.

Oprema Laboratorija za mehaniku stijena pruža mogućnost analiziranja postlovnog ponašanja stijene u uvjetima triaksijalne kompresije. Pokus s kontroliranom deformacijom omogućava nastavak pokusa i nakon slo-



Sl. 2 Vršna i rezidualna čvrstoća laporu u uvjetima triaksijalne kompresije.

ma uzorka. Na taj način moguće je ispitati tzv. rezidualnu čvrstoću stijene, kao i aksijalnu deformabilnost slomljenog materijala. Slika 2 prikazuje jedan triaksijalni pokus obavljen na laporu sa trase tunela Ćićarija. Na jednom uzorku dobivene su jedna vršna i tri rezidualne čvrstoće.

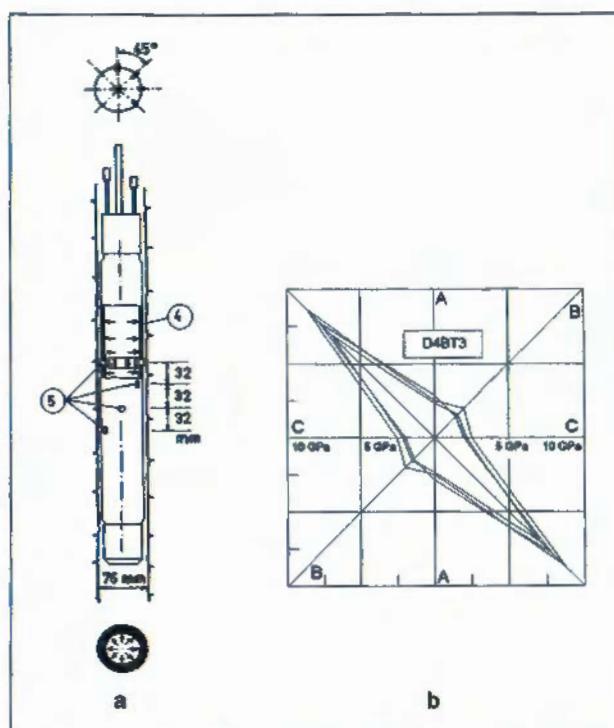
3. DILATOMETARSKA ISPITIVANJA S DIREKTNIM MJERENJEM POMAKA

Pomoću dilatometra (presiometra) na plasti bušotine se aplicira radikalno simetričan pritisak koji se ostvaruje pomoću plinova ("Menard" i "Geoprobe" presiometri) ili pomoću vode i ulja. Promjena dijametra bušotine mjeri se na dva načina: indirektno - mjeranjem promjene volumena fluida u dilatometru ili direktno - mjeranjem promjene dijametra bušotine pomoću mjernih uređaja.

Pored određivanja deformacijskih svojstava stijenske mase, dilatometarski pokus može poslužiti i za određivanje: (a) *in situ* naprezanja i vlačne čvrstoće koristeći dilatometar velikog kapaciteta koji dovodi stijenu do loma; (b) svojstava tečenja koristeći dilatometar relativno velikog kapaciteta u slabim i plastičnim stijenama kao što su šejl, potaš ili sol; (c) svojstva kratkotrajne čvrstoće slabih stijena iz nelinearne krivulje naprezanje-volumen koristeći dilatometar visokog kapaciteta i opterećujući stijenu iznad njenog elastičnog limita. Metode su slične onima koje se koriste za interpretaciju rezultata Menard-ovog presiometra.

Indirektno mjerjenje omogućava izračunavanje srednje vrijednosti modula deformabilnosti, pošto se iz izmjerene promjene volumena izračuna srednja promjena dijametra bušotine. Dilatometar s ovim načinom mjerjenja koristi se u tlima i slabim stijenama kod kojih se ne očekuje značajnija anizotropija deformabilnosti.

Direktno mjerjenje omogućeno je ugradivanjem mjernih pretvornika pomaka (LVDT ili DCDT tipa) u sondu. Time je znatno poboljšana osjetljivost i pre-

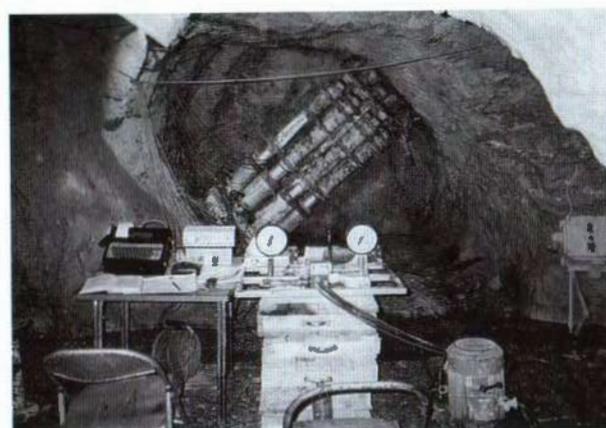


Sl. 3 a) LNEC dilatometar s direktnim mjerjenjem pomaka (4 - guma na membranu; 5 - mjerila za pomak); b) polarni dijagram dilatometarskih modula jednog od pokusa na projektu Karun 3 u Iranu.

ciznost mjerjenja. Osim toga, radikalna mjerjenja pomaka pružaju uvid u anizotropiju deformabilnosti stijenske mase. Instrumenti s ovim načinom mjerjenja mogu se koristiti i u stijenskoj masi izrazito niske deformabilnosti (visokih modula deformabilnosti). Geotehnika Zagreb raspolaže s dva dilatometra ovog tipa koje je proizveo Interfels. Vrlo uspješna ispitivanja Geotehnika je obavila tijekom 1992. godine na projektima Karun 1, Karun 3 i Godar-E-lanadar u Iranu. Obavljeno je više od 100 pokusa u stijenskim masama različite kvalitete. Mjerena su potvrdila vrlo izraženu anizotropiju deformabilnosti stijenske mase. Obavljanje velikih in situ i dilatometarskih pokusa na istim lokacijama omogućilo je uspostavljanje veze između dilatometarskog modula i modula deformabilnosti stijenske mase (VRKLJAN et al., 1995). Slika 3 prikazuje konstrukciju LNEC dilatometra i polarni dijagram dilatometarskih modula jednog od pokusa. Jasno se vidi anizotropija deformabilnosti stijenske mase.

4. DEFORMABILNOST STIJEŠKE MASE ODREĐENA POKUSOM PLOČOM

Pokus opterećenja pločom je vjerojatno najčešće korišten pokus među velikim in-situ pokusima. Razloge treba tražiti u relativno niskoj cijeni i jednostavnosti izvedbe, a ne u kvaliteti izmjerenih podataka. U početku se pokus izvodio isključivo s krutim pločama manjeg promjera i mjerjenjem pomaka opterećene površine. Kasniji razvoj ovog postupka doveo je do



Sl. 4 Pokus opterećenja pločom na projektu Karun 1 u Iranu.

korištenja ploča velikog promjera (do 2 m), korištenja tlačnih jastuka (fleksibilna ploča) i mjerjenja pomaka stijenske mase u dubini opterećene zone.

Princip pokusa pločom vrlo je jednostavan. Površina stijenske mase koja se ispituje optereti se željenim naprezanjem, a mjere se pomaci pojedinih točaka stijenske mase u zoni utjecaja apliciranog naprezanja. Iz ovih podataka i uz poznavanje Poissonovog koeficijenta izračuna se modul deformabilnosti. Pomaci točaka u zoni utjecaja opterećenja mjerene se na dva načina: (a) mjerjenjem pomaka točaka u ravnini kontaktne plohe; (b) mjerjenjem pomaka točaka u dubini opterećene zone pomoću višestrukih ekstenzometara.

Geotehnika Zagreb raspolaže s krutim pločama promjera 1 m i ostalom opremom za postizanje maksimalnog naprezanja od 10 MPa (sl. 4). Pokusi obavljeni na projektima Karun 1, Karun 3 i Godar-E-Landar u Iranu pokazali su sve prednosti i nedostatke ovog pokusa. Glavni nedostatak pokusa pločom je problematična interpretacija mjerjenih podataka (problem izračunavanja modula deformabilnosti stijenske mase) na što ukazuju mnogi istraživači (VRKLJAN et al., 1995).

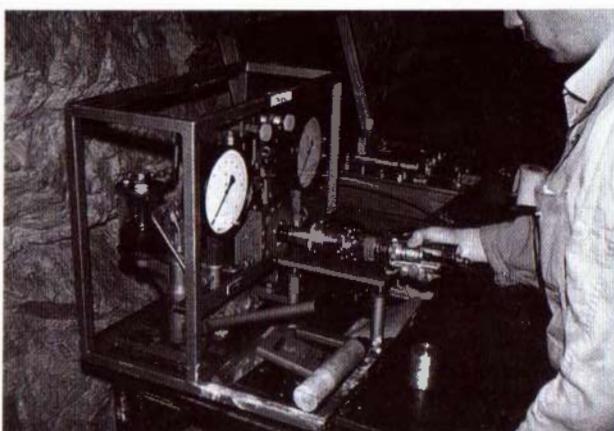
5. DEFORMABILNOST STIJEŠKE MASE ODREĐENA VELIKIM TLAČnim JASTUCIMA

Metoda velikih tlačnih jastuka uvedena je u praksu s ciljem eliminiranja nedostataka pokusa opterećenja pločom. Zato LAMA & VUTUKURI (1978) ovaj pokus tretiraju kao modificirani pokus pločom. Metodu su prvi put koristili Oberti, Breth i Talobre, te nešto kasnije Institut Jarislav Černi iz Beograda (KUJUNDŽIĆ, 1954). Bitno poboljšanje postupka izvršio je LNEC iz Portugala (ROCHA, 1966).

Princip LFJ pokusa je slijedeći: u iskopani ili izrezani šlic umeće se tlačni jastuk. Povećanjem hidrostatskog tlaka u jastuku opterećuje se stijenska masa u suprotnim stranama šlica. Mjeri se povećanje širine šlica u funkciji apliciranog naprezanja. Iz podataka o naprezanju i izmjerrenom pomaku računaju se moduli deformabilnosti stijenske mase.



Sl. 5 Rezanje šlica za tlačni jastuk kod LNEC metode.



Sl. 6 Mjerenje primarnih naprezanja doorstopper postupkom na projektu Karun 3.

Ovu metodu prvi put spominje KUJUNDŽIĆ (1954). Osnovne karakteristike metode su: (1) šlic u koji se ugraduje jastuk izvodi se miniranjem; (2) mjerjenje pomaka (povećanje širine šlica u zoni opterećenja) kao posljedice opterećenja vrši se na dva načina: (a) volumetrijskim principom kada se iz ukupne promjene volumena fluida računa srednja vrijednost pomaka; (b) mjerjenjem konvergencije točaka raspoređenih po opsegu jastuka. Volumetrijski princip nije primjenljiv u stijenama male deformabilnosti (visokih modula) pošto se radi o vrlo malim pomacima. Pri izračunavanju modula iz podataka volumetrijskih mjerena uvedi se korekcija za utjecaj stišljivosti betona i vode.

Stručnjaci LNEC-a (Laboratori Nacional de Engenharia Civil, Portugal) uočili su nedostatke naprijed opisane metode te su razradili sasvim novi pristup ovom pokusu. Uveli su izmjene u tehnologiji izrade šlica, obliku jastuka, sistemu mjerena pomaka i dr. Pokus je njavio Rocha na prvom kongresu ISRM-a 1966., a službeno je predstavljen 1968. (ROCHA, 1968). Detaljan opis i teoretska osnova metode prikazana je u dokumentu LNEC-a (LNEC, 1976). Glavne karakteristike ove metode su: (a) šlic se izvodi rezanjem pomoću dijamantne pile. Širina šlica je 6 mm; (b) šlic može imati proizvoljnu dubinu što ovisi o tehničkim karakteristikama opreme; (c) šlic može imati proizvoljan položaj u prostoru; (d) može se istovremeno koristiti više jastuka u jednoj ravnini, čime se znatno povećava volumen utjecaja pokusa; (e) oblik jastuka je kombinacija kvadrata sa stranicom 1 m i polukruga promjera 1 m; (f) šlicevi mogu djelomično ili potpuno ostati prazni radi stvaranja tzv. zaštitne zone. Na ovaj način dobiju se jasniji rubni uvjeti pokusa, što olakšava interpretaciju rezultata mjerena; (g) u svaki jastuk ugradena su četiri mjerna uređaja za mjerjenje promjene širine šlica; (h) nije uvijek potrebno injektiranje jastuka, čime se izbjegava utjecaj stišljivosti injekcijske smjese na rezultat mjerena.

Medunarodno društvo za mehaniku stijena (ISRM - International Society for Rock Mechanics) preporučilo je ovu metodu za upotrebu te je 1986 izdalо tzv Sugge-

sted Method (SM) u kome je opisana metodologija izvođenja i interpretacije rezultata mjerena (ISRM, 1986). Treba upozoriti da SM ostavlja otvorene neke probleme interpretacije rezultata mjerena, što korisnicima stvara značajne probleme. Tijekom 1993. LNEC je predstavio modificiranu metodu koja omogućava mjerjenje pomaka u više točaka, čime se olakšava interpretacija mjerena.

Geotehnika Zagreb nabavila je opremu za obavljanje tzv ELFJ pokusa (Extra Large Flat jack) od firme Interfels. Jastuk ima širinu 1.2 m i dužinu 1.5 m. Iskustva stečena na 17 pokusa obavljenih na projektima Karun 3 i Godar-E-Landar u Iranu potvrđuju ovaj pokus kao trenutno najpouzdaniji veliki *in situ* pokus za određivanje deformabilnosti stijenske mase.

6. MJERENJE PRIMARNIH NAPREZANJA U STIJENSKOJ MASII

Poznavanje deformacijskih svojstava, čvrstoće i stanja naprezanja u stijenskoj masi su osnovni su preduvjeti uspješnog projektiranja objekata u stijenskoj masi. Nezamislivo je projektiranje velikih podzemnih objekata bez poznavanja stanja naprezanja stijenske mase prije izvođenja objekata. Danas se za mjerjenje primarnih naprezanja koristi više različitih postupaka: hidrauličko frakturiranje, doorstoper postupak, mjerjenje naprezanja pomoću tlačnih jastuka, mjerjenje naprezanja pomoću triaksijalnih ćelija. Nekim od ovih postupaka odrede se naprezanja u jednoj ravnini dok neki od njih omogućavaju mjerjenje sva tri glavna naprezanja. Geotehnika-Zagreb izvršila je na naprijed spomenutim projektima u Iranu mjerjenje primarnih naprezanja vlastitom opremom. Pri tome su korišteni doorstoper i postupak triaksijalne ćelije (proizvodač-Interfels) (sl. 6). Triaksijalna ćelija proizvedena je po principima CSIR ćelije (South African Council for Scientific and Industrial Research). I ova mjerena treba zabilježiti kao prva mjerena koja je izvela jedna hrvatska firma vlastitom opremom.



Sl. 7 Smicanje kontakta beton-stijena na projektu Karun 3 u Iranu.

U posljednje vrijeme Interfels je izvršio više uspješnih mjerjenja s Borehole Slotterom, novim proizvodom vlastite konstrukcije. Stijenka bušotine zasjeca se malom dijamantnom pilom. Na osnovi rezultata mjerjenja razmaka točaka na suprotnim stranama šlica prije i poslije rezanja i uz poznavanje deformacijskih svojstava stijene, izračunaju se primarna naprezanja u pravcu okomitom na ravninu šlica (BECKER & WERNER, 1990).

7. POSMIČNA ČVRSTOĆA KONTAKTA BETON-STIJENA

Za potrebe temeljenja lučne brane Karun 3 u Iranu Geotehnika je izvršila 3 pokusa smicanja kontakta beton-stijena u skladu s preporukama ISRM-a (ISRM, 1974). Površina smicanja bila je 70×70 cm, maksimalni pomak smicanja bio je 10 cm, a maksimalno normalno naprezanje 2.5 Mpa (sl. 7). Snimljena je konfiguracija plohe smicanja prije i poslije smicanja u 841 točki. Na svakom bloku (jedan pokus obuhvaćao je ispitivanje 5 blokova) odredena je jedna vršna i 4 do 5 rezidualnih čvrstoća. To znači da je kod svakog od pokusa vršna čvrstoća bila definirana s 5, a rezidualne s 20 do 25 točaka.

8. ZAKLJUČAK

Još uvijek postoji mnogo nepoznanica vezanih uz ponašanje stijenske mase pod utjecajem mehaničkog opterećenja. Ako se stijenska masa definira kao sistem koji sadrži intaktni materijal i diskontinuitete tada laboratorijski pokusi trebaju definirati ponašanje pojedinih

elemenata sistema, dok veliki in situ pokusi trebaju simulirati ponašanje cijelog sistema pod opterećenjem okoliša. Pažljiva laboratorijska ispitivanja kako prije lomnog, tako i poslije lomnog ponašanja intaktnog materijala i diskontinuiteta, pomažu razumijevanju ponašanja stijenske mase. Sve veći in situ pokusi trebaju pomoći rješavanju jednog od najtežih problema mehanike stijena - efekta mjerila (scale effect). I na polju laboratorijskih i na polju in situ ispitivanja Hrvatska raspolaže s modernom opremom, kao i s značajnim znanstvenim i stručnim kapacitetima.

9. LITERATURA

- ASTM (1985): Standard Practice for Preparing Rock Core Specimens and Determining Dimensional and Shape Tolerances.- ASTM D 4543-85.
- BECKER, A. & WERNER, D. (1990): Deformationsmessungen mit der Bohrloch-Schlitzsonde und dem Doorstopper im Gebiet von Laufen, Schweiz.- ETH Zurich Publication, 29p.
- ISRM (1974): Suggested Methods for Determining Shear Strength.- ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Test.
- ISRM (1979): Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive strength and Deformability of Rock Materials. ISRM Comission on Standardization of Laboratory and field test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 16, 135-140.
- ISRM (1983): Suggested Methods for Determining the Strength of the Rock Materials in Triaxial Compression (Revised version).- ISRM, Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Int. Jour. of Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 20/6, 283-290.
- ISRM (1986): Suggested method for deformability determination using a large flat jack technique.- Int. Jour. of Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 23/2, 131-140.
- KUJUNDŽIĆ, B. (1954): Prilog eksperimentalnom određivanju modula elastičnosti stene in situ.- Naše Gradevinarstvo, 8.
- LAMA, R.D. & VUTUKURI, V.S. (1978): Handbook on Mechanical Properties of Rocks.- Trans Tech Publications, 3, 83-115.
- LNEC (1976): Determinacao do modulo de deformabilidade dos macicos rochosos por meio de macacos planos de granda area.- LNEC, Proc., 45/13/3439.
- ROCHA, M. (1966): Rock Mechanics in Portugal.- Proc. of the 1st Congress of the ISRM. Lisboa, 3, 121-132.
- ROCHA, M. (1968): New techniques for the determination of the deformability and state of stress in rock masses.- Int. Symp. on Rock Mechanics, Madrid, 289-302.
- VRKLJAN, I., KAVUR, B., MEHINRAD, A. & GHIASSI, S. (1995): Rock Mass Deformability by Extra Large Flat Jack, Plate Load and Dilatometer Testing.- 8th International Congress on Rock Mechanics, Tokyo (priopćenja u iskušu).



Upute za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske, s pozornosti na razvrstavanje stijena s.s.

Željko VULIĆ

Ključne riječi: osnovna inženjerskogeološka karta, razvrstavanje, inženjerskogeološke značajke, IG-tip i IG-kompleks, osnovno ime, opisno ime, materijal stijene, stijenska masa, slojna karta, sintetička karta

Key words: Basic engineering geological map, Classification, Engineering geological properties, Engineering geological type and complex, Basic name, Descriptive name, Intact rock, Rock mass, Layer, Comprehensive map

Sažetak

Mnogi su razlozi tražili izradu ovih Uputa. Pri njihovoj izradi koriste se preporuke IABG i ISRM. Pokušava se pojmove i nazive iz inženjerske geologije prilagoditi i ujednačiti s nazivima iz srodnih struka. Ocenama značajki i bodovanjem želi se izraziti kakvoća stijenske mase na karti sitnog mjerila. Uvodnjem temeljnog inženjerskogeološkog opisa kroz standardizirani TIGO-list želi se opise pojednostaviti i konkretizirati, a podatke iz njih povezati s dokumentacijom ranijih radova.

Abstract

There have been many reasons which have demanded the making of these instructions. The IABG and ISRM suggestions were used in the making. We tried to adjust concepts and names from the field of engineering geology to the terminology of related fields. By the assessment of properties and rating we wanted to define the quality of rock mass on a small-scale map. By the introduction of fundamental engineering geology description by means of BEGD-form (Basic engineering geological description), we intended to simplify the descriptions and make them concrete, and also to connect the data that could be found in them with the documentation.

UVOD

Otvorenje projekta Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske M 1:100.000 (dalje: OIGK) tražilo je upute za njenu izradu. Ranije upute (ČIRIĆ & LAZIĆ, 1988) bilo je nužno dopuniti i izmijeniti. Razlozi za to su slijedeći:

- nova znanstvena i stručna dostignuća,
- utvrđivanje stvarnih zadataka i namjene OIGK,
- potreba ujednačavanja sadržaja i nazivlja sa srodnim strukama i korisnicima,
- korišćenje računala pri pohranjivanju i obradi podataka, te izradi karte i tumača, te
- osnivanje Geografskog informatičkog sustava (dalje: GIS).

POSTUPCI RAZVRSTAVANJA STIJENA

Usvojeno je semikvantitativno razvrstavanje inženjerskogeoloških značajki tj. razvrstavanje u razrede unaprijed određenih graničnih vrijednosti. Vrijednosti pokazatelja inženjerskogeoloških značajki ocjenjuju se

terenskim postupcima, na prirodnim ili postojećim umjetnim zasjecima. Koriste se samo jednostavne laboratorijske analize, potrebne za osnovno razvrstavanje. Odstupanje od takvog postupka moguće je samo iz posebnih razloga i uz obrazloženje u programu istraživanja.

Izvor brojčanih podataka pokazatelja inženjerskogeoloških značajki je dokumentacija ranijih radova (dalje: DRI). DRI se obrađuje u svim fazama izrade OIGK na evidencijskim i katastarskim listovima, te slojnim kartama M 1:25.000. Podaci se pohranjuju u sustav GIS-a.

Pri opažanju i prikupljanju podataka na terenu koriste se formulari s graničnim vrijednostima semikvantitativnog razvrstavanja ocijenjenih vrijednosti inženjerskogeoloških značajki stijena. Uz pravilno izvođenje postupka terenske ocjene, ovakav način osigurava ujednačenu razinu kakvoće prikupljenih podataka.

POJMOVI I NAZIVLJE

Temeljne inženjerskogeološke jedinice pri izradi OIGK mjerila 1:100.000 su: inženjerskogeološki tip

(dalje: IG-tip) i inženjerskogeološki kompleks (dalje: IG-kompleks).

IG-tip je jedinica inženjerskogeološke vrste stijene s.l. ujednačenih litoloških, fizičkih i mehaničkih svojstava i fizičkog stanja. Sastoji se od jedne, dvije ili više litoloških vrsta istih ili bliskih mehaničkih obilježja. Isti IG-tip mogu činiti dvije ili više vrsta različitih mehaničkih obilježja, gdje osnovna mehanička obilježja prevladavajuće vrste određuju glavne značajke cijelog tipa.

IG-kompleks je skup genetski povezanih IG-tipova koji su se razvili pod istim geotektonskim i paleogeografskim uvjetima. Vezano na to, nije moguće odrediti fizičke i mehaničke značajke kompleksa u cjelini, ali je moguće naznačiti njegovo opće inženjerskogeološko ponašanje.

IG-tip je označen **osnovnim imenom**, a točnije određen **opisnim imenom** (MATULA et al., 1979). Temelj označavanja osnovnog imena je litološka vrsta. Način označavanja i određivanja imena IG-tipova za pojedine inženjerskogeološke skupine stijena dani su u posebnim poglavljima.

U Uputama se koriste pojmovi **stijene s.l.** (u širem smislu) i **stijene s.s.** (u užem smislu).

Pojam stijene s.s. uzet je za vezane očvrsle stijene kako bi se poistovjetio s pojmom stijene u srodnim strukama (mehanika stijena, gradevinarstvo). Stijena s.l. označava geološke tvorevine u cjelini.

Iz istog razloga je pojam **tla** (soil) izjednačen s kvartarnim tvorevinama, nanosima i talozima iz skupine nevezanih i vezanih neočvrslih stijena.

Dio stijene koji nije vidljivo deformiran označen je kao **materijal stijene** (intact rock), dok je kao **stijenska masa** (rock mass) označena stijena u cjelini, zajedno s vidljivim diskontinuitetima. Takvo nazivlje koristi i IAEG (MATULA et al., 1981).

Za inženjerskogeološke skupine stijena prihvaćeno je nazivlje:

NEVEZANE STIJENE (Noncohesive soils)

VEZANE STIJENE zatim,

VEZANE NEOČVRSLE STIJENE (Cohesive soils)

VEZANE OČVRSLE STIJENE (Rocks) i dalje,

VEZANE SLABOOČVRSLE STIJENE (Soft rocks) i

VEZANE DOBROOČVRSLE STIJENE (Hard rocks)

Prihvaćena je preporuka komisije ISRM (1981) koja za graničnu vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće između vezanih neočvrslih stijena i vezanih očvrslih stijena uzima 1 MPa. Granična vrijednost između vezanih slaboočvrslih i vezanih dobroočvrslih stijena iznosi 50 MPa.

Nazivlje za sedimentne stijene preuzeto je iz nedavno objavljene knjige (TIŠLJAR, 1994), a simboli su načinjeni prema imenima na engleskom jeziku (ujednačenje s AC-klasifikacijom). Isto je s nazivljem za metamorfne stijene. Simboli za eruptivne stijene, genetske tipove i stratigrafske članove preuzeti su iz JUS-a i prilagođeni za korištenje na računalu.

INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE I RAZVRSTAVANJE STIJENA s.l.

NEVEZANE STIJENE

Osnovno ime čini litološka vrsta određena prema AC-klasifikaciji (CASAGRANDE, 1940), koja se upotrebljava kod najvećeg broja izvodača i korisnika, a prihvata je i Hrvatsko društvo za mehaniku tla i temeljenje. Kao druga mogućnost razvrstavanja nudi se USC-klasifikacija (Unified Soil Classification) čiju modifikaciju preporuča IAEG (MATULA et al., 1981) ili JUS (JUS U.BI.001, 1990). Litološkoj vrsti priključen je i genetski tip.

Opisno ime sadrži podatke slijedećih pokazatelja (redoslijed je zadan): primjese (uz ocjenu količine u postocima), relativna veličina zrna, oblik zrna, zaobljenost zrna, izgled površine zrna, matična stijena zrna, boja, zbijenost, propusnost.

Ostale inženjerskogeološke značajke su: prostorna masa, poroznost i zasićenost vodom.

VEZANE NEOČVRSLE STIJENE

Kao i kod nevezanih stijena, **osnovno ime** čini litološka vrsta određena AC-klasifikacijom, a priključen joj je genetski tip.

Opisno ime određuju podaci o: primjesama, stanju plastičnosti, boji, stanju konzistentnosti, deformabilnosti i propusnosti.

Ostale inženjerskogeološke značajke koje dolaze u obzir su: količina pojedinih frakcija, prostorna masa, porozitet, granica plastičnosti, granica tečenja, indeks plastičnosti, indeks konzistencije.

Za potrebe OIGK predviđaju se laboratorijske analize reprezentativnih uzoraka tla, granulometrijske analize prosijavanjem i sedimentiranjem, te određivanje Attebergovih granica plastičnosti. Za ostale inženjerskogeološke značajke preuzimaju se vrijednosti iz DRI.

VEZANE OČVRSLE STIJENE (STIJENE s.s.)

Osnovno ime IG tipova vezanih očvrslih stijena određeno je litološkim vrstama stijena. Prema razvrstavanju preporučenom od IAEG (MATULA et al., 1981) glavni pokazatelji su: mineraloški sastav i struktura (prema engleskom nazivlju) s veličinama zrna po nizu MIT-a. Pri razvrstavanju mješovitih karbonatno-klastičnih sedimenata koristi se način po Konti.

Određenje IG tipova načinjeno je kroz ocjenu materijala stijene terenskim postupkom (čekić), uz provjeru na reprezentativnim uzorcima (PLT) i podacima vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće (DRI).

Osim simbola litološke vrste, IG tip je određen i stratigrafskim članom.

Opisno ime IG tipova vezanih očvrslih stijena određuju boja, količina kalcijevog karbonata, čvrstoća, brzina zvuka na uzorcima, stupanj trošnosti, stupanj raspucalosti i propusnost.

Neke od ovih značajki određuju kakvoću stijenske mase pa je za njezinu terensku ocjenu predviđen dodatni terenski postupak pri inženjerskogeološkom kartiranju. Ocjenjuju se čvrstoća i trošnost (materijal stijene), te prosječni razmak diskontinuiteta, postojanost pružanja, zijeve, hrapavost, ispuna, trošnost stijenki (diskontinuiteti). Pri razvrstavanju se koriste razredi koje je preporučio IAEG (MATULA et al., 1981) i ISRM (1978a) prilagođeno sitnom mjerilu OIGK. Prema prilagođenom sustavu bodovanja preuzetog iz Geomehaničke klasifikacije stijenskih masa (BIENIAWSKI, 1989) vrednuju se ocjene po razredima, a kakvoća stijenske mase izražava u pet razreda, te kroz indeks materijala stijene i indeks diskontinuiteta.

Ostale inženjerskogeološke značajke su prostorna masa, jednoosna tlačna čvrstoća, indeks seizmičke brzine i deformabilnosti.

Za potrebe OIGK predviđaju se slijedeće laboratorijske analize reprezentativnih uzoraka stijena s.s.: petrografske analize s opisom prema preporuci ISRM (1978b), određenja količine kalcijevog karbonata (karbonatno-kemijski sedimenti), zatim PLT i brzine zvuka na uzorcima. Podaci o vrijednostima ostalih značajki preuzimaju se iz DRI.

IZVORI, OBRADA, INTERPRETACIJA I PRIKAZ PODATAKA

Izvori podataka pri izradi OIGK su: topografske podloge; OGK, OHGK; avionski i satelitski snimci; DRI; inženjerskogeološko rekognosciranje i kartiranje; laboratorijske analize (jednostavne); a bušotine, zasjeci, raskopi, jarne, te in situ i geofizička ispitivanja samo izuzetno.

Obrada podataka

U fazi prikupljanja podataka (DRI) procjenjuje se i njihova prirodna vjerodostojnost. U postupcima obrade teži se razvrstavanju podataka u homogene nizove.

Podaci obrade DRI se unose u evidencijske i katastarske listove i slojne karte. Pridržava se principa pojedinačnih vrijednosti, a kasnijom obradom semikvantitativnog razvrstavanja.

OIGK prati GIS, tj. banka podataka sa slojnim kartama M 1:25.000.

Interpretacija i prikaz podataka

Završni postupak je sinteza IG-značajki i uvjeta s ciljem određivanja IG-jedinica (IG-tipova, IG-kompleksa) obilježenih određenim stupnjem istoznačnosti.

Završnu interpretaciju čini inženjerskogeološka karta M 1:100.000 s legendom, tumačem i prilozima.

OIGK je višenamjenska sintetička karta utemeljena na nizu analitičkih karata. Osnovnu kartu prate dopunske karte sitnijeg mjerila kao što su: karta IG-kompleksa, karta stijenske mase i/ili karta pokrivača, zatim karta stanja stabilnosti i egzogeodinamskih pojava.

Tumač OIGK se temelji na opisu IG-kompleksa na listovima Temeljnog inženjerskogeološkog opisa (TIGO). List TIGO je inspiriran Osnovnim geotehničkim opisom (Basic Geotechnical Description - BGD) preporučenim od ISRM (1981). List sadrži osnovne podatke o projektu, području, IG-tipovima podloge i pokrivača, stijenskoj masi, zatim hidrogeološku i inženjerskogeološku situaciju s opisom uvjeta stabilnosti. List TIGO je povezan s DRI preko GIS.

Tekst tumača izvan listova TIGO sadržava opće podatke i opise postupaka.

Korišćenjem računala i odgovarajućeg programa u izradi OIGK, geokodirani podaci karte bit će relacijski povezani s bankom atributivnih podataka. Time će biti omogućen princip dinamičnosti u izradi i korištenju OIGK.

POPIS KORIŠTENE LITERATURE (po vremenskom redoslijedu)

- SGZ (1962): Uputstvo za izradu Osnovne geološke karte FNRJ.- Savezni geološki zavod, Beograd.
- IASH & IAH (1970): International Legend for Hydrogeological Maps.- International Association of Scientific Hydrology and International Association of Hydrogeologists, The UNESCO, Paris, IASH, Gentbrugge, IAH Paris, Institut of Geological sciences, London, 1970.
- COMMISSION ON ENGINEERING GEOLOGICAL MAPS OF THE IAEG (1976): Engineering Geological Maps. A guide to their preparation.- The UNESCO Press, Paris 1976.
- SGZ (1977): Dopuna Uputstva za izradu geološke karte SFRJ u terenima pokrivenim kvarternim tvorevinama.- Savezni geološki zavod, Beograd.
- ISRM (1978a): Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses.- International Society for Rock Mechanics. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests.
- ISRM (1978b): Suggested Method for Petrographic Description of Rocks.- International Society for Rock Mechanics. Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 15.
- DEARMAN, W.R. (1979): Reports by Members of the IAEG Commission on Engineering Geological Mapping.- Bulletin of the IAEG, 199.
- MATULA, M., DEARMAN, W.R., GOLODKOVSKAJA, G.A., PAHL, A., RADBRUCH-HALL, D.H. & SANEOUAND, R. (1979): Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping. Part I: Rock and soil materials.- Commission on Engineering Geological Mapping of the IAEG, Bulletin of the IAEG, 19.
- NONVEILLER, E. (1979): Mehanika tla i temeljenje građevina.- Školska knjiga, Zagreb, 1979.
- MATULA, M., DEARMAN, W.R., GOLODKOVSKAJA, G.A., PAHL, A., RADBRUCH-HALL, D.H. (1981): Rock and Soil Description and Classification for Engineering Geological Mapping. Report.-Commission on Engineering Geological Mapping of the IAEG.
- ISRM (1981): Basic Geotechnical Description of Rock Masses.- International Society for Rock Mechanics. Commission on Classification of Rocks and Rock Masses. Int. J. Rock. Mech. Min. & Geomech. Abstr., 18.
- PALMSTRÖM, A. (1982): The Volumetric Joint Count - a Useful and Simple Measure of the Degree of Rock Mass Jointing.- IV Congress IAEG, Proceedings., V, New Delhi.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1984): Rock mechanics Design in Mining and Tuneling.- A.A. Balkema, Rotterdam.
- ISRM (1985): Suggested Method for Determining Point Load Strength. (To replace original document published in 1972.).- International Society for Rock Mechanics. Commission Testing Methods. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 22/2.
- ĆIRIĆ, A. & LAZIĆ, M. (1988): Upute za izradu Osnovne inženjersko-geološke karte SFRJ M 1:100.000.- Savezni geološki zavod, Beograd.
- ŠARIN, A. (1988): Upute za izradu Osnovne hidrogeološke karte Jugoslavije M 1:100.000.- Savezni geološki zavod, Beograd.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering rock mass classification: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering.- A Wiley - Interscience publication, New York.
- ŠESTANOVIĆ, S. (1993): Osnove inženjerske geologije i primjena u graditeljstvu.
- TIŠLJAR, J. (1994): Sedimentne stijene.- Školska knjiga, Zagreb.
- SAVITS-NOSSAN, A. & IVŠIĆ, T. (1995): EUROCODE 7.- Geotehnika. Građevni godišnjak 1995. Hrvatsko društvo građevinskih inženjera, Zagreb, GEING, Split.
- VULIĆ, Ž. (1995): Upute za izradu Osnovne inženjerskogeološke karte Republike Hrvatske. M 1:100.000.- Institut za geološka istraživanja, Zagreb (u izradi).



Mineral Composition of Loams from Different Types of Fault Zones on Karst

Nadja ZUPAN HAJNA

Key words: Karst, Mineral, Tectonic clay, Loam, Infiltration, Slovenia

Abstract

For a long time the current opinion prevailed that all the red loams within the fault zones on the karst areas are infiltrated "terra rossa". But the analyses indicated that the red loam within an inner fault zone along the main fault plane is tectonic clay. If the fault zone lies in limestone the mineral composition is mainly calcite. Sometimes there are some goethite and other minerals in traces. The colour of tectonic clay is yellowish-brown, but directly on the main fault plane the clay is red. It is due to goethite transformed by pressure into hematite giving red colour to the clay.

INTRODUCTION

During recent studies of mechanical cave sediments it was found out that all the loam occurring at fault zones is not Terra rossa infiltrated from the surface or flood deposit. Although some loams due to their lamination assume an appearance of fluvial sediment yet their composition indicates an entirely different origin (ZUPAN, 1989). I inferred that in fault and fissured zones on carbonate rocks exist two, entirely different types of loams, it means the sediments of the order of silt and clay. The fault zones are either opened or closed and their type controls whether there occur infiltrated loams or clays which are due to compression pressures within the carbonate rocks (PLACER, 1982). Tectonic clay has the same mineral composition as the rock comprising the fault zone, there are only a bit more of minerals which are unsoluble rests of the carbonate rocks.

The fissures that open within the fault zones due to tension and the fissured zones may be washed off or filled up by the deposits of various mechanical sediments deriving either from the surface or by cave flood material. Mechanical sediments infiltrated into opened fissures may vary in respect of their mechanical composition. They are the rests of carbonate and other rocks weathering. Their mineral composition sometimes indicates their origin but usually it is very difficult for long lasting weathering disintegrates and shades a lot of pri-

mary minerals. Only the most resistant against mechanical and chemical weathering remain, i.e. quartz and heavy minerals. Quartz cannot be used as a trace mineral as it is the final product of various rocks weathering. Less resistant minerals are replaced by clay minerals and chlorites. Physico-chemical conditions in the environment control the origin of the new minerals. All these facts aggravate the determination of the mechanical sediments origin.

Sometimes within the same fissure the minerals of different origin occur. The mixing appears when the water from the surface finds its way along the existing deposit and transports a new mineral. The primary deposits may be contaminated by the minerals left there by the floods. At the beginning of my researches I did not yet know that on the same place the deposits of various origin may occur; this is why I did not pay a special attention to sampling. The sample should be taken from depth of the fault zone which is frequently not feasible.

In the continuation the mineral composition of the deposits which may be found in various tectonic zones in the cave passages is presented. Because of easier comparison the mineral composition of flood loams is on the first place, followed by the infiltrated loams and finally the tectonic clays from the same karst cave. In the first case it is Postojnska jama cave system and in the second one cave. In both cases the passages developed in carbonate rocks, the waters runs off the non-karstic recharge area. The Pivka river transports into Postojnska jama cave system the eroded mechanical sediments from Eocene flysch, in Brlog na Rimskem there is a stream flowing off the Permian sandstone area. The samples were analysed by polarized microscope and by x-ray diffraction method. The quantity of the minerals is given in respect to the height of the main reflection of a particular mineral in the x-ray record.

FLOOD LOAMS

A typical fluvial sediment was analysed from the corrosionally transformed fault zone in Partizanski Rov between Postojnska jama and Črna jama. Crosswise texture is well seen in alternating beds of fine-grained



Fig. 1 Fault zone delineated by two fault planes from Pivka jama: a) vertical tectonic lamines; b) tectonic clay; c) undamaged limestone; d) tectonic breccia.

yellow sand and loam. The quartz prevails within a sample, followed by calcite and muscovite. There is some chlorite, kaolinite, microcline, plagioclase and goethite (Fig. 3). The mineral composition of these sands and loams correspond to flysch background of the Pivka river.

In Brlog na Rimskem there are different mechanical sediments transported into the cave by the stream during floods. It may be seen that in the past the cave was filled up to the ceiling and that younger water flow re-eroded these old mechanical sediments. The cave developed in the limestones and dolomites at the contact with Permian sandstone. Above the entrance into Mokri Rov there are the rests of the flood sediments within a corrosionally widened fault zone. Within the sample of fine-grained sand calcite predominates, followed by quartz but there is a lot of muscovite and kaolinite. Dolomite, goethite and chlorite were found in traces (Fig. 4). The calcite and dolomite are present by thin particles of the rock where the cave is, the other minerals probably have their origin in the Permian sandstone outside the cave.

INFILTRATED LOAMS

The opened fault zone are permeable, with time they may be filled up and closed by impermeable loam material. The fills may have the origin either in parent rock or in the rocks outside the cave. Studying the water trickles infiltrated into the cave through the roof (KOGOVŠEK & ZUPAN, 1992) the deposits of solid particles, transported by the water were analysed.

In huge collapse chamber in Pivka jama two samples of solid particles deriving from the percolating trickles were analysed. In the first quartz prevails, followed by calcite, illite, kaolinite and plagioclase, in a sample is little of dolomite, chlorite and goethite (Fig. 3). In the second deposit quartz prevails, followed by calcite, illite, kaolinite, plagioclase and dolomite. All these minerals were found above the cave in red fine-grained mechanical sediment. In the surface sediments quartz prevails, followed by calcite and dolomite, later



Fig. 2 Rotated limestone block: a) solid limestone; b) tectonic clay; c) tectonic mirror.

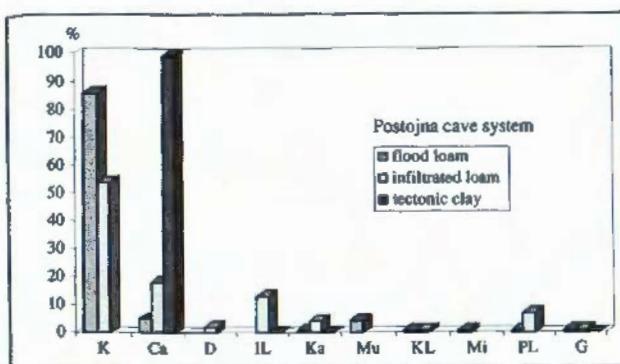


Fig. 3. Comparison of mineralogical compositions of flood loam, infiltrated loam and tectonic clay from Postojna cave system. Legend: K - quartz, Ca - calcite, D - dolomite, IL - illite, Ka - kaolinite, Mu - muscovite, KL - chlorite, Mi - microcline, Pl - plagioclase, G - goethite.

coming plagioclase, kaolinite, chlorite, illite and hornblend. Goethite and hematite are present in traces.

The solid particles were analysed from the trickle in the entrance part of Planinska jama. The dolomite prevails, there is a lot of quartz and calcite and less kaolinite. These minerals have their origin on the surface above the cave in weathered rests of dolomite, quartz may derive from the chert inliers.

TECTONIC CLAY

In Postojnska jama cave system were investigated the sands and loams, transported from the flysch background by the Pivka river. In Pivka jama and in artificial tunnel between it and Črna jama my attention was given to two profiles of flood loams within the fault zones which are supposed to be replaced in respect to location and shape by the younger tectonic activity. But on first sight it was clear that this loam does not contain quartz grains which are characteristic for flood loams having the origin in flysch.

Pivka jama is the cave within the Postojnska jama cave system, lying in limestones and dolomites of Upper Cretaceous age. In the artificial tunnel between Pivka and Črna jama lies the fault zone delineated by two fault planes dipping for 170/70, on the left side the rock is undamaged and on the right side is the crushed zone. In this area several oriented samples were taken and analysed (ZUPAN, 1989).

The sample of tectonically undamaged limestone on the left side of the fault zone, red on the contact with fault plane, is mostly biomicritic with fragments of shells, rudists probably. It is fissured in the direction, parallel to the main trending of the fault plane. Some fissures are filled by secondary calcite. In a part where the red border is macroscopically seen and which is parallel to the fault plane, all the limestone is recrystallized into sparite. On the junction of the biomicrite and sparite the growth of authigenic calcite grains is seen. It is coloured due to big concentration of less soluble iron

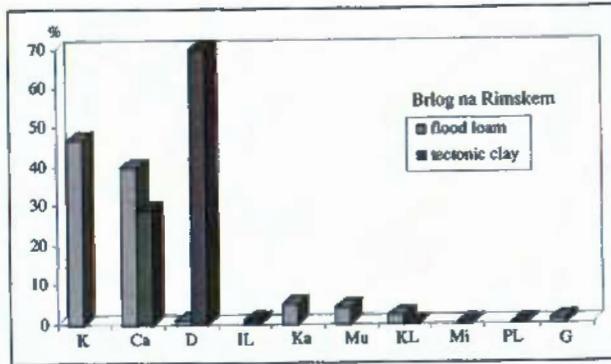


Fig. 4 Comparison of mineralogical compositions of flood loam, infiltrated loam and tectonic clay from cave Brlog na Rimskem. For legend see Fig. 3.

and clay minerals which are concentrated on this recrystallized border.

Between both final fault planes there is about 1 m wide fissured zone occurring in about 1 cm thick several vertical lamines with yellow loams interbedded (Fig. 1). Sometimes it was considered for this part that it is a laminated flood sediment. On the right side the zone ends along the fault plane where tectonic sliding-planes in two directions are seen. The dip of lamines are 170/70, towards the bottom of the tunnel they are rotated towards right. The structure of the original biomicritic limestone is no more seen as the tectonic pressures cause the recrystallization of biomicrite into sparite. The fissures parallel to fault plane are well seen, clay minerals and goethite are concentrated in them, giving yellow-brown colour to sparitic grains also. Several samples analysed by x-ray diffractometry have shown that the samples almost entirely consist of calcite; goethite and kaolinite are present in traces only (Fig. 3). In the fissures among the single lamina yellow loam occurs generated of limestone during its disintegration under tectonic pressures. The samples were taken by the x-ray diffractometry in such a way that the distinction of less represented minerals is stressed. The conditions of x-ray graphs were 4×10^2 with time constant 4; if the conditions would be 4×10^3 with the same time constant the calcite reflection would be recorded only for calcite prevails. On the right side of the fault zone, close to fault plane where tectonic sliding-planes are seen, a sample of red loam was analysed. By 90% the calcite prevails, kaolinite and goethite are each of 4%, illite, hematite and dehydrated halloysite are present in traces. The red loam appears close to the fault plane and derived from the yellow clay. Regarding the mineral composition these two clays are completely identical. In red loam hematite is present in traces giving it red colour. The origin of hematite is explained so that due to tectonic pressures the water is squeezed out of goethite and hematite occurs.

The origin of yellow tectonic clay deriving from the sparitic limestone was studied in detail on some meters

only further on from the artificial tunnel. Between two fault planes the rotation of the interbedded limestone block occurred (Fig. 2). Rotated limestone block is solid, close to the contact of the fault plane it passes into soft yellow loam. Macroscopically the transition of solid limestone into clay may follow the same structure. The rotated limestone is entirely recrystallized, sparitic grains interbedded by secondary pores occur. Very porous structure disappears close to the fault plane. Sparitic grains collapsed and clay derived from the solid sparitic limestone, having the same mineral composition as the limestone. The x-ray analysis has shown that in clay calcite prevails, kaolinite, illite and goethite are found in traces.

There are two another samples of Pivka jama from another very fractured zone, about 1 m wide. In this zone very crushed material is interbedded by yellow clay. This sample contains more than 80% of calcite and about 5% of dolomite, the remainder belongs to kaolinite, goethite and dehydrated halloysite. This mineral structure corresponds to tectonic clay originated by the pressures within the rock where the fault zone lies.

Tectonic clays were repeatedly noticed in karst caves and on the surface. In the cave Brlog na Rimskej the tectonic clays originated in limestones and dolomites. In the entrance part of the cave a sample of yellow clay was analysed from the fault zone, close to the fault plane. Dolomite and calcite prevail in the sample, there is some illite (Fig. 4). This sample is also a tectonic clay due to fault plane in dolomitized limestone. The disturbances are chlorite, microcline and plagioclase in traces; these minerals probably take their origin in Permian sandstones. High water that flood the channel deposited this material on the tectonic clay within the fault zone.

In the same cave, on the left side of Dvojni Rov, a strong fault zone is seen on the ceiling. In it tectonic breccia lies and among single pieces of rock a thick red loam appears. Here too, the sample was taken from the surface. In red clay calcite prevails, by the quantity followed by quartz, and very little goethite. Muscovite, chlorite, microcline and plagioclase are present in traces. Regarding the mineral structure this loam is mixture of tectonic clay, developed in this fault zone and flood loam transported by the floods on the ceiling.

CONCLUSION

For a long time an opinion prevailed that on our karst in all the fissures and fault zones red loams are either "terra rossa", infiltrated from the surface or yellow loams, having their origin in flysch, transported by water flow. By microscope and x-ray analyses it was

shown that this is not always the fact. Frequently within the fault zones tectonic clays are found, originating within the inner fault zone and having almost entirely carbonate structure. Tectonic clay develops of limestone in such a way that under the pressure the limestone recrystallizes. Sparitic limestone occurs, closer to the active tectonic plane, more is porous. Directly at the main tectonic plane a collapse of solid limestone structure appears. On the borders of the grains at first solution occurs, later sparitic grains collapse and soft, unconsolidated clay occurs. Due to the origin, controlled by tectonic pressures, it is called tectonic clay. This term is not yet entirely clear, as in literature sometimes the expression milonite is used for tectonically crushed rock. But at us the milonite is commonly used in connection with the crushed dolomites. The structure of the inner fault zone is taken over from PLACER (1982): "the inner fault zone is a belt of crushed rocks, tectonic clay, milonitic flour, milonitic groats, tectonic breccia and sometimes less damaged blocks. To the outside it is limited by border fault planes. Its essential element is the main fault plane. Between the main and border fault planes the inner fault planes developed separating various cataclastic areas". In the same article Placer quotes that the inner fault zone is wider within the carbonate rocks than within the shales. At the same displacement it may be some centimeters wide in shales while in carbonate rocks it may reach some meters. In tectonic clay not only calcite or dolomite, depending in which carbonate rock the fault zone developed, but also other minerals, which are their admixture, may be found. These minerals concentrate there where the carbonate solution is profoundly affected by the pressures. It means directly at main fault planes. Tectonic clays may be either yellow or red. Goethite gives the yellow colour, red colour is due to hematite on the places where the water had been squeezed out of goethite and it was transformed into hematite. The colour of tectonic clay in the limestones is usually red, very seldom yellow but in dolomites it is mostly yellow. This clay impedes the drainage within the fault zone this is why in such fault zones no karstification was recorded.

REFERENCES

- KOGOVSÉK, J. & ZUPAN, N. (1992): Prenos trdnih delcev pri vertikalni cirkulaciji v krasu.- Naše jame, 34, 13-19, Ljubljana.
- PLACER, L. (1982): Tektonski razvoj idrijskega rudišča.- Geologija, 25/1, 7-94, Ljubljana.
- ZUPAN, N. (1989): Mineralogija tektonske gline v Pivki jami.- Acta carsologica SAZU, 18, 139-156, Ljubljana.
- ZUPAN HAJNA, N. (1992): Mineralna sestava mehanskih sedimentov iz nekaterih delov slovenskega krasa.- Acta carsologica SAZU, 21, 115-130, Ljubljana.

Some New Data on Trace Elements and REE in Pohorje (NE Slovenia) Massive

Nina ZUPANČIĆ

Key words: Granitoids, Petrology, Geochemistry, Periadriatic line, Pohorje

Abstract

In NE Slovenia the Pohorje intrusive body is aligned along the Periadriatic line. It is a suite of gabbro (cezlakite), granodiorite (till now known as tonalite), dacite and lamprophyre (malchite).

According to geochemical data the rocks are classified as silica hypersaturated, peraluminous, subalkaline, calc-alkaline, I-type, H_{LO} (hybrid late orogenic), post-collisional granitoids. Geochemical data suggested that all Pohorje igneous rocks have a common origin and are cogenetic.

The fractionated REE pattern and the absence of Eu anomaly indicated that parental magma was generated by partial melting of amphibolite in depths greater than 30 km. An influence of mantle source is not excluded. The unmixing in more basic restite and more felsic magma was probably followed by fractional crystallisation accompanied by stratification in magma chamber. The wall rock assimilation and isobaric cooling contributed to enrichment of water in magma.

In Slovenia occur two intrusive bodies aligned along the Periadriatic line - Pohorje and southern Karavanke. The Pohorje intrusive consists of an Oligocene to Miocene suite of gabbro, granodiorite, porphyritic granodiorite, dacite and lamprophyre.

The granodiorites have medium- to fine-grained hypidiomorphic granular texture. They are foliated. Mineral association is dominated by plagioclase, quartz, K-feldspar and biotite. The general crystallisation sequence is restite minerals (plagioclase, apatite, biotite), pyrite, apatite, zircon, allanite, titanite, epidote, biotite and/or hornblende, plagioclase of second generation, quartz and K-feldspars. On ground of geological, petrographical, mineralogical and geochemical (major, trace and rare earth elements) data a genetic model is proposed.

The Pohorje igneous rocks are mostly silica hypersaturated, only some malchites and exceptionally dacites are silica saturated (THORNTON & TUTTLE, 1960). According to A/CNK ratio (SHAND, 1947) they are peraluminous, but near the border with metaluminous rocks. In the field of metaluminous rocks plot malchites and some granodiorites.

The Pohorje igneous rocks belong to I - type granitoids (CHAPPELL & WHITE, 1974). According to classification that includes magma source, as well as tectonic environment (BARBARIN, 1990) Pohorje igneous rocks fit best with H_{LO} type - hybrid late orogenic, calc-alkaline, potassium granitoids generated in post-collisional zones. The differentiation trend of magma development was subalkaline - calc-alkaline (IRVINE BARAGAR, 1971).

Discrimination diagrams $Rb/Y+Nb$ and $Rb/Yb+Ta$ are most efficient in interpretation of tectonic environment of granitic rocks. The main problem are post-collisional granites. Their characteristics are influenced by thickness and composition of subducted lithosphere, as well as by correct definition of time and place of magmatic activity. In contrast to other types of granites they can not be explained by single, well defined source in crust or mantle. They can be generated by crust melting due to thermal relaxation which follows the collision, and also by upper mantle melting caused by adiabatic decompression which accompanies post-collisional uprise and erosion (PEARCE et al., 1984). According to authors the Himalaya and Eastern Alps granitoids are post-collisional. They can not be distinguished from VAG - volcanic arc granites (PEARCE et al., 1984). Pohorje igneous rocks have all the characteristics of post-collisional granites and on the $Rb/Y+Nb$ and $Rb/Yb+Ta$ diagrams they are in the VAG field.

The Pohorje igneous rocks are REE enriched (Fig. 1). In all samples HREE are higher in comparison to LREE. Low MREE content is often observed and it shows an upwards concave pattern. No Eu anomaly was detected. Similarity of REE patterns of all samples points to the same origin and petrogenesis of the rocks (DRUMMOND et al., 1988). The source was not ultramafic or SiO_2 unsaturated, otherwise partly melting of such rocks would produce SiO_2 unsaturated rocks (HANSON, 1978). This does not match with classification into SiO_2 saturated and unsaturated rocks. Partly resorbed phenocrysts of quartz indicate the temperature near quartz liquidus. REE pattern indicates an origin with small degree (10% - 20%) of melting of mafic source with residual amphibolite, eclogite or granulite (HANSON, 1978). Rocks with no Eu anomaly, low MREE content and variable LREE/HREE ratio point

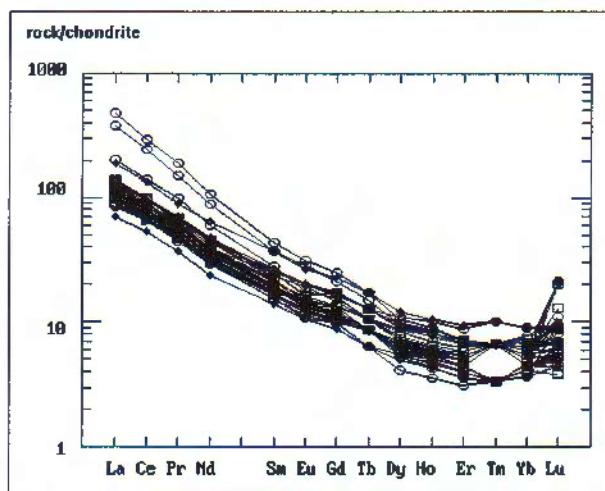


Fig. 1 The chondrite normalised REE pattern of the Pohorje igneous rocks.

out that the plagioclase:amphibole ratio neutralised Eu anomaly (GROMET & SILVER, 1987). HANSON (1980) states that Eu anomaly is neutralised when plagioclase:monoclinic pyroxene ratio is 1:1, or plagioclase:hornblende ratio 1:2. As REE pattern excludes an important role of residual garnet, it is most probable that Pohorje igneous rocks were generated by partial melting of amphibolite. According to Rb/Sr ratio the crust thickness in the area of magma origin exceeds 300 km (CONDIE & HUNTER, 1976).

The main petrogenetic process in the first stage was magma unmixing in more basic restite and more felsic magma (DRUMMOND et al., 1988). In next stage fractional crystallisation (FENG & KERRICH, 1992) was accompanied by stratification in magma chamber (KAGAMI et al., 1991). The wall rocks assimilation and isobaric cooling contributed to magma water enrichment. By rapid diapiric ascent the felsic magma of granodioritic composition is thought to have separated from their more basic parent. When magma reached the upper crust it was finally emplaced and it solidified. In time of emplacement and after it there was a strong tectonic activity. Majority of rocks was partly autometamorphosed. Some of them suffered hydrothermal alteration (ZUPANČIĆ, 1994).

REFERENCES

- BARBARIN, B. (1990): Granitoids: main petrogenetic classifications in relation to origin and tectonic setting.- *Geol. Journal*, 2, 227-238.
- CHAPPELL, B.W. & WHITE, A.J.R. (1974): Two contrasting granite types.- *Pacific. Geol.*, 8, 173-174.
- CONDIE, K.C. & HUNTER, D.R. (1976): Trace element geochemistry of Archean granitic rocks from the Barberton region, South Africa.- *Earth Planet. Sci. Lett.*, 29, 389-400.
- DRUMMOND, M.S., WESOŁOWSKI, D. & ALLISON, D.T. (1988): Generation, diversification, and emplacement of the Rockford granite Alabama, Appalachians: Mineralogic, petrologic, isotopic (C&O), and P-T constraints.- *J. Petrol.*, 29/4, 869-897.
- FENG, R. & KERRICH, R. (1992): Geochemical evolution of granitoids from the archean Abitibi southern volcanic zone and the Pontiac subprovince, Superior province, Canada: Implications for tectonic history and source regions.- *Chem. Geol.*, 98, 23-7.
- HANSON, G.N. (1980): Rare earth elements in petrogenetic studies of igneous systems.- *Am. Rev. Earth Planet. Sci.*, 8, 371-406.
- HENDERSON, P. (ed.) (1984): *Rare Earth Element Geochemistry*.- Elsevier, 510 p.
- IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks.- *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523 - 548.
- KAGAMI, H., ULMER, P., HAUSMANN, E., DIETRICH, V. & STEIGER, R.H. (1991): Nd-Sr isotopic and geochemical characteristics of the southern Adamello (Northern Italy) intrusives: implications for crustal versus mantle origin.- *J. Geophys. Res.*, 96, 14331-14347.
- PEARCE, J.A., HARRIS, N.B.W. & TINDLLE, A.G. (1984): Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks.- *J. Petrology*, 25, 956-983.
- SHAND, S.J. (1947): *Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification, and their relation to ore deposits*.- J. Wiley & Sons, 488 p.
- THORNTON, C.P. & TUTTLE, O.F. (1960): Chemistry of igneous rocks I: Differentiation index.- *Am. J. Sci.*, 258, 664-684.
- ZUPANČIĆ, N. (1994): *Petrološke in geokemične značilnosti pohorskih magmatskih kamnin*.- Unpublished PhD. Thesis, University of Ljubljana, 197p.

Morphogroups of Agglutinating Foraminifera in the Eocene Flysch of Istria (Croatia)

Sanja ŽIVKOVIĆ

Key words: Agglutinating foraminifera, Morphogroups, Paleoecology, Middle Eocene, Flysch, Istria, Croatia

Abstract

An attempt of applicability of morphogroups of agglutinating foraminifera in paleoecological study was carried out in the Middle Eocene flysch deposits of central Istria. Three morphogroups out of four described by JONES & CHARNOCK (1985) were recognized in the material studied. Environmental interpretation is based on relative abundance of the various morphogroups and species diversity within morphogroups.

INTRODUCTION

Six main feeding strategies are utilized by the agglutinating foraminifera at the present day (LIPPS, 1982). These are uptake of dissolved organic matter, herbivory, carnivory, omnivory, suspension feeding and detrital/bacterial scavenging. Each dictates to some extent the life position and deployment of pseudopodia and therefore the form of the test of foraminifera.

According to JONES & CHARNOCK (1985) agglutinating foraminifera may be grouped into four morphogroups: (A) genera that absorb dissolved organic matter and those that are suspension feeders, (B) omnivory, (C) detrital/bacterial scavenging genera i (D) herbivory. Morphogroups B and C can be subdivided in few subgroups (JONES & CHARNOCK, 1985). Carnivore genera have to rapidly deploy pseudopodia that are their essential requisite so they are of diverse morphology and do not conform definable morphogroup.

The method used by JONES & CHARNOCK (1985) in the study of Recent North East Atlantic/Western European seaboard has been applied to fossil agglutinating foraminiferal assemblages from Eocene flysch of Istria. This approach has been combined with some paleoecological methods already known. The preliminary results are published here.

MORPHOGROUPS IN THE MIDDLE EOCENE SAMPLES FROM THE FLYSCH OF CENTRAL ISTRIA

The oldest sample (G-18, Fig. 1) is represented by 100% of C₁ morphogroup with 3 species (Fig. 2), characterized by elongated forms ideally adapted to an infaunal way of life mostly found in shelf and upper bathyal environments of the Recent. Thus according to interpretation given by JONES & CHARNOCK (1985) it is likely that this sediment was deposited in outer shelf environment due to high relative abundance of morphogroup C₁ and low species diversity. High percentage of genera *Cibicidoides* and *Lenticulina*, and 41% of planctonic foraminiferal tests support this interpretation.

The next sample (G-19) shows a very low relative abundance and species diversity within the subgroup B₁ with single chambered forms assumed to be passive detritus feeders, which according to JONES & CHARNOCK (1985) doesn't appear until the upper bathyal environment with a very low abundance and species diversity in Recent North East Atlantic/Western European seaboard and its abundance increases with depth. The foraminiferal assemblage is also characterized by a very high overall species diversity that also reflects a deeper environment. The abundance of 62% planctonic tests is consistent with this interpretation. The presence of *Nuttallides truempyi* indicates deposition in environment deeper than 500 m (VAN MORKHOVEN & BERGGREN, 1986).

Next few samples (G-20 to G-27, with exception of G-21) are more or less characteristic for the Recent upper bathyal realm regarding to both relative abundance of morphogroups and species diversity within them. This interpretation is also supported by the presence of the foraminiferal assemblage containing *Nuttallides truempyi*, different species of *Lenticulina*, *Hanzawaia ammophilla*, *Oridorsalis umbonatus*, *Cibicidoides eocaenus*, *Spiroplectinella sp.*, and *Tritaxia jarvisi*, and by planctonic percentages ranging from 57% to 85%.

Samples G-21 and G-28 have, compared to previously described samples, relatively high abundance of morphogroup A, which consists of primitive tubular

forms and have the greatest abundance in middle and lower bathyal and abyssal environments of the Recent. It is therefore possible that they may have been deposited in transitional environment between upper and middle bathyal. Their position in the ternary diagram refers to the middle bathyal realm (Fig. 3).

Strange feature was noticed in samples J-1, B-2, J-8, and C; they all have a very high abundance of subgroup B₃ that is by forming flattened or lenticular planispiral shells and by being detritivora or omnivora characteristic for shelf, upper and middle bathyal environments and is rare at lower bathyal depths of the Recent. However, higher or lower abundance of morphogroup A and high abundance of subgroup B₃ and the presence of its representatives *Haplophragmoides* sp., *Trochammina* sp., *Paratrocchammina* sp. and other species such as *Bathysiphon* sp., *Rhabdammina* sp., *Ammodiscus* sp., *Anomalinoides capitatus*, *Dentalina* sp., *Lenticulina* sp., *Nuttallides truempyi*, *Oridorsalis umbonatus*, *Osangularia pteromphalia*, *Stilostomella* sp., etc., in considerable amounts, those samples probably reflect upper and middle bathyal environments (Fig. 3).

Sample X-3-N is quite different from those previously described according to relative abundance of the morphogroups and it refers to middle bathyal environment due to high relative abundance of morphogroup A and morphogroup B, especially subgroups B₁ and B₃. The increase of abundance of planctonic percentage to 85% supports this conclusion. The same environment is indicated by 60% of *Bathysiphon* sp. and *Rhabdammina* sp., 9% of *Haplophragmoides* sp., and smaller percentages of *Ammodiscus* sp., *Uvigerina* sp., and *Sphaerammina* sp. in the sample (DOUGLAS & WOODRUFF, 1981).

Foraminiferal assemblage of the next sample (X-9-N) displays characteristics of the lower bathyal environment. High relative abundance of morphogroup A and low abundance of morphogroup B are characteristic for this environment. Planctonic percentage increases to 95% and the abundance of morphogroup A in the agglutinating assemblage increases to 88%. Therefore, very high abundance of *Bathysiphon* sp., *Rhabdammina* sp., *Stilostomella nuttalli* and *Uvigerina* sp. is in support of the interpretation.

The youngest sample (D) is again characteristic for the upper bathyal environment according to very high abundance of morphogroup C₁, 88% of planctonic foraminifera and the foraminiferal assemblage that is dominated by *Cibicidoides ocaenus*, *Dentalina* sp., *Oridorsalis umbonatus*, *Trochammina* sp., and different species of *Lenticulina*.

To sum up, the analysis of morphogroups of agglutinating foraminifera may be applied in the study of fossil foraminiferal assemblages and ancient environments, and particularly in the study of Paleogene deposits. It can provide an indication of depositional environments. Already in 1962 GOHRBANDT (1962) has had determined the Istrian flysch as deposited at depth of

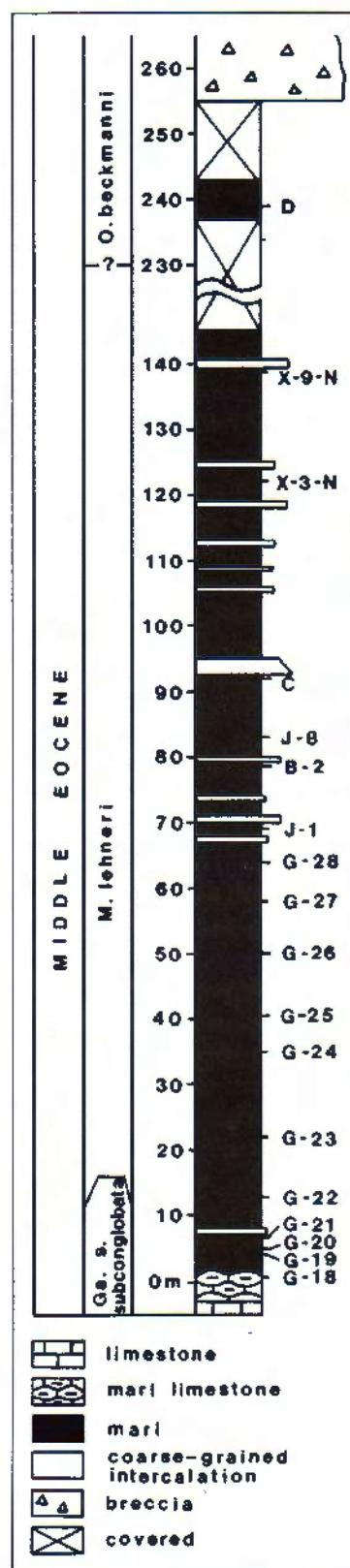


Fig. 1. Position of samples in succession of the Middle Eocene flysch deposits of central Istria with planctonic foraminiferal zonation (mostly after JURAČIĆ, 1976)

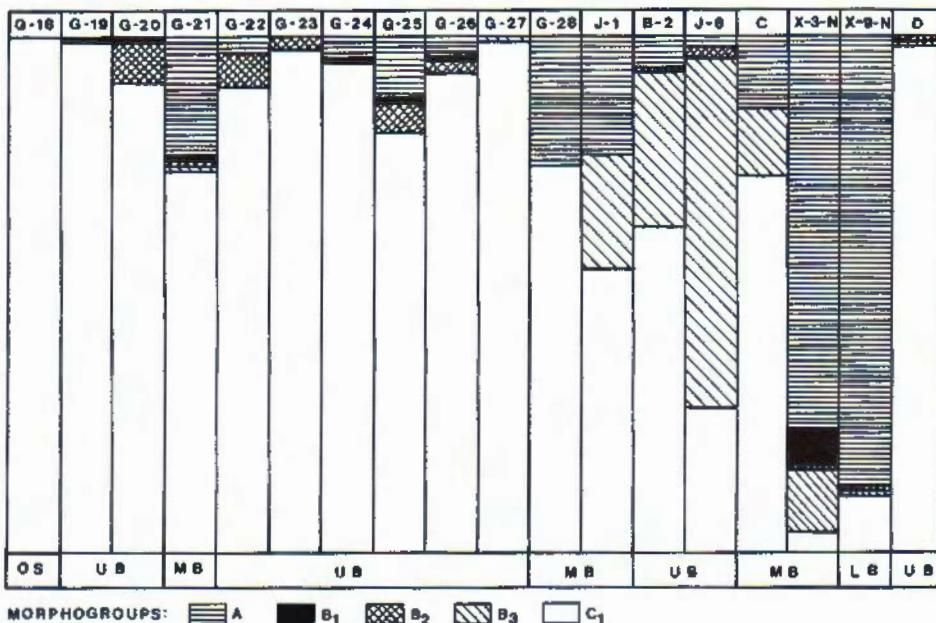


Fig. 2. Relative abundance of the various morphogroups in central Istrian samples with interpretation. OS - outer shelf, UB - upper bathyal (200-1000m), MB - middle bathyal (1000-1650m) and LB - lower bathyal (1650-2250m). Depth nomenclature after PEARCE, 1983, ms. (in JONES & CHARNOCK, 1985).

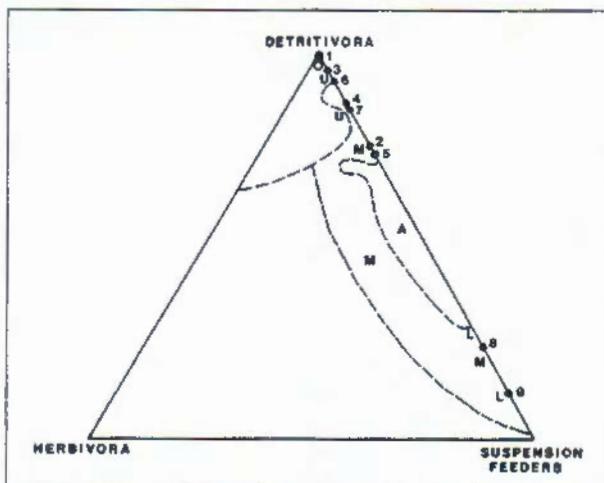


Fig. 3. Agglutinating foraminiferal associations from the Middle Eocene central Istrian flysch deposits plot into the ternary diagram of feeding habit types and morphogroups after JONES & CHARNOCK (1985). Detritivora comprises morphogroups B and C, Suspension feeders stand for morphogroup A, and Herbivora for morphogroup D. O-outer shelf, U-upper bathyal, M-middle bathyal and L-lower bathyal, A-abyssal. Dots represent one or more central Istrian samples: 1-G-18, G-19, G-20, G-23, G-27, D; 2-G-21, J-1; 3-G-22, G-24, G-26, J-9; 4-G-25; 5-G-28; 6-G-2; 7-C; 8-X-3-N; 9-X-9-N.

REFERENCES:

- DOUGLAS, R. & WOODRUF, F. (1981): Deep-sea benthic foraminifera. In: EMILIANI, C. (ed.): The oceanic Lithosphere. The Sea, 7, 1233-1327.
- GOHRBANDT, K. (1962): Vorläufige Mitteilungen über ökologische Untersuchungen an Kleinforaminiferen aus dem Flyschbereich von Istrien. - Verh. Geol. Bundesanstalt, 1-3, 228-234, Wien.
- JONES, R.W. (1986): Distribution of morphogroups of Recent agglutinating Foraminifera in Rockall Trough-a synopsis.- Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, 88B, 55-58.
- JONES, R.W. & CHARNOCK, M.A. (1985): Morphogroups of agglutinating foraminifera. Their life positions and feeding habits and potential applicability in (paleo)ecological studies.- Rev. Paleobiologie, 4/2, 311-320.
- JURAČIĆ, M. (1976): Istraživanja eocenskog fliša i njegove podloge u Pazinskom bazenu. - B.Sc. Thesis, University of Zagreb, 33 p.
- LIPPS, J.H. (1982): Biology/Paleobiology of foraminifera.- In: BROADHEAD, T. W. (ed.): Foraminifera: Notes for a short course. Univ. Tennessee, Knoxville publication, 1-21.
- VAN MORKHOVEN, F.P.C.M., BERGGREN, W.A. & EDWARDS, A.S. (1986): Cenozoic cosmopolitan deepwater benthic foraminifera.- Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine, Memoir 11.
- more than 1000 m according to the ratio between planktonic and benthonic foraminifera, and the presence of agglutinating forms typical of flysch deposits.
- Sedimentation of the Middle Eocene flysch of the central Istria was mostly taking place in the bathyal environments at depths from 200 to 2250 m (JONES & CHARNOCK, 1985) with periodical changes from shallower to deeper ones and vice versa.

