

3. Hrvatski geološki kongres
Third Croatian Geological Congress

Opatija, 29.09.–01.10.2005.

Vodič ekskurzija Excursion Guide-Book



Urednici – Editors:
Ranko Biondić, Igor Vlahović & Ivo Velić

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society

Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

Prirodoslovno-matematički fakultet – Faculty of Science

Rudarsko-geološko-naftni fakultet – Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering
INA-Industrija nafte d.d.

ZAGREB, 2005

3. Hrvatski geološki kongres
Third Croatian Geological Congress

Opatija, 29.09.–01.10.2005.

Organizatori – Organized by:

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society

Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

Prirodoslovno-matematički fakultet – Faculty of Science

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

INA-Industrija nafte d.d.

Pokrovitelji – Sponsored by:

Ministarstvo znanosti, prosvjete i športa – Ministry of Science, Education and Sport
of the Republic of Croatia

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva – Ministry of Economy, Labour and Entrepreneurship
of the Republic of Croatia

Sveučilište u Zagrebu – University of Zagreb

Organizacijski odbor
Organizing Committee

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

Počasni odbor
Honorary Committee

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

Znanstveni odbor
Scientific Committee

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

ISBN 953-6907-08-9

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

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

Tisk – Printed by: PAGlgraf – Tipomat, Zagreb

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

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

VODIČ EKSKURZIJA

EXCURSION GUIDE-BOOK

Urednici – Editors:
Ranko Biondić, Igor Vlahović & Ivo Velić

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

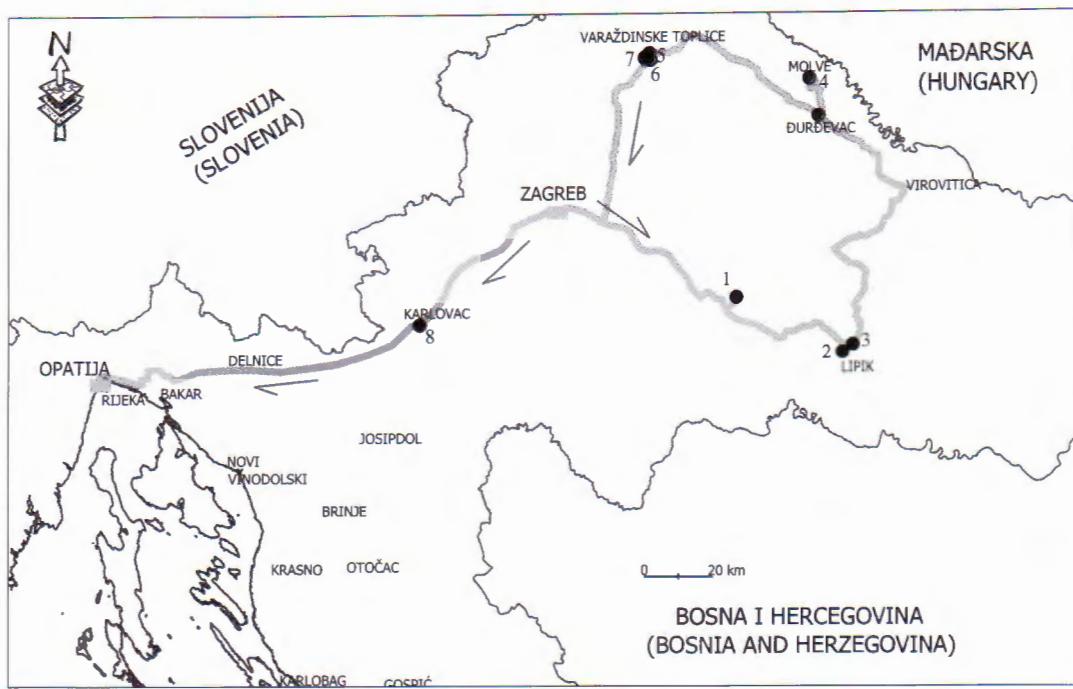
SADRŽAJ – CONTENTS

KASTMÜLLER, Ž., GRGASOVIĆ, T., HALAMIĆ, J., KOVAČIĆ, M., KRKLEC, N., KRUŠKO, B., LUKŠIĆ, B., MIKLIN, Ž., MIKNIĆ, M., PRANJIĆ, J., ŠEPETAVEC, V., TADEJ, J., TIŠLJAR, J., TIŠLJAR, V. & VRSALJKO, D.: Ekskurzija A1 – Mineralne sirovine sjeverozapadne Hrvatske (<i>Excursion A1 – Mineral Resources of Northern Croatia</i>).....	1
VELIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., SREMAC, J., SOKAČ, B., POLLAK, D., KLJAJO, D. & VLAHOVIĆ, I.: Ekskurzija A2 – Krški Dinaridi: taložne sekvencije, paleogeografska dinamika i recentni tektonski odnosi u Kapeli, Velebitu i Vinodolu (<i>Excursion A2 – Karst Dinarides: Depositional Sequences, Palaeogeographic Dynamics and Recent Tectonics in Kapela Mt., Velebit Mt. and Vinodol Valley</i>).....	23
BIONDIĆ, R., BIONDIĆ, B., JURAK, V., KAPELJ, S., MARKOVIĆ, T., MIKLIN, Ž., MILEUSNIĆ, M., MLINAR, Ž., PAVIČIĆ, A., SLOVENEC, D. & ŠTEFANEK, Ž.: Ekskurzija B1 – Krški Dinaridi: hidrogeologija i inženjerska geologija (<i>Excursion B1 – Karst Dinarides: Hydrogeology and Engineering Geology</i>).....	49

Ekskurzija A1 – Mineralne sirovine sjeverozapadne Hrvatske

Excursion A1 – Mineral Resources of Northern Croatia

Željko **Kastmüller**, Tonći **Grgasović**, Josip **Halamić**, Marijan **Kovačić**,
Nevenka **Krklec**, Boris **Kruk**, Boris **Lukšić**, Željko **Miklin**, Mirjana **Miknić**,
Jakov **Pranjić**, Vlasta **Šepetavec**, Jasna **Tadej**, Josip **Tišljar**,
Vladimir **Tišljar** & Davor **Vrsaljko**



Uvod

Dvodnevna ekskurzija posvećena mineralnim sirovinama obuhvaća više lokaliteta panonskog dijela Hrvatske vezanih na eksploataciju nemetala (pijesak, glina, tehnički kamen), nafte, plina i kondenzata te termalne i mineralne vode. Općenito, na tom prostoru su poznate i skromne pojave ruda metala eksploatirane mjestimično do 19. stoljeća, te značajna ležišta ugljena eksploatirana do sredine 20. stoljeća.

Početna postaja ekskurzije omogućava uvid u dio jezgara s plinsko-kondenzatnog polja Molve, a posjet samom polju predviđen je za kraj prvog dana ekskurzije (točka 4). Na lokalitetu Jagma (točka 2) eksploatira se kvarcni pjesak pontske starosti za potrebe tvornice stakla u Lipiku. Lječilište Lipik, poznato i po mineralnoj vodi "Lipički studenac", teško je stradalo u vrijeme Domovinskog rata,

a tijekom obnove izgrađena je suvremena punionica vode koju će sudionici ekskurzije imati prilike posjetiti (točka 3).

Drugi dan ekskurzije počinje posjetom Varaždinskim Toplicama (točka 5), jednom od najpoznatijih termalnih lječilišta u Hrvatskoj, aktivnom već u antičko doba (*Aqua Iasae*). Slijedi posjet kamenolomima na sjevernom pobočju Kalničke gore – na lokalitetu Hruškovec (točka 6) eksploatiraju se vulkaniti, a u kamenolomu "Špica" pokraj sela Ljubeščica trijaski vapnenci (točka 7). Radni dio ekskurzije završava posjetom eksploatacijskim poljima pjeska i gline za potrebe ciglane u Ilovcu kod Karlovca i razgledavanju pogona same ciglane (točka 8), a potom slijedi put u Opatiju.

Točka 1: Petrološko–sedimentološka interpretacija jezgara bušotine Molve–29

Stop 1: Petrological and Sedimentological Interpretation of Well-Bore Cores from Molve–29 Well

Jasna Tadej¹ & Josip Tišljar²

¹INA-Naftaplin, Šubićeva 29, HR-10000, Zagreb, Hrvatska; e-mail: jasna.tadej@ina.hr

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

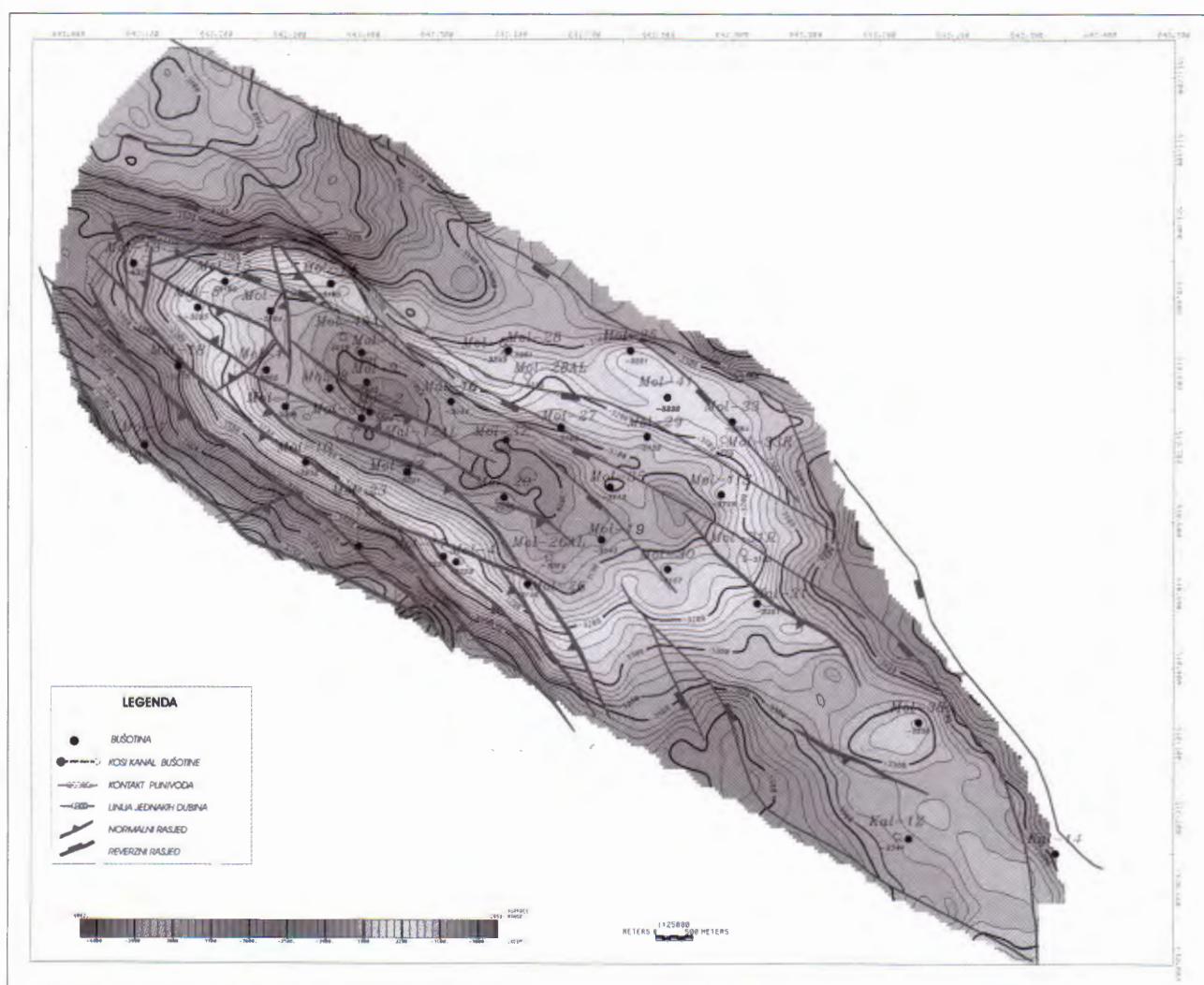
Uvod

Plinsko polje Molve nalazi se u sjeverozapadnom području Dravske depresije, u Koprivničko-Križevačkoj županiji, udaljeno oko 100 km sjeveroistočno od Zagreba.

Struktura Molve predstavlja asimetričnu antiklinalnu pružanja duže osi SZ-JI, uzdužno presječenu s nekoliko reverznih rasjeda koji predstavljaju barijere za fluide i plinove,

a ujedno su i granice ležišta. Poprečni rasjedi razdvajaju središnji dio od sjeverozapadnog dijela strukture (sl. 1). Dužina strukture je približno 13 km, širina približno 5 km, a strukturno zatvaranje iznosi 395 m (PLINSKO POLJE MOLVE, 1998).

Kolektorske stijene polja Molve pripadaju različitim litološkim kompleksima (ležišnim facijesima) međusobno odvojenim diskordantnim granicama. To su:



Sl. 1 Strukturna karta po krovini ležišta.

Fig. 1 Structure map – top of the reservoir.

- 1) **dijaftoriti** (prekambrij): škriljavo-metamorfni kompleks;
- 2) **kvarciti** (permotrijas): kataklazirani kvarciti, metapješčenjaci i siltiti;
- 3) **dolomiti** (mezozoik): različite vrste kataklaziranih dolomita i dolomitnih breča;
- 4) **vapnenci** (donji-srednji miocen): biokalkareniti do biokruditici i biomikriti.

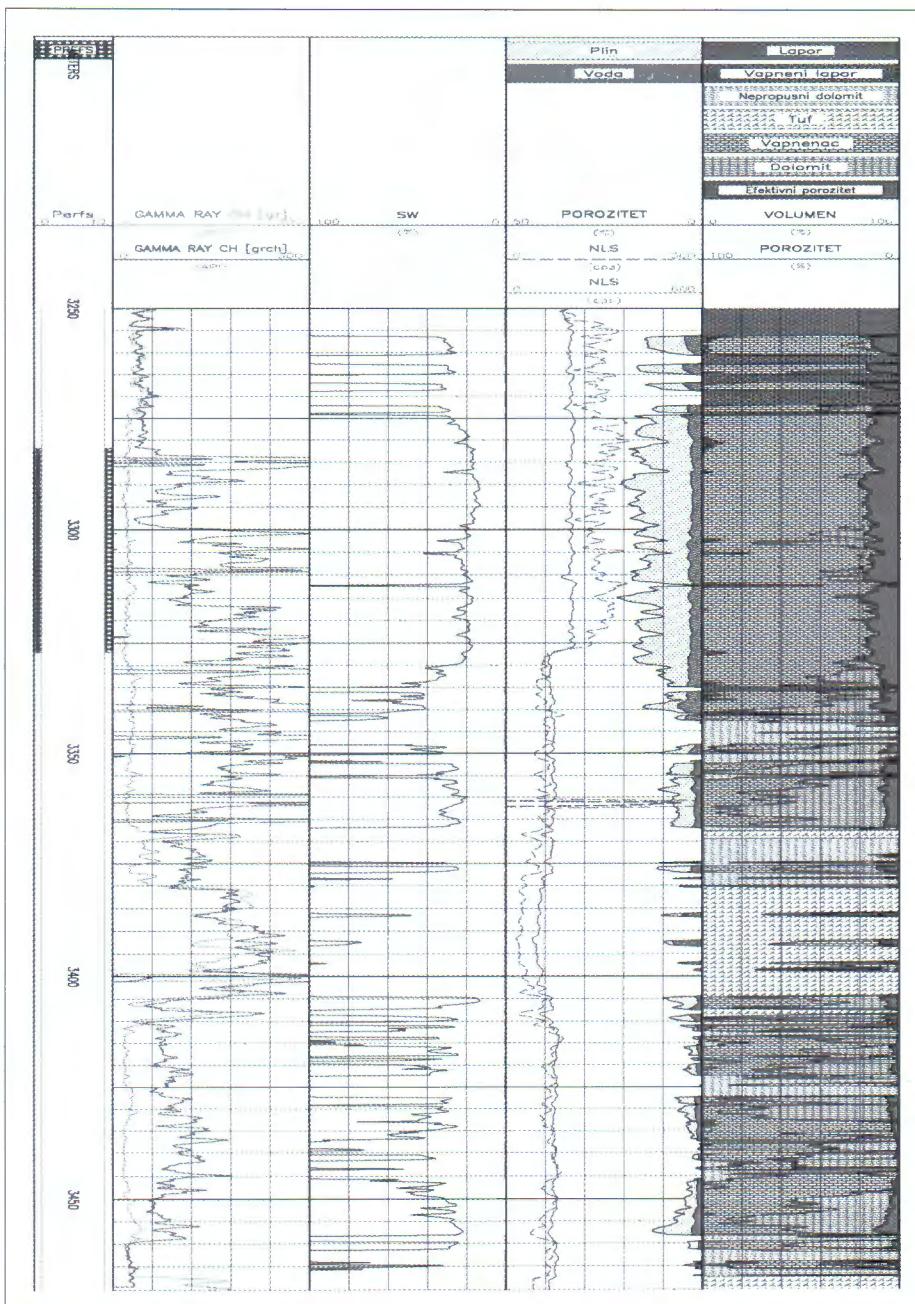
Pokrovne stijene su kalcitom bogati lapor i glinoviti vapnenci.

Tipovi poroznosti ovise o litološkim, diagenetskim i tektonskim osobinama ležišnih stijena. Dijaftoriti imaju makropukotinsku, a kvarciti i dolomiti mikropukotinsku poroznost. Vapnenci većinom imaju sačuvanu primarnu intergranularnu i intraskeletnu, a djelomično sekundarnu moldičku i pukotinsku poroznost.

Litofacijesna interpretacija bušotine Mol-29

Bušotina Mol-29 nalazi se na sjevernom dijelu strukture polja Molve. Kroz ležište je u intervalu 3255,4–3515,4 m izvršeno kontinuirano, orijentirano jezgrovanje u ukupnoj dužini od 260 m (sl. 2). Detaljnim makroskopskim i mikroskopskim analizama jezgrovanoj materijala (TIŠLJAR, 1989) utvrđene su sljedeće litofacijesne i petrološko-genetske jedinice (od najdubljih prema plićim):

A – Kataklazirani, dijelom metamorfno rekristalizirani kasnodijagenetski dolomiti ili kataklastične dolomitne breče (3515,4–3505,2 m) nastali su procesima kasnodijagenetske dolomitizacije karbonatne mase te naknadnim snažnim tektonskim drobljenjem bez transporta na taj način nastalih odlomaka. Intenzivnim kataklaziranjem dolomiti su bili razdrobljeni u više-manje jednolični do-

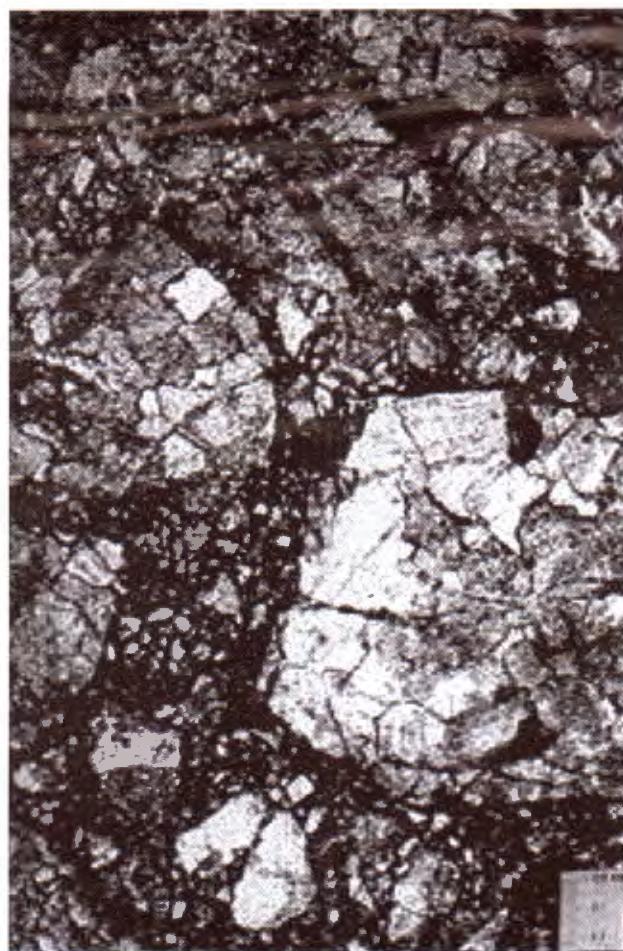


Sl. 2 Mol-29 – CRA analiza.
Fig. 2 Mol-29 – CRA analysis.



Sl. 3 Kataklastična dolomitna breča.

Fig. 3 Cataclastic dolomite breccia.



Sl. 4 Kataklastična dolomitna breča, mikroskopski izbrusak.

Fig. 4 Cataclastic dolomite breccia, thin section.

lomitni agregat bogat vrlo sitnim dolomitnim matriksom ("dolomitnim brašnom"). Djelovanjem snažnog tlaka, uz rekristalizaciju sitnozrnastog matriksa, nastali su kataklazirani dolomiti čije su strukture slične metamorfnim granoblastičnim strukturama. Naknadnim mlađim tektonskim pokretima dolazi do ponovnog višefaznog lomljenja i nastanka brojnih pukotina i prslina u stijenskoj masi koje djelomično zapunjava ferokalcitni cement. Najmlađi su procesi piritizacije i silicifikacije.

B – Tektonski melanž dolomitnih breča, kataklaziranih pješčenjaka, "kvarcita" i izmijenjenih tufova (3503–3496,5 m) predstavlja rasjednu zonu. Tektonska kaotična masa sastoji se od tektonski razlomljenih i razdrobljenih stijena različitog petrografskog sastava, koje su pune površina smicanja, harniša i kaotičnog brečiranja. Pretežno se sastoje od kataklastičnih dolomitnih breča jedinice A i nejednoličnog udjela kvarcita, sericitiziranih pelita, montmorilonitiziranih tufova, piritiziranih grauvaknih pješčenjaka i pjeskovitih siltita. Ovaj tektonski melanž nastao je mlađom tektonikom znatno kasnije od nastanka kataklastičnih dolomitnih breča.

C – Kataklastične dolomitne breče nastale tektonskim drobljenjem kasnodijagenetskih dolomita (sl. 3 i 4 – 3496,5–3437 m) istih su petroloških značajki kao jedinica A, osim što ovdje nema dinamometamorfnih procesa.

Fragmenti breča pripadaju po strukturi sličnim tipovima dolomita u kojima se mijenjaju samo dimenzije fragmenata, stupanj njihove rekristalizacije i međusobni udio fragmenata i sitnorazdrobljenog matriksa. Pojedini, posebice jače razdrobljeni dijelovi su intenzivno bitumenizirani. Uz pukotinsku poroznost mjestimično je prisutna i šupljinska poroznost nastala procesima otapanja i naknadnom korižnjom matriksa.

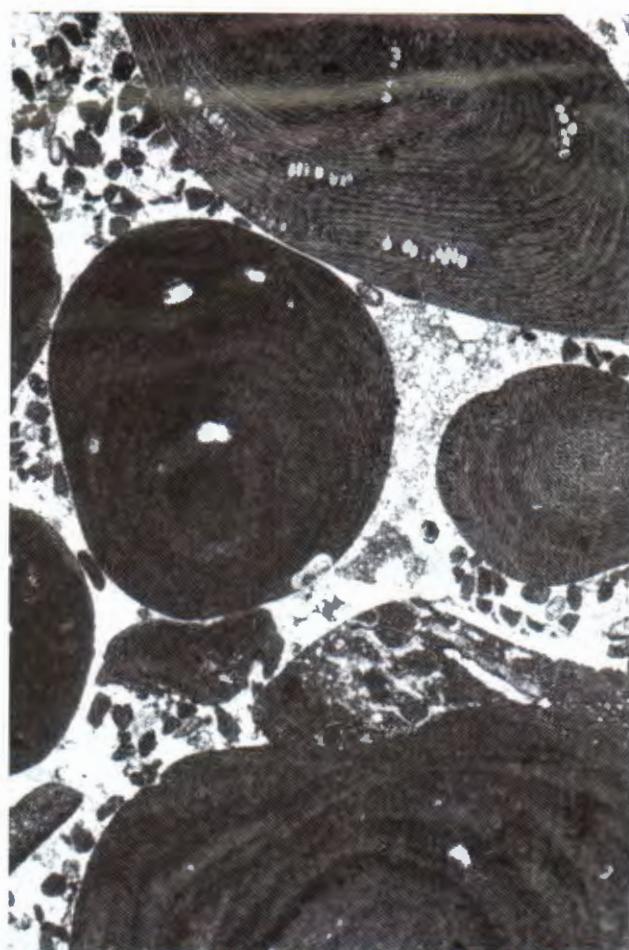
D – Kataklastične dolomitne breče (3437–3344 m) nastale tektonskim drobljenjem ranodijagenetskih i kasnodijagenetskih dolomita (mjestimično s proslojcima tufova) kod kojih se jasno razlikuju fragmenti makrokristalastih do mikrokristalastih dolomita kasnodijagenetskog podrijetla od ranodijagenetskih dolomita kriptokristalaste strukture, često s horizontalnom laminacijom, stromatolitnim ili pelsparitnim teksturno-strukturnim odlikama. Izmijenjene vulkanoklastične stijene pojavljuju se kao debliji ili tanji ulošci unutar breča.

E – Dolomitni klastiti (3344–3340 m) zastupljeni su dolomitnim brečokonglomeratima, sitnozrnastim dolomitnim konglomeratima i dolomitnim pješčenjacima. Više–manje jasno smanjivanje zrna i povećanje stupnja zaobljenosti može se pratiti od dna prema vrhu intervala. Ovi sedimenti predstavljaju bazalne stijene tercijarne transgresivne sedimentacije na kataklastične dolomitne breče koje su



Sl. 5 Biokalkrudit.

Fig. 5 Biocalcrite.



Sl. 6 Biokalkrudit, mikroskopski izbrusak.

Fig. 6 Biocalcrite, thin section.

bile u emerziji. Na paleookršavanje i subaersko trošenje ukazuju pojave internog sedimenta, kalkretnih kora i terestričke karbonatne cijedine. Dolomitni klastiti sadrže zaobljene valutice i fragmente kataklastičnih dolomitnih breča, mjestimično i tufova i dolomitični glinovito-pjeskoviti matriks. Visoka poroznost ovih stijena rezultat je sekundarnih procesa otapanja (šupljinska poroznost) i mlađe tektonike (pukotinska poroznost), a prisutna je i primarna intergranularna poroznost.

F – Kompletno dolomitizirani biokalkareniti (3340–3333 m) pojavljuju se u postupnom prijelazu od dolomitnih klastita, a odlikuju se postupnim opadanjem udjela dolomitnog i porastom udjela fosilnog detritusa, koji je naknadno potpuno kasnodijagenetski dolomitiziran. To su čvrsto litificirani dolomiti u kojima se tek mikroskopski zapaža nepotpuno ili gotovo potpuno dolomitizirano krše koralinacejskih algi i briozova u gustoj sitnokristalastoj dolomitnoj osnovi. Naknadnim otapanjem dijelova skeleta organizama i izluživanjem dolomitnog matriksa nastaje moldička i šupljinska poroznost.

G – Selektivno dolomitizirani litotamnijsko–briozjski biokalkareniti i biokalkaruditi (3333–3255,4 m) su razmjerno čvrsto litificirane stijene izgrađene od kršja skeleta, rijede i gomolja koralinacejskih algi, kršja briozova, krupnih bentosnih foraminifera i fragmenata skeleta bodljikaša (sl. 5 i 6). Vezivo čine sitnorazdrobljeni fosilni detritus, karbonatni matriks i mikrokristalasti kalcitni cement. Rijetko su prisutna sitna zrna siliciklastičnog detritusa. Procesom dolomitizacije zahvaćena je samo osnovna masa, dok je skeletno krše ostalo nedolomitizirano. Stijene ovoga lito-facijesa ne pokazuju pravilnost ili ritmičnost u izmjeni, već se nepravilno izmjenjuju partie s krupnjim i sitnjim biodetritusom i međusobno različitim udjelima detritusa i cementa. Ovi su sedimenti nastali razaranjem i abrazijom biogenih grebena i taloženjem goleme količine fosilnoga kršja u području prigrebena (zagrebena). Njihova relativno visoka poroznost rezultat je nepotpune cementacije interskeletnih, moldičkih i šupljinskih pora.

Točka 2: Ležište kremenog pjeska Jagma–6 kod Lipika

Stop 2: Quartz Sand Deposit Jagma–6 near Lipik

Boris Kruk, Željko Kastmüller, Marijan Kovačić, Davor Vrsaljko & Mirjana Miknić

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

Geološka građa ležišta

Na morfološki istaknutom i u tektonsko-erozijskom pogledu, relativno očuvanom području Rudine, u okviru Blatuškog brda, na trasi pružanja tijela kremenog pjeska R_1 (najstariji horizont), 1997. godine istraženo je i okontureno ležište kremenog pjeska Jagma–6 (sl. 7), koje je danas u eksploataciji. U širem području, na trasi pružanja istog tijela kremenog pjeska R_1 , na potezu Jagma–Livađani iscrpljeno je 6 ležišta: Jagma–1, 2, 3, 4, Jagma–5 (Medinac) i ležište Livađani. Na geološkoj karti (sl. 8) vidljiv je položaj ležišta Jagma–6 u odnosu na ostala ležišta.

Krajnji zapadni rub ležišta Jagma–6 zatvara potok Medinac, prema istoku teren se uspinje, a u pravcu sjever-jug ležište se pruža uzdužno po padini. Teren je izvanredno

pokriven, tako da prirodnih izdanaka na ovom ležištu nema. Prosječna visina ležišta iznosi približno 205 m n.m. (190–220 m n.m.). Površina ležišta iznosi oko 2 ha.

Na temelju istražnog bušenja utvrđeni su sljedeći litološki članovi (sl. 9):

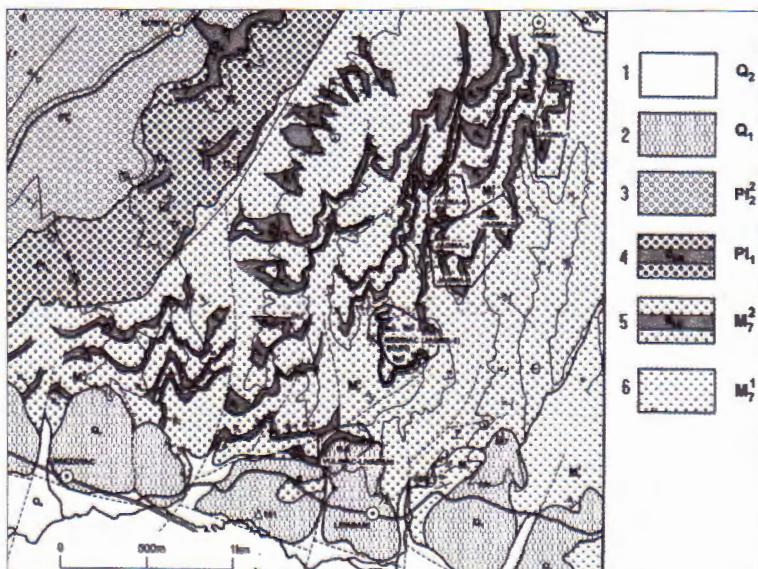
- podinski lapor;
- kremeni pjesaci;
- krovinski glinoviti lapor;
- laporovite gline, pjeskovite gline, lesne gline i humusni pokrov.

Podinski lapori se sastoje od sivih i tamnosivih, uslojenih siltoznih laporanih. Stijena je sitnozrnasta pelitska s glavnim sastojcima kriptokristalastim kalcitom i glinama s primjesama. Među česticama silta posebno se ističu fino



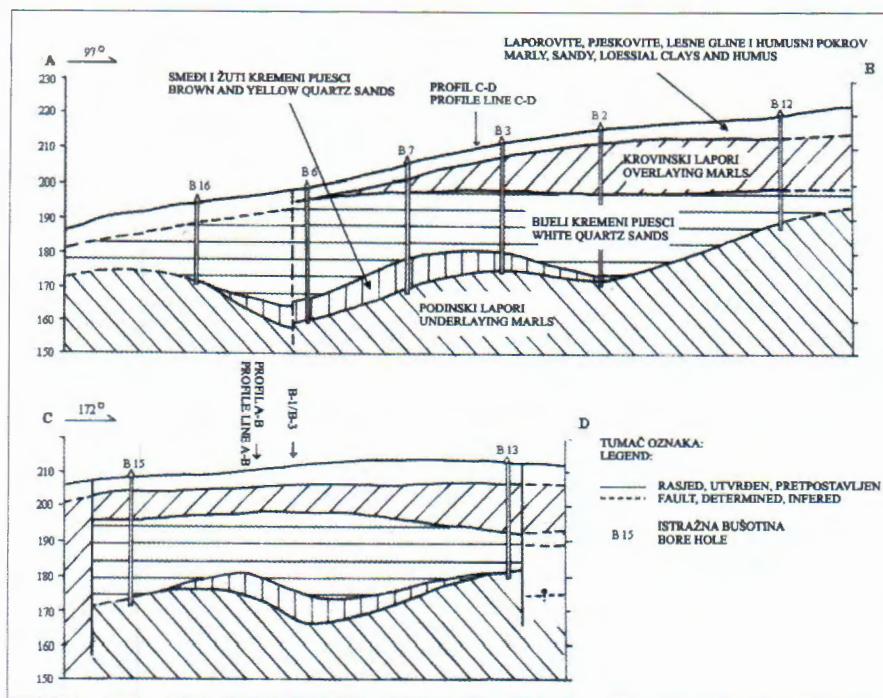
Sl. 7 Zemljopisni položaj ležišta Jagma–6.

Fig. 7 Geographical position of the Jagma–6 deposit.



Sl. 8 Geološka karta područja Jagma–Livađani (KRKALO, 1998). Tumač: 1) Holocene – aluvij (pjesaci, šljunci, gline, mulj, humus); 2) Pleistocen – deluvij (obronačni nanos: ilovine, pjeskovite i šljunkovite gline); 3) Gornjopaludinske naslage (gline, pjeskovite gline, lapori i pjesaci); 4) Donjopaludinske naslage (gline, pjesaci, lapori i kremeni pjesaci: DI–DIII); 5) Gornji pont – Rhomboidea naslage (lapori, gline, pjesaci i kremeni pjesaci: RI–RV); 6) Donji pont – Abichi naslage (lapori, glinoviti lapor i pjesaci).

Fig. 8 Geological map of the Jagma–Livađani area (after KRKALO, 1998). Legend: 1) Holocene – Aluvium (sand, gravel, clay, mud, humus); 2) Pleistocene – Deluvium (talus debris, loam, sandy clay with gravel); 3) Upper Paludinian beds (clay, sandy clay, marl and sand); 4) Lower Paludinian beds (clay, sand, marl and quartz sand: DI–DIII); 5) Upper Pontian – Rhomboidea beds (marl, clay, sand and quartz sand: RI–RV); 6) Lower Pontian – Abichi beds (marl, clayey marl and sand).



Sl. 9 Geološki profili kroz ležište Jagma-6.

Fig. 9 Geological cross-sections of the Jagma-6 deposit.

raspršeni, vrlo sitni listići tinjaca. Iako su ovi lapori za njansu kompaktniji i nešto tamniji od krovinskih, često se teško razlikuju.

Kremeniji pijesci. Dio spomenutog tijela pijeska na ovom ležištu ostao je sačuvan u relativno sruštenom tektonskom bloku, dok je na izdignutim pozicijama istanjen ili potpuno erodiran. Gornji, produktivni dio sloja sastoji se od srednjozrnastih bijelih kremenih pijesaka debljine 9–29 m, a odlikuje se visokim sadržajem SiO_2 , s neznatnim udjelom nečistoća u obliku sporednih mineralnih sastojaka ili čestica stijena, i izvanrednom bjelinom. Donji, neproduktivni dio sloja debljine do 9 m je tinčasti kremeniji pijesak smedih i žutih nijansi s manjim postotkom SiO_2 , koji se uglavnom ne koristi u staklarskoj industriji.

Pijesak je bijele boje, masivnog izgleda s mjestimice vidljivom slabo izraženom horizontalnom laminacijom. To je srednjozrnasti, srednjesortirani pijesak s rijetkim kvarcnim valuticama veličine do 2 cm. U sastavu pijesaka prevladava kvarc (65–75%), srednje su zastupljeni feldspati (20–30%), dok su čestice stijena u pravilu vrlo rijetke (oko 10%). Osim toga pijesak sadrži 6–8% CaCO_3 . Od kvarcnih zrna najzastupljenija su poluzaoobljena, valovitog potamnjena. Među feldspatima prevladavaju alkalijski feldspati tipa ortoklasa, a rjeđi su kiseli plagioklasi s polisintetskim sraslačkim lamelama. Od čestica stijena pojavljuju se gotovo isključivo čestice tipa kvarcita i rožnjaka. U sastavu teške mineralne frakcije pijesaka najzastupljeniji su granati i epidot, a znatnije su još zastupljeni staurolit i amfiboli.

Pijesak sadrži brojne ljuštture mekušaca, tj. školjaka i puževe. Mnogi od školjkaša imaju sačuvane poluotvorene obadvije ljuštture, što sugerira njihov *in situ* položaj. Najzastupljeniji mekušci su: *Lymnocardium asaphiopsis* BRUSINA, *L. (Podravinocardium) arpadense* (HÖRNES), *L. (Bosphoricardium) banaticum* (FUCHS), *Phylocardium planum* (DESHAYES), *Dreissenomya* sp., *Dreissena* sp. i *Melanopsis* sp.

Krovinski glinoviti lapor. Iznad produktivnog sloja kremenog pijeska razvijeni su svijetlosivi glinoviti siltozni krovinski lapor, debljine do 15 m. U površinskim dijelovima sloja nalaze se trošne zone primarnih glinovitih krovinskih lopora. Uz rasjedne zone ove naslage mogu biti uslijed erozije djelomično odnešene ili reducirane.

Lapor je zelenkastosive boje, masivnog izgleda, s mjestimice jasno vidljivim bioturbacijama. Sadrži između 25 i 45% CaCO_3 . U vršnom dijelu paketa prelazi u glinovito-siltozni sediment bogat biljnim trunjem i korijenjem. Izrazito je bogat fosilnim kršjem i čitavim ljušturama mekušaca i ostrakoda (*Hemicytheria prisca* SOKAČ, *Loxoconcha petasa* (LIVENTAL), *Candona* (*Bakunella*) sp., *Amplocypris*, *Caspiolla*). Od mekušaca, brojem individua i učestalošću ističu se nalazi: *Paradacna okrugici* (BRUSINA), *P. abichi* (HÖRNES), *Lymnocardium* (*Tauricardium*) *prionophorum* (BRUSINA), *Congeria* sp., *Dreissena* sp., *Gyraulus* sp., *Valenciennius* sp., *Lymnaeus* sp., *Melania* sp. i *Orygoceras* sp.

Laporovite gline, pijeskovite gline, lesne gline i humusni pokrov. Primarne krovinske naslage dobrim dijelom pokrivaju kvartarne naslage debljine 5–6 m, koje se pretežno sastoje od obronačnih nanosa, pijeskovitih gline i laporovitih gline. Tanji pokrov ovim naslagama predstavlja humus (humusna glina), debljine maksimalno 0,5 m.

Geneza ležišta

Postanak kremenih pijesaka, odnosno kremenih rezistata unutar rhomboidea naslaga u uvjetima poluotvorenih jezersko-morskih laguna Ilomske depresije, vezan je za rasprostranjenih eruptivnih i metamorfnih stijena te starijih sedimenata na što upućuje njihov mineralni sastav, dok strukturna zrelost detritusa sugerira duži transport ili višestruko pretalozavanje materijala.

Kemijske analize (%)							
Sve analize	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	g.ž.	alk.
Minimum	75,44	0,96	0,13	0,11	0,01	0,12	0,04
Maksimum	97,02	8,83	1,35	4,69	1,81	4,15	5,02
Srednja vrijednost:	93,09	2,73	0,39	0,91	0,33	0,82	1,51
Koeficijent varijacije	6,28	82,05	76,92	120,88	103,03	114,63	82,78
Rezerve	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	CaO	MgO	g.ž.	alk.
Minimum	85,81	0,96	0,13	0,11	0,01	0,12	0,04
Maksimum	97,02	6,97	0,70	1,68	0,71	1,58	2,95
Srednja vrijednost:	94,89	2,10	0,31	0,58	0,25	0,49	1,15
Koeficijent varijacije	2,10	51,43	48,39	55,17	68,00	57,14	70,43

Tablica 1 Kemijski sastav ležišta Jagma-6.

Table 1 Chemical composition of the Jagma-6 deposit.

Granulometrijske analize (%)								
Sve analize	1,00	0,80	0,63	0,40	0,315	0,20	0,10	Prah
Minimum	0,09	0,10	0,20	1,40	1,80	2,70	4,00	0,50
Maksimum	8,50	9,00	8,60	35,80	30,50	46,00	70,10	24,90
Srednja vrijednost:	1,98	1,73	3,73	21,05	18,59	30,46	19,39	3,26
Koeficijent varijacije	90,40	89,02	54,69	39,81	36,04	31,98	91,03	173,31
Rezerve	1,00	0,80	0,63	0,40	0,315	0,20	0,10	Prah
Minimum	0,10	0,10	0,20	1,40	4,00	16,90	4,00	0,50
Maksimum	6,00	9,00	8,60	35,80	30,50	46,00	69,40	7,40
Srednja vrijednost:	1,92	1,86	4,08	23,08	20,22	33,02	14,55	1,52
Koeficijent varijacije	90,10	86,02	47,06	27,73	24,43	17,17	73,06	68,42

Tablica 2 Granulometrijski sastav ležišta Jagma-6 (dimenzije u mm).

Table 2 Granulometric analyses of the Jagma-6 deposit (dimensions in mm; prah = silt).

Taloženje pjesaka se prema fosilnoj zajednici mekušaca odvijalo u nešto nemirnijim okolišima mezohalinskih jezerskih plićaka, koji su bili pod stalnim utjecajem slatkovodnih tokova. Istodobno, zajednica mekušaca određuje njihovu gornjopontsku stratigrafsku pripadnost. Masivni izgled pjesaka vjerojatno je posljedica destrukcije primarne laminacije uslijed životne aktivnosti organizama. Mjestimice očuvana horizontalna laminacija, granulometrijski sastav detritusa i potpuni izostanak lističavih minerala sugeriraju taloženje pjesaka iz vodenih struja kretanjem zrna po dnu u uvjetima gornjeg režima toka (REINECK & SINGH, 1972). Velika debljina pješčanog paketa ukazuje na snažan kontinuirani donos terigenog materijala, ili se radi o amalgamaciji nekoliko pješčanih slojeva.

Taloženje lapora prema ukupnoj fosilnoj zajednici mekušaca i ostrakoda odvijalo se tijekom gornjeg ponta u mirnijim, zaštićenim i relativno dubljim jezerskim okolišima.

Kakvoća i rezerve kremenog pjeska

Pjesci se odlikuju visokim sadržajem SiO₂ i ujednačenim granulometrijskim sastavom te predstavljaju kvalitetnu sirovину u industriji stakla, ljevarstvu, industriji abraziva i dr. Zamjećuju se i partie lošijeg sastava u podini kvalitetnog

pjeska, ali one nisu uvrštene u obračun rezervi. U obračun rezervi uvršteni su uglavnom samo pijesci iznad 90% SiO₂. Frakciju iznad 0,20 mm sačinjavaju gotovo isključivo zrna kvarca, dok u frakciji 0,06–0,20 mm oko 70% čini kvarc, a ostalo otpada uglavnom na feldspate i podređeno na čestice metamorfnih i eruptivnih stijena i minerale teške mineralne frakcije (uglavnom epidot i granat).

Rezultati statističke obrade analiza uzorka pjesaka prikazani u tablicama 1 i 2 dokazuju ujednačenost kemijskog i granulometrijskog sastava. Srednja vrijednost SiO₂ ponderirana dužinom intervala uzorka za obračunate rezerve iznosi 94,89% s koeficijentom varijacije od samo 2,1%. Granulometrijske analize imaju nešto veću varijabilnost, ali, općenito gledano, ponderirana srednja vrijednost granulometrijskog sastava govori da je pjesak i granulometrijski podoban kao sirovina za proizvodnju stakla.

Utvrđene su ukupne rezerve A+B+C₁ kategorije u količini od 672.626 t. Od toga bilančne rezerve iznose 403.598 t, odnosno 60% utvrđenih rezervi. Eksplotacijske rezerve, kad se od bilančnih rezervi odbiju eksplotacijski gubici (10%), iznose 363.238 t. Rezerve su pokrivene jalovinom u debljinama između 3 i 21 m. Odnos pjesak: jalovina je relativno povoljan i iznosi 1:0,6 (0,6 m³ jalovine na jednu tonu pjeska). U praksi se do sada tolerirao odnos 1:1,5 (KRUJK et al., 1997).

Točka 3: Lipik – grad vode

Stop 3: Lipik – the Town of Water

Vlasta Šepetavec

Podravka d.d., tvornica "Studenac" Lipik, M. Gupca 128, HR-34551 Lipik, Hrvatska

Lipik, slikoviti gradić u zapadnoj Slavoniji, poznat je po jedinstvenoj i čuvenoj termomineralnoj vodi.

Prema nekim nalazištima i starinama nađenim u okolini Lipika izvori mineralne vode bili su poznati još u rimsko doba. U pisanim zapisima 1517. godine Ivana Kapistranina spominje se ljekovitost lipičkih toplica. U toj vodi uživali su mnogobrojni vlasnici Lipika – Matija Korvin, Nikola Šubić Zrinski, barun Immbus, pa sve do baruna Trenka i grofova Janković.

1773. godine je varaždinski liječnik Lalanque obišao Lipik i iz njegovih zapisa se saznaće da je već tada Lipik bio organizirano lječilište sa četiri različite tople kupelji i izvora (sl. 10).

Zlatno doba Lipika počinje 1867. godine kada njegovim vlasnikom postaje vukovarčanin Antun Knoll. Tada se Lipik i kao mjesto i kao lječilište sve više uređuje, oprema u ono vrijeme najsuvremenijom opremom i veoma mnogo reklamira kao jedinstveno u terapeutskom smislu.

Zbog povećanih potreba za mineralnom vodom 1870. godine napravljena je arteška bušotina na dubini od 234 m, jedna od prvih takve vrste u cijeloj južnoj Europi.

Od 1875. godine mineralna voda Lipika mogla se pitи u Pešti i Beču kao "Lipiki Hevviz" i "Lipiker thermalquelle". Izgradnjom novih kupki, hotela, uređenjem lipičkog perivoja te izgradnjom najvećeg i najreprezentativnijeg objekta Kur-salona (sl. 11) po uzoru na Bečki, dobivanjem električne energije 1895. godine (samo 6 godina poslije New Yorka) i željezničke pruge Barcz–Lipik, Lipik postaje

moderno i glasovito lječilište u koje dolazi austrougarska buržoazija i plemići.

U to doba Lipik je svrstavan među najpoznatija svjetska lječilišta uz Baden Baden i Karlove Vary.

Lipik, s čuvenom mineralnom vodom, prekrasnim hotelima te perivojem koji je slvio kao jedan od najljepših spomenika vrtne arhitekture živio je punim sjajem do prvog svjetskog rata.

Nakon toga dolazi do stagnacije sve do 80-tih godina dvadesetog stoljeća. Tada se Lipiku pokušao vratiti stari sjaj obnovom čuvenih objekata Kursalon, Vandlban, izgradnjom nove punionice mineralne vode, u poznatoj Ergeli ponovno je 120 lipicanera.

Tijekom Domovinskog rata sve to je srušeno, Lipik je razoren. Međutim punionica mineralne vode je već polovinom srpnja proradila kao prva obnovljena tvornica na oslobođenom teritoriju Republike Hrvatske. Lipički Studenac je od srpnja 1992. pa do kraja rujna 1993. godine jedina prirodna mineralna voda domaće proizvodnje na tržištu Hrvatske.

Dakle, jedina konstanta u prići o Lipiku je mineralna voda, možda jedina u Hrvatskoj juvenilnog porijekla stariosti od 38.000 godina (analiza Instituta Rudjer Bošković) i temperature na izvoru od 60°C.

Osim mineralne vode, u Lipiku se u punionici od 1998. godine puni i "Studena", prva izvorska voda domaće proizvodnje u Hrvatskoj (sl. 12). Njezina je starost prema nalazima Instituta Rudjer Bošković 7.600 godina.



Sl. 10 Grofov vrelo.
Fig. 10 Grof's spring.



Sl. 11 Kursalon.
Fig. 11 Kursalon.



Sl. 12 Tvornica Studenac.

Fig. 12 Studenac Factory.

Točka 4: Okrug Podravina – CPS Molve

Stop 4: Podravina Production Area – GTP Molve

Vladimir Tišljar

INA-Naftaplin, Sektor proizvodnje, Okrug Podravina, Basaričekova bb, HR-48350 Đurđevac, Hrvatska; e-mail: vladimir.tisljar@ina.hr

Okrug Podravina jedan je od tri okruga Sektora proizvodnje INA Naftaplina na području kontinentalne Hrvatske. Okrug pokriva sjeverozapadni dio Hrvatske i djeluje na području pet županija: Međimurske, Varaždinske, Koprivničko-križevačke, Bjelovarsko-bilogorske i Virovitičko-podravske. Sastoji se od tri Pogona: Molve, Koprivnica i Šandrovac.

Približna dnevna proizvodnja na Okrugu iznosi 3,250.000 m³ plina, 1.500 m³ plinskog kondenzata i 300 m³ nafte. Plinska, plinsko-kondenzatna i naftna polja Okruga Podravina u svojim ležištima imaju još 51% ukupnih preostalih rezervi ugljikovodika u Hrvatskoj, izraženo u TOE.

Proizvodnja iz ležišta polja Duboke Podravine ostvaruje se iz 42 proizvodne bušotine kroz izgrađeni jedinstveni sabirno-transportni sustav koji čine stotine kilometara tehnoloških cjevovoda, 6 sabirnih plinskih stanica i centralno mjesto za čišćenje, obradu, oplemenjivanje i pripremu plina za transport CPS-Molve I, II i III.

Proizvodni fluid iz ležišta Duboke Podravine u svom sastavu osim ugljikovodičnih komponenti sadrži i vrlo visok udio štetnih primjesa – ugljik dioksid, sumporovodik, merkaptane i živu, koje u uvjetima visokih tlakova u ležištu (nadpritisnuta ležišta) i visokih temperatura čine izrazito agresivnu i korozivnu sredinu.

Pri izradi i proizvodnom opremanju bušotina (sl. 13), posebna pažnja je posvećena odabiru opreme od visoko-legiranih materijala koji su otporni na sve poznate vrste korozije. Zaštita od korozije na nadzemnom sabirno-transpornom sustavu vrši se doziranjem inhibitora korozije.

Štetne primjese (CO₂, H₂S, Hg) izdvajaju se iz plina na CPS Molve (sl. 14) prije slanja potrošačima, te se ekološki zbrinjavaju. Za izdvajanje ugljik dioksida i sumporovodika koriste se Benfield i aMDEA jedinice, dok se živa izdvaja u živinim adsorberima.

Izdvojeni sumporovodik, kao najotrovniji plin, u Locat jedinici pretvara se u sumporni mulj koji nakon filtriranja postaje praktično elementarni sumpor.

Izgradnjom postrojenja Haden, procesom regenerativne termičke oksidacije, ispuštanje preostalog H₂S-a u atmosferu daleko je niže od zakonom dozvoljene granice od 3,5 ppm.

Ugljik dioksid zasada se ispušta u atmosferu, međutim njegovo zbrinjavanje biti će riješeno primjenom EOR projekta utiskivanja CO₂ u stara naftna ležišta s ciljem povećanja konačnog iscrpka.

Proizvedena slojna voda zbrinjava se utiskivanjem u niz utisnih bušotina u ležišta pješčenjaka na dubinama 1500–1800 m.



Sl. 13 Bušotina Molve–28 R.
Fig. 13 Molve–28 well.



Sl. 14 CPS Molve.
Fig. 14 GTP Molve.

U cilju povećanja proizvodnje ugljikovodika na Okrugu Podravina planira se puštanje novih ležišta na području Međimurja te privođenje u proizvodni sustav Gola duboke plinsko-kondenzatnog polja Vizvár (zajednički projekt MOL–INA).

Osim proizvodnje ugljikovodika na Okrugu se sve više pažnje posvećuje primjeni raspoložive geotermalne energije.

Točka 5: Istraživanja termomineralne vode u Varaždinskim Toplicama

Stop 5: Thermomineral Water Research in Varaždinske Toplice

Željko Miklin¹, Nevenka Krklec² & Jakov Pranjić³

¹Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: zeljko.miklin@igi.hr

²Varaždinska županija, Ured za prostorno uređenje, stambeno-komunalne poslove, graditeljstvo i zaštitu okoliša, Odsjek za zaštitu prirode i okoliša, S. Vraza 4, HR-42000 Varaždin, Hrvatska

³SPP d.o.o., Trstenjakova 3, HR-42000 Varaždin, Hrvatska

Uvod

Termalne vode Hrvatskog Zagorja su vadozne termalne vode, koje uglavnom nastaju tako da oborinska voda pod pogodnim geološkim uvjetima prodire u veće dubine gdje se zagrijava, a zatim kroz pukotinske sustave prodire prema površini. Po dominantnosti minerala hrvatske termalne vode spadaju u kalcijhidrokarbonatne, a voda Varaždinskih Toplica sa temperaturom oko 57,5°C na izvoru spada u hipertermalne vode. Mineralizacija te vode je 1017 mg/kg i spada u sumporne vode. Termalni izvori u Hrvatskoj uglavnom se koriste za balneo-terapeutske, sportsko-rekreacijske i energetske svrhe (zagrijavanje objekata), te ponegdje za poljoprivredu i ribogojstvo.

Povijest istraživanja

Varaždinske Toplice sa svojim termalnim izvorima spadaju u najpoznatije, a vjerojatno i najduže korištene tople vode u Hrvatskoj. Iako nema sačuvanih materijalnih dokaza može se s pravom pretpostaviti da su praljudi obitavali uz vrelo i njime se koristili. Na prostoru između današnjeg Maribora i Osijeka obitavalo je ilirsko pleme Jasi, čije se ime tumači kao "posjednici vrućih vrela" ili "topličani". Tradicija korištenja termalne vode potvrđena je i sačuvana u nazivu ovog mjesta u doba Rimskog Carstva: Aquae Iasae, doslovno Vode Topličana. Voda je bila zahvaćena u razini koja se nalazila oko 3 m ispod kote terena, a kupališni objekti bili su smješteni 0,5 do 1,0 m niže (prema situaciji

tijekom 1983. godine). U vrijeme seobe naroda Aquae Iasae su razrušene i o njima nema nikakvih tragova, sve do 12. stoljeća, kad postaju sjedište vlastelinskog posjeda Kaptola, pod imenom Toplica. Sve do početka 17. stoljeća ništa nije poznato o izgledu i uređenju termalnog kupališta. U 17. stoljeću spominju se primitivna drvena kupališta u koja je voda dotala otvorenim kanalom. Poslije požara koji je uništio drvenu kupališnu zgradu, Kaptol gradi 1779. god. novo kupalište od rezanog kamena, nazvano Konstantinovo, po palači imperatora – obnovitelja antičkih Toplica. Kupalište se sastojalo od dva bazena, svaki za 50 osoba, i šest velikih kabina, svaka za 12 do 20 osoba. Tad je i natkriven kanal kojim je dotala voda u kupalište.

U 19. stoljeću Toplice su imale tri hotela sa kupeljima i "pučku kupelj". Pred prvi svjetski rat Varaždinske Toplice su stale uz bok uglednih europskih kupališnih lječilišta, a nakon završetka rata Toplice prestaju biti vlasništvo Kaptola.

Pedesetih godina XX stoljeća, dograđena je i restaurirana Konstantinova kupelj. Početkom šezdesetih godina sagrađen je i prvi otvoreni bazen punjen termalnom vodom. Tijekom 1973. godine, izgrađen je hotel "Terme", a najveći značaj Toplice postižu izgradnjom Centra medicine aktivnog odmora sa hotelom "Minerva".

Geotehnika iz Zagreba (STEPINAC et al., 1989) buši geotermičku buštinu (kod škole) do dubine od 605 m; temperatura vode je 28°C, a izdašnost je 15,5 l/min.

Osnovni problem što se tiče prethodne arhivske građe (u kojoj ima dosta proizvoljnih podataka) je bio u proučavanju kemijskog sastava termomineralne vode. Podatak oko kojeg su se složili prethodni autori je temperatura termomineralne vode od 55–58°C.

Rezultati istraživanja 2000. godine

Stanje eksploracijskih zdenaca je zabrinjavajuće, a naročito spoznaja da su ukupne potrebe Specijalne bolnice za medicinsku rehabilitaciju u Varaždinskim Toplicama ovisne uglavnom o buštoni B-1 koju je nužno sanirati zbog utvrđenog stanja. Zbog nepotpune i pomalo nesigurne dokumentacije rizično je provoditi ozbiljne sanacijske zahvate na svakoj eksploracijskoj buštoni, a naročito na glavnoj B-1, jer uslijed moguće havarije zbog dotrajalosti sustava cijeli bolnički kompleks može dulje vremena ostati bez termomineralne vode.

Respektirajući zahtjev arheologa za izmjehanjem sustava za opskrbu termomineralnom vodom izvan foruma, a i potrebom za drenažom foruma, odlučeno je da je bolje izvesti novi eksploracijski zdenac izvan foruma s kapacitetom jednakim ili većim kao postojeći na B-1. Na taj se način izbjegava rizik da bolnica ostane neko vrijeme bez vode.

Prema BAĆU (1963), nakupljanje i tok dublje podzemne vode vezano je na trijasko temeljno gorje koje se nalazi u različitim dubinama ispod tercijarnog pokrivača. Područje Ivančice predstavlja sabirno područje tih voda, koje se infiltriraju podzemljem, a kod Varaždinskih Toplica se zbog tlaka uzdižu prema površini. To je moguće jer je temeljno

trijasko gorje tu najbliže površini, a voda se nalazi pod znatnim tlakom te ispunjava ne samo sve šupljine u temeljnem gorju i graničnom prostoru između trijaske podloge i transgresivnog tercijara, nego se utiskuje i u tercijarni pokrov ukoliko je tektonski poremećen (rapucan, rasjednut i sl.). Upravo je to slučaj s oligocenskim naslagama u području Varaždinskih Toplica (MIKLIN & NOVOSEL, 1998). One su tu ne samo tektonski poremećene, nego su i denudirane u toj mjeri da su svedene na svega desetak ili par desetaka metara. Zbog toga je razumljivo da je upravo tu dubinska podzemna voda najlakše prodrla do površine.

Iz načinjenog hidrogeološkog profila na području foruma slijedi da su istražno eksploracijske bušotine B-1, B-3 i B-5 izbušene u blizini tjemena Varaždinsko-topličke antiklinale. Varaždinsko-toplička antiklinala ima generalni pravac pružanja istok-zapad, sjeverno krilo antiklinale prema sjeveru se ustrmljuje i nastavak je gotovo prebačene antiklinale Vrtlinovec. Ista antiklinala rasjedana je jakim poprečnim rasjedima, te su pojedini blokovi te antiklinale srušani ili dizani tako da je u području termalnog vrela izdignut blok antiklinale, a nadolje je erodiran te su naslage trijasa veoma blizu površine. Načinjena je karta raspucalosti dolomita u mjerilu 1:500 na bazi geološkog kartiranja i geofizičkog profiliranja, a ta je karta pomogla pri lociranju istražno-eksploracijskih bušotina. Po kontaktu trijaski dolomit-miocenski lapori i siltovi termomineralna voda je u vezi sa dubljim dijelovima. Ovaj podatak temeljen je na činjenici da se povećanje temperature vode nalazi u uskoj zoni dotoka tople vode u intervalu od 25–26 m bušenja na buštoni B-5 i na dubini od 40–42 m na buštoni B-6.

Ovdje je sa određenom dozom sigurnosti moguće zaključiti da voda priteže iz dubokog termomineralnog vodonosnika. Relativno malen kapacitet termomineralne vode pripisuje se glavnom vodonosniku. Glavni vodonosnik vode je trijaski dolomit, koji ima pukotinsku poroznost.

Značajka dolomitnog pukotinskog vodonosnika je u dugotrajnom primanju (prihranjivanju), ali isto tako i polaganom "otpuštanju" vode. Stoga, može se reći da se iz ovog vodonosnika može koristiti samo onoliko vode koliki je kapacitet vodonosnika i nikako se ne smije otpočeti sa precrpljivanjem vodonosnika i time crpiti statičke rezerve vodonosnika.

Područje Ivančice ima dovoljno veliko slivno područje da prihvati oborinske vode i nadomjesti izljevne količine (hidraulička ravnoteža), na način da se voda cirkulacijom kroz dovoljno duboko zagrijano podzemlje, zagrijava i kao takva priteže u područje Varaždinskih Toplica te se "otpušta" u ispod površinskom dijelu antiklinale i kroz bušotine istječe na površinu terena. U prilog tome govori i struktura naslaga (rasjedana, antiklinala).

Nakon geofizičkog profiliranja plitke seizmičke refleksije i nakon izrade karte raspucalosti dolomita, locirana je buštona B-5. Početak radova istražno-eksploracijskog bušenja na vertikalnoj buštoni B-5 vezan je za kraj kolovoza 2000. godine. Završni radovi na buštoni B-5 izvršeni su sredinom rujna 2000. godine. Razina vode u buštoni B-5 bila je -2,9 m, bušenje je završeno duplom jezgrenom cijevi Ø 98 mm i krunom Ø 116 mm do dubine buštonine

od 41,0 m. Puna filterske cijevi ugrađene su do dubine od 20,84 m, nakon toga ugrađeni su filtri do dubine od 30,20 m, a taložnik do dubine od 32,0 m. Obavljeno je i airliftiranje bušotine B–5, dobivena količina vode iz bušotine procijenjena je na 18–20 l/s, a temperatura na preljevu u iznosu od 46°C. Maksimalne vrijednosti temperature vode izmjerene su prije crpljenja na dubinama od 25 i 26 m s iznosom od 45,9°C, a nakon duljeg crpljenja maksimalna vrijednost temperature vode bila je 46,4°C na dubini od 25 m. Električna vodljivost vode kod nižih temperatura je viša, tako je kod temperature 38°C bila je 1.114 mS/cm, a kod 45,9°C, električna vodljivost je iznosila 0,945–0,947 mS/cm. Nakon duljeg crpljenja za temperaturu 46,9°C utvrđena je vrijednost električne vodljivosti od 0,917 mS/cm. Karakteristično je da se temperatura nakon postizanja maksimuma počela smanjivati kad se prošao kontakt lapor–dolomit, dakle mjereno temperature u zoni dolomita. Ovakve rezultate moguće je dovesti u vezu s postojanjem preferiranih podzemnih tokova hladne vode, te da termalna voda teče po kontaktu lapor–dolomit. Nakon airliftiranja, temperatura vode porasla je za 1°C, dok se za električnu vodljivost može reći da se ujednačila po cijeloj dubini bušotine.

Izbušena je i dodatna bušotina (B–6) s namjerom da postane upojni zdenac za prihvati i transport viška termomineralne vode natrag u vodonosnik. Bušotina B–6 izbušena je 23 m južnije i hipsometrijski niže od bušotine B–5. Ova pozicija odabrana je na temelju seizmičkog presjeka i karte raspucalosti dolomita. Iz ovih podataka slijedi da se u ovoj točki sijeku dva pukotinska sustava. Jedan sustav pukotina pada pod kutom od oko 40° na jug, a drugi sustav oko 45° na sjever. Analizom dubinskog seizmičkog profila ustanovili smo i niz vertikalnih pukotina, koje su i nabušene tijekom bušenja bušotine.

Bušenje eksploracijske bušotine B–6 započeto je u listopadu 2000. godine Nakon dostignute dubine bušenja od 18,0 m, bušotina je dodatno proširena. Na intervalu od 18–19 m izvedena je cementacija kolone. Nakon bušenja cementnog čepa bušilo se do dubine od 42 m. Na dubini od 40 m nastupila je promjena i dobivena je znatna količina termalne vode s temperaturom na preljevu od 42°C, što je bio dovoljan dokaz da je zahvaćen vodonosnik termalne vode. Na dubini od 46,2 do dubine 47,0 m utvrđeno je posto-

janje kaverne. U nastavku je dodatno bušotina proširena do dubine 49,0 m.

Puna cijev ugrađena je na intervalu od 0,00 m do 41,24 m. Filterska cijev ugrađena je od 41,24 do 47,5 m, a taložna puna cijev od 47,5 do 49,0 m. Završetak radova na bušenju bio je krajem listopada 2000. godine. Kapacitet bušotine za vrijeme airliftiranja je 22,34 l/s. Maksimalne temperature iznosile su 38,5 i 38,6°C. Vodljivost je bila u rasponu 1.335–1.196 mS/cm.

Zaključak

Istražnim radovima u drugoj polovici 2000. godine izvedene su dvije eksploracijske bušotine B–5 i B–6 koje su osigurale dovoljne količine termalne vode za postojeće potrebe kompleksa Specijalne bolnice u Varaždinskim Toplicama. Na taj način ostvareni su uvjeti da se započne sa sanacijom bušotina unutar foruma bez rizika da bolnica ostane bez termalne vode. U trenutku kad se nove bušotine privremeno spoje na postojeći opskrbni cjevovod ili u međuvremenu izgrađeni novi cjevovod bit će moguće započeti s radovima oko sanacije bušotina B–1, B–3 i B–4.

Kemijski sastav termalne vode Varaždinskih Toplica (visok postotak Ca^{2+} kationa) govori da voda potječe iz karbonatnog vodonosnika u kojem značajnu ulogu imaju vapnenci. Starost termalne vode određen je metodom radioaktivnih izotopa ^{14}C (HORVATINČIĆ, 1997), i procjenjuje se na prividnu starost od oko 20.180 godina, dakle starost vode (MRT – Mean Residence Time) je vrlo velika, mjereno geološkim razmjerima voda bi dosezala do posljednjeg glacijala (Würma). Iz analize stabilnih izotopa ^2H , ^{18}O i ^{13}C u ispitivanjo vodi moguće je zaključiti da je voda površinskog, odnosno oborinskog porijekla, dakle ukazuje na postojanje duboke cirkulacije vode. Nezavisno od ovih analiza izvršena je i analiza u INA–Naftaplinu, gdje je pH vrijednost od 6,25 potvrđena količinom aniona bikarbonata (HCO_3^-) od 442,7 mg/dm³, a i prisutnost kationa Na^{127+} govori također o staroj vodi. Izračunato je da toplinska snaga tog izvora uz sniženje temperature na prosječnu temperaturu okolice od 12°C iznosi 8,59 MW.

Točka 6: Vulkaniti Hruškovca

Stop 6: Volcanic Rocks of Hruškovec

Boris Lukšić, Josip Halamić & Tonći Grgasović

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

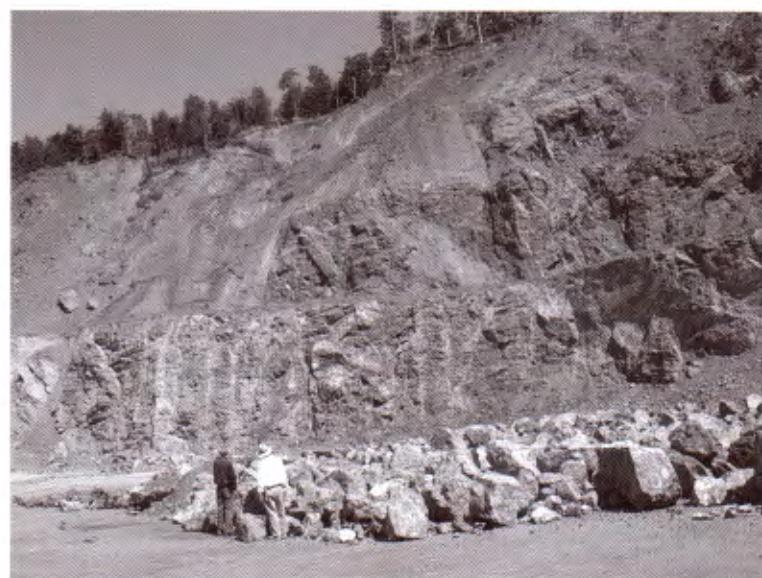
Kamenolom Hruškovec (sl. 15) nalazi se na sjevernim obroncima Kalnika, istočno od Novog Marofa. U vlasništvu je tvrtke Kaming d.d. iz Ljubešćice (www.kaming.hr). U kamenolomu se eksploriraju bazične vulkanske stijene (bazalt i dijabaz), a u širem području javlja se i gabro. U jarcima na sjevernoj strani nalaze se crni šejlovi i siliti.

Geološka istraživanja Kalnika su mnogobrojna, među kojima je potrebno posebno izdvojiti Osnovnu geološku kartu, list Varaždin (ŠIMUNIĆ et al., 1981). Među novijim radovima koji se posebno odnose na lokalitet Hruškovec potrebno je spomenuti geološka istraživanja Hrvatskog zagorja (ŠIMUNIĆ, 1992). VRKLJAN (1994) opisuje petrografske karakteristike i kemijski sastav efuzivnih stijena Hruškovca. PAMIĆ (1997) K–Ar metodom (*whole rock*) određuje starost bazalta Hruškovca 86.8×10^6 godina, što odgovara turon–senonu, a istočnije iz područja Pece dobiva starost dijabaza i gabra od 189×10^6 i 185×10^6 , što odgovara starijoj i srednjoj juri. Detaljna istraživanja sedimenata s ofiolitima Medvednice, Kalnika i Ivanšćice vrši HALAMIĆ (1998). Kratki osvrt o *pillow*-lavama Hruškovca daju PALINKAŠ et al. (2000). VRKLJAN & GARAŠIĆ (2004) istražuju elemente rijetkih zemalja gabra, bazalta, dijabaza i metabazalta područja Kalnika. GORIČAN et al. (2005) u rožnjacima iznad jastučastih lava u gornjem dijelu kamenoloma (sl. 19, gore) nalaze radiolarije kojima dokazuju gornjoladiničku starost izljeva, a u silicificiranom vapnencu u donjem dijelu slijeda (sl. 19, dolje) srednjojurske radiolarije (vršni bajocij–kalovij). Ovo dokazuje kompleksne tektonske odose u kamenolomu.

Bazične vulkanske stijene koje se eksploriraju u kamenolomu Hruškovec u materijalima tvrtke Kaming označeni su kao dijabaz, no u stvarnosti prevladavaju metabazalti, također ima bazalta i dijabaza, a u širem području i gabra. U dijelu kamenoloma koji ćemo posjetiti (sl. 15) u najvećoj mjeri prevladavaju masivni metabazalti (slabo metamorfozirani bazalti) s jastučastom teksturom (*pillow* lave, sl. 16 i 17). U najdonjoj etaži uz potok vidljivi su metabazalti unutar kojih je interval tamnocrvenih škriljavih šejlova i siltnih šejlova s fragmentima i blokovima metabazalta (sl. 19). Šejlovi bočno prelaze u sive i tamnosive matriks-potporne konglomerate i tamnosive šejlove. Osnova je od škriljavih siltoznih šejlova, a valutice od sitnozrastih pješčenjaka. Izdanak takvih konglomerata je kod drobilice (sl. 18). U krovini ovih sedimenata ponovno se nalaze zelenkasto-crvenkaste jastučaste lave, a zatim sledi tektonski diskontinuitet. Na gornjoj etaži kamenoloma (sl. 15) prevladavaju metabazalti, koji su i glavna sirovina. Unutar bazalta redovito se uočava jastučasta struktura (sl. 16 i 17). Zapadno i nešto više metabazalti se izmjenjuju s tamnocrvenim radiolarijskim rožnjacima i silicificiranim škriljavim siltoznim šejlovima (sl. 15 i 19).

Vulkanske stijene Hruškovca, zajedno s različitim tipovima dubokovodnih sedimentnih stijena, predstavljaju nekompletnu ofiolitnu sekvenciju, danas u vrlo složenim tektonskim odnosima.

Sirovina iz kamenoloma Hruškovec se više od 20 godina koristila u proizvodnji kamene vune. Stijena (dijabaz, bazalt) tali se u kupolnoj peći na 1500°C i rastaljena masa



Sl. 15 Kamenolom Hruškovec, dio kopa.

Fig. 15 Hruškovec quarry.



Sl. 16 Jastučaste (*pillow*) lave.
Fig. 16 Pillow lavas.



Sl. 17 Jastučaste (*pillow*) lave, detalj.
Fig. 17 Pillow lavas, detail.

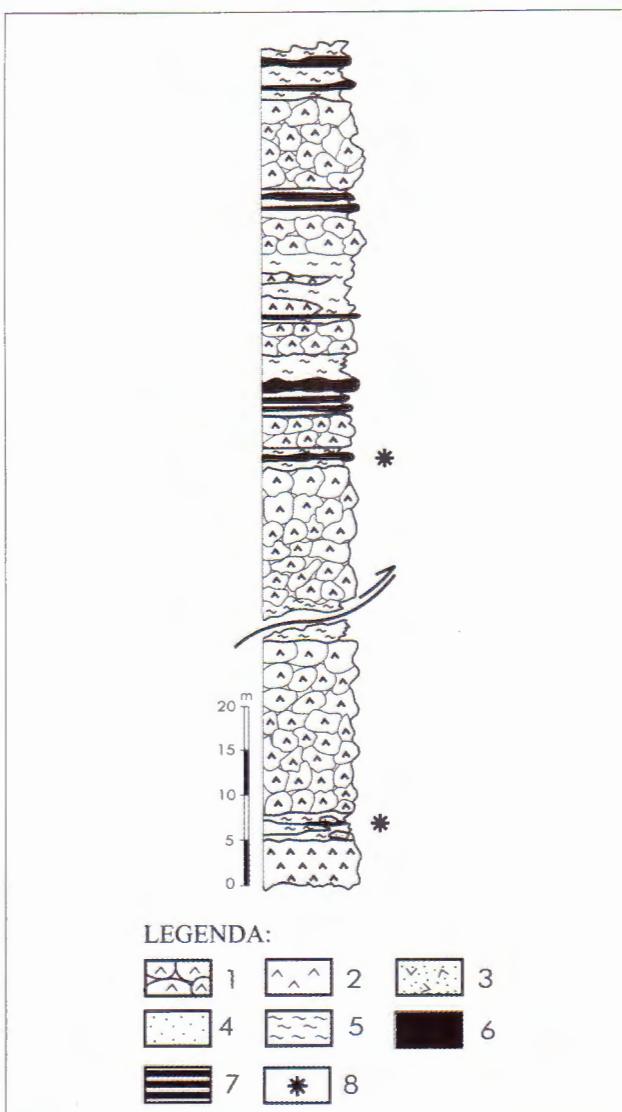


Sl. 18 Matrikspotporni konglomerat s osnovom od siltoznih šejlova i valuticama od sitnozrnastih pješčenjaka.
Fig. 18 Matrix-supported conglomerate with silty shale matrix and pebbles composed of fine-grained sandstones.

u obliku lave se, uz dodatak veziva i impregnacijskih mineralnih ulja, u centrifugiji razvlači u vlakna. Iz 1 m³ sirovine moguće je proizvesti 100 m³ kamene vune. Osim u industriji, sirovina se koristi i kao odličan tehničko-građevinski kamen. Vulkaniti su osnovni materijal za proizvodnju visokokvalitetnih asfalta, koji su se ugrađivali i na hrvatskim autocestama (dionice Zagreb–Varaždin i Zagreb–Split).

Sl. 19 Litološki stup naslaga jednog dijela kamenoloma Hruškovec (iz GORIČAN et al., 2005). Legenda: 1) jastučaste lave, metabazalti, 2) masivni metabazalti, 3) piroklastiti, 4) siliti, 5) šejlovi, 6) radiolariti s.s., 7) radiolarijski rožnjaci u izmjeni s piroklastitima, 8) radiolarije.

Fig. 19 Lithological column of the part of Hruškovec quarry (after GORIČAN et al., 2005). Legend: 1) pillow lava, metabasalt, 2) massive metabasalt, 3) pyroclastic rocks, 4) siltstone, 5) shale, 6) radiolarite s. str., 7) radiolarian chert interlayered with pyroclastic rocks, 8) radiolarians.



Točka 7: Kamenolom Špica

Stop 7: Špica Quarry

Boris Lukšić & Tonći Grgasović

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

Kamenolom vapnenca Špica (Drenovac) nalazi se u blizini sela Ljubešćica, nedaleko Novog Marofa. Također je u vlasništvu Kaming d.d. iz Ljubešćice (www.kaming.hr).

Eksplotiraju se isključivo vapnenci (sl. 20), uglavnom masivni, mjestimice sa slabo izraženom slojevitošću. Slojevi su debljine od 50 do 250 cm, relativno strmog nagiba i pada na istok–sjeveroistok. Prevladavaju vapnenci strukturnog tipa madston, često slabo rekristalizirani, koji zbog jednolične građe i vrlo male veličine zrna pokazuju do-

bra mehanička svojstva. Često se javlja fenestralna građa (sl. 21), stromatoliti i krupni onkoidi. U nekim dijelovima naslaga javljaju se intraformacijske breče s mikritnom osnovom i klastima stromatolitnog i fenestralnog vapnenca, a također i smedi sedimenti paleotla (sl. 21). Navedene sedimentološke karakteristike ukazuju da vapnenci Špice predstavljaju ekvivalent Dachsteinskog vapnenca Alpa. Zbog tektoniziranosti vapnenaca u kamenolomu nije se mogla utvrditi pravilna ritmička sedimentacija, karakteristična



Sl. 20 Kamenolom Špica.

Fig. 20 Špica quarry.

za Dachsteinski vapnenac, no ona je sigurno postojala. U neposrednom susjedstvu aktivnog kopa pojavljuju se slojevi dolomita debljine do 3 m, a u gornjim dijelovima rijetki slojevi dolomitičnog vapnenca.

Vapnenac je dosta ispucao. Najizraženije pukotine su položene okomito na pružanje slojeva i nagiba do 80° u smjeru napredovanja kopa. Osim spomenutih postoji i subvertikalni sustav pukotina paralelan pružanju slojeva.

Noričko–retska (gornjotrijaska) starost eksploatiranog vapnenca definirana je nalazom dazikladalne alge *Griphoporella curvata* (sl. 22) u vršnoj etaži kamenoloma. U

kamenolomu su nađeni i rijetki primjerici megalodontidnih školjkaša.

Transgresivno na trijaskim vapnencima u širem području leže miocenske laporovito–pjeskovite naslage, dok je u kamenolomu Špica ovaj kontakt rasjedan, što se lijepo uočava u južnom dijelu kamenoloma.

Eksplotacija se obavlja na otvorenom površinskom kopu visine oko 180 m na pet etaža po 30 m i završnim čelom. Kamenolom započinje na radnoj koti +210 m odašte se vrši i početak prerade na drobilišnom i separacijskom postrojenju. Ulagani kapacitet prerade je 150 m³/h sa preradom u tamponske mješavine i aggregate. Godišnje ostvarenje proizvodnje vapnenca iznosi od 400–450.000 t finalno prerađenih proizvoda.

Vapnenac Špice, nakon drobljenja i separacije, koristi se kao tehničko–građevni kamen za nosive slojeve u cestogradnji, kao punilo za asfalte, završne slojeve na magistralnim i županijskim cestama, kalcifikaciju i popravak kiselih tala, proizvodnju stočne hrane, za proizvodnju široke palete betonske galerijerije (građevinski betonski blokovi, betonski crijevi i dr.), kao i za proizvodnju kvalitetnih materijala za žbukanje.



Sl. 21 Detalj stromatolitne i fenestralne građe vapnaca Špice.

Fig. 21 Detail of stromatolitic and fenestral texture of Špica limestone.

Sl. 22 Dazikladalna alga *Griphoporella curvata* (GÜMBEL), provodna za norik i ret (gornji trijas).Fig. 22 Dasyycladal alga *Griphoporella curvata* (GÜMBEL), Norian–Rhaetian (Upper Triassic) index fossil.

Točka 8: Mineralne sirovine za ciglarsku industriju – Ležišta ciglarske gline “Rečica” i kremenog pjeska “Brezovi Rebar”

Stop 8: Mineral Raw Materials for Brick Industry – Brick Clay Deposit “Rečica” and Quartz Sand Deposit “Brezovi Rebar”

Željko Kastmüller, Boris Kruk & Marijan Kovačić

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

Ležišta ciglarske gline “Rečica”

Geološka građa ležišta

Najznačajnija ležišta ciglarskih glina nalaze se u dolini rijeke Kupe, sjeverno od Karlovca. Tu su detaljno istražena tri ležišta ciglarske gline: “Rečica II”, “Rečica III” i “Rečica IV”, a površinska eksploatacija izvodi se na ležištu “Rečica II”. Teren je morfološki vrlo blago razveden – radi se o vrlo razvijenom i niskom dijelu Karlovačke kotline, koja je djelovanjem tektonskih, erozijskih i denudacijskih procesa zastupljena riječnim i obronačnim nanosima u mlađim odsjecima kvartara.

Uvid u litološki sastav i ostala obilježja omogućen je dobivanjem nabušenih jezgara (maksimalna dubina 11,0 m). Pri odredbi naslaga utvrđen je slijed naslaga u četiri osnovna sloja gline:

- smeđesiva siltozna glina;
- siva siltozna glina;
- smeđa i smeđesiva plastična glina;
- sivoplava siltozna glina.

Podinu naslaga čine sitni pijesci i sitnozrnasti šljunci, ponegdje malo zaglinjeni.

U širim regionalnim okvirima naslage glina ležišta “Rečica” sastavni su dio blago položenih i tektonski neznatno poremećenih kvartarnih naslaga.

Kakvoća i rezerve ciglarskih glina

Rezultati pojedinačnih analiza kao i analiza kompozitnih uzoraka ukazuju da gline ležišta “Rečica” predstavljaju kvalitetnu sirovinu za proizvodnju svih vrsta rupičastih i tankostjenih ciglarskih proizvoda.

Glavni sastojak glina je kvarc, zatim filosilikat (ilit i tinjac), bubreći mineral smektit i sporedni minerali limonit, kaolinit, klorit i feldspati. Sadržaj SiO_2 je uobičajen (65%).

Granulometrijske analize pokazuju visok postotak glinovite frakcije (42–54,5%), što uz bubreći mineral smektit uzrokuje visoku osjetljivost pri sušenju i početnoj fazi pečenja. To je moguće eliminirati dodavanjem “mršavila” u glinu (kremeni pjesak i piljevina).

Utvrđene ukupne rezerve A, B i C₁ kategorije iznose približno 4,500.000 m³, uz zanemarivu količinu jalovinskog pokrova koji se odstranjuje.

Ležište pjeska “Brezovi Rebar”

Geološka građa ležišta

Najznačajnija ležišta kremenih pjesaka nalaze se u dolini rijeke Kupe između Karlovca i Ozlja, gdje je detaljno istraženo ležište “Brezovi Rebar”.

Ovo ležište izgrađuje serija raznobojnih slojeva pjesaka blago položenih prema istoku. Na temelju rezultata istražnih bušotina utvrđen je prostorno značajan lateralni kontinuitet, a dobiven je i uvid u litološki sastav i ostala obilježja naslaga pjesaka.

Utvrđena je izmjena žutog, smeđeg i ljubičastog sitnozrnastog pjesaka i ljubičastog sitnozrnastog do siltoznog pjesaka s lećama gline i šljunka. Pijesci sadrže uglavnom kvarc, feldspate, čestice stijena (kvarcit i rožnjak) i vulkansko staklo.

Ležište je formirano u sklopu razvoja pliokvartarnih (belvederskih) naslaga u području Karlovačke kotline, odnosno doline rijeke Kupe i u području njenih rubnih područja, koje su predstavljene pijescima i šljuncima koji transgresivno nalijezu na gornjopaleozojske naslage. Kao i spomenute naslage ležište “Brezovi Rebar” je nastalo trošenjem paleozojske podloge i sedimentacijom u fluvijalnim uvjetima, vjerojatno u području paleodelte s energijom toka koji je omogućio odlaganje sedimenata takve granulacije.

Kakvoća i rezerve pjeska

Rezultati analiza pojedinačnih uzoraka kao i analiza kompozitnih uzoraka (tablice 3 i 4) pokazuju da istraživana mineralna sirovina može u rovnom stanju poslužiti kao dodatak u tehnološkom procesu prerade gline u ciglarske proizvode.

Mikroskopske analize pokazuju da je sastav pjesaka ujednačen. Sastoji se gotovo u cijelosti od lake mineralne frakcije (99,5%), i to mineralnih zrna kvarca (75%), zrna kvarcita i rožnjaka (18%), dok ostalo čine feldspati. U teškoj mineralnoj frakciji dominiraju opāki minerali (više od 90%) – hematit, limonit i ilmenit, dok su u lakoj najviše zastupljeni turmalin (73%) i amfiboli (10%).

Ukupne rezerve mineralne sirovine (pijeska) na ovom ležištu iznose približno 2,400.000 m³. Uz eksploatacijske gubitke od približno 3% dobiju se eksploatacijske rezerve od približno 2,000.000 m³ pjesaka.

SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O
89,37	2,15	4,78	0,42	0,17	0,23	0,36	0,04	0,32

Tablica 3 Kemijski sastav pjeska (prosječno).

Table 3 Chemical composition of sands (average).

udio zrna	>63 μm	<63 μm
mas. %	73,34	26,66

Tablica 4 Granulometrijske analize (prosječno).

Table 4 Granulometric analyses (average).

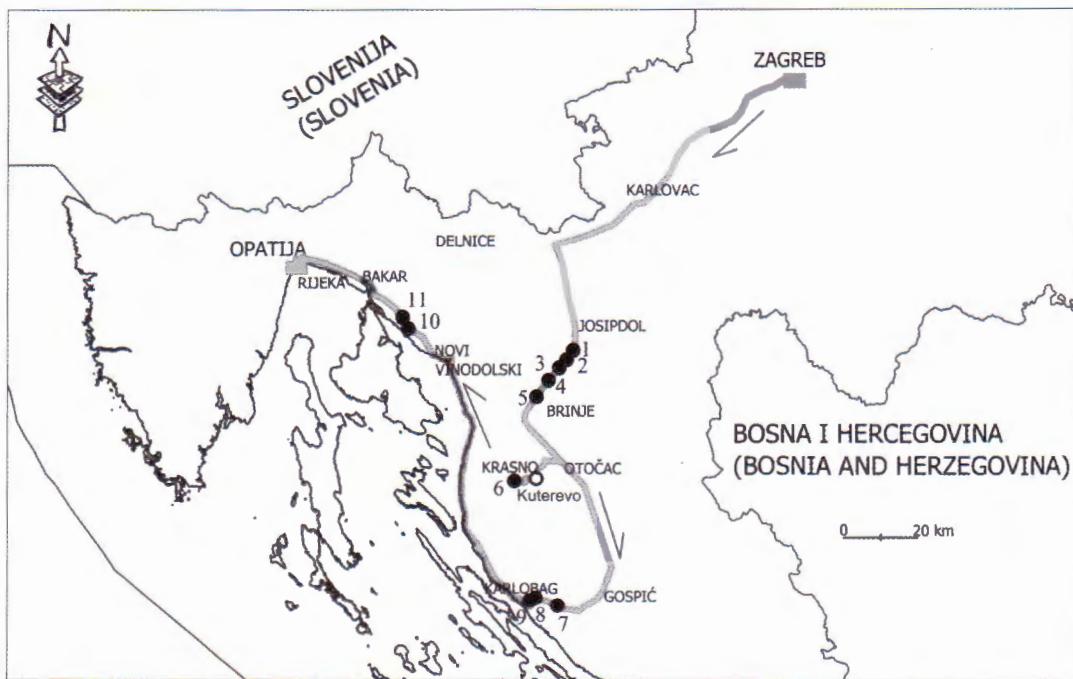
Literatura

- BAĆ, J. (1963): Zapisnik od 05.05.1963. u vezi s donesenim zaključcima od 04.05.1963. godine.– Arhiv Specijalne bolnice za medicinsku rehabilitaciju u Varaždinskim Toplicama, Varaždinske Toplice.
- GORIČAN, S., HALAMIĆ, J., GRGASOVIĆ, T. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. (2005): Stratigraphic evolution of Triassic arc-backarc system in northwestern Croatia.– Bull. Soc. géol. France, 176/1, 3–22.
- HALAMIĆ, J. (1998): Litostratigrafska karakterizacija jurskih i krednih sedimenata s ofiolitima Medvednice, Kalnika i Ivančice.– Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 188 str.
- HALAMIĆ, J. & GORIČAN, Š. (1995): Triassic radiolarites from Mts. Kalnik and Medvednica (Northwestern Croatia).– Geol. Croat., 48/2, 129–146.
- HORVATINCIĆ, N. (1997): Starost termalne vode u Varaždinskim Toplicama određivan metodom radioaktivnih izotopa ^{14}C .– Institut Rudjer Bošković, Zagreb.
- KRKALO, E. (1998): Ležišta neogenskih kvarcnih pjesaka u rubnim područjima slavonskih planina (Hrvatska).– Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 174 str.
- KRUK, B., KASTMÜLLER, Ž. & ŠUPRINA J. (1997): Elaborat o količini i kakvoći kvarcnog pjeska ležišta "Jagma-6" kod Lipika.– Fond stručnih dokumenata IGI 15/97, Zagreb.
- MIKLIN, Ž. & NOVOSEL, T. (1998): Autocesta Zagreb–Goričan, Dionica Novi Marof–Varaždin. Hidrogeološki istražni radovi. Knjiga 5.– Arhiv IGI, Zagreb.
- PALINKAŠ, A.L., KOLAR-JURKOVŠEK, T., BOROJEVIĆ, S. & BERMANEC, V. (2000): Triassic rifting magmatism within Zagorje–Mid-Transdanubian zone, exemplified by pillow lavas of Hruškovec, Mt. Kalnik, N Croatia.– PANCARDI 2000, Vjesni Hrvatskog geološkog društva, 37/3, 98–99.
- PAMIĆ, J. (1997): The northwestern outcrops of the Dinaridic ophiolites: a case study of Mt. Kalnik (North Croatia).– Acta Geologica Hungarica, 40/1, 37–56.
- PLINSKO POLJE MOLVE (1998): Elaborat o rezervama ugljikovodika, stanje 31.12.1998. god.– Fond stručne dokumentacije, INA-Naftaplin, Zagreb.
- REINECK, H.E. & SINGH, I.B. (1972): Genesis of laminated sand graded rhythmites in storm-sand layers of shelf mud.– Sedimentology, 18, 123–128.
- STEPINAC, J., ŠTAJDUHAR, Z., GOTIĆ, D., BRITVIĆ, V., GALJAN, J. & GRDUR, J. (1989): Izvještaj o izvedbi istražne geotermičke bušotine u Varaždinskim Toplicama (VTT-1).– Arhiv Geotehnike – OOUR za specijalne građevinske i hidrološke rade, Zagreb.
- ŠIMUNIĆ, A., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I. & ŠIMUNIĆ, A. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Varaždin L33–69.– Savezni geološki zavod, Beograd, 75 str.
- ŠIMUNIĆ, A. (1992): Geološki odnosi središnjeg dijela Hrvatskog zagorja.– Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 199 str.
- TIŠLJAR, J. (1989): Kompleksna sedimentološko-litofacijsna interpretacija plinskog polja Molve.– Fond stručne dokumentacije, INA-Naftaplin, Zagreb.
- VRKLJAN, M. (1994): Petrographic characteristics of extrusive rocks from Hruškovec, Mt. Kalnik, NW Croatia.– Geol. Croat., 47/2, 181–191.
- VRKLJAN, M. & GARAŠIĆ, V. (2004): Different geochemical signatures developed in some basic magmatic rocks of Mt. Kalnik (North Croatia).– Rud.-geol.-naftni zbornik, 16, 65–73.

**Ekskurzija A2 – Krški Dinaridi:
taložne sekvencije, paleogeografska dinamika i
recentni tektonski odnosi u Kapeli, Velebitu i Vinodolu**

**Excursion A2 – Karst Dinarides:
Depositional Sequences, Palaeogeographic Dynamics
and Recent Tectonics in Kapela Mt., Velebit Mt.
and Vinodol Valley**

Ivo **Velić**, Ivan **Blašković**, Jasenka **Sremac**, Branko **Sokač**,
Davor **Pollak**, Dubravka **Kljajo** & Igor **Vlahović**



Stratigrafija jure i navlačna tektonika u okolini Modruša

Stratigraphy of Jurassic Deposits and Nappe Tectonics in the Modruš Area

Ivo Velić & Branko Sokač

Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: ivelic@igi.hr

Rijetka su područja u krškim Dinaridima tj. na Jadranskoj karbonatnoj platformi (JKP) u Hrvatskoj gdje je izražena navlačna tektonika/graća. Novija istraživanja pokazuju da su rasjedne površine tangencijalnih deformacija, prvenstveno reverznih rasjeda relativno strme (iznad 60°), a izrazito navlačne strukture ograničene na manja područja. O pravim navlakama može se govoriti u Gorskom kotaru između Vrbovskoga i Čabra, gdje su paleozojsko-trijske naslage navučene preko jurskih. Slična je grada i područja od Žumberka preko Banovine do Korduna s alohtonim položajem također paleozojsko-trijskih naslaga. Navlaka je i sami greben Učke, gdje su pak gornjokredni karbonati (stariji od kampana) navučeni preko eocenskog fliša.

Za područje Ogulin–Plaški, a unutar njega osobito za okolicu Modruša karakteristična je vrlo zamršena tektonika grada u kojoj su utvrđene i navlačne strukture. Radi se o erozijskim ostacima nekad šire rasprostranjenih donojurskih karbonata (rano- i kasnodijagenetskih dolomita s proslojcima vapnenaca) navučenih preko gornojurskih kasnodijagenetskih dolomita s rijetkim lećama vapnenaca. Ovo područje sa svojim strukturnim i tektonskim zanimljivostima privukao je pozornost geologa još za vrijeme istraživanja za Osnovnu geološku kartu, pa je već 1979. god. ovaj lokalitet bio predstavljen geološkoj javnosti na ekskurziji Hrvatskoga geološkoga društva (VELIĆ et al., 1979), koja je ponovljena i 2004. god.

Rekonstrukciju tektonske gradije ovog područja s utvrđenim reversnim i navlačnim kretanjima koje prekida čitav niz posttangencijalnih normalnih rasjeda različite orientacije otežava istovrsan litološki razvoj unutar jurskih naslaga. Posebno izrazite teškoće nastaju u terenima monotonog razvoja dolomita većeg vertikalnog raspona, kojima definiranje stratigrafske pripadnosti omogućuju tek mjestimično prisutne leće slabo fosilifernih vapnenaca.

Najstarije naslage pripadaju vršnim nivoima srednjega, a moguće i mladega dijela donojurske sekvenčne (kasnome plinsbahu – domeriju i toarciju). Predstavljene su pretežito kasnodijagenetskim dolomitima s rijetkim proslojcima ranodijagenetskih dolomita, a mjestimice i izmjenom ovih dvaju tipova dolomita. Unutar dolomita ima po više desetaka metara debelih leća tamnosivih i crnih tanjeslojevitih do pločastih slabo fosilifernih madstona. Sadrže oskudnu, ali provodnu zajednicu bentosnih foraminifera *Pseudocyclammina liassica* HOTTINGER, *Paleomayncina termieri* (HOTTINGER), *Amijiella amiji* (HENSON), *Agerina martana* (FARINACCI) i *Glomospira* sp. (VELIĆ et al., 1982). Taloženi su u okolišima dubljega i dobro zašti-

ćenoga subtajdala i/ili lagune unutarnje platforme, zbog čega u ovim naslagama nisu utvrđeni ni litotipi niti orbitopsele, premda se radi o istodobnim naslagama i fosilnim zajednicama. Unutar opisanih vapnenaca ima i proslojaka crnih uškriljenih, lističavih madstona primarno obogaćenih organskom tvari. U kontinuitetu slijede kasnodijagenetski dolomiti vršnoga dijela donje jure i srednje jure s lećama sivih debeloslojevitih, slabo fosilifernih madstona s proslojcima ooidno–bioklastičnih pekstona. Vapnenci nižega dijela srednjojurske sekvenčne sadrže oskudne ostatke vrste *Mesoendothyra croatica* GUŠIĆ, a višega dijela *Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI). Sekvenčija gornojurskih karbonata gotovo jednakih litoloških osobina kontinuirano se nastavlja na srednjojurskim. Razlike su u znatno rjeđim pojavama leća algalno–foraminferskih madstona i vekstona unutar debele mase kasnodijagenetskih dolomita. U takvim lećama iz nižega dijela sekvenčne utvrđeni su uz ostale na pr. alga *Salpingopoprella sellii* (CRESCENTI) i foraminifere *Praekurnubia crusei* REDMOND i *Kurnubia palastiniensis* HENSON, a u višemu dijelu alge *Clypeina jurassica* FAVRE i *Campbelliella striata* (CAROZZI).

Točka 1: Navlaka donojurskih vapnenaca i dolomita na gornojurskim dolomitima

Stop 1: Overthrust of Lower Jurassic Limestones and Dolomites Over Upper Jurassic Dolomites

Sva složenost navlačne gradije u kompleksu opisanoga dolomitnoga razvoja jure može se promatrati na ovoj točki. Ovdje je na županijskoj cesti Josipdol–Modruš, u profilu nekadašnjega pozajmišta, vidljiv navlačni kontakt unutar dolomita (sl. 1). Niži dio profila odnosi se na gromadaste i debeloslojevite dolomite gornje jure, dok su u gornjem dijelu profila intenzivno borani dolomiti i vapnenci srednjega i djelomice i gornjega dijela donje jure. Površina navlačnog kontakta je relativno blago položena, oštra, bez očekivane zone drobljenja i neravna. Podvlačenje gornojurskih dolomita izazvalo je i boranje navučenih vapnenaca i dolomita donje jure. Nažalost, gotovo vertikalnan zasjek nekadašnjega kamenoloma ne omogućava strukurološka mjerena kako same podvlačno–navlačne površine tako i spomenutih boranja iz toga tangencijalnoga kinematskoga akta.

Pomanjkanje pouzdanih kriterija da se razlikuju dolomiti različite stratigrafske pripadnosti pogotovo u slučajevima njihove veće rastrošenosti i pokrivenosti humusom



Sl. 1 Navlačni kontakt (strelica) donjojurskih vapnenaca i dolomita (gore) navučenih preko gornjojurskih dolomita (dolje), pozajmište dolomita u Modruš.

Fig. 1 Overthrusted contact (marked by arrow) between Lower Jurassic limestones and dolomites (upper) thrusted over Upper Jurassic dolomites (below); Modruš.

naglašava problem i ograničene mogućnosti objektiviziranja tektonskih interpretacija u ovom središnjem području Dinarida, gdje prema nekim novim spoznajama vjerojatno treba tražiti temelje novih tektonskih rekonstrukcija.

Točka 2: Klizni list albskih vapnenaca u alohtonim jurskim karbonatima

Stop 2: Slided Albian Limestones Within Allochthonous Jurassic Carbonates

Jugozapadno od prethodne točke na ulazu u selo Modruš cesta je usječena u opisane alohitone donjojurske vapnence. Ovdje su navučeni na vapnence alba (sl. 2) kojima su u podlozi gornjojurski dolomiti (sl. 3). Dodir albskih vapnenaca i gornjojurskih dolomita je tektonski, oštar s jasno uočljivom rasjednom površinom na kojoj se zapažaju i strije. Međusobni odnosi i položaji donjojurskih vapnenaca, gornjojurskih dolomita i albskih vapnenaca upućuju na zaključak da ovi potonji vjerojatno predstavljaju otkinuti i skliznuti blok obduciran preko gornjojurskih dolomita koji je tijekom navlačenja ostao uklješten između gornjojurskih dolomita i navučenih donjojurskih vapnenaca.

Albski vapnenci su izrazito tektonizirani, nerijetko gotovo zdrobljeni, raspucani i ispresjecani mnogobrojnim kalcitnim žilama. Zastupani su intraklastično-fosiliernim vekstonima i pekstonima s foraminifera *Cuneolina pavonia* HENSON, *Sabaudia minuta* (HOFKER) i *S. auruncensis* (CHIOCCHINI & DI NAPOLI), koje potvrđuju albsku starost.

Opisani primjer odabran je da bi se donekle sagledala složenost tektonske građe u ovom području, a s druge strane naglasile teškoće i ograničena mogućnost terenskih mjerjenja u pokrivenim terenima s dolomitnom podlogom, što u punom smislu riječi nameće aproksimativnost interpretacije. Sveukupno uvezši nema pouzdanih kriterija koji bi omogućili vremensku determinaciju kako ovog reverznoga rasjedanja tako i prethodno opisanoga navlačenja. Vjerojatno je reverzno rasjedanje i gravitacijsko klizanje albskih vapnenaca preko gornjojurskih dolomita starije od navlačenja donjojurskih karbonata, a radi li se o jednome ili dva kinematska akta za sada nema pouzdanih pokazatelja.



Sl. 2 Navlačni kontakt donjojurskih vapnenaca i dolomita (desno) preko albskih vapnenaca (lijevo), Modruš.

Fig. 2 Overthrusted contact between Lower Jurassic limestones and dolomites (right) and Albian limestones (left), Modruš.



Sl. 3 Rasjedni kontakt – klizna površina u bloku albskih vapnenaca (gore) obduciranih preko gornjnjurskih dolomita (dolje); Modruš.

Fig. 3 Obduction of Albian limestones (upper part) over Upper Jurassic dolomites (below), Modruš.

Aptske naslage Velike i Male Kapele Aptian Deposits of the Velika and Mala Kapela

Ivo Velić & Branko Sokač

Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: ivelic@igi.hr

Aptske naslage Velike i Male Kapele, kao i susjednoga Ogulinskog kraja zanimljive su zbog svoje facijesne raznolikosti i bogatstva fosilnih ostataka što omogućava pouzdanu stratigrfsku odredbu i detaljnu raščlambu. Relativno su dobro istražene o čemu svjedoči i veliki broj publiciranih radova, osobito tijekom 70-ih i 80-ih godina prošloga stoljeća, a najcjelovitije su prikazane u Tumaču Osnovne geološke karte lista Ogulin (VELIĆ et al., 1982). To je bilo i vrijeme utvrđivanja i utemeljenja stratigrfskih, posebice biostratigrfskih standarda u plitkomorskim, poglavito karbonatno-platformnim naslagama donje krede u čitavome Perimediteranskome području, a tim su standardima i podjelama rezultati istraživanja u ovim terenima dali značajan doprinos, te bili međunarodno valorizirani, priznati i prihvaćeni. Tako su na pr. u literaturu "ušli" pojmovi *donji orbitolinski vapnenci* i *gornji orbitolinski vapnenci*, prvi za vapnence s palorbitolinama (u rasponu kasni barem i rani apt), a drugi za vapnence s mezorbitolinama (kasni apt i rani alb) – na pr. VELIĆ, 1988; VELIĆ & SOKAČ, 1976, 1978a, b; VELIĆ et al., 1979.

Točka 3: Profil u apskim naslagama Male Kapele

Stop 3: Aptian Deposits of the Mala Kapela Mt.

Južno od Modruša uzduž županijske ceste preko Kapele otkrivene su apske naslage u kontinuiranoj sekvenciji donjokrednih platformnih karbonata od kasnoga barema do početka alba. Taloženi su u različitim plitkomorskim okolišima koji su se mijenjali kako lateralno tako i vertikalno.

Profil započinje u vapnencima gornjega barema taloženim u zaštićenim okolišima unutarnje platforme, pa prevladavaju fosiliferni vekstoni u kojima su utvrđene foraminifere *Praechrysalidina infracretacea* LUPERTO-SINNI, *Sabaudia minuta* (HOFKER), *Vercorsella scarsellai* (DE CASTRO), *Palorbitolina lenticularis* (BLUMENBACH), *Nautiloculina broennimanni* ARNAUD-VANNEAU & PEYBERNES, *Debarina hahounerensis* FOURCADE, RAOULT & VILA i dr., te vapnenačke alge *Salpingoporella melitae* RADOIČIĆ, *S. dinarica* RADOIČIĆ i *Carpathoporella fontis* (RADOIČIĆ).

Kontinuirano u možda neznatno dubljim okolišima, ali pod utjecajem otvorenoga mora, o čemu svjedoče česti na-



Sl. 4 Debeloslojeviti floutstoni
– donjoaptski "Donji orbitolinski
vapnenci" s presjecima rudistnih
ljuštura (promjer mjerila 4 cm),
cesta Modruš–Vrh Kapele.

Fig. 4 Thick-bedded Lower Aptian floatstones in "Lower orbitolinid limestones" containing rudist (*Toucasia* etc.) shells (objective cap for scale is 4 cm in diameter), Modruš–Vrh Kapela road.

lazi pučinskih oblika – hedbergela i sakokoma, talože se donjoaptski donji orbitolinski vapnenci s bogatom orbitolinskom zajednicom: *Palorbitolina lenticularis*, *Praeorbitolina cormyi* SCHROEDER, *Praeorbitolina wienandsi* SCHROEDER i *Mesorbitolina lotzei* SCHROEDER, te drugim foraminiferaima kasnobaremško–ranoaptskoga raspona poput *Neotrocholina aptiensis* (IOVCHEVA), *N. friburgensis* GUILLAUME & REICHEL, *Sabaudia briacensis* ARNAUD-VANNEAU i *Derventina filipescui* NEAGU, kao i vrstama širega ranokrednoga raspona poput *Praechrysalidina infracretacea*, *Sabaudia minuta*, *Vercorsella scarsellai*, *V. laurentii* (SARTONI & CRESCENTI), *Nautiloculina broennimanni*, *Debarina hahounerensis* i dr. Od alga utvrđene su samo *Salpingoporella dinarica* RADOIČIĆ i *Carpathoporella fontis* (RADOIČIĆ). Osim spomenutoga razvoja za područje Kapele i Ogulinskoga kraja unutar donjoaptskih naslaga poznat je i facijes s rudistima (VELIĆ & SOKAČ, 1978a; MASSE et al., 2004). Predstavljen je najčešće rudistnim floutstonima nastalim u zagrebskim plićacima pa uz rudistne sadrže i bioklaste od skeleta drugih školjkaša, puževa, koralja, hidrozoa i briozoa, najčešćih stanovnika i graditelja razaranih krpastih

grebena. Od spomenutih fosila na ovom profilu zapažaju se ulomci i presjeci rudista, uglavnom roda *Toucasia*, drugih školjkaša, puževa i hidrozoa (sl. 4).

Prestanak pojavljivanja palorbitolinsko–preorbitolinske zajednice označava i kraj taloženja donjih orbitolinskih vapnenaca, a time završava i rani apt. Prijelaz u karbonatne naslage gornjega apta obilježava relativno oplicavanje pa prevladavaju peritajdalni okoliši. U takvim okolnostima zamjetna je slabija zastupljenost foraminifera nasuprot bujnom razvoju dazikladalne vrste *Salpingoporella dinarica*, koja u ovim naslagama doživljava maksimum razvitka i učestalosti. Oplicavanje je sve izraženije pa su česta kratkotrajna izronjavanja obilježena taloženjem glinovitoga materijala i valuticama salpingoporelskih vekstona (sl. 5). U mlađim razinama gornjoaptske sekvensije oplicavanje kulminira regionalnom kasnoaptsko–ranoalbskom emerzijom utvrđenom na velikom dijelu JKP (VELIĆ et al., 1979, 1989, 2002; TIŠLJAR et al., 2002; VLAHOVIĆ et al., 2005). Emerzija u Kapeli i okolnim terenima vremenski je kraća, o čemu svjedoči razvoj gornjih orbitolinskih vapnenaca u kojima dominiraju vrste velikih mezorbitolina – *Mesorbitolina parva* DOUGLASS, *Mesorbitolina texa-*



Sl. 5 Kratkotrajna emerzija
(strelica) obilježena
valuticama salpingoporelskih i
mezorbitolinskih vapnenaca u
glinovito-laporovitome vezivu
u gornjoaptskim "Gornjim
orbitolinskim vapnencima", cesta
Modruš–Vrh Kapele.

Fig. 5 Emersion breccia (arrow)
within Upper Aptian "Upper
orbitolinid limestones", Modruš–
Vrh Kapela road.

na (ROEMER), *Mesorbitolina subconcava* LEYMERIE i *Mesorbitolina pervia* DOUGLASS. Ovdje su predstavljeni slojevitim mezorbitolinskim vekstonima, miliolidnim vekston-pekstonima, a mjestimice i ponekim mezorbitolinskim tempestitnim pekston-grejnstonskim proslojkom. U foraminferskoj zajednici osim citiranih mezorbitolina ima i drugih foraminferskih vrsta, kao na pr. *Pseudonummuloculina aurigerica* CALVEZ, *Praechrysalidina infracretacea*, *Sabaudia minuta*, *S. auruncensis* (CHIOCCHINI & DI NAPOLI ALLIATA), *Vercorsella scarsellai*, *V. laurentii*, *Archalveolina reicheli* (DE CASTRO) i dr.

U kontinuiranome slijedu karbonatnih naslaga nepromijenjenih faciesnih obilježja prve pojave kuneolina – *Cuneolina pavonia* D'ORBIGNY i *C. parva* HENSON – označavaju početak alba. Mikrofobilna zajednica, uz pretходno citirane mezorbitoline i prateće foraminifere, sadrži i druge vrste čiji raspon također započinje u albu, kao što su na pr. *Pseudonummuloculina heimi* (BONET) i *Nezzazatinella picardi* (HENSON).

Točka 4: Tunel “Mala Kapela”

Stop 4: Mala Kapela Tunnel

Davor Pollak

Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: davor.pollak@igi.hr

Tunel “Mala Kapela” jedan je od značajnijih i skupljih objekata na autocesti Zagreb–Split–Dubrovnik. Nalazi se na dionici Josipdol–tunel “Mala Kapela” (jug) i prolazi kroz masiv Male Kapele. Dužinom od 5760 m premašio je tunel “Sv. Rok”, i za sada je najdulji cestovni tunel izgrađen u Hrvatskoj.

Osnovne geološke značajke područja

Temeljna geološka istraživanja (MATIČEC at al., 1999) ukazala su na to da područje tunela pripada tektonski razlomljenom terenu koji je podijeljen u dvije makrostruktturne jedinice: istočno i zapadno od jakog, gotovo regionalnog rasjeda pružanja SSI–JJZ, koji prolazi trasom tunela oko stacionaže km 12+330 do km 12+420.

Područje izgradjuju karbonatne stijene uglavnom donjokredne starosti. Neokomske naslage predstavljene su vapnencima, dolomitičnim vapnencima, kalcitičnim dolomitima i dolomitima. Naslage čija starost odgovara baremu, aptu i albu zastupljene su vapnencima različitih tipova.

Hidrogeološke značajke

Općenito, tunel je smješten unutar sliva izvora Vrnjike i Zagorske Mrežnice, čije se vode koriste za vodoopskrbu pitkom vodom, tako da se nalazi u III. zoni sanitarnе zaštite oba izvora (PAVIČIĆ, 1999).

Iskop tunela izvodio se u nesaturiranoj zoni jer se osnovni freatički nivo podzemne vode nalazi više desetaka metara ispod nivelete tunela. Tijekom iskopa tunela dolazilo je do povremenih i kratkotrajnih dotoka procjednih voda u okršenim zonama.

Inženjerskogeološke značajke

Temeljem rezultata svih istraživačkih radova (geološko, hidrogeološko i inženjerskogeološko kartiranje, istraživačko bušenje, geofizička i laboratorijska ispitivanja) u oba spomenuta makrotektonska bloka izdvojene su cjeline stijenskih masa različitih inženjerskogeoloških svojstava (BRAUN & POLLAK, 2000). Kriterij za takvu podjelu bile su značajke intaktne stijene, stupanj razlomljenosti, intenzitet trošenja, značajke osnovnog strukturnog sklopa, razmaci između diskontinuiteta i njihovo stanje. Kao indeksni pokazatelj površinskog trošenja je uzeta gustoća vrtača po km².

Uzevši u obzir sve podatke prikupljene istraživanjima, područje izgradnje tunela “Mala Kapela” podijeljeno je u 5 osnovnih inženjerskogeoloških (IG) jedinica, a prema orientaciji osnovnog strukturnog sklopa u 11 tektonskih blokova. Svakoj IG jedinici odredena je kategorija stijenske mase prema RMR i Q klasifikaciji. Time je utvrđeno da će se iskop uglavnom odvijati u stijeni II i III kategorije:

kategorija	II	III	IV	V
% stijenske mase	47	38	6	9

Diskusija

Nakon što je tunel izведен, može se zaključiti da je stijene u uvjetima većeg nadsloja (maksimalni nadsloj je 433 m), bilo bolje nego što je bilo prognozirano. Zbog toga je stvarni udjel II u odnosu na III kategoriju veći. Ta-

kođer je utvrđeno da gustoća vrtača može biti jedan od bitnih pokazatelja značajki i intenziteta okršavanja u pod-površinskim, ali i dubljim zonama trošenja. Naime, ispod utvrđenih zona s većom gustoćom vrtača su kaverne, jame i dimnjaci znatno češći, što je uzrokovalo mnoge probleme prilikom izvođenja tunela.

Gornjojurske naslage Velike Kapele

Upper Jurassic Deposits of Velika Kapela

Ivo Velić

Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: ivelic@igi.hr

Specifičan razvoj gornjojurskih naslaga u Velikoj Kapeli posljedica je značajnih sinsedimentacijskih tektonskih događaja u ranome kimeridžu (na pr. VELIĆ et al., 1982, 1994, 2002; TIŠLJAR et al., 1994). Tada je formirano pliće intraplatformno korito što je izazvalo bitne promjene taložnih sredina u odnosu na dotadašnje pretežito subtajdalne okoliše. Današnja okolica Brinja bila je jugoistočni rubni dio toga korita, koje se je protezalo gotovo do Delnica na sjeverozapadu. Karbonatna sedimentacija u samome koritu je pod značajnim pučinskim utjecajima – talože se srednje debelo, mjestimice i pločasto slojeviti tamni vapnenci s rožnjacima i pučinskom faunom, a u okolnim platformnim plićacima, na rubovima i padinama prema koritu nastaju prigrebensko–grebenski okoliši s taloženjem koraljno–hidrozojskih vapnenaca. Tamni vapnenci s rožnjacima facijesno i vremenski korelabilni su s Lemeškim naslagama Like i Dalmacije.

Povoljni ekološki uvjeti u rubnemu području platform–korito omogućavali su bujan razvitak organizama grebenotvoraca, a time i ubrzani rast grebena čijim su razaranjima kontinuirano nastajale velike količine bioklastičnoga detritusa koji je zasipavao padine i samo korito. Korito se najvećim dijelom na taj način, a manje autohtonom sedimentacijom relativno brzo zapunjavalо. Progradacijom grebennskih okoliša postupno je sužavano da bi već sredinom titona bilo potpuno zapunjeno. Na završnom članu progradacijske sekvencije – ooidnim vapnenačkim pješčanim prudovima – obnovljeni su peritajdalno–subtajdalni okoliši s taloženjem algalnih klipeinsko–kampbelijskih vekstona/pekstona (VELIĆ et al., 1994).

Točka 5: Gornjojurski vapnenci s rožnjacima (5a) i Jelarske breče (5b)

Stop 5: Upper Jurassic Limestones with Cherts (5a) and Jelar Breccia (5b)

Vapnenci s rožnjacima (5a) na ovoj točki predstavljeni su sivim do tamnosivim srednje debelo do debelo slojevitim madstonima s nodulama i kvrgama dijagenetskih rožnjaka. Najbolje su otkriveni u usjecima autoceste između Križpolja i Brinja, gdje se jasno uočava i tanjeslojevita do pločasta slojevitost peletnih vekston/pekstona i madstona ne samo s nodulama već i proslojcima rožnjaka (sl. 6, 7).

Litologija vapnenaca zavisna je o mjestu taloženja: u distalnijim dijelovima korita prevladavaju varijeteti muljne potpore, a prema rubovima korita sve je više bioklastičnih peloidnih vekstona/pekstona. Sporadični su proslojci glinovitih tufova nastalih izmjenom vulkanskoga pepela i sitnozrnastoga vitričnoga tufa (ŠČAVNIČAR & NIKLER, 1976).

Od fosilnih ostataka prevladavaju bioklasti i skeleti grebenotvoraca – najčešće hidrozoa, stromatoporoida, briozoa i koralja. Mjestimice su česti puževi, školjkaši i brahiopodi te vrlo rijetko i amoniti iz roda *Perisphinctes* – prema NIKLER-u (1965) *P. (Virgatosphinctes) densuplicatus* (WAAGEN). Ima i autohtonih mikrofosila poput radiolarija, kalcisfera i sakokoma, ali su zbog mikritizacije i rekristalizacije specifički neodredive. Iz rubnih plićaka i gornjepadine pretalozene subentosne foraminifere *Parurga-nina caelinensis* CUVILLIER, FOURY & PIGNATTI-MORANO, *Protopeneroplis striata* WEYNSCHENK, *Pseudo-cyclammina lituus* (YOKOYAMA), *Redmondoides lugeoni* (SEPTFONTAINE), *Kurnubia palastiniensis* HENSON,



Sl. 6 Debeloslojeviti vapnenci (madstoni do pekstoni) kimeridža s nodulama rožnjaka, Brinje.

Fig. 6 Thick-bedded Kimmeridgian mudstones to packstones with chert nodules, Brinje.



Sl. 7 Kimeridžki madstoni do pekstoni s proslojcima rožnjaka (svijetlijije), Brinje.

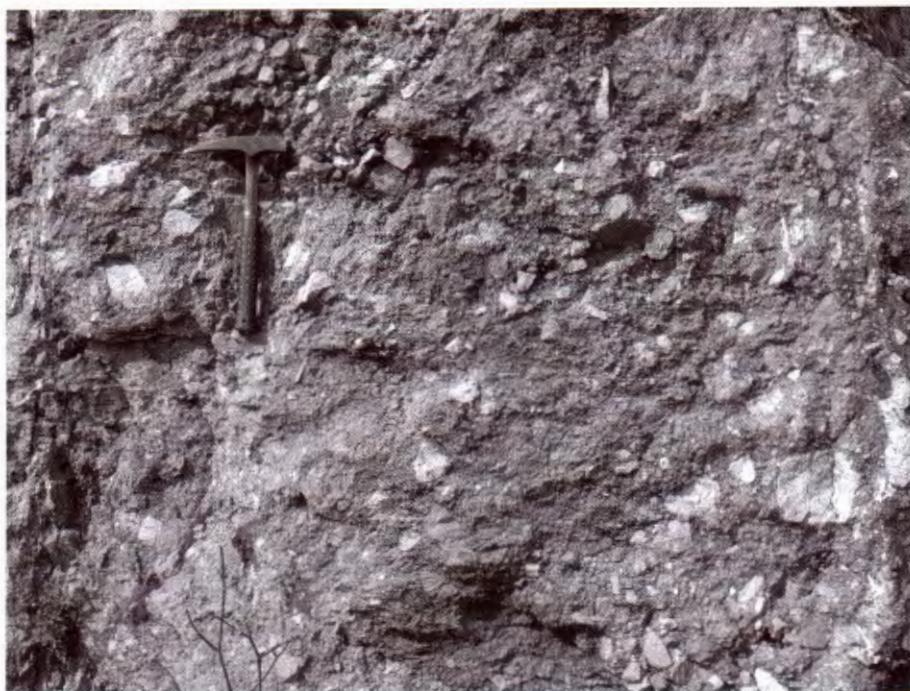
Fig. 7 Kimmeridgian mudstones to packstones with chert intercalations (light-coloured), Brinje.

Archaeosepta basiliensis (MOHLER), *Charentia evoluta* (GORBATCHIK), *Everticyclammina virguliana* (KOECHLIN) i *Coscinophragma* sp., te alga *Campbelliella striata* (CAROZZI). Ovakva zajednica, a i superpozicijski položaj u gornjojurskoj karbonatnoj sekvenciji ovoga dijela Jadanske karbonatne platforme određuju kimeridžku i ranotitonsku starost vapnenacima s rožnjacima.

Jelarske breče (5b) na ovoj točki leže na prethodno opisanim gornjojurskim vapnencima s rožnjacima. To je najsjevernija pojava ovih breča u Lici, koje na ovome lokalitetu leže na opisanim vapnencima s rožnjacima, a u širem području na različitim članovima mlademezozojskih karbonata u rasponu od oksforda do kasnoga turona (VELIĆ et al., 1974; VELIĆ & SOKAČ, 1981).

Breče su najvećim dijelom nesortirane, izgrađene pretežito od ulomaka jurskih karbonatnih stijena i rožnjaka

iz naslaga neposredne podloge (sl. 8). Nerijetko se nalaze i konglomeratični ulošci sa subzaobljenim ulomcima, rjeđe i valuticama. Vezivo je kalcitično, uglavnom usitnjeni materijal karbonata i rožnjaka. Posebno su zanimljivi subzaobljeni ulomci i valutice eocenskih foraminiferskih vapnenaca s alveolinama i numulitima te prijelaznih naslaga s diskociklinama i globorotalijama, kojih u okolici Brinja nema otkrivenih na površini; najbliži su u području Bunića, na Rabu i u Vinodolu. Ako se tome doda i podatak da breče leže preko prebačenih struktura gornjojurskih naslaga (VELIĆ et al., 1982) onda je razvidno da su one nastajale u posteoceanskome razdoblju za vrijeme i nakon najjačih tercijarnih tektonskih pokreta vezanih za izdizanje Dinarida, koji su u našoj geološkoj literaturi najčešće nazivani pirnejskom fazom.



Sl. 8 Jelarske breče, Brinje.
Fig. 8 Jelar breccia, Brinje.

Točka 6: Geološka građa Krasnoga Polja i okolice

Stop 6: Geology of Krasno Polje and its Surroundings

Ivo Velić¹, Branko Sokač¹ & Dubravka Kljajo²

¹Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: ivelic@igi.hr

²Nacionalni park Sjeverni Velebit, Krasno bb, HR-53274 Krasno Polje, Hrvatska

Krasno Polje, jedno od najvećih naselja u Velebitu, u novije vrijeme sve češće nazivano samo Krasno, smješteno je u sredini 10-ak km dugačke krške uvale pružanja ZSZ-IJ. Proteže se od sjeverozapadnoga kraja Krasanske doline, gdje su i najviši dijelovi uvale na oko 1000 m n/m, prema jugoistoku do najnižega dijela na oko 800 m n/m jugoistočno od Devčića (Križice).

Uvala je relativno jednostavne grade, tektogeno–glaciofluvijalnoga postanka. Izgrađuju je najvećim dijelom jurski karbonati na kojima u Krasnometu leže pleistocenske glaciofluvijalne taložine.

Južne padine uvale izgrađene su većim dijelom od donojurskih naslaga iz sjeveroistočnoga krila blago borane Apatišanske antiklinale ili prema SOKAČ et al. (1976a) antiklinale Jezera–Lipovo polje, a samo sjeverozapadni rub uvale u Krasanskoj dolini izgrađuju starije srednjojurske naslage. U kontinuiranome slijedu ove jurske sekvencije najstariji dio pripada srednje donojurskim dobroslojevitim tamnosivim i sivim peletnim vekston/pekstonima i madstonima. Ima proslojaka litiotisnih kokina ili floutstona do

radstona kao i foraminiferskih vekston/pekstona s *Orbitopsella praecursor* (GUEMBEL) i *Lituosepta recoarensis* CATI te dazikladalnom algom *Palaeodasycladus mediterraneus* (PIA). Značajna je zastupljenost sivosmeđih do tamnosmeđih krupnokristaliničnih kasnodijagenetskih dolomita. Pojavljuju se kao proslojci ili do 10-ak m debele leće unutar vapnenaca. Na opisanim karbonatima slijede tzv. "mrljasti vapnenci" tj. sivi i tamnosivi pretežito tanjelojevitи bioturbirani madstoni te peletni i ooidni pekstoni mlađega dijela rane jure (toarcija) s proslojcima i lećama smeđih, sitno do srednjozrnastih kasnodijagenetskih dolomita. Jurska sekvencija južnih–jugozapadnih padina uvale u normalnome slijedu na mrljastim vapnencima završava sivim debeloslojevitim i gromadasto okršenim madstonima starije srednje jure.

Sjeveroistočne padine uvale izgrađene su od srednjojurskih i gornjojurskih karbonata. Pripadaju mlađim razinama srednjojurske sekvencije i sličnih su litoloških značajaka kao i u jugozapadnim padinama. Radi se o debeloslojevitim madstonima, onkoidnim i fosilifernim vekstonima i pekstonima. Sporadične su pojave smeđih kasnodijage-

netskih dolomita. Srednjojurske naslage u ovome području slabije su fosiliferne. Najčešće se nađu sitne neprovodne foraminifere, a od velikih provodna *Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI). Na srednjojurskoj slijedi sekvensija gornojurskih karbonata u kojoj se razlikuju dvije stratigrafske jedinice: starija oksfordska i mlađa kimeridž–titonska. Karbonati oksforda zastupani su tamnijesivim, mjestimice gotovo i crnim fosilifernim vekstonima i pekstonima. Često su u različitom postotku kasnodijagenetski dolomitizirani. Iz starije literature poznati su kao "kladokoropsis vavnenci". Osim stromatoporoida sadrže bogatu mikrofossilnu zajednicu foraminifera u kojoj dominiraju kurnubije i troholine. Najčešće su vrste *Kurnubia palastiniensis* HENSON, *Trocholina alpina* LEUPOLD i *T. elongata* LEUPOLD. U kontinuitetu na oksfordskim vavnencima slijede tzv. "klipeinski" vavnenci kimeridža i titona. Litološki su prepoznatljivi po dobro izraženoj slojevitosti, izmjeni sivih i svijetlije sivih klipeinskih vekstona s madstonima, a mjestimice i sa smedim kasnodijagenetskim šećerastim dolomitima. Foraminifere su izrazito slabije zastupljene u usporedbi s oksfordskim vavnencima, a radi se uglavnom o istim vrstama. Dominantna je dazikladalna alga *Clypeina jurassica* FAVRE.

U samome mjestu Krasno ima ostataka pleistocenskih glaciofluvijalnih naslaga. Sastoje se od valutica ili polzaobljenih ulomaka i gromada te od pjeska, koji potječe od okolnih jurskih karbonata. Sjeverno od ceste u Kras-

nome, na dionici između zgrada šumarije i sirane zapaža se u ovim naslagama urezana terasa nekadašnjeg riječnoga ili potočnoga toka. Postanak ovih naslaga najvjerojatnije je u vezi s najmlađom – virmском oledbom o kojoj pišu SOKAČ et al. (1976a) kada i citiraju zaključke BAUER-a iz 1934/35 (u pripremi ovoga vodiča do toga članka nismo uspjeli doći) "... da se u području Jezera (JZ od Krasna) nalaze oblutci u velikim ponikvama zaobljenih grebena kao ostaci jezera, a posljedica su rada ledenjaka za vrijeme pleistocena. Iako gibanje ledenjaka nije bilo većega zamaха, ipak je prelazilo na sjeveroistok preko ruba platoa." (SOKAČ et al., 1976a). O istodobnoj oledbi u južnome Velebitu pisao je NIKLER (1973).

Najvažnija tektonska struktura u Krasnom je uzdužni rasjed, ustvari rasjedna zona, što brazdi sredinom uvale, a koji je inicialni čimbenik u kasnijem oblikovanju čitavoga ovoga područja. Dijagonalno siječe u ovome kraju dvije veće, ali regionalno gledano (u Velebitu) ipak lokalne strukture: u južnom krilu relativno izdignuto, već spomenuto Apatišansku antiklinalu i u sjevernom krilu relativno spuštenu monoklinu Senjskoga bila. Iako se radi o normalnom rasjedu duž njega bilo je i horizontalnoga pomaka desne orientacije.

Zaključno se može ustvrditi da je na konačno oblikovanje uvale uz spomenuto tektonsku poremećenost naslaga značajno utjecala pleistocenska oledba i postglacialni erozijsko-koroziski procesi.

Točka 7: Biolititi srednjega perma, Paripov jarak

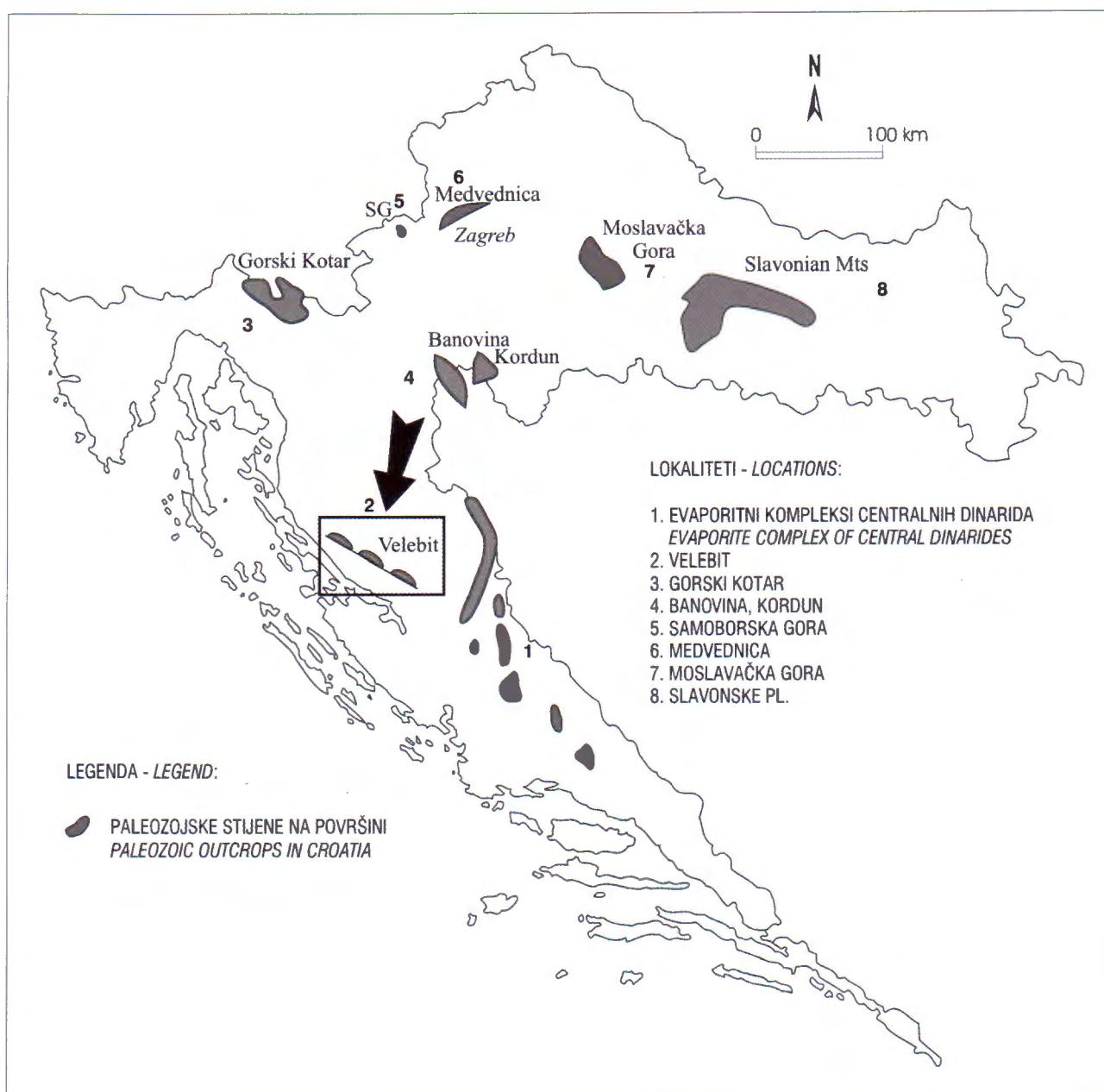
Stop 7: Middle Permian Biolithites, Paripov Jarak

Jasenka Sremac

Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac bb, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: jsremac@inet.hr

Gornjopaleozojske sedimentne stijene Velebita i Like razvijene su u tri tektonska prodora, idući od zapada prema istoku: (1) Brušane–Baške Oštarije, (2) Medak–Sv. Rok i (3) Ričice–Štikada–Bruvno (KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1973) (sl. 9). Najstarije stijene u ovom području su gornjokarbonske klastične stijene, koje predstavljaju ekvivalent "Auernig" slojeva u Alpama. Vapneničke stijene, koje sadrže faunu "Rattendorfskih" slojeva pojavljuju se na nekoliko lokaliteta, no njihov je kontakt s podinskim i krovinskim naslagama nejasan. Više od 750 m debeo kompleks pretežito klastičnih sedimenata, "Košna naslage", predstavlja vremenski ekvivalent Trogkofelskih vapnenaca u Alpama, a taložen je nakon razdoblja intenzivnog izdizanja i trošenja novonastalog reljefa početkom srednjeg perma (sl. 10).

Snižavanjem reljefa erozija se smanjila, te je započelo dugotrajno razdoblje karbonatne sedimentacije, koje je potrajalo sve do kraja perma. Pritom je istaloženo 900 m pretežito karbonatnih sedimenata, najčešće dolomita, koji nose obilježja tropске karbonatne platformne sedimentacije (SREMAC, 2005). Izmjena plitkomorskih okoliša, od natplimne, preko plimne i plitke potplimne zone, govori nam o višestrukim oscilacijama morske razine, a prisutni su i dokazi povremenih izronjavanja, osobito pred kraj perma (sl. 11a) (TIŠLJAR et al., 1991; SREMAC, 1991; IBRAHIMPAŠIĆ & SREMAC, 2002). Ovako dugotrajna karbonatna sedimentacija nije uobičajena u Alpsko-Dinaridskom prostoru, osim u Julijskim Alpama. FLÜGEL (1977) smatra da specifična obilježja karbonatnog kompleksa srednjeg i gornjeg perma zaslužuju da ih se jasno odvo-



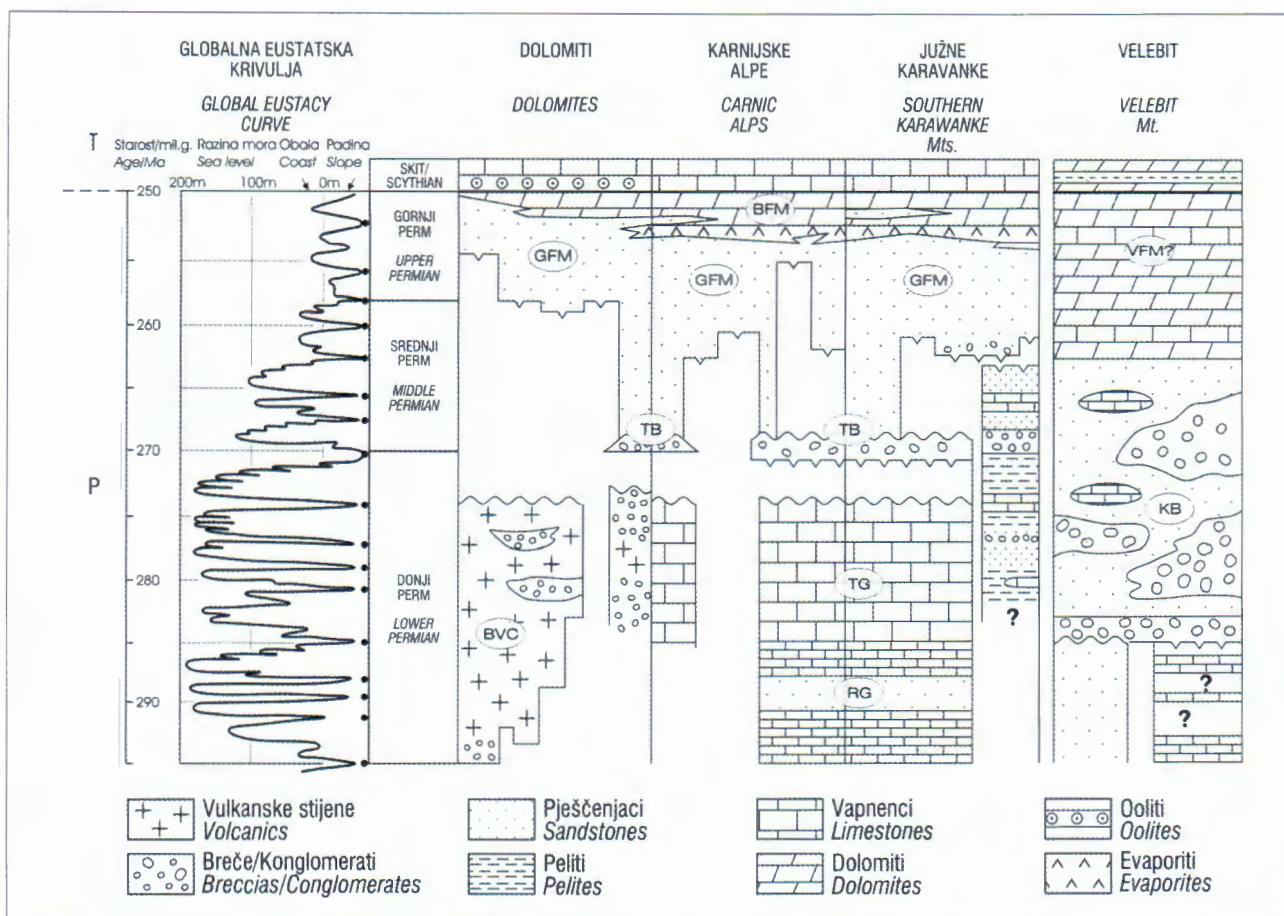
Sl. 9 Shematska karta paleozojskih područja u Hrvatskoj (prema TIŠLJAR, 1992, i JURKOVIĆ & PAMIĆ, 2001; preuzeto iz SREMAC, 2005).

Fig. 9 Schematic map of the Palaeozoic areas in Croatia (after TIŠLJAR, 1992, and JURKOVIĆ & PAMIĆ, 2001; from SREMAC, 2005).

ji od alpskih "Belerofońskih" slojeva, te za njih predlaže naziv "Velebit formacija" (sl. 10).

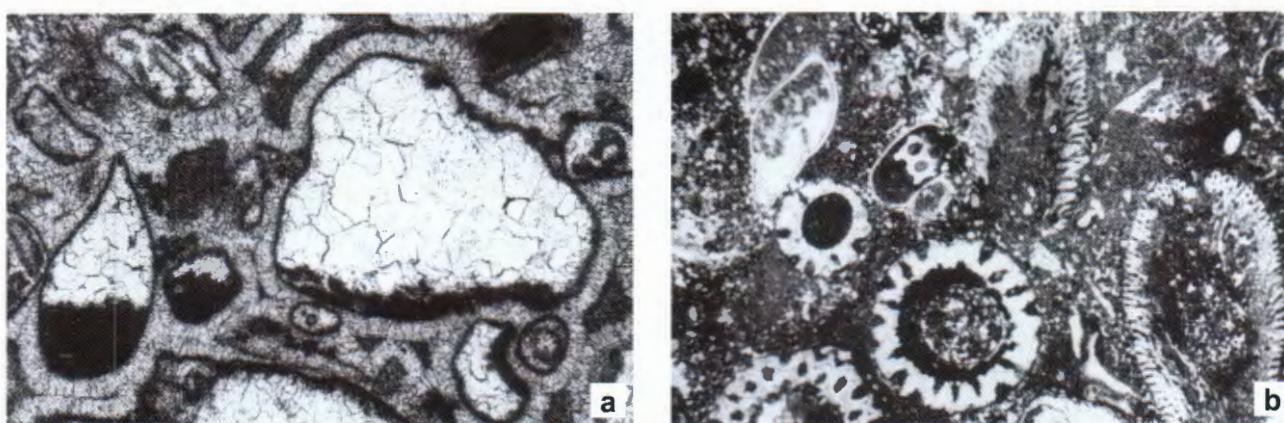
Glavni proizvođač karbonatnog materijala na platformi, tijekom cijelog njezinog trajanja, bile su vapnenačke alge – dazikladale i gimnokodijaceje (sl. 11b), koje su nastanjivale plitke zaštićene platformne okoliše. Ponekad se mogu naći mješovite zajednice vapnenačkih algi, fuzulinidnih i drugih foraminifera, ili su u pojedinim, vjerojatno nešto dubljim okolišima, foraminifere dominantni član morskih bentičkih zajednica. Među mikrofosilima česti su i inkrustirajući tubifiti. Tijekom stresnih razdoblja u rubnim plimnim okolišima važna je uloga cijanobakterija, te su u vršnom dijelu karbonatnog kompleksa česti dolomiti sa stromatolitima (TIŠLJAR et al., 1991). Makrofossili se na platformi najčešće pojavljuju na ograničenim prostorima. Znakovita je uloga ramanonožaca, koji su se prila-

godili životu u različitim okolišima. Tako su produktidi razvili različite prilagodbe na život na muljevitom dnu, u mirnim, zaštićenim sredinama, npr. bodlje ili prošireni obrub za usidrenje u mekom sedimentu (sl. 12a). Na izloženijim dijelovima platforme, s povećanim donosom nutrijenata, stvaraju se "ostrižišta" krupnih leptodusa ili sitnijih kajzerlingina (sl. 12b). Unutar krpastih grebena, građenih od mahovnjaka, spužvi i cijanobakterija (sl. 13a–c), u šupljinama u grebenskoj rešetci, stanovali su brojni krupni endemski enteletesi i martinije (sl. 12c). Zanimljivo je da koralji u ovom razdoblju nisu imali važnu ulogu u stvaranju grebena, no brojne grančice zadružnih vagenofiluma (tetrakoralji) predstavljali su zamku za taloženje karbonatnog mulja (*bafflestone*). Među mukušcima valja istaknuti neobične zadružne školjke, tančintongije, koje su ležale "kobilicom" usidrene u mulju i krilatim nastavcima spre-



Sl. 10 Globalna eustatska krivulja i shematski stratigrafski stupovi postvariscijskih stijena Južnih Alpa i Dinarida. Legenda: BVC – Bolzano vulkanski kompleks; RC – Rattendorf grupa; TG – Trogkofel grupa; KB – Košna naslage; TB – Tarvisio breće; GFM – Gröden formacija; BFM – Bellerophon formacija; VFM? – "Velebit formacija" (prijedlog: E. FLÜGEL, 1977); WFM – Werfen formacija (prema KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1973; Grupa talijanskih istraživača, iz KRAINER, 1993; ROSS & ROSS, 1995; preuzeto iz SREMAC, 2005).

Fig. 10 Global eustacy curve and schematic stratigraphic columns of Post-Variscan sediments of the Southern Alps and Dinarides. Legend: BVC – Bolzano volcanic complex; RC – Rattendorf group; TG – Trogkofel group; KB – Košna beds; TB – Tarvisio Breccia; GFM – Gröden formation; BFM – Bellerophon formation; VFM? – "Velebit formation" (suggested by E. FLÜGEL, 1977); WFM – Werfen formation (after KOCHANSKY-DEVIDÉ, 1973; Italian Research Group – KRAINER, 1993; ROSS & ROSS, 1995; from SREMAC, 2005).



Sl. 11 a) Algalno-foraminiferski kortoidni grejnston. Srednji perm, Zona Neoschwagerina craticulifera; cesta Gospic – Karlobag; x25 (iz SREMAC, 1991). b) Micijsko-gimnokodijacejni vekston do pekston. Srednji perm. Zona Neoschwagerina craticulifera; Milašnovac; x25 (iz SREMAC, 1991).

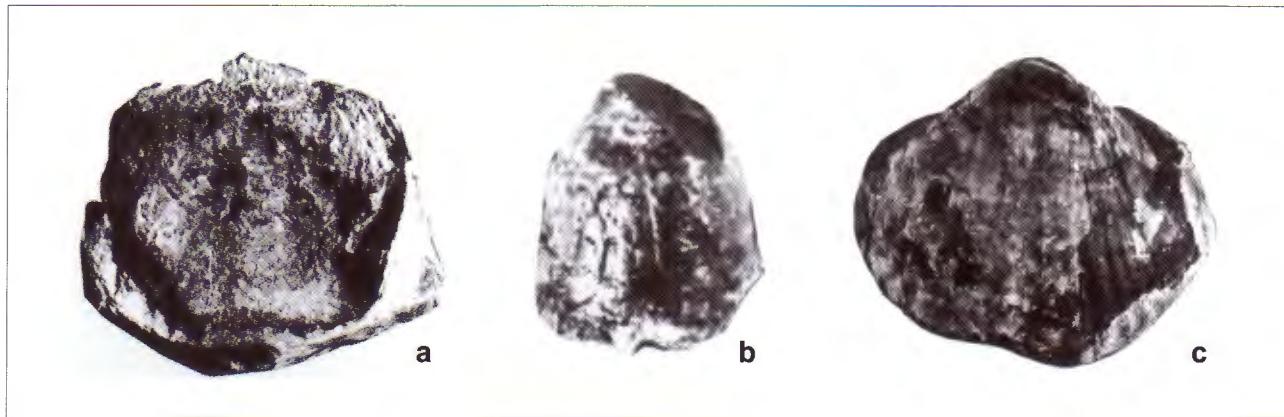
Fig. 11 a) Grainstone with calcareous algae and foraminifera. Middle Permian. Zone Neoschwagerina craticulifera; road Gospic–Karlobag; x25 (from SREMAC, 1991). b) Micijsko-Gymnocodiacean wackestone to packstone. Middle Permian. Zone Neoschwagerina craticulifera; Milašnovac; x25 (from SREMAC, 1991).

čavale tonjenje. U vrijeme tropskih oluja i/ili potresnih valova, mnogi su od ovih organizama bili doslovno pometeni sa svojih staništa i kasnije istaloženi u novom sedimentu, po smirivanju stresnih događaja. Sedimenti s obilježjima

tempestita pokrivaju i neka od grebenskih tijela, te se čini da su doveli do gušenja grebenske zajednice i povremenog prekida rasta grebena.

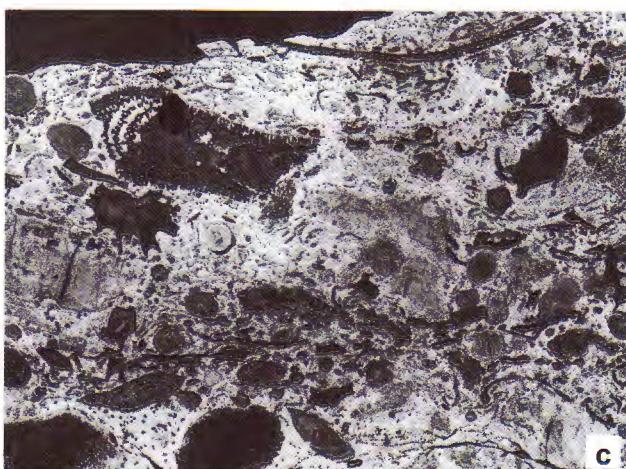
S obzirom na prirodu grebenskih okoliša, rijetkost je da se u fosilnom zapisu sačuvaju nerazorene grebenske rešetke. No, zahvaljujući povremenom zatrpuvanju olujnim sedimentom, takvo je složeno grebensko tijelo saču-

vano na lokalitetu Paripov jarak, uz cestu Gospic–Karlobag. Lokalitet je sastavni dio poučne staze Parka prirode Velebit (SREMAC, 2003), a zatraženo je i da se uvrsti u UNESCO-ov program zaštite geološke baštine.



Sl. 12 a) *Ramovsia likana* SREMAC, veliki ramenonožac, koji je živio na muljevitom dnu. Zona *Neoschwagerina craticulifera*; Crne Grede, x0,7 (iz SREMAC, 1986). b) *Keyserlingina filicis velebitica* SREMAC, mali ramenonožac koji je priraštao ljušturom za podlogu. Srednji perm. Zona *Neoschwagerina craticulifera*; Crne Grede, x1,5 (iz SREMAC, 1986). c) *Enteletes salopeki* SREMAC, ramenonožac koji je nastanjivao različite okoliše. Srednji perm. Zona *Neoschwagerina craticulifera*; Crne Grede, x1 (iz SREMAC, 1986).

Fig. 12 a) *Ramovsia likana* SREMAC, large brachiopod living on the muddy substrate. Middle Permian. Zone *Neoschwagerina craticulifera*; Crne Grede, x0.7 (from SREMAC, 1986). b) *Keyserlingina filicis velebitica* SREMAC, small brachiopod living attached to the surface. Middle Permian. Zone *Neoschwagerina craticulifera*; Crne Grede, x1.5 (from SREMAC, 1986). c) *Enteletes salopeki* SREMAC, brachiopod living in different environments. Middle Permian. Zone *Neoschwagerina craticulifera*; Crne Grede, x1 (from SREMAC, 1986).



Sl. 13 a) Krpasti greben na lokalitetu Paripov jarak, uz cestu Gospic–Karlobag. Tri stadija u rastu grebena označena su slovima od A do C. Prvi kolonizatori mekog dna su bili mahovnjaci, a glavni grebenotvorci su vapnenačke spužve. Rešetka je učvršćena cijanobakterijskim korama. Širina izdanku je 10 m. Srednji perm. Zona *Neoschwagerina craticulifera* (iz SREMAC, 1991). b) Detalj iz središnjeg dijela grebenske rešetke, s presjekom tanjuraste vapnenačke spužve. Paripov jarak, Srednji perm. Zona *Neoschwagerina craticulifera*, x1 (iz SREMAC, 1991). c) Floutstone s nesortiranim grebenskim kršjem (tempestite) u krovini krpastog grebena. Paripov jarak, Srednji perm. Zona *Neoschwagerina craticulifera*, x1,5 (iz SREMAC, 1991).

Fig. 13 a) Patch-reef at the locality Paripov Jarak, along the Gospic–Karlobag road. Three phases of reef-formation can be recognized (A–C). The first colonizers of the muddy substrate were bryozoans, and the main reef-builders were calcisponges. Framework was fortified with cyanobacterial crusts. Width of the outcrop is 10 m. Middle Permian. Zone *Neoschwagerina craticulifera* (from SREMAC, 1991). b) Detail from the central part of the reef framework, with cross-section through a plate-shaped calcisponge. Paripov jarak, Middle Permian. Zone *Neoschwagerina craticulifera*, x1 (from SREMAC, 1991). c) Floatstone with unsorted reef particles (tempestite) in the upper part of the patch-reef. Paripov jarak, Middle Permian. Zone *Neoschwagerina craticulifera*, x1,5 (from SREMAC, 1991).

Točka 8: Brušansko–oštarijska antiklinala, Kubus

Stop 8: Brušane–Oštarije Anticline, Kubus

Ivo Velić & Branko Sokač

Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: ivelic@igi.hr

Šire područje Baških Oštarija nije samo jedno od najljepših i najprivlačnijih u Velebitu nego je po svojoj geološkoj građi vjerojatno najzanimljivije, najviše istraživano i u literaturi najčešće opisivano. Daleko bi nas odvelo kada bismo samo citirali sve autore i naslove njihovih uradaka vezanih za geologiju Brušansko–oštarijske antiklinale. Zato ćemo se ograničiti na rezultate iz nekoliko radova (SOKAČ, 1973; SOKAČ et al., 1974, 1976b; TIŠLJAR et al., 1991; BLAŠKOVIĆ, 1998) u kojima je navedena i najvažnija starija literatura za geologiju Baških Oštarija i okolnih terena.

Brušansko–oštarijska antiklinala, rasjednutoga SI krila tzv. Brušansko–oštarijskim rasjedom, je samo dio jedne veće, gotovo regionalne antiformne i izrasjedane strukture od Ličkoga Čitluka na JI do Mliništa na SZ, koja u tome smjeru (azimut osi je oko 300°) i tone pod kutom od oko 10° (SOKAČ, 1973; SOKAČ et al., 1974, 1976b). Ovu strukturu izgrađuju klastične i karbonatne naslage širokoga stratigrafskoga raspona od kasnoga karbona do alba, od kojih gornjojurske i donjokredne karbonate većim dijelom prekrivaju tercijarne – tzv. Jelarske breče. Stratigrafski slijed spomenutih naslaga normalan je, a povremeni prekidi taložnoga kontinuiteta uzrovani okopnjavanjem, diskordancijama i promjenama taložnih okoliša, omogućavaju izdvajanje četiri megasekvencije: (1) gornji karbon–donji perm, (2) srednji perm–gornji ladinik, (3) gornji norik–najgorњa jura/donja kreda i (4) tercijar (modificirano prema TIŠLJAR et al., 1991). Nije isključena mogućnost postojanja još jedne sekvencije: nedefinirana granica jura–kreda (pokrivena Jelarskim brečem) mogla bi biti emerijska i diskordantna, što bi uvjetovalo i izdvajanje zasebne kredne sekvencije.

U prvoj megasekvenciji prevladavaju klastične naslage – pješčenjaci i šejlovi u kojima ima proslojaka i leća kvarcnih konglomerata i fuzulinskih vapnenaca. Ove su naslage u jezgri strukture otkrivene od Ličkoga Čitluka do južnih padina Crnoga vrha istočno od Baških Oštarija.

Tektonski pokreti u srednjemu permu odrazili su se značanjim izdizanjem i prekidom marinske klastično–karbonatne sedimentacije, te erozijom istaloženih srednjo–permских i dijela donjopermskih naslaga. U kopnenim okolišima, u kanalima i koritima potoka i rijeka talože se klastične naslage – crvenkasto obojeni pješčenjaci s lećama šarenih konglomerata (Košna konglomerati). To je vrijeme tzv. varističke konsolidacije donjopermskih i karbonskih, a vjerojatno i starijih, na površini danas neotkrivenih naslaga u Velebitu i Lici.

Spomenute kopnene tvorevine odjeljuju prvu od druge megasekvencije koju karakterizira pretežito plitkomor-

ska karbonatna sedimentacija s povremenim terigenim utjecajima od kasnoga donjega perma do kasnoga ladinika. Permski dio sekvencije zastupan je izmjenom rano– i kasnodijagenetskih dolomita (Micijski i neošvagerinski dolomiti) s lećama tamnih vapnenaca obogaćenih organskom tvari. Donjotrijaske naslage talože se pod terigenim utjecajima pa su zastupane pjeskovitim dolomitima i tinjčastim pješčenjacima s proslojcima ooidnih vapnenaca. Srednji trijas je isključivo karbonatan (Diploporni vapnenci), plitkomorskih, platformnih obilježja. Završetak druge sekvencije može se datirati krajem ladinika kada je čitavo velebitsko područje izdignuto. Međutim, u Baškim Oštarijama i jugoistočno do Orjaka nema ladiničkih naslaga. Dio njih je sigurno erodiran u kopnenoj fazi za vrijeme karnika i ranoga norika, a za područje samih Baških Oštarija postoji vjerojatnost da nisu niti taložene. Naime, ovdje kao i u Paklenici utvrđeno je postojanje srednjo–kasnotrijaskih izdignutih paleostruktura (SOKAČ, 1969) koje su okopnjele te trošenjem i erozijom davale ishodišni materijal za sedimentaciju klastičnoga dijela klastično–karbonatno–vulkanogenih naslaga u nedalekom ladiničkom koritu u Donjem Pazarištu, čija je sekvencija debela i preko 400 m. Zaključno, završni član druge megasekvencije na Baškim Oštarijama su anizički vapnenci. Na njihovoj paleookršenoj površini leže kopnene naslage – vinsko–crvenkasti pješčenjaci i pjeskoviti laporji, taložene u vremenskome rasponu od vjerojatno ranoga ladinika do kasnoga norika.

Slično kao i u permu najstariji dio, sada treće megasekvencije zastupan je izmjenom gornjonoričkih i retskih rano– i kasnodijagenetskih dolomita koji su regionalno rasprostranjena poznata formacija tzv. Glavnoga dolomita ili Hauptdolomita. Na Hauptdolomit u kontinuitetu slijedi srednji dio treće megasekvencije – jurski platformni karbonati. U okolini Baških Oštarija jurske naslage najbolje su otkrivene od Kubusa do odvojka ceste prema Ledeniku gdje tercijarne Jelarske breče leže na vapnencima oksforda. S obzirom da su jurske naslage na spomenutom profilu detaljno opisane i stratigrafski raščlanjene u više radova kao na pr. NIKLER & SOKAČ (1968), SOKAČ (1973), SOKAČ et al. (1974, 1976b) i TIŠLJAR et al. (1991) ovdje ćemo se ograničiti samo na njihove opće lito- i biostratigrafske podatke.

U donojurskim naslagama jasno se razlikuju tri litostratigrafske cjeline: starija za koju je karakteristična izmjena vapnenaca i dolomita, srednja prevladavajuće vapnenačka u rasponu naslaga s litiotisima i mlađa u bioturbiranim, tzv. mrljastim vapnencima. Na jugoistočnim padinama Basače morfološki je izražena sekvencija izmjene debelih slojeva

madstona/skeletnih vekstona s dazikladalnim algama – *Palaeodasycladus maditerraneus* PIA i kasnodijagenetskih dolomita donjega dijela donje jure. U srednjem dijelu donjojurskoga stupa pojave dolomita su rijetke, pa prevlada izmjena različitih tipova vapnenaca: madston, skeletni vekston, ooidno–bioklastični pekston/grejnston, onkoidno–bioklastični vekston/pekston do floutston i litiotis kokane, mjestimice i tempestitne. Bogat je i fosilni sadržaj. Od makrofosa najbrojniji su školjkaši, pretežito litiotisi *Lithotis problematica* GUEMBEL i drugi, pa puževi i osobito brahiopodi. Među mikrofossilima najčešće su bentsne foraminifere od kojih su provodne *Lituosepta recoarensis* CATI, *Orbitopsella primaeva* (HENSON), *O. praecursor* (GUEMBEL) i *Paleomayncina termieri* HOTTINGER te alga *Palaeodasycladus maditerraneus* PIA. Mlađi dio donjojurskih naslaga pripada tzv. mrljastim vapnencima. Mrljasti izgled potječe od intenzivnoga bioturbiranja madstona/peletnih vekstona koji uz karbonatni mulj sadrže i varijabilne količine bioklasta moluska i bodljikaša, sitnih foraminifera, peletnih kortoida i ooida.

Srednjojurske naslage zastupane su pretežito izrazito debeloslojevitim madstonskim vapnencima sa sporadičnim proslojcima skeletno–onkoidnih i algalnih vekstona, foraminiferskih vekston/pekstona i krupnozrnastih kasnodijagenetskih dolomita. Fosilifernost je relativno slaba. U starijem dijelu rijetki su nalazi foraminifere *Mesoendothyra croatica* GUŠIĆ i alge *Selliporella donzellii* SARTONI & CRESCENTI, a u mlađem dijelu uz spomenutu algu foraminifere *Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI) i *Satorina apuliensis* FUORCADE & CHOROWICZ.

Gornjojurske naslage zastupane su tamnosivim rekristaliziranim, i u različitom stupnju dolomitiziranim oksfordskim vapnencima – uglavnom fosilfernim madstonima, foraminferskim vekston/pekstonima s proslojcima smeđih kasnodijagenetskih dolomita. U starijoj literaturi opisivani su kao "Kladokoropsis vapnenci". Kladokoropsisi, tj. *Cladocoropsis mirabilis* FELIX je i najčešći od makrofosa, a od drugih skupina zapaža se kršje školjkaša, puževa i bodljikaša. U mikrofossilnim zajednicama najvažnije su alga *Salpingoporella sellii* CRESCENTI i foraminifere *Kurnubia palastiniensis* HENSON, *Trocholina alpina* LEUPOLD i *T. elongata* LEUPOLD.

Brušansko–oštarijska antiklinala najbolje je otkrivena i kao antiformna struktura najbolje se na površini očrtava na užem području Baških Oštarija. U jezgri, u osnom dijelu antiklinale su srednjopermski crveni pješčenjaci s lećama kvarcnih konglomerata. Kako os strukture blago tone prema zapadu–sjeverozapadu tako se periklinalno redaju sve mlađi stratigrafski članovi – najprije mlađe srednjopermski i gornjopermski dolomiti, pa donjotrijaski pjeskoviti dolomiti i tinčasti pješčenjaci, anizički vapnenci, Hauptdolomit i jurske naslage.

Opisana struktura u svome je SI krilu presječena normalnim rasjedom s horizontalnim kretanjem desne orijentacije (SOKAČ et al., 1974; BLAŠKOVIĆ, 1998) u literaturi imenovanim Brušansko–oštarijski rasjed. Njime su na Baškim Oštarijama dovedene u kontakt permske, donjo- i srednjotrijaske naslage opisane antiklinale sa srednjo- i gornjojurskim naslagama u SI krilu rasjeda, a Hauptdolomit i donjotrijasci karbonati antiklinale s Jelarskim brečama od kojih su izgrađeni Božin kuk te niz od Laginca i Kize preko drugih Dabarskih kukova sve do Bačića kuka.

Točka 9: Kontakt platformnih karbonata oksforda i tercijarnih Jelarskih breča, Šušanj

Stop 9: Contact of Oxfordian Platform Carbonates and Tertiary Jelar Breccia, Šušanj

Ivo Velić & Igor Vlahović

Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: ivelic@igi.hr

Najveći dio gornjojurskih naslaga u Velebitu pokriven je oligocenskim Jelar–brečama. Tako je na ovoj točki od gornje jure otkriven samo niži dio (oksford) predstavljen različitim varijetetima madstonsko/vekstonskih vapnenaca nastalih u okolišima zaštićenih plićaka i/ili laguna karbonatne rampe. Na njima leže heterogenetske Jelarske breče izgrađene od različitih fragmenata mezozojskih i paleogenskih vapnenaca, a mjestimice ponekim i od srednjoeocenskog fliša ili čak i gornjoeocenskih Prominskih kon-

glomerata. Na ovom lokalitetu prevladavaju ulomci jurske i donjokredne starosti, rjeđe se nađu i ulomci gornjokrednih rudistnih vapnenaca, a vrlo rijetko i eocenskih alveolinskih vapnenaca.

Ulomci su veličine od milimetarskih do blokova i olisolita dekameterskih dimenzija, a najčešći su od 1–10 cm. Veživo je vapnenačko, mjestimice i kalcitično, u zonama veće tektonske poremećenosti i boksično. Breče su potpuno nesortirane i neslojevite. Autohtonih fosila u njima

nema. U ovome području debljina im se procjenjuje od nekoliko centimetara do 300 m, maksimalna u Južnom Velebitu i preko 500 m (na pr. u Velikoj Paklenici).

Postanak breča nije do sada u potpunosti objašnjen. No, gotovo se svi istraživači slažu u tome da su njihov postanak i položenje vezani uz tercijarne tektonske pokrete zabilježene od oligocena. Izdizanjem i tangencijalnom tektonikom nastao je reljef jako izražene morfologije uzduž tektonskih zona. Intenzivnom erozijom otkrivene paleogenske, kredne, jurske i trijaske naslage daju materijal

– različite fragmente, gromade i blokove stijena od kojih su izgrađene ove breče. To je proces sličan procesu nastajanja recentnih sipara. Radilo bi se, dakle, o kopnenom sedimentu, koji je možda jednim svojim dijelom dospio i u vodenu sredinu. Neotektonskim (radijalnim) pokretima dijelovi ovih breča izdignuti su i do najviših velebitskih vrhova (Baške Oštarije – Kiza, Dabarski Kukovi, Bačića kuk, te na pr. Crnopac, Tulove grede, Hajdučki i Rožanski kukovi).

Geologija Vinodola

Geology of Vinodol

Ivan Blašković

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: ivan.blaskovic1@zg.htnet.hr

Vinodol (*Vallis vineariae*) je osebujna dolina bogata vegetacijom u inače siromašnom krškom okruženju. Pruža se između Novog Vinodolskog i Bakarskog zaljeva.

Zahvaljujući vinogradarstvu, stočarstvu i dijelom maslinarstvu brojno stanovništvo tijekom povijesnog razvoja ostavilo je u nasljeđe i značajne spomenike kulture. Tragovi rimskog imperija vezani su uz graditeljstvo cesta (Akvileja–Rijeka–Split), naselja Ad Turres (= Crikvenica, I. i II. stoljeće nove ere), utvrda (Badanj, IV st.), izradu keramike i dr. Brojni su i bogati nalazi ranohrvatske kulture (VIII i IX st.) zabilježeni na nekoliko lokaliteta u Vinodolu.

Jedan od najznačajnijih pravnih spomenika hrvatske povijesti je Vinodolski zakon, pisan glagoljicom, a sastavljen 6.1.1288. godine. Zakon je sastavila skupština predstavnika devet Vinodolskih općina–gradova: Novog, Ledenica, Bribira, Grižana, Drivenika, Hreljina, Bakra, Trsata i Grobnika, a pod ingerencijom knezova Krčkih (kasnije Frankopana). Srednjovjekovnu kulturu renesanse obogatio je Juraj Klović (Don Giulio Clovio Croata, XVI. st., rođen u Grižanima), a iz Bribira potječe i znani botaničar Josip Pančić (XIX. st.).

Ekonomskom emigracijom u drugoj polovici XIX. stoljeća započinje sve to veći odliv stanovništva, koji nažalost traje i danas.

Točka 10: Franovići – panoramski pregled Vinodola

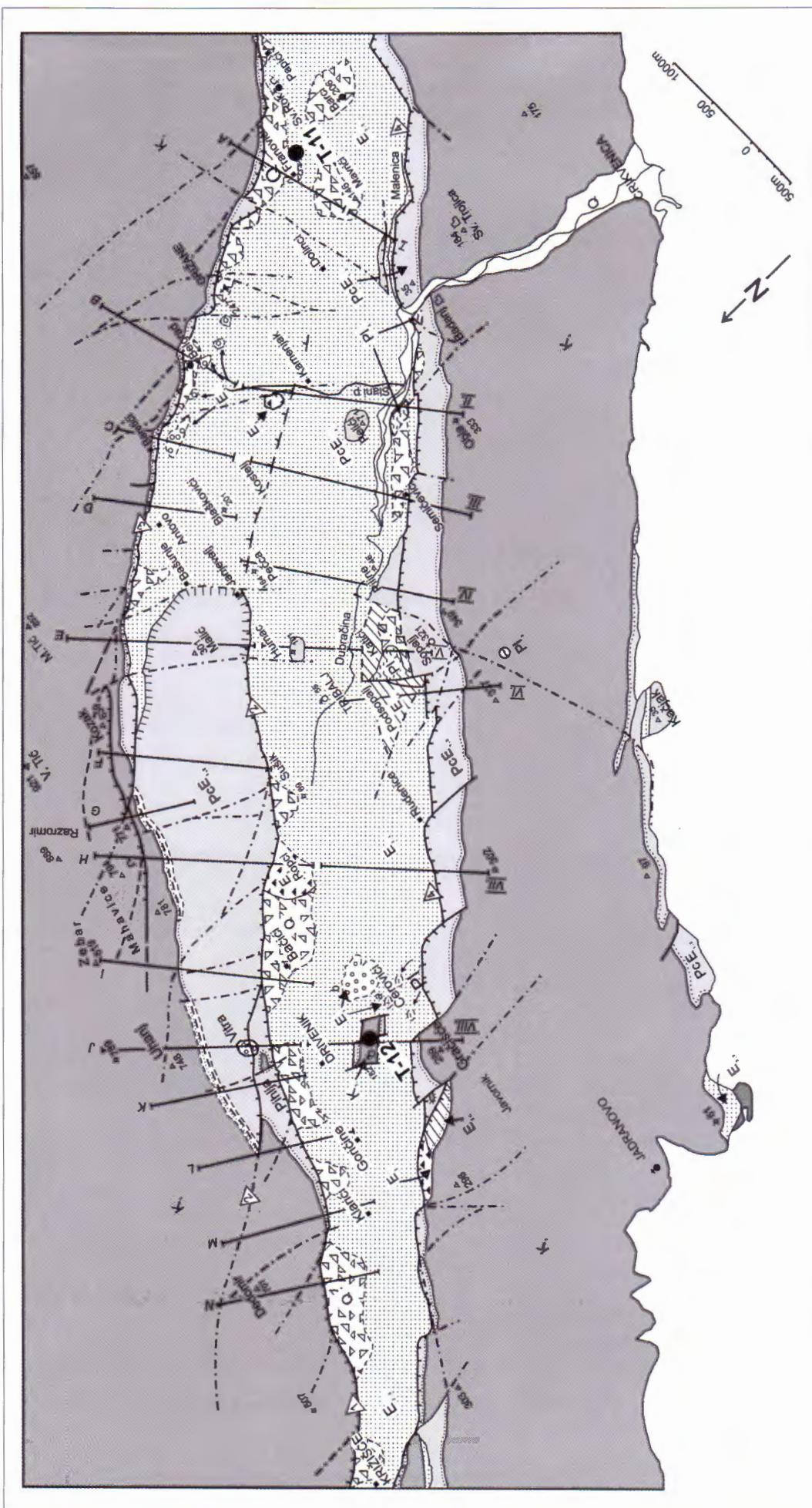
Stop 10: Franovići – Panoramic Overview of the Vinodol Valley

U geološkom, a i geomorfološkom pogledu Vinodol se pruža paralelno s obalom dinarskim pravcem, a proteže se od Povila na jugoistoku preko Vinodola *s.str.* sve do Bakarskog zaljeva, ali i s nastavkom u dolinu Rječine i dalje prema sjeverozapadu.

Vinodol predstavlja složenu i tektonski modificiranu sinklinalnu strukturu (sl. 14). Izgrađena je iz gornjokrednih i paleogenskih vapnenaca u krilima te eocenskih fliških naslaga u jezgri strukture. Karbonatne stijene obrazuju vrlo strme od skoro okomite vrleti sjeveroistočne strane doline, kao i markantni asimetrični greben između Vinodola i mora. Dno doline izgrađeno je pretežno iz eocenskih fliških naslaga pokrivenih dijelom mlađim pliocensko–kvarternim taložinama.

Stratigrafski pregled

Najstariji dio (gornjo-)krednih naslaga, superpozicijski definiran, predstavljaju vapnenačko–dolomitne breče identične onima iz šireg područja Istre (Čićarija – alb–ceno-



Sl. 14 Geološka karta dijela Vinodola između Križića i Grižana (iz BLAŠKOVIĆ, 1999).

Fig. 14 Geological map of part of Vinodol between Križiće and Grižane (from BLAŠKOVIĆ, 1999).

man). Prisutne su tek na sjeveroistočnoj strani Vinodola. Kompleks izmjene vapnenaca i dolomita s radiolitidama i čestim primjercima *Chondrodonta joannae* cenomana i turona, te turonskih mikritnih vapnenaca siromašnih fosilima, kao i tipičnih rudistnih (radioliti, hipuriti i dr. fosili) eventualno starijeg senona (konjak–santona) izgrađuje najveće dijelove sjeveroistočne strane doline, kao i greben između Vinodola i mora.

Njima su u građi pridruženi i paleogenski (paleocen–eocen) foraminiferski vaspnenci. Diskordantno i transgresivno ležeći na rudistnim vaspncima, zastupljeni su:

- Paleocenskim brakičnim vaspencima – ekvivalentima Kozinskih naslaga, s bogatom faunom miliolida, gastropoda (*Cosinia* sp., *Stomatopsis* sp., i dr.) ali vrlo male debljine (2–3 metra), tek mjestimice isključivo na sjeveroistočnoj strani Vinodola.
- Na obje strane Vinodola široko rasprostranjenim foraminferskim (alveolinskim i numulitnim) vaspencima s bogatim fosilnim sadržajem kojima je dokumentiran donji i srednji eocen (*Alveolina aramaea*, *A. solida*, *A. laxa*, *A. aragonensis*, *A. oblonga* i u višim dijelovima slijeda numuliti, *Nummulites subplanulatus*, *N. partschi*, *N. millecaput*, *Assilina spirula* i dr.).

U najvišem dijelu foraminferskih vaspnaca, povećanjem glinovite komponente, smanjenjem debljine slojeva (sve do 2–3 cm) nazire se postupan prijelaz u fliške naslage, koje izgrađuju dno doline. Zastupljene su laporima i pješčenjacima u relativno pravilnoj izmjeni, formirajući mjestimice prepoznatljive turbiditske sekvencije. Međutim, istaknuta je dominacija laporanog u odnosu na pješčenjake. Bogata je fauna ustanovljena unutar fliških klastita, no nejednaka po sadržaju i po utvrđenoj rasprostranjenosti. Tako je u pretežito laporovitim naslagama dominantna fauna nanofosila, planktonskih i bentičkih foraminifera (Slani potok). Nasuprot tome, unutar izmjene pješčenjaka krupnijeg zrna te laporanog ustanovljena je bogata fauna litorala, pretaloženih alveolima i numulitom, zatim školjaka, puževa i drugih organizama (Kosavin kraj Bribira: *Cyrena sirena*, *Melania alpina*, *Cerithium ligatum*, *C. diaboli*, *C. laterastricum* i dr. – FRAUSCHER, 1884.; Drivenik: *Diaستoma costellatum alpinum*, *Natica vulcani*, *N. sigaretina*, *Cerithium vellicatum*, *Rimella fissurella* i dr. – VOGL, 1912). Sedimentacija fliškog kompleksa započeta već u donjem eocenu odvija se najvećim dijelom u srednjem i gornjem eocenu.

Osim opisanih tipičnih fliških naslaga, prisutnih u cijeloj dolini, na pojedinim lokalitetima (Drivenik, Triblja, Belgrad, Kosavin, Bribir) ustanovljen je i faciesno raznoliki razvoj mlađeg dijela fliškog kompleksa. Zastupljen je jednim od najčešćih litofacijesa – konglomeratima, konglomeratičnim do krupnozratnim pješčenjacima i pjeskovitim laporima. Kao valutice unutar konglomerata i konglomeratičnih pješčenjaka pojavljuju se i laporci starijeg nivoa fliša, ali i kvarciti, kvarc-sericitski i tinjčasti škriljavci, te filiti, karakteristični za paleozojske stijene Gorskog kotara (Fužine).

U konglomeratima i konglomeratičnim pješčenjacima osim pretaloženih gastropoda i školjaka iz starijeg dijela fliških naslaga prisutna je fauna s izrazito slabijim stupnjem

fosilizacije. Određeni su sljedeći oblici: *Ostrea flabellulaeformis* v. SCHAUROTH, *Ostrea cyatulla* LAMARC, *Chama granulosa* d'ARCHIAC, *Cyrena sirena* BRONGNIART, *Luciana prominensis* OPPENHEIM, *Thracia prominensis* OPPENHEIM, *Corbula cicer* VINASSA DE REGNY, *Meretrix villanova* DESHAYES, *Natica incompleta* ZITTER, *N. (Ampullina) latispira* OPPENHEIM, *N. (Ampullina) Edwardsi* DESHAYES, *Casis orbigny* BELLARDI, *Deshayesia alpina* d'ORBIGNY.

Napomene o stupnju fosilizacije i indikacijama pretaložavanja uočenim na skupini školjkaša upućuju na autohtoniju zajednicu školjkaša i puževa. Citirane vrste upućuju, uz sličnost litoloških karakteristika, na vremensku i genetsku istovjetnost prominskih naslaga Ravnih Kotara i fosilnih konglomerata i pješčenjaka Vinodola.

Kao lateralni ekvivalenti odnosno litofacijesi mlađeg nivoa fliških naslaga mjestimice se, posebno uz jugozapadni rub Vinodola i uz padine Drivenika, susreću izolirane pojave Jelar-formacije – vaspnenačkih breča, Prominskih vaspnenačkih konglomerata, numulitnih breča te grebenskih vaspnaca. Nejasan je stratigrfski položaj litofacijesa zastupljenog naglašenom izmjenom laporanog i glinovitih vaspnaca u laminama i slojevima centimetarskih dimenzija.

Neogenske naslage također su prisutne u Vinodolu. Do sada su ustanovljene tek na ograničenim, tektonski uvjetovanim manjim površinama. Južno od Bribira 1848. god. na dubini od 34 metra u sloju ugljena nađeni su ostaci vertebrata, *Mastodon angustidens*, *M. arvernensis*, *M. borsoni*, *Tapirus priscus* i dr. (HOERNES, 1848), što govori o miocenskoj slatkovodno-močvarnoj sredini tog lokaliteta.

Nalazi siltoznih glina u okolini Triblja s fosilnim ostacima *Viviparus* sp. i *Unio* sp. (KOCH, 1922) ili istih sedimentata ispod gradine Badanj (ČUBRILOVIĆ, 1935), upućuju na pliocenske jezerske sredine taloženja u Vinodolu. No, iste naslage ustanovljene su i na grebenu između Vinodola i mora u vrtači zapadno od kote 334 m, Sopalj, 160 m iznad spomenutih nalaza u dolini, što predstavlja i određeni indikator tektonskih promjena u intervalu pliocen–recentno razdoblje. Kao indikacija tektonizma istog razdoblja tumače se i reversno navučeni foraminiferski vaspnenci na pliocenske naslage ispod gradine Badanj (BLAŠKOVIĆ, 1983, 1999).

Kvartarne siparišne breče, kao najmlađa kronostratigrafika jedinica, su asimetrično i nepravilno raspoređene duž obju strana Vinodola. Uglavnom prekrivajući kontakt vaspnaca i fliša, slabije su površinom i debljinom zastupljene uz jugozapadni rub doline, a znatno su zastupljenije i na višoj hipsometrijskoj poziciji uz sjeveroistočni rub Vinodola. I položaj "slojeva" tih slabno cementiranih vaspnenačkih siparišnih breča je različit. Uz jugozapadni rub nagib "slojeva" jednak je ili veći od prirodnog nagiba izvornog sipara. Nasuprot tome, uz sjeveroistočni rub Vinodola siparišne breče su sa znatno manjim nagibom "slojeva" sve do njihova horizontalnog položaja (Franovići). I upravo zbog navedenih elemenata kvartarne siparišne breče su i upečatljivi indikator načina, intenziteti i vremena tektonskih promjena.

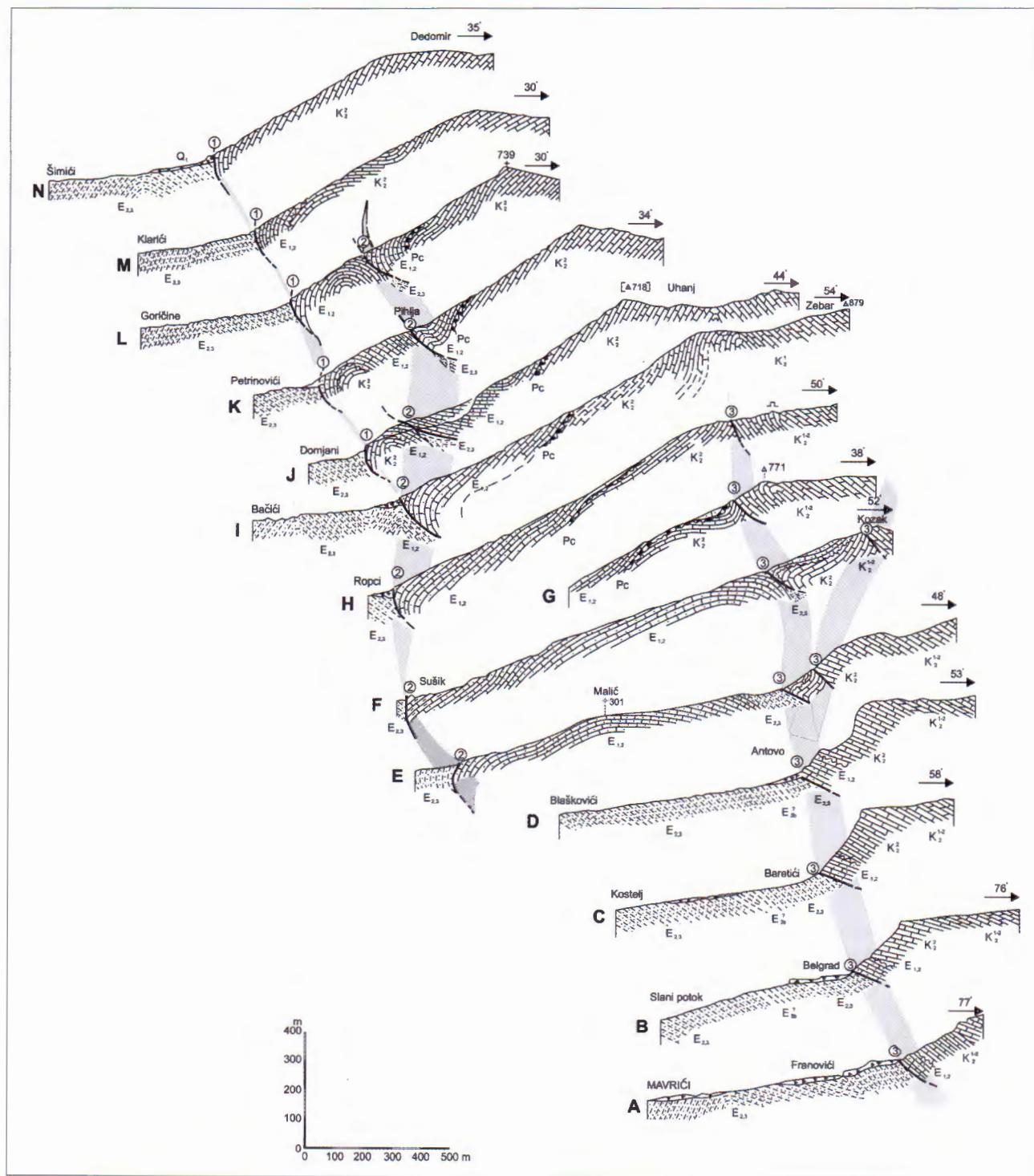
Tektonske karakteristike

Vinodol predstavlja primarno složenu sinklinalnu strukturu, nalik sinklinoriju, gdje dominiraju eocenske fliške naslage, a između dvije antiklinalne strukture izgrađene iz pretežno gornjokredno-paleogenskih vapnenaca.

Tektonskim promjenama u eocensko–posteocenskom razdoblju, na dodiru relativno duktihlih, pretežno fliških naslaga i rigidnih vapnenačkih stijena formiraju se sustavi osnovnih rasjeda, koji definiraju i recentni geomorfološki izraz Vinodola. To su složeni rasjedni sustav (oznake 1–3

unutar trokuta na sl. 14) uz sjeveroistočni rub doline, te relativno jedinstveni rasjedni sustav uz jugozapadni rub doline (4 na sl. 14).

Složeni rasjedni sustav (1–3) uz sjeveroistočni rub Vinodola, istraživan na dijelu Vinodola, karakteriziran je helikoidalnim oblicima rasjednih ploha te stapanjem dva ili više rasjeda u (relativno) jedinstveni rasjed dinarskog pružanja na granici karbonatnog kompleksa s flišom Vinodola. Naime, pojedini od tih rasjeda na platou sjeveroistočno od Vinodola čak i normalnog karaktera, u svom pružanju prema jugoistoku, promjenom nagiba para-



Sl. 15 Sjeveroistočna padina Vinodola (iz BLAŠKOVIĆ, 1999).

Fig. 15 North-eastern slope of Vinodol (from BLAŠKOVIĆ, 1999).

klaze prelaze u reversni rasjed i stupaju se sa sličnim rasjedom ili rasjedima u dodiru s fliškim sedimentima doline.

Istim smjerom odvija se i promjena nagiba rasjedne plohe; od gotovo vertikalnog položaja paraklaze se postupno nagnju prema sjeveroistoku sve do $60\text{--}50^\circ$, odnosno $30\text{--}25^\circ$. Sa smanjenjem nagiba rasjedne plohe raste intenzitet reversnog rasjedanja.

Rezultat poremećaja uz složeni rasjedni sustav 1–3 je kompleksnost tektonske građe sjeveroistočne strane Vinodola; u sjeverozapadnom dijelu, između Križića i Triblja može se rekonstruirati blaže ili strmije položeno jugozapadno krilo kredno–paleogenske antiklinale (sl. 15, profili N–H).

Jugoistočno od Triblja, prema Novom strme do okomite vrleti sjeveroistočnog oboda Vinodola rezultat su razorenog tjemena prema jugozapadu prebačene krednopaleogenske antiklinale. Ona je u reversnom kontaktu s eocenskim flišom Vinodola (sl. 15, profili H–A).

Jugozapadni vinodolski rasjed (4) je struktura s morfološki naglašenom stepenicom u reljefu, te geološki kontaktom kontrastnih flišnih naslaga i foraminiferskih vapnenaca. Rasjedni kontakt, kao i rasjedna ploha pokriveni su aktivnim siparima. Međutim, i u takvim uvjetima utvrđen je položaj paraklaze. Ona je uglavnom nagnuta prema sjeveroistoku s nagibom od $50\text{--}85^\circ$, a na dva lokaliteta (Badanj, Sopalj) utvrđen je i nagib paraklaze prema jugozapadu pod kutem od 50 odnosno 72° . Do promjena u veličini i smjeru nagiba paraklaze dolazi najčešće uz brojne poprečne i dijagonalne rasjede, kojima je narušen kontinuitet u pružanju Jugozapadnog vinodolskog rasjeda (4) (sl. 16, VIII–I.).

I ovdje je posebno naglašen helikoidalni oblik rasjedne plohe, bez obzira na promjene vezane uz poprečne i dijagonalne rasjede (sl. 17).

Ovisno o nagibu rasjedne plohe različite su strukturne deformacije u pretežno fliškom kompleksu doline. One predstavljaju i posebnost u morfologiji i geologiji Vinodola. To su istaknuta i osamljena uzvišenja izgrađena iz gornjokrednih vapnenaca (Drivenik, kota 195), foraminferskih vapnenaca (Humac, kota 101, istočno do Triblja), zatim pojave također foraminferskih vapnenaca kod Kamjenjaka, Badnja i dr. Nasuprot njima, znana su i tektonski uvjetovana udubljenja "džepovi" u kojima su sačuvani od erozije pliocenski sedimenti (Badanj, Podsopalj i dr.).

Površinska rasprostranjenost, raspored debljina, hipsometrijska pozicija te strukturne karakteristike kvartarnih siparišnih breča ne samo da su indikator načina tektonskih promjena već i vremena njihovog odvijanja. Očito je da su se najznačajniji tektonski pokreti, koji su rezultirali današnjim izgledom Vinodola i definiranim strukturama, zbivali u najmlađem razdoblju, tijekom pliocena i kvartera.

No tektonizam Vinodola i šireg okruženja nastavlja se i u recentnom razdoblju. O tome svjedoče značajniji potresi, posebno zabilježeni u Vinodolu 1323. i 1916. godine, VIII–IX stupnja CMS-skale, kao i niz i danas bilježenih potresa slabijeg intenziteta.

Prisutnost recentne tektonske aktivnosti ogleda se i u nestabilnosti razvedenog reljefa posebno unutar fliškog kompleksa. Očito su i vrlo učestala oštećenja na asfaltiranim komunikacijama (bez obzira na tehničku pripremu podloge). Ovdje valja navesti i jedno od najvećih spirališta, klizišta (vododerina) i danas aktivno a to je Slani potok unutar pretežno laporovitog razvoja fliških naslaga. Pokušaji saniranja, započeti još u drugoj polovici 19. stoljeća, traju i danas, ali nažalost ne istim tempom i intenzitetom.

Iz istog razdoblja su i planski izvedene kaptaže lokalnih izvora, pretežno vezanih na tektonske kontakte karbonatnih i fliških naslaga. I ovdje se, nažalost mora istaknuti nebriga o tim za život značajnim, a i graditeljski važnim objektima. Uz takova izvorišta su locirana naselja, pa i ona indirektno upućuju na šire geološke okvire – geološki sastav, stabilnost terena, hidrogeološke uvjete i slično.

Hidroenergetski potencijali šireg krškog okruženja Vinodola kao i povoljne geomorfološke karakteristike, t.j. hipsometrijske pozicije, dale su osnovu za izgradnju hidroenergetskog sustava HE Vinodol, gdje vode Gorskih Kotara (akumulacije Lokve i Fužine) daju električnu energiju, a koriste se iz formirane akumulacije u Vinodolu i za vodosnabdjevanje industrijskih pogona na otoku Krku.

Točka 11: Drivenik

Stop 11: Drivenik

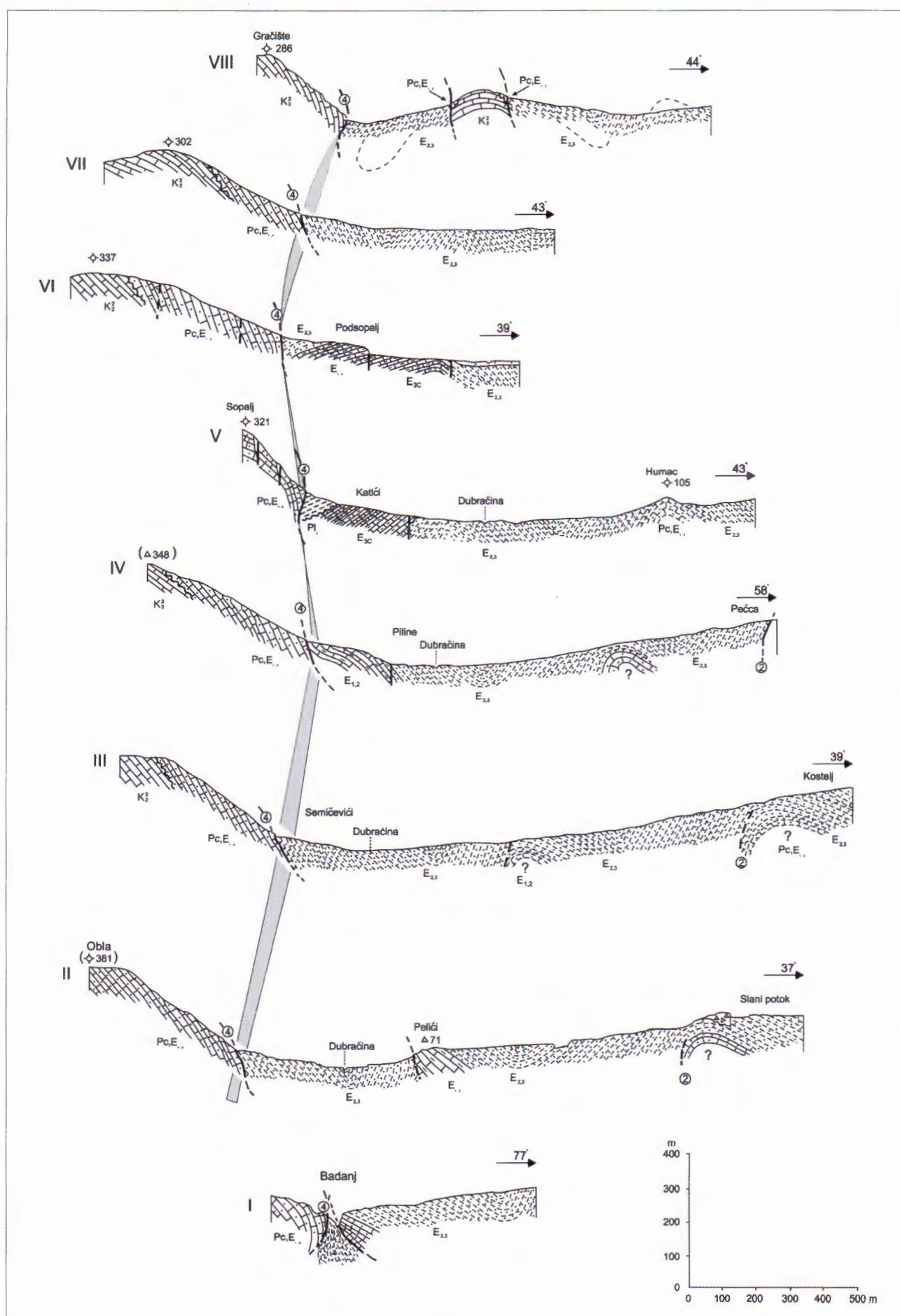
Objašnjenje tektonskog prodora gornjokrednih vapnenaca Drivenika vezano je na nagib i oblik rasjedne plohe Jugozapadnog vinodolskog rasjeda (4 na sl. 14, sl. 17 i 18).

Uz blaži nagib rasjedne plohe dolazi do relativnog izdizanja krovinskog krila rasjeda, uz izostajanje deformacija većih razmjera unutar flišnih naslaga.

Uz veći nagib rasjedne plohe, između $65\text{--}80^\circ$, i koji je karakterističan za pretežni dio jugozapadnog ruba Vinodola, u kontaktu su paleogenski vapnenci i flišne naslage. Prepostavlja se znatniji horizontalni domet plikativnih deformacija unutar flišnih sedimenata doline.

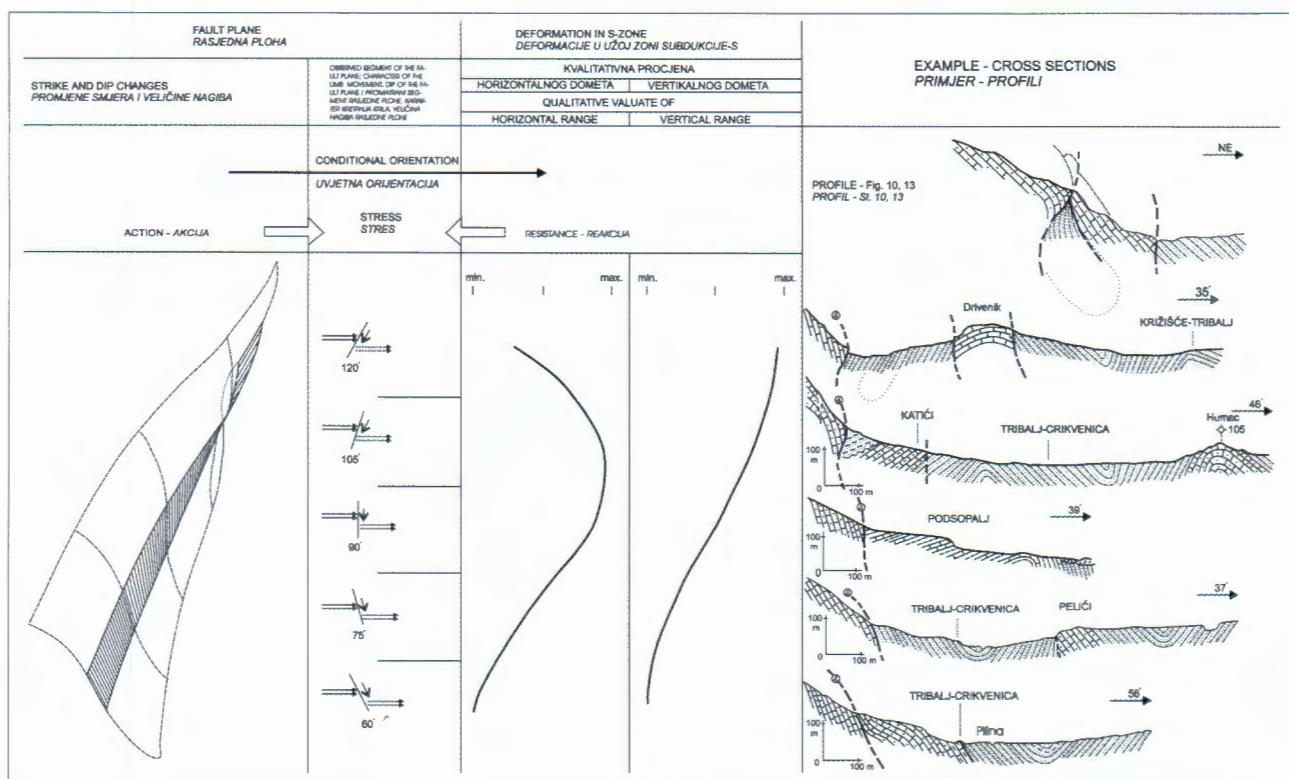
Okomiti, okomitom bliski položaj rasjedne plohe, dovodi do antiklinalnog oblikovanja, a istovremeno i relativnog izdizanja kompleksa stijena krovinskog krila rasjeda ili krila u smjeru pritiska. To izaziva i znatnije strukturne promjene u smislu boranja s većim horizontalnim domaćnjem.

Prebačeni položaj paraklaze uvjetuje uz sinklinalno svinjanje i pojačano tonjenje flišnih i mlađih (pliocenskih) naslaga u krilu rasjeda s mlađim naslagama i mogućnost njihovog očuvanja od naknadne erozije. Kompenzaciju dubljem spuštanju uz jugozapadni rasjed nalazimo u sekundarnom boranju flišnih naslaga šireg prostora u smjeru profilne linije, i dijelom u izdizanju i antiklinalnom oblikovanju foraminferskih vapnenaca (Humac, kota 101). Blažem nagibu prebačene rasjedne plohe (Gračić–Drivenik, kamolom Badanj) odgovaraju značajnije strukturne promjene na manjem prostoru a većeg vertikalnog domaćaja. One nalaze izraz u tektonskom prodoru stijena podloge flišnog kompleksa, paleogenskih foraminferskih vap-



Sl. 16 Jugozapadni Vinodolski rasjed (iz BLAŠKOVIĆ, 1999).

Fig. 16 South-western Vinodol fault (from BLAŠKOVIĆ, 1999).



Sl. 17 Oblak rasjedne plohe i stupanj deformacija u užoj zoni subdukcije (iz BLAŠKOVIĆ, 1999).

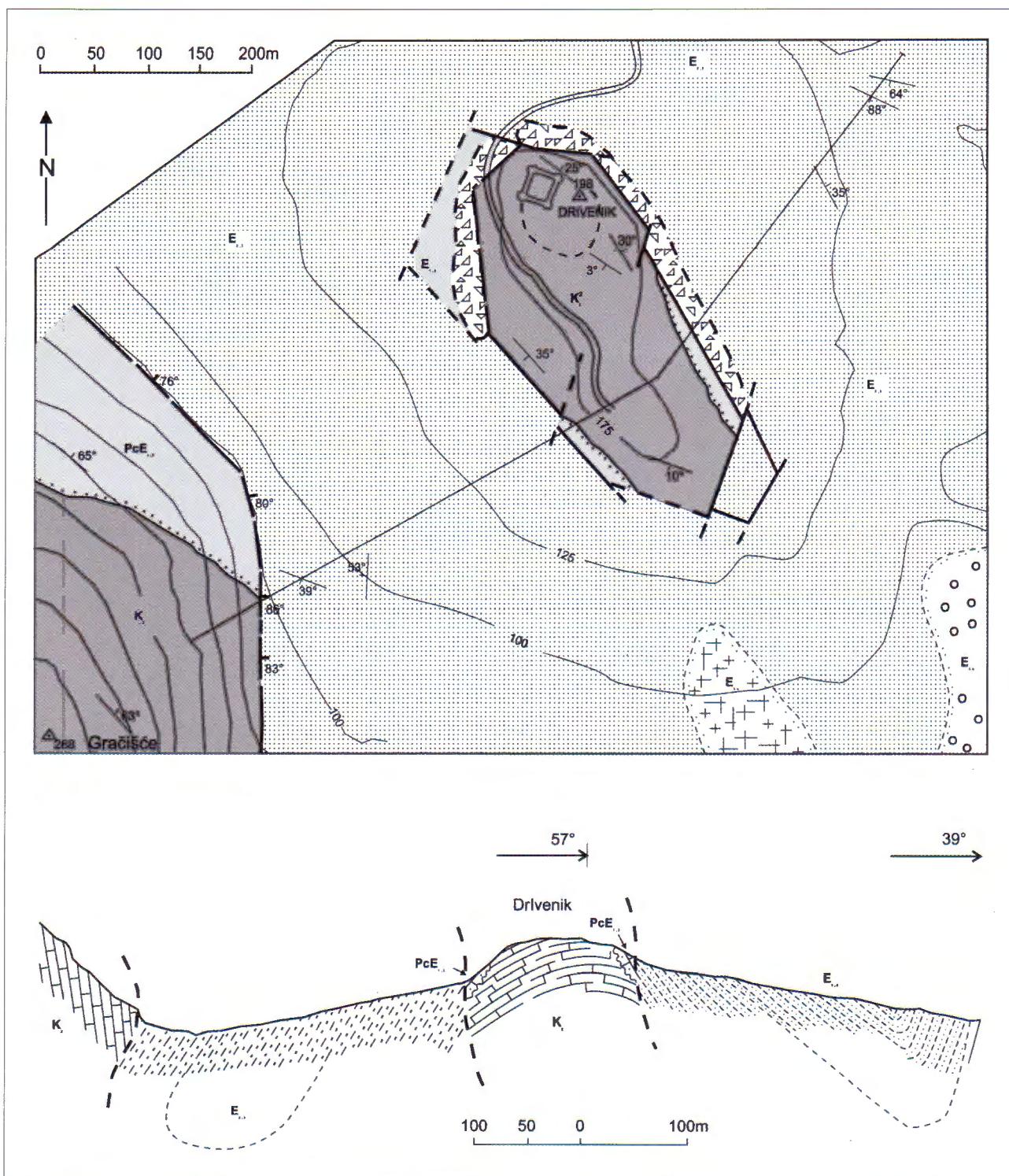
Fig. 17 The fault plane geometry and extent of deformation in the narrower zone of subduction (from BLAŠKOVIĆ, 1999).

naca (kamenolom Badanj), ili čak starijih, gornjokrednih vapnenaca. Nastale su kao posljedica dubljeg domaćaja pritisaka podvlačenja, prenošenih položajem i nagibom rasjedne plohe, kao i zatećenim izdignutim ili utonulim paleostrukturnim oblicima u vrijeme konačnog oblikovanja, kao u slučaju Drivenika.

Približavanje struktura većeg intenziteta deformacija uslijed sve blažeg nagiba prebačene rasjedne plohe (kamenolom Badanj) može ići sve do uklještenja sinklinalno oblikovanih flišnih naslaga i tektonskog kontakta foraminferskih vapnenaca dviju antiklinalnih struktura suprotnih vergencija.

Literatura

- BLAŠKOVIĆ, I. (1983): O rasprostranjenosti i položaju pliocenskih i kvarternih taložina u Vinodolu (About distribution and position of Pliocene and Quaternary sediments at Vinodol). – Geol. vjesnik, 36, 27–35, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1991): Raspored uzdužnih, reversnih i normalnih rasjeda i konstrukcija oblika i dubina ploha podvlačenja (Disposition of the longitudinal, reverse and normal faults and the construction of the forms and depths of the under-thrusting surfaces). – Geol. vjesnik, 44, 247–256.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1997): The helicoidal fault systems of Vinodol and their genesis. – Geol. Croatica, 50/1, 49–56.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1998): The two stages of structural formation of the coastal belt of the External Dinarides. – Geologija Croatica, 51/1 75–89.
- BLAŠKOVIĆ, I. (1999): Tectonics of part of the Vinodol Valley within the model of the continental crust subduction. – Geol. Croat., 52/2, 153–189.
- BLAŠKOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1983): Prominske i Jelar naslage u Vinodolu (Hrvatsko primorje) (Promina and Jelar deposits in the Vinodol area). – Geol. vjesnik, 36, 37–50.
- BRAUN, K. & POLLAK, D. (2000): Autocesta Bregana–Zagreb–Dubrovnik, Dionica Josipdol–Mala Kapela (jug), Inženjerskogeološki izvještaj za tunel "Mala Kapela". – Arhiva IGI, 19/00.
- ČUBRILOVIĆ, V. (1938): Geološki sastav Vinodola i okoline (Geologischer Bau des Vinodol und Umgebung). – Vesn. Geol. istr. Kralj. Jug., VII, 115–33, Beograd.
- FLÜGEL, E. (1977): Environmental models for Upper Paleozoic benthic calcareous algal communities. – U: FLÜGEL, E. (ur.): Fossil Algae, 314–343, Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg.
- GRIMANI, I., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., ŠKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Crikvenicu L33–102 (Geology of the Crikvenica sheet



Sl. 18 Detaljna geološka karta i profil predjela Drivenika (iz BLAŠKOVIĆ, 1999).

Fig. 18 Detailed geological map and cross-section of the Drivenik area (from BLAŠKOVIĆ, 1999).

1:100.000).— Institut za geološka istraživanja, Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd, 47 str.

HÖRNES, M. (1848): Fossile Säugetiere von Bribir.— Heidingers Ber. über die Mitteil. Von Fr. d. Naturwiss., Bd. 4, Wien.

IBRAHIMPAŠIĆ, H. & SREMAC, J. (2002): End Permian regression – evidence from meiobenthic fossil communities from the Velebit Mt. (SW Croatia).– The Third International Congress “Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology” EMMM’2002, Program & Abstracts, 101–103, Beč.

JURKOVIĆ, I. & PAMIĆ, J. (2001): Geodynamics and metallogeny of Variscan complexes of the Dinarides and South Tisia as related to plate tectonics.— *Nafta*, 52/9, 267–284.

KOCH, F. (1922): Pliocenske paludinske naslage Vinodolu u Hrvatskom primorju (Die pliocänen Paludinen-schichten im Vinodol im kroat. Küstengebiete).— Glasn. Hrv. prir. društva, 34/2, 187–193, Zagreb.

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. (1973): Trogkofel-Ablagerungen in Kroatien.— Geologija, 16, 357–378, Ljubljana.

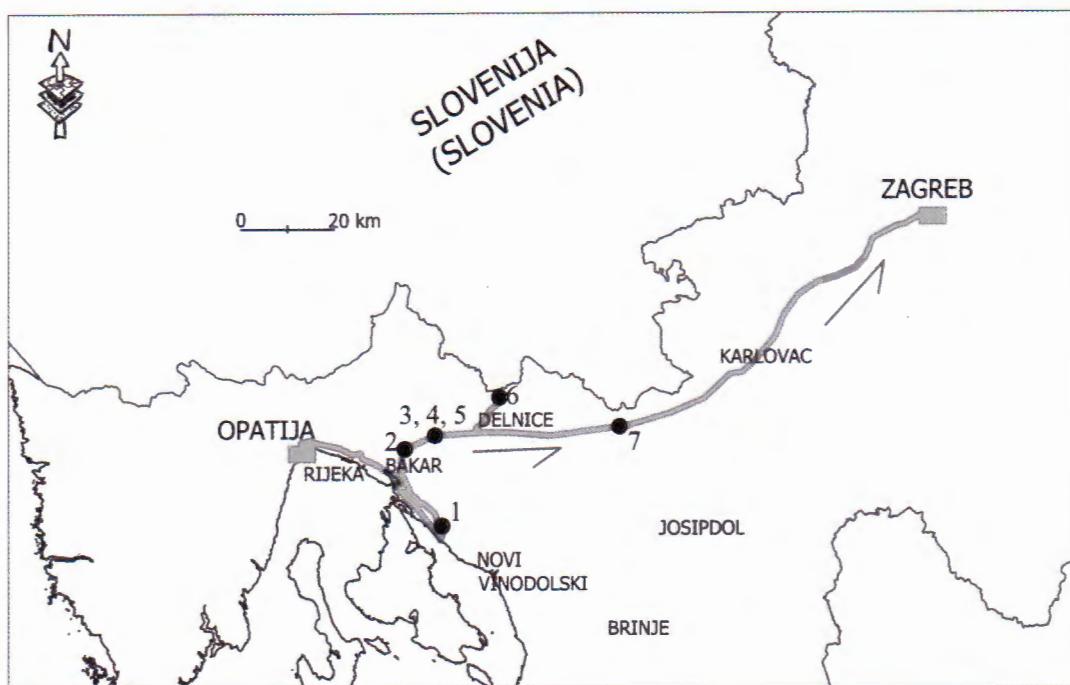
- KRAINER, K. (1993): Late- and Post-Variscan sediments of the Eastern and Southern Alps.– U: Von RAUMER, J.F. & NEUBAUER, F. (ur.): Premesozoic Geology in the Alps. Springer-Verlag, 537–564.
- MASSE, J.P., FENERCI-MASSE, M., KORBAR, T. & VELIĆ, I. (2004): Lower Aptian rudist faunas (Bivalvia, Hippuritoidea) from Croatia.– Geol. Croat., 57/2, 117–137.
- MATIČEC, D., VLAHOVIĆ, I. & FUČEK, L. (1999): Autocesta Bregana–Zagreb–Dubrovnik, Dionica Josipdol–Mala Kapela (jug), Geološki izvještaj za tunel "Mala Kapela".– Arhiva IGI.
- NIKLER, L. (1965): Entwicklung der Jura in dem nordwestlichen Teile der Velika Kapela.– Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl. (A), 10/1, 3–4.
- NIKLER, L. (1973): Novi prilog poznавању oledbe Velebita (Ein neuer Beitrag zur Kenntnis der Vereisung im Velebit Gebirge).– Geol. Vjesnik, 25, 109–112.
- NIKLER, L. & SOKAČ, B. (1968): Biostratigraphy of the Jurassic of Velebit (Croatia).– Geol. vjesnik, 21, 161–176.
- PAVIČIĆ, A. (1999) Autocesta Bregana–Zagreb–Dubrovnik, Dionica Josipdol–Mala Kapela (jug), Hidrogeološki izvještaj za tunel "Mala Kapela".– Arhiva IGI.
- PRELOGOVIĆ, E., BLAŠKOVIĆ, I., CVIJANOVIĆ, D., SKOKO, D. & ALJINOVIĆ, B. (1981): Seizmotektoniske značajke vinodolskog područja.– Geol. vjesnik, 33, 75–93.
- ROSS, C.A. & ROSS, J.R.P. (1995): Permian sequence stratigraphy.– U: SCHOLLE, P.A., PERYT, T.M. & ULMER-SCHOLLE, D.S. (ur.): The Permian of Northern Pangea. Vol. 1. Paleogeography, Paleoclimates, Stratigraphy. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg, 98–123.
- SOKAČ, B. (1969): Paläostrukturen der Trijas in dem Gebiete des Gorski kotar und des Velebit gebirges.– Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl. (A), 14/5–6, 142–143.
- SOKAČ, B. (1973): Geologija Velebita.– Disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 151 str.
- SOKAČ, B., NIKLER, L., VELIĆ, I. & MAMUŽIĆ, P. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ, list Gospic 1:100000, L33–127.– Inst. geol. istraž. Zagreb, 1963–1967., Sav. geol. zavod Beograd.
- SOKAČ, B., BAHUN, S., VELIĆ, I. & GALOVIĆ, I. (1976a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Otočac, K33–115.– Inst. geol. istr. Zagreb, 1970., Sav. geol. zavod Beograd, 1–44.
- SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I. (1976b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Gospic, K33–127.– Inst. geol. istr. Zagreb, 1967., Sav. geol. zavod Beograd, 1–64.
- SREMAC, J. (1986): Middle Permian Brachiopods from the Velebit Mt. (Croatia, Yugoslavia) (Srednjopermski brahiopodi Velebita (Hrvatska, Jugoslavija)).– Palaeont. jugosl., 35, 1–43, Zagreb.
- SREMAC, J. (1991): Zona Neoschwagerina craticulifera u Srednjem Velebitu (Zone Neoschwagerina craticulifera in the Middle Velebit Mt. (Croatia, Yugoslavia)).– Geologija, 34, 7–55, Ljubljana.
- SREMAC, J. (2003): Inventarizacija geoloških osobitosti "Par ka prirode Velebit".– Elaborat, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 60 str., Zagreb.
- SREMAC, J. (2005): Equatorial shelf of the Palaeozoic supercontinent – cradle of the Adriatic Carbonate Platform.– Geol. Croat., 58/1, 1–19.
- ŠČAVNIČAR, B. & NIKLER, L. (1976): Staklasti tuf u lemeškim naslagama Velike Kapele.– Geol. vjesnik, 29, 269–275.
- TIŠLJAR, J. (1992): Origin and depositional environments of the evaporite and carbonate complex (Upper Permian) from the Central Part of the Dinarides (Southern Croatia and Western Bosnia).– Geol. Croat., 45, 115–127.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., SREMAC, J., VELIĆ, I., VESELI, V. & STANKOVIĆ, D. (1991): Excursion A – Velebit Mt. Permian – Jurassic.– U: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): Excursion Guide-book, Sec. Int. Symp. Adriatic Carbonate Platform, Zadar, Croatia, Yugoslavia, May 12–18, 1991, 3–49, Zagreb.
- TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & VLAHOVIĆ, I. (1994): Facies diversity of the Malmian platform carbonates in Western Croatia as a consequence of synsedimentary tectonics.– Géologie Méditerranéenne, 21/3–4, 173–176.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (2002): Carbonate platform megafacies of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Karst Dinarides.– Geol. Croatica, 55/2, 139–170.
- VELIĆ, I. (1988): Lower Cretaceous benthic foraminiferal biostratigraphy of the shallow-water carbonates of the Dinarides.– Revue de Paleobiologie, Vol. spec., 2, Benthos '86, 467–475.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1976): Izvještaj o geološkom kartiranju za Osnovnu geološku kartu na listu Ogulin–107 u 1975. god.– Geol. vjesnik, 29, 429–433.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978a): Biostratigrafska analiza jure i donje krede šire okolice Ogulina (središnja Hrvatska).– Geol. vjesnik, 30/1, 309–337.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1978b): Zone s orbitolinidama u krednim naslagama krškog dijela hrvatskih Dinarida.– IX Kongres geologa Jugosl., Zbornik radova, 215–222, Sarajevo.
- VELIĆ, I. & SOKAČ, B. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Ogulin, L33–103.– Geološki zavod Zagreb, 1969–1980, Savezni geološki zavod Beograd.
- VELIĆ, I., BAHUN, S., SOKAČ, B. & GALOVIĆ, I. (1974): Osnovna geološka karta SFRJ, list Otočac 1:100000, L33–115.– Institut za geološka istraživanja Zagreb, 1970., Savezni geološki zavod Beograd.
- VELIĆ, I., SOKAČ, B., BOŽIČEVIĆ, S., VULIĆ, Ž. & FRITZ, F. (1979): Vodič ekskurzije kroz šire područje Velike Kapele (Excursion guide through the Velika Kapela Mt., in Croatian).– Hrvatsko geološko društvo, 1–39.
- VELIĆ, I., SOKAČ, B. & ŠČAVNIČAR, B. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Ogulin L 33–103 (Basic geological map SFRY, Geology of the Ogulin sheet).– Geološki zavod Zagreb, 1980, Savezni geološki zavod Beograd, 1–46.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1979): Stratigraphy and depositional environments of the Lower Cretaceous in the Karst region of the Outer Dinarides, Yugoslavia.– Geobios, Mem. spec., 3, 245–252.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J. & SOKAČ, B. (1989): The variability of thicknesses of the Barremian, Aptian and Albian carbonates as a consequence of changing depositional environments and

- emersion in Western Istria (Croatia, Yugoslavia).—Mem. Soc. Geol. It., 40, 209–218.
- VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1994): Late Jurassic lateral and vertical facies distribution: from peritidal and inner carbonate ramps to perireefal and peritidal deposits in SE Gorski Kotar (Croatia).—*Géologie Méditerranéenne*, 21/3–4, 177–180.
- VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I. & MATIČEC, D. (2002): Depositional sequences and palaeogeography of the Adriatic carbonate platform.—*Mem. Soc. Geol. It.*, 57, 141–151.
- VELIĆ, I., TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., VELIĆ, J., KOCH, G. & MATIČEC, D. (2002): Palaeogeographic variability and depositional environments of the Malmian carbonate rocks of the Velika Kapela Mt. and Gorski Kotar Area (Adriatic Carbonate Platform, Croatia).—*Geologia Croatica*, 55/2, 121–138.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics.—*Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, 220, 333–360.
- VOGL, V. (1912): Die Fauna Eozänen Mergel im Vinodol in Croatién.—*Jahrb. Ungar. Geol. R.A.*, 20/2, 81–114, Wien.

Ekskurzija B1 – Krški Dinaridi: hidrogeologija i inženjerska geologija

Excursion B1 – Karst Dinarides: Hydrogeology and Engineering Geology

Ranko **Biondić**, Božidar **Biondić**, Vladimir **Jurak**, Sanja **Kapelj**,
Tamara **Marković**, Željko **Miklin**, Marta **Mileusnić**, Željko **Mlinar**,
Ante **Pavičić**, Dragutin **Slovenec** & Željko **Štefanek**



Točka 1: Pretjerana erozija fliša – Slani potok

Stop 1: Excessive Flysch Erosion – Slani Potok

Vladimir Jurak, Dragutin Slovenec & Marta Mileusnić

Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Pierottijeva 6, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: dslovenec@rg.hr

Srednjoeocenski fliš značajno je zastupljen u geološkoj građi primorskog dijela Hrvatske. U svim područjima taj je litološki kompleks više ili manje izložen eroziji. Međutim, u slivu Slanog potoka u području Vinodola ero-

zija fliša je prekomerna. Zajedno s pratećim klizištima, razmatrana površina iznosi oko 3 km^2 (sl. 1). Na njoj dolazi do potpune degradacije okoliša pri čemu nastaju tereni tipa "badlands". Fliš na toj lokaciji, kao i na okol-



Sl. 1 Ortofoto snimak s naznačenim područjem istraživanja.

Fig. 1 Location map (orthophoto) of investigated area.

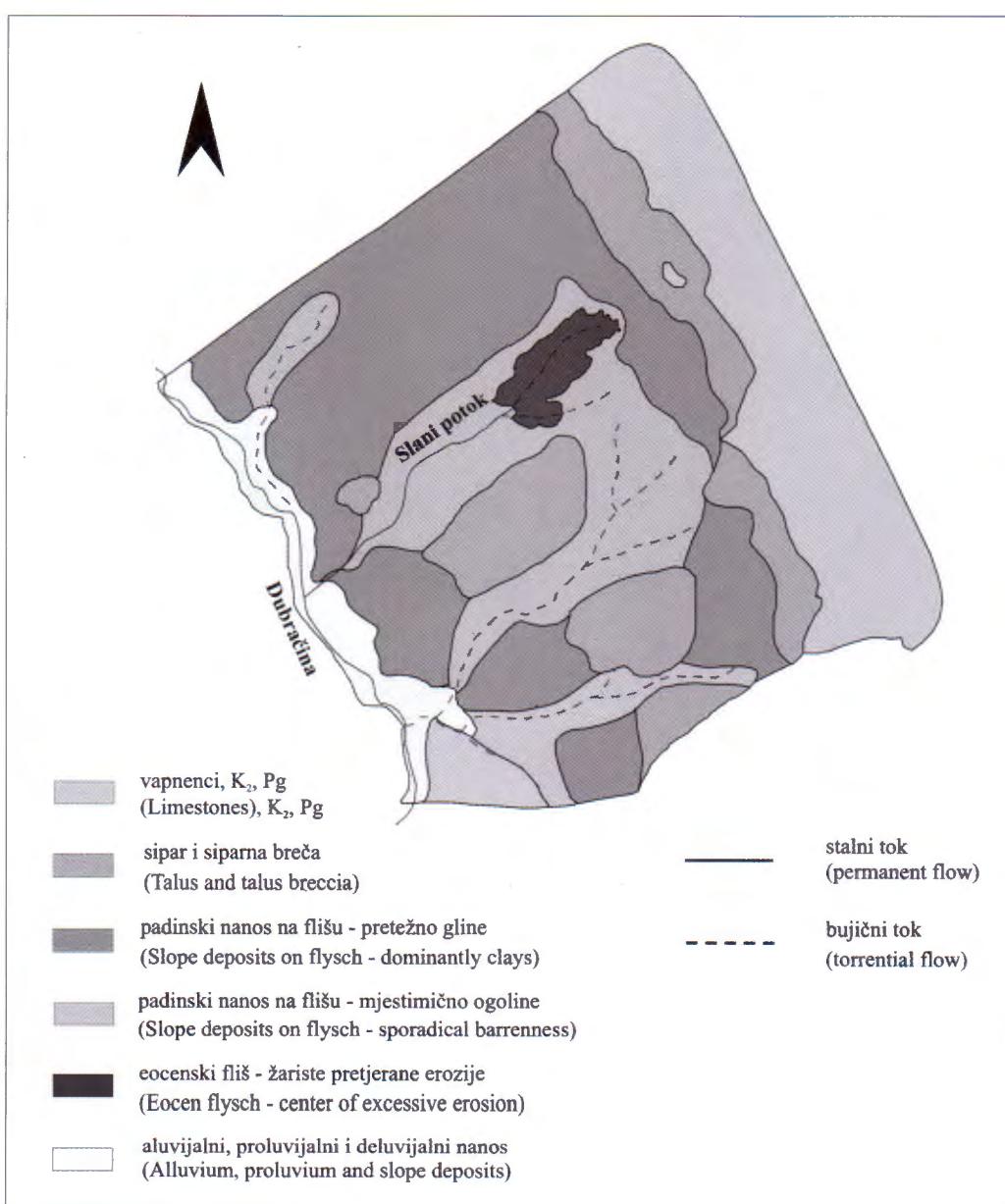
nom području koje nije izloženo pretjeranoj eroziji, zastavljen je uglavnom kalcitičnim glinovitim prahovnjakom i kalcitičnom prašastom glinom, manjim dijelom laporima i prašastim pješčenjacima (sl. 2). Mineralni i granulometrijski sastav glinovitih prahovnjaka i prašastih glina također je u cijelom području Vinodola sličan. Ove stijene sadrže muskovit i ilitični materijal (do 30 mas.%), kvarc (do 25 mas.%), kalcit (do 15 mas.%), feldspate (do 10 mas.%), klorit, kaolinit i smektit, a u nekoliko uzoraka određene su i male količine pirita (sl. 3). Udio sitnih čestica je velik; udio frakcija čestica $<2 \mu\text{m}$ iznosi do 45 mas.%, a onih promjera 2–4 μm do 15 mas.% (sl. 4).

U inženjerskom smislu, litološke komponente fliša većim dijelom predstavljaju prijelazno područje: čvrsto tlo-mekana stijena (HS-SR) (sl. 5). Trošenjem toga kompleksa nastaje tlo izrazito sklonog klizanju i plastičnom tečenju.

Pojava eflorescencije u obliku bijelog praha za vrijeme sušnog ljetnog perioda na nekim litološkim članovima je

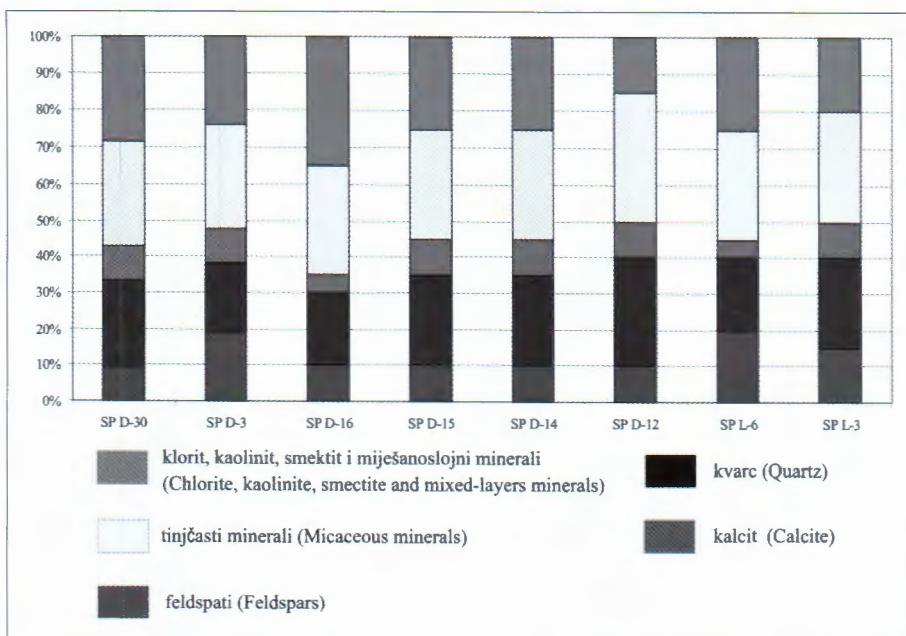
jedinstvena. Primjenom XRD određeno je da se bijeli prah sastoji od tenardita (natrijevog sulfata) i neznatnih količina gipsa (sl. 6). Najveći kristaliti tenardita opaženi pomoću SEM promjera su do 2 μm (sl. 7). Pojave toga, u vodi topivog minerala, upućivale su da neke komponente fliša Slanog potoka sadrže u vodi topivi natrij, koji u kišnom periodu pospješuje dezagregaciju za kojom slijedi intenzivna erozija.

Ove pretpostavke potvrđene su eksperimentalno nizom fizičkih i kemijskih testova. Uzorci fliša podvrgnuti su pokusima stabilnosti (pinhole test i postupak opetovanog vlaženja i sušenja – IGH, Zagreb) koji su ukazali na visoku erodibilnost tla. Stupanj ekspanzivnosti inženjerskih tala procijenjen je na sl. 8. Topive soli u porojoj vodi fliša određene su prema modificiranoj proceduri opisanoj u VAN REEUWIJK (2002). Na temelju kriterija određenih u SHERARD et al. (1976) analizirani fliš spada u grupu disperznih, a time i erodibilnih tala (sl. 9). Određene su i koncentracije iona u potočnoj vodi. Dobivene vrijednosti



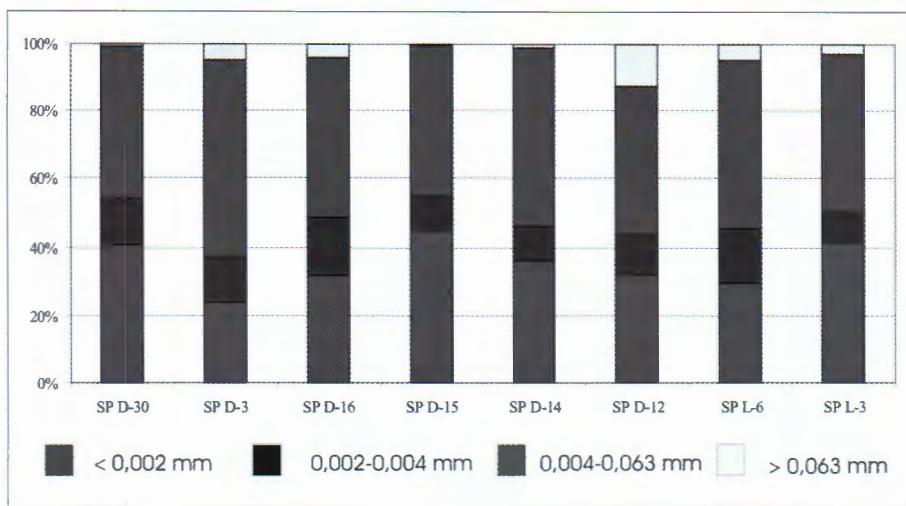
Sl. 2 Shematska geološka karta.

Fig. 2 Simplified geological map.



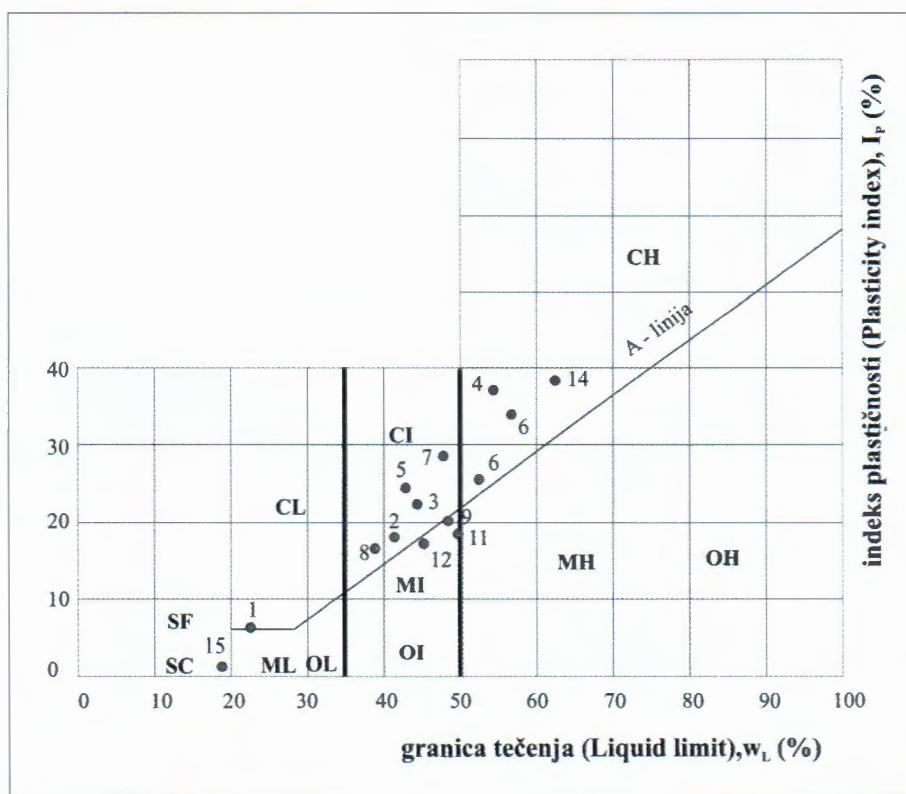
Sl. 3 Mineralni sastav uzorka fliša (orientacijski udjeli).

Fig. 3 Mineral content of the flysch samples (semiquantitative content).

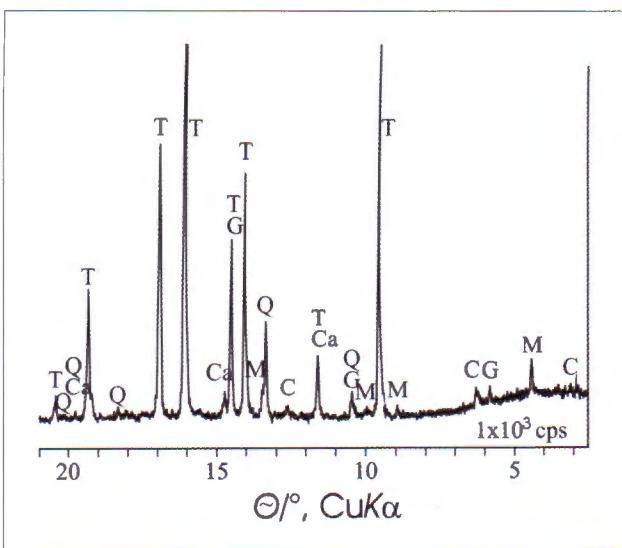


Sl. 4 Granulometrijski sastav uzorka fliša (mas.%).

Fig. 4 Grain size distribution of the flysch samples (wt.%).

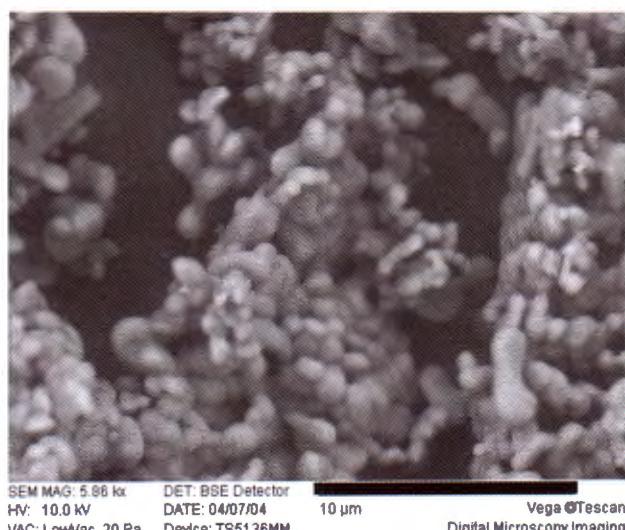


Slika 5 Dijagram plastičnosti.
Fig. 5 Plasticity chart.



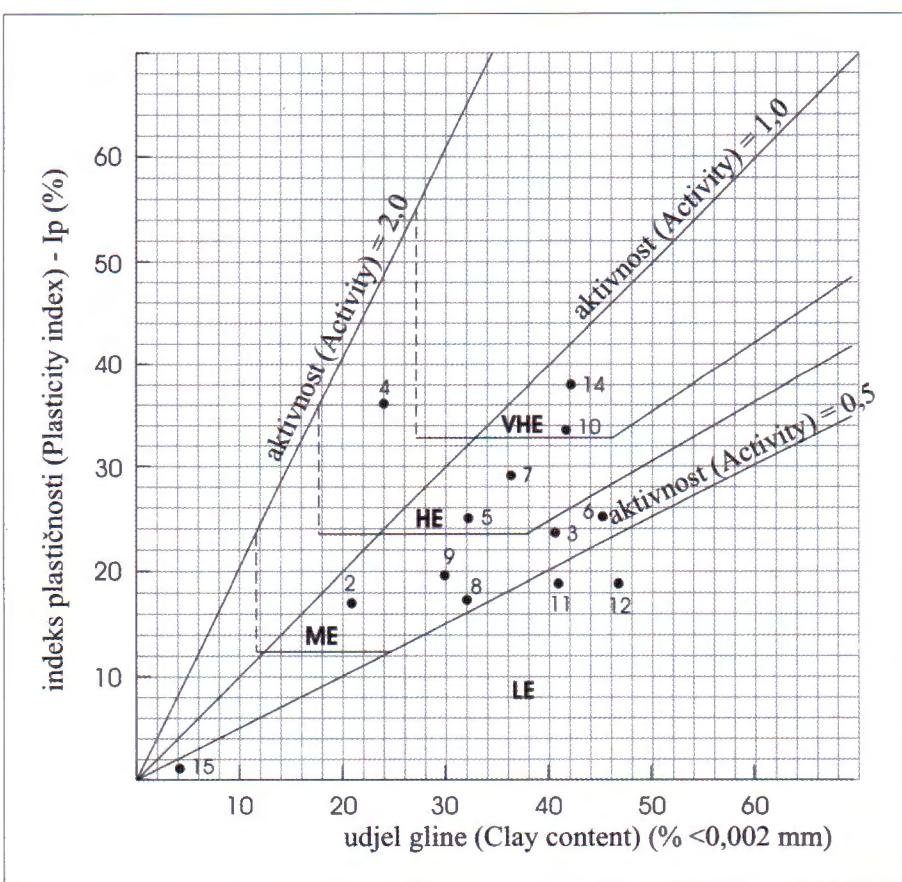
Sl. 6 Karakteristični dio rendgenograma bijelog praha na flišu.
Oznake: T – tenardit; C – klorit; Ca – kalcit; M – muskovit; Q – kvarc; G – gips.

Fig. 6 Characteristic part of XRD pattern of white powder on flysch.
Legend: T – thenardite; C – chlorite; Ca – calcite; M – muscovite; Q – quartz; G – gypsum.



Sl. 7 SEM fotografija bijelog praha na flišu (ljubaznošću V. Bermaneca).

Fig. 7 SEM photograph of white powder on flysch (with kindness of V. Bermanec).



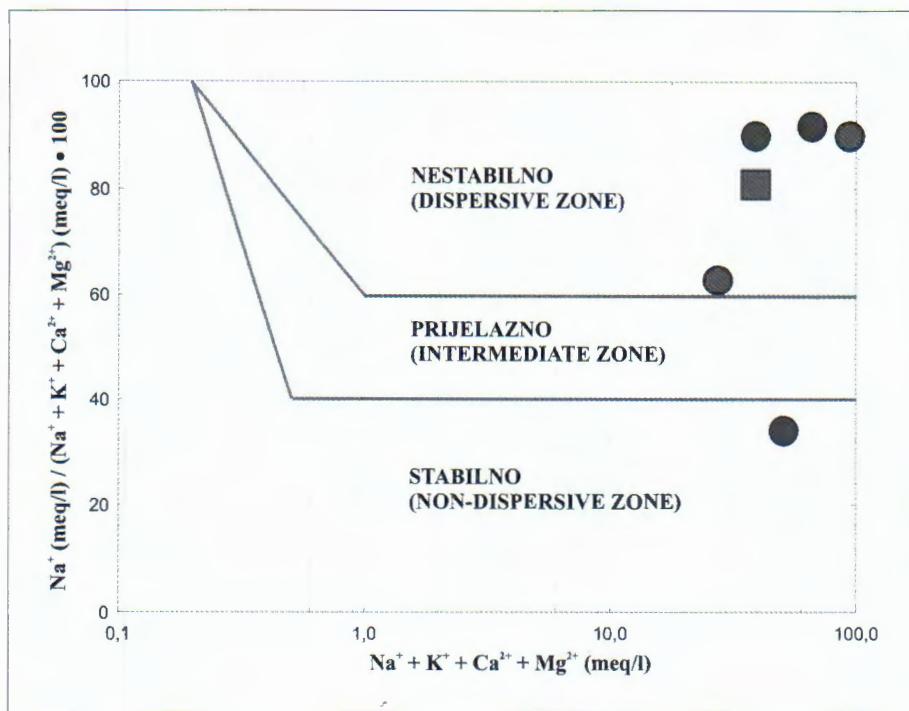
Sl. 8 Dijagram ekspanzivnosti (prema WILLIAMS & DONALDSON, 1980). Oznake: LE – niska ekspanzivnost; ME – srednja ekspanzivnost; HE – visoka ekspanzivnost; VHE – vrlo visoka ekspanzivnost.

Fig. 8 Expansiveness chart (after WILLIAMS & DONALDSON, 1980). Legend: LE – low expansion; ME – medium expansion; HE – high expansion; VHE – very high expansion.

za Na^+ i SO_4^{2-} višestruko su veće od prosječnih vrijednosti za ove ione u slatkoj vodi. Opisana pojava tenardita prvi je nalaz toga minerala u Hrvatskoj.

Pretjerana erozija flišnih naslaga Slanog potoka događa se zbog: litološkog sastava s pretežito sitnozrnatim

članovima, pa čak i česticama nanometarskih dimenzija; skupine materijala poznate kao tvrdo tlo–mekana stijena; minerala sklonih bubrenju; kemizma porne vode koja je obogaćena natrijevim ionom; prisutnosti natrijeva minera- la – tenardita, kao indikatora uzroka pretjerane erozije.



Sl. 9 Kationi u pornoj vodi uzoraka fliša, dijagram prema SHERARD et al. (1976). Stabilnost prema pinhole testu: kvadrat – nedisperzan; krug – disperzan.

Fig. 9 Cations in the pore water of the flysch samples. Potential dispersivity chart after SHERARD et al. (1976). Stability after pinhole test: rectangle – nondispersive, circle – dispersive.

Točka 2: Klizište Bajer

Stop 2: Landslide Bajer

Željko Mlinar

Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: zeljko.mlinar@igi.hr

Klizište Bajer nazvano po obližnjem jezeru nalazi se ne-daleko Fužina u Gorskem kotaru, neposredno uz autocestu Karlovac–Rijeka, tijekom čije izgradnje je aktivirano i sanirano (MLINAR, 1996).

Aktivirano je neodgovarajućim pristupom izvedbi tunela Vrata, jer je tijekom završne faze radova u tunelu došlo do urušavanja njegovog svoda, a na kosini zasjeka od tunela do vijadukta došlo je do odrona i klizanja, sve uz tektonski kontakt različitih litostratigrafskih stijena – jurskih karbonata (J) i paleozojskih klastita (Pz).

Istraživačkim radovima tijekom sanacije (sl. 10) tunela i padine (inženjerskogeološkim kartiranjem u nekoliko mjerila: M 1:5.000, 1:1.000, 1:500 i 1:200, izradom poprečnih IG profila, istraživačkim bušenjem s kontinuiranim jezgrovanjem deset bušotina različite dubine, mjeranjem strukturalnih elemenata i geofizičkim mjeranjima – seizmičkom refleksijom) i kontinuiranim jednogodišnjim inženjerskogeološkim nadzorom prikupljeni su opsežni inženjerskogeološki, hidrogeološki, strukturnogeološki i geofizički podaci. Njihovom statističkom obradom dobiveni su

ni su ulazni podaci za potrebe planiranja geotehničkih radova, određivanje vrste i načina zaštite pokosa, te definiranja nagiba kontakta karbonatnih i paleozojskih naslaga. Naknadnim etažnim rasterećivanjem padine (miniranjem, čišćenjem odminirane stijenske mase) tijekom sanacije, duž sedam etaža izvedenih u karbonatnim (gornji dio) i klastičnim (donji dio) naslagama dobiveni su parametri potrebeni za sigurno sidrenje nestabilnih blokova stijenske mase različitim vrstama geotehničkih sidara i zaštitnom mrežom s torkretom. Projektirani tunel je nakon urušavanja portalnog dijela skraćen, a ostali dio osiguran kvalitetnom podgradom (čeličnim remenatama) i sidrenjem nestabilnih blokova na bokovima i svodu. Nakon stabilizacije donjeg dijela sanirane padine (paleozoika), u nju su ugrađeni horizontalni drenovi, čime je smanjen negativni utjecaj podzemne u zaleđu paleozojskog fliša. U nestabilnom zidanom dijelu padine prema vijaduktu napravljen je armirano-betonски potporni zid.

Spomenutim istraživanjima i mjeranjima dobiveni su ulazni podaci za geomehaničku (RMR) klasifikaciju stijen-



Sl. 10 Klizište Bajer tijekom sanacije.

Fig. 10 Landslide Bajer during remediation process.

skih masa (BIENIAWSKI, 1989), a svi prikupljeni podaci interpretirani su i prikazani u skladu s preporukama ISRM-a:

- osnovnim geotehničkim opisom stijenske mase (BGD, 1985), i
- preporučenim metodama za kvantitativni opis diskontinuiteta u stijenskoj masi (ISRM, 1978).

Naslage paleozojske starosti predstavljene su flišolikom serijom sedimenata u kojoj se izmjenjuju sitno do srednjezrnasti pješčenjaci sa siltitim i šejlovima. U šejlovima se vide tragovi međuslojnog klizanja, a cijela se serija sastoji od graduiranih sedimentacijskih sekvencija. Ove naslage leže ispod karbonatnog kompleksa koji je navučen na njih. Granica s karbonatima pruža se dijagonalno padinom, a dosiže od portalnog dijela tunela na istoku do visoko u padinu prema zapadu. Ta kontaktna zona široka je 0,5 do oko 2,5 m, a karakterizira je pjeskovita komponenta s promjenljivim udjelom gline. Kontakt paleozojskih i jur-skih naslaga je prema podacima istraživačkog bušenja nagnut pod kutom od 55–70° u padinu. Bitna značajka ovog sedimentnog kompleksa je izostanak pravilnosti tijekom taloženja, što je očito u slučaju taloženja konglomerata i masivnih pješčenjaka nepravilnog oblika unutar facijesa šejlova. Zbog navedenih činjenica, te pucanja i mikrobojanja u neskladu s krovinskim karbonatnim kompleksom pretpostavlja se da je ovaj kompleks prošao zasebnu tektonsku fazu u sklopu hercinske orogeneze. Tijekom sanacije i iskopa u obliku etaža dobiven je potpuniji uvid u strukturu paleozojskih naslaga ispiranih učestalim padalnama, tako da su se morfološki isticali slojevi pješčenjaka u odnosu na manje rezistentni šejl ili silit.

Diskontinuitetima paralelnim osnoj ravnini i onima okomitim na lokalnu struktturnu os b stijenska masa je razlomljena tako da su u sva tri smjera razmaci <6 cm. Perzistencija diskontinuiteta paralelnih slojevitosti je >20 cm, klivaž osne ravnine dužine je 3–10 m, a pukotine okomite na os b duge od 1–3 m. Prve dvije skupine diskontinuiteta najčešće su zatvorene i zaglađene, dok su pukotine okomite na b valovite, hrapave i zjive veličine do 1 mm. Stijenke pukotina najčešće su jako trošne, a neke sadrže i meku glinovitu ispunu do 5 mm. Položaj slojeva u klastitima je

od 305–350/5–15°, klivaža osne ravnine 210–225/60–85° i pukotina okomitih na lokalnu struktturnu os b 130–145/65–80° i 320–335/60–85. Orientacija osi b je u smjeru sjeverozapad–jugoistok, ali i niz presječnica nagnutih niz padinu pod kutem od 35–60°.

Citava padina je podijeljena na 26 poprečnih profila, gledajući od zapada prema istoku (od P-1 do P-26), koji su postupno snimani (geodetski, inženjerskogeološki) tijekom sanacije (MLINAR, 1996).

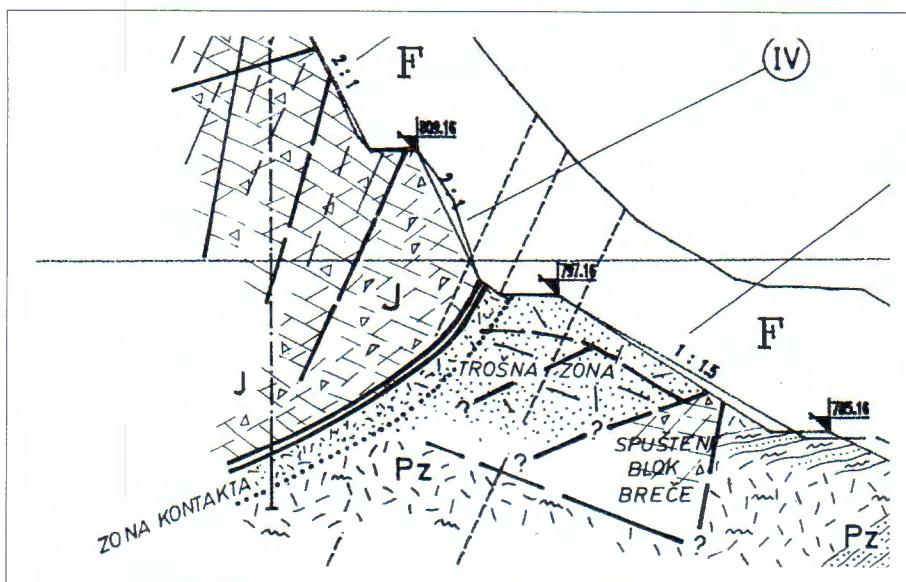
Karbonatne naslage jurske starosti izgrađuju sjeverni do sjeveroistočni dio padine, a čine ih dolomitizacijske breče nastale kataklaziranjem iz sivih vapnenaca tijekom tektonske aktivnosti i procesom naknadne dolomitizacije. Mogu se izdvojiti tri tektonska bloka, dva odijeljena rasjedom koji siječe kosinu od vrha do razine nivelete autoceste i trećim na krajnjem zapadu. U istočnom bloku (do poprečnog rasjeda, sjeverno od vrha Preradović) položaj slojeva je 205–235/10–25°, položaj osne ravnine 25–45/40–60° i položaj pukotina okomitih na os b 125–135/65–80° i 300–325/65–80°. U zapadnom bloku položaj slojeva je 195–210/30–57°, položaj osne ravnine 35–55/55–80° i položaj pukotina okomitih na b 305–315/75–85°. U oba bloka vide se otvorene pukotine položaja 260–290/67–85°, velikog zjiveva, a u zoni klizanja i oko 30 cm, s ispunom od plastične gline. Ove pukotine sežu do onih paralelnih klivaža osne ravnine, duž kojeg je bilo većih diferencijalnih kretanja tektonskih blokova. Po ova dva sustava dolazi do prevrtanja ("toplinga") dolomitnih blokova uz kontakt s klastičnim naslagama. Razmaci između slojeva su od 10–50 cm, između pukotina paralelnih klivaža osne ravnine i onih okomitih na struktturnu os b 10–30 cm.

Površinska okršenost dolomitizacijskih breča, prema podacima o RQD-u u bušotinama seže do dubine od 5 do oko 18 m, a kaverozne zone ispunjene plastičnom glinom nalaze se i dublje uz rasjedne zone ili zone međuslojnog klizanja. Perzistencija slojeva doseže preko 20 m, pukotine su zatvorene, stijenke stepeničasto zaglađene, bez ispune, nerastrošenih stijenki. Rasprostranjenost pukotina koje odgovaraju klivažu osne ravnine je 10–20 m, zatvorene su ili im je zjiv do 1 mm, glatke, ravne, nerastrošenih stijenki. Pukotine okomite na os b imaju perzistenciju 1–3 m, zjiv do 5 mm, stepeničaste su ili valovite, s mekom glinovitim ispunom, nerastrošenih stijenki.

Treći tektonski blok obuhvaća područje na krajnjem zapadnom dijelu, s izrazitom rotacijom u odnosu na zapadni blok, a struktura mu je definirana slojevitošću položaja 160–180/25–45°, pukotinama paralelnim klivažu osne ravnine 330–30/55–77° i pukotinama okomitim na struktturnu os b položaja 270/75°.

Citav usjek presječen je generalno s tri šire i jednom užom rasjednom zonom:

- 1) Područje od profila P-5 do P-9, uzduž prve tri etaže (I, II, III) – dolomitizacijska breča intenzivno razlomljena, zahvaćena okršavanjem, struktura stijene očuvana. U geološkoj prošlosti došlo je do usjedanja ovećeg bloka breče u klastični medij, ispod kontakta jura–paleozoik (sl. 11).



Sl. 11 Inženjerskogeološki profil 10 (detalj).

Fig. 11 Engineering geological cross-section 10 (detail).

- 2) Manja rasjedna zona zahvatila je stijensku masu oko profila P-13 i P-14, karakterizirana je manjim jamama i kavernama, a smjer speleoloških sustava po kojima je došlo do jačeg okršavanja je položaj SSI–JJZ i dinaridskog SI–JZ. Stijenska masa ima očuvanu strukturu, a zdrobljene zone s plastičnom glinom užeg su prostiranja.
- 3) Najjača rasjedna zona zahvatila je područje profila P-19, prostor između P-19 i P-22, sve do portalnog dijela tunela Vrata, odakle se dalje produžuje u kontaktnu zonu karbonata i klastita. Siječe blago diagonalno karbonatni i klastični kompleks. Pružanje joj je SZ–JI duž IV, V i VI etaže, a stijenska masa je vrlo jako zdrobljena, a mjestimično i kataklazirana. Ova zona završava na jakom rasjedu, koji u portalnom dijelu presijeca tunel.

Glavni diskontinuiteti presijecaju padinu u nekoliko najizraženijih slojeva:

- sjever–jug, što odgovara pukotinama okomitim na lokalnu strukturnu os b,
- sjeveroistok–jugozapad, predstavljaju prijelaz prema osnim ravninama i najzastupljenije su,
- istok–zapad do jugoistok–sjeverozapad, najdominantniji na karbonatnom dijelu zasjeka, paralelni klivajući osne ravnine, a njihovim presijecanjem došlo je do oslabljenja stijenske mase i mjestimičnog prevrtanja blokova. Tamo gdje je njihov položaj dovoljno strm dolazi do formiranja klinastog i ravnog loma i pojava klizanja blokova niz padinu. Česta je pojava horizontalnih i blago nagnutih strija, što ukazuje na intenzivno djelovanje tektonike, različite snage i smjera.

Što se kategorizacije karbonatne stijenske mase tiče, ista je podijeljena na nekoliko kategorija:

TZ – trošna zona; pristupni put – debljina 0,5–4,0 m, prosječno 0,5–1,0 m;

RZ – na nekoliko mjesta, položena strmo do vertikalno, blokovi manjih dimenzija i manji fragmenti; zdrobljeno, kataklazirano;

JR – jače razlomljena stijenska masa, zahvaća gornji dio padine; fragmenti različitih veličina do veličine manjih blokova;

SR – slabije razlomljena stijenska masa slijedi ispod navedene, do zone kontakta Pz–J;

K – kompaktnija stijenska masa predstavlja čvrstu i kompaktну karbonatnu sredinu, a pukotine nemaju bitnijeg utjecaja na njezinu stabilnost.

Prema podacima praćenja razine podzemne vode vidljivo je ona u području tunelskog iskopa i predtunelskog zasječka cirkulira duž rasjeda, a drenira se po kontaktu trošnih i oksidiranih stijena sa svježima, a također i kroz pješčenjačke proslojke. Proces dreniranja odvija se do razine iskopa.

Paleozojski kompleks nije kategoriziran jer to obzirom na dostupnost i kvalitetu nije moguće korektno učiniti. Stijenska masa je općenito gledajući smravljeni i vrlo jako razlomljena, ali u detalju, u uskim zonama pješčenjaka i konglomerata odstupa od kategorije u kojoj se nalazi.

Veći dio karbonatnog dijela padine zaštićen je mrežom, sidrima i torkretom, a donji klastični dio zatravljen je i stabiliziran.

Točka 3: Hidrogeološki aspekt zaštite krških vodonosnika sliva gornjeg toka rijeke Kupe

Stop 3: Hydrogeological Aspect of the Protection of Karst Aquifers in the Catchment Area of the Upper Part of Kupa River

Ranko Biondić¹ & Božidar Biondić²

¹Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: rbiondic@igi.hr

²Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet Varaždin, Hallerova aleja 7, HR-42000 Varaždin, Hrvatska

Okršene karbonatne stijene izgrađuju gotovo polovicu teritorija Republike Hrvatske, odnosno područje južno od Karlovca, obuhvaćajući gorski dio Hrvatske, Hrvatsko primorje, Istru i Dalmaciju. Na tome vrlo velikom području nalaze se značajni vodni koji imaju značaj za budući razvoj cijelokupnog krškog područja, pa čak i čitave države. Jedno od najznačajnijih takovih područja je Gorski kotar čiji centralni dio zauzima područje sliva gornjeg toka rijeke Kupe. Poseban značaj ovih vodnih resursa daje velika izdašnost izvora, ali i izuzetna kakvoća vode na većini izvora.

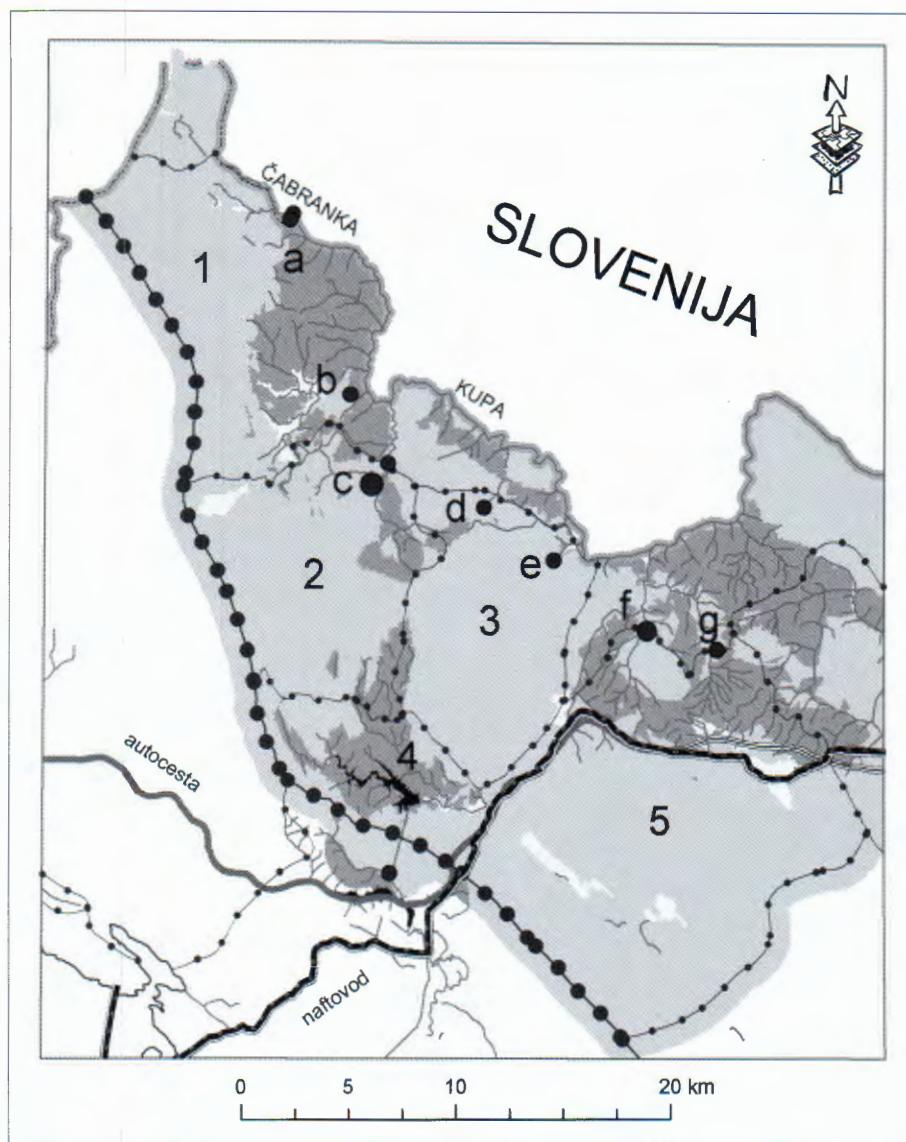
To je planinski prostor tipičnih krških obilježja u kojem se nalazi Nacionalni park Risnjak i cijeli niz visokih planina (1100 do 1500 m n.m.) s prosječnim godišnjim oborinama čak preko 3500 mm. Najveći izvor u području gornjeg toka rijeke Kupe je izvor Kupe smješten u srcu planinskog pojasa Gorskog kotara kod sela Razloge s kapacitetom istjecanja oko $1 \text{ m}^3/\text{s}$ u minimumu. Osim izvorišnog područja rijeke Čabranke, lijeve pritoke Kupe, uz desnu obalu rijeke Kupe do Broda na Kupi nalaze se brojni veliki izvori (Velika i Mala Belica, Kupica, Zeleni Vir i dr.). Vrijednost vodnog bogatstva izvorišnog dijela rijeke Kupe najbolje opisuje veličina minimalne protoke rijeke Kupe kod Broda na Kupi od oko $3,50 \text{ m}^3/\text{s}$, od čega s hrvatske strane izvire više od 80% ukupne količine (BIONDIĆ et al., 2002). Međutim, potencijali za korištenje su daleko veći obzirom na mogućnosti tehničkih zahvata i povećanja minimalnih izdašnosti tijekom ljetnih sušnih razdoblja. I na lijevoj obali rijeke Kupe, koja uglavnom pripada susjednoj Republici Sloveniji, također ima dosta izvora, ali oni su daleko manje ukupne izdašnosti od onih na hrvatskoj strani. Bez obzira na razlike u količinama istjecanja na izvorima u Hrvatskoj i Sloveniji u gornjem dijelu toka rijeke Kupe, sliv rijeke Kupe je prekogranični vodonosnik i prema Direktivama Europske Unije (WFD 2000/60/EC) potrebno je zajedničko međudržavno djelovanje pri zaštiti tako vrijednih resursa. To je posebno izraženo u izvorišnom dijelu rijeke Čabranke, čije se slivno područje nalazi na području Hrvatske i dijelom u Sloveniji, pa dio zaštitnih zona izvorišta seže i u susjednu državu.

Najstarije izdvojene naslage u slivu gornjeg toka rijeke Kupe su klastične naslage paleozojske starosti (sl. 12). Izdvojen je vrlo široki raspon litostratigrafskih članova, od navedenih klastičnih naslaga paleozojske starosti (karbon-perm), pa sve do kvartarnih naslaga. Prema VLAHOVIĆ et al. (2005) razvoj naslaga na području Gorskog kotara može se podijeliti u tri faze: 1) taloženje karbonatno-klastičnih

naslaga uz rub Gondwane – siliciklastičnih naslaga (paleozojski klastiti) sa rijetkim lećama vapnenaca, 2) djelomično pucanje te platforme i taloženje plitkomorskih karbonata, uključivo i glavne dolomite i 3) početak razvoja izdvojene Jadranske karbonatne platforme (AdCP). Kontinuiran slijed naslaga Jadranske karbonatne platforme (AdCP) može se pratiti s kraćim prekidima u rasponu od gornjeg dijela donje jure (toarcij), pa sve do kraja gornje krede, kada nastupa kopnena faza između krede i paleogen. Na području sliva gornjeg toka rijeke Kupe vidljive su prve dvije faze razvoja naslaga dinarskog krša, ali nema vršnog dijela naslaga Jadranske karbonatne platforme, jer su najmlađe izdvojene karbonatne stijene donjokredne starosti (vapnenačke breče i vapnenci) izdvojene u slivu izvora Čabranke (kod Milanovog vrha) i na području od Brod Moravica do Kupe nizvodno od Broda na Kupi. Kvartarne naslage izdvojene na području sliva gornje Kupe dobar su pokazatelj zbivanja tijekom kvartara, ali su generalno male debljine i nemaju veći hidrogeološki značaj.

Tektonski odnosi na području sliva gornjeg toka rijeke Kupe izuzetno su kompleksni, a u njihovim razmatranjima veliku važnost ima položaj vodonepropusnih naslaga paleozojske starosti (sl. 12). Prema razvodnici s Jadranskim slivom dominira antiklinalna forma čiju jezgru izgrađuju najstarije naslage Gorskog kotara (klastične naslage karbonske starosti) koje okružuju prvo klastiti permske i zatim mlađe karbonatne stijene mezozojske starosti. Ova strukturalna forma ima centralni položaj u strukturnoj građi visoke zone Gorskog kotara i odaje dojam autohtonog velikog dubinskog prostiranja. Idući prema sjeverozapadu struktura tone povećavajući i produbljujući kompleks karbonatnih stijena jurske starosti koje su i glavni vodonosnik izvorišne zone rijeke Kupe.

Sa sjeverne strane karbonatnog kompleksa, prema izvorišnoj zoni u dolini Kupe (izvor Kupe, izvor Kupice, Velika i Mala Belica), karakter paleozojskih naslaga je bitno drugačiji. Ovdje se radi o brojnim navlačnim strukturama paleozoika (HERAK, 1980) na jurski karbonatni kompleks, ali paleozojske naslage tonući prema sjeveru povećavaju debljinu naslaga čime se stvaraju uvjeti postojanja hidrogeološke barijere u dolinama Čabranke i Kupe. Polovicom prošlog stoljeća i ove alohtone strukture prikazivane su kao antiklinale sa velikim dubinskim prostiranjem, ali su rezultati trasiranja iz Lokava i kasnije iz Ravne Gore i Kupjaka sa dokazanim vezama prema izvoru Ku-



Sl. 12 Shematska hidrogeološka karta. Tumač: 1) sliv izvora Čabranke i izvora u Zamostu; 2) sliv izvora Kupe; 3) sliv Velike i Male Belice; 4) sliv Lokvarke; 5) sliv izvora Kupice i Zelenog Vira; a) izvor Čabranke; b) izvor u Zamostu; c) izvor Kupe; d) Velika Belica; e) Mala Belica; f) izvor Kupice; g) Zeleni Vir; crno – Lokvarsko jezero; tamno sivo – nepropusne klastične naslage; sivo – karbonatne stijene; svijetlo sivo – kvartarne naslage.

Fig. 12 Schematic hydrogeological map. Legend: 1) Catchment area of Čabranka River spring and spring in Zamost; 2) Kupa River spring catchment area; 3) Velika and Mala Belica springs catchment area; 4) Lokvarka basin catchment area; 5) Kupica River spring and Zeleni Vir spring catchment area; a) Čabranka spring; b) spring in Zamost; c) Kupa River spring; d) Velika Belica spring; e) Mala Belica spring; f) Kupica River spring; g) Zeleni Vir spring; black – Lokvarsko lake; dark gray – impermeable clastic deposits; gray – carbonate rocks; light gray – Quaternary deposits.

pice i Zelenom Viru promjenili razmišljanja o tektonskoj gradi ovoga dijela Gorskog kotara.

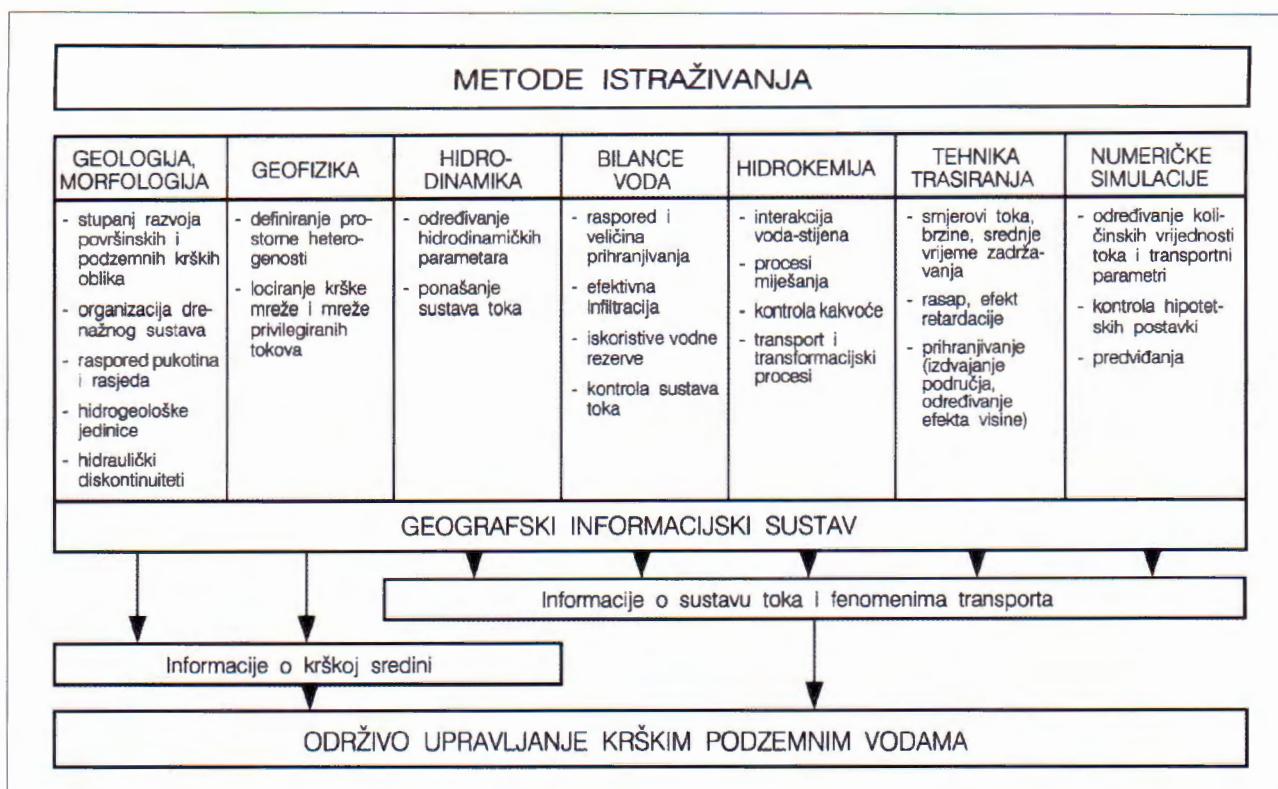
Slivno područje gornjeg toka rijeke Kupe može se podijeliti na nekoliko hidrogeoloških cjelina (sl. 12). To su od sjeverozapada prema jugoistoku:

- sliv rijeke Čabranke;
- sliv izvora u Zamostu;
- sliv izvora Kupe;
- sliv Velike i Male Belice;
- sliv Lokvarke;
- sliv izvora Kupice i Zelenog Vira.

Sliv izvorišta Čabranka smješten je u najsjevernijem dijelu Gorskog kotara, a zona istjecanja sliva nalazi se na samoj granici Hrvatske i Slovenije. Dio područja prihranjivanja nalazi se i u Sloveniji, pa ovaj sliv ima karakteristike prekograničnog sliva s potrebnom prekograničnom suradnjom. Zahvat izvora Čabranka je zapravo zahvat površinske vode 100-tinjak metara nizvodno od glavnog izvora, a dio izvorišta nalazi se i u susjednoj Sloveniji. Kaptažni zahvat ove izvorišne zone koristi se za vodoopskrbu grada Čabra i najveći je zahvat čabarskog vodoop-

skrbnog sustava. Srednja protoka izvorišnog dijela rijeke Čabranka je $2,41 \text{ m}^3/\text{s}$, maksimalna $74,7 \text{ m}^3/\text{s}$, a minimalna $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$. Izvorište je formirano u graničnom području vodopropusne karbonatne mase stijena gornjotrijaske i jurske starosti i vodonepropusnih klastičnih stijena paleozojske starosti, koje se prostiru nizvodno rijekom. U slivu su trasiranjima zabilježene velike brzine podzemnih tokova ($14,66 \text{ cm/s}$), što dijelove sliva uvrštava u red visoko ugrozenih područja. Na području izgrađenom od vodonepropusnih klastičnih stijena postoje brojni mali izvori kaptirani za lokalnu vodoopskrbu.

Sliv izvorišta u Zamostu smješten je južno od prije opisanog sliva. Centralno mjesto u slivu ima krško polje u Gerovu, gdje se prikupljaju vode prostranog područja s pretežitim površinskim otjecanjem i poniru u krško podzemlje, da bi nakon kratkog vremena izvirale na izvorištu u Zamostu. Posljedica su česta zamućenja i viša temperatura izvorske vode, posebice u jesenskom i ljetnom razdoblju. Na izvorištu Zamost nema hidroloških mjerjenja, ali se orientacijske vrijednosti doprinosa mogu izračunati iz razlika protoka na rijeci Čabranki. Maksimalni dotoci iz ove izvorišne zone su oko $50 \text{ m}^3/\text{s}$, srednji godišnji oko



Sl. 13 Pregled metoda istraživanja primjenjivih na krškim područjima (prema COST 65, 1995).

Fig. 13 Research methods usable for karst areas (after COST 65, 1995).

3. $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$, a minimalni su simboličke vrijednosti, što znači da su retencijske sposobnosti ovog sliva zanemarive.

Sliv izvorišta Kupe je najznačajniji drenažni sustav Gorskog kotara. Granice sliva su definirane položajem vodonepropusnih klastičnih stijena paleozojske starosti na bokovima. Sliv je otvoren prema najvišem planinskom području Gorskog kotara (Risnjak, Snježnik) i sigurno ima zajedničko područje prihranjuvanja sa slivom krških izvora u Jadranskom slivu (izvor Rječine). Vode ovisno o hidrološkim uvjetima otječu prema Crnomorskem odnosno Jadranskom slivu. Takovo stanje potvrđuju hidrogeokemijska istraživanja izvorišta u oba sliva, ali i korelacijska analiza srednjih mjesecnih protoka izvora Rječine i izvora Kupe (period 1980–1992.) sa vrlo visokim korelacijskim koeficijentom 0,936. Glavno izvorište rijeke Kupe je uzlaznog karaktera (ronjeno do dubine cca. 80 m). Maksimalna izdašnost izvorišne zone je $195 \text{ m}^3/\text{s}$, srednja $13,4 \text{ m}^3/\text{s}$, prosječni minimum je $1,07 \text{ m}^3/\text{s}$, a minimalno zabilježene vrijednosti protoke su oko 500 l/s . Izvorište nikada ne presušuje, ali varijacije izviranja su ogromne, što ukazuje na uvjete u slivu – veliku količinu sezonski neujednačenih oborina, znatnu infiltraciju i slabe retencijske mogućnosti krškog podzemlja. Treba naglasiti da je veliki dio sliva, kao i sama izvorišna zona (izvor Kupe, izvor u Kuparima) unutar granica Nacionalnog parka Risnjak i da je do sada bio zaštićen do visokog stupnja.

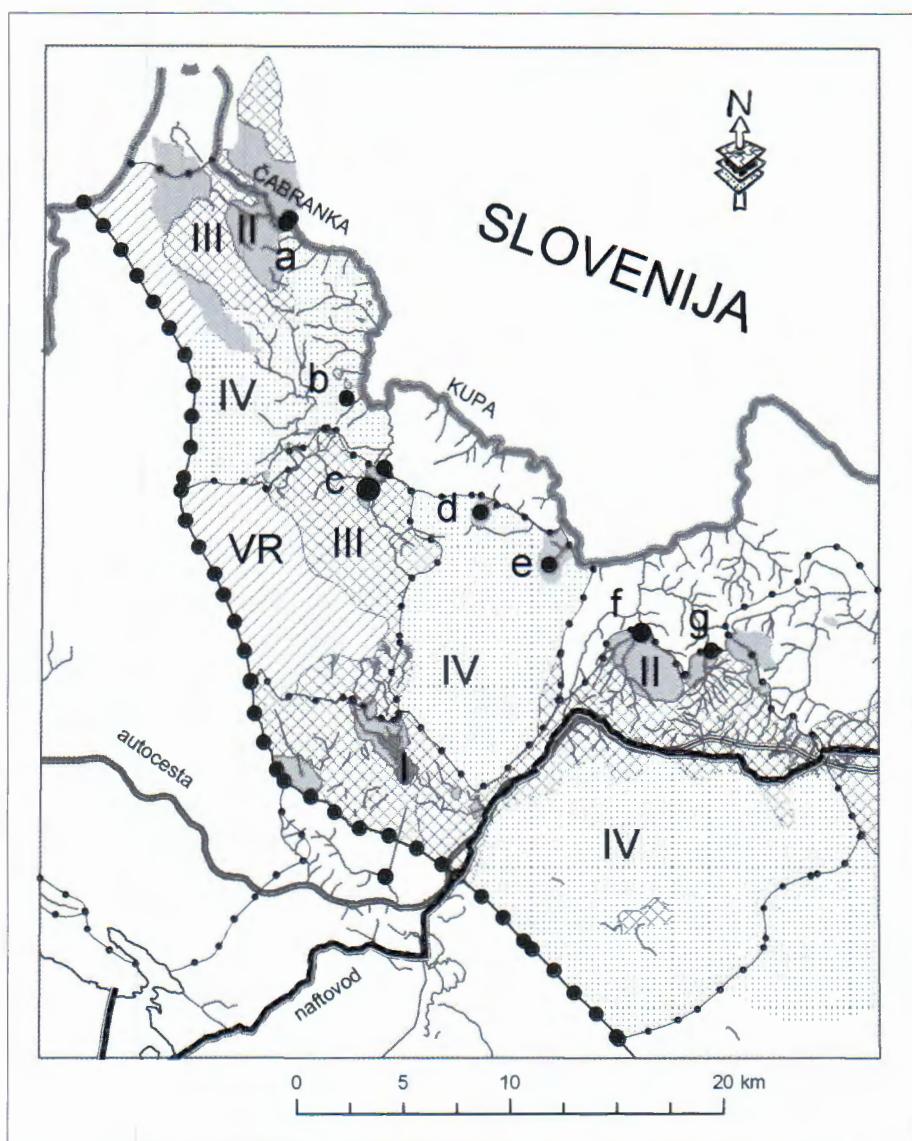
Sliv Lokvarke formiran na području izgrađenom od pretežito vodonepropusnih klastičnih stijena na području Mrzlih Vodica pripada visokoj zoni sliva gornjeg toka rijeke Kupe. Otjecanje je pretežito površinsko i vode u

prirodnim uvjetima poniru na kontaktu s vodopropusnim krškim stijenama i ponovo se javljaju na izvorištima uz rijeku Kupu (Kupica, M. Belica). Izgradnjom HE sustava Vinodol izmijenjeno je prirodno stanje i glavnina voda se prebacuje hidrotehničkim tunelom prema Jadranskom slivu (cca $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$), a samo velike vode djelomično preko preljeva završavaju u prirodnim ponorima. U visokoj zoni sliva Lokvarke nalazi se nekolicina manjih izvora (do 10 l/s) koji su kaptirani za potrebe vodoopskrbe lokalnih planinskih naselja. U slivu je projektirana akumulacija Križ potok veličine 9 mil. m^3 za potrebe vodoopskrbe Gorskog kotara.

Sliv izvorišta Velike i Male Belice je uglavnom izgrađen od dobro vodopropusnih karbonatnih stijena jurske starosti. Osnovna karakteristika ovih izvorišta je vrlo velika amplituda istjecanja. U maksimumu ova dva izvorišta daju oko $100 \text{ m}^3/\text{s}$, ali se tijekom ljetnih minimuma protoka smanji na oko 300 l/s . U slivu nema kaptiranih izvora za potrebe javne vodoopskrbe.

U **slivu izvorišta Kupice i Zelenog Vira** su, osim glavnog izvora rijeke Kupe, najveće koncentracije istjecanja na slivnom području. Izdašnost izvorišta Kupice varira između 200 l/s i $65,6 \text{ m}^3/\text{s}$, a i izvorište Zeleni Vir je vrlo sličnih obilježja samo nešto manjeg kapaciteta. Izvorište Kupice je uključeno u javnu vodoopskrbu Gorskog kotara kao centralno mjesto Delničkog vodoopskrbnog sustava (oko 100 l/s), a vode izvorišta Zeleni Vir se koriste za proizvodnju električne energije (HE Munjara).

Na području sliva gornjeg toka rijeke Kupe javna vodoopskrba je formirana kroz dva velika vodoopskrbna sus-



Sl. 14 Karta zaštitnih zona izvorišta pitke vode na području Gorskog kotara. Tumač: a) izvor Čabranke; b) izvor u Zamostu; c) izvor Kupe; d) Velika Belica; e) Mala Belica; f) izvor Kupice; g) Zeleni Vir; I) 1. zona sanitarno zaštite; II) 2. zona sanitarno zaštite; III) 3. zona sanitarno zaštite; IV) 4. zona sanitarno zaštite; VR) Vodoopskrbni rezervat.

Fig. 14 Map of protection zones of Gorski kotar region. Legend:
a) Čabranka spring; b) spring in Zamost; c) Kupa River spring;
d) Velika Belica spring; e) Mala Belica;
f) Kupica River spring; g) Zeleni Vir spring; I) first protection zone;
II) second protection zone; III) third protection zone;
IV) fourth protection zone; VR) water-supply preserve mountainous area.

tava: čabarski i delnički. Glavni vodoopskrbni izvori su izvor Čabranke i izvor Kupice, ali je također u vodoopskrbu uključen i cijeli niz izvora manjeg kapaciteta. Upravo ta prostorna raštrkanost stvara poteškoće kvalitetnoj organizaciji vodoopskrbe, a i kapaciteti većine tih malih izvora tijekom ljetnih sušnih razdoblja padnu na minimalne. Upravo bi akumulacija Križ potok trebala zamjeniti mnoštvo malih kaptiranih izvora u Gorskem kotaru i gravitacijski pokriti vodoopskrbu cijelog područja kvalitetnom pitkom vodom.

Gorski kotar ima vrlo značajne resurse pitke vode, ali to je i prostor velikog opterećenja različitim sadržajima, a posebno mjesto pri tome imaju neophodni infrastrukturni koridori, koji povezuju sjevernu i Jadransku Hrvatsku. Pristup održivog razvijanja temeljen na znanju jedino može osigurati s jedne strane efikasnu zaštitu vodnih resursa, a s druge strane omogućiti izgradnju i održavanje potrebnih infrastrukturnih objekata (autocesta, naftovod, plinovod, željezница, otpadne vode, komunalni otpad i dr.). Situacija je samo djelomično pod kontrolom, što se odražava na stalnom trendu pogoršanja kvalitete najugroženijih izvorišta (Kupica, Zeleni Vir).

Prema tome, s jedne strane veliko bogatstvo vodnih resursa s različitim mogućnostima korištenja, a s druge strane problem sve većeg negativnog utjecaja čovjeka. Taj se utjecaj nastoji smanjiti rješavanjem problema otpadnih voda naselja u Gorskem kotaru (Delnice, Ravna Gora), a zasigurno je najveći posao napravljen izgradnjom zatvorenog sustava odvodnje nove autoceste Zagreb–Rijeka i upuštanjem pročišćenih voda izvan visokih zona zaštite potencijalnih izvorišta pitke vode. Cilj je zaustaviti negativni trend pogoršanja kakvoće podzemne vode izvorišnog dijela rijeke Kupe, a zatim i poboljšati stanje u skladu sa Direktivama Europske Unije (WFD 2000/60/EC).

Zaštita krških vodonosnika izuzetno je kompleksan istraživački zadatak. Prilikom istraživanja koristi se cijeli niz različitih metoda (sl. 13), čiji se rezultati unose prostorno i vremenski u informacijski sustav i njihovim preklapanjem dobivamo podloge za određivanje kvalitetne zaštite. Na području Gorskog kotara je po prvi puta za izradu zaštitnih zona krških područja korišten novi Pravilnik (NN 55/02). Prva faza istraživanja (BIONDIĆ et al., 2002) obuhvaćala je obradu postojećih podataka, ali i brojna dodatna istraživanja (hidrološka analiza, hidrogeo-

kemijska istraživanja, trasiranje podzemnih tokova, izrada hidrogeološke podloge M 1:50.000) i rezultirala je kartom zaštitnih zona M 1:50.000 područja sliva gornjeg dijela toka rijeke Kupe. Druga faza istraživanja, detaljno mikrozoniranje visokih zona zaštite, rađena je samo za područje Ravne Gore (DUKARIĆ & BIONDIĆ, 2003), gdje su detaljnim istraživanjima izdvojene zone sanitарне zaštite na kartama M 1:5.000. Na području Gorskog kotara zaštita je prikazana jedinstvenom podlogom (SL.N.PGŽ 23/04 & GLASNIK KARL.ŽUP. 38/04), koja osim sliva gornjeg toka rijeke Kupe obuhvaća i područje sliva Gornje (Ogulinske) Dobre obrađenog u sklopu studije ugroženosti područja općine Vrbovsko proširene na cijelokupno područje sliva Gornje Dobre (BIONDIĆ et al., 2003).

Na području sliva gornjeg dijela toka rijeke Kupe zaštita je podijeljena na četiri zone zaštite i vodoopskrbni rezervat (sl. 14), a shodno tome su stupnjevane i zabrane i ograničenja koje ovise prvenstveno o mogućnosti utjecaja na degradaciju kakvoće podzemne vode. Najveću površinu pokriva područje IV. zone sanitарne zaštite, u kojoj su ograničenja i zabrane minimalne. Najstrože zabrane vezane su za I. zonu zaštite, ali ona obuhvaća sam zahvat i ogradi dio crpilišta. II. i III. zona nadovezuju se na I. zonu ovisno o brzinama podzemnih tokova prema izvoristima, odnosno o brzini pronosa potencijalnog onečišćenja do crpilišta. Višoke planinske zone za koje do sada nisu rađena detaljnija hidrogeološka istraživanja, a glavne su zone prihranjuvanja

vodonosnika velikih izvora, izdvojene su kao vodoopskrbni rezervati (sliv izvora Čabranke i sliv izvora Kupe). Iako se prema Pravilniku (NN 55/02) u njima provode ograničenja i zabrane kao kod II. zone zaštite, izdvojeni su preventivno jer se radi o planinskim predjelima bez (ili s vrlo malo) stanovnika, odnosno bez potencijalnih onečišćivača. Preventiva vodoopskrbnog rezervata je postavljena iz razloga preventivne zaštite u slučaju nekih potencijalnih zahvata. Preventivno su zaštićena i pojedina velika izvorišta koja do sada nisu uključena u vodoopskrbne sustave (izvor Kupe, Mala i Velika Belica).

Generalna karta ugroženosti sliva gornje Kupe ukazala je na najugroženije točke sliva. Prije svega to su neizvedeni ili nefunkcionalni sustavi odvodnje i pročišćavanja otpadnih voda domaćinstava i rijetkih industrijskih pogona. Naime, samo poneka naselja na području sliva imaju izgrađene sustave pročišćavanja otpadnih voda, kao npr. Delnice gdje funkcioniра samo mehanička komponenta pročistača. Odlagališta otpada slijedeća su grupa onečišćivača jer se na području sliva radi ili o divljim ili o neuređenim depozitima (uglavnom vrtače). Najveće deponije su delnička deponija i odlagalište u Tršću za potrebe Čabra. Infrastrukturni objekti, kao npr. autocesta ili naftovod, također su potencijalni onečišćivači podzemnih voda, a prolaze vrlo osjetljivim područjima u slivu izvora Kupice i Zelenog Vira, a također i u susjednom slivu Gornje Dobre.

Točka 4: Hidrogeokemijska obilježja izvorskih voda gornjeg dijela sliva rijeke Kupe

Stop 4: Hydrogeochemical characteristics of spring waters of the upper part of the Kupa River catchment area

Sanja Kapelj & Tamara Marković

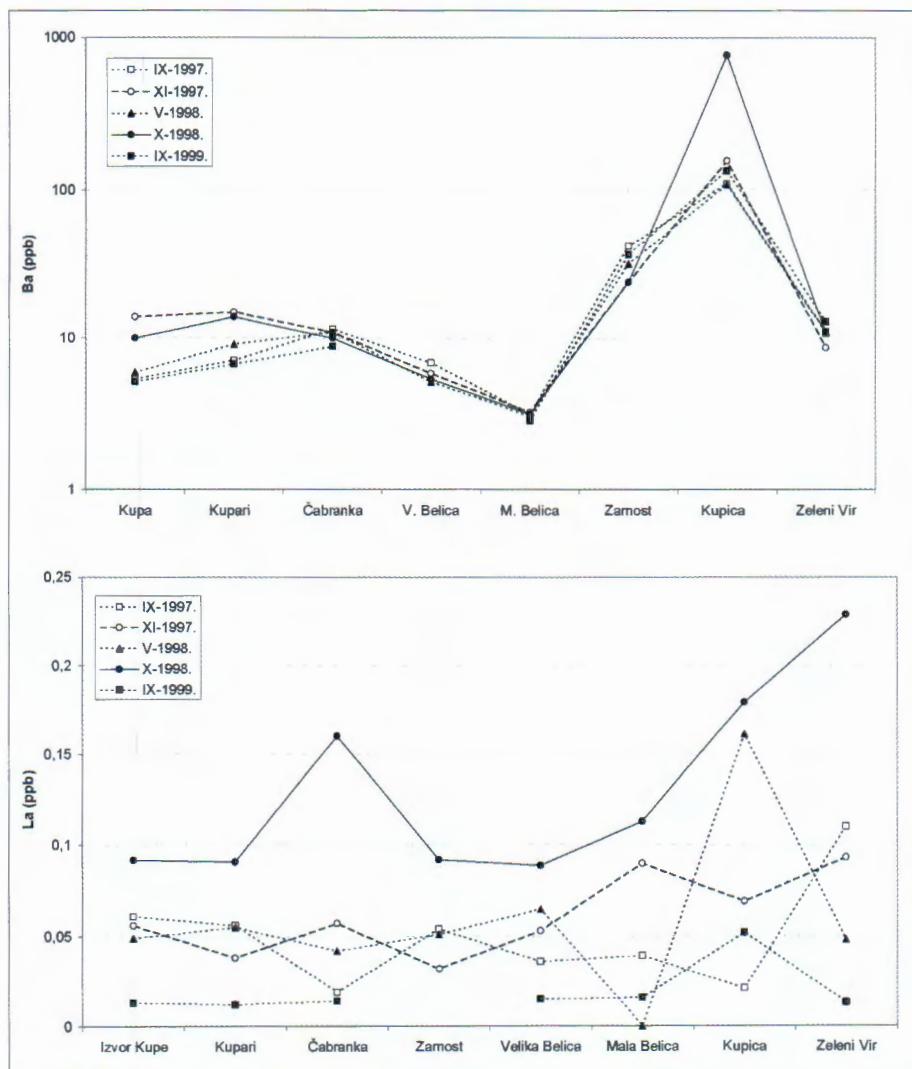
Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: sanja.kapelj@igi.hr

Hidrogeokemijska obilježja

Hidrogeokemijski facijes istraživanog područja karakterističan je za krške terene gdje u litološkom sastavu vodonosnika uz vapnence i dolomite poseban utjecaj na kemijsam voda imaju klastične naslage paleozoika i gornjeg trijasa. Prema tome, izvorske vode na području gornjeg dijela sliva rijeke Kupe, izvor Kupe, Kupari, Zamost, Kupica, Zeleni Vir s obzirom na njihov osnovni ionski sastav pripadaju pretežito Ca-HCO₃ geokemijskom tipu, a izvorska voda Čabranke je CaMg-HCO₃ do MgCa-HCO₃, što je posljedica većeg udjela dolomita u sastavu vodonosnika (APPELO & POSTMA, 1994).

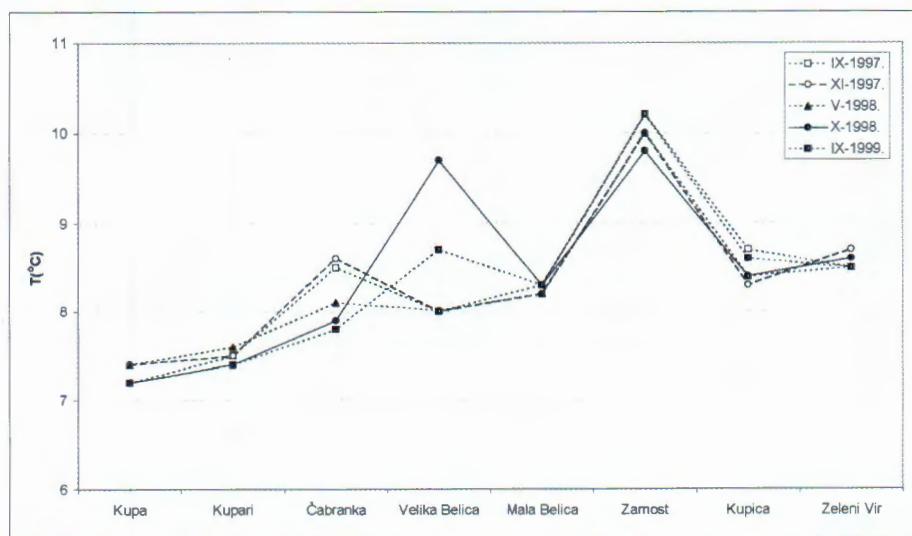
Izvorske vode koje istječu na izvorima u promatranom razdoblju bile su nezasićene do slabo zasićene kalcitnom mineralnom fazom. Izvorske vode Kupe, Kupara, Rječine, Kupice i Zelenog Vira bile su uglavnom nezasićene do slabo nezasićene dolomitom, a izvorske vode Čabranke, Zamosta, Velike i Male Belice povremeno su bile slabo zasićene dolomitom zbog povišene koncentracije magnezija tijekom hidrološki viših voda kada dolazi do njegove migracije procjednim vodama iz dolomitnog i klastičnog pokrova vapnenačkog vodonosnika.

Izvori u čijem slivu se nalaze klastiti paleozoika i gornjeg trijasa (Kupica i Zeleni Vir) odlikuju se nešto povišenim ukupnim koncentracijama elemenata, nekih teških metala,



Sl. 15 Sadržaj barija i lantana u izvorskim vodama.

Fig. 15 Barium and Lanthanum content of spring waters.



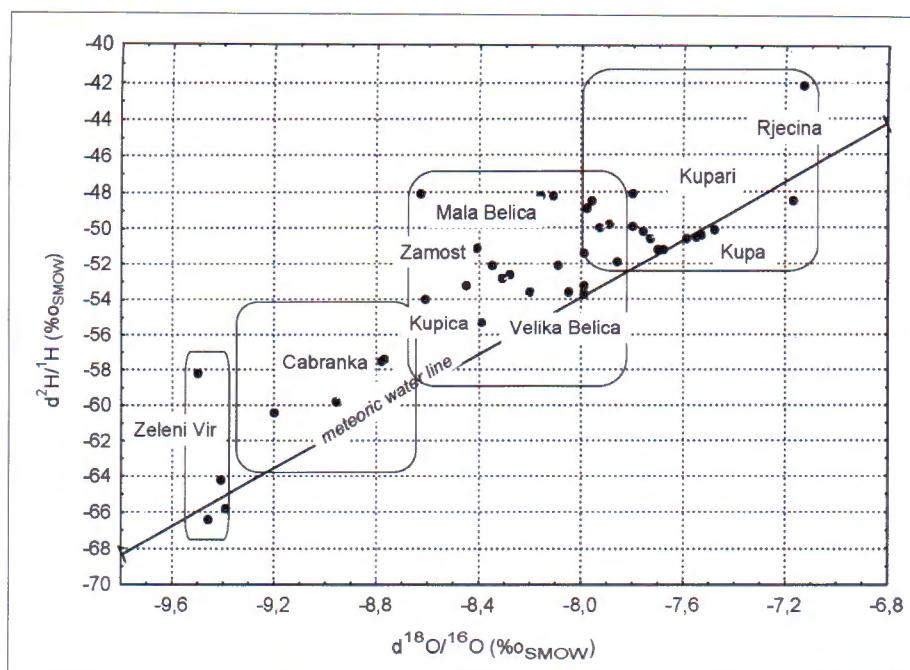
Sl. 16 Temperatura izvorskih voda.

Fig. 16 Spring water temperature.

nemetala, prijelaznih elemenata, te elemenata lantanidske i aktinidske serije (sl. 15). Posebnu zanimljivost predstavlja povišeni sadržaj barija na izvorima Zamost, Kupica i Zeleni Vir čije porijeklo treba tražiti u pojavama baritnih ležišta. Baritna rudna mineralizacija u Gorskom kotaru nosi oznake tipičnih uslojenih ležišta. Konkordantno je uložena na kontaktu permских i gornjotrijaskih sedimenta. Prema najnovijim rezultatima sredina u kojoj je došlo

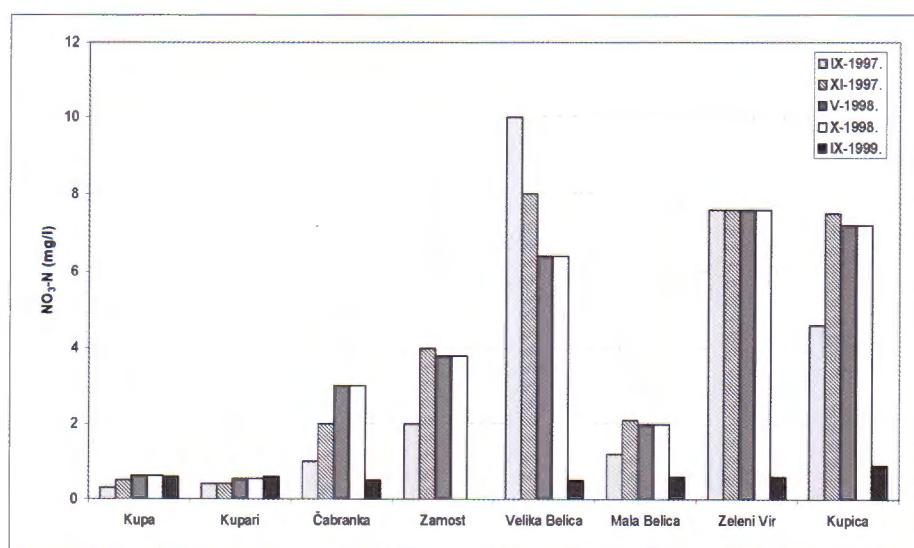
do formiranja ranodijagenetske mineralizacije navodi se facijes plimnih zaravni s pridruženom evaporitnom dolomitizacijom (PALINKAŠ & ŠINKOVEC, 1986).

U hidrogeologiji krša vrlo uobičajen prirodni traser je temperatura podzemnih voda (sl. 16). Ona u pravilu odražava srednju godišnju temperaturu zraka područja pretežitog napajanja pojedinih vodonosnika. Stoga je na istraživanom području najniža temperatura izvorske



Sl. 17 Odnos sadržaja stabilnih izotopa kisika i vodika u izvorskim vodama i pravca oborinske vode šireg područja.

Fig. 17 Stable isotope composition of spring waters.



Sl. 18 Sadržaj nitrata u izvorskim vodama.

Fig. 18 Nitrate concentrations of spring waters.

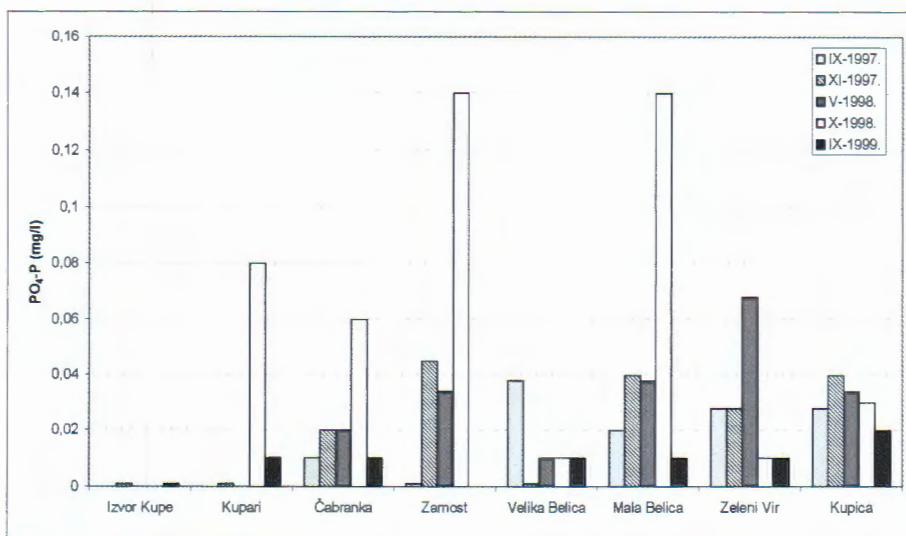
vode zabilježena na izvorima Kupe, Kuparima, Rječine i Čabranke jer se područje njihovog napajanja nalazi na hiposimetrijski najvišim terenima.

Varijacije omjera stabilnih izotopa kisika i vodika u podzemnim vodama (sl. 17) odraz su promjene godišnjih doba, nadmorskih visina područja prihranjivanja, blizine mora i izotopnih izmjena sa stijenskom masom. Ustanovljena linearna zavisnost između sadržaja stabilnih izotopa kisika i vodika u oborinama omogućava bolju ocjenu porijekla voda (COPLEN, 1993; IAEA, 1981, 1983). Udaljavanjem od utjecaja mora i sniženjem nadmorske visine područja pretežitog napajanja u izvorskim vodama se smanjuje udio težih izotopa što je očito iz sl. 17. Male varijacije tijekom promatranog razdoblja na pojedinim izvorima odražavaju mogućnost dobre homogenizacije svakog novog doprinosa s već postojećom podzemnom vodom, a velike su odraz pretežito kanalnog tipa tečenja i povremenog karaktera izvora (Rječina, Čabranka, Velika Belica, Zeleni Vir). Najveće sličnosti u izmjerenim vrijednostima stabilnih izotopa uočene su na izvorima Kupe,

Kupari i Rječine te Male i Velike Belice, što ukazuje na njihovo zajedničko porijeklo i slične uvjete napajanja (sl. 17). Izotopno najsličniji izvor Belicama je izvor Zamost (prema slivu izvora Kupe i Kupara) i izvor Kupice. Potpuno odvojen vodonosnik drenira se na izvoru rijeke Čabranke (BIONDIĆ et al., 2005; KAPELJ et al., 2002).

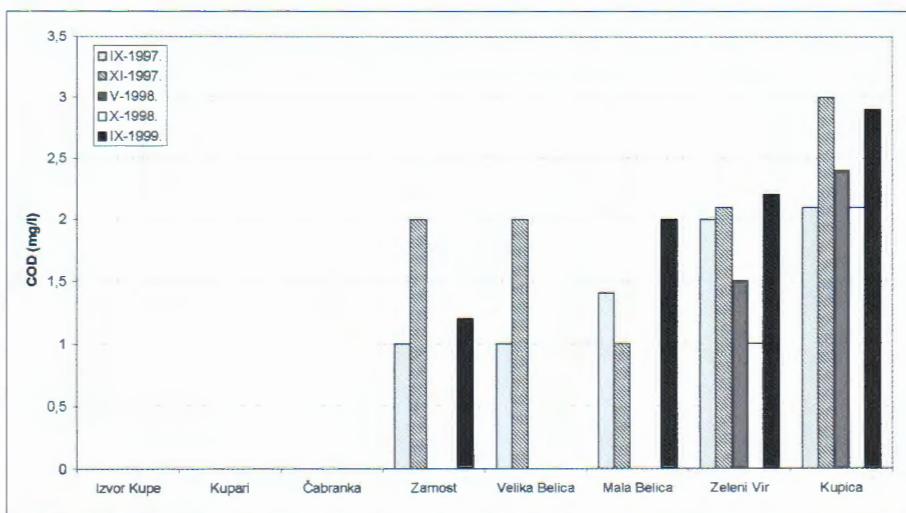
Kakvoća izvorskih voda

Postojanje antropogenog opterećenja podzemnih voda na području gornjeg dijela sliva rijeke Kupe ustanovljeno je na temelju kemijske potrošnje kisika (COD), sadržaja nitrata i ortofosfata. Izmjereni pokazatelji onečišćenja upućuju na činjenicu da su jedino izvori rijeke Kupe i Kupari u potpunosti bez antropogenog utjecaja. Izmjerene koncentracije nitrata (sl. 18), ortofosfata (sl. 19) i vrijednosti kemijske potrošnje kisika (sl. 20) karakteristični su za čiste vodonosnike krša Dinarida.



Sl. 19 Sadržaj ortofosfata u izvorskim vodama.

Fig. 19 Orthophosphate concentrations of spring waters.



Sl. 20 Kemijska potrošnja kisika u izvorskim vodama.

Fig. 20 Chemical oxygen demand in spring waters.

Zabrinjavajuće su izmjerene koncentracije nitrata (sl. 18) i kemijska potrošnja kisika (sl. 20), čije su vrijednosti ponekad više od maksimalno dopuštenih za pitku vodu, posebno na izvorima Zeleni Vir i Kupica. Vjerojatno je

glavnina pojave onečišćenja vezana za septičke jame domaćinstava naselja u slivu i sve dok se ne izgradi kanalizacijski sustav u naseljima onečišćenja će biti nemoguće spriječiti.

Točka 5: Zaštita voda akumulacije Križ potok

Stop 5: The Križ Potok Reservoir Water Protection

Ante Pavičić¹ & Željko Štefanek²

¹ Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: ante.pavicic@igi.hr

² Hidroinženjer d.o.o., Okučanska 30, HR-10000 Zagreb, Hrvatska

Uvod

Koncepcija zaštite voda akumulacije Križ potok temelji se na određivanju zona sanitарне zaštite izvorišta za piće, uvažavanju postojećeg stanja na terenu te načelu da zaštitu ne treba svesti isključivo na administrativne mјere zabrane.

Mjere u cilju zaštite kakvoće vode potrebno je predvidjeti već u najranijoj fazi projekta, što znači potrebne zahvate i troškove staviti u jednaki odnos s glavnim građevinskim radovima.

Takva postavka otvara mogućnost aktivnostima u slivu koje ne zagađuju okoliš i mogu se kontrolirati. Sukladno tome način gospodarenja u slivu i mjere upravljanja akumulacijom trebaju omogućiti što duži vijek trajanja akumulacije.

Uloga i interes lokalne zajednice nezaobilazni su u zaštiti izvorišta vode za piće. Zabrane, za lokalnu zajednicu naročito, u pravilu rezultiraju ukidanjem postojećih djelatnosti, a time i izvora prihoda. Zbog toga kao nadomjestak treba omogućiti novi načini korištenja prostora sliva i mogućnost zarade za pristojan život.

Neophodno je maksimalno uvažiti postojeće stanje korištenja prostora u slivu, a to znači što manje posegnuti za rušenjem izvedenih građevina. Sa stanovišta izgrađenosti, sliv Križ potoka može se ocijeniti relativno nedirnutim, pa je od posebne važnosti takvo stanje sačuvati, a tamo gdje je moguće i poboljšati. U pogledu planiranih zahvata u prostoru treba izbjegći svaki zahvat koji je u suprotnosti s očuvanjem količine i kakvoće vode za piće.

Hidrogeološki odnosi

Područje šireg sliva Križ potoka izgrađuju naslage mlađeg paleozoika, donjeg i gornjeg trijasa, lijasa i kvartarne naslage (IVIČIĆ & VILJEVAC, 1993; ŠTEFANEK, 1998a).

Na obrađenom terenu registrirani su tektonski elementi koje je moguće detaljnije analizirati samo u sklopu strukturno-tektonskih odnosa u širem području. Paleozojske naslage, na kojima će najvećim dijelom ležati akumulacija Križ potok, bez obzira na njihov regionalni tektonski položaj, čine dovoljno debeli nepropusni kompleks naslaga koje omogućuju njezinu vododrživost.

Prema stratigrafskom položaju, litološkom sastavu i stupnju oštećenosti naslaga, morfologiji terena i hidrogeološkim pojavama u istraživanom prostoru je izdvojeno pet skupina stijena različitih hidrogeoloških svojstava.

U grupu **naslaga naizmjeničnih hidrogeoloških svojstava** uvršten je kvartarni pokrivač (al, Q₂) izgrađen iz prašastih i pjeskovitih glina, pjeska, šljunka i krša, nastao najčešće rastrožbom stijena u podlozi. Veću vodopropusnost imaju aluvijalne šljunčane naslage na pregradnom mjestu, a uzrokvana je šljunčanim nanosom potoka.

Dobro propusne naslage su vapnenci i vapnenci i dolomiti u izmjeni (J₁). Izgrađuju sjeveroistočni dio sliva, a na površini se pojavljuju iznad zaplavnog prostora akumulacije.

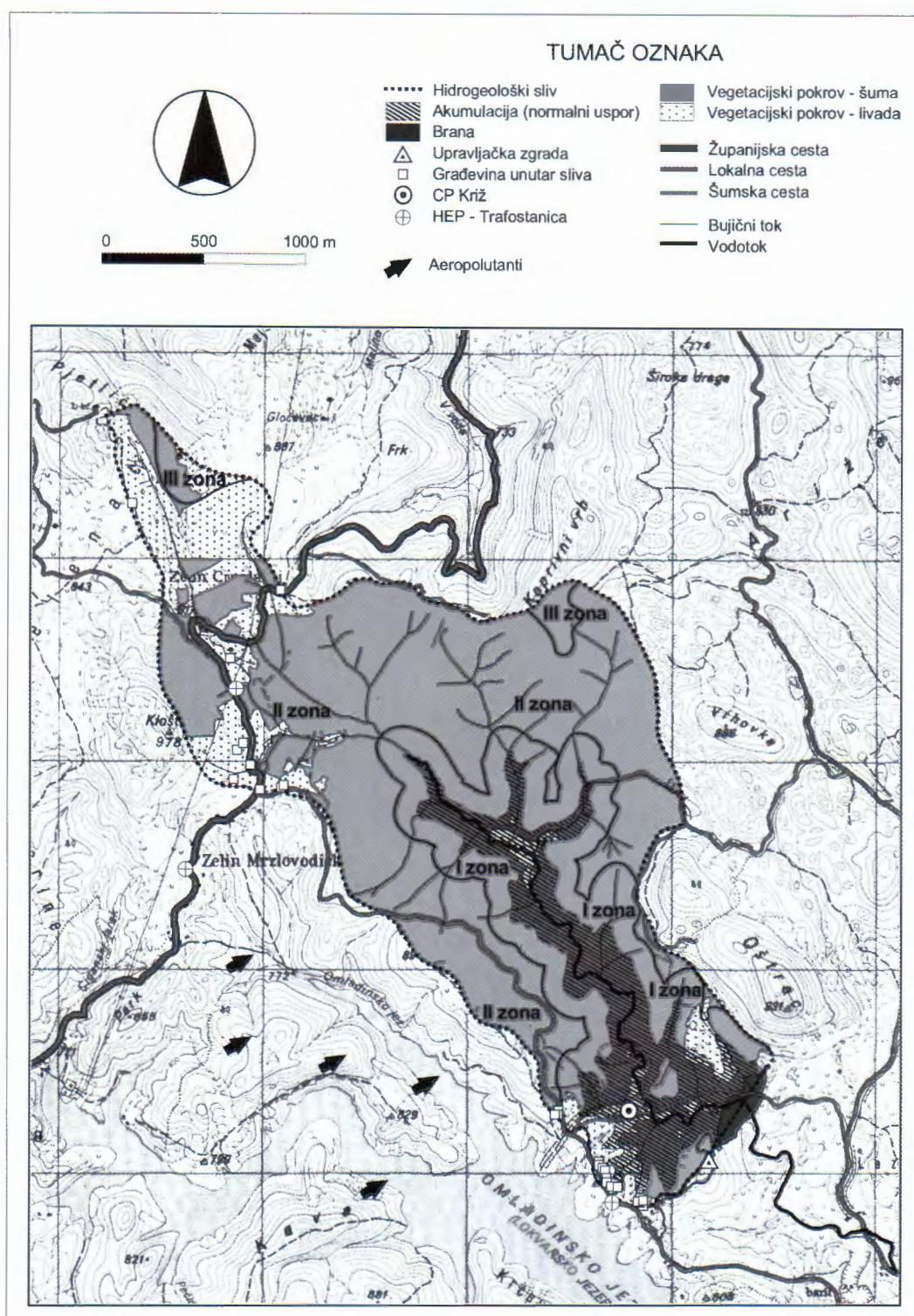
Djelomično nepropusne naslage su dolomiti vršnog dijela donjeg i gornjeg trijasa (T₁, T₃a) a propusnost im ovisi o raspucanosti i okršenosti.

Djelomično propusne naslage su klastične stijene donjeg trijasa (T₁) i baznog dijela gornjeg trijasa (T₃¹). Donjotrijaske naslage su predstavljene višestrukom izmjenom klastičnih i karbonatnih članova, ali unatoč tome, možemo ih smatrati u cijelini praktički nepropusnim. Pojava okršavanja unutar dolomitnih naslaga lokalnog je karaktera. Ovdje su uvršteni i dolomiti jure (J₁).

Nepropusne stijene u slivu su naslage paleozoika (Pz₂) u čijem sastavu prevladavaju klastični sedimenti, (šejlovi, siltiti, pješčenjaci i kvarcni konglomerati), koji se višestruko izmjenjuju i prelaze jedni u druge bočno i vertikalno. Moguća su procjeđivanja kroz povezane prsline i pukotine u pripovršinskom dijelu čvrstih članova.

Kako najveći dio terena u slivu Križ potoka izgrađuju nepropusne i slabo propusne naslage, dotjecanje je uglavnom površinsko, pa je bilo moguće sa sigurnošću odrediti granicu sliva – zaštitnog područja akumulacije Križ potok. U području nepropusnih paleozojskih i slabo propusnih donjotrijaskih naslaga podzemna (hidrogeološka) i topografska razvodnica se poklapaju.

Kod Zelina Crnoluškog na sjever, preko Jelenca, razvodnica je zonarna. Prolazi relativno propusnim područjem gornjotrijaskih dolomita, pa joj se položaj može mijenjati u granicama od nekoliko stotina metara.



Sl. 21 Potencijalni zagađivači.

Fig. 21 Layout of possible polluters.

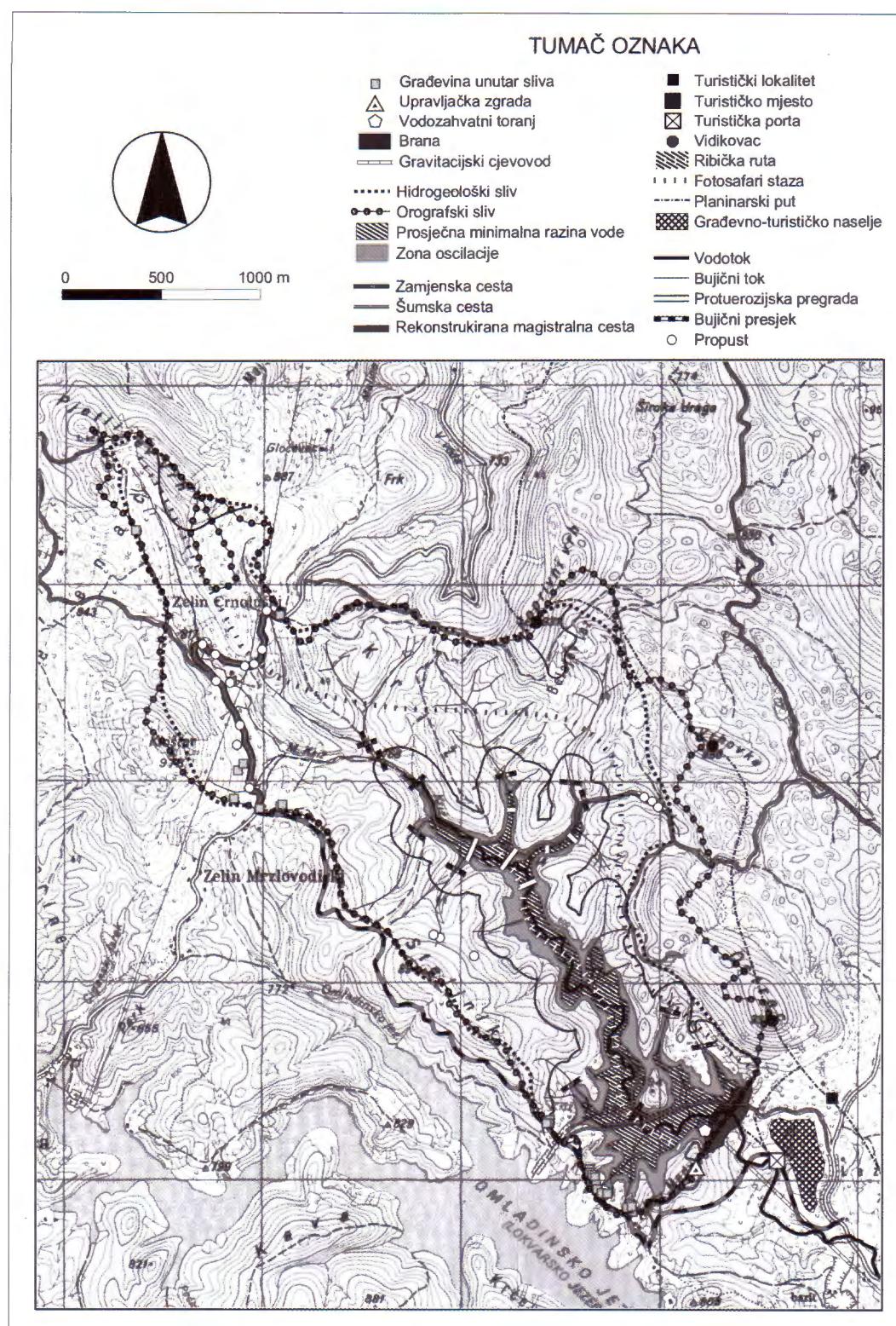
Određivanje zona sanitарне заštite

Prema "Pravilniku o utvrđivanju zona sanitарne zaštite izvorišta" (NN 55/02) u člancima od 30. do 37. tretira se problematika zona sanitарne zaštite akumulacija vode za piće. Cjelokupno slivno područje sukladno Pravilniku podijeljeno je na tri zone i to:

Zona ograničenja i kontrole – III. zona se utvrđuje za površine na kojima nije razvijena površinska hidrografija. U slivu Križ potoka to su dvije male površine uz granicu sliva (sl. 21), izvan neposrednog utjecaja vodotoka.

Zona strogog ograničenja – II. zona koja se utvrđuje radi zaštite akumulacije od onečišćenja koja mogu biti donesena stalnim ili povremenim dotocima. Ova zona obuhvaća pojas širine najmanje 100 metara sa svake strane dotoka mjereno od vanjske granice I. zone, a prostire se uz dotok do granice područja sliva akumulacije, te pojas od 100 metara u akumulaciju mjereno od vanjske granice I. zone.

U slučaju Križ potoka hidrogeološkim i hidrološkim radovima je utvrđeno da se sliv akumulacije, osim izdvojene III. zone, nalazi u nepropusnim naslagama, te da su vre-



mena dotoka vode u akumulaciju i manja od 1 sata, pa je određeno da ta površina sliva od granice I. zone do granice sliva bude II. zona. To je u skladu s "Odlukom o zonama sanitarnе zaštite izvorišta vode za piće na području Gorskog kotara" (Službene novine Primorsko goranske županije – godina XII., broj 23) gdje je cijeli sliv akumulacije Križ potok izvan I. zone uključen u II. zonu sanitarnе zaštite.

Karakteristika najvećeg dijela bokova akumulacije su brojni jarki koji zbog kratkoće i nagiba vrlo brzo donose vodu u područje akumulacije, pa je nužno sprečavanje

unošenja zagađenja s gotovo cijelog slivnog područja, jer nije moguće adekvatno reagirati u slučaju akcidentne situacije.

Zona strogog režima zaštite – I. zona obuhvaća akumulacijsko jezero, branu, crpnu stanicu, postrojenja za preradu vode, građevinu za pogon, održavanje i čuvanje, zaštitne taložnice na ušću dotaka i zaštitni pojas uz akumulaciju u širini od 10 m od ruba vode pri najvišem vodostaju.

Bujični tokovi

Križ potok po većini svojih karakteristika predstavlja bujični tok s vrlo izraženom oscilacijom protoke, te nagnim i brzim nailaskom velikih voda kod pojave povećanih oborina ili naglog topljenja snijega. Taj karakter ublažuje dugačka dolina glavnog toka relativno blagog uzdužnog pada kroz koju on meandira. Kako će izgradnjom brane gotovo čitava dolina biti potopljena to će se stanje bitno promijeniti i kopneni dio sliva predstavljat će zapravo sadašnji gornji, izvorišni dio. Svi tokovi koji će utjecati u akumulaciju bit će izrazito bujičnog karaktera, s vrlo malim vremenima koncentracije voda i vrlo visokim specifičnim maksimalnim protokama, a u njima će se stvarati glavnina nanosa koji će opterećivati akumulaciju (sl. 22).

Izrađeni proračuni vodnih količina za dimenzioniranje objekata na bujicama pokazali su da su vremena dolaska voda iz rubnih točaka sliva do akumulacije vrlo kratka, gotovo u svim slučajevima manje od trideset minuta, skladno tome vremena dolaska vode sa cesta, potencijalnih točaka zagađenja, još su kraća, pa praktično u slučaju havarija nema vremena za intervencije (MIČETIĆ, 2000).

Opis zahvata

Akumulacija Križ potok zamišljena je kao izvorište vode budućeg regionalnog vodovoda kojim će se opskrbljivati područje Gorskog kotara. Akumulacija je predviđena u slivu pokraj Lokvarske akumulacije u blizini mjesta Lokve (sl. 22). Za akumulaciju Križ potok usvojene su sljedeće veličine (PAVLETIĆ, 1995):

- obujam akumulacije – 9,000.000 m³;
- retencijski prostor – 1,700.000 m³;
- prostor za prihvat nanosa – 150.000 m³;
- visina brane – 34 m;
- dužina brane – 450 m;
- dužina zavjese – 600 m.

Površina orografskoga sliva iznosi 5,49 km², hidrogeološkoga sliva 4,9 km², opseg akumulacije kod maksimalne kote uspora iznosi 10,72 km, a njezina površina 87,7 ha. Odnos obujma akumulacije i prosječnog godišnjeg dotoka iznosi 0,912, što ukazuje na visok stupanj moguće regulacije dotoka i na zadržavanje većeg dijela nanosa.

Idejnim projektom predviđene su sljedeće građevine: nasuta brana sa zavjesom, hidrotehničke građevine, vodozahvat, pristupna cesta i upravljačka zgrada (ŠTEFANEK, 1998b). Svi su zahvati odabrani da bi zadovoljili zahtjeve zaštite okoliša te da bi predstavljali tehnički optimalna rješenja. Zahvati koji su proizšli iz analiza provedenih u studiji utjecaja navedeni su u nastavku u mjerama zaštite kakvoće vode (ŠTEFANEK, 2000).

Zaključci

Kako najveći dio terena u slivu Križ potoka izgrađuju nepropusne i slabo propusne naslage, dotjecanje je uglavnom površinsko s gusto razvijenom hidrografskom mrežom. Izrađeni proračuni vodnih količina na bujicama pokazali su da su vremena dolaska voda iz rubnih točaka sliva do akumulacije gotovo u svim slučajevima manja od trideset minuta, dok su vremena dolaska vode sa cesta još kraća, pa praktično u slučaju havarija nema vremena za intervencije. To su bili osnovni kriteriji zbog kojih je gotovo cijeli sliv svrstan u I. i II. zonu sanitарne zaštite.

Studijom o utjecaju na okoliš akumulacije Križ potok, koja je predviđena kao izvorište vode za regionalni vodovod Gorskog kotara, obuhvaćen je njezin utjecaj na okoliš, ali i okoliš na buduću akumulaciju. Slivno područje je razmatrano kao jedinstvena cjelina u kojoj je usklađeno gospodarenje i mjere koje treba provesti u zonama sanitarnе zaštite buduće akumulacije. Voda iz akumulacije će se prije upotrebe pročišćavati u uređaju za kondicioniranje, pa mjere zaštite trebaju osigurati što veću kakvoću sirove vode koja se može pripremiti za piće uz prihvatljive troškove.

Točka 6: Izvor rijeke Kupice

Stop 6: Kupica River Spring

Ranko Biondić & Sanja Kapelj

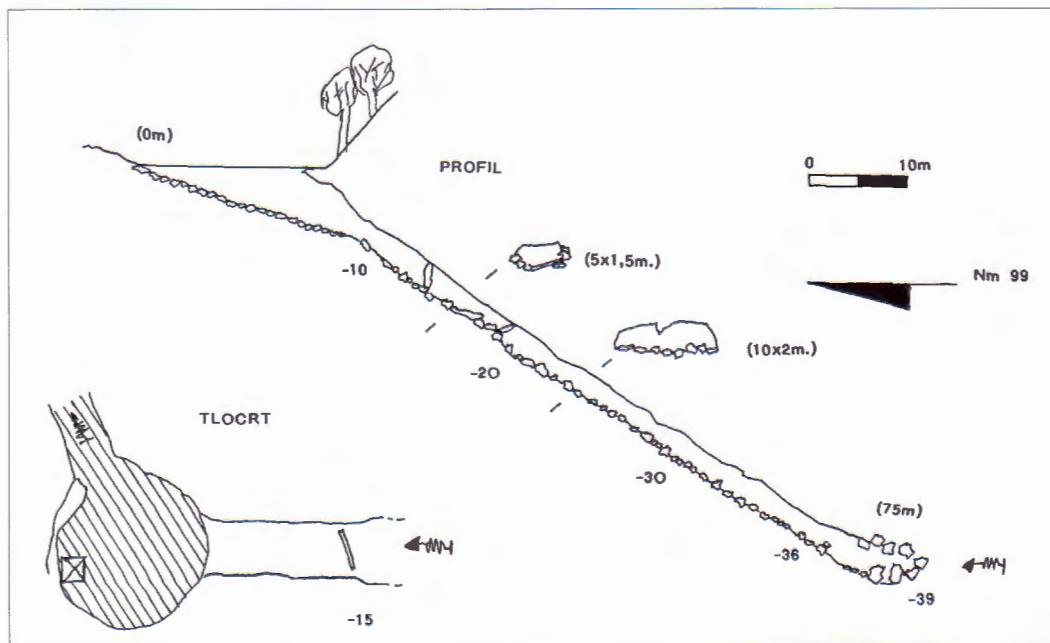
Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: rbiondic@igi.hr

Slivno područje izvora Kupice sa južne i jugoistočne strane omeđuje razvodnica Jadranskog i Crnomorskog sliva, a sa zapadne strane graniči sa slivovima Gornje Dobre i Zagorske Mrežnice. Prostire se na vrlo velikom području od Mrkoplja sve do doline Kupe. Sjeverozapadna granica ovog sliva vezana je za prostiranje Delničkog rasjeda, tj. rasjeda Lokve–Delnice–Kupica za koji se prepostavlja da ima funkciju zonarne razvodnice. U području Delničkog rasjeda rađeno je nekoliko trasiranja koja pokazuju podzemnu vezu prema izvoru Kupice i Zelenom Viru, ali također i prema Maloj Belici u susjednom slivu. Ipak, najveći broj dokazanih podzemnih veza je prema izvoru Kupice i Zelenom Viru. To samo potvrđuje višestruke povezanosti krških slivova u različitim hidrološkim uvjetima. Sjeveroistočna razvodnica prema izvoru Gornje Dobre je površinska na području izgrađenom od nepropusnih klastičnih naslaga i razdvaja površinske tokove prema području Skrada od onih prema području Stare Sušice i Javorove Kose gdje Gornja Dobra započinje svoj tok priključujući vodu iz nekoliko jaraka.

Najveći izvori u slivu su izvor Kupice i Zeleni Vir. To su dva vrlo značajna izvora Gorskog kotara, koji ukupno daju oko 500 l/s u minimumu. Izvoriste Kupice kaptirano je za potrebe vodoopskrbe Gorskog kotara (crpi se oko 100 l/s), a izvoriste Zeleni Vir se koristi za proizvodnju električne energije. Osim njihove gospodarske važnosti ova dva iz-

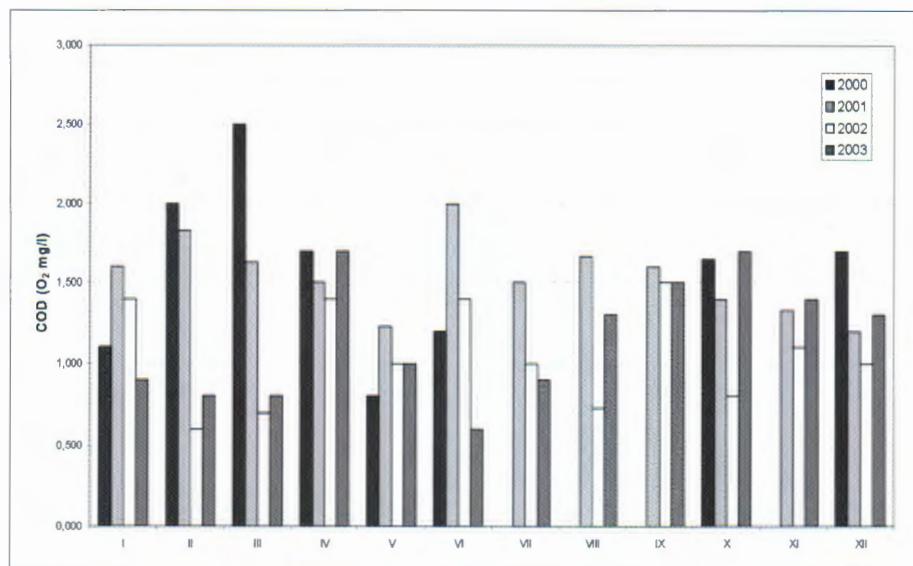
vora imaju istaknuto mjesto u razmatranjima ne samo vodnih sustava, već i u tektonskim, strukturnim, a i u ostalim razmatranjima različitih geoloških specijalnosti. Razlog tomu je alohton položaj paleozojskih naslaga u zaledu izvora Kupice i Zelenog Vira ispod kojih su trasiranjima podzemnih tokova dokazani tokovi podzemne vode prema oba izvora. Rezultati trasiranja bili su egzaktan pokazatelj postojanja izrazitih alohtonih formi u Gorskom kotaru i polazna osnovica razmišljanja prof. Heraka o strukturnoj gradi Dinarida.

Izvor Kupice jedini je izvor u slivu na kojem se vrše hidrološka mjerena (od 1985. godine). Najmanji izmjereni protok na izvoru iznosio je samo 51 l/s. Na izvoru Zeleni Vir nema hidroloških mjerena već se on procjenjuje na osnovi razlike protoka vodomjernih postaja Brod na Kupi (Kupica) i izvor Kupice (Kupica), jer se vodomjerna postaja Brod na Kupi nalazi nizvodno od utoka potoka Curak u Kupicu. Najmanji izmjereni protok na vodomjernoj postaji Brod na Kupi (Kupica) je 794 l/s, što ukazuje na nesrazmjer prema 51 l/s na izvoru Kupice, jer između ove dvije vodomjerne postaje osim pritoka Curak (Zeleni Vir), nema drugih većih pritoka. Srednja protoka izvora Kupice iznosi oko $5 \text{ m}^3/\text{s}$, a na v.p. Brod na Kupi (Kupica) $13,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Dijelom je to voda lijeve pritoke Delničkog potoka kod Lešnice, a najvećim dijelom Zelenog Vira, tj. potoka Curak. Maksimalna protoka na izvoru Kupice iznosi



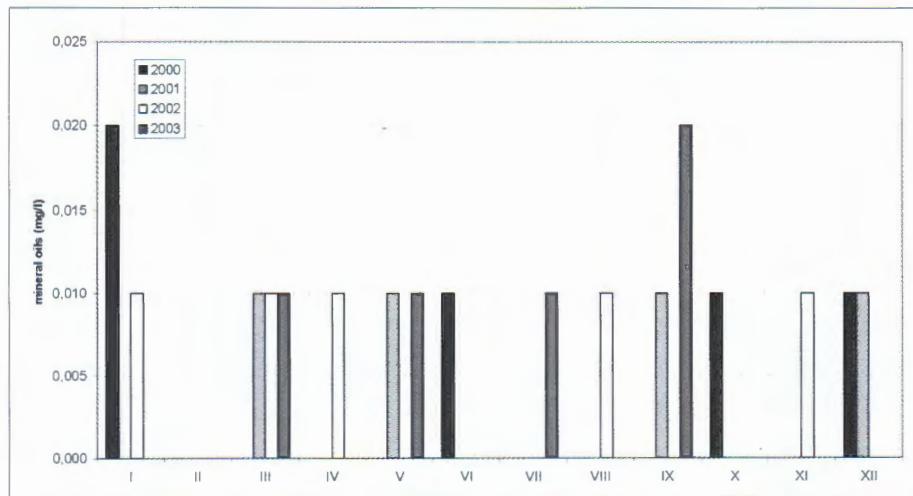
Sl. 23 Speleološki profil izvora Kupice (STEFANATO, 1999).

Fig. 23 Speleological cross-section of Kupica River spring (STEFANATO, 1999).



Sl. 24 Kemijska potrošnja kisika u izvorskim vodama.

Fig. 24 Chemical oxygen demand (COD) of spring waters.



Sl. 25 Sadržaj mineralnih ulja u izvorskim vodama.

Fig. 25 Mineral oils in spring waters.

je $65,6 \text{ m}^3/\text{s}$, a na nizvodnoj vodomjernoj postaji kod Brod na Kupi čak $357 \text{ m}^3/\text{s}$. Veliki dio razlike otpada na direktnе doteke sa paleozojskih klastičnih naslaga sa kojih se u uvjetima velikih voda formiraju značajni bujični vodotoci.

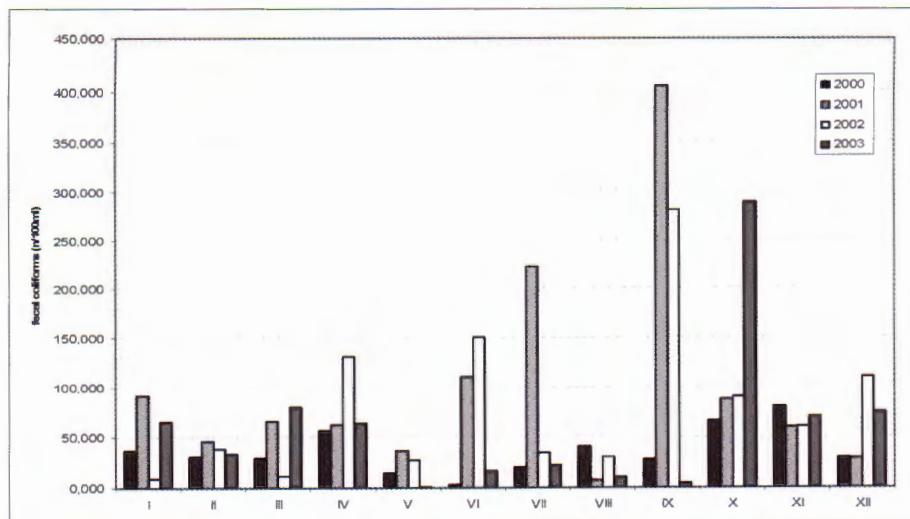
Rijeka Kupica započinje svoj tok iz jezerca promjera 20–30 m gdje je smješten sam izvor. Ronjen je u sklopu ekspedicije 1999. godine i pritom je snimljen profil kanala koji se na 39 m dubine i dužine 75 m od izvora sužuje i onemogućuje daljnji prolaz (sl. 23).

U izvorskoj vodi Kupice već dugi niz godina naglašen je utjecaj otpadnih voda naselja u sливу, poglavito onih koje potječu iz domaćinstava. Prema srednjim mjesечnim vrijednostima analiza provedenih u Zavodu za javno zdravstvo Primorsko-goranske županije u Rijeci tijekom 2000., 2001., 2002. i 2003. godine (sl. 24) može se zaključiti da su tijekom cijele godine podzemne vode koje istječu na izvoru ozbiljno opterećene nazočnošću oksidabilnih organskih tvari što se vidi iz kemijske potrošnje kisika koja je prema mjesечnim prosjecima blizu maksimalno dozvoljenih vrijednosti, a često ih povremeno i premašuje (3 mg/l O_2).

Mineralna ulja također su vrlo često nazočna u izvorskoj vodi (sl. 25), a povremeno i njihov sadržaj dosiže maksimalno dozvoljene vrijednosti za pitku vodu ($0,010 \text{ mg/l}$).

Broj bakterija bez obzira na vrstu je gotovo u svim uzorcima iznad maksimalno dozvoljenih vrijednosti za pitku vodu. Na sl. 26 prikazane su samo kao primjer srednje mjesечne vrijednosti broja fekalnih koliforma u 100 ml vode.

Dakle, s jedne strane je izuzetno bogatstvo vodnih resursa izvora Kupice, a s druge sve veći antropogeni utjecaj na kakvoću izvorske vode. Razloge tomu treba tražiti u neizgrađenim sustavima odvodnje naselja u zaleđu izvora (Ravna Gora, Kupjak, Zalesina), odnosno u nedjelotvornom sustavu odvodnje Delnica sa izgrađenim pročistačem otpadnih voda na kojem funkcioniра samo mehanička komponenta, a "pročišćene" vode upuštaju se direktno u podzemlje u ponornu zonu kod Delnica. Stavljanjem u puni pogon postojećeg delničkog uređaja za pročišćavanje, odnosno izgradnjom uređaja za pročišćavanje otpadnih voda za Ravnu Goru, Zalesinu i Kupjak za očekivati je zaustavljanje trenda degradacije kakvoće podzemne vode i postupno podizanje kakvoće. Tomu teže i Direktive o voda ma Europske Unije, a upravo je sлив izvora Kupice izdvojen kao cjelina podzemne vode sa bitno narušenom kakvoćom vode. Od ostalih onečišćivača u sливу potrebno je izdvojiti Delničku deponiju otpada, ali sa toga područja nisu do sada rađena trasiranja podzemnih tokova, pa se njegov utjecaj



Sl. 26 Broj fekalnih koliforma u izvorskoj vodi Kupice.

Fig. 26 Number of fecal coliforms of Kupica spring water.

ne može sa sigurnošću tvrditi. Infrastrukturni objekti (nafotovod, autocesta, željeznična) koji povezuju sjeverozapadnu Hrvatsku sa Hrvatskim primorjem veliki su potencijalni onečišćivač u sливу. Srećom, prilikom izgradnje autoceste

Zagreb–Rijeka projektiran je zatvoren sustav odvodnje s mastolovima za slučaj akcidentnih situacija i upuštanjem voda u podzemlje izvan zona zaštite.

Točka 7: Inženjerskogeološki i hidrogeološki prikaz na području interregionalnog čvora Bosiljevo na autocesti Bregana–Zagreb–Dubrovnik

Stop 7: Engineering Geological and Hydrogeological Overview on Interregional Road-Crossing Bosiljevo on Highway Bregana–Zagreb–Dubrovnik

Željko Miklin & Dražen Navratil

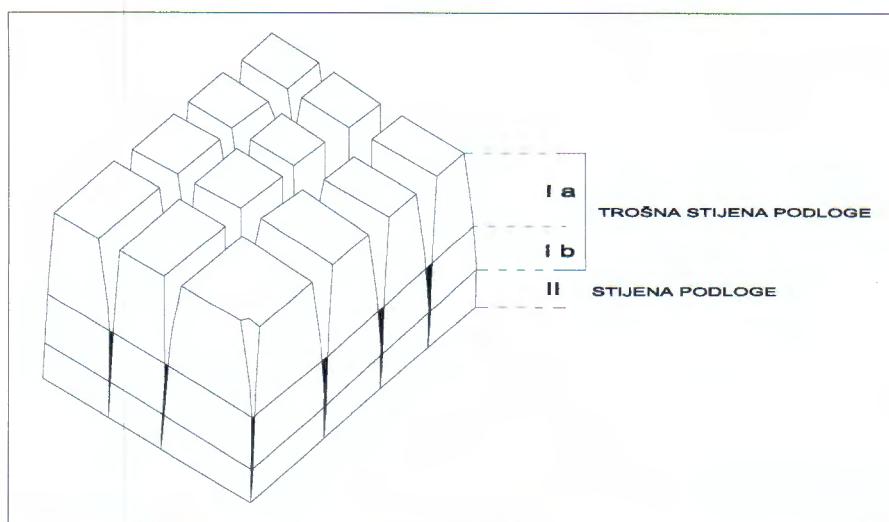
Hrvatski geološki institut, Zavod za hidrogeologiju i inženjersku geologiju, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska;
e-mail: zeljko.miklin@igi.hr

Početak trase interregionalnog čvora Bosiljevo na autocesti Bregana–Zagreb–Dubrovnik nalazi se zapadno od Hrsine, gdje je teren izgrađen od karbonatnih naslaga gornjokredne starosti. Litološki radi se o vapnencima tipa intrasparudita, gdje krupni rudisti fragmenti makrofosa i sitnoarenitni mikrofosili čine glavni sastojak intrabiosparuditnog vapnenca.

Vapnenci alba K^5 izgrađuju područje Rudina jugozapadno od Bosiljeva, sve do Grabrka te od Gojačke glave do Rasnice. Vapnenci alba normalno se nastavljaju na vapnence apta. Odlikuju se sivom i tamnosivom bojom te dobrom slojevitosti (0,10–0,80 m). Vapnenci su struktturnog tipa madston uz udio vapnenaca tipa vekston. Od skeletnih čestica su najčešće foraminifere (miliolide), a podređeno su prisutni fragmenti i čitavi fosilni ostaci školjkaša (hama), puževi i zelene alge. Veći dio skeleta ima mikritizirane

rubove ili su skeleti potpuno mikritizirani. Česti su peloidi, rjeđi su onkoidi, muljne grude i peleti. Osnova je muljna, ponekad rekristalizirana. Unutar ovih vapnenaca javljaju se "gnijezda" ili leće s istim alokemima, ali gusto pakiranim (peksionima) ili s ispranim muljnim matriksom koji je zamjenio sparitski cement (grejnston). U čitavom razvoju alba javljaju se učestalo skeletni vesktoni sa brojnim već spomenutim miliolidama. Prema obilježjima naslaga možemo zaključiti da je sredina taloženja bila mirna i zaštićena sa slabo pokretljivom vodom, što odgovara laguni. Prigrebenski vapnenci (grejnstoni) upućuju na struje oko grebena i drobljenje istih. Debljina ovih naslaga iznosi oko 400 m.

Inženjerskogeološke karakteristike stijenskih masa i tla na trasi autoceste prikazane su po stacionažama. Korišteni su podaci inženjerskogeološkog kartiranja, geomehaničkih



Sl. 27 Inženjerskogeološki model trošenja u karbonatima na autocesti.

Fig. 27 Engineering geological model of karstification on highway.

bušotina, laboratorijskih mjerena te rezultati uzdužnih i poprečnih geofizičkih profila. U vertikalnom smislu na temelju terenskog opažanja i geofizičkih istraživanja u stijenskoj masi uslijed okršavanja i trošenja duž diskontinuiteta generalno možemo izdvajati dvije (odnosno tri) osnovne inženjerskogeološke jedinice (sl. 27):

- Ia) TROŠNA STIJENA PODLOGE – stijena je malo do srednje trošna (SW–MW), širokog zjeba pukotina, bez ispune; zona brzina širenja uzdužnih valova V_p do 1000 (1500) m/s;
- Ib) TROŠNA STIJENA PODLOGE – stijena je malo trošna (SW), zjeb pukotina $\sim 1\text{--}10$ mm, glinovita ispuna, kalcit ili bez; zona brzina širenja uzdužnih valova $V_p \sim 1000$ (1500) m/s do 3000 (3500) m/s;

- II STIJENA PODLOGE – stijena je nerastrošena do malo trošna (SW), zjeba pukotina $<0,1$, $0,1\text{--}1,0$ i $1,0\text{--}5,0$ mm, bez ispune, glinovita ispuna ili kalcit, zona brzina širenja uzdužnih valova $V_p \sim 3000$ (3500) m/s

Za svaki blok dane su karakteristične debljine tih osnovnih inženjerskogeoloških jedinica i pripadajuće značajke stijenske mase. Treba napomenuti da je njihovo pružanje dosta nepravilno jer su i sami procesi okršavanja i trošenja u karbonatima vrlo nepravilnog rasprostiranja u vertikalnom i lateralnom smislu. Lokalno su utvrđene manje brzine V_p valova na većim dubinama, što ukazuje na postojanje rasjednih zona i moguću pojavu kaverni, koje su u ovakvim krškim terenima vrlo učestala pojava.

Stijenske mase nisu u načelu kontinuum, već im geotehničke karakteristike određuju diskontinuiteti u njima. Ponašanje stijenske mase ovisi o čvrstoći intaktne stijene i površini pojedinih diskontinuiteta koji zajedno čine određeni sustav. Ovisno o broju, orientaciji i prirodi pojedinih diskontinuiteta dijelovi stijenske mase će klizati, rotirati ili se drobiti, u skladu s naprezanjima kojima je stijenska masa izložena. Obzirom da postoji veliki broj mogućih oblika i veličina blokova, bilo je neophodno naći trendove ponašanja koji su zajednički za sve moguće kombinacije.

Pojam intaktne stijene obuhvaća nerazlomljene blokove, koji se bez ikakvih defekata nalaze između diskontinuiteta u tipičnoj stijenskoj masi. Blokovi intaktne stijene

mogu biti u opsegu veličine od nekoliko milimetara do više metara, a njihovo ponašanje općenito je kod čvrstih, dobro očvrstih sedimentnih, magmatskih i metamorfnih stijena elastično i izotropno. Za njih je karakterističan nagli pad čvrstoće kada se prekorači vrijednost graničnog naprezanja. Slabe sedimentne stijene mogu se "slomiti" prema elastoplastičnom modelu, pri čemu se deformacija neposredno prije sloma stijene nelinearno povećava.

Diskontinuiteti su teoretski u stijenskim masama mjesata u kojima je kohezija jednaka nuli. Pokazano je međutim da diskontinuiteti imaju određenu posmičnu čvrstoću, koja se izražava kutom trenja i kohezijom.

Čvrstoća stijenske mase definirana je kriterijem njenog "sloma" gdje se koriste određene metode analiza ravnoteže. Najkorisniji kriterij "sloma" je onaj koji izražava posmičnu čvrstoću preko efektivnog napona, koji djeluje duž određene ravnine oslabljenja (diskontinuiteti) ili se prenosi kroz čitavu masu.

Kada će se proračun stabilnosti provoditi prema posmičnoj čvrstoći diskontinuiteta, a kada kroz stijensku masu ovisi o tropiji stijenske mase. Općenito se može reći da do sloma kroz stijensku masu dolazi u slučaju kada je gustoća diskontinuiteta velika, pa se stijenska masa ponaša kao kvaziizotropna sredina. U tom slučaju se u proračunima stabilnosti kosina koristi Heok–Brown-ov empirijski kriterij sloma u stijenskoj masi. Generalno uzevši stijenska masa duž cijele dionice ponašala se kao kvaziizotropna cjelina, a svaki objekt je posebno obrađen.

Duž trase autoceste lokalno se može naići i na odstupanja, koja će se prepoznati u okviru geotehničkog nadzora, geološkim pregledom i klasifikacijom stijenske mase.

Na samom čvoru dominantni litološki član predstavljaju cenomansko–turonski (K_2^{1-2}) vapnenci. Vapnenci su madston tipa bogati fosilima, sivobijele su boje, školjkastog do iverastog loma. Zjeb pukotina varira od 1 mm do 5 cm. Pukotine su valovite i hrapave što odgovara JRC₁₀ 10–14. Prevladavaju vertikalne i subvertikalne pukotine (uglavnom su to pukotine okomite na strukturnu os "b", te pukotine paralelne klivažu osne ravnine). Uz trasu autoceste se po ovom sustavu pukotina otvaraju jame, špilje ("Duboka špilja") i široke pukotine. Najizraženije puko-

tine odgovaraju klivažu osne ravnine sa generalnim padom prema jugoistoku (samo rijetko na jugozapad). Kao što je već rečeno kut nagiba je od 50 do 82°, a slojevi padaju prema 1100 (strukturalni dijagram – sl. 27).

Prema GSI (Geological Strength Index), stijena pripada povoljnoj do dobroj stijenskoj masi, a ima 43–62 boda. Geofizički profili pokazuju brzinu uzdužnih valova od 2350 do 4800 m/s, što odgovara dobroj stijenskoj masi, a u zoni rasjeda brzina uzdužnih valova je od 1300 do 2000 m/s. Pokrivač stijenskoj masi čine gline visoke do srednje plastičnosti, malo prašinaste. Gline su krute do polukrute konzistencije, a nalaze se samo u vrtačama, gdje mogu doseći debljinu 6–8 m.

Hidrogeološki izvještaj je načinjen prema raspoloživim podacima, a u skladu s vodopravnim uvjetima Hrvatskih voda za spomenutu dionicu autoceste i s obzirom na propisane režime zaštite voda. S obzirom da je teren u širem području projektirane ceste gotovo u cijelosti izgrađen od karbonatnih naslaga i s obzirom na njihove hidrogeološke karakteristike i vodopropusnost, te postojeće izvore i vodotoke, načelno su utvrđeni slijedeći režimi zaštite voda:

- 1) Područje u kojem kontrolirani sustav odvodnje nije potreban (dispergirana odvodnja);
- 2) Područje s blažim režimom zaštite;
- 3) Područje s umjerenim režimom zaštite;
- 4) Područje sa strogim režimom zaštite;
- 5) Područje u kojem se zabranjuje ispuštanje onečišćenih voda.

Prema postojećim podacima hidrogeološke karte duž trase autoseste načinjena je ocjena osjetljivosti terena na moguća onečišćenja voda. Korišteni su i podaci izvedenih istražno-geomehaničkih bušenja duž trase na dijelu projektiranih usjeka, nasipa i građevinskih objekata. U kategorizaciji osjetljivosti područja onečišćenja vode analizirani su i drugi raspoloživi podaci, uz nastojanje što realnijeg prikaza stanja. Ovako rangirani teren obavezno treba provjeriti hidrogeološkim istraživanjima. Posebna je pažnja posvećena zaštiti terena (voda).

Pod odvodnjom autoseste smatra se osiguranje ceste od utjecaja vanjskih voda (vode izvan trupa ceste) i unutarnjih voda (priključivanje i zbrinjavanje kolničkih voda i voda s priljevnih površina). Zbog toga hidrogeološki prikaz terena duž trase predstavlja generalnu ocjenu koja se detaljnim istražnim radovima može dopuniti i mikrozoniranjem izdvojiti površine različitih karakteristika. Tu prvenstveno mislimo na izdvajanje terena različite propus-

nosti i utvrđivanje smjerova podzemnih tečenja i njihovih brzina.

Ponegdje je kvartarnim naslagama zamaskirana kaveroznost pripovršinskih naslaga. Tamo gdje je debljina kvartara izraženija, a površinski i znatnije rasprostranjena, a stupanj zaštite zahtjeva veliku sigurnost, moguće je lociranje laguna, no i na tim mjestima treba provesti detaljne istražne radove da tijekom eksploatacije ne dođe do neželjenih posljedica (kolapsiranja pripovršinskog pokrivača i direktnog povezivanja s podzemljem, odnosno nekontroliranog otjecanja iz lagunarnog prostora).

S obzirom da u blizini cijele trase nema niti jednog kaptiranog izvora pitke vode ili izvora vode perspektivnog za vodoopskrbu, na koje bi neposredno mogle negativno djelovati kolničke vode s autoceste, ublažen je kriterij zaštite. Potrebno je ispitati (istražiti) podzemne veze voda iz područja čvorišta Bosiljevo, kako bi se ili isključila ili potvrdila veza s kaptiranim izvorima u dolini Kupe.

Generalno se teren obzirom na hidrogeološke odlike može podijeliti na nekoliko karakterističnih dijelova. Prema raspoloživoj dokumentaciji ranije provedenih istraživanja prikazana dionica u ukupnom sustavu podzemnog i površinskog otjecanja pripada slivovima srednjeg toka rijeke Kupe. S obzirom na hidrogeološke i morfološke odlike terena, vodne pojave i njihov značaj, zatim projektirano "vođenje" trase i njezin nagib, predviđena su dva osnovna načina odvodnje:

- zatvoreni nepropusni cijevni sustav odvodnje autoceste i objekata na cesti i uz cestu, s kontroliranim ispustom pročišćene vode različitog stupnja čistoće;
- dispergirani (raspršeni) način odvodnje (ispuštanja) kolničkih voda duž trase preko bankina u okolni teren.

Kod Rudina, u području čvorišta i početnom dijelu, trasa prolazi preko terena izgrađenog od dobropusnih vapnenaca. Reljef je zaravnjen s brojnim ponikvama nepravilna oblika pretežito s crvenicom u dnu. To je područje označeno kao nedefinirano s obzirom na smjer otjecanja podzemne vode, pa ga trebaštiti kao područje s blažim režimom zaštite, odnosno kolničke vode pročišćavati i tada upuštati u podzemlje. Postoji mogućnost da vode iz tog područja otječu prema kaptiranim izvorima uz rijeku Kupu od Zdihova do Pribanjaca. S obzirom da nema površinskog toka ni ponora koji bi koncentrirano prikupljao vode za pretpostaviti je, ako se i dokaže veza sa spomenutim izvorima, da je teren izvan druge zaštitne zone tih izvora. Ova ocjena osjetljivosti terena sukladna je s rajonizacijom područja čvorišta "riječke" ceste dionice Bosiljevo–Kupjak.

Literatura

- APPELO, C.A.J. & D. POSTMA (1994): Geochemistry, Ground-water and Pollution.– Balkema, Rotterdam.
- BGD (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. Sci. and Geomech. Abstr., Pergamon Press Ltd., 18, 85–110.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1989): Engineering Rock Mass Classification: a Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering.– A Wiley-Interscience Publications, New York, 251 str.
- BIONDIĆ, B., KAPELJ, S., BIONDIĆ, D., BIONDIĆ, R., NOVOSEL, A. & SINGER, D. (2002): Studija ugroženosti sliva Gornje Kupe.– Arhiv IGI, 7/02, Zagreb.
- BIONDIĆ, R., MARKOVIĆ, T. & ŽUGAJ, R. (2003): Hidrogeološka istraživanja za zaštitu izvorišta pitke vode na području Vrbovskog.– Arhiv IGI, 63/03, Zagreb.
- BIONDIĆ, B., BIONDIĆ, R. & KAPELJ, S. (2005): Protection of the karst aquifers in the river Kupa catchment area and sustainable development.– Environmental Geology (u tisku).
- COPLEN, T.B. (1993): Uses of Environmental Isotopes.– U: ALLEY, W.M. & VAN NOSTRAND REINHOLD (ur.): Regional Ground-Water Quality, New York, 223–254.
- COST 65 (1995): Karst groundwater protection. Final report.– European Commission, Report EUR 16547 EN, Directorate-General Science, Research and Development, Brussels, Belgium.
- DUKARIĆ, F. & BIONDIĆ, R. (2003): Zone zaštite izvorišta Kupice i Zeleni Vir na području općine Ravna Gora – Županija Primorsko–goranska. Hidrogeološka istraživanja.– Arhiv IGI, 55/02, Zagreb.
- HERAK, M. (1980): Sustav navlaka između Vrbovskog i Delnice u Gorskem kotaru (Hrvatska) (The Nappe-system between Vrbovsko and Delnice in Gorski kotar (Croatia).– Acta geologica, 10/2, 35–51, Zagreb.
- IAEA (1981): Stable Isotope Hydrology. Technical Report Series No. 210.– International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA (1983): Guidebook on Nuclear Techniques in Hydrology, Technical report series No. 91.– International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ISRM (1978): Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials.– Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 16/2, 135–140.
- IVIČIĆ, D. & VILJEVAC, Ž. (1993): Hidrogeološki istražni radovi za definiranje zona zaštite jezera Lokvarke i Križ potoka (idejni projekt).– Arhiv IGI, Zagreb.
- KAPELJ, S., BIONDIĆ, B., MARKOVIĆ, T. & BIONDIĆ, R. (2002): Hydrogeochemical and isotope study of the upper part of the Kupa river drainage area – Croatia.– U: BOJAR, A.V., LEIS, A. & FRITZ, H. (ur.): Berichte des Institutes für Geologie und Paläontologie der Karl-Franzens-Universität Graz. Institut für Geologie und Paläontologie, 15–17.
- MICETIĆ, G. (2000): Akumulacija Križ potok, Erozija–bujice, Studija.– Hrvatske vode Zagreb, VGO Rijeka.
- MLINAR, Ž. (1996): Usjek Bajer. Projektsanacije. Inženjerskogeološka istraživanja 1995–96. Izvješće.– Arhiv IGI, Zagreb.
- NARODNE NOVINE 55/02 (2002): Pravilnik o utvrđivanju zona sanitarno zaštite izvorišta.
- PALINKAŠ, L.A. & ŠINKOVEC, B. (1986): Tidal flat facies and barite mineralization in Gorski Kotar.– Geol. vjesnik, 39, 215–224.
- PAVLETIĆ, Lj. (1995): Studija mogućnosti korištenja voda Križ potoka za vodoopskrbu – Akumulacija Križ, Bilanca voda i dimenzioniranje akumulacijskog prostora, Knjiga 3.– JVP Hrvatska vodoprivreda, OJ Rijeka.
- SLUŽBENE NOVINE PRIMORSKO–GORANSKE ŽUPANIJE 23/04 & GLASNIK KARLOVAČKE ŽUPANIJE 38/04 (2004): Odluka o zonama sanitarno zaštite izvorišta vode za piće na području Gorskog kotara.
- SHERARD, J.L., DUNNINGAN, L.P. & DECKER, R.S. (1976): Identification and nature of dispersive soils.– Journal of the Geotechnical Engineering Division. ASCE, 102, GT 4, 287–301.
- STEFANATO, J.P. (1999): Izvor Kupice.– Ekspedicija "Speleorenjenje" 1999.
- ŠTEFANEK, Ž. (1998a): Vodoopskrbni sustav goranske regije, Akumulacija Križ potok, Završni izvještaj istraživačkih radova za idejni projekt, knjige 1 do 7.– Hidroinženjering, Zagreb.
- ŠTEFANEK, Ž. (1998b): Regionalni vodovod Gorskog kotara, Izvorište vode, Akumulacija Križ potok, Idejni projekt, knjige 1 do 3.– Hidroinženjering, Zagreb.
- ŠTEFANEK, Ž. (2000): Akumulacija Križ potok, Izvorište vode za regionalni vodovod Gorskog kotara, Studija o utjecaju na okoliš, knjige 1 do 3.– Hidroinženjering, Zagreb.
- VAN REEWIJK, L.P. (ur.) (2002): Procedures for soil analysis.– International Soil Reference and Information Centre, technical paper, sixth edition, Wageningen.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics.– Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 220, 333–360.
- WFD–2000/60/EC (2000): Water Framework Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy.
- WILLIAMS, A.A.B. & DONALDSON, G. (1980): Building on expansive soils in South Africa.– Proc. 4th Int. Conf. on Expansive Soils, Denver, 2, 834–838.

