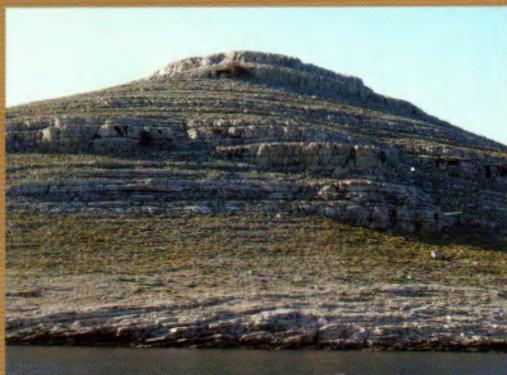


**4. Hrvatski geološki kongres
s međunarodnim sudjelovanjem**
**4. Croatian Geological Congress
with international participation**

Šibenik 14.-15.10.2010.

Vodič ekskurzija Excursion Guide-book



**Urednica – Editor:
Marija Horvat**

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society

Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu – Faculty of Science, University of Zagreb

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu –
Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

INA-Industrija nafte d.d. – INA Oil Industry Plc.

ZAGREB, 2010

**4. Hrvatski geološki kongres
s međunarodnim sudjelovanjem**
**4. Croatian Geological Congress
with international participation**

Šibenik 14.–15.10.2010.

Organizatori – Organized by

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society

Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu – Faculty of Science, University of Zagreb

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu –

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering University of Zagreb

INA – Industrija nafte, d.d. – INA Oil Industry Plc.

Pod pokroviteljstvom prof. dr. IVE JOSIPOVIĆA, predsjednika Republike Hrvatske
Under the auspices of President of the Republic of Croatia, prof. dr. Ivo JOSIPOVIĆ

Potpore – Supported by

Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske –
Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia

Hrvatske vode

Sponzori – Sponsored by

Kamen Benkovic d.o.o.

Štedbanka d.d.

Promeks Kompjuter d.o.o.

Hrvatsko geotehničko društvo HGD

LASERplus

**Organizacijski odbor
Organizing committee**

Dr. sc. Josip HALAMIĆ
predsjednik / president

Prof. dr. sc. Dražen BALEN
potpredsjednik / vice-president

Prof. dr. sc. Goran DURN
potpredsjednik / vice-president

Dr. sc. Uroš BARUDŽIJA
tajnik / secretary

Dr. sc. Renato BULJAN

Prof. dr. sc. Vlasta ČOSOVIĆ

Mr. sc. Niko DALIĆ

Dr. sc. Marija HORVAT

Mr. sc. Željko IVKOVIĆ

Dr. sc. Tvrko KORBAR

Dr. sc. Jadranka MAUCH LENARDIĆ

Prof. dr. sc. Davor PAVELIĆ

Jadranka PEJNOVIĆ, prof.

Goran RADONIĆ, dipl. ing.

Doc. dr. sc. Maša SURIĆ

Doc. dr. sc. Nenad TOMAŠIĆ

Prof. dr. sc. Igor VLAHOVIĆ

**Znanstveni odbor
Scientific committee**

Prof. dr. sc. Bruno TOMLJENOVIC
predsjednik / president

Dr. sc. László CSONTOS
(MOL, Hungary)

Dr. sc. Stjepan ČORIĆ

(Geologische Bundesanstalt, Austria)

Prof. dr. sc. Eugen GRADINARU

(Univ. Bucharest, Romania)

Prof. dr. sc. Hazim HRVATOVIĆ

(Federalni Zavod za geologiju Sarajevo, BIH)

Dr. sc. Tea KOLAR-JURKOVŠEK

(Geološki zavod Slovenije)

Prof. dr. sc. Franz OTTNER

(Univ. für Bodenkultur, Austria)

Prof. dr. sc. Vincenzo PICOTTI

(Univ. Bologna, Italia)

CIP zapis dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 744735
A CIP catalogue record for this book is available from the National and University Library in Zagreb under 744735
ISBN 978-953-6907-22-9

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

Urednica – Edited by: Marija Horvat

Oblikovanje – Layout and design: Mirela Mikić Muha, LASERplus, Zagreb, Brijunska 1a, Zagreb

Tisk – Printed by: LASERplus, Brijunska 1a, Zagreb

Izdano – Issued: listopad 2010, 300 primjeraka – October 2010, 300 copies

Ovitak – Cover:

Katedrala sv. Jakova / Cathedral of St. James – Šibenik (photo: T. KORBAR)

Slijed karbonatnih naslaga gornje krede – Nacionalni park "Kornati" /

Sequence of Upper Cretaceous carbonate deposits – National Park "Kornati" (photo: T. KORBAR)

Slapovi Krke – Krka Falls (photo: U. BARUDŽIJA)

**4. Hrvatski geološki kongres
s međunarodnim sudjelovanjem**
**4. Croatian Geological Congress
with international participation**

Šibenik 14.–15.10.2010.

Vodič ekskurzija Excursion Guide-book

Urednica – Editor:
Marija Horvat

Hrvatsko geološko društvo – Croatian Geological Society

Hrvatski geološki institut – Croatian Geological Survey

Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu – Faculty of Science, University of Zagreb

Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu –

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

INA-Industrija naftne d.d. – INA Oil Industry Plc.

SADRŽAJ – CONTENT

BALEN, D., RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G.: Ekskurzija A0 – Geološka baština Geoparka Papuk (<i>Excursion A0 – Geological heritage of the Papuk Geopark</i>)	3
DRAGIČEVIĆ, I., HRVATOVIĆ, H., VRANJKOVIĆ, A., MANDIĆ, O., ŠEGVIĆ, B., HALAMIĆ, J. & PAVELIĆ, D.: Ekskurzija A1 – Dinaridi: evolucija i recentni geotektonski odnosi (Bosna i Hercegovina, Hrvatska) (<i>Excursion A1 – Dinarides: evolution and recent geotectonic relationships (Bosnia and Herzegovina, Croatia)</i>)	25
GRGASOVIĆ, T., MARKOVIĆ, T., PENCINGER, V. & TERZIĆ, J.: Ekskurzija A2 – Geološka ekskurzija kroz hrvatske Dinaride: geologija, hidrogeologija i mineralne sirovine (<i>Excursion A2 – Geological field-trip across Croatian Dinarides Mts.: geology, hydrogeology and mineral resources</i>)	89
KORBAR, T., SURIĆ, M., FUČEK, L., MIHELČIĆ, V., VESELI, V. & DROBNE, K.: Ekskurzija B1 – Geologija kornatskog otočja (<i>Excursion B1 – Geology of Kornati archipelago</i>)	129
CUKROV, N., SURIĆ, M., FUČEK, L., ČOSOVIĆ, V., KORBAR, T. & JURAČIĆ, M.: Ekskurzija B1' – Geologija estuarija rijeke Krke (<i>Excursion B1' – Geology of Krka River estuary</i>)	129
BULJAN, R., POLLAK, D., NAVRATIL, D., TERZIĆ, J., DEDIĆ, Ž., PAVIČIĆ, A., KUHTA, M. & STROJ, A.: Ekskurzija B2 – Prikaz odabranih lokaliteta iz geološkog inženjerstva na području srednje Dalmacije i Like (<i>Excursion B2 – Selected engineering – geological localities of central Dalmatia and Lika</i>)	149
BABIĆ, LJ., ZUPANIĆ, J. & LUŽAR-OBERITER, B.: Ekskurzija B3 – Evolution of a Dinaric foreland basin fill: flysch and molasse of North Dalmatia	177

Ekskurzija A0 – Geološka baština Geoparka Papuk

Excursion A0 – Geological heritage of the Papuk Geopark

Dražen Balen, Goran Radonić & Goran Pavić

Geološka baština Geoparka Papuk Geological heritage of the Papuk Geopark

Dražen Balen¹, Goran Radonić² & Goran Pavić²

¹Mineraloško-petrografska zavod, Geološki odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Hrvatska (drbalen@geol.pmf.hr)

²Geopark Papuk, Stjepana Radića 46, 34330 Velika, Hrvatska

Ključne riječi: filonit, granit, vulkanske stijene, sedra, lučenje, Vranovo, Trešnjevica, Rupnica, Jankovac, Kutjevačka rijeka, geopark, Papuk, Tisija, slavonsko gorje

Key words: phyllonite, granite, volcanic rocks, tufa, columnar joints, Vranovo, Trešnjevica, Rupnica, Jankovac, Kutjevačka Rijeka, geopark, Papuk, Tisija, Slavonian Mts.

Abstract

The most prominent feature of the eastern part of Croatia is the flat lowland area which was once the bottom of the so-called Pannonian Lake. The Slavonian Mts. today represent “islands” that rise on the horizon, almost a thousand meters above sea level. The most remarkable among these mountains is Papuk – hilly and forested wildlife area surrounded by rich lowland, Croatia’s most important agricultural region. From the geological and biological point of view, Papuk is an extraordinary heterogeneous mountain. Together with a valuable cultural heritage, this put the base for proclamation of protected Nature Park in April 1999. Furthermore, in the year 2007 Papuk became the first area (336 km²) in Croatia to be awarded with a Geopark status and became a member of the European Geopark Network under protection of UNESCO.

In the Slavonia area, the pre-Mesozoic crystalline basement of the Pannonian Basin, which represents the highlight of the field-trip, is traditionally subdivided into three crystalline complexes: (1) the Psunj complex, assumed to have originated during the Late Precambrian to Early Palaeozoic time span, overprinted and retrogressed by younger metamorphic events; (2) the Papuk complex, which underwent significant geological changes during the Ordovician to Early Devonian period, and (3) the Radlovac complex which presumably resulted from a very low-grade metamorphism during the Late Paleozoic. Permo-Triassic rocks are coarse- to medium-grained terrigenous clastics, i.e. conglomerates and sandstones that unconformable overlie metamorphic complexes and grade into Lower Triassic sandstones. Composition of detrital components indicates magmatic and metamorphic rocks of the surrounding area as an adjacent source region. The clastic rocks crop out as elongated narrow zones, occurring between the crystalline complexes and the Middle Triassic, predominately carbonate rocks. Thermal overprint that took place during Eoalpine (Cretaceous) times affected predominately the clay minerals, thus leaving hardly noticeable marks

and reassigning (in the strict sense of metamorphic classification) the Mesozoic sedimentary rock complex into very-low grade metasediments. Past volcanic activity in the vicinity of a small town of Voćin produced heterogeneous and quite large volcanic complex famous due to extraordinary, well-exposed columnar jointing. Recent sedimentation is represented with a tufa barrier at the Skakavac waterfall in the vicinity of the Jankovac mountain hut.

Geological field-trip route encompasses crystalline complexes and overlying (meta)sedimentary rocks on following localities: 1. Vranovo (phyllonite); 2. Trešnjevica (granitoids and volcanic rocks – basalt, andesite, rhyolite); 3. Rupnica (columnar jointing developed in volcanic rocks); 4. Jankovac (medium- to high-grade metamorphic rocks, conglomerate, sandstone, dolomite, tufa); 5. Kutjevo (Kutjevačka Rijeka transect, sedimentary rocks, low- to medium-grade metamorphic rocks, granite). The selected localities represent case-study localities and are the real “pearls” which show the true value and beauty of a diverse geological heritage of the Papuk Geopark.

Geological field-trip in such area would not be complete without Kutjevo’s wines, cultivated in ancient wine-cellars, first built in 1232 by the clerical order of cistercits. The modern vineyards have been spread on the southern slopes of mountains Papuk and Krndija in a constant and devoted search for the perfect harmony between the climate, sun, soil and rocks. Kutjevo wine-cellars with skilled cellarers achieve the top-level quality of wines. Some of the famous wines from the Kutjevo area are: Graševina, Rheinriesling, Chardonnay, Pinot Gris, Pinot Noir, Pinot Blanc, Sauvignon, Traminac, together with de Gotha exclusive wine and ice wines.

Uvod

Područje tzv. slavonskog gorja, posebice Papuka, po ljepoti i raznovrsnosti biljnih i životinjskih vrsta, a posebice po svojim geološkim značajkama, od iznimne je vrijednosti

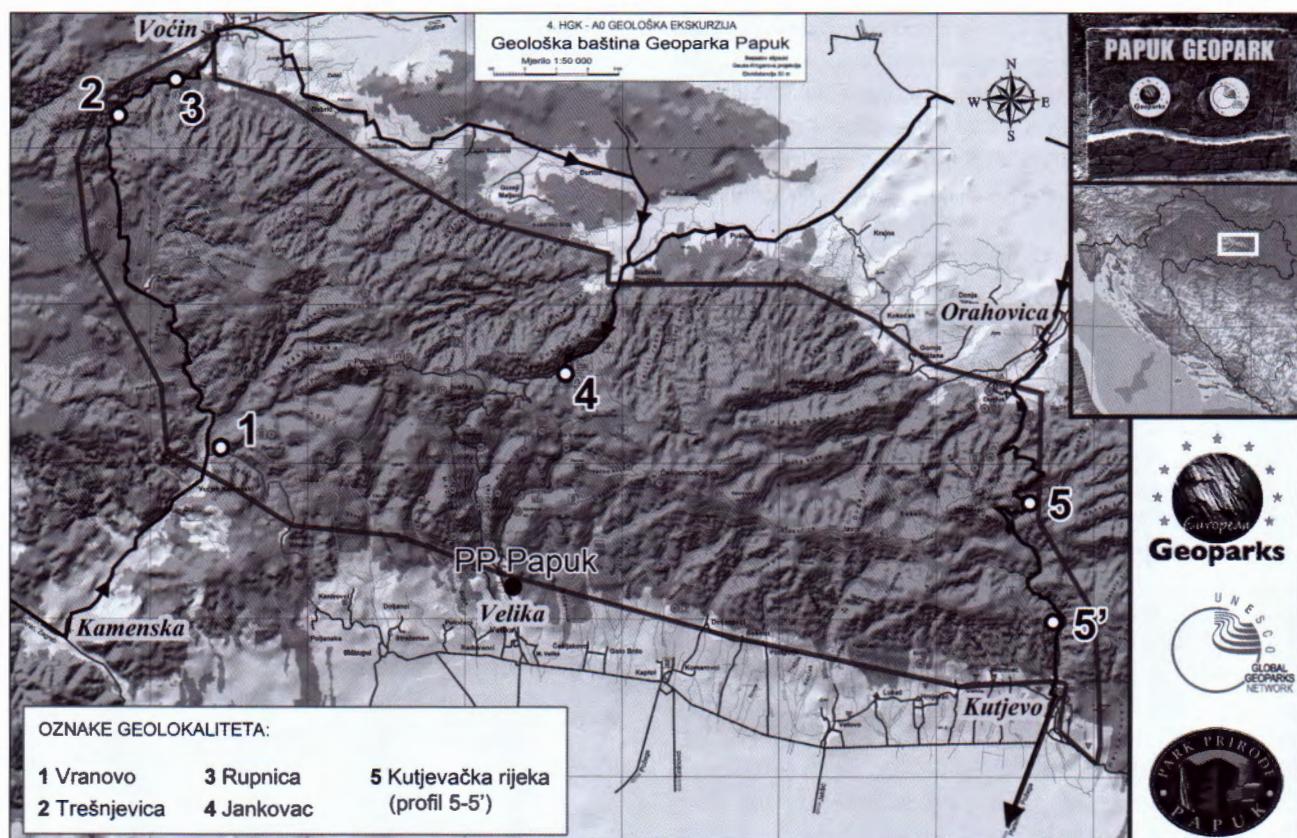
za Republiku Hrvatsku. Upravo je raznolikost biološke i geološke komponente bila temelj za dobivanje statusa Parka prirode u travnju 1999. godine te osnivanja Javne ustanove Park prirode Papuk u rujnu iste godine. U konačnici, velikim trudom geološke struke, mukotrpnim višegodišnjim radom na valorizaciji 69 ključnih geolokaliteta u koji je uloženo mnogo žara i ljubavi geologa i drugih stručnjaka, područje Parka prirode od 2007. godine dobilo je status geoparka pod zaštitom UNESCO-a. Geopark Papuk prvi je, za sada i jedini međunarodno priznati geopark u Hrvatskoj.

Geološka ekskurzija A0 vezana uz 4. Hrvatski geološki kongres 2010. godine prati ključne lokalitete geoparka u terenu uglavnom izgrađenom od magmatskih i metamorfnih stijena nastalih u razdoblju prije alpinske orogeneze, koji predstavljaju ponajbolje izdanke južnog dijela megajedinice Tisija (Psunjški, Papučki i Radlovački kompleksi). Također, dio točaka nalazi se u naliježućim mezozojskim sedimentnim stijenama te efuzivnim stijenama blisko vezanim uz voćinsko vulkansko tijelo (npr. geološki spomenik prirode Rupnica).

Nedugo nakon polaska iz Zagreba, trasa A0 ekskurzije (Slika 1) ulazi u područja gdje se, nažalost, još uvijek naziru tragovi rata i zaostala minska polja u okolini Pakraca i Kamenske. Prva geološka točka na izlazu iz miniranog područja je lokalitet **Vranovo** s vrlo neobičnom, retrogradno izmijenjenom metamorfnom stijenom pod nazivom filonit,

čiji je postanak vezan za višestruko boranje, deformaciju i metamorfizam niskog stupnja. U kamenolomu **Trešnjevica**, koji je slijedeća točka, impresivan je pogled na gnajs-granitnu stijensku masu presječenu žilama efuzivnih stijena vrlo raznolikog petrografskeg sastava – od bazalta preko andezita do riolita. Slijedeća točka, također u efuzivnoj stijeni riolitu, jedna je od najimpresivnijih geoloških pojava, od 1948. zaštićeni geološki spomenik prirode **Rupnica**, koja svojim "orguljama" sastavljenim od stupova nastalih lučenjem magmatske stijene ostavlja promatrača bez daha i s bezbroj pitanja. U pitomoj kultiviranoj šumi u srcu Papuka nalazi se **Jankovac**, lokalitet na kojem geolozi, pola u šali a pola u zbilji, kažu da u 400 metara profila izdanjuje 400 milijuna godina geologije Papuka. Od metamorfnih stijena visokog stupnja metamorfoze, preko naliježućih konglomerata, pješčenjaka, karbonatnih sedimenata do recentne sedrene barijere slapa Skakavac. Posljednja točka kompleksan je profil koji od Petrovog vrha uglavnom prati korito **Kutjevačke rijeke**, a svojim presjekom kroz litologiju predstavlja jedan od ključnih lokaliteta za prikaz geologije Parka prirode Papuk. Naravno, posjet Kutjevu i Slavoniji ne bi bio potpun bez sprege geologije i vina, a razigranost mašte i duha svoju kulminaciju naći će, a gdje drugdje, nego u legendarnim vinskim podrumima Kutjeva.

Cilj ovog vodiča nije detaljan znanstveni opis geologije Papuka, već prezentacija dijela geološke baštine našeg pr-



Slika 1. Karta s okvirno ucrtanom trasom geološke ekskurzije "A0 Geološka baština Geoparka Papuk", granicom Parka prirode Papuk i geolokalitetima: 1 – Vranovo; 2 – Trešnjevica; 3 – Rupnica; 4 – Jankovac; 5–5' profil Kutjevačka rijeka; PP Papuk = info centar Parka prirode Papuk.
Figure 1. Map with the route of a "A0 Geological Heritage of the Papuk Geopark" field-trip, Nature Park Papuk boundaries and stop points at geolocalities: 1 – Vranovo; 2 – Trešnjevica; 3 – Rupnica; 4 – Jankovac; 5–5' Kutjevačka Rijeka transect; PP Papuk = Nature Park Papuk info-center.

vog i jedinog svjetski priznatog geoparka. Stoga je dan tek kratak i pojednostavljen pregled znanstvenih činjenica, računajući da će učesnici ekskurzije željene informacije moći dobiti od autora na licu mesta, a i kasniji će čitatelj sve znanstveno relevantne geološke informacije moći pronaći u znanstvenim i stručnim člancima navedenim u iscrpnom popisu literature. Autori su prvenstveno željeli prikazati stupanj uređenosti, značaj i opis ključnih geolokaliteta onako kako su u stvarnosti predstavljeni na terenu: uređenim geološkim stazama, informativnim tablama, velikim panoima, te zidanim geološkim stupom. Moderne tehnologije komunikacije danas čak i na terenu omogućavaju pristup web-stranicama Geoparka Papuk (www.papukgeopark.com), dajući ovoj ekskurziji određenu interaktivnu komponentu kroz npr. pristup digitaliziranoj geološkoj karti područja Parka prirode Papuk. Izbor grafičkih priloga u vodiču izведен je kao realan foto-dokument stvarnog stanja na terenu koje je odraz znatne brige stručnih službi Geoparka Papuk odnosno Parka prirode Papuk na prezentaciji i čuvanju geološke baštine Papuka i Republike Hrvatske.

Geološki smještaj

Regionalni položaj – Tisija

Megajedinica Tisija u svojim južnim rubnim dijelovima obuhvaća predneogensku podlogu središnjeg i jugoistočnog Panonskog bazena (Slika 2A) i uobičajeno se smatra fragmentom litosfere odlomljenim od južnog ruba europske ploče tijekom srednje jure (cf. GÉCZY, 1973; CSONTOS, 1995; PAMIĆ et al., 2002 i reference u njima). Svoj sadašnji smještaj Tisija doseže nakon složenih višestrukih pokreta i rotacija tijekom mezozoika i kenozoika (e.g. CSONTOS, 1995; FODOR et al., 1999; CSONTOS & VÖRÖS, 2004). Tisija je okružena tektonskim zonama regionalnog značaja od kojih mnoge predstavljaju oceanske suturne zone (SCHMID et al., 2008). Slavonsko gorje u sjeveroistočnoj Hrvatskoj (Psunj, Papuk, Krndija) uobičajeno se smatra područjem u kojem najbolje izdanjuju variscijske stijene podloge južnog dijela Panonskog bazena tj. jedinice Tisija (e.g. PAMIĆ et al., 1996; PAMIĆ & JURKOVIĆ, 2002). Prema SCHMID et al. (2008) ta "kristalinska" podloga i njen mezozojski pokrov pripadaju sustavu navlaka Bihor, smještenom između Mecsek i Codru sustava navlaka u sklopu Tisije. Južni tektonski kontakt između Bihor sustava navlaka i Sava zone s ofiolitima (USTASZEWSKI et al., 2009) tj. Sava-Vardar zone (PAMIĆ, 2002) je približno smješten južno od slavonskog gorja i prekriven neogenskim naslagama Savske depresije. Sjeverno od slavonskog gorja, "kristalinska" podloga Tisije i njen mezozojski pokrov većinom je pokriven neogenskim naslagama Panonskog bazena i tek sporadično izdanjuje u planinama Mecsek-Villany na jugu Mađarske te sjevernim Apusenima u Rumunjskoj (e.g. SCHMID et al., 2008). Geokronološki i geotermobarometrijski podaci dobiveni na magmatskim i metamorfni stijenama mađarskog dijela Tisije pokazuju da su te stijene prošle kroz permski i eoaalpinski metamorfni događaj (ÁRKAI et al., 2000; HORVÁTH & ÁRKAI, 2002; LELKES-FELVÁRI et al., 2003; HORVÁTH, 2007). U slavonskom gorju

složena predvariscijska, variscijska i eoaalpinska tektonometamorfna evolucija kristalina dokumentirana je stukturnim, geokronološkim i termobarometrijskim studijama (JAMICÍČ, 1983, 1988; PAMIĆ & LANPHERE, 1991; HORVAT, 2004; BALEN et al., 2006; BIŠEVAC et al., 2009; 2010; HORVÁTH et al., 2007; 2010; USTASZEWSKI et al., 2010). Ipak treba naglasiti da su zbog općenito velike pokrivenosti terena mladim sedimentima i vegetacijom, kao i zbog nedostatka rezultata dobivenih suvremenim instrumentalnim metodama, mnogi detalji o metamorfnoj i deforacijskoj evoluciji Tisije još uvijek predmetom otvorene rasprave i daljnjih istraživanja.

Kristalini kompleksi u Parku prirode Papuk

Stijene predalpinske starosti izgrađuju gore nadmorskih visina nižih od 1000 m: Psunj, Ravnogor, Papuk i Krndiju, koje predstavljaju najznačajnije izdanke velike megajedinice zvane Tisija, smještene uzduž južnog ruba Panonskog bazena (PAMIĆ & JURKOVIĆ, 2002). Prema podjeli koja obuhvaća metamorfne ali i magmatske stijene predalpinske starosti, mogu se izdvojiti tri cjeline (JAMICÍČ, 1983; 1988) shematski prikazane na Slici 2B:

(1) Psunjski kompleks, nazvan još i Kutjevačka serija, vezan uz progresivnu metamorfozu tijekom bajkalske orogeneze (mladi prekambrij do stariji paleozoik; ~850–650 milijuna godina) i kasnije retrogradno izmijenjen mlađim metamorfnim događajima;

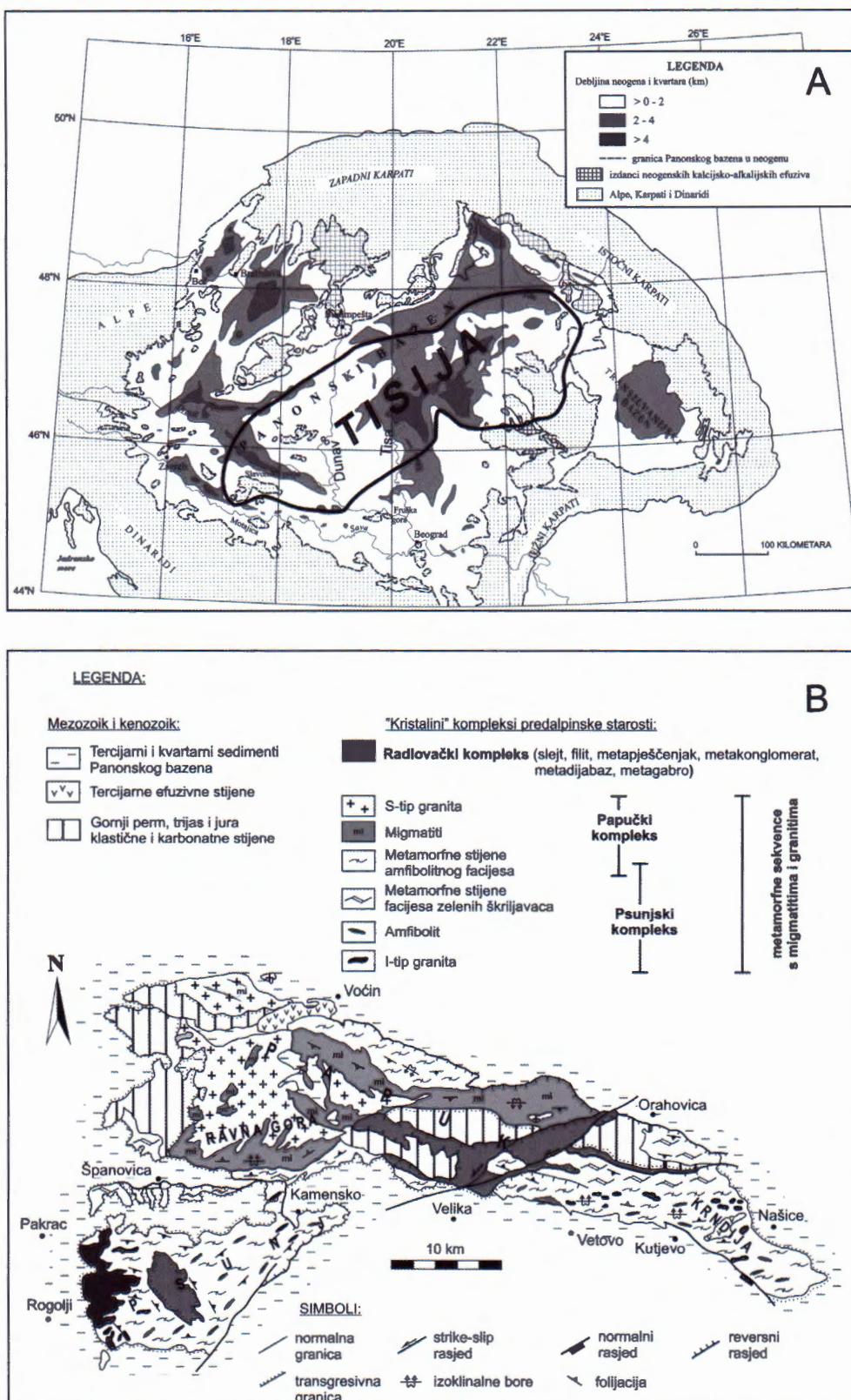
(2) Papučki kompleks, nazvan i Jankovačka serija, vezan uz progresivnu metamorfozu i migmatizaciju tijekom kaledonske orogeneze (ordovicij do stariji devon; ~490–390 milijuna godina);

(3) Radlovački kompleks, vezan uz vrlo niski do niski stupanj metamorfizma tijekom variscijske orogeneze (mladi paleozoik; ~380–280 milijuna godina).

Psunjski kompleks sastoji se od (a) stijena niskog stupnja metamorfizma (facijes zelenih škriljavaca) i to metapelita, kloritnih škriljavaca do tinjevih škriljavaca te (b) stijena srednjeg stupnja metamorfizma (amfibolitni facijes) poput paragnajsa, granat tinjevih škriljavaca, amfibolita, metagabra i mramora. Metamorfne stijene lokalno su probijene manjim tijelima granodiorita i plagiogranita (I-tip granita prema PAMIĆ & LANPHERE, 1991).

Papučki kompleks sastoji se od (a) granita (S-tip granita prema PAMIĆ & LANPHERE, 1991) okruženog (b) migmatitima i migmatitskim gnajsevima koji postupno prelaze u (c) metamorfne stijene srednjeg stupnja metamorfizma (amfibolitni facijes) predstavljene granat tinjevim škriljavcima, amfibolitima te paragnajsevima.

Radlovački kompleks sastoji se od stijena vrlo niskog do niskog stupnja metamorfizma, poput slejta, metagrauvala, metakonglomerata i filita. Donji i srednji dijelovi kompleksa probijeni su žilama metadijabaza i metagabra (PAMIĆ & JAMICÍČ, 1986). U stijenama Radlovačkog kompleksa sačuvani su fosili gornjokarbonske starosti (BRKIĆ et al., 1974). Prema JAMICÍČ (1983, 1988) i JAMICÍČ & BRKIĆ (1987), Radlovački metamorfni kompleks zauzima



Slika 2. A – Karta Panonskog bazena s ucrtanom debjinom sedimentnih stijena i sedimenata neogenske i kvartarne starosti prema Horváth u ROYDEN & HORVÁTH (1988). Položaj i obrisi dijela kristaline podloge (Tisija) prema SCHMID et al. (2008). B – Shematska geološka karta slavonskog gorja prenesena iz BALEN et al. (2006) – geološka podloga prema JAMIĆIĆ (1988) i PAMIĆ & LANPHERE (1991). Područje PP Papuk pokriveno je OGK M 1: 100.000, listovima Orahovica i Daruvar (JAMIĆIĆ & BRKIĆ, 1987; JAMIĆIĆ, 1989).

Figure 2. A – Map of the Neogene Pannonian Basin, showing depocenters of the sub-basins. Thickness of the Neogene–Quaternary sedimentary rocks and sediments in the Pannonian basin, compiled by Horváth in ROYDEN & HORVÁTH (1988). The location and shape of crystalline basement (Tisia) are from SCHMID et al. (2008). B – Simplified geological map of the Slavonian Mts. from BALEN et al. (2006) – geological base after JAMIĆIĆ (1988) and PAMIĆ & LANPHERE (1991). Geology of Nature Park Papuk is covered with basic geological map 1:100.000, sheets Orahovica and Daruvar (JAMIĆIĆ & BRKIĆ, 1987; JAMIĆIĆ, 1989).

najviši struktturni položaj među svim predalpinskim kompleksima Papuka.

Podjela temeljena na određivanjima starosti stijena (PAMIĆ et al., 1988) može se naći u radu PAMIĆ & LAPHERE (1991) gdje su psunjski i papučki kompleks ujedini u jedinstveni variscijski magmatsko-metamorfni kompleks koji sadrži klasične metamorfne sekvene s postupnim prijelazom u migmatite i granite. Taj kompleks su autori nazvali progresivno metamorfni kompleks. Radlovački kompleks je, prema toj podjeli, zasebna cjelina koju autori nazivaju semimetamorfni kompleks s metabazitima. K-Ar starosti ("whole-rock" i mineralne separacije) i $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ starosti tog objedinjenog kompleksa uglavnom pokazuju variscijski raspon starosti (za kompilaciju podataka vidjeti PAMIĆ & JURKOVIĆ, 2002). U posljednje vrijeme dokumentirane su i predvariscijske starosti (428–444 milijuna godina, BALEN et al., 2006) dobivene na monacitu, ukazujući na postojanje starijih parageneza, kao što je svojedobno predložio JAMIČIĆ (1983; 1988) temeljem strukturne analize i odnosa među mineralima. Recentna studija provedena K-Ar metodom na frakcijama illita dimenzija čestica manjih od 2 μm (BIŠEVAC et al., 2010) pokazuje eoalinski (kreda) metamorfizam vrlo niskog stupnja. Također su poznate "fission track" starosti od 135 ± 8 milijuna godina na cirkonu te 43 ± 6 milijuna godina na apatitu izdvojena iz granita Papuka (USTASZEWSKI et al., 2010).

Sedimentne stijene gornjopaleozojske do mezozojske starosti u Parku prirode Papuk

Klastični i karbonatni sedimenti taloženi su od gornjeg perma do srednjeg trijasasa i diskordantni su prema starijim kristalinim kompleksima. Baza sedimentne sekvene izgrađena je od krupnozrnatih klastičnih stijena predstavljenih filitnim konglomeratima i pješčenjacima koji kontinuirano prelaze u crvene do ljubičaste sitnozrnate pješčenjake i siltite. Taj facijes sadrži valutice granitoida, gnajsa i pegmatita derivirane iz starijih kompleksa na Papuku (JAMIČIĆ, 1988). Druga grupa stijena predstavljena je sitnozrnatim kvarcnim pješčenjacima koje prelaze u donjotrijaske sedimente. Ti sedimenti predstavljeni su pješčenjacima, šejlovima i siltitima. Sedimentacija je nastavljena u srednjem trijasu s dolomitima, dolomitičnim vapnencima i podređeno vapnencima (JAMIČIĆ, 1988).

Sve te lokalne cjeline izdanjuju na Papuku i čine geološku osnovu Geoparka Papuk odnosno Parka prirode Papuk. Magmatske i metamorfne stijene u središnjim su dijelovima Papuka prekrivene permotrijaskim i trijaskim sedimentima sačuvanim u jezgrama velikih sinklinala. Predmezozojske stijene, kao i njihov mezozojski sedimentni pokrov, okružene su i dijelom pokrivene neogenskim i kvartarnim naslagama južnih dijelova Panonskog bazena (JAMIČIĆ, 1988; JAMIČIĆ & BRKIĆ, 1987).

Točka 1 – Stop 1

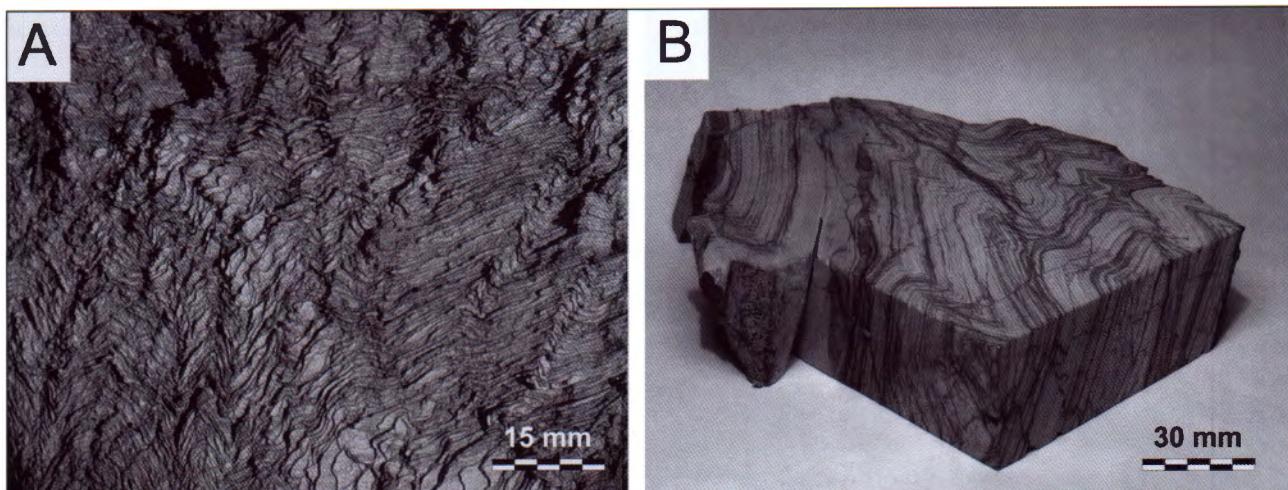
Retrogradno izmijenjene metamorfne stijene na lokalitetu Vranovo (filoniti) Retrograde metamorphosed and sheared rock (phyllonite) at Vranovo locality

Retrograde metamorphosed and sheared gneiss (phyllonite). The rock passed through repeated cycles of deformation and metamorphism which finally lead to the development of a mineral assemblage that equilibrated at greenschist facies conditions. The phyllonite forming processes were accompanied by the formation of a new foliation together with a strong crenulation documented in cm-thick folds. Formation of cleavage occurred during younger tectonic processes. The presence of a unique record of the main orogenic events that took place during the formation of Slavonian Mountains makes this site extremely interesting.

Filoniti na lokalitetu Vranovo su izrazito i višestruko borane stijene (Slika 3) složenog odnosa prema okolini. Radi se o sitnozrnatim stijenama nastalim uslijed deformacije i metamorfizma niskog stupnja. Porijeklo vuku iz retrogradno metamorfoziranog gnajsa koji je prošao kroz više faza deformacije i metamorfizma, što je u konačnici dovelo do nastanka mineralne zajednice predstavljene kloritom, bijelim tinjcem, kvarcom i albitom, uravnotežene u uvjetima facijesa zelenih škriljavaca. Akcesorni minerali su apatit, cirkon i opaki minerali. U filonitim se opaža jasna metamorfna folijacija, a nastanak krenulacijskog klivaža je vezan uz mlađe procese. Zajedno uzevši, metamorfne i strukturne karakteristike filonita predstavljaju geološki i strukturalni za-

pis značajnih P-T događaja vezanih uz evoluciju slavonskog gorja. U filonitima su također razvijene dvije lineacije koje međusobno zatvaraju kut od $\sim 30^\circ$, što statistički odgovara kutu između osi boranja starijeg i mlađeg dijela niskometamorfne paleozojske serije Papuka (JAMIČIĆ, 1979).

Filoniti su stijene koje makroskopski podsjećaju na filite, dok su genetski vezane uz mehaničku degradaciju (milonitizaciju) izvorno krupnozrnatijih stijena (graувaka, gnajs, granit). Svilenkasti film rekristaliziranog bijelog tinjca i/ili klorita duž ravnina škriljavosti karakterističan je za takvu vrstu stijena. Među filonitima Papuka i Krndije ustanovljeni su varijeteti koji se odlikuju mikroflazer strukturama te reliktima minerala staurolita i kijanita (JAMIČIĆ, 1979).



Slika 3. A – Izgled izdanka Vranovo s izrazito boranim filonitima uz makroskopski vidljiv krenulacijski klivaž. B – Uzorak filonita pokazuje složenu građu s višestrukim boranjem.

Figure 3. A – Outcrop of phyllonite at Vranovo locality shows complex structure and macroscopically visible crenulation cleavage. B – Hand specimen of phyllonite reveals a complex structure and folding.

Točka 2 – Stop 2

Kamenolom Trešnjevica – Trešnjevica Quarry

Trešnjevica quarry is located inside the granitoid rock body penetrated by swarms of volcanic rock veins of varying composition – mostly basaltic to andesitic and up to rhyolitic. Volcanic rocks are gray to green, dark porphyritic rocks containing plagioclase, sanidine, quartz, pyroxene, amphibole, biotite and volcanic glass. These rocks are the part of a larger heterogeneous volcanic body composed of different varieties of basalt, andesite (augite andesite), rhyolite (albite rhyolite), ignimbrite, tuff and pyroclastic agglomerate.

Kamenolom Trešnjevica smješten je unutar granitoidne stijenske mase ispresijecane brojnim efuzivnim žilama koje variraju u sastavu od bazalta do riolita (Slika 4 i 5). Lokalitet Trešnjevica, kao i lokalitet Rupnica, relativno se rijetko spominju u stručnoj (recentni sažetak može se naći u MARIKOVIĆ, 2002) i znanstvenoj literaturi, iako o samom magmatsko-metamorfnom kompleksu u kojem se nalazi i/ili vulkanskom tijelu uz koje su vezane efuzivne stijene postoje podaci prikupljeni tijekom izrade OGK listova Orahovica i Daruvar (JAMIČIĆ & BRKIĆ, 1987; JAMIČIĆ et al., 1987; 1989; JAMIČIĆ, 1989), disertacija M. VRAGOVIĆA (1965), D. JAMIČIĆA (1988) i M. HORVAT (2004) te u znanstvenim radovima i stručnim elaboratima TAJDER (1956; 1960), RAFFAELLI (1965), LUGOVIĆ (1983), JAMIČIĆ (1983; 1995; 2003), PAMIĆ & LANPHERE (1991), PAMIĆ (1991; 1997), PAMIĆ et al. (2003), BALEN (2008; 2009), BALEN et al. (2008; 2009; 2010). Prema tim radovima napravljen je pregled na točkama Trešnjevica i Rupnica.

Stijene vezane za Papučki kompleks, kao i mlađe vulkanske stijene, mogu se naći na lokalitetu Trešnjevica, gdje se također jasno vidi i međusobni odnos tih stijena.

Granitne stijene su izrazito tektonizirane, pojavljuju se u obliku izduženih i nepravilnih tijela te u obliku tanjih i deblijih silova i žila u migmatitskom gnajsu. Struktura stijene je zrnata. Mineralna zajednica u granitu obuhvaća kvarc i feldspate (kiseli plagioklas i kalijski feldspat (mikroklin)) kao

glavne minerale, zatim tinjce – biotit i muskovit s podređenim kloritom i akcesornim mineralima (granat, titanit, cirkon, apatit, turmalin te opáki minerali), a kao produkti izmjene dolaze zoisit, epidot, sericit i rutil. Mineralnim sastavom te stijene odgovaraju granodioritim i monzogranitima.

Blijedo zelenkasti **migmatitski gnajs** sadrži kvarc, feldspate (kalijski feldspat i plagioklas), biotit, koji je u znatnoj mjeri alteriran u klorit, te podređeno muskovit. Zrna feldspata (uglavnom mikroklin) veća su od ostalih i daju stijeni okastu strukturu, uz izraženu paralelnu teksturu uvjetovanu subparalelnim redanjem leća i lamina kvarc-feldspatskog materijala te porfiroblasta mikroklinia oko kojih se povijaju tanke lećaste nakupine biotita.

Biotitski **gnajs**, biotit-muskovitni gnajs i **tinjčev škriljavac** postupno prelaze u heterogene i homogene migmatitske gnajseve te u migmatite. To su pretežno srednjezrnate do krupnopratrne stijene heteroblastične strukture s porfiroblastičnim mikroklinom. Modalni sastav im je promjenjiv – zastupljenost kvarca, biotita, kalijskog feldspata (mikroklin) i kiselih plagioklasa u njima znatno varira, javlja se i granat, a kod višeg stupnja metamorfizma dolaze sillimanit i staurolit. Akcesorni su cirkon, apatit i opáki minerali.

Pegmatiti se pojavljuju u obliku žica i nepravilnih izduženih gnejzda. Glavni sastojci su K-feldspat, kvarc i muskovit te kiseli plagioklas i biotit. Akcesorni minerali su granati i turmalin.

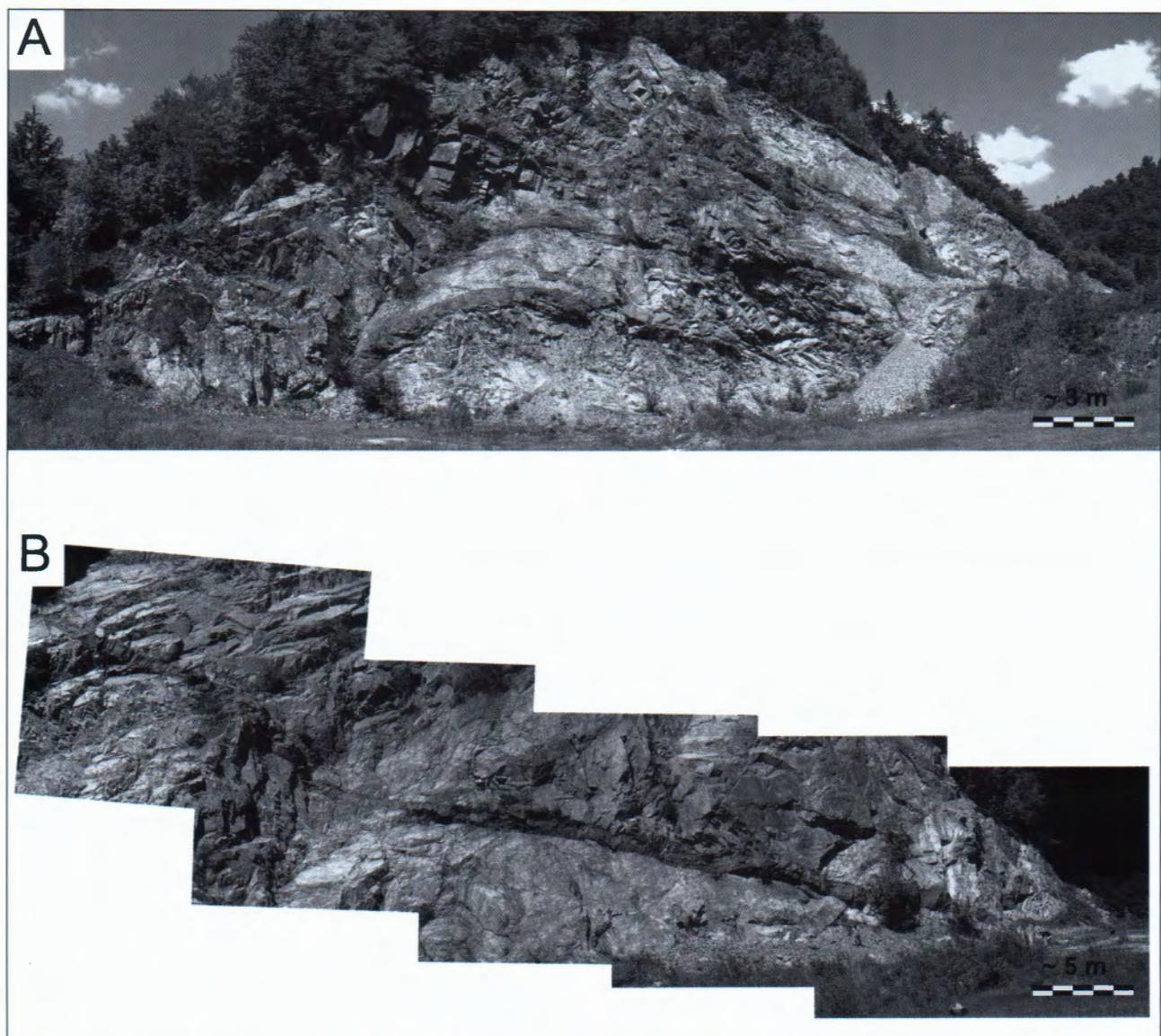
Apliti se javljaju kao sitnozrnate stijene alotriomorfno zrnate strukture sastavljene od kiselog plagioklasa (albit) i kvarca, uz podređene muskovit i mikroklin.

Starost stijenskog kompleksa u kojem se nalazi granito- idna stijenska masa Trešnjevice pregledno je dana u PAMIĆ (1998) te PAMIĆ & JURKOVIĆ (2002) i vezana je uz interpretaciju kompleksa kao dijela magmatsko-metamorf- noga pojasa nastalog tijekom variscijske orogeneze. Temelj tih interpretacija čine geokronološki podaci koji uključuju (1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ starosti muskovita izdvojenog iz paragnajsa i tinjčevog škriljavca u rasponu od 333 ± 1.7 do 324.7 ± 1.5 milijuna godina; (2) K-Ar starosti hornblende izdvojene iz ortoamfibolita 376.4 ± 11.5 do 352.6 ± 8.5 milijuna godina; (3) Rb/Sr starosti S-tipa granita i migmatita 314 ± 16 do 317 ± 17 milijuna godina (PAMIĆ et al., 1996) i (4) K-Ar muskovita iz I-tipa granita u rasponu 423.7 ± 12.9 do 336.3 ± 8.4 milijuna godina (PAMIĆ et al., 1988; PAMIĆ & LANPHERE, 1991).

HORVAT (2004) u disertaciji daje starosti u rasponu od 326 ± 12 milijuna godina do 246.5 ± 9.4 milijuna godina dobi- vene K-Ar metodom na separacijama minerala iz gnajseva i granita Papuka. Također navodi monacitnu starost od 340 ± 15 milijuna godina dobivenu u okviru hrvatsko-austrijske bila- teralne suradnje kroz projekte "Correlation of Variscan crust in Austria and Croatia: Variscan evolution of the southern part of the Tisia unit (Croatia) with special reference to the time relation of igneous and metamorphic rocks" i "Age dat- ing of metamorphic and magmatic events in the Tisia Unit in Croatia". Mjerenja starosti monacita za stijene Papuka izvr- šena su na Sveučilištu u Salzburgu (pregled početne faze rada na određivanjima starosti dan je u BALEN, 2005).

Efuzivne stijene

Na lokalitetu se lijepo vide žile raznovrsnih efuzivnih stijena (Slika 4) koje su obilnije zastupljene u okolini Voćina tvoreći veliko i heterogeno vulkansko tijelo. S obzirom na



Slika 4. Panoramske slike kamenoloma Trešnjevica: A – dio kamenoloma prema Zvečevu. B – Središnji dio kamenoloma.
Figure 4. Panoramic views of Trešnjevica Quarry: A – part of quarry toward Zvečevo. B – Central part of the quarry.



Slika 5. Prijedlog velike informativne table na geolokalitetu "Kamenolom Trešnjevica – skriveni svijet minerala" prema BALEN (2008); BALEN et al. (2009).

Figure 5. Proposed info-table at geosite "Trešnjevica Quarry – hidden world of minerals" after BALEN (2008); BALEN et al. (2009).

značaj vulkanskih stijena za ovaj lokalitet, a naročito za slijedeću točku s izraženim lučenjem (Rupnica), dan je širi prikaz literaturnih navoda, razvoja ideja, razlike u mišljenjima oko starosti, dok su zajedničke petrografske značajke varijeteta efuzivnih stijena šire okolice dane kod opisa točke Rupnica.

Prvi podaci o efuzivnim stijenama Voćina potiču od STUR (1861; 1862) koji ih je odredio kao trahite. KIŠPATIĆ (1887) određuje te vulkanske stijene kao augitni andezit i razlikuje dvije vrste prema obilježjima strukture, porfirnu i "zrnastu", naglašavajući da je razlika u mineralnom sastavu između te dvije vrste neznatna. Prema KIŠPATIĆU (1887), voćinski efuzivi porfirne strukture sastavljeni su od utrusaka feldspata (labrador), ortoklasa i augita, dok kao akcesorni i sekundarni minerali dolaze titanit, pirit, apatit, klorit, kalcit, epidot i kvarc. Kasnije KIŠPATIĆ (1916) feldspate u augitnom andezitu određuje kao plagioklase koji odgovaraju labradoru do bytownitu. Detaljniju obradu efuziva dao je Tajder koji varijetete efuziva određuje kao egirinski albitiski riolit, albitski riolit, labradorsko-augitni andezit (TAJDER, 1956)

te anortoklasni egirinski riolit (TAJDER, 1960). Tajder (1969) lučenje stijena Rupnice vezuje uz ignimbrite. MAJER & TAJDER (1982) daju regionalno-petrološku osnovu za spilit-keratofirni magmatizam Slavonije. LUGOVIĆ (1983) obrađuje efuzivne stijene sjeverozapadno od lokaliteta Trešnjevica i ustanavljuje veliku zastupljenost bazalta, podređeno nalazi olivinske bazalte i andezite, a sasvim sporadično spilite i keratofire. Na osnovnoj geološkoj karti voćinska vulkanska masa izdvojena je na listu Daruvar kao andezit, a na listu Orahovica kao albitni riolit. Također, autori OGK navode prisutnost bazalta i piroklastita (JAMIČIĆ, 1989; JAMIČIĆ & BRKIĆ, 1987; JAMIČIĆ et al., 1987; 1989). PAMIĆ (1991; 1997) daje petrološki prikaz bazaltnih i piroklastičnih stijena uz pretpostavku više faza erupcije, moguće vezanih uz stratovulkan.

Starost magmatskih stijena voćinske vulkanske mase u geološkoj je literaturi sporna. Prema više autora ona je miocenska, dok je prema radovima Jakoba Pamića kod Voćina gornjokredna a u širem području miocenska. Kontradiktornost u starostima temelji se na različitim dokazima koji

podupiru mišljenja autora: (a) geološkim – opažanjima odnosa efuzivnih stijena prema stijenama u okolini Voćina, ali i u širem području, kao i nalazima fosila u asociranim sedimentnim stijenama, (b) geokronološkim analizama (K-Ar metoda) te (c) analogiji prema požeškoj vulkanskoj masi.

Skupina autora smatra da su voćinski efuzivi miocenske starosti, a ta određivanja započinju već od STUR (1861; 1862) koji je svoj zaključak temeljio na opažanju kontaktne metamorfne promjene na okolnim litotamnijskim vapnenicima. KOCH (1919) potvrđuje istraživanja D. Stura da je litotamnijski vapnenac u neposrednom kontaktu s voćinskim efuzivom izmijenjen i uzima ta opažanja kao dokaz za tercijarnu starost tih efuzija. Koch, nadalje, na temelju nedostatka takvih promjena u mlađim neogenskim tvorevinama, veže erupciju augitnog andezita za gornji miocen. POLJAK (1938) navodi da voćinski vulkaniti probijaju miocenske naslage i slaže se sa prethodnim autorima da su efuzije u okolini Voćina tercijarne, tj. gornjomiocenske starosti. TAJDER (1960) navodi da je u području Voćina na Papuku došlo do erupcija andezitsko-riolitnih lava kroz granitno-gnajnski masiv u tercijaru, i to vjerojatno u gornjem miocenu. JAMIČIĆ et al. (1987) navode da je zbog polifaznog nastanka vulkanskih stijena Voćina teško precizno odrediti starost, a da vulkanska aktivnost na području OGK list Orahovica počinje u helvetu te s prekidima traje kroz cijeli srednji miocen. Za većinu mase efuzivnih i piroklastičnih stijena južno i jugozapadno od Voćina, koju čine albitske stijene, JAMIČIĆ et al. (1987) navode da su probile granite i gnajseve te dio miocena, dok su pojedini nivoi tortona na njih transgresivni. Bazalt se na listu Orahovica javlja sjeverno od Voćina, gdje je asociran s tortonskim kalkarenitima u obliku submarinskog izljeva, dijelom s izraženim jastucima, te jugozapadno od Voćina gdje probija albitske stijene (JAMIČIĆ et al., 1987). Svoje zaključke također temelje i na proslojavanju piroklastičnih stijena i okolnih miocenskih sedimenata. Na OGK list Daruvar (JAMIČIĆ, 1989) andeziti se javljaju u dolini Jovanovice potoka, gdje su u većoj masi

probile metamorfne stijene Papuka i helvetske naslage. U helvetskim naslagama su dijelom interstratificirane kao tipične *pillow* lave. Uz njih se javljaju tufovi i tufiti. BELAK et al. (2000) opisuju bazalt-glinovito-vapnenačke peperite Budima kraj Voćina u području Dravske depresije Panonskog bazena. Na temelju planktonskih foraminifera određena im je donjobadenska starost.

PAMIĆ (1991) navodi da je starost voćinskih vulkanita gornjokredna, dok su vulkanske i piroklastične stijene šire okolice Voćina miocenske starosti. Nadalje navodi da voćinski vulkaniti probijaju migmatite, što se naročito lijepo vidi u kamenolomu Đedovica (op. a. Trešnjevica) i u dolini Omerovca, gdje metarske žile bazaltnih i riolitnih stijena probijaju migmatite. Kao dokaze za procjenjivanje geološke starosti PAMIĆ (1991) navodi da nije mogao naći kontaktnometamorfno izmijenjene litotamnijske vapnence, da je vulkansko tijelo stratificirano i da se u njemu mogu pronaći aglomerati s vulkanskim materijalom, crvenkastim mikritima i šejlovima te fragmenti prigrebenskih vapnenaca koji sadrže rotalidne foraminifere i primitivne orbitoide karakteristične za donje dijelove senona. Također navodi da odnos prema zoni s gornjokrednim rudistnim vapnencima ostaje nepoznat zbog pokrivenosti terena, a nalaze lamina mulnjaka (*mudstone*) u piroklastitim uspoređuje sa gornjokrednim sedimentima sjevernih Dinarida. Nadalje PAMIĆ (1991) pretpostavlja da je voćinska vulkanska masa nastala kao produkt gornjokredne vulkanske aktivnosti na temelju korelacije s bazalt-riolitnom vulkanskom asocijacijom Požeške gore. Dodatno PAMIĆ (1991) potkrepljuje svoja opažanja sa četiri određivanja starosti dobivenih K-Ar metodom na bazaltoidnim stijenama (bazalt i metabazalt/spilit) koje variraju u rasponu od 73–52 milijuna godina a izmjerene su u laboratoriju USGS u Menlo Parku (SAD). Temeljem međusobne sukladnosti navedenih geoloških i geokronoloških podataka, Pamić zaključuje da su rioliti, bazalti i piroklastične stijene voćinske vulkanske mase gornjokredne starosti.

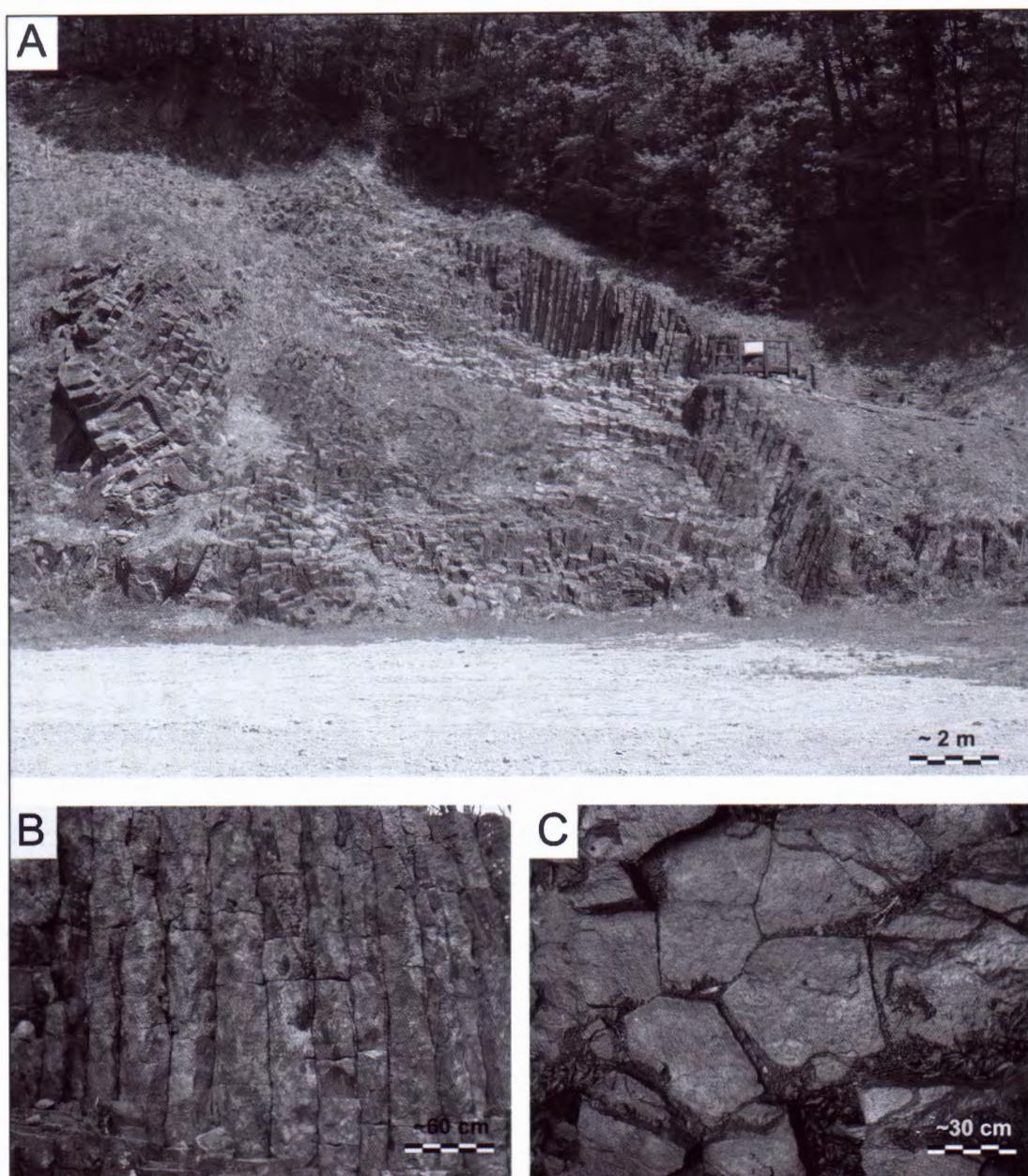
Točka 3 – Stop 3

Lučenje efuzivnih stijena na lokalitetu Rupnica Columnar jointing at Rupnica locality

Rupnica locality is situated in the northwestern part of the Nature Park Papuk, few km away from Voćin. It is one of the very few protected geological monuments in Croatia. In fact, Rupnica was the first proclaimed “Geological Monument of Nature” in Croatia (protected since October 14th, 1948.). Geological importance of this site lies in an exceptional geomorphological appearance of the columnar jointing in volcanic rocks (albite rhyolite) and folding of volcanic rock columns. Characteristically, the joints are shrinkage cracks formed by cooling of volcanic rock and form 4-6 sided polygons i.e. columns. These columns originated as a consequence of creation of multiple crack-systems inside the solidifying magma body. They are mostly vertical, but the folding of columns can also be noticed.

Lučenje (stupasto, prizmatsko) u stijenama voćinskog vulkanskog tijela najljepše se vidi na jednom od najznačajnijih lokalitetata u Parku prirode Papuk – Rupnici (Slika 6), zakonom zaštićenoj geološkoj baštini Republike Hrvatske od 1948. godine. Na lokalitetu Rupnica susreću se dobro

otkriveni pravilni stupovi razvijeni u magmatskoj stijeni. Za njihov nastanak odgovorni su pravilni sustavi pukotina koji definiraju pojavu stupova uslijed procesa lučenja. Mineraloško-petrografskom analizom ustanovljene su, pored mineralnog sastava (kvarc, feldspat (albit) i tinjac uz podređene



Slika 6. Lučenje efuzivne stijene (stupasto, prizmatsko) na geolokalitetu Rupnica. A – Pogled na geolokalitet. B – Pogled na stupove, vidljivi vertikalni sustavi pukotina kao i sekundarne poprečne pukotine i strije. C – Poligonalni obrazac vidljiv na poprečnim presjecima stupova nastalih razvojem pravilnog sustava pukotina. Četverostrani i peterostrani poprečni presjeci stupova dominiraju u Rupnici.

Figure 6. Columnar jointing of volcanic rock at Rupnica geosite. A – Panoramic view of geosite. B – Columns – side view with propagating cracks and striae. C – Polygonal columnar pattern visible at Rupnica geosite. Four- and five-sided columns dominate at Rupnica geosite.

alkalni piroksen, magnetit i apatit te amfibol, klorit, illit, smektit, kalcit), teksture i strukture tipične za kisele efuzive, kao i karakteristične značajke lučenja. Analizom razvoja pukotina te vezom geolokaliteta Rupnica s okolnim, prostorno i genetski bliskim lokalitetima (Omerovac, Jovanovica, Turski grad) i piroklastičnim stijenama, ustanovljen je mehanizam nastanka “*T-junctions*” sustava pukotina, relativno brzo hlađenje pri niskom tlaku i položaj lokaliteta unutar vulkanskog tijela (BALEN et al., 2010). Postoji određena raznovrsnost u petrografskom sastavu stijena u okolini Rupnice, no ipak može se utvrditi da na samom lokalitetu prevladava stijena za koju se u literaturi koristi već dugo godina uvriježen naziv – **albitski riolit**.

Nekadašnji kamenolom, a danas zaštićeni geolokalitet Rupnica predstavlja izuzetno vrijedno područje za proučavanje magmatskih stijena i njihovog načina pojavljivanja, za studij pojave lučenja, magmatskih procesa, struktura i tekstura u tokovima silikatne taljevine (lave) pri niskom tlaku. Moguće širenje i povezivanje postojeće poučne staze oko Rupnice na okolne lokalitete, dostupnost lokaliteta, njegova otvorenost pogledu, stupanj uređenja, postojeća poučna staza te prostranost platoa ispred stjenske mase, daju brojne mogućnosti predstavljanja magmatskih procesa i vulkanskih fenomena široj javnosti na znanstveno-popularan način (Slika 7). Rupnica potvrđuje svoj značaj kao zaštićeni spomenik geološke baštine u Republici Hrvatskoj i jedna od ključnih

geolokacija po kojoj je Park prirode Papuk odnosno Geopark Papuk prepoznatljiv.

U okolini se mogu naći različiti varijeteti efuzivnih stijena (Slika 8), no u samom nekadašnjem kamenolomu Rupnica dominiraju rioliti čiji prvi detaljni opisi potječu od TAJDER (1956; 1960).

Albitski riolit je svjetlosivi efuziv sa slabom zelenkastom nijansom. Porfirne je strukture sa svjetlosivom osnovom i većim utrscima feldspata. U mikroskopskom preparatu izrazita je porforna struktura s velikim fenokristalima feldspata i mikrokristalastom osnovom. Po svojim optičkim karakteristikama, feldspati su albiti koji dolaze i kao utrusci (fenokristali) i kao minerali u osnovi. Fenokristali albita su pločasta idiomorfna zrna različitih veličina, tako da postupno prelaze do dimenzija minerala u osnovi. Dolaze kao sraslaci dvojci, ponekad pokazuju polisintetske sraslačke lamele, rijetko su samci. Praktički su čisti albiti (1 % An). U osnovi dolazi još i kvarc, akcesorni magnetit te sekundarni kaolinit, klorit i kalcit. Osnova je holokristalina, sitnozrnata, sa zamjetnim tragovima alteracije u kaolinit. Varijeteti riolita su: **egirin – albitski riolit**, stijena tamne boje s jasno izraženom porfirnom struktrom kojom dominiraju utrusci srednjih feldspata unutar gустe tamne, gotovo crne osnove. U mikroskopskom preparatu fenokristali su idiomorfni feldspati, dok je struktura osnove mikrokristalina. Prema opti-

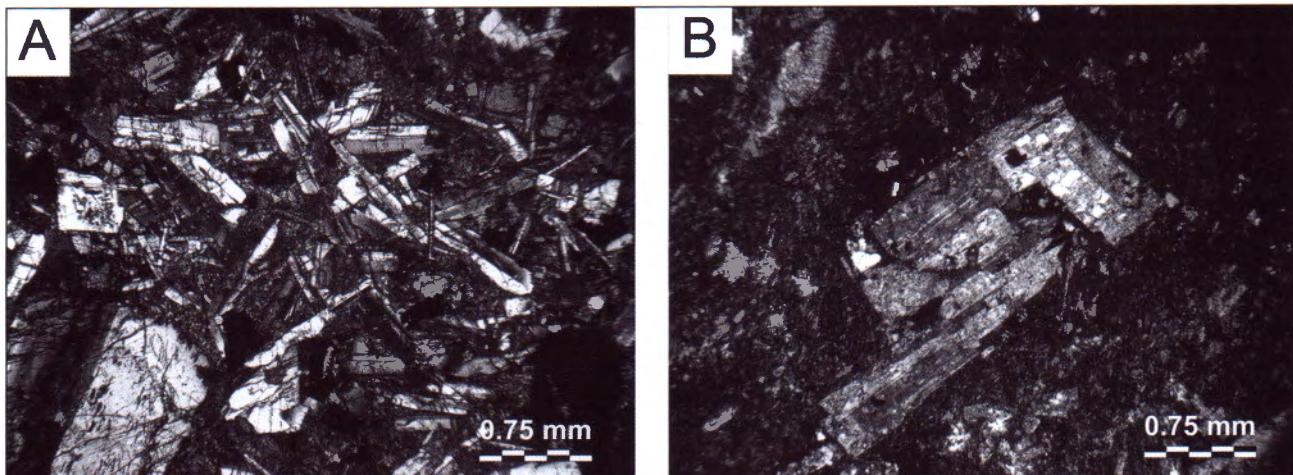
čkim karakteristikama fenokristali feldspata su kiseli plagioklasi (albit do kiseli oligoklas, 0–13% An), a u osnovi pored sitnih feldspata s negativnim reljefom dolaze kvarc i natrijski klinopiroksen egirin. Kao akcesorni minerali javljaju se magnetit, hematit i apatit. Fenokristali dolaze kao samci ili sraslaci dvojci, a ponekad pokazuju uske polisintetske sraslačke lamele (tipične za kiseli oligoklas). Osnova ima izgled tamne vlaknaste mase u kojoj se razaznaju sitnozrnati agregati kvarca, feldspata i igličasti mikroliti egirina visokog reljefa. Egirini pokazuju jak pleokroizam, plavkasto-zelen – zelenkastožut ili smedast. Mjestimice egirini pokazuju karakteristike fluidalne teksture, a također stvaraju ovoje oko krupnijih nepravilnih zrna magnetita.

Varijetet efuziva određen kao **anortoklas – egirinski riolit** je stijena tamnosive, gotovo crne boje s tankim igličastim, rjeđe pločastim utrscima feldspata u gustoj afanitskoj osnovi. Neki od feldspata su staklasti. U mikroskopskom preparatu također se vidi tipična porforna struktura s idiomorfnim zrnima feldspata u afanitskoj, kriptokristalastoj osnovi. Od minerala dolaze anortoklas, oligoklas – albit, egirin, magnetit, a od sekundarnih minerala dolazi kaolinit. Osnova stijene sadrži nejednoliko devitrificirano vulkansko staklo čiji volumen dosiže i do 80 vol.%. U osnovi dolaze feldspati i egirini. Egirini najčešće čine rub (ovoј) oko zrna magnetita. Igličasti egirini u ovoju stvaraju radikalno zrakaste aggregate. Feldspati dolaze kao kristaliti, kristalni ske-



Slika 7. Informativna tabla Rupnica objašnjava osnovne vulkanske fenomene, genezu lučenja i značaj geolokaliteta Rupnica. Informativna tabla označava također početak kružne poučne staze.

Figure 7. Info-table at Rupnica geosite explaining basic volcanic phenomena, origin of columnar jointing, importance of the locality and also serves as an entrance point on a geo-trail around the Rupnica geosite.



Slika 8. A – Bazalt (dijabaz), Trešnjevica, vidljiva mikroofitska struktura, minerali plagioklas, piroksen, klorit. B – Albitski riolit, Rupnica, kompleksni fenokristal albita u osnovi. Mikrofotografije načinjene iz mikroskopskih preparata (izbrusaka stijene) pomoću polarizacijskog mikroskopa s digitalnom kamerom uz uključeni analizator.

Figure 8. A – Basalt (diabase), Trešnjevica, ophitic texture, plagioclase, pyroxene, chlorite. B – Albite rhyolite, Rupnica, complex albite phenocryst in the matrix. Photos are made from thin sections using polarizing microscope with digital camera, plane polarized light, crossed polarizers.

leti osnove i fenokristali (utrusci). Fenokristali feldspata redovito su idiomorfna zrna, rijetko sraslaci dvojci. Neki feldspati uklapaju kriptokristalinu osnovu.

Andezit dolazi u neposrednom kontaktu s albitskim riolitom (KIŠPATIĆ, 1887; TAJDER, 1956) kao kompaktna stijena tamnosive boje kod koje se u gotovo crnoj, gustoj osnovi nalaze staklasti bezbojni utrusci feldspata. Struktura je izrazita porfirna, s velikim fenokristalima i holokristalnim osnovom. Od fenokristala (utrusaka) dolaze plagioklasi (labrador), rjeđe augit, dok se osnova sastoji od kiselijih plagioklasa, augita, klorita, magnetita, ilmenita, apatita i kalcita. Plagioklasi po optičkim karakteristikama odgovaraju labradoru (60 % An) i dolaze većinom kao idiomorfna zrna, sraslaci i sa slabo vidljivom zonalnom građom. Augit, koji je podređeno zastupljen u odnosu na plagioklas, dolazi većinom u alotriomorfnim zrnima, ali se ponegdje nađu i gotovo idiomorfna zrna. Također se u vidu sitnih zrna javlja i u osnovi. Magnetit dolazi u nepravilnim zrnima, štapićima i skeletnim formama (ilmeniti?). Osnova je holokristalina, izgrađena uglavnom od plagioklasa koji dolaze kao sraslaci dvojci pokazujući pilotaksitsku strukturu. U tumaču OGK za list Daruvar (JAMIČIĆ et al., 1989) navodi se da su andeziti masivne stijene zelenkaste boje sa slabo izraženim pločastim lučenjem. Mandulaste su teksture, dok im je struktura porfirna do afirna. Izgrađene su od kvarca, plagioklasa, sanidina, piroksena, amfibola, biotita, magnetita, kalcita, apatita, ilmenita i vulkanskog stakla. Ponekad se javlja i olivin. Kvarc se javlja u holokristalinoj pilotaksitskoj i rjeđe hipokristalinoj osnovi. Uz kvarc dolaze i krupna zrna feldspata, te rjeđe hornblende.

Bazaltoidne stijene se pojednostavljeno mogu podijeliti na **bazalte** i metabazalte odnosno **spilite** (PAMIĆ, 1991). Strukturno-teksturne karakteristike su im ujednačene, kao i mineralni sastav. Može se reći da su metabazalti bitno zastupljeniji u odnosu na bazalte. Tekstura bazalta je masivna, uz prisutnost mandula koje zauzimaju do 20 vol. % stijene. Rijetki su bazalti koji ne sadrže mandule. Mandule su naj-

češće sitne, do 1 mm u promjeru, sferičnog oblika, no pojavljaju se i nakupine mandula (grozdaste i ameoboidne nakupine) gdje pojedine mandule dosežu 5–6 mm u promjeru. Struktura bazalta je porfirna do afirna. Najčešći su porfirno-ofitni varijeteti s malobrojnim utruscima veličine do 4–7 mm i više ofitne osnove. Količinski su podređeni porfirno-ofitni varijeteti s podjednakom količinom osnove i utrusaka, koji su krupniji u odnosu na prethodno opisani varijitet. Veličina utrusaka je do 10 mm. Od utrusaka u bazaltima dolazi poneko zrno svježeg klinopiroksena augita ili, što je češći slučaj, plagioklas. Plagioklas je ili svjež ili ga dijelom potiskuju klinozoisit, zeolit i sericit. Po optičkim karakteristikama odgovara labradoru s 55–64 % anortitne komponente. U ofitnoj osnovi prevladava plagioklas An₅₇, dok u međuprostoru dolazi klinopiroksen augit kojeg potiskuju epidot i klorit. Od akcesornih minerala dolaze opački minerali, apatit i titanit. Puno zastupljeniji su metabazalti. I kod njih je najčešća vrsta utrusaka feldspat, koji prema optičkim karakteristikama odgovara albitu. Albit obično sadrži uklapljene sitne, sekundarne minerale poput klorita, pumpellyita, prehnita, klinozoisita, kalcita i sericita. Unutar zrna albita, posebice u centralnim dijelovima, mogu se prepoznati relikti bazičnih plagioklasa. Kao utrusak može doći i klinopiroksen augit. U ofitnoj osnovi prevladava albit, a uz njega se javlja augit dijelom izmijenjen u agregat klorita i epidota. Mandule sadrže kalcit, klorit i pumpellyit kao najčešće sastojke, dok se podređeno javljaju prehnit, kvarc, zeolit i opački mineral(i).

Piroklastične stijene unutar voćinske vulkanske mase su podjednako zastupljene kao i efuzivi s kojima dolaze (JAMIČIĆ et al., 1986; PAMIĆ, 1991). Predstavljene su aglomeratima (vulkanske breče) i tufovima te prijelazima između njih. Vulkanke breče su zastupljenije u odnosu na tufove.

Bazalne **vulkanske breče** najčešće dolaze kao metarsko-dekametarski paketi u izmjeni s tufovima i bazaltima. Masivne su teksture, a struktura im je psefitna, sa centimeterskim fragmentima bazalta/metabazalta, podređeno i riolita.

Zastupljenost materijala u fragmentima izravno je proporcionalna zastupljenosti tih stijena na terenu. Rijetko kao fragmenti dolaze komadići okolnih stijena (graniti, migmatiti, škriljavci te vapnenci). Matriks je u odnosu na fragmente, podređen ili ga uopće nema. Ako je prisutan, tada je prešao u kloritni agregat s fragmentima plagioklaza i kalcitom.

Tuf dolazi kao uložak unutar aglomerata, rjeđe bazalta. Debljina uložaka varira od centimetarskih do dekametarskih dimenzija. Masivne su teksture i psamitne strukture, s veličinom zrna do 2 mm. Često sadrže vulkanske fragmente sa čijom povećanom zastupljenosti prelaze u aglomerate. Od čestica koje grade tuf dolaze litoklasti bazalta/metabazalta, kristaloklasti feldspata (labrador porjeklom iz bazalta odnosno albita ako su porjeklom iz metabazalta), klinopiroksena augita i sasvim rijetko kristaloklasti kvarca. Matriks tufova je devitrificirano staklo, koje je i kalcitizirano. Tufovi su bazaltnog sastava i određeni su kao litoklastični do vitroklastični tufovi.

U tumaču OGK list Orahovica (JAMIČIĆ et al., 1987) navodi se da se uglavnom na rubovima efuzivnog tijela, ali i unutar njega kao metarski do dekametarski proslojci, javljuju piroklastiti – vulkanske breče, aglomerati i tufovi, stijene mjestimično izrazite fluidalne tekture. Boja im je sivozele-na, sivosmeđa i crvenkastosmeđa. Uočljiva je piroklastična struktura s fragmentima raznih stijena. Sadrže i velike (decimetarskih dimenzija) enklave rudistnih vapnenaca gornjokredne starosti, koji se inače na površini javljaju oko 5 km sjeverozapadno od lokaliteta, te milimetarske do centimetarske fragmente granita, gnajsa, efuziva i piroklastita (pojedini fragmenti u vulkanskoj breći sadrže fragmente piroklastita), što ukazuje na polifaznu vulkansku aktivnost. Fragmenti stijena i minerala vezani su tufnim vezivom ili su u kalcitnom agregatu. Od primarnih minerala sačuvani su samo kalupi i konture plagioklaza ispunjeni sekundarnim produktima: kloritom, sericitom, kvarcom, aktinolitom, epidotom, hematitom, limonitom i mineralima glina.

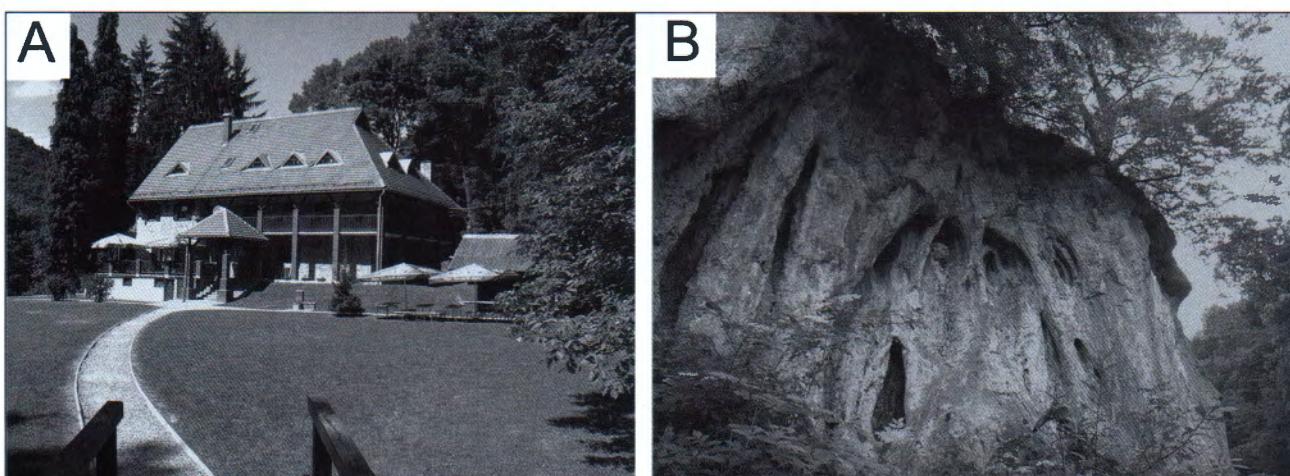
Točka 4 – Stop 4

Profil Jankovac – “400 milijuna godina u 400 metara” Transect Jankovac – “400 Ma in 400 meters”

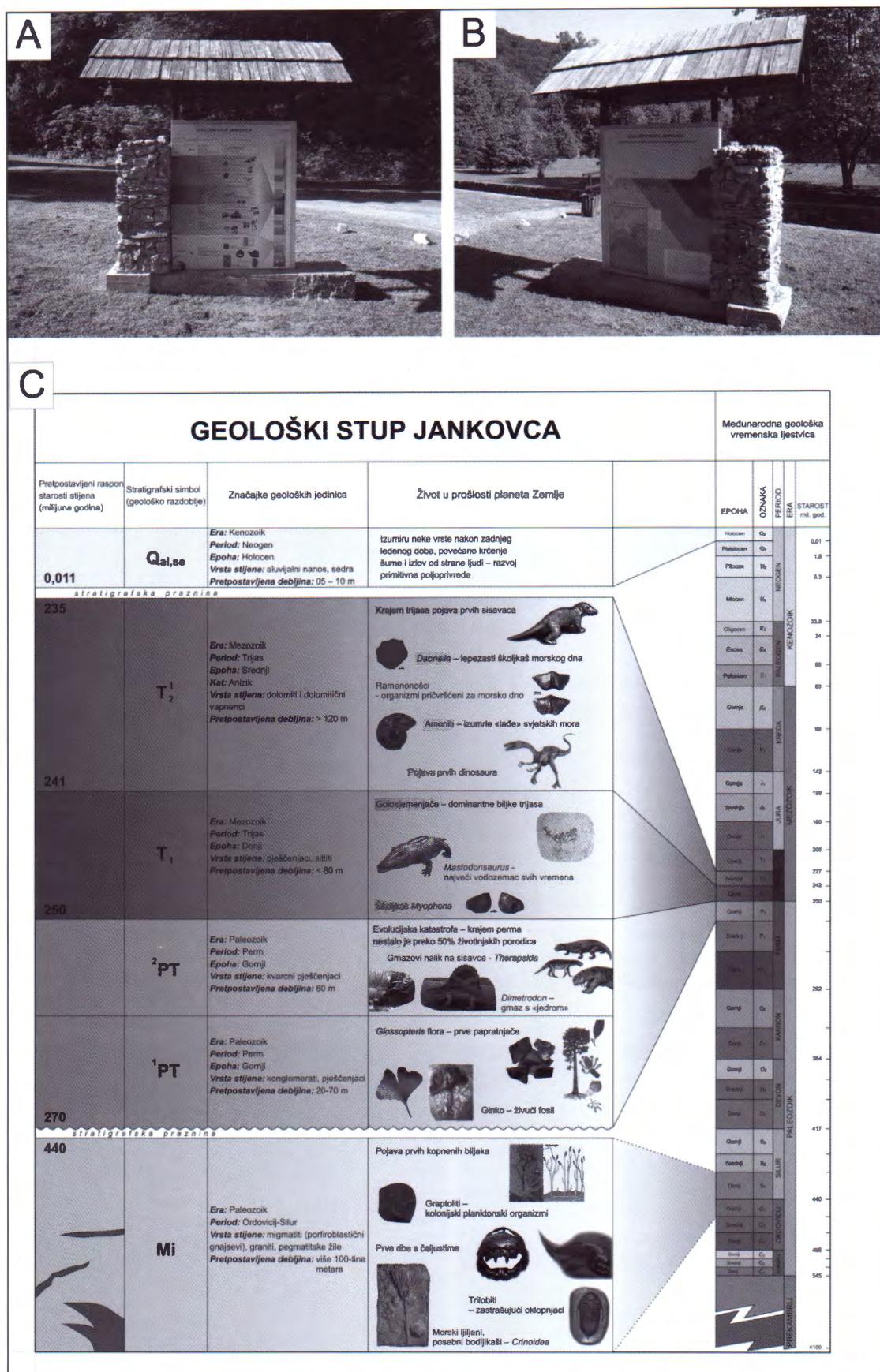
For the small picturesque valley of Jankovac creek, from its spring up to footwall of Skakavac waterfall (which enters the Kovačica creek), a popular expression among geologists says that 400 million years of geological past can be found outcropping along a merely 400-meter long profile. Indeed, several different lithologies can be found in that narrow area: migmatite (also described as porphyroblastic gneiss); Permo-Triassic layered conglomerate to coarse-grained sandstone; quartz sandstone that belongs to upper parts of Permo-Triassic; Early Triassic brown sandstone and greenish silts, their age is determined on the basis of paleontological findings of fossil bivalve shells; Anisian age dolomites and dolomitic limestones near the Jankovac spring; youngest sedimentary rock of Jankovac area, tufa produced during the past 6000 years, forms a 30 m high and 100 m wide tufa barrier. In the surrounding area, numerous springs formed along the contact between carbonate and less permeable footwall rocks.

Jankovac je poznato i vrlo popularno izletište na Papuku poznato po slalu Skakavac (Slika 9), ali također i ključni geološki lokalitet za razmatranje evolucije slavonskih pla-

nina i geologije Papuka. Među geolozima je popularna uzrečica koja kaže da na Jankovcu 400 milijuna godina geološke evolucije izdanjuje u svega 400 metara profila (Slika 10).

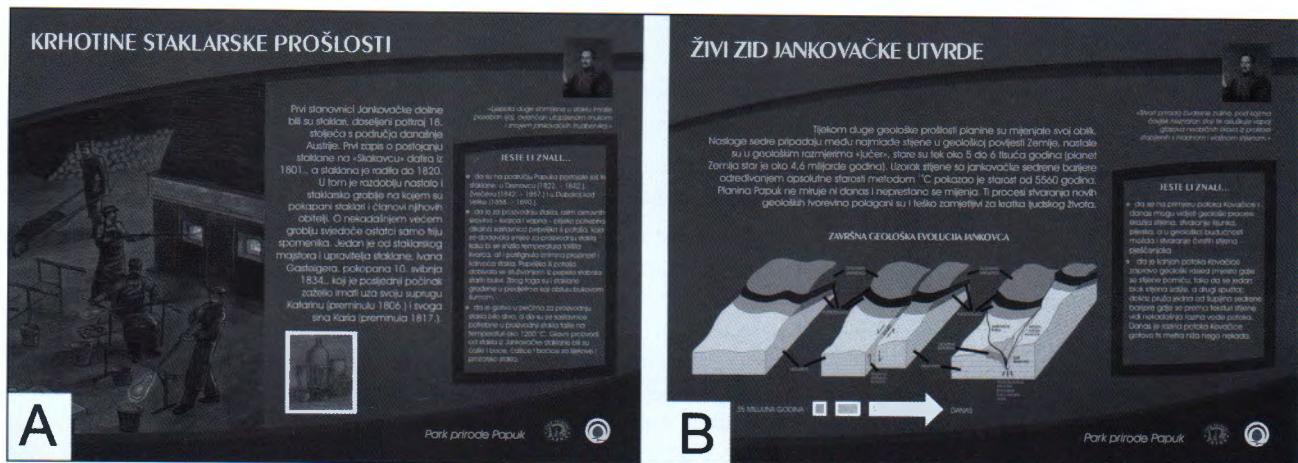


Slika 9. A – Planinarski dom Jankovac (475 mnm). B – Sedrena barijera kod slapa Skakavac.
Figure 9. A – Mountain hut Jankovac (475 m asl). B – Tufa barrier at the Skakavac waterfall.



Slika 10. A-B Zidani geološki stup s dvostranom informativnom tablom prikazuje geološke odnose na samom lokalitetu Jankovac, ali i u slavonskom gorju općenito. C – Detalj table s geološkom vremenskom skalom prikazanom na popularan način.

Figure 10. A-B 3D geological column with two-sided info-table shows geological relations at Jankovac geosite and also in the wider area of Mt. Papuk. C – Detail view of info-table with a simplified geological time-scale adapted for popular public presentation.



Slika 11. Informativne table uz poučnu "Grofov stazu" u Park-šumi Jankovac. A – Krhotine staklarske prošlosti. B – Živi zid Jankovačke utvrde.

Figure 11. Educational panels on the "Grofova staza" (Count's Trail) in the Park forest Jankovac. A – Shreds of the glazing past. B – The „living wall“ of the Jankovac fortress.

Najmlađe stijene na lokalitetu su sedre koje "rastu" i danas, a izuzetno su atraktivno prikazane na kružnoj poučnoj stazi nazvanoj "Grofova staza" (Slika 11) prema grofu Josipu Jankoviću. Staza prolazi ispod 30 m visokog slapa Skakavac koji se preljeva preko sedrene barijere. U okolini su brojni izvori na kontaktu između mezozojskih karbonata i manje propusnih klastičnih stijena, a ponajljepši među njima je izvor potoka Jankovac. Potok Jankovac, čiji kratak put od izvora prolazi kroz dva jezera i piteoresku udolinu ispred planinarskog doma pa sve do strmog pada niz mladu sedrenu barijeru u potok Kovačicu, gdje se raspršuje na migmatite, predstavlja put kroz cijelokupnu geologiju Jankovca. Na tom kratkom putu može se vidjeti šest različitih litoloških članova (JAMIČIĆ, 2003):

Najstarije stijene Jankovca su **migmatiti** (Mi), u literaturi još opisani kao porfiroblastični muskovit-biotitni gnajsevi. U mineralnom sastavu prevladavaju K-feldspati (mikroklin) no također su prisutna nekoliko cm velika zrna plagioklasa u okastoj teksturi stijene, gdje su u prosjeku oko 3 cm velika bijela do ružičasta "oka" feldspata obavijena biotitom. Stijena se odlikuje dobro definiranom škriljavosti markiranim laminama i lećama kvarca i feldspata paralelnih folijacija, te granolepidoblastičnom strukturonu. Pored K-feldspata, kvarca, plagioklasa i biotita, podređeno se javljaju muskovit i akcesorni minerali. Starost stijene vezuje se za stariji paleozoik, a geološka pripadnost uz Papučki kompleks.

Geološki profil kroz permotrijaske naslage i naslage donjeg trijasa jedna su od osnovnih značajki ovog lokaliteta bitnih za razumijevanje nastanka i evolucije mezozojskih sedimenata Papuka. Ovaj segment perma i trijasa karakterizira specifične uvjete sedimentacije u sjevernim dijelovima slavonskog gorja. Na lokalitetu Jankovac može se naći kontinuirani prijelaz permotrijaskih naslaga u fosilima dokazani

donji trijas. Paket počinje krupnije zrnatim klastitim (konglomerati, pješčenjaci), a nastavlja se kvarcnim pješčenjacima predstavljenim subarkozama sa sericitnim vezivom. Donjotrijaske naslage u području Jankovca predstavljene su pješčenjacima, šejlovima i siltitima. Svi sedimenti su uglavnom slabo uškriljeni, što je posljedica mlađih tektonskih zbivanja. Na plohamo slojevitosti često se nalaze otisci školjkaša na temelju kojih je određena donjotrijaska starost (ŠIKIĆ & BRKIĆ, 1975).

Uslojeni **konglomerati** do krupnozrnati **pješčenjaci** su permotrijaske starosti (!PT), transgresivni su na migmatite i sadrže valutice starijih stijena i kvarca (velike i do 5 cm u promjeru).

Kvarci pješčenjak (?PT) pripada gornjim dijelovima permotrijasa, sadrži kvarc, litične fragmente, podređeno muskovit, feldspat i biotit vezane sericitnim matriksom.

Donjotrijasci (T₁) smeđi **pješčenjaci** i zelenasti **siltiti** sadrže fosile *Myophoria laevigata*, *Myophoria costata*, *Anodontophora* (*Myacites*) *fassaensis* i *Gervilleia* sp. koji su poslužili kao temelj za utvrđivanje starosti.

Dolomiti i dolomitični **vapnenci** kod izvora potoka Jankovac su anizičke starosti (T₂¹). Stijene su sive boje, krupnog zrna, tektonizirane i s vidljivim tragovima okršavanja. Razvijeni su i tipični krški fenomeni poput spilja, jama i ponora. Dolomiti su krupnokristalaste građe, a u baznim dijelovima stupa su izluženi i supljikavi. Javljuju se i vapnenito-dolomitne breče. Izvori se javljaju na kontaktu propusnih karbonata i manje propusnih klastičnih stijena.

Najmlađe stijene Jankovca su sedre. Tijekom posljednjih 6000 godina (prema rezultatima ¹⁴C analiza) formirana je 30 m visoka i 100 m široka **sedrena barijera**. Uslijed mlađe kvartarne tektonike položaj barijere odnosno položaj slapa Skakavac kontinuirano se pomiče.

Točka 5 – Stop 5

Profil Kutjevačka rijeka Kutjevačka Rijeka transect

Prograde metamorphic sequence along the Kutjevačka Rijeka transect.

Beside the N-S striking transect in the western part of the Slavonian Mts. showing a zonal (regular) distribution of index minerals (Ravna Gora) within the prograde metamorphic sequence, there is another section where the same unit can be studied in great detail – a parallel, more easterly located transect along the Kutjevačka Rijeka valley. Heading from south to north along this transect, the prograde metamorphic sequence starts with medium-grade (amphibolite facies) part, largely composed of garnet-bearing micaschists and paragneisses with subordinate orthoamphibolite intercalations and granitoid intrusions. More to the north, these grade into greenschists facies schists comprising the low-grade part (chlorite zone) of the prograde metamorphic sequence. Greenschists facies rocks are in discordant contact with sub-greenschist facies rocks of the low grade metamorphic complex. Metamorphic rocks are unconformably overlain by clastic-carbonate succession of Permian and Triassic age.

Profil kroz metamorfne i (meta)sedimentne stijene duž Kutjevačke rijeke

Uz približno N-S orijentirani profil kroz zapadne dijelove Papuka, gdje je RAFFAELLI (1965) opisao zonalni raspored metamorfnih indeks minerala (Ravna gora), istočnije smješteni profil koji uglavnom prati dolinu Kutjevačke rijeke također je jedna od lokacija koja uvelike ocrtava evoluciju paleozojskih stijena Papuka (Slika 12). Idući duž profila od juga prema sjeveru, metamorfne stijene predstavljene su uglavnom stijenama srednjeg stupnja metamorfizma (amfibolitni facijes) i to granat tinjčevim škriljavcima i paragnajsevima, u kojima dolaze ulošci ortoamfibolita i manja tijela granita. Prema sjeveru, stijene amfibolitnog facijesa slijede stijene facijesa zelenih škriljavaca (kloritni škriljavci), a zatim diskordantno dolaze stijene niskog stupnja metamorfizma predstavljene kloritoidnim škriljavcima. Na njih diskordantno dolazi klasično-karbonatna sukcesija sedimentnih stijena permske i trijaske starosti.

Mezoskopski pregled strukturnih karakteristika stijena otkriva dvije jasno izražene folijacije (točka 2 u profilu; Rovišćak) koje prethode alpinskoj deformaciji. Starija (S_1) folijacija markirana je metamorfnim uslojavanjem karakteriziranim centimetarskim izmjenama tinjčevih škriljavaca, amfibolita i paragnajseva s tzv. “*garnet trails*” – milimetarskim laminama bogatim crvenim granatom. Mlađa folijacija (S_2) najmarkantnija je folijacija uočljiva u metamorfnim stijenama profila Kutjevačka rijeka i odgovara ravnini klivaza vezanoj za mlađi deformacijski događaj i retrogradni metamorfizam P-T uvjeta koji odgovaraju facijesu zelenih škriljavaca. Odnosi među stijenama su dijelom poremećeni uslijed mlađih alpinskih deformacija.

Tinjčevi škriljavci imaju dobro sačuvan metamorfni sklop s metamorfnom mineralnom paragenezom stabilnom u amfibolitnom facijesu koju čine granat, biotit, muskovit, plagioklas i kvarc. Folijaciju određuje preferirana orijentacija biotita, muskovita i razmještaj granata u paralelnim laminama. Plagioklas je izdužen i zajedno s kvarcom tvori lamine paralelne S_1 folijaciji. Granati dolaze u dvije, veličinom različite populacije, gdje veća zrna pokazuju karakteristike složene povijesti rasta i razliku u kemijskom sastavu između jezgre i ruba zrna, hipidioblastična su, a dijelom je

vidljiva i mreža nepravilnih pukotina. Tipično su okruženi asimetričnim tlačnim sjenama u kojima se nalazi klorit, biotit, muskovit, epidot i kvarc.

Paragnajs pokazuje značajke vrlo slične onima kod tinjčevog škriljavca, od kojeg se razlikuje većim udjelom plagioklasa i manjim razlikama u mineralnom i kemijskom sastavu. Mineralna parageneza sadrži granate, biotit, amfibol, plagioklas (~28 % An) i kvarc. Apatit, ilmenit, cirkon, amfibol i kvarc dolaze kao uklopci u granatu.

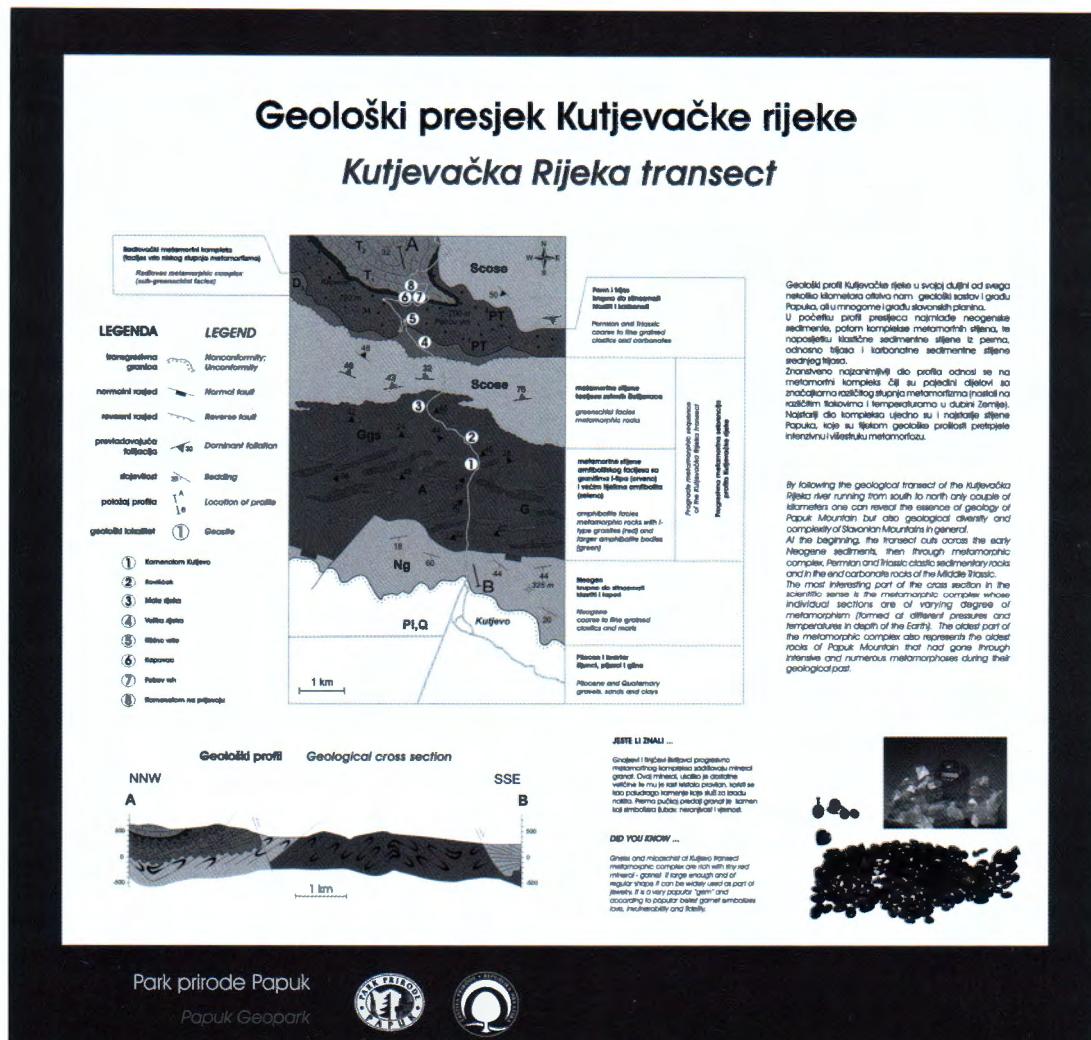
Amfibolit također sadrži granat s neznatnim kemijskim razlikama između jezgre i ruba zrna. Metamorfna mineralna parageneza uključuje još amfibol, plagioklas (20–30 % An) i kvarc, s podređenim ilmenitom, apatitom, titanitom i klinozoisitom.

Studij mikrostruktura, interpretacija zonalne grade i razlika u kemijskom sastavu granata ukazuju na složenu metamorfnu povijest razvoja stijena koje dostižu uvjete amfibolitnog facijesa s vršnim uvjetima od ca. 600–650°C i 8–11 kbar. Određivanje starosti itrijem bogatih monacita ukazuje na pred-varisciski tj. ordovicij do silurski (428±25 i 444±19 milijuna godina) događaj za metamorfizam srednjeg stupnja granat tinjčevih škriljavaca Kutjevačke rijeke (BALEN et al., 2006).

Stijene facijesa zelenih škriljavaca obuhvaćaju kloritne do zelene škriljavce u pravilu sastavljene od kvarca, klorita i muskovita s albitom, klinozoisitom te u višim zonama s epidotom, granatom i biotitom. Također se javljaju mikrobrani filiti koji se izmjenjuju sa zelenim škriljavcima, a sadrže kvarc i muskovit s podređenim feldspatima, kloritom, te opakim mineralima i cirkonom kao akcesornim mineralima.

Kloritoidni škriljavci su kloritoidni filiti i škriljavi metapješčenjaci koji sadrže kloritoid kao glavni mineral. U pravilu se te stijene javljaju na kontaktu između (meta)sedimentnog kompleksa i metamorfnih stijena. Ipak, točni geološki odnosi još nisu u potpunosti razjašnjeni.

I-tip granita probija metamorfne stijene progresivno metamorfnog kompleksa. Uglavnom su to mala, nekoliko stotina metara do kilometar duga tijela. Mineralna zajednica obuhvaća kvarc, feldspat, biotit, muskovit, hornblend i granat. Primarna struktura stijene je ksenomorfna. Prema klasi-



Slika 12. Informativna tabla postavljena na početku i kraju profila kroz Kutjevačku rijeku na popularan način pojašnjava odnose i značaj ovog lokaliteta kroz osam geoloških točaka uzduž profila

Figure 12. Info-table set on the beginning and end of Kutjevo River transect provides a popular explanation of the importance and geological relations along the transect through eight specific geosites.

fikaciji granitnih stijena radi se o tonalitu do granodioritu (PAMIĆ & LANPHERE, 1991).

Sedimentne stijene u profilu Kutjevačka rijeka odgovaraju stijenama viđenim na prethodnoj točki Jankovac. Permotrijske stijene su krupnozrnate do srednjezrnate klastične stijene predstavljene konglomeratima i pješčenjacima u diskordantnom odnosu prema metamorfnom kompleksu. Sastav čestica ukazuje na lokalno porijeklo materijala. Permotrijske stijene izdajuju u izduženim zonama koje dijele kristalin od trijaskih, pretežno karbonatnih stijena.

Filitni konglomerati su loše sortirane stijene s crven-kastim do ljubičastim valuticama u svilenkastom sericitnom matriksu. Postupno prelaze u sitnije zrnate ljubičaste pješčenjake. **Kvarcni pješčenjaci** konkordantno naliježu na krupnije zrnate stijene i predstavljaju prijelaz ka donjotrijaskim klastičnim stijenama zastupljenim s **pješčenjacima** i **silititima**.

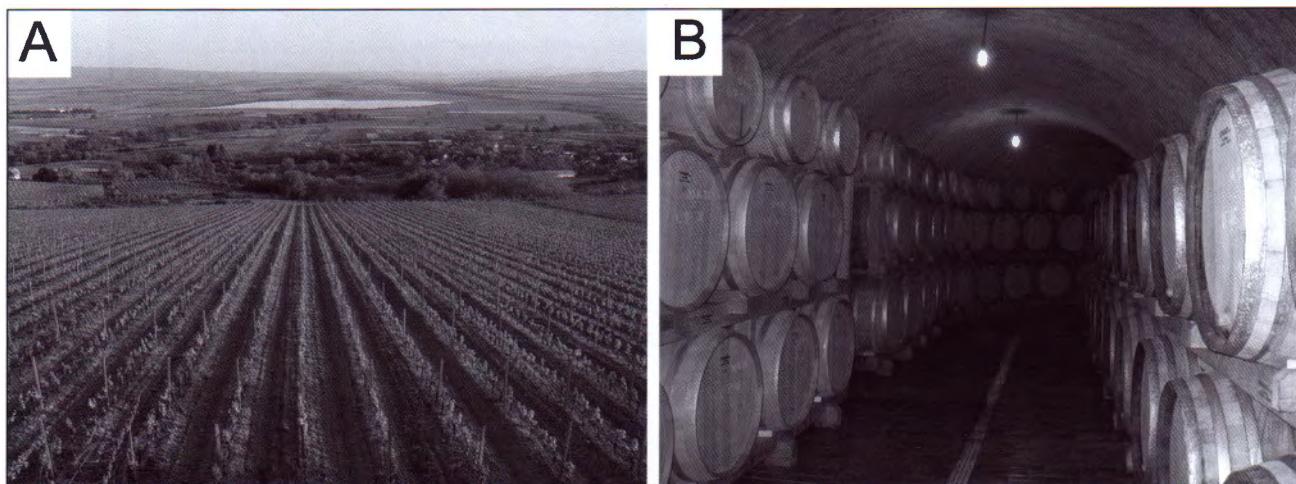
Srednji trijas čine karbonatne stijene (**dolomit** i podređeno **vapnenac**) – ŠIKIĆ & BRKIĆ (1975), JAMIČIĆ & BRKIĆ (1987).

Metodama istraživanja "kristaliniteta" illita i klorita ustavljeno je da su stijene u profilu Kutjevačka rijeka tijekom krede prošle kroz vrlo niski stupanj metamorfizma s temperaturama od ~ 300 °C (BIŠEVAC et al., 2009).

Geologija i vino

Geološka ekskurzija u Slavoniju, poglavito na Papuk, ne bi bila kompletna a da se bar ovlašne spomene za taj kraj karakteristična kultura uzgoja vinove loze, proizvodnja vrhunskih vina i užitak što ga vino pruža osjetilima i istančanoj percepciji u geologa.

Kutjevačka vina znamenita su među slavonskim vinima, ponos su plodne Požeške doline (*Vallis aurea*), sa svim preduvjetima za stvaranje vrhunskih vina koja se njeguju u brojnim vinskim podrumima. Među njima se posebno ističe podrum uz kutjevački dvorac, koji korijene svoje tradicije vuče još iz davne 1232. godine. Te godine u kutjevački kraj dolaze cisterciti, svećenički red nastao u francuskoj Burgundiji, te započinju s proizvodnjom vina. Kroz povijest su brojna i burna događanja obilježila ovaj kraj, no vino i vino-



Slika 13. A – Panoramska slika vinograda koji se elegantno spuštaju s južnih obronaka Papuka u zlatnu dolinu. B – Vinski podrum.
Figure 13. A – Panoramic view of vineyards on the mild, southern slopes of Mt. Papuk, toward *Vallis aurea* (Golden Valley). B – Wine-cellar.

gradarstvo je opstalo. Moderni vinogradi danas se prostiru duž južnih obronaka Papuka i Krndije (Slika 13), odvažno se penjući u vis, do za vinogradare još donedavno neslućenih visina, u vječnom strastvenom odnosu i potrazi za savršenom "vezom" klime, sunca, tla i stijena.

Kutjevački vješti podrumari predstaviti će nam neka od čuvenih vina kutjevačkih podruma poput graševine, rizlin-

ga, traminca, pinota, Chardonnaya, Sauvignona, a kad smo već ranije spomenuli popularne uzrečice među geologima onda za kraj ekskurzije nije na odmet niti ova duhovita: "Umjereno uživanje u vinu ne može škoditi ni u većim količinama".

Zahvale: Autori zahvaljuju Zorici Petrinec, prof. geologije i geografije i dr. sc. Mariji Horvat na korisnim sugestijama i uloženom trudu u pripremi vodiča.

LITERATURA

- ÁRKAI, P., BÉRCZI-MAKK, A. & BALOGH K. (2000): Alpine low-T prograde metamorphism in the post-Variscan basement of the Great Plain, Tisza Unit (Pannonian Basin, Hungary).– *Acta Geologica Hungarica*, 43/1, 43–63.
- BALEN, D. (2005): New pieces to the Croatian part of Tisia jigsaw puzzle: role of age dating, geothermobarometry and accessory minerals in transforming of "simple" insight into a future complex model.– *Zbornik radova*, 3. Hrvatski geološki kongres, 7–8, Opatija.
- BALEN, D. (2008): Mineraloško-petrografska analiza lokaliteta Trešnjevica u Parku prirode Papuk.– *Stručna studija za JU Park prirode Papuk*, Prirodoslovno-matematički fakultet, 46 str., Zagreb.
- BALEN, D. (2009): Mineraloško-petrografska analiza geolokaliteta Rupnica i drugih lokaliteta vezanih uz voćinsko vulkansko tijelo.– *Stručna studija za JU Park prirode Papuk*, Prirodoslovno-matematički fakultet, 68 str., Zagreb.
- BALEN, D., HORVÁTH, P., TOMLJENOVIC, B., FINGER, F., HUMER, B., PAMIĆ, J. & ÁRKAI, P. (2006): A record of pre-Variscan Barrovian regional metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains (NE Croatia).– *Mineralogy and Petrology*, 87, 143–162.
- BALEN, D., KOVAČIĆ, M., RADONIĆ, G., PAVIĆ, G. & TOMIĆ, V. (2008): Open University Geological Society Mainland Europe (OUGSME) Geo-Trip 2008 Croatia.– In: SREMAC, J. (ur.): *Field-trip Guidebook*, Faculty of Science, 12–40, Zagreb.
- BALEN, D., RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G. (2009): Trešnjevica geosite – "volcano traces from the past".– 8th European Geoparks Conference "New Challenges with Geotourism", 175–175, Geopark Naturtejo, Idanha-a-Nova.
- BALEN, D., RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G. (2010): Order and disorder in columnar joints of Rupnica Geosite (Papuk Geopark).– U; HORVAT, M. (ur.): 4. Hrvatski geološki kongres – Šibenik 2010, Knjiga sažetaka.
- BELAK, M., MIKNIĆ, M., KRUK, B., KASTMULLER, Ž., & KRUK, LJ. (2000): Bazalt-glinoviti peperiti: litofacijsni i kronostratigrafski prinos poznavanju vulkanita Budima kod Voćina.– *Zbornik radova*, 2. Hrvatski geološki kongres, 109–113, Cavtat.
- BIŠEVAC, V., BALEN, D., TIBLJAŠ, D. & ŠPANIĆ, D. (2009): Preliminary results on degree of thermal alteration recorded on the eastern part of Mt. Papuk, Slavonia, Croatia.– *Geologia Croatica*, 62/1, 63–72.
- BIŠEVAC, V., BALOGH, K., BALEN, D. & TIBLJAŠ, D. (2010): Eoalpine (Cretaceous) very low- to low-grade metamorphism recorded on illite-muscovite rich fraction from South Tisia (eastern Mt. Papuk, Croatia).– *Geologica Carpathica*, submitted.
- BRKIĆ, M., JAMIČIĆ, D. & PANTIĆ, N. (1974): Karbonske naslage u Papuku (sjeveroistočna Hrvatska).– *Geol. vjesnik*, 27, 53–58, Zagreb.
- CSONTOS, L. (1995): Tertiary tectonic evolution of the Intra-Carpathian area: a review.– *Acta Vulcanologica*, 7/2, 1–13.
- CSONTOS, L. & VÖRÖS, A. (2004): Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region.– *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 210, 1–56.
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I. & BENKOVICS, L. (1999): Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system

- and neighbouring orogens: a new synthesis of palaeostress data.– In: DURAND, D., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds): The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen. Geol. Soc. London, Spec. Publ., 156, 295–334.
- GÉCZY, B. (1973): The origin of Jurassic faunal provinces and the Mediterranean plate tectonics.– Ann. Univ. Sci. R. Eötvös Nom. Sect. Geol., 16, 99–114, Budapest.
- HORVAT, M. (2004): Geochemistry and petrology of granitoids of Papuk and Psunj Mts. (Slavonia, Croatia).– PhD Thesis, Eötvös Loránd University, 133 p., Budapest.
- HORVÁTH, P. (2007): P-T pseudosections in KFMASH, KMnFMASH, NCKFMASH and NCKMnFMASH systems: a case study from garnet-staurolite mica schist from the Alpine metamorphic basement of the Pannonian Basin (Hungary).– *Geologica Carpathica*, 58/2, 107–119.
- HORVÁTH, P. & ÁRKAI, P. (2002): Pressure-temperature path of metapelites from the Algyő-Ferencszállás area, SE Hungary: thermobarometric constraints from coexisting mineral assemblages and garnet zoning.– *Acta Geologica Hungarica*, 45/1, 1–27.
- HORVÁTH, P., BALEN, D., FINGER, F., HUMER, B., TOMLJENOVIC, B. & ÁRKAI, P. (2007): Pre-Variscan Barrovian metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains, Tisia Unit (NE Croatia): Application of quantitative phase diagrams and monazite age dating.– *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Goldschmidt Conference, 71/15, A417.
- HORVÁTH, P., BALEN, D., FINGER, F., TOMLJENOVIC, B. & KRENN, E. (2010): Contrasting P-T-t paths from the basement of the Tisia Unit (Slavonian Mts., NE Croatia): Application of quantitative phase diagrams and monazite age dating.– *Lithos*, 117, 269–282.
- JAMIČIĆ, D. (1979): Dvostruko boranje u jednom dijelu metamorfnih stijena Papuka i Krndije.– *Geol. vjesnik*, 31, 355–358, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1983): Strukturni sklop metamorfnih stijena Krndije i južnih padina Papuka.– *Geol. vjesnik*, 36, 51–72, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1988): Strukturni sklop slavonskih planina (sjeverni Psunj, Papuk, Krndija).– Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, 152 str., Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. (1989): Osnovna geološka karta SFRJ. List Daruvar 1:100.000 L 33-95.– Geološki zavod Zagreb (1974–1982), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- JAMIČIĆ, D. (1995): Tektonski događaji u južnom dijelu Panonskog područja (sjeverna Hrvatska): pregled i interpretacija.– *Zbornik radova*, 1. Hrvatski geološki kongres, 215–218, Opatija.
- JAMIČIĆ, D. (2003): Osnovne geološke značajke Slavonskih planina.– *Priroda*, 6–7, 20–27, Zagreb.
- JAMIČIĆ, D. & BRKIĆ, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ. List Orahovica 1:100.000 L 33-96.– Geološki zavod Zagreb (1971–1986), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd.
- JAMIČIĆ, D., BRKIĆ, M., CRNKO, J. & VRAGOVIĆ, M. (1987): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 L 33-96. Tumač za list Orahovica. – Geološki zavod Zagreb (1986), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd, 72 str.
- JAMIČIĆ, D., VRAGOVIĆ, M. & MATIČEC, D. (1989) Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000 L 33-95. Tumač za list Daruvar. – Geološki zavod Zagreb (1988), Savezni geološki zavod Beograd, Beograd, 55 str.
- KIŠPATIĆ, M. (1887): Voćinski augitni andezit (trahit).– *Rad JAZU*, 83/8, 179–185, Zagreb.
- KIŠPATIĆ, M. (1916): Augitandesit (Trachyt) von Voćin.– *Izvješće JAZU*, 8, 311–312, Zagreb.
- KOCH, F. (1919): Grundlinien der Geologie von West-Slavonien.– *Glasnik Hrv. prir. društva*, 31/222, 217–236, Zagreb.
- LELKES-FELVÁRI, GY., FRANK, W. & SCHUSTER, R. (2003): Geochronological constraints of the Variscan, Permian-Triassic and Eo-Alpine (Cretaceous) evolution of the Great Hungarian Plain basement.– *Geologica Carpathica*, 54/5, 299–315.
- LUGOVIĆ, B. (1983): Efuzivne stijene sjeverozapadnog dijela Papuka.– *Geol. vjesnik*, 36, 131–156, Zagreb.
- MAJER, V. & TAJDER, M. (1982): Osnovne karakteristike spilikerato-firskog magmatizma Slavonije.– *Acta geol.*, 12, 1–22, Zagreb.
- MARKOVIĆ, S. (2002): Hrvatske mineralne sirovine.– Institut za geološka istraživanja, 544 str., Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1991): Gornjokredne bazaltoidne i piroklastične stijene iz voćinske vulkanske mase na Papuku (Slavonija, sj. Hrvatska).– *Geol. vjesnik*, 44, 161–172, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1997): Vulkanke stijene Savsko-Dravskog međuriječja i Baranje (Hrvatska).– Nafta, 192 str., Zagreb.
- PAMIĆ, J. (1998): Crystalline basement of the South Pannonian Basin based on surface and subsurface data.– *Nafta*, 49, 371–390, Zagreb.
- PAMIĆ, J. (2002): The Sava-Vardar Zone of the Dinarides and Hellenides versus the Vardar Ocean.– *Eclog. Geol. Helv.*, 95, 99–113.
- PAMIĆ, J. & JAMIČIĆ, D. (1986): Metabasic intrusive rocks from the Paleozoic Radlovac complex of Mt. Papuk in Slavonija (northern Croatia).– *Rad JAZU*, 424, 97–125, Zagreb.
- PAMIĆ, J. & LANPHERE, M. (1991): Hercynian granites and metamorphic rocks from the Papuk, Psunj, Krndija and the surrounding basement of the Pannonian Basin (Northern Croatia, Yugoslavia).– *Geologija*, 34, 81–253, Ljubljana.
- PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (2002): Paleozoic tectonostratigraphic units in the northwest and central Dinarides and the adjoining South Tisia.– *International Journal of Earth Sciences*, 91, 538–554.
- PAMIĆ, J., LANPHERE, M. & MCKEE, E. (1988): Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the Slavonian Mountains in the southern part of the Pannonian Basin, Yugoslavia.– *Acta Geol.*, 18, 13–39, Zagreb.
- PAMIĆ, J., LANPHERE, M. & BELAK, M. (1996): Hercynian I-type and S-type granitoids from the Slavonian Mountains (southern Pannonian, north Croatia).– *N. Jb. Mineral. Abh.*, 171, 155–186.
- PAMIĆ, J., BALEN, D. & TIBLJAŠ, D. (2002): Petrology and geochemistry of orthoamphibolites from the Variscan metamorphic sequences of the South Tisia in Croatia – an overview with geo-dynamic implications.– *International Journal of Earth Sciences*, 91, 787–798.
- PAMIĆ, J., RADONIĆ, G. & PAVIĆ, G. (2003): Geološki vodič kroz Park prirode Papuk.– JU Park prirode Papuk, 66 str., Požega.
- POLJAK, J. (1938): Izvještaj o geološkom snimanju lista "Slatina-Voćin".– Godišnjak Geološkog instituta kralj. Jugoslavije, Beograd.
- RAFFAELLI, P. (1965): Metamorfizam paleozojskih pelitskih škriljaca u području Ravne gore (Papučko gorje – Slavonija).– *Geol. vjesnik*, 18, 61–111.
- ROYDEN, L.H. & HORVÁTH, F. (1988): The Pannonian Basin: A study in basin evolution.– The American Association of Petroleum Geologists and The Hungarian Geological Society, AAPG Memoir, 45, Map 8.
- SCHMID, S.M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MARENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. (2008): The Alps-Carpathians-Dinarides connection: a compilation of tectonic units.– *Swiss Journal of Geosciences*, 101/1, 139–183.
- STUR, D. (1861): Geologische karte von West-Slavonien.– *Jahrb. Geol. Reichanst.*, 12 (Verh.), 115–118, Wien.
- STUR, D. (1862): Die Neogene-Tertiären ablangerungen von West-Slavonien.– *Jahrb. Geol. Reichanst.*, 12/2, 285–299, Wien.
- ŠIKIĆ, K. & BRKIĆ, M. (1975): The Lower Triassic of the Papuk and Krndija Mt. (Northern Croatia).– *Geol. vjesnik*, 28, 133–141, Zagreb.
- TAJDER, M. (1956): Albitiski efuzivi okolice Voćina i njihova geneza.– *Acta geol.*, 1 (Prir. istraž. JAZU), 27, 35–48, Zagreb.
- TAJDER, M. (1960): Anortoklasni egirinski riolit iz potoka Rupnice kod Voćina.– *Acta geol.*, 2 (Prir. istraž. JAZU), 29, 95–101, Zagreb.

- TAJDER, M. (1960): Anortoklasni egirinski riolit iz potoka Rupnice kod Voćina.– Acta geol., 2 (Prir istraž JAZU), 29, 95–101, Zagreb.
- TAJDER, M. (1969): Magmatizam i metamorfizam planinskog područja Papuk-Psunj.– Geol. vjesnik, 22, 469–476, Zagreb.
- USTASZEWSKI, K., SCHMID, S.M., LUGOVIĆ, B., SCHUSTER, R., SCHALTEGGER, U., BERNOULLI, D., HOTTINGER, L., KOUNOV, A., FÜGENSCHUH, B. & SCHEFER, S. (2009): Late Cretaceous intra-oceanic magmatism in the internal Dinarides (northern Bosnia and Herzegovina): Implications for the collision of the Adriatic and European plates.– Lithos, 108, 106–125.
- USTASZEWSKI, K., KOUNOV, A., SCHMID, S.M., FRANK, W., SCHALTEGGER, U., FÜGENSCHUH, B. & KRENN, E. (2010): Cenozoic evolution of the Adria–Europe plate boundary along the northern Dinarides – from continent-continent collision to back-arc extension.– Tectonics, submitted.
- VRAGOVIĆ, M. (1965): Graniti i gnajsi Papuka.– Disertacija. Sveučilište u Zagrebu, 232 str., Zagreb.

**Ekskurzija A1 – Dinaridi: evolucija i recentni geotektonski odnosi
(Bosna i Hercegovina, Hrvatska)**

**Excursion A1 – Dinarides: evolution and recent geotectonic relationships
(Bosnia and Herzegovina, Croatia)**

Ivan Dragičević, Hazim Hrvatović, Alan Vranjković, Oleg Mandić, Branimir Šegvić,
Josip Halamić & Davor Pavelić

Dinaridi: evolucija i recentni geotektonski odnosi (Bosna i Hercegovina, Hrvatska)

Dinarides: evolution and recent geotectonic relationships (Bosnia and Herzegovina, Croatia)

Ivan Dragičević¹, Hazim Hrvatović², Alan Vranjković¹, Oleg Mandić³, Branimir Šegvić⁴, Josip Halamić⁵ & Davor Pavelić¹

¹Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Pierottijeva 6, 10 002 Zagreb, Hrvatska

²Federalni zavod za geologiju, Ilička 71 210, Bosna i Hercegovina

³Department of Geology & Palaeontology, The Natural History Museum Vienna, Burgring 7, 1010 Wien, Austria

⁴Tehnische Universität Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaften, Tehnische Petrologie, Schnittspahnstraße 9, 64287 Darmstadt, Deutschland

⁵Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Sponzori: Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb
Hrvatski geološki institut, Zagreb

Sponsors: Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Zagreb
Croatian Geological Survey, Zagreb

Uvod

Drage kolegice, kolege i prijatelji, dobro došli na geološku ekskurziju kroz Dinaride Bosne i Hercegovine i Hrvatske, koja se održava u okviru 4. hrvatskoga geološkog kongresa. Hvala Vam na povjerenju i interesu što ste odabrali ovu ekskurziju. Na našem putu tijekom tri dana posjetit ćemo odabrane lokalitete (14 postaja čiji su položaji prikazani na Slici 1). Kako je vrijeme ograničeno, nastojali smo odabrati lokalitete koje nije posjetila većina sudionika ove ekskurzije, a na njima se može vidjeti dio zamršene geološke evolucije i recentnih geotektonskih odnosa u Dinaridima. Bez ikakove pretenzije da namećemo bilo kakova rješenja o geološkoj evoluciji i recentnim geotektonskim odnosima, pozivamo Vas na diskusiju i prijedloge o dalnjim istraživačkim aktivnostima.

Dinaridi predstavljaju segment grandioznih alpinotipnih struktura koje su nastale u prostoru Tethysa tijekom alpskog orogenetskog ciklusa. Naša ekskurzija prolazi područjem središnjih Dinarida. Lijepi profil s dobro otkrivenim izdancima glavnih velikih tektonostratigrafiskih jedinica najvećim dijelom prolazi dolinom rijeke Bosne (Doboj – Lašva), zatim sjeverozapadnim dijelom "Srednjebosanskog škriljavog gorja" (Novi Travnik – Bugojno), sjevernim, odnosno sjeveroistočnim rubom Jadranske karbonatne platforme (potез Bugojno – Kupres), te preko Jadranske karbonatne platforme od Kupresa do Šibenika.

Brojni su publicirani radovi o geološkoj građi područja središnjih Dinarida i Dinarida općenito. Temeljni litostratigrafski i strukturni odnosi prikazani su na listovima Osnovne

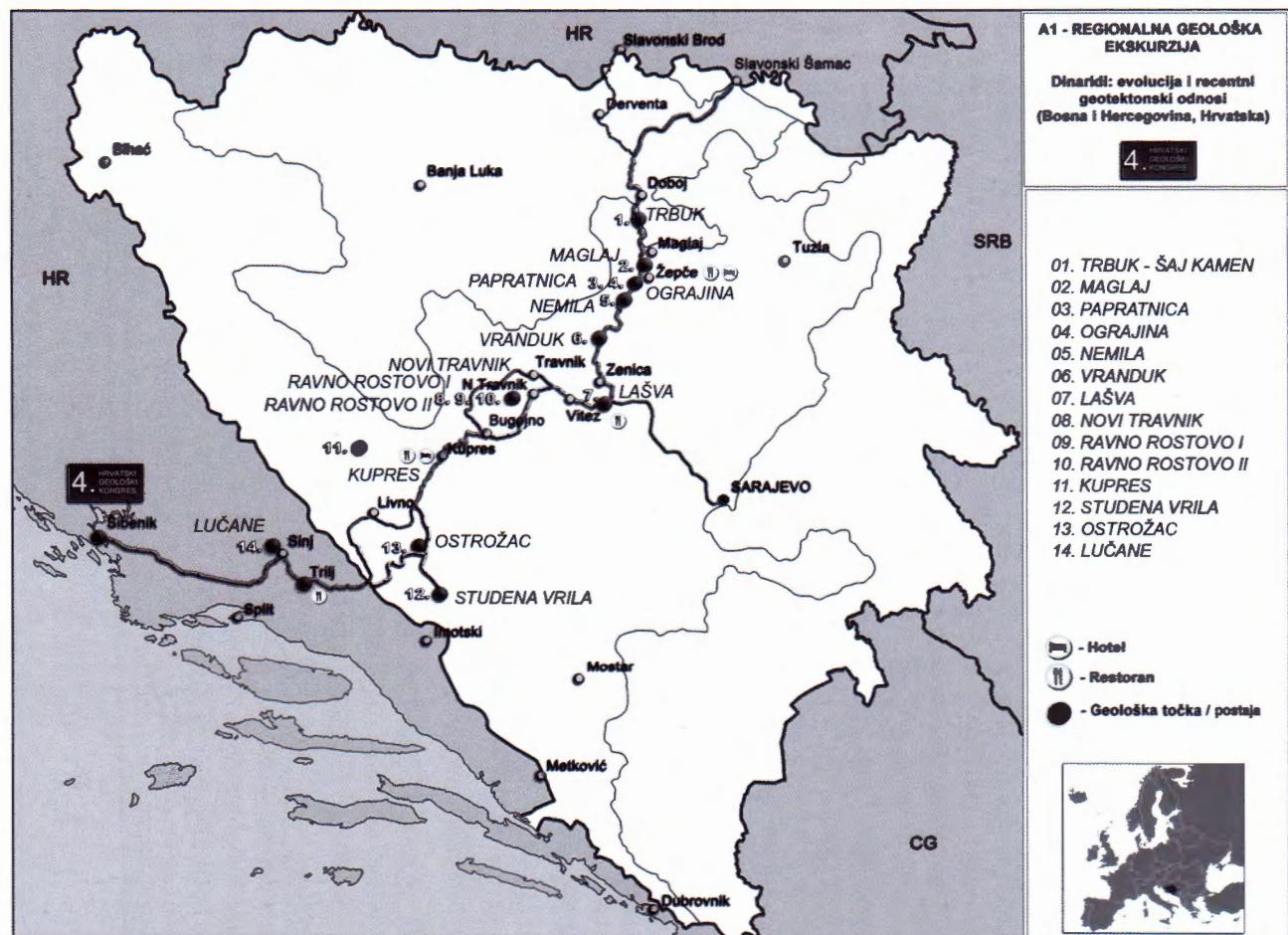
geoške karte SFRJ 1:100.000 i pripadajućim tumačima koji su publicirani u bivšoj državi. Nazivi listova i autori prikazani su u opisu svake točke i navedeni su u popisu literature. Regionalne geotektonске odnose i geodinamsku evoluciju Dinarida opisivali su brojni autori. Svakako treba izdvajiti: PETKOVIĆ (1958), AUOBUIK et al. (1970), DERCOURT (1972), DIMITRIJEVIĆ (1982), HERAK (1986) i PAMIĆ et al. (1998).

Moderne geotektonске interpretacije daju PAMIĆ et al. (1998). Oni središnje Dinaride smještaju između Apulije na jugozapadu i Tisije na sjeveroistoku. Razlikuju četiri velike tektonostratigradske jedinice:

1. Jadransko-Dinaridsku karbonatnu platformu (Vanjski Dinaridi),
2. Karbonatno-klastične formacije i fliševe pasivnog kontinentalnog ruba Dinarida Tethysa,
3. Ofiolite udružene s genetski povezanim sedimentnim formacijama, oceanski Tethys (Dinaridska ophiolitna zona), i
4. Sedimentne, magmatske i metamorfne stijene Tethyskog aktivnog kontinentalnog ruba (Sava-Vardar zona)

Jedinice 2., 3. i 4. poznate su i pod nazivom Unutrašnji Dinaridi ili Supradinarik (HERAK, 1986).

Kao samostalna, peta jedinica, između jedinica 2. i 3. smješteno je "Srednjebosansko škriljavog gorje" ili "Centralnobosanski paleozoik". Raznovrsne stijene ove jedinice konsolidirane su tijekom hercinske orogeneze, a odigrale su značajnu ulogu u strukturnom oblikovanju i rasporedu alpskih struktura (DRAGIČEVIĆ, 1987).



Slika 1. Lokacija točaka/postaja.
Figure 1. Locations of stops.

Na ovoj ekskurziji posjetit ćemo sljedeće točke/postaje:

- Postaja 1 (Trbuk-Šaj kamen), nalazi se u Sava-Vardar zoni.
- Postaja 2, 3, 4 i 5 (Maglaj, Papratnica, Ograjina i Nemila) nalaze se u Dinaridskoj ofiolitnoj zoni.
- Postaja 6 i 7 (Vranduk i Lašva) nalaze se u zoni karbonatno-klastične formacije i fliševa pasivnog kontinentalnog ruba Dinarida Tethysa.
- Postaja 8, 9 i 10 (Novi Travnik, Ravno Rostovo I i Ravno Rostovo II) nalaze se u "Srednjebosanskom škriljavom gorju".
- Postaja 11 (Kupres) nalazi se u zoni karbonatno-klastične formacije i fliševa pasivnog kontinentalnog ruba Dinarida Tethysa.
- Postaja 12, 13 i 14 (Studena Vrila, Ostrožac i Lučane) nalaze se u području mezozojske Jadranske karbonatne platforme.

LITERATURA

- AUBOUIN, J., BLANCHET, R., CADET, J.P., CELET, P., CHARVET, J., CHOROWICZ, J., COUSIN, J. & RAMPNOUX, J. (1970): Essai sur la géologie des Dinarides.– Bull. Soc. Geol. France, 12, 1060–1093.
- DERCOURT, J. (1972): The Canadian Cordillera, the Hellenides and the sea-floor spreading theory.– Can. J. Earth. Sci., 9, 709–743.
- DIMITRIJEVIĆ, M.D. (1982): Dinarides: an outline of the tectonics.– Earth Evol. Sci., 1, 4–23.
- DRAGIČEVIĆ, I. (1987): Paleogeografska evolucija rubnog dijela mezozojske karbonatne platforme Dinarida između Vrbasa i Bosne.– Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 90 str.
- HERAK, M. (1986): A new concept of the geotectonics of the Dinarides.– Acta Geologica, 16, 1–42, Zagreb.
- PAMIĆ, J., GUŠIĆ, J. & JELASKA, V. (1989): Geodynamic evolution of the Central Dinarides.– Tectonophysics, 297, 251–268, Amsterdam.
- PETKOVIĆ, K. (1958): Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinariden.– Jahrb. Geol. Bundesan., 101, 1–24, Wien.

Postaja 1 – Stop 1

Profil Trbuk – Šaj kamen

Cross-section Trbuk – Šaj Kamen

Sedimentne stijene od titona do eocena – Tithonian to Eocene sedimentary rocks

Ivan Dragičević & Hazim Hrvatović

Outcrops consist of the Tithonian and Lower Cretaceous clastic rocks, uppermost Cretaceous carbonates, and Paleocene and Eocene limestones. In the geotectonic point of view they belong to the “Sedimentary, magmatic and metamorphic rocks of the Tethys active continental margin zone” (the “Sava-Vardar zone”)

Uz put Dobojski Maglaj koji vodi desnom obalom rijeke Bosne, na potezu Trbuk – Šaj kamen, u području povremeno aktivnog kamenoloma, izdanjuju klastične stijene titona i donje krede, karbonatne stijene najmlađe krede i vapnenci paleocena i eocena.

Titon i donja kreda (J,K)

Prema podacima Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, list Zavidovići (SUNARIĆ-PAMIĆ et al., 1971) i tumača za istu kartu (PAMIĆ et al., 1973), titonu i donjoj kredi pripadaju debeli slijedovi krupnoklastičnih sedimenata koji izgrađuju južno krilo pakleničke sinklinale. U normalnom stratigrafskom slijedu sedimenti titona i donje krede leže transgresivno preko jurske vulkanogeno-sedimentne formacije. Brojni litološki članovi iz jurske vulkanogeno-sedimentne formacije su pretaloženi u krupnoklastične sedimente titona i donje krede.

U građi debelog sedimentnog slijeda pretežno klastiti krupnog zrna koji se često ritmički izmjenjuju s raznovrsnim sitnozrnastim klastitima. Najčešća je izmjena sitnozrnastih konglomerata i krupnozrnastih pješčenjaka. Granica među slojevima redovito je jasna i oštra. No, susreću se i krupnozrnasti konglomerati i sitnozrnasti pješčenjaci. Sortiranost opada s povećanjem veličine klasta.

Konglomerati i pješčenjaci imaju uglavnom isti petrografska sastav. Klasti su pretežito od kvarca i feldspata, muskovita, biotita, klorita, te fragmenata stijena od kojih su

najčešći vapnenci, dolomiti, željezoviti škriljavci, graniti... Pretež polimiktni konglomerati i pješčenjaci, ali se susreću i oligomiktni, gdje u sastavu prevladava jedna komponenta (npr. vapnenac). U konglomeratima prevladava karbonatno vezivo, dok se u sitnozrnastim pješčenjacima javlja i glinovito limonitično.

Polimiktni pješčenjaci titona-donje krede uvršteni su u pretežito kvarcno-feldspatske grauvake. Među teškim mineralima zastupljeni su cirkon, turmalin, sfen, rutil, brukit, epidot, amfibol, piroksen, klorit, granat, te obilje limonita i hematita. Interesantno je istaknuti da autori karte i tumača ističu da su pješčenjaci ove serije makroskopski i mikroskopski jako slični s pješčenjacima jurske vulkanogeno-sedimentne formacije. Ova činjenica mogla bi pripomoći u rješavanju stratigrafskih i drugih geoloških odnosa tijekom jure u ovom vrlo dinamičnom prostoru alpske orogeneze.

Unutar ove serije, uz opisane konglomerate i pješčenjake kao leće i proslojke nalazimo lapore i vapnence.

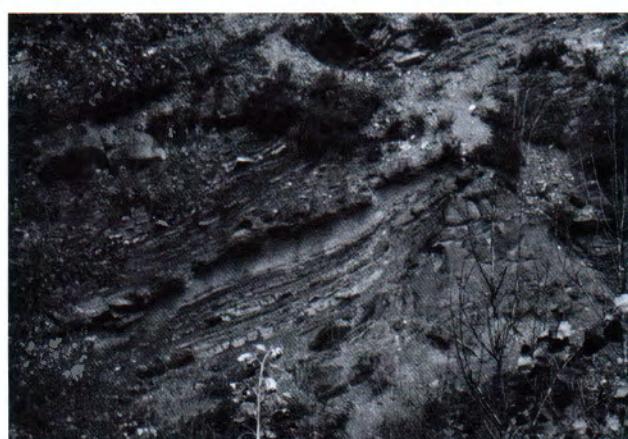
Od sedimentnih tekstura prisutne su: na donjim slojnim plohama otisci tragova tečenja, utiskivanja i erozije, unutar slojeva kosa slojevitost, valovita laminacija i gradacija, a na gornjim slojnim plohama nađeni su ostaci karboniziranog bilja.

Što se tiče stratigrafske pripadnosti ove serije malo je egzaktnih podataka. JOVANOVIĆ (1957) slične sedimente jugoistočno od razmatranog područja (između Olova i Kladnja), uvrštava u urgona, što bi bilo prihvatljivije obzirom na regionalne paleogeografske odnose.

O stratigrafskoj pripadnosti ovih taložina govori i podatak da je iz uložaka vapnenaca koji se nalaze od baze pa gotovo do vrha slijeda, iz starijih dijelova jednoznačno određena titonska starost (elipsaktinije, makroporele, baćinele, kalpionele i dr.). Nadalje, iz vapnenaca i glinovitih vapnenaca iz cijelog slijeda određeni su gornojurski i donjakredni fosili (tintinopsele, litostrobusi, kalpionele i dr.).

Iz naprijed iznesenog proizlazi da je ova serija taložena kroz titon i starije dijelove donje krede. No, u smislu razumijevanja paleoambijetalnih odnosa treba istaknuti problem izmjene vapnenaca i klastita.

Novija istraživanja naprijed opisanih klastita titon-donje kredne starosti, u lithostratigrafskom smislu tretiraju ih kao "Pogar formacija" (HRVATOVIĆ, 2006.). Ona leži diskor-



Slika 1. Klastiti "Pogar formacije".
Figure 1. Clastics of the "Pogar Formation".



Slika 2. Granica klastita "Pogar formacije" i vapnenaca gornje krede.

Figure 2. The boundary between the "Pogar Formation" and Upper Cretaceous limestones.

STRATIGRAFIJA Pristupačna duljina naslage (m)		LITOLOGIJA	OKOLIŠ	FOSILNI SADRŽAJ
80	K ₂ ²⁺³	Uslojeni vapnenci	Plitkomorski	<i>Orbitolina confusa</i> , <i>Cuneolina pavonia</i> , <i>Globotruncana arca</i>
50-60	K ₂	Pjeskoviti lapori, vapnenci, breče	Plitkomorski do brakični	
> 300	K ₁	Crvenkasti konglomerati, pješčenjaci i breče, Fe-Ni ooliti	Riječni	Pretaložena fauna u vapnencima respona titon-neokom
	K ₁	Trošni serpentinit	Kopneni	
	J ₅	Ofolitni kompleks	Rub oceana	

Slika 3. Geološki stup "Pogar formacije", Žepče-Zavidovići (HRVATOVIĆ, 2006).

Figure 3. Geological column of the "Pogar Formation", Žepče-Zavidovići (HRVATOVIĆ, 2006).

dantno preko ofiolitnog melanža. Sastavljena je od breča, konglomerata, krupnozrnastih pješčenjaka i pjeskovitih lapor. Klasti su uglavnom od ofiolita, amfibolita, grauvaka, šejlova, rožnaca i vapnenaca. Geneza formacije vezana je uz riječne tokove. U konglomeratima "Pogar formacije" prisutni su pretaloženi fosili iz titon-neokomskega vapnenaca. Na temelju određene faune iz konglomerata zaključuje se da je formacija nastala u razdoblju od kasnog barema do ranog cenomana. Preko nje transgresivno i diskordantno naliježu fosiliferni vapnenci gornje krede.

Gornja kreda (K₂² i K₂²⁺³)

U gornjoj kredi šireg razmatranog područja pretežu karbonatni sedimenti koji imaju znatno manje rasprostranjenje od jurskih i titon-donjokrednih taložina (PAMIĆ et

al., 1973). Najveće rasprostranje imaju u pakleničkoj sinklinali. Vjerojatno leže transgresivno preko klastične serije titon-donje krede što nije pouzdano dokazano (Sl. 2). Nai-me, bazalni klastiti nisu utvrđeni, a s druge strane, paleontološki se nije moglo dokazati prisutstvo postneokoma i cenomana.

U vapnencima gornje krede dokazana je turonska fosilna zajednica: orbitoline, kuneoline, numolokuline i fragmenti rudista. Također je utvrđena i bogata senonska zajednica mikrofosila: globotrunkane, siderolitesi, numolokuline i dr. Često puta kartografski se nije mogao odvojiti turon od senona, pa su najčešće i prikazani zajedno.

Litoloski sastav gornjokrednih naslaga je dosta ujednačen. Pretežu karbonatne stijene: tanko uslojeni vapnenci tipa mikrita i fosilifernih mikrita, uz brojnu zajednicu globotrunkana, s lećama i proslojcima rožnaca (Sl. 4 i 5), vapnenački konglomerati s glinovitim vezivom, te kalkareniti čija su zrna vezana sparitnim cementom, a nerijetko sadrže i terigene primjese gdje prevladavaju kvarc, plagioklasi, fragmenti dolomita, rožnaci, dijabazi, polimiktne pješčenjaci i serpentiniti.

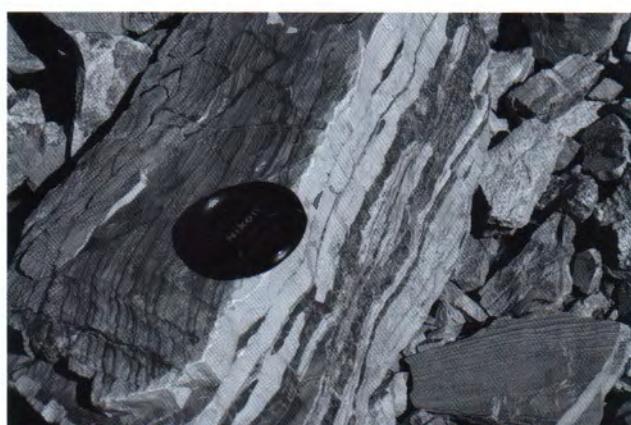
Tamo gdje je bilo moguće rasčlaniti gornjokredne naslage izdvojeni su:

- Vapnenci i vapnenački konglomerati (sjeverno od Žepča), koji sadrže naprijed opisanu fosilnu faunu, a u najmlađim slojevima masivnih debelo slojevitih vapnenaca dolazi bogata zajednica rudista turonske starosti.
- Globotrunkanski vapnenci, kalkareniti, rožnaci i rudisti vapnenci (sjeverno od Maglaja), gdje pretežu globotrunkanski dobro slojeviti vapnenci koji se izmjenjuju s kalkarenitima, rožnacima i rudistnim vapnencima.



Slika 4. Tanko-slojeviti vapnenci turon-senona.

Figure 4. Thin bedded Turonian-Senonian limestones.



Slika 5. Pločasti fosiliferni mikriti i rožnaci (scaglia) turon-senona.

Figure 5. Turonian-Senonian platy fossiliferous micrites and chert (Scaglia).

Paleogen (Pc,E)

U području pakleničke sinklinale u čijoj građi sudjeluju naprijed opisani sedimenti titon-donje krede i senona, u njezinoj jezgri, preko senonskih pretežito karbonatnih naslaga transgresivno leže masivni slabo uslojeni vapnenci paleocena i eocena. Bogati su fosilnim ostacima, pogotovo mikrofossilnim zajednicama koje su provodne za paleocen i eocen. To su ostaci litotamnija, diskociklina, globigerina i globorotalija u paleocenu, te numulita, diskociklina, asilina, aktinociklina, fabianija i dr. u eocenu.

Ovi vapnenci predstavljaju zadnje taložne sekvence karbonatne sedimentacije. Po petrografskom sastavu i fosilnom sadržaju mogu se usporediti s foraminferskim vapnencima poslijeplatformnog razvića na Jadranskoj karbo-

natnoj platformi, iako se nalaze daleko sjeverno od njezinog ruba.

Inače su ovi vapnenci zajedno s gornjokrednim vapnenicima regionalno rasprostranjeni u sjevernoj Bosni (Kozara,

STRATIGRAFIJA Podstava dolješnja raspona (m)		LITOLOGIJA	OKOLIŠ	FOSILNI SADRŽAJ
550-800	E _{2,3}	Kvarc, pješčenjaci, pjeskoviti lapor (flis)	Padinski	<i>Discocyclina</i> , <i>Operculina</i>
500	E ₂	Laporoviti vapnenci, pješčenjaci, tanki slojevi ugjena	Plitkomorski	<i>Nummulites</i> , <i>Goniastraea</i> , <i>Plocophylla</i> , <i>Lucina</i> , <i>Cerithium</i> , <i>Natica</i> , <i>Velates</i>
700-1500	Pc, E ₁	Trošni vapnenci, pješčenjaci, biokalcareniti i slojevi lapor (turbidit)	Dubokomorski	<i>Operculina</i> sp., <i>Discocyclina seunesi</i> , <i>Discocyclina scalaris</i> , <i>Distichoplax</i> sp.
150	Pc	Debeloslojeviti i masivni vapnenci (pričebeni vapnenci)	Plitkomorski	<i>Operculina</i> sp., <i>Nummulites</i> cf. <i>fraesi</i> , <i>Globigerina</i> sp., <i>Distichoplax</i>
50-200	K ₂ ³	Pločasti vapnenci s rožnjačkim nodulama, slampovi i breče, pješčenjaci	Plitkomorski do padinski	<i>Globotruncana tricarinata</i> , <i>Globotruncana stuarti</i> , <i>Globotruncana citae</i> , <i>Globotruncana arca</i>
			Kopneni	
	J	Ofiolitni melanž		

Slika 6. Geološki stup "Majevica greben" i "Sjeverna Majevica" (HRVATOVIĆ, 2006).

Figure 6. Geological column "Majevica Greben" and "North Majevica" (HRVATOVIĆ, 2006).

STRATIGRAFIJA		LITOLOGIJA	OKOLIŠ	FOSILNI SADRŽAJ
50	P1	Kvarni pijesci, gлина i ugrijen Laporovita gлина, kvarni pijesci i rijetko laporoviti vapnenci	Slatkovodni	
100	M ₂	Oolitični, pločasti vapnenci, laporovita gлина, lapor, konglomerati	Slatkovodni	
150	M ₃	Konglomerati, crvenkasti pješčenjaci, gлина s ugrijenom, lapor, laporoviti vapnenci	Slatkovodni	
200	M _{1,2}		Slatkovodni	
			Kopneni	
400	E ₃	Fliš: pješčenjaci, silt, lapor, konglomerati		
500	E ₂	Mariti, vapnenci	Plitkomorski	<i>Nummulites</i> , <i>Goniatostrea</i> , <i>Plocophyllia</i> , <i>Lucina</i> , <i>Cerithium</i> , <i>Natica</i> , <i>Velates</i>
800	E ₁	Trošni pješčenjaci, silt, uslojeni lapor (turbidit)	Dubokomorski	<i>Operculina</i> sp., <i>Discocyclina suensi</i> , <i>Discocyclina scalaris</i> , <i>Distichoplax</i>
300	Pc	Debeloslojeviti i masivni vapnenci (prigrebeni vapnenci)	Plitkomorski	<i>Operculina</i> sp., <i>Nummulites</i> cf. <i>frassii</i> , <i>Globigerina</i> sp., <i>Distichoplax</i>
250	K ₂	Pločasti vapnenci sa rožnjackim nodulama, stampovi i breče, pješčenjaci	Plitkomorski sa prelazom u padinski	<i>Globotruncana</i> (apparenti tricarinata), <i>Globotruncana stuarti</i> , <i>Globotruncana citae</i> , <i>Globotruncana arca</i>
	J	Ofiolitni melanž	Kopneni	

Slika 7. Geološki stup "Trebovac" (pojednostavljeno prema JELASKA, 1978).

Figure 7. Geological column "Trebovac" (simplified after JELASKA, 1978).

Motajica, Majevica, Trebovac, Vučijak). Za bolje razumijevanje litostratigrafskih odnosa na regionalnom planu prikazani su pojednostavljeni geološki stupovi iz Majevice (Sl. 6) i Trebovca (Sl. 7).

LITERATURA

- HRVATOVIĆ, H. (2006): Geological Guidebook through Bosnia and Herzegovina.– Geological Survey of Federation of Bosnia and Herzegovina, 172 p., Sarajevo.
- JELASKA, V. (1978): Senonsko-paleogenski fliš područja Trebovca (sjeverna Bosna): stratigrafija i sedimentologija.– Geol. vjesnik, 30, 95–118, Zagreb.
- JOVANOVIĆ, R. (1957): Pregled razvoja mezozoika i neki novi podaci za stratigrafiju NR BiH.– II kongres geologa u Sarajevu, Sarajevo.
- PAMIĆ, J., SUNARIĆ-PAMIĆ, O., KAPELER, I. & OLUJIĆ, J. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zavidovići L 34-121 (Geology of the Zavidovići sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1971), Sav. geol. zavod, Beograd, 55 str.
- SUNARIĆ-PAMIĆ, O., PAMIĆ, J., KAPELER, I., OLUJIĆ, J. & ZEC, F. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zavidovići L 34-121 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100.000, Zavidovići sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1966), Sav. geol. zavod, Beograd.

Postaja 2 – Stop 2

Maglaj

Vulkaniti kod Maglaja – Volcanics in Maglaj

Ivan Dragičević & Branimir Šegvić

The Maglaj area, located in northern Bosnia, is known to host the large-scale volcanic bodies (dm-km) of dacite and in a lesser amount of andesite. A typical dacite paragenesis comprises the idiomorphic phenocrysts of zoned plagioclase, biotite, sanidine, and occasionally hornblende within the holocrystalline rock's matrix. The Maglaj volcanic association renders the oldest igneous post orogenetic Tertiary formation in northern Dinarides. The coarse grained Eocene flysch of northern margin of the Adriatic carbonate platform bears an evidence of the role of the Maglaj volcanites in the final evolution stage of the Alpine orogenetic cycle.

U širem području Maglaja nalaze se hektometarska i kilometarska tijela vulkanskih stijena (Sl. 1) koja su u starijoj literaturi imenovana kao andeziti, daciti ili pak kao dacitoandeziti (SUNARIĆ-PAMIĆ et al., 1971; PAMIĆ et al., 1973).

Genetski su vezani s tufovima i tufitima. Imaju regionalno rasprostranjenje u širokom području od alpskih jedinica na sjeverozapadu, pa do uključivo Helenida na jugoistoku. Novija istraživanja njihovih petrogenetskih i geokemijskih osobitosti upućuju na postorogenetski vulkanizam. U nastavku se daje opis ovih stijena u području Maglaja, koji je u

potpunosti preuzet iz Vodiča ekskurzije, Pancardi 2000 (BALLEN & PAMIĆ, 2000).

U Savsko-vardarskoj zoni Dinarida post-orogenetske stijene različite tercijarne starosti nisu rijetkost, poglavito u jugoistočnom dijelu zone koji se naslanja na jug Panonskog bazena. U tom području, na temelju geološke konkordantnosti i radiometrijske odredbe apsolutne starosti razlikuju se pet tercijarnih vulkanskih formacija: 1) rano oligocenski latiti (36,15–31,56 Ma), 2) andeziti i daciti starosti eger-egenburg (25,9–22,8 Ma), 3) šošoniti karpatske starosti



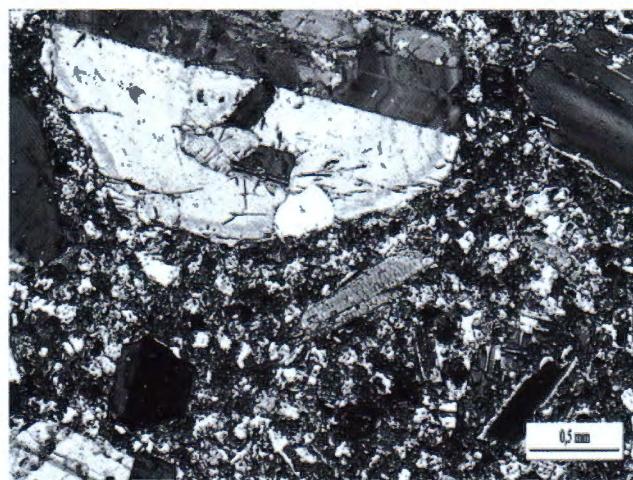
Slika 1. Izdanak dacita ispod Maglajske gradine.
Figure 1. Dacite outcrop under the Maglaj Fortress.

(16,8–15,4 Ma), 4) badenski bazlti, andeziti, daciti i rioliti (14,5–12,4), te 5) post-badenski bazlti i alkalijski bazlti (11,6–8,4 Ma) (KNEŽEVIĆ et al., 1991; PAMIĆ & PÉCSKAY, 1996; PAMIĆ, 1997).

U području Maglaja, vulkanske stijene tercijarne starosti izdanjuju zajedno s ofiolitima i genetski asociranim sedimentnim formacijama sjeverne marge Dinardske ofiolitne zone (DOZ). Postoji više manjih vulkanskih tijela koji zajedno pokrivaju prostor od nekoliko četvornih kilometara. Petrografske podatke (KIŠPATIĆ, 1904; TRUBELJA & PAMIĆ, 1956), kao i kemijski podatci o udjelu glavnih elemenata pokazuju da vulkanske stijene šireg maglajskog područja imaju vrlo slična teksturna, strukturna i geokemijska obiljež-

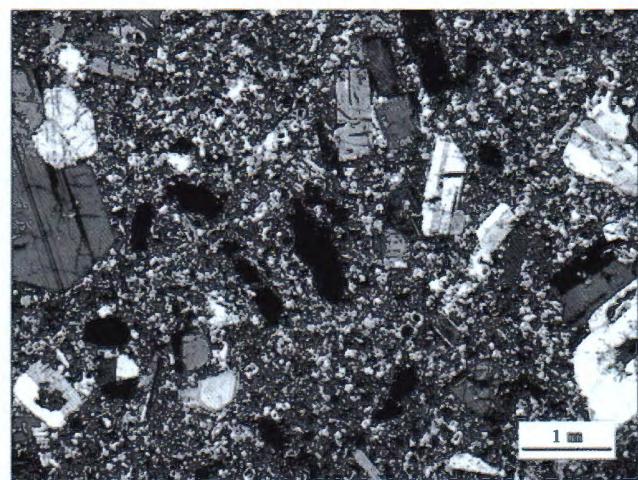
ja. Znakovita je porfirna struktura ovih stijena, s idiomorfno do subidiomorno razvijenim fenokristalima zoniranog plagioklasa (An_{46-50}), biotita, sanidina i katkad hornblende. Hornblenda, zajedno s kvarcom i akcesornim mineralima, kao što su opaki minerali, magnetit, rutil, cirkon i apatit, čini također i dio holokristaline stenske osnove.

Na Sl. 2 lijepo se vide krupni fenokristali zoniranog plagioklasa, kao i fenokristali biotita jasnog pleokroizma. Plagioklas često u sebi sadrži uključke drugih mineralnih faza (biotit, kvarc, Sl. 2, lijevo). Holokristalina devitrificirana osnova je u danom primjeru izgrađena od sitnog biotita i plagioklasa, uz prisustvo kvarca, muskovita, magnetita i sitnih fino agregiranih faza iz grupe epidota. Pažljivim



Slika 2. Mikrofotografije dacita uzorkovanog u blizini Maglajske gradine. Obje mikrofotografije su snimljene među ukrštenim nikolima. Obratiti pozornost na krupne fenokristale zoniranog plagioklase i biotita, te holokristalinu stensku osnovu.

Figure 2. Microphotographs of dacite, which is sampled in the vicinity of the Maglaj fortress. Both microphotographs are taken under crossed polars. Note the coarse zoned phenocrysts of plagioclase and biotite in the holocrystalline rock matrix.



opažanjem uočava se i sekundarni kalcit koji fugira mikropukotine matriksa.

Nadalje, BALEN & PAMIĆ (2000) navode: "Većina analiziranih uzoraka ovih vulkanita su definirani kao daciti, a rijede andeziti i trahiti. TAS dijagram (LE BAS et al., 1992) pokazuje da se većina analiziranih uzoraka projicira u graničnom pojasu koji dijeli polja trahidacita i trahiandezita od polja dacita i andezita. U SiO_2 vs. K_2O dijagramu (PECKERILLO & TAYLOR, 1976), većina analiziranih uzoraka se projicira u polje banakita i visoko K-dacita. Stoga, velika većina analiziranih vulkanita može biti asociранa šošonitnoj seriji stijena kako su to definirali JOPLIN (1968), MORRISON (1980) i MÜLLER (1992).

Izotopna odredba starosti temeljenja na metodi K-Ar, dala je rezultat od $30,10 \pm 1,54$ Ma, što unutar analitičke pogreške, implicira ranooligocensku starost (PAMIĆ et al., 2000). Nadalje, to vjerojatno upućuje na vrijeme kristalizacije šošonita i podređenih visoko K- do Ca-alkalijskih stijena.

Donjooligocenski vulkaniti šireg područja Maglaja, starosti 30,1 Ma, zajedno s uzorcima s područja Srebrenice (SI Bosna), K-Ar određene starosti od 30,4 do 28,5 Ma, predstavljaju najstariju postorogenetsku tercijarnu formaciju sjevernih Dinarida.

Korelirajući dobivene petrogenetske podatke ovih stijena s područja sjevernih Dinarida (Maglaj i Srebrenica), te njihovih ekvivalenta u istočnim i jugoistočnim Dinaridima i sjevernim Helenidima, dolazi se do zaključka da analizirani donjooligocenski šošoniti i podređene visoko K-Ca-alkalijске stijene predstavljaju volumetrijski najznačajnije članove postorogenetske vulkanske formacije Savsko-vardarske zone Dinarida i Helena.

Bez obzira na relativno visoki stupanj spoznaja o petrogenetskim i geokemijskim osobitostima ovih stijena ostaju brojna pitanja o njihovom značenju u okviru orogenetskih događanja alpskog orogenetskog ciklusa. Najvažnije je napomenuti da se prema apsolutnoj starosti ove stijene pribrajaju donjem oligocenu i najstarijoj postorogenetskoj vulkanskoj formaciji. Teško je prihvatići da je orogeneza Dinarida završila prije oligocena. U prilog ovakome razmatranju govore činjenice da su se u eocenu taložili fliševi sjevernog ruba Jadranske karbonatne platforme (DRAGIČEVIĆ, 1987) i sjeverne Bosne (JELASKA, 1978), koji su tipične sinogenetske formacije. Nadalje velike količine klastita krupnoga zrna oligocenske starosti (breče i konglomerati) unutar brojnih neogenskih bazena u Bosni, predstavljaju početak formiranja bazalnih molasnih formacija i ukazuju na reversne kompresijske odnose. Linearno pojavljivanje ovih stijena na dužinama od nekoliko tisuća kilometara zasigurno upućuje na njihovo geotektonsko značenje.

Samo na temelju ovih činjenica može se zaključiti da vrijeme eocen-oligocen predstavlja vrijeme paroksizma dinaridskog segmenta alpskog orogenetskog ciklusa. S time u

svezi treba promatrati naprijed opisane vulkanske stijene i dati im mjesto i ulogu unutar zamršenih subducijsko-količinskih procesa "sjevernih Dinarida".

LITERATURA

- BALEN, D. & PAMIĆ, J. (2000): The Oligocene Maglaj shoshonite and high-K calc alkaline volcanics.– U: PAMIĆ, J. & TOMLJENOVIC, B. (ur.): Fieldtrip Guidebook. Vjesti Hrvatskoga geološkog društva, 37/2, Special Issue, 68–69, PANCARDI 2000, Dubrovnik, Croatia, 1–3.10.2000, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. (1987): Paleogeografska evolucija rubnog dijela mezozojske karbonatne platforme Dinarida između Vrbasa i Bosne.– Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 90 str.
- JELASKA, V. (1978): Senonsko-paleogenski fliš područja Trebovca (sjeverna Bosna): stratigrafija i sedimentologija.– Geol. vjesnik, 30, 95–118, Zagreb.
- JOPLIN, G.A. (1968): The shoshonite association – a review.– J. Geol. Soc. Australia, 15, 275–294, Cambera.
- KIŠPATIĆ, (1904): Andesites and dacites from Rover Bosna Valley (in Croatian).– Rad Jugosl. akad. znan. umjetn., 159, 28–38, Zagreb.
- KNEŽEVIĆ, V., SZEKY-FUX, F., STEIGER, R., PÉCSKAY, Z., BORONIHIN, V. & KARAMATA, S. (1991): Petrology of Fruška Gora latites – volcanic precursors at the southern margin of the Pannonian Basin.– Geodyn. Evol. Panon. Basin, Serb. Acad. Sci. Arts, Acad. Conf., 62/4, 243–259, Beograd.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W. & WOOLEY, A.R. (1992): The consideration of the total alkali-silica classification of volcanic rocks.– Mineral. Petrol., 46, 1–22, Wien.
- MORRISON, G.W. (1980): Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association.– Lithos, 13, 97–108, Amsterdam.
- MÜLLER, D., ROCK, N.M.S. & GROVES, D.I. (1992): Geochemical discrimination between shoshonite and potassic igneous rocks in different tectonic settings: a pilot study.– Mineral., Petrol., 46, 259–289, Wien.
- PAMIĆ, J. (1997): The northwesternmost outcrops of Dinaridic ophiolites: a case study of Mt. Kalnik (North Croatia).– Acta Geol. Hun., 40, 37–56, Budapest.
- PAMIĆ, J., GUŠIĆ, J. & JELASKA, V. (1998): Geodynamic evolution of the Central Dinarides.– Tectonophysics, 297, 251–268, Amsterdam.
- PAMIĆ, J. & PÉCSKAY, Z. (1966): Geological and K-Ar ages of Tertiary volcanic formations from the southern part of the Pannonian Basin in Croatia – based on surface and subsurface data.– Nafta, 45, 331–339, Zagreb.
- PAMIĆ, J., SUNARIĆ-PAMIĆ, O., KAPELER, I. & OLUJIĆ, J. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zavidovići L34-121 (Geology of the Zavidovići sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1971), Sav. geol. zavod, Beograd, 55 str.
- PECKERILLO, A. & TAYLOR, S.R. (1976): Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, North Turkey.– Contrib. Mineral. Petrol., 58, 63–81, Stuttgart.
- SUNARIĆ-PAMIĆ, O., PAMIĆ, J., KAPELER, I., OLUJIĆ, J. & ZEC, F. (1971.): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zavidovići L34-121 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Zavidovići sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1966), Sav. geol. zavod, Beograd.
- TRUBELJA, F. & PAMIĆ, J. (1956): A new contribution to the knowledge of dacites from the Maglaj area (in Croatian, Summary in German).– Geol. glasnik, 2, 59–66, Sarajevo.

Postaja 3 – Stop 3

Profil Papratnica – Cross-section Papratnica

Ofolitni melanž – Ophiolitic mélange

Ivan Dragičević, Branimir Šegvić, Duje Kukoč¹, Alan Vranjković & Špela Goričan¹

¹Paleontološki inštitut Ivana Rakovca ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija

The Central Dinaridic Ophiolite Zone (CDOB) is in the literature also known as the Dinaride Ophiolite Zone (DOZ), Dinaride Ophiolite Belt (DOB) or formerly, as the Bosnian serpentine zone. The CDOB stretches from Zagreb and the Banovina region in Croatia, across all northern and central Bosnia to southern Serbia, with further prolongations to Albania and Greece. The CDOB rocks are associated with different sedimentary rock formations. Thus, they form an ophiolitic mélange known as the Jurassic magmatic sedimentary formation. Main components of the CDOB are individual ophiolite fragments, ranging from small ones to extensively large ones (up to several tens of km). Their principal lithological constituent is tectonic (or cumulate) lherzolite (spinel peridotite). Smaller blocks can also be composed of different varieties of gabbro, dolerite, diabase, spilite and metamorphic sole rocks. Apart from ultramafic and mafic as well as associated metamorphic rocks, the ophiolitic mélange is composed of a shaly to silty matrix, which embeds fragments of greywacke, radiolarite and exotic limestone. So far at this locality, the ophiolitic mélange, shales and greywackes in particular, did not reveal any characteristic index fossils. However, the newest paleontological research on radiolarians from breccias constrain their age to the time span from the Bajocian to the Callovian. This correlates with results of radiometric measurements on metamorphic sole rocks. The Papratnica cross-section offers a nice insight into the complex lithological and structural composition of the Dinaride Ophiolite Zone.

Uzduž toka rječice Papratnice (lijeve pritoke rijeke Bosne), te na potezu imredu sela Donja i Gorna Papratnica, nalazi se dobro otvoren profil kroz stijene jurske magmatsko-sedimentne formacije. Temeljni su geološki odnosi prikazani na Osnovnoj geološkoj karti SFRJ 1:100.000, list Teslić i u pri-padajućem tumaču (OLUJIĆ et al., 1980; PAMIĆ et al., 1981).

Prema citiranim autorima, jurska magmatsko-sedimentna formacija ("dijabaz-rožnjačka formacija") ima veliko rasprostranjenje u ovom dijelu Bosne. Ona predstavlja raznovrsni i debeli kompleks stijena u čiji sastav ulaze, pored raznovrsnih sedimenata i magmatske stijene od kojih su najznačajniji ultramafiti s kojima se udruženo javljaju i metamorfne stijene. Stratigrafska pripadnost nije joj detaljno definirana. Do sada se držalo da ova magmatsko-sedimentna formacija ne sadrži karakteristične indeks fosile koji bi potvrdili stratigrafsku pripadnost. Nadalje, superpozicijski odnosi prema podinskim i krovinskim stijenama su nejasni (najvjerojatnije rasjedni). Jedini jasni orientacijski podatak su nalazi olistolita vapnenaca srednjeg i gornjeg trijasa unutar formacije. Međutim, najnovija preliminarna paleontološka istraživanja na radiolarijama iz breča pokazuju da se rasponi većine izdvojenih vrsta (prema zonaciji BAUMGARTNER et al., 1995) međusobno poklapaju. Prema vrstama *Dictyomitrella* (?) *kamoensis* (MIZUTANI & KIDO), *Semihsum amabile* (AITA), *Stichomitira* (?) *takanensis* AITA gr. i *Williriedellum marcucciae* CORTESE određena je starost uzorka u rasponu od UA zone 4 do UA zone 7, odnosno od gornjeg bajocija do donjeg kalovija (Tab. 1). Ovako određena jurska starost ofiolitnog pojasa Dinarida se jako lijepo korelira s rezultatima radiometrijskih

mjerenja na stijenama metamorfne podloge (LANPHERE et al., 1979; LUGOVIĆ et al., 1991).

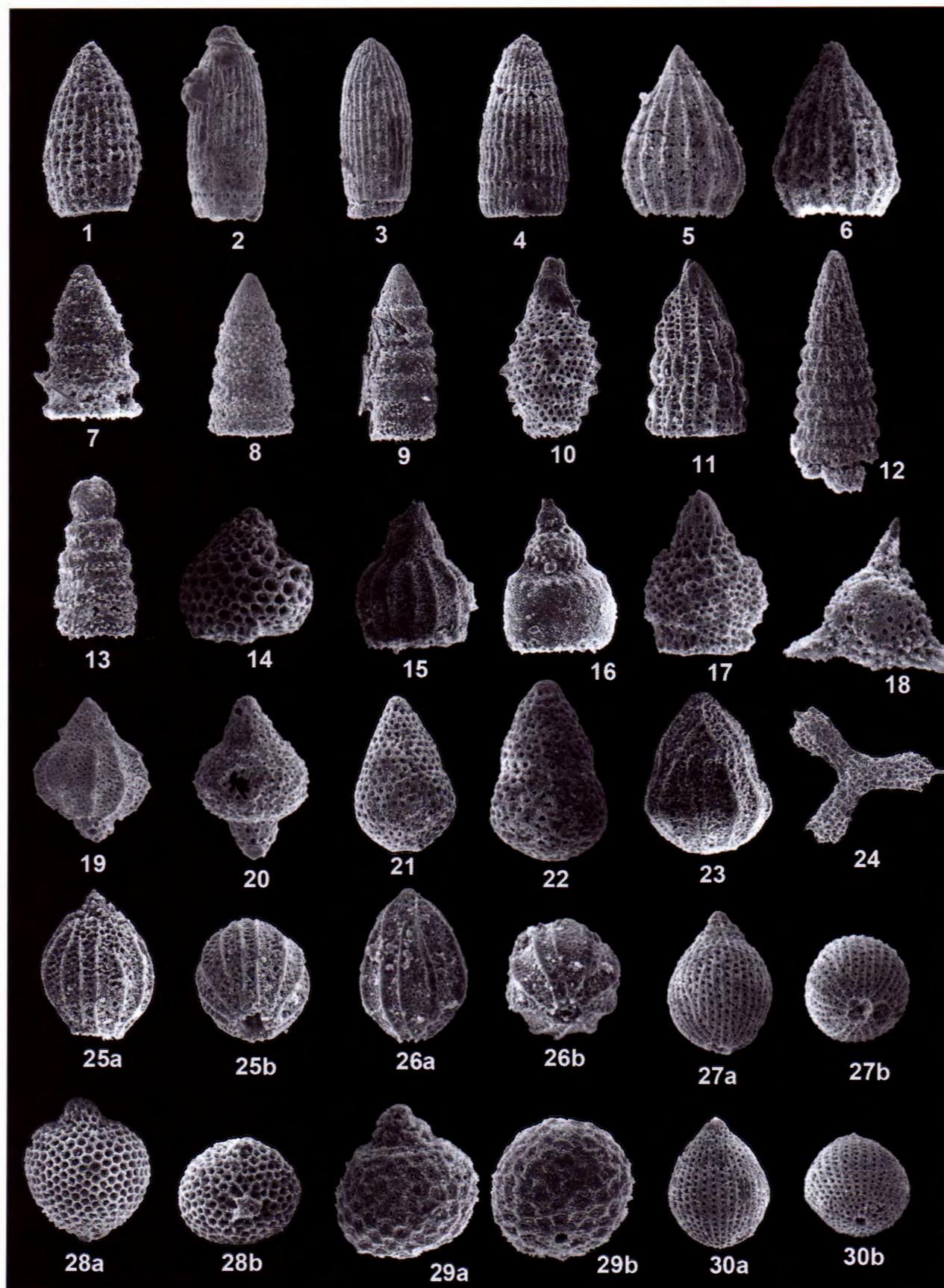
Od sedimentnih stijena najčešći su pješčenjaci i šejlovi, a podređeno dolaze breče, vapnenci i rožnaci. Pješčenjaci su najzastupljeniji. Polimiktnog su sastava. Pretežu sitnozrnasti varijeteti. Prevladavaju zrnca kvarca, feldspati, muskovit i komadići stijena od kojih su najčešći rožnaci, kvarciteti, škriljavci i rijed vulkaniti. Matriks je najčešće silicijsko-sericitski, rijed limonitni i karbonatni. Prema sastavu pješčenjaci pripadaju grauvakama i subgrauvakama. U teškoj frakciji dolaze metalični minerali, često epidot, zatim turmalin, cirkon, rutil i rijetko granat. Šejlovi su tamnosivi do crni s obiljem manganskih mineralizacija po plohamu škriljavosti i klivaža. U njihov sastav ulaze sericit, klorit, kvarc i glinoviti minerali. Breče se rijetko javljaju kao član jurske magmatsko-sedimentne formacije. To su krupnozrnaste breče u čijem sastavu dominiraju fragmenti spilita i dijabaza a podređeno dolaze fragmenti sedimentnih stijena među kojima su najčešći šejlovi, grauvakni pješčenjaci i rožnaci. Rožnaci i vapnenci su podređeni sedimentni članovi ove formacije. Češće ih nalazimo u krovini spilitskih masa u obliku decimetarsko-metarskih paketa. Kvarc sericitski škriljavci i filiti nalaze se također unutar jurske magmatsko-sedimentne formacije i to kao uske zone unutar grauvaka i šejlova. Najvjerojatnije su nastali metamorfozom grauvaknih pješčenjaka i šejlova.

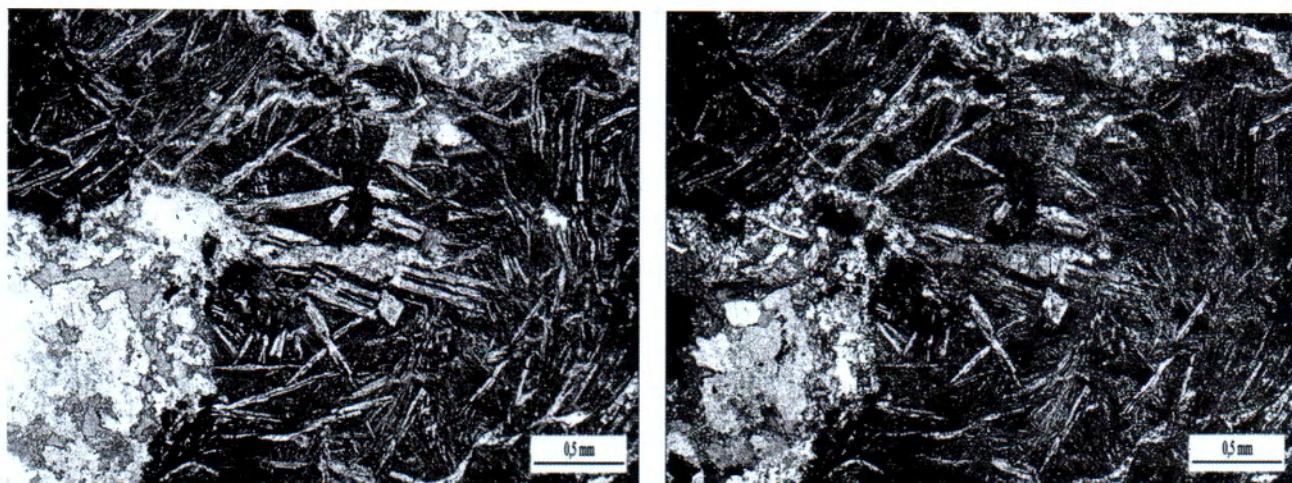
Magmatske i metamorfne stijene u jurskoj magmatsko-sedimentnoj formaciji imaju značajno rasprostranjenje u obliku velikih masa. Jasno se razlikuju dva kompleksa:

- Spilit-dijabaz-dolerit-gabro-granitska asocijacija i
- Peridotitsko-amfibolitska asocijacija.

Tabla I. Zajednica srednjojurskih radiolarija iz uzorka breče s postaje 3. Za svaku od mikrofotografija navedeno je povećanje, te stratigrafski raspon determinirane vrste prema zonaciji BAUMGARTNER et al. (1995).

Plate I. Middle Jurassic radiolaria form breccia sampled along the Papratnica Cross-section. For each microphotography the magnification and stratigraphic range of the determined species are indicated according to the zonation of BAUMGARTNER et al. (1995).





Slika 1. Mikrofotografije jastučastih bazalta koji su vezani na spilitno-dijabaznu asocijацију стijena s lokaliteta Papratnica. Ljeva mikrofotografija je snimljena s paralelnim nikolima, dok je desna snimljena s ukrštenim nikolima. Obratiti pozornost na hipohijalinu osnovu izgrađenu od isprepletenih štapića plagioklase, odnosno albite, među kojima se nalazi alterirani kriptokristalasti klinopiroksen. U donjem lijevom kutu je šupljina naknadno ispunjena kalcitom.

Figure 1. Microphotography of pillow basalts which are related to spilite-diabase association from the locality Papratnica. Left microphotography was taken under parallel Nicole conditions, while the right one was taken under crossed Nicole conditions. Note the hypohial base composed of braided sticks of plagioclase, i.e. albite, where altered cryptocrystalline clinopyroxene is inbetween.

Spilit-dijabaz-dolerit-gabro-granitska asocijacija javlja se u obliku manjih tijela uglavnom uz veća peridotitska tijela. Unutar ove magmatske asocijacije izdvojeni su slijedeći članovi:

Spili su dosta česte stijene, a javljaju se u tijelima od metarskih do kilometarskih dimenzija. To su izljevi koji su najčešće konkordantno uloženi u grauvake i šejlove. Rezultat su submarinske vulkanske aktivnosti što potvrđuju česti nalazi jastučastih (pillow) oblika i slojeva tufova koji se izmjenjuju sa sedimentima. Petrografska sastav je uniforman. Glavni sastojci su albit i augit, a još dolaze klorit, amfibol (uralit i zelena hornblenda), epidot i kalcit. Kemijski im je sastav također ujednačen. U strukturnom pogledu najčešće su ofitski i porfirsko-ofitski. Redovito sadrže brojne mandule u kojima su dominantni sastojci kalcit, klorit i kvarc. Podređeno se uz spilitna tijela javljaju i keratofiri. U slici 1 prikazane su mikrofotografije jastučastih bazalta, nađenih u kontaktu s grauvakama i radiolaritima. Uzorci ovih efuziva karakterizirani su dominacijom plagioklasa i kriptokristalastog klinopiroksena. Obje faze su snažno alterirane, gotovo do neprepoznatljivosti, a rezultiraju albitem i aglomeriranim zajednicama sekundarnog amfibola, klorita i magnetita. Kao što je vidljivo iz lijevog donjeg segmenta mikrofotografija šupljine su u potpunosti ispunjene kalcitom. Opisana mine-

ralna zajednica definira hipohijalinu osnovu izgrađenu od međusobno isprepletenih štapića plagioklase, odnosno albite, između koje se nalazi alterirani klinopiroksen. Djelomično ova struktura prelazi u intergranularnu.

Dijabazi makroskopski jako sliče spilitima, ali ih se razlikuje po odsustvu jastučastih lava i mandulastih tekstura. Javljuju se kao zasebna tijela u grauvakama i šejlovima, no mnogo su češći unutar većih dijabaz-dolerit-gabrodnih tijela unutar kojih predstavljaju najsitnoznatije diferencijate. Kada grade samostalna tijela javljaju se u obliku silova. Dijabazi predstavljaju hipabisalne diferencijate i najvjerojatnije stoje u intruzivnom kontaktu prema grauvakama i šejlovima. Struktura dijabaza je uglavnom ofitska, ponekad i porfirsko-ofitska. Tekstura je masivna, homogena. Bitni mineralni sastojci su plagioklas (labrador) i augit, a podređeno dolaze amfibol, klorit, epidot i kalcit. Od akcesornih minerala najčešći su titanski minerali, naročito ilmenit.

Doleriti se javljaju kao i dijabazi, ali predstavljaju stijene koje su kristalizirale dublje i sporije od dijabaza. Po mineralnom sastavu su identični dijabazima. Imaju ofitsku strukturu i masivnu homogenu teksturu. Zrna se lako makroskopski prepoznaju. Kemijski im je sastav također identičan dijabazima.



- 1–4 *Archaeodictyomitria* sp., 200x; 5–6 *Semihuum amabile* (AITA), 300X, UAZ 4–7; 7 *Dictyomitrella* (?) *kamoensis* (MIZUTANI & KIDO), 250x, UAZ 3–7; 8–9 *Canoptum krahsteinense* (SUZUKI & GAWLICK), 200x; 10 *Eoxitus dhimenaensis* (BAUMGARTNER), 200x, UAZ 3–8; 11 *Transhuum maxwelli* (PESAGNO) gr., 200x, UAZ 3–10; 12 *Transhuum brevicostatum* (OŽVOLDOVA) gr., 150x, UAZ 3–11; 13 *Stichomitra* (?) *takanoensis* AITA gr., 200x, UA zone 3–7; 14 *Stichocapsa* (?) *magnipora* CHIARI, MARCUCCI & PRELA, 200x; 15 *Eucyrtidiellum* cf. *semifactum* NAGAI & MIZUTANI, 300x, UAZ 5–7; 16 *Eucyrtidiellum unumaense dentatum* BAUMGARTNER, 300x, UAZ 6–7; 17 *Quarticella* sp., 250x; 18 *Triactoma* (?) sp., 250x; 19 *Unuma latusicostatus* (AITA), 200x, UAZ 2–5; 20 *Japonocapsa* (?) sp., 200x; 21–22 *Praewillriedellum* sp., 300x; 23 *Protunuma lanosus* OŽVOLDOVA, 300x; 24 *Paronaella broennimanni* PESSAGNO, 100x, UAZ 4–10; 25a–b *Unuma* sp., 200x, 25b – antapikalni pogled; 26a–b *Unuma gordus* HULL, 200x, 26b – antapikalni pogled; 27a–b *Striatojaponocapsa synconexa* O'DOGHERTY, GORIĆAN & DUMITRICA, 200x, 27b – antapikalni pogled; 28a–b *Williriedellum marcucciae* CORTESE, 250x, UAZ 4–8, 28b – antapikalni pogled; 29a–b *Williriedellum yaoi* (KOZUR), 300x, 29b – antapikalni pogled; 30a–b *Helvetocapsa matsuokai* (SASHIDA), 200x, 30b – antapikalni pogled

Ofitski gabri dolaze kao diferencijati unutar većih dijaba-doleritnih tijela. To su još dublji diferencijati s još sprijim kristalizacijskim procesima u odnosu na dolerite. Mineralni i kemijski sastav im je isti kao i dolerita i dijabaza. U mineralnom sastavu je karakterističan amfibol koji ove stijene odvaja od tipskih gabra. Struktura je ofitska krupnoprznasta, te se makroskopski lako razlikuju od dolerita.

Dijabaz-dolerit-amfibolitske stijene predstavljaju prijelaz između amfibolita i dijabaz dolerita. Nemaju veće rasprostranjenje. To su ustvari amfibolitski škriljavci s reliktima ofitske strukture.

Granitsko-sijenitske stijene vrlo rijetko se javljaju u obliku manjih tijela hektometarskih dimenzija ili manjih. U mineralni sastav ulaze albit, kvarc, muskovit, amfibol, klorit i akcesorni minerali. To su zapravo leukokratski albitski graniti uz koje rijetko nalazimo manje pojave albitskih sijenita.

Gabri, odnosno tipski gabri javljaju se kao samostalna tijela čije površine dosiju nekoliko kvadratnih kilometara. Nigdje nije utvrđen intruzivni karakter gabra prema okolnim sedimentima (grauvake i šejlovi). Blisko su povezani s većim peridotitnim tijelima i s njima su u intruzivnom kontaktu što se manifestira pojmom gabro dajkova u peridotitima. Mineralni sastav gabra je slijedeći: plagioklas (bitovnit), olivin, diopsid-dialag i rijetko smeđa hornblend. Najčešći su olivinski gabri i troktoliti. Struktura je hipidiomorfno zrnasta "gabroidna". Zrna su velika i makroskopski prepoznatljiva. Tekstura je masivna homogena, ponekad pseudoslojevitna. Kemijski im je sastav karakterističan za tipske gabre.

Peridotitsko-amfibolitska asocijacija. Peridotiti i amfiboliti pripadaju jedinstvenoj geološkoj cjelini. Obje grupe ovih stijena imaju tipske metamorfne sklopove. Na nepomećenim profilima je zapaženo konkordantno "proslojavanje" peridotita i amfibolita.

Peridotiti su najrasprostranjenije magmatske stijene u jurskoj magmatsko-sedimentnoj formaciji. Javljuju se u nekoliko većih peridotitskih masiva (Krivaja-Konjuški oko 650 km², Borjanski oko 100 km², Javorovski oko 100 km², Žepačko-Šeherski oko 30 km²), ali i kao manja ultramafitska tijela. Kontakti s okolnim jurskim sedimentima su rasjedni, ali su na sjevernom obodu borjanskog ultramafitnog masiva utvrđene sasvim sigurne metamorfne pojave gdje su grauvake i šejlovi promijenjeni u kvarc-sericitske škriljavce, filite i andalužitske škriljavce. Prisustvo andalužita ukazuje na PT uvjete od oko 400–500°C i tlak od 0,4 GPa. Promjene su izazvane kontaktom s ultramafitnim tijelom čija je temperatura bila oko 600–700°C. Pri ovim temperaturama ultramafitno tijelo moralo je biti u čvrstom stanju. Ovi kontakti odnosno metamorfne pojave nisu regionalno razvijeni. Prema mineralnom sastavu i strukturno teksturnim osobitošćima u grupi peridotita mogu se izdvojiti slijedeće stijene: lercoliti, pseudostratificirani lercoliti, enstatit duniti, serpentiniti i listveniti.

Lercoliti su daleko najčešće ultramafitne stijene i izgrađuju glavninu spomenutih ultramafitnih masiva (i do 90%). U mineralni sastav lercolita ulaze olivin, enstatit i diopsid kao glavni minerali. Od sekundarnih minerala treba izdvojiti serpentin, talk, uralit, klorit, kalcit, opal, magnetit i limonit.

Izdvaja se serpentin jer su svi lercoliti malo do umjerenog serpentinizirani. U lercolitima su razvijene paralelne teksture odnosno folijacija. Struktura lercolita varira od homogene do porfiroblastične i granoblastične. Bitni minerali su često deformirani (olivin potamnjuje undulozno, lamele enstatita su mikroborane i mikrorasjedane itd.). Sve to ukazuje da se radi o tipskim tektonitima. Po kemijskom sastavu to su tipski alpinotipni lercoliti za koje je naročito karakterističan visok odnos MgO:FeO (više od 5).

Pseudostratificirani lercoliti imaju znatno manje rasprostranjenje od naprijed opisanih peridotita. Javljuju se unutar većih ultramafitnih masa u obliku uskih zona metarskih do dekametarskih dimenzija. Po mineralnom i kemijskom sastavu bitno se ne razlikuju od tipskih lercolita. Jasno se od njih razlikuju po paralelnim trakastim teksturama. Izmjenjuju se milimetarsko-centimetarske trake s različitim modalnim odnosima olivina, enstatita i diopsida. Najčešće su trake websterita, dunita, enstatit dunita, olivin websterita i lercolita. Nekada se u trakama websterita nađe na edenit-pargazitski amfibol. Uz trakaste varijetete zapažene su i pojave kromita.

Enstatit duniti dolaze podređeno. U njihovom mineralnom sastavu preteže olivin (oko 90%). Ostatak stijene izgrađuju enstatit, rjeđe diopsid. Tekstura im je homogena masivna. Struktura je sitnozrnasta, te se makroskopski lako odvajaju od lercolita. Kemijski sastav olivina i enstatita u enstatit dunitima isti je kao i u lercolitima. Olivin je u pravilu serpentiniziran, a piroksen kloritiziran.

Serpentiniti predstavljaju one ultramafitne stijene u kojima je manje od 10% sačuvanih primarnih fenskih sastojaka, dok ostatak otpada na serpentin i ostale sekundarne minerale. Serpentinite uglavnom susrećemo na obodnim dijelovima većih ultramafitnih tijela, kao i uzduž većih rasjednih zona u njima, te kao manja tijela u jurskim grauvakama i šejlovima. Glavni mineral serpentinita je serpentin uz kojeg još dolaze željezoviti magnezit, klorit, talk, uralit, kvarc-odnosno kalcedon, te magnetit i limonit. Ovisno koji je mineral uz serpentin najzastupljeniji razlikuje se više varijeteta serpentinita. U serpentinitima obično dolazi i magnetizirani spinel kao akcesorni sastojak. Po sačuvanim reliktnim mineralima kao i strukturama može se ustvrditi iz kojih su stijena serpentiniti nastali. Utvrđeno je da su najčešće nastali iz lercolita, enstatit dunita i dunita.

Listveniti, odnosno kvarc-karbonatne stijene nastale su karbonatizacijom i silifikacijom serpentinita. Veća masa listvenita javlja se na sjevernom obodu žepačko-šeherškog ultramafitnog masiva. To su sitnozrnaste stijene u čijem sastavu dominira željezoviti magnezit, a kvarc dolazi podređeno. Rjeđe se javljaju klorit i talk, a ponekad i relikti serpentinita. Limonitizacija daje žućkastu boju. Ponekad se u njima javljaju centimetarsko-metarske žile oniksa.

Amfiboliti se javljaju kao uže zone oko većih ultramafitnih tijela. Oni obuhvaćaju veliku grupu stijena koje pokazuju znatne razlike u strukturno-teksturnom pogledu i mineralnom sastavu. Strukture amfibolita su najčešće granoblastične, ponekad lepidoblastične, te rijetko porfiroblastične. Tekstura im je često masivna (ovakove varijetete nazi-

vamo amfibolitima) i škriljava (amfibolski škriljavci). Mineralni sastav amfibolita vrlo je kompleksan. Najčešće su zastupljeni amfibol, plagioklas, diopsid, granat, epidot, odnosno klinocoisit, klorit, kvarc i kalcit, a sporedno se javljaju metalični minerali gdje su najčešći sfen, apatit, rutil i cirkon. Glavna dva minerala su plagioklas i amfibol koji pokazuju velike promjene u sastavu. Plagioklas koleba u kemijskom sastavu od albita do bitovnita, nekad čak i do anortita. Od amfibola su utvrđeni tremolit-aktinolit, smeđa i zelena hornblenda, mikroskopski bezbojna edenit-pargazitska, kao i tschermakitna hornblenda. Vidljivo je da amfiboliti predstavljaju vrlo zamršenu grupu stijena koja je nastajala u relativno velikom rasponu PT uvjeta. Prema karakterističnim mineralima i teksturnim osobitostima ova grupa stijena podijeljena je prema metamorfnim facijesima: zeleni škriljavci, amfibolitski škriljavci (epidotamfibolitski facijes), amfibolitski škriljavci (amfibolitski facijes), amfibolitski škriljavci (granulitski facijes), gnajsevi (granulitni facijes) i korund-pargazitski škriljavci.

Zonalni raspored i male debljine škriljavaca ukazuju na metamorfizam koji je uvjetovan kontaktom oceanske kore i velikih ultramafitnih tijela. Mineralne parageneze na kontaktu i u središnjim dijelovima metamorfnog niza ukazuju



Slika 2. Klivažirani šejlovi.
Figure 2. Cleavage shale.



Slika 3. Spiliti s jastučastim lavama i kuglastim lučenjem.
Figure 3. Spilite with pillow lava and featured by spherical jointing.



Slika 4. Spiliti s jastučastim lavama i kuglastim lučenjem.
Figure 4. Spilite with pillow lavas and featured by spherical jointing.

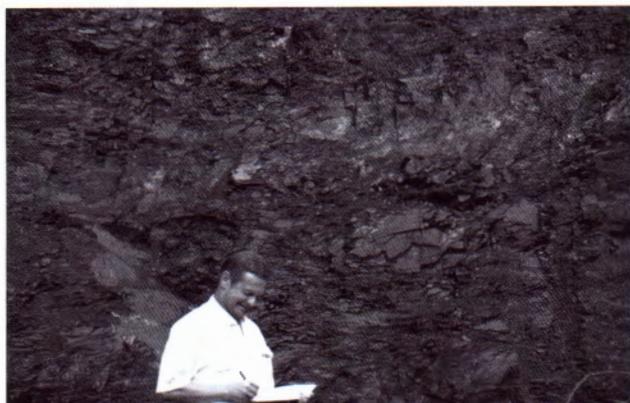


Slika 5. Spiliti s jastučastim lavama i kuglastim lučenjem.
Figure 5. Spilite with pillow lavas and featured by spherical jointing.

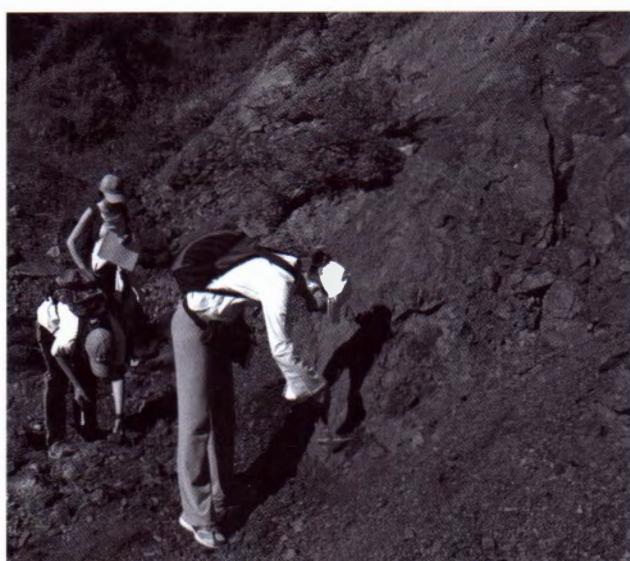


Slika 6. Lercoliti (tektonski kontakt lercolita i radiolarita).
Figure 6. Lherzolite (tectonic contact between lherzolite and radiolarite).

na temperature od 800–900 °C i tlakove od 0,6–1,0 GPa, što upućuje na formiranje metamorfnih parageneza vezanih za intraoceanske subdukcionsko-navlačne procese. Nastanak tako definiranih metamorfnih stijena dogodio se prije utiskivanja ultramafitske mase u jurske grauvake i šejlove.



Slika 7. Rožnaci i mikriti.
Figure 7. Chert and micrite.



Slika 8. Klivažirani šejlovi s manganskim mineralizacijama.
Figure 8. Cleavage shale with manganese mineralisation.

Na našem profilu promatrat ćemo slijedeće članove jurske magmatsko-sedimentne formacije:

- Klivažirane šejlove (Sl. 2),
- Spilite s jastučastim lavama i kuglastim lučenjem (Sl. 3, 4 i 5),
- Lercolite (tektonski kontakt lercolita i radiolarita) (Sl. 6),
- Rožnace i mikrite (Sl. 7), i
- Klivažirane šejlove s manganskim mineralizacijama (Sl. 8).

LITERATURA

- BAUMGARTNER, P.O., BARTOLINI, A., CARTER, E.S., CONTI, M., CORTESE, G., DANELIAN, T., DE WEVER, P., DUMITRICA, P., DUMITRICA-JUD, R., GORIČAN, Š., GUEX, J., HULL, D.M., KITO, N., MARCUCCI, M., MATSUOKA, A., MURCHEY, B., O'DOGHERTY, L., SAVARY, J., VISHNEVSKAYA, V., WIDZ, D. & YAO, A. (1995): Middle Jurassic to Early Cretaceous radiolarian biochronology of Tethys based on Unitary Associations.– In: BAUMGARTNER, P.O., O'DOGHERTY, L., GORIČAN, Š., URQUHART, E., PILLEVUIT, A. & DE WEVER, P. (eds.): Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: Occurrences, Systematics, Biochronology. Mémoires de Géologie (Lausanne), 23, 1013–1038.
- LANPHERE, M., COLEMAN, R.C., KARAMATA, S. & PAMIĆ, J. (1975): Age of amphibolites associated with alpine peridotites in the Central Dinaric Ophiolite Belt, Yugoslavia.– Earth Planet. Sci. Lett., 26, 271–276.
- LUGOVIĆ, B., ALTHERR, R., RACZEK, I., HOFMANN, A.W. & MAJER, V. (1991): Geochemistry of peridotites and mafic igneous rocks from the Central Dinaridic Belt, Yugoslavia.– Contrib. Mineral. Petrol., 106, 201–216.
- OLUJIĆ, J., SUNARIĆ-PAMIĆ, O. & PAMIĆ, J. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Teslić L33-132 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Teslić sheet).– Preduzeće “Geoinženjering”, Institut za geologiju Sarajevo (1979), Sav. geol. zavod, Beograd.
- PAMIĆ, J., SUNARIĆ-PAMIĆ, O. & OLUJIĆ, J. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Teslić L33-132 (Geology of the Teslić sheet).– “Geoinženjering”, Institut za geologiju Sarajevo (1974), Sav. geol. zavod, Beograd, 65 str.

Postaja 4 – Stop 4 Profil Ograjina – Cross-section Ograjina

Ultramafiti – Ultramafites

Ivan Dragičević & Branimir Šegvić

The Ograjina cross-section encompasses blocks of fertile ultramafic rocks (lherzolite,) veins of pyroxenite (spinel-olivine websterite) as well as rocks defined as metamorphic sole (amphibolite and granulite.) Lherzolite is fresh, highly affected by tectonic processes, but still found in form of large intact blocks of decametre dimensions. It is featured by a porphyroblastic texture where the coarse crystals of orthopyroxene dominates. The rock matrix is composed of olivine, ortho and clinopyroxene. As accessory phase, one may encounter spinel of picotite composition. Serpentinitisation processes are minimal. Petrology and geochemistry of analysed lherzolite define them as fertile mantle rocks reported to be typical for the Central Dinaride Ophiolitic Belt (CDOB). Pyroxenite possesses a granular texture and a massive homogenous structure. Their

contact with peridotite is diffuse and not entirely clear. Petrogenesis of pyroxenite is bound to the melt crystallisation located under the ocean ridge system, where significant cooling of conductive melt occurs. Textures of the metamorphic rocks, amphibolite and granulite, are either crystalloblastic or porphyroblastic, whereas the structure is homogenous. Their genesis is explained by the initial intraoceanic thrusting, resulting in an intimate contact of basaltic oceanic thrust and hot peridotite of hanging wall.

Uzduž toka rječice Ograjine (lijeve pritoke rijeke Bosne) nalazi se izvrsno otvoren profil kroz stijene jurske magmat-sko-sedimentne formacije. Ovim su profilom zahvaćeni: lercoliti, trakasti lercoliti, granuliti i amfiboliti. Njihov generalni opis prikazan je na postaji 3. U nastavku se daje detaljniji prikaz ovih stijena koje su istraživane za potrebe kamenoloma "Ograjina", te u okviru izrade doktorske disertacije B. Šegvića (ŠEGVIĆ, 2010).

Ležište tehničko-građevnog kamena "Ograjina" nalazi se u tektoniziranim lercolitima jurske starosti. To je masivna, homogena, intruzivna ultrabazična stijena. Boja joj je na svježem prijelomu maslinastozelena do mrka. Makroskopski, stijena u svježem stanju je homogene građe, jednolikog izgleda i postojane boje. Poroznost je neprimjetna ili jedva vidljiva pod povećalom. Lom kamena je ravan, rijetko plitko školjkast. Površina prijeloma je blago hrapava. Stijenska je masa kilometarskih dimenzija i redovito je tektonizirana. Brojni rasjedi i pripadajući pukotinski sustavi narušili su primarni homogenitet. Na prvi pogled vide se brojne plohe klizanja (paraklaze različitih dimenzija i orijentacije). Na to upućuju i česte strije raznovrsnih orijentacija. Uz ovakove mnogobrojne plohe redovito se primjećuju postdijagenetski procesi kloritizacije i serpentinizacije. Uz bliske rasjedne plohe javljaju se rasjedne zone cm do m dimenzija uz koje je redovito ostvarena milonitizacija. Između rasjednih ploha zaostali su "blokovi" relativno svježeg lercolita decimetarskih, metarskih, a vjerojatno i dekametarskih dimenzija. U tektonski neoštećenim blokovima u zonama svježih lercolita zapažen je litaž (pseudoslojevitost u magmatskim stijenama). Njegova je gustoća dm-m dimenzija.

Istraživane i opisane ultrabazične stijene izvorno potječu iz zemljinog plašta, odnosno dubljih segmenata litosfere. Lercoliti (peridotiti) su pri tome plaštne stijene metamorfog ili tektonitnog sklopa dok su s njima asocirani pirokseniti (spinelско-olivinski websteriti, websteriti) genetski povezane magmatske stijene vršnih dijelova plašta ili donjih segmenata litosfere koji najčešće nastaju kristalizacijom primitivne magme u toplinskim odvodima, smještenim ispod oceanskog hrpta, u kojima je proces hlađenja magme naglašeniji. Zajedno s gabrovima, dijabazima i bazalitima pripadaju asocijaciji stijena koja je tijekom jure (prije oko 170 milijuna godina) tvorila ploču oceanske litosfere. Sveukupne stijene ove asocijacije danas se nalaze fragmentirane u sklopu tektonostratigrafskih jedinica koje se nazivaju ofiolitni kompleksi. Istražena lokacija dio je ofiolitnog pojasa Središnjih Dinarida koji se isprekidano pruža oko 700 kilometara od Banovine u Hrvatskoj do Ozrena u Sandžaku. Zajedno s istovrsnim stijenama koje izdanjuju u Krivajsko-konjuškom ofiolitnom kompleksu, peridotiti u okolini Žepča predstavljaju najveće pojave ofiolitnih stijena u Dinaridima. Lercoliti Ograjine predstavljaju mali dio ofiolitnog kompleksa Dinarida koji je tektonskim transportom iz dubljih dijelova litosfere dospio u današnji položaj.

Ležište tehničko-građevnog kamena "Ograjina" i njegovo bliže okruženje smješteno je u jednom tektonskom bloku prostrane ultramafitne mase kilometarskih dimenzija. Blok je kompleksne geološke građe. Izgrađuju ga u najvećoj mjeri peridotiti, serpentiniti, duniti i lercoliti. Oni su intenzivno tektonizirani i dobrim dijelom postdijagenetski izmjenjeni. Predstavljaju fragment drevne oceanske kore jurske starosti, tethyskog oceana. Samo ležište predviđeno za eksploataciju nalazi se u tektoniziranim i dijelom izmjenjenim lercolitima.

Za petrografsку analizu mineralnog sastava, strukture i teksture stijena odabrano je više uzoraka koji optimalno i objektivno predstavljaju stijensku masu. Na temelju makroskopskih obilježja na terenu i analize strukturnih značajaka i mineralog sastava stijena u izbruscima pomoću polarizacijskog mikroskopa, utvrđeno je da istraženu stijensku masu na navedenim lokacijama izgrađuje peridotit (lercolit) koji lokalno može biti prošaran žilicama piroksenita (websterita). Mineraloško-petrografske analize, kao i uzorkovanje na terenu obavio je prof. dr. sc. Boško LUGOVIĆ s Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U nastavku se daje reprezentativna mineraloško petrografska analiza websterita i lercolita.

Websterit: na terenu uzorci stijene su sivkastozeleni i svježi. Naizgled imaju zrnastu strukturu i masivnu teksturu. Kontakti s peridotitom su difuzni, a stijena sadrži gusto položene, međusobno paralelne šlire crnog peridotita debele do 3 mm. U mikroskopskom izbrusu uzorak pokazuje porfiroklastičnu strukturu s rijetkim porfiroklastima rompskog piroksena maksimalne veličine 2,9 mm x 2,0 mm. U matriksu se nalaze rompski i monoklinski piroksen u približno podjednakoj količini u zrnima približno iste veličine (1,0 mm x 0,7 mm). Zrna piroksena su izuzetno svježa. Oba piroksena sadrže tanke lamele lučenja. Duktile deformacije razlikuju se po intenzitetu od uzorka do uzorka. Krte deformacije minerala nisu primjećene. Uzorak sadrži tamne šlire okolnog peridotita (lercolita). Na temelju mineralnog sastava i strukture uzorka, stijena je određena kao piroksenit (websterit). Mikrofiziografske značajke uzorka prikazane su na Slici 1.

Lercolit: uzorci stijene makroskopski su crni. Imaju masivnu teksturu i jasnou porfiroklastičnu strukturu. Porfiroklasti rompskog piroksena mjere maksimalno 9 mm x 5 mm i zastupljeni su količinom od 35 do 40 %.

U mikroskopskim preparatima stijene imaju porfiroklastičnu strukturu s vrlo krupnim porfiroklastima rompskog piroksena. Veličina čestica u matriksu ne prelazi 2,1 mm x 2,3 mm. U matriksu je pretežno olivin, u manjoj mjeri ortopiroksen i monoklinski piroksen, te sporedno zastupljeni spinel (pikotit). Pirokseni također luče lamele. Svi minerali osim spinela pokazuju istovrsne duktile deformacije koje se očituju u intenzivnom svijjanju sustava tankih lamela, gusto izlučenih iz zrna piroksena. Deformacije ovog tipa



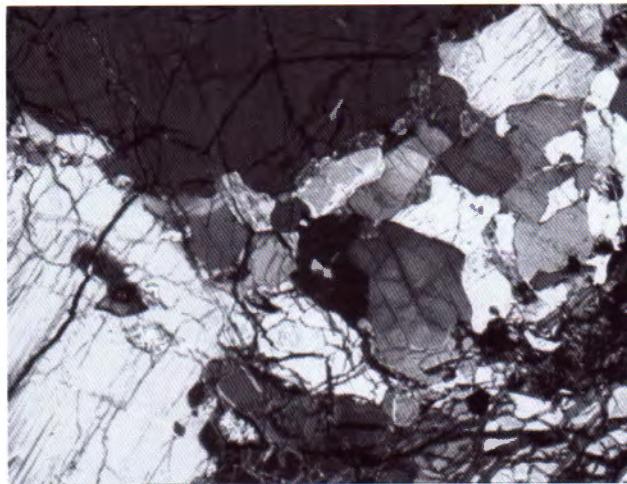
Slika 1. Mikrofotografija uzorka 1: piroksenit (vebsterit). Uključena oba nikola, širina vidnog polja 2,57 mm. Uzorak sadrži svježe rompske i monoklinske piroksene. Rompski pirokseni mogu biti i porfiroklasti (desno). Obratiti pozornost na duktilne deformacije vidljive u blago svinutim lamelama unutar piroksena.

Figure 1. Microphotography of sample 1: pyroxenite (websterite). Microphotograph taken under crossed polars. Bar corresponds to the field of view width (2.57 mm). Sample contains fresh orthopyroxene and clinopyroxene. Orthopyroxene might occur as porphyroclasts (right). Note the lamellae within the pyroxene due to the advanced ductile deformations.

izražene su i u olivinu u obliku nepravilne mreže pukotina duž kojih su zrna olivina serpeninizirana. Intenzitet serpentinizacije olivina je neznatan, ostali minerali su svježi. Krte deformacije minerala nisu primijećene. Na temelju mineralnog sastava i strukture uzorka, ovakove stijene su određene kao peridotiti (lercoliti). Mikrofiziografija karakterističnog uzorka prikazana je Slikom 2.

Zaključak

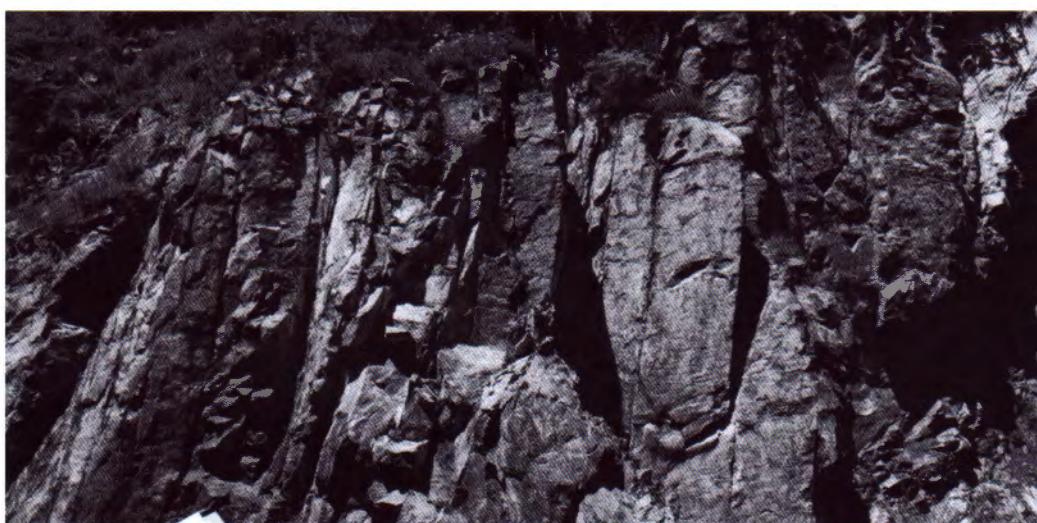
Istraženi teren na lokacijama u kojima je otvoren kamenolom izgrađen je od peridotita odnosno lercolita i pred-



Slika 2. Mikrofotografija uzorka 2: porfiroklastični peridotit (lercolit). Uključena oba nikola, širina vidnog polja 2,57 mm. Uzorak sadrži krupne porfiroklaste rompskog piroksena (lijevo i gore) u matriksu od olivina (dolje desno), rompskog i monoklinskog piroksena te spinela (crno).

Figure 2. Microphotography of sample 2: porphyroclastic peridotite (hercolite). Microphotograph taken under crossed polars. Bar corresponds to the field of view width (2.57 mm). Sample contains coarse porphyroclasts of orthopyroxene (left, upstairs) in the matrix composed of olivine (down, right), ortho and clinopyroxene, and spinel (black).

stavlja cjelovitu masu vrlo sličnih mineraloških, strukturnih i teksturnih značajki. Ponegdje je stijenska masa sporadično ispresjecana subparalelnim žilicama genetski povezanog piroksenita (vebsterita). Peridotiti i pirokseniti su kristalizirali na vrlo visokoj temperaturi i pod visokim tlakom što za posljedicu ima vrlo kompaktnu, masivnu i žilavu teksturu i savršenu strukturiranost stijena u smislu priljubljenosti (koalescencije) mineralnih sastojaka. Duktilne deformacije minerala ovih stijena odigrale su se u plastičnom stanju u sličnim fizikalno-kemijskim uvjetima kao i kristalizacija i prema tome ne ostavljaju nikakve negativne posljedice na kakvoću stijenskog materijala glede njihovih fizičko-mehaničkih pa-



Slika 3. Masivni lercoliti.
Figure 3. Massive lherzolite.



Slika 4. Zdrobljeni–milonitizirani lercoliti.
Figure 4. Mylonitized lherzolite.



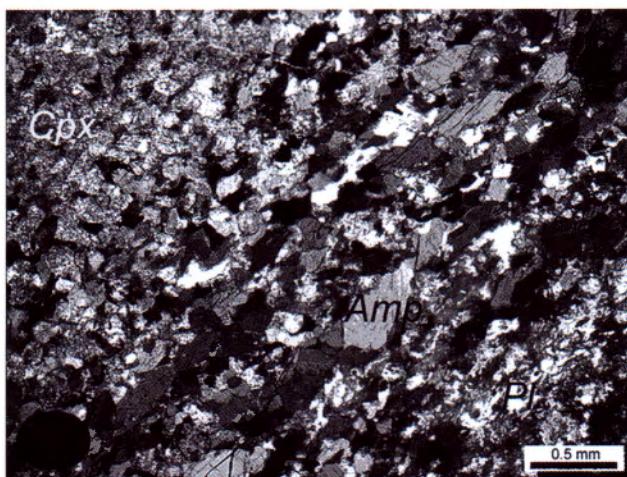
Slika 5. Tektonizirani lercoliti.
Figure 5. Tectonised lherzolite.

rametara. Vrlo povoljna okolnost leži i u činjenici da je stupanj serpentinizacije olivina u analiziranim stijenama, a to bi bio glavni mogući nedostatak, minimalno izražen, go-to beznačajan. Ostali minerali (rompski pirokseni, monoklinski pirokseni i spinel) izuzetno su svježi. Krtne deformacije koje plaštne alterirane stijene znaju doživjeti tijekom ekshumacije u analiziranim uzorcima nisu primijećene.

Zaključno treba reći da se na temelju megaskopskih zapažanja na terenu, te mikroskopske analize mineralnog sastava i mikrostrukturalnih značajki uzoraka peridotita i pirokse-

nita, stijenska masa na navedenim lokacijama preporuča kao možebitni građevinski materijal izvrsne uporabne kakvoće.

Metamorfne stijene s područja profila Ograjina se sastoje od amfibola, klinopiroksena, te iznimno alteriranog plagioklasa. U manjoj mjeri su prisutni titanit, ilmenit, te prehnit. Struktura stijene je prijelazna, nemato do granoblastična prema porfiroblastičnoj. Diskretna uškriljenost stijene je posljedica alternacije udjela amfibola, odnosno klinopiroksena. Poligonalni blasti amfibola su tamno smeđe vlastite boje (Sl. 6.) te izražena pleokroizma. Imaju povećani udio



Slika 6. Mikrofotografija uzorka metamorfne stijene s područja Ograjine. Uključena oba nikola. Bar=0,5 mm. Vidljivi poligonalni blasti amfibola kao i izometrični blasti klinopiroksena. Obje faze tvore diskretnе domene škriljavosti.

Figure 6. Microphotography of metamorphic rock from the Ograjina locality. Microphotograph taken under crossed polars. Bar=0.5 mm. Note the polygonated amphibole blasts and isometric blasts of clinopyroxene. Regular alternation of both phases form the discrete schistosity domains.

TiO_2 i Al_2O_3 od 4,1; odnosno 14,8 wt%. Takve vrijednosti su tipične za Ti bogate amfibole iz metabazita visokog stupnja metamorfoze koji se javljaju u zonama kolizije, ali i u stijenama sub-ofiolitske metamorfne podloge. Klinopiroksen je svjetlo zelen bez izražena pleokroizma i predstavlja magmatski relikt. Plagioklas, iako potpuno uništen procesima prehnitizacije i albitizacije, pokazuje ksenomorfan habitus. Najčešće čini leukokratne domene stijene u obliku traka i leća. Titanit je uobičajena akcesorna faza, koja se u pravilu nalazi uklopljena u (kersutitnom) amfibolu. Njegovo podrijetlo se dovodi u vezu s regresijskim procesima i raspadom ilmenita. Visoki ukupan sadržaj titana u ovim stijenama ima za posljedicu relativno visok udio ilmenita koji se javlja u obliku srednje-velikih granoblasta (~0,2 mm).

Ukupni kemizam metamorfita s područja Ograjine definira ih kao pikrobaalte (LE MAITRE et al., 2002), karakterizirane iznimno niskim sadržajem alkalija (Na_2O+K_2O). Sadržaj HFSE elemenata potvrđuje toleitični afinitet analiziranih metamorfita (npr. Nb/Y vs $Zr/(P_2O_5 \cdot 10000)$, FLOYD & WINCHESTER, 1975). Imajući u vidu povišen sadržaj TiO_2 (>1 wt%) i FeO (>8 wt%), kao i relativno umjeren magnezinski broj ($Mg\#<70$) uz izostanak reliktnih strukturnih obilježja, protolit analiziranih metamorfita možemo definirati kao nizak do visok Ti bazalt. Normalizirani sadržaji elemenata rijetkih zemalja (REE patterns) ukazuju na visoki stupanj frakcioniranosti do 30 puta u odnosu na hondrit. Nadalje, osiromašenost na lakinim rijetkim zemljama

(LREE) je izražena [$(La/Yb)_N = 0,27–0,84$] uz slabu negativnu europijevu anomaliju ($Eu/Eu^* = 0,86–0,97$). Prikazani geokemijski pokazateli ukazuju da su protoliti analiziranih metamorfita nastali u geotektonskom okružju N-MORB tipa. Geokemijski afininteti ovih stijena se lijepo koreliraju s onima dolerita, dijabaza i pillow bazalta (spilita) s područja Ribnice na Konjahu, te gabra s područja Duboštice (PAMIĆ et al., 1977; BABAJIĆ, 2009) što može biti indikativno kod definiranja protolita i daljnjih petrogenetskih razmatranja.

Geotermobarometrijski proračuni temeljeni na kemikalnom sastavu koegzistirajućih mineralnih faza ukazuju na uvjete metamorfoze koji približno odgovaraju tlaku od 0,84–0,89 GPa i temperaturama u rasponu od 729–890°C.

Geneza ovih stijena se veže na inicijalne procese jur-skog intraoceanskog navlačenja pri čemu oceanska kora dolazi u izravni kontakt s zagrijanim peridotitom gornje ploče. Današnji položaj metamorfita Ograjne koji se nalaze u intimnom kontaktu s peridotitim lercolitnog sastava karakterističan je i za ostala područja krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa gdje izdajuju metamorfne stijene (npr. područje Vijake u okolici Vareša, OPERTA, 2004). To se dovodi u svezu s prepostavljenom jursko-krednom kolizijom oceanske domene dinaridskog Tehysa i jadranske mikroploče pri čemu je dio oceanske litosfere i asociranih metamorfnih stijena obduciran na kontinentalnu marginu.

LITERATURA

- BABAJIĆ, E. (2009): Petrološko-geohemisika obilježja mafitnih stijena Krivajsko-konjuškog ofiolitnog kompleksa. PhD thesis.– Doktorska disertacija, Sveučilište u Tuzli, 163 str., Tuzla.
- FLOYD, P.A. & WINCHESTER, J.A. (1975): Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements Earth Planet.– Sci. Lett., 27, 211–218.
- LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., LE BAS, M.J., BONIN, B., BATEMAN, P., BELLINI, G., DUDEK, A., EFREMOVA, S., KELLER, J., LAMERE, J., SABINE, P.A., SCHMID, R., SORENSEN, H. & WOOLLEY, A.R. (2002): Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms, Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission of the Systematics of Igneous Rocks.– Cambridge University Press, 236 p., Cambridge.
- OPERTA, M. (2004): Mineraloške i petrografske karakteristike amfibolita iz okolice Vareša.– Doktorska disertacija, Sveučilište u Tuzli, 243 str., Tuzla.
- PAMIĆ, J., SUNARIĆ-PAMIĆ, O., OLUJIĆ, J. & ANTIĆ, R. (1977): Petrografija i petrologija krivajsko-konjuškog ofiolitskog kompleksa i njegove osnovne geološke karakteristike.– Acta geol., 9, 59–135.
- ŠEGVIĆ, B. (2010): Petrologic and geochemical characteristics of the Krivaja-Konjuh ophiolite complex (NE Bosnia and Herzegovina) – petrogenesis and regional geodynamic implications.– Doktorska disertacija, Sveučilište u Heidelbergu, 301 p., Heidelberg.

Postaja 5 – Stop 5

Radiolaritna formacija kod Nemile Radiolarite Formation in Nemila

Mikriti i rožnaci Tethyskog oceana – Micrites and cherts of the Tethys Ocean

Ivan Dragičević & Hazim Hrvatović

Thin-bedded micrites, cherts and shales represent autochthonic sediments of the abiasal plain of the Tethys ocean. Environmentally, they are located between the ophiolite melange on the north-east and Bosnian flysch on the south-west.

U dolini rijeke Bosne, u širem području Nemile, i na desnoj i na lijevoj njezinoj obali dobro su otkriveni izdanci tanko slojjevitih rožnaca, šejlova i mikrita. Vertikalna izmjena ovih litotipova je česta no nerijetko se susreću dekametarski paketi s prevladavajućim udjelom jednog od litotipova. Odavno je uočen veliki značaj ove "formacije" kako u stratigrfskom tako i u paleoambijentalnom smislu, a posebno je naglašavan njezin značaj u regionalnim getektonskim odnosima. Najkompletniji opis ove "formacije" nalazi se u terenskom vodiču koji je publiciran u okviru znanstvenoga skupa PAN-CARDI 2000 (PAMIĆ & TOMLJENOVIC, 2000). Autor opisa formacije i točke je J. PAMIĆ. U nastavku je prikazan opis prema citiranom autoru.

"Na prvoj austrijskoj geološkoj karti Bosne i Hercegovine, mjerila 1:200.000, u dijelu Vanjskih Dinarida, radiolariti su označeni kao 'žir' jedinica jurske starosti (KATZER, 1906). Pod utjecajem dotadašnjih spoznaja austrijskih geologa (AMPFERER & HAMMER, 1923) nazivi radiolarit i čert se koriste kao ključnih nazivi sedimentata asociranih s ofiolitnim kompleksima Unutarnjih Dinarida (Diabase-Hornstein formacija, dosadašnji naziv Ofoilitni melanž). Ovaj naziv se uvelike koristio tijekom sljedećih 60 godina u geologiji Dinarida (ČIRIĆ, 1954), sve do objavljivanja teorije o tektonici ploča (DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ, 1987). Učestalo upotrebljavan termin čert nije bio ispravan s obzirom da čert, u sedimentima navedene jedinice, nije bio najrašireniji tip stijene."

U geologiji Dinarida, PAMIĆ (1982) je prvi uveo termin Radiolaritna formacija koja je kao izdvojena jedinica karakteristična za sve ofiolitne komplekse u svijetu. Radiolaritna formacija se pojavljuje uzduž JZ ruba Dinaridske ofiolitne zone. Također se pojavljuje u obliku manjih izoliranih stijenskih masa u krovini većih vulkanskih tijela kao i u obliku manjih do vrlo velikih tijela uklopljenih u ofiolitni melanž.

Ove Radiolaritne formacije mogu se pratiti duž JZ marge Dinaridske ofiolitne zone koja se naslanja na formaciju pasivnog kontinentalnog ruba (Bosanski fliš). Formacija ofiolitnog melanža se u današnjim strukturnim odnosima nalazi navučena na usku diskontinuiranu zonu radiolarita u duljini nekoliko desetaka kilometara. S druge strane ispod radiolaritne zone nalazi se formacija Bosanskog fliša. U istočnim dijelovima Dinaridske ofiolitne zone, jedinice radiolarita koje se mogu kartirati izdanjuju kao tektonska okna ispod

paleozojsko trijaskih formacija Golija zone (RAMPNOUX, 1970; PAMIĆ et al., 1998).

Unutar Radiolaritne formacije radiolariti su uglavnom crvene boje proslojeni šejlovima i podređeno mikritima. Samo u nekim područjima radiolariti i mikriti se pojavljuju u podjednakim udjelima. Prosloji bazalta se rijetko nalaze.

Radiolariti su pretežno sastavljeni od kalcedona i opala s manjim primjesama kalcita, vrlo sitnozrnastog hematita i crne organske tvari koja se nalazi u pravilnim proslojcima u stjeni. Neki varijeteti su sačinjeni dominantno od kompletnih skeleta radiolarija. Mikriti se sastoje od vrlo finozrnastog hemi-pelagičkog kalcita dok su silicijski mikriti bogati SiO_2 mineralima, također vrlo česti. Mineralni sastav šejla uključuje ilit, kaolinit, kvarc, feldspat i fino dispergirani hematit crvene boje, te crnu organsku tvar u varijetetima zagasito sive boje.

Stratigrafija Radiolaritne formacije još nije pouzdano i precizno određena. Nažalost, paleontologija radiolarita do sada nije dovoljno istraživana. Samo su u mikritima određeni neki nekarakteristični kasnotrijaski brahiopodi, te rano kredne mikrofossilne zajednice (PAMIĆ, 1982).

Unatoč nedostatku dovoljno preciznih paleontoloških podataka može se zaključiti da Radiolaritna formacija pokriva veliki stratigrfski interval u rasponu od donjeg trijasa do donje krede. Ova formacija je nastala u otvorenom oceanском prostoru dinaridskog dijela Tethysa istodobno s nastankom klastično karbonatne formacije u susjednom dijelu pasivnog kontinentalnog ruba (Bosanski fliš). U nekim dijelovima se Bosanski fliš nalazi proslojen sekvensijama radiolarita-šejlova-mikrita, koje su debele do 10 metara, a ukazuju na periodičan utjecaj otvorenog mora tijekom prekida djelovanja turbidita."

Selo Nemila – Radiolaritna formacija

Na lijevoj obali rijeke Bosne uz cestu u selu Nemila izdanjuju rožnjaci (jaspis, kalcedon) proslojeni sa šejlovima i podređeno vapnenačkim mikritima u kojim su utvrđeni gornjotrijaski konodonti. Kontakt s krovinskim ofiolitnim melanžom je prekriven (u pravilu kao i većina geoloških kontaktata), ali je dobro vidljiv na desnoj obali rijeke Bosne.

Kontakt s podinskim Bosanskim flišem također je prekriven. Međutim, u vršnom dijelu fliša, radiolariti proslojeni sa šejlovima i vapnenačkim mikritima su učestaliji, ukazujući na jak utjecaj obližnjeg pelagičkog okoliša.

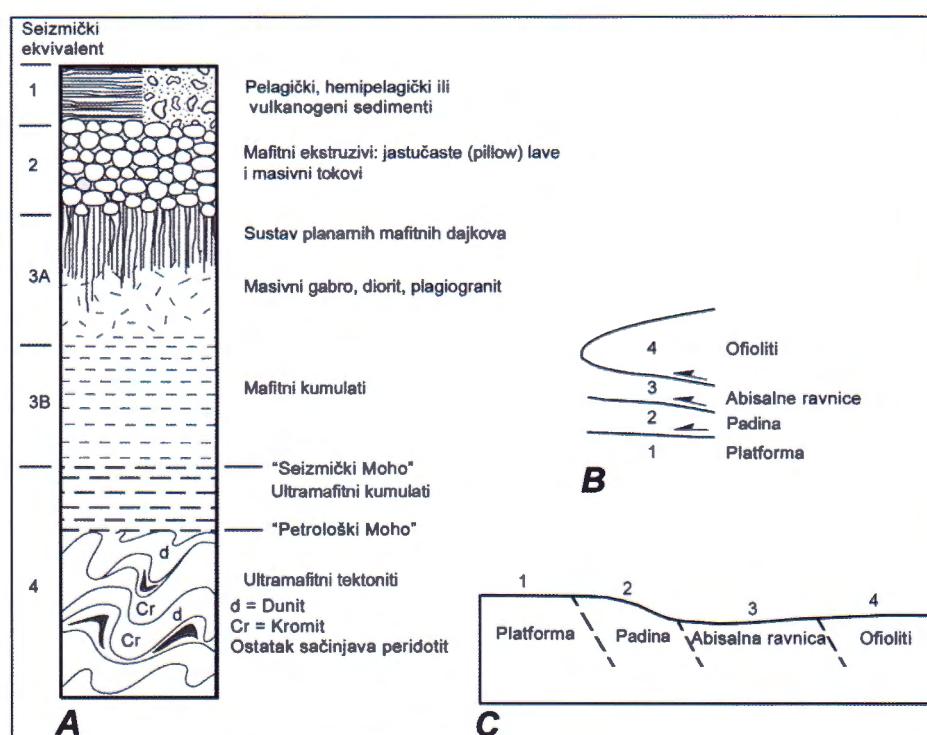


Slika 1. Tanko uslojeni mikriti i rožnaci.
Figure 1. Thin-bedded micrites and cherts.

U samom mjestu Nemila promatratićemo izdanak dobro uslojenih mikrita i šejlova s rijetkim tankim slojevima silicificiranih mikrita (Sl. 1). Inače je karakteristika ove "formacije" da je intenzivno borana i rasjedana. Bore su od metarskih, dekametarskih do hektometarskih dimenzija. Pružanje aksijalnih ravnina je pretežito dinaridsko, a vergencije su jugozapadne. Bore su najčešće izoklinalne, kose i prebačene, a ponekad i polegle. Reversni rasjedi najčešće raskidaju srednje krakove tvoreći ljkuske strukture.

Stoji tvrdnja da stratigrafija ovih stijena nije rješena. No, čini se da se sedimentacija ovih slojeva nastavlja kontinuiran-

no u Bosanski fliš koji je u dosadašnjoj literaturi označavan stratigrfskim simbolom (J,K). Prijelazne slojeve, koji mogu biti debeli više desetaka pa i stotina metara, karakterizira smanjenje udjela rožnaca i mikrita, a povećanje udjela klastita sa znatnim udjelom terigene komponente. Na kraju prijelaznog slijeda, u području Vranduka, postaja 6, zastupljeni su klasični turbiditi (Bosanski fliš) u čijim slojevima autohtonim mikritima nalazimo centimetarske proslojke rožnaca. Rješenje stratigrafske pripadnosti ove "formacije" zasigurno bi napravilo veliki skok u razumijevanju značajnih geodinamskih procesa od riftovanja, preko dugotrajne egzistencije prostranih oceanskih prostora (abisalne zaravni) do nastanka



Slika 2. Značajke ofiolita (nepoznati autor).
Figure 2. Features of ophiolites (unknown author).

ofiolitnog melanža koji u sebi ima uklopljene brojne olistolite "radiolarita" od centimetarskih do hektometarskih dimenzija (postaja 3: Papratnica). U okviru osnovne geološke karte starost ovih sedimenata označavana je od trijaske do trijasko-jurske (ŽIVANOVIĆ et al., 1971; ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975). Radiolaritna formacija primarno je bila taložena na mnogo većim prostorima i to u jedinstvenom paleoambijentalnom području. S jedne strane izoklinalne bore, kojima je zahvaćena, ukazuju na strukturnu redukciju prostora, a s druge strane brojni njezini olistoliti unutar ofiolitnog melanža ukazuju na njegovu znatnu konzumaciju. Zbog toga u kartografskom iskazu po pružanju nalazimo stijene ove formacije u obliku pojaseva promjenjljive širine i nepostojanog kontinuiteta. Ponekad su procesi njezine konzumacije bili toliko snažni, pa je ne nalazimo na površini. U tom slučaju su stijene ofiolitnog melanža u tektonskom kontaktu s Bosanskim flišem (dolina Vrbanje sjeverozapadno od Nemile, MOJIČEVIĆ et al., 1976, 1977).

U suglasju s ovim opisom i razmišljanjima o geotektonskim položajima ofiolita i pridruženih formacija upućujemo na Sliku 2.

LITERATURA

- AMPFERER, O. & HAMMER, W. (1923): Ergebnisse der geologischen Forschungsreise in Westserbien. II Die Diabase-Hornstein Schichten.– Denkschr. Akad. Wiss., math.-naturw. Kl., 98, 73–92, Wien.
- ĆIRIĆ, B. (1954): Some considerations on the Diabase-Hornstein Formation of the Dinarides (in Serbian, Summary in French).– Vesnik Geol. zav., 31–88, Beograd.
- DIMITRIJEVIĆ, M.D. & DIMITRIJEVIĆ, M. (1987): Ophiolite mélange of the Dinarides and Vardar zone: genesis and geotectonic implications (in Serbian).– II. God. Znan. savj. naftu JAZU, 39–46, Zagreb.
- KATZER, F. (1906): Geologische Übersichtskarte von Bosnien und Herzegowina 1:200.000, Blatt Sarajevo.– Landesreg., Sarajevo.
- MOJIČEVIĆ, M., VILOVSKI, S. & TOMIĆ, B. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Banja Luka L33-119 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Banja Luka sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1969), Sav. geol. zavod, Beograd.
- MOJIČEVIĆ, M., VILOVSKI, S., TOMIĆ, B. & PAMIĆ, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Banjaluka L33-119 (Geology of the Banjaluka sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1976), Sav. geol. zavod, Beograd, 50 str.
- PAMIĆ, J. (1982): Some geological problems of the Dinaride ophiolites and their associations. – Earth Evol. Sci., 2, 30–35, Berlin.
- PAMIĆ, J. (1998): North Dinaridic Late Cretaceous-Paleogene subduction-related tectonostratigraphic units of the Southern Tisia, Croatia. – Geol. Carpathica, 49, 341–350, Bratislava.
- PAMIĆ, J., LAMPERE, M. & MCKEE, E. (1998): Radiometric ages of metamorphic and associated igneous rocks of the slavonian mountains in the southern part of the Pannonian Basin, Yugoslavia.– Acta Geologica, 18, 13–39, Zagreb.
- PAMIĆ, J. & TOMLJENOVIC, B. (2000): Fieldtrip Guidebook.– Vjesti Hrvatskoga geološkog društva, 37/2, Special Issue, PANCARDI 2000, Dubrovnik, Croatia, 1–3.10.2000, 140 str., Zagreb.
- RAMPNOUX, J.P. (1970): Regard sur les Dinarides internes yougoslaves (Serbie méridionale et Monténégro oriental): stratigraphie, évolution, paléogeographie et magmatique. – Bull. Soc. Géol. France, 12, 948–966, Paris.
- ŽIVANOVIĆ, M. & MILOJEVIĆ, R. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zenica L33-144 (Geology of the Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 60 str.
- ŽIVANOVIĆ, M., SOFILJ, J. & MILOJEVIĆ, R. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Zenica L33-144 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd.

Postaja 6 – Stop 6

Vranduk

Formacije pasivne kontinentalne margine (Bosanski fliš) Formations of the passive continental margin (Bosnian Flysch)

Hazim Hrvatović & Ivan Dragičević

Thick beds of sandstones, micrites, shales and breccias intercalate rhythmically, and in the environmental point of view represented the apron of the continental margin grading into the deep through. Concerning their sedimentary textures and structures, they can be considered as turbidites.

Osnovne značajke Bosanskog fliša

Formacija bosanskog fliša čini gotovo kontinuiranu paleogeografsku zonu, koja je kao takva prepoznata u tektono-stratigrafskoj građi Dinarida. U SI dijelu na formaciju naliježu elementi Dinaridske ofiolitne zone, dok se u JZ segmentu ispod formacije Bosanskog fliša nalazi Jadransko-dinaridska

karbonatna platforma. Formacija pasivne kontinentalne margine je u Dinaridima poznata pod različitim imenima: Durmitorski fliš (BEŠIĆ, 1954), Flysch Bosnienque (AUBOIN et al., 1970), fleksurna zona (GRANDIĆ, 1972), Sarajevsko-banjalučki fliš (MOJIČEVIĆ, 1970) i fliš sarajevske grupe (OLUJIĆ, 1978). U recentnoj literaturi spomenuta formacija

Paleogen		Pg?	200	Mramori, intramikriti (areniti, intramikruditi)	UGAR GRUPA
TURON-SENON		K	300-400	Intramikruditi, intramikriti, mikriti i olistostrome	
		K	700-1000	Intramikriti, mikriti, podređeno do rijetko imtramikruditi, areniti i olistostrome	
		K	400	Intramikruditi, intramikriti, mikriti i olistostrome	
		K	80	Mikriti i mikrospariti	
TITON-BERJAS		K	100	Areniti, ruditi, mikriti i mramori	VRANDUK GRUPA
		<250		Areniti, mramori, mikriti i pjeskoviti intraspariti	
		<350			
		J, K	<300	Mikriti, areniti i mramori	
			400	Mikriti, areniti i mramori s nodulama rožnjaka	
		T, J		Rožnjak	

Slika 1. Geološki stup formacija pasivnog kontinentalnog ruba (Bosanski fliš) (prema OLUJIĆ, 1978).

Figure 1. Geological column for the passive continental margin formations (Bosnian flysch) (after OLUJIĆ, 1978).

je prepoznata kao fliš pasivne kontinentalne marge (PAMIĆ, 1993) čije se podrijetlo veže na pasivnu marginu Apulijske mikroploče, odnosno padine Jadransko-dinaridske karbonatne platforme. Prema sjeverozapadu, na području Slovenije, jedinice ove formacije isključuju u području poznatom kao Slovensko korito (COUSEN, 1972). Nadalje, jedinice ove formacije se prate i prema jugoistoku u području Helenida.

U krajevima oko rijeke Bosne, formacija pasivne kontinentalne marge se dijeli na stariju, Vrandučku grupu, i mlađu, Ugar grupu (OLUJIĆ, 1978) (Sl. 1).

Vrandučka grupa, debela oko 1300 m, građena je od jedinica koje nemaju obilježja fliša, odnosno karakterizirane su kao parafliš, dok udio fliša raste prema jugozapadu zajedno s porastom psamitne komponente. Vrandučka grupa se dalje dijeli u četiri jedinice:

a) Jedinica laporovitog mikrita koju sačinjavaju masivni do debelo uslojeni laporoviti mikriti koji progradiraju u laporoviti šejl, a karkaterizirani su dm-hm i m-dm kosim i uspravnim boranjem JZ vergencije. Laporoviti šejl, arenit, pješčani intramikrit i čert se u ovoj jedinici nalaze u podređenim količinama dok su krupnozrnasti areniti koji pokazuju gradacijske intervale i paralelnu laminaciju rijetki.

b) Jedinicu laporovitog mikrita, arenit i laporoviti šejl. Arenit i intramikrit pokazuju Ta, b, c – tip Bouma sekvenca i paleotransport u JJJ smjeru.

c) Jedinicu arenita, laporovitog šejla, i laporovitog mikrita. Ova jedinica ima obilježja najudaljenije turbiditske sedimentacije. Prevladavajuća je T, b, c sekvenca s najdebljim intervalom donje paralelne laminacije i čestim konvolucijskim intervalima. Smjerovi paleotransporta su nepravilni, no s dominantnim južnim usmjerenjem.

d) Jedinica arenita. Ova jedinica uključuje uslojene turbiditske članove kao i debelo uslojene članove koji nemaju

obilježja turbidita. Prvi član je karakteriziran potpunom Bouminom sekvencom, ali također i sekvencama bez gradacijskih intervala, te sekvencama koje sadrže samo c intervale. Smjerovi paleotransporta se nalaze u rasponu između jugoistočnog i sjeverozapadnog pravca. Prve dvije jedinice imaju obilježja parafliša, dok zadnje dvije predstavljaju tipične turbidite.

Stratigrafija vrandučke grupe nije ni do danas precizno definirana. Uobičajeno se svrstava u period titona – beriasa (BLANCHET, 1975). No, njeni vršni dijelovi su konkordantno pokriveni cenomansko-turonskim arenitima i karbonatno-laporovitim šejlovima koji nemaju obilježja fliša. Ipak, u nekim susjednim područjima, karbonatne klastične formacije Vrandučke grupe sadrže i lijaske amonite. Nadalje, ponegdje je lijaski dio Vrandučke grupe konkordantno pokriven identičnom sedimentnom sekvencom, 500–600 m debelom, koja bi mogla pripadati barem djelomično periodu gornjeg trijasa (PAMIĆ, 1993). Na temelju izloženog može se prepostaviti da se starost Vrandučke grupe nalazi u rasponu između gornjeg trijasa i srednje krede.

Ugar grupa, debela 2200 m, uglavnom se sastoji od karbonatnog fliša i od baze prema vrhu sadrži šest jedinica.

a) Jedinica arenita je karakterizirana kako turbiditskim tako i jedinicama koje nisu turbiditskih obilježja. Uglavnom je sačinjena od arenita, te podređeno laporovitih mikrita sa šejlovima i u pojedinim dijelovima intramikritima.

b) Jedinica mikrita se sastoji od mikrita i podređeno laporovitih šejlova, mikrosparita i podređeno intramikritima.

c) Jedinica intramikrita i intramikrorudita sadrži u manjoj mjeri laporovite mikrite i olistostrome. U nekim njenim dijelovima vidljiva je kompletna Boumina sekvenca, dok su neki članovi koji nemaju obilježja turbidita također vidljivi ukazujući na okolišne unutrašnje lepeze.



Slika 2. Bosanski fliš.
Figure 2. Bosnian flysch.

d) Jedinica intramikrita i laporovitog mikrita, debljine oko 1000 m, je najznačajnija formacija karbonatnog fliša. Ona u manjoj mjeri uključuje laporovite šejlove, intramikrorudite, arenite i olistostrome. T-a,e i T-b,e tipovi sekvenci decimetarsko-metarskih debljina su također učestali s lijepo razvijenim b ili b+c intervalima. Smjerovi paleotransporta nisu jednoznačni s maksimumom u smjeru IJI. Ova jedinica je dobar primjer facijesa proksimalnog fliša, u koji uostalom spada i većina karbonatnog fliša.

e) Jedinica intramikrorudita i intramikrita je karakterizirana s m-blokovima i laporovitim šejlovima unutar horizonta intramikrorudita, kao i n-intervalima s donjom paralelom laminacijom i kosom slojevitošću.

f) Jedinica laporovitog šejla i intramikrita je karakterizirana s četiri dobro uščuvana intervala slojevitosti, dok laporoviti šejlovi vjerojatno predstavljaju (d) + e-intervale.

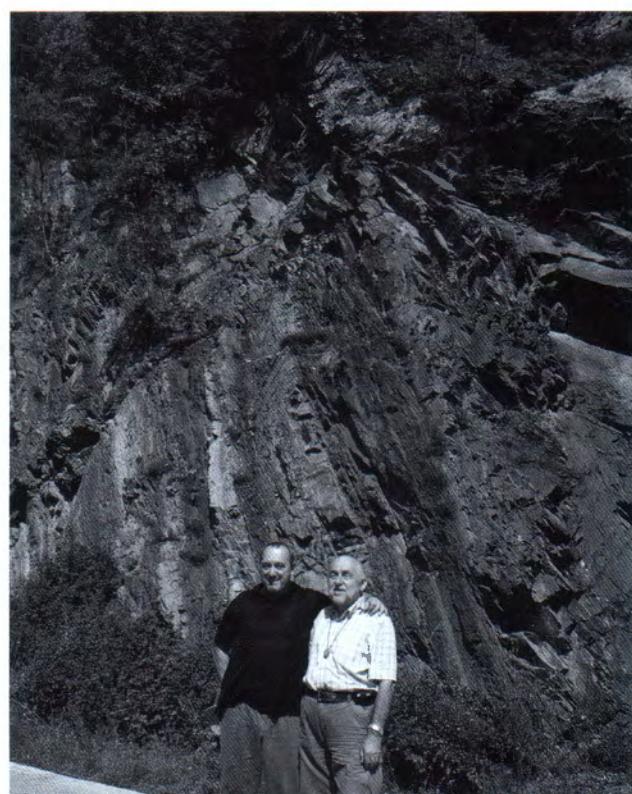
U stijenama koje pripadaju svim opisanim jedinicama, prisutna je gornjokredna (senonska) mikrofossilna zajednica. U jugoistočnim dijelovima ove geotektonске zone eocenski mikrofossili su također nađeni. Odnos između Vrandučke i Ugar grupe je također nejasan, u smislu njihove pripadnosti kontinuiranim ili diskontinuiranim sedimentnim sekvencama.

Neka geodinamička razmatranja

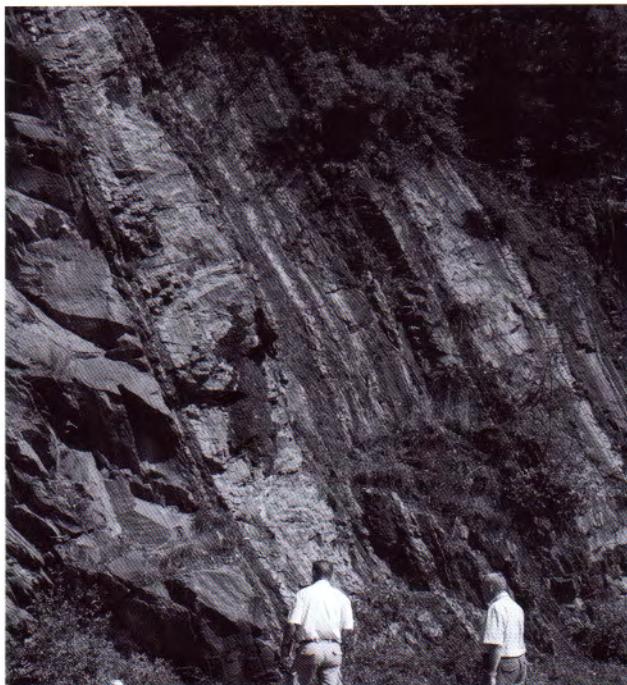
Razvoj pasivne kontinentalne marge Dinarida najvjerojatnije je započeo u gornjem trijasu otvaranjem dinaridskog Tethysa (PAMIĆ, 1993). Kontinuirana pjeskovito-siltozna i pelitna sedimentacija odvijala se do perioda titona/berijasa (Vrandučka grupa). Jadransko-dinaridska karbonatna platforma predstavljala je izvorišno područje karbonatnog detritusa, dok dominantni silicijsko-klastični materijal vuče podrijetlo sa sjeverno lociranih područja, te je transportiran aksijalno u II smjeru.

Završetak sedimentacijskih procesa koji su proizveli stijene Vrandučke grupe, što se poklapa s gornjojurskom do-

donjokrednom intraoceanskom subdukcijom praćenom istovremenim i/ili netom završenim smještavanjem mezozojske oceanske kore, odnosno smještavanjem ofiolita Dinaridske ofiolitne zone (PAMIĆ et al., 1998). Ovi snažni tektonski pokreti su posljedica globalne reorganizacije razmještaja tektonskih ploča koja se veže za konac gornje jure (DERCOURT et al., 1993).



Slika 3. Bosanski fliš.
Figure 3. Bosnian flysch.



Slika 4. Bosanski fliš.
Figure 4. Bosnian flysch.

Karbonatni fliš Ugar grupe je gornjokredni i njegov odnos sa ispod ležećim Vrandučkim formacijama je nejasan. Vjerojatno je karbonatni fliš Ugar grupe započeo svoje taloženje nakon kratke sedimentacijske stanke koja se dogodila tijekom donje/središnje krede.

Uz asfaltni put izdanjuju formacije fliša Vranduk grupe. To su jedinice glinovitog mikrita sastavljene od masivnih do debelo uslojenih glinovitih mikrita koji prelaze u laporovite šejlove. Laporoviti šejlovi, areniti, pješčani intramikriti i rožnaci dolaze sporadično, dok se krupozrnnasti areniti s

gradacijom i donjom paralelnom laminacijom pojavljuju rijetko. Jedinice su karakterizirane dm-m-hm uspravnim i kosim borama jugozapadnih vergenca.

Na Slikama 2, 3 i 4 prikazani su izdanci fliša na postaji Vranduk.

LITERATURA

- ABOUIN, J., BLANCHET, R., CADET, J.P., CELET, P., CHARVET, J., CHOROWICZ, J., COUSIN, J. & RAMPNOUX, J. (1970): Essai sur la géologie des Dinarides.– Bull. Soc. Geol. France, 12, 1060–1093, Paris.
- BEŠIĆ, Z. (1954): Geological guidebook through Montenegro (in Serbian). Titograd, 240 p.
- BLANCHET, R. (1975): De l' Adriatique au Bassin Pannonique – essai d'un modèle de chaîne alpine.– Mém. Soc. Géol. Fr., 120, 1–72, Paris.
- COUSIN, M. (1972): Esquisse géologique des confins italo-yougoslaves: leur place dans les Dinarides et les Alpes méridionales.– Bull. Soc. Géol. France, 7/12, 1034–1047, Paris.
- DERCOURT, J., RICOU, L.E. & VRIELYNCK, B. (1993):Atlas Tethys Paleoenvironmental Maps, Explanatory Notes.– Gauthiers-Villars, Paris, 307 p.
- GRANDIĆ, S. (1972): Some exploration results of the stratigraphic-sedimentary model of younger Mesozoic carbonate strata of the External Dinarides (in Croatia).– 3rd Symp. Dinar. Assoc., 1, 43–50, Zagreb.
- MOJIČEVIĆ, M. (1970): Geology and tectonics of the area between Sarajevo and Banjaluka (in Serbian).– Monograph., Geol. glasnik, 14, 175 p., Sarajevo.
- OLUJIĆ, J. (1978): Occurrences and genesis of Mesozoic flysches of Bosnia and Herzegovina (in Serbian, Summary in English).– Unpubl. Report, Institute of Geology, Sarajevo, 210 p.
- PAMIĆ, J. (1993): Eoalpine to Neoalpine magmatic and metamorphic processes in the northwestern Vardar Zone, the easternmost Periadriatic Zone and the southwestern Pannonian Basin.– Tectonophysics, 226, 503–518, Amsterdam.
- PAMIĆ, J., GUŠIĆ, J. & JELASKA, V. (1998): Geodynamic evolution of the Central Dinarides.– Tectonophysics, 297, 251–268, Amsterdam.

Postaja 7 – Stop 7

Lašva

Zeničko-sarajevski neogenski bazen – Lašvanski konglomerati Neogene Zenica-Sarajevo basin – Lašva conglomerates

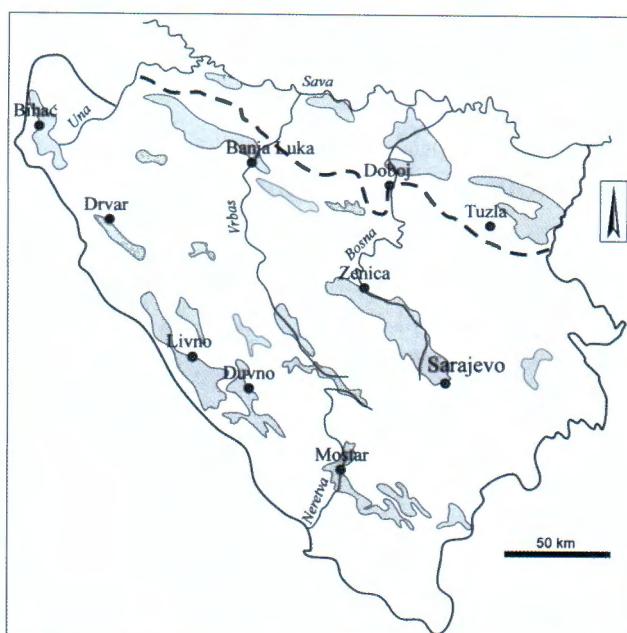
Hazim Hrvatović & Ivan Dragičević

The large Neogene sedimentary basins with deposits thicker than 3.000 m represents an intramontane basin. Various sediments have the molasse character. The basin have especial importance because of thick coal seams.

Na području Bosne i Hercegovine više je od 150 međuplaninskih neogenskih sedimentacijskih bazena (Hrvatović, 1999) (Sl. 1). Sedimentacija se odvijala u slatkvodnim (jezerskim) okolišima, a posebnu osobitost predstavljaju brojni slojevi ugljena. Litostratigrafski su odnosi, pogotovo u većim bazuinima, slični s mogućnošću visokog stupnja

korelacije. Jedan od najbolje istraženih i u ugljenosnom potencijalu najznačajnijih je Zeničko-sarajevski bazen.

Zeničko-sarajevski neogenski bazen zauzima površinu od oko 900 km². Proteže se od Sarajeva na istoku pa do sela Suhi Do (padine planine Vlašić) na zapadu. Dužine je oko 78 km a širina mu je promjenljiva i u prosjeku iznosi oko 15

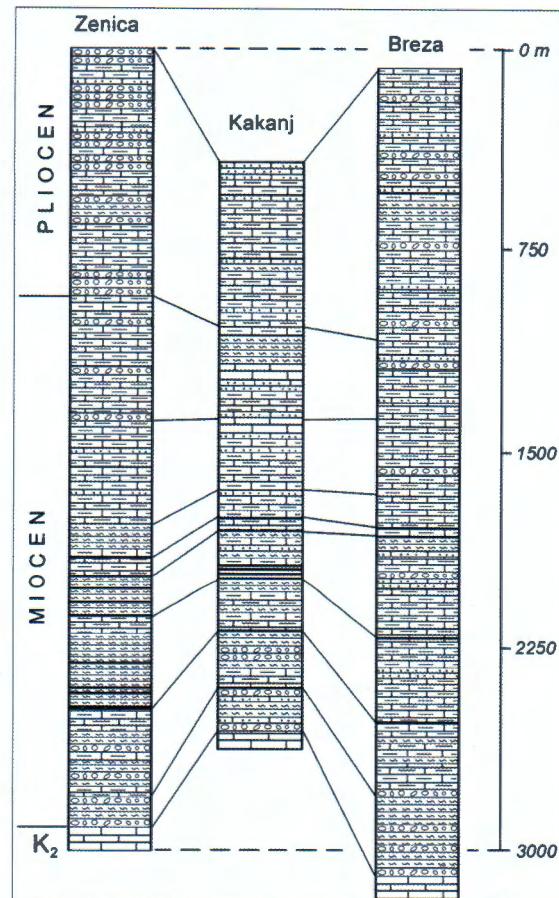


Slika 1. Položaj glavnih neogenskih sedimentacijskih bazena u Bosni i Hercegovini (HRVATOVIC, 1999).

Figure 1. Position of the Neogene sedimentary basins in Bosnia and Herzegovina (HRVATOVIC, 1999).

km. Pružanje mu je u morfološkom smislu sjeverozapad-jugoistok, dakle dinaridsko.

Geologiju bazena u regionalnom smislu prvi prikazuju bečki geolozi (MOJSISOVITZ, TIETZE i BITTNER). Detaljniju građu bazena daje KATZER (1903, 1918). Uz detaljan geološki opis priložena je i geološka karta bazena 1:75.000. SOKLIĆ, sa suradnicima, u razdoblju od 1945.–1951. daje više radova o geološkoj problematici. U razdoblju od 1959.



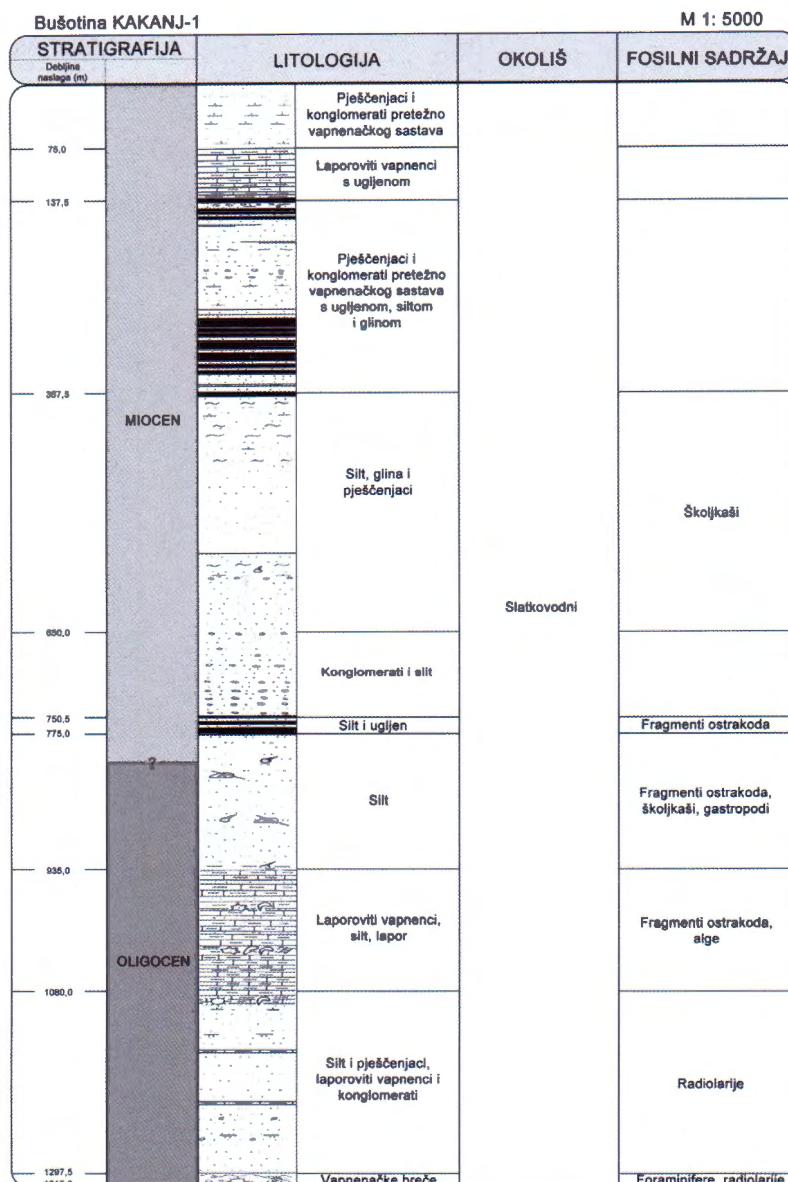
Slika 2. Korelacijski geološki stupovi u neogenskom slatkovodnom Sarajevsko-zeničkom bazenu (pojednostavljeno prema ČIČIĆ & MILOJEVIĆ, 1977).

Figure 2. Correlation of geological columns of the Neogene freshwater Sarajevo-Zenica Basin (simplified after ČIČIĆ & MILOJEVIĆ, 1977).

Tablica 1. Razvoj sedimentacije u Zeničko-sarajevskom ugljenonosnom bazenu (ČIČIĆ & MILOJEVIĆ, 1977).

Table 1. Depositional evolution of the Zenica-Sarajevo basin (ČIČIĆ & MILOJEVIĆ, 1977).

Polifacijesni kompleks	Litostratigrafska jedinica	Osnovne facijesne karakteristike	Debljina (m)
Mlađi miocenski	9. Orlački konglomerati	Alternirajuća serija slojeva sitnozrnastih kvarcnih konglomerata, konglomeratičnih vapnenaca i pješčenjaka.	200
	8. Koševska serija	Pretežito glinovita serija slojeva u izmjeni s pješčenjacima, zaglinjenim pijescima, laporima i organogenim vapnencima s <i>Congeria ornithopsis</i> .	500
Stariji miocenski	7. Lašvanska serija	Alternirajuća serija slojeva konglomerata, pješčenjaka, vapnenaca i lapora.	800
	6. Prijelazna zona	Tankoslojeviti lapor s <i>Congeria pernaformis</i> (u donjem dijelu) i u alternaciji sa slojevima pješčenjaka i konglomerata (u gornjem dijelu).	500
	5. Krovinska vapnenačka zona	Slojeviti vapnenci s <i>Limneus socialis</i> i <i>Gliptostroubus europeus</i> , te krovinskim ugljenim slojem.	70
	4. Glavna ugljena zona	Slojevi glinovitih lopora, pješčenjaka (konglomerata), glina i glinovitih vapnenaca s <i>Fossilulus tricarinatus</i> , <i>Caprolithes valvatus</i> i <i>C. froveatus</i> , te glavnim prvim, drugim i trećim ugljenim slojem.	120
Oligomiocenski	3. Šarena serija	Alternirajuća serija slojeva konglomerata (pješčenjaka) pješčenjaka, lapor, glina i ugljevitih škriljavaca (slojeva ugljena).	500
	2. Sedrasti vapnenci	Masivni slojeviti šupljikavi vapnenci, obično bituminozni s heliksima, te košćanskim ugljenim slojem u podini.	200
	1. Bazalna zona	Rožnjačko-vapnenački konglomerati, "prljavi" vapnenci, pješčenjaci i gline.	50



Slika 3. Pojednostavljeni litostratigrafski stup bušotine Kakanj-1 (ljubaznošću INA d.d., Naftaplin, Zagreb, 1966).
Figure 3. Simplified lithostratigraphic log of the Kakanj-1 well (by kindness of INA d.d., Naftaplin, Zagreb, 1966).

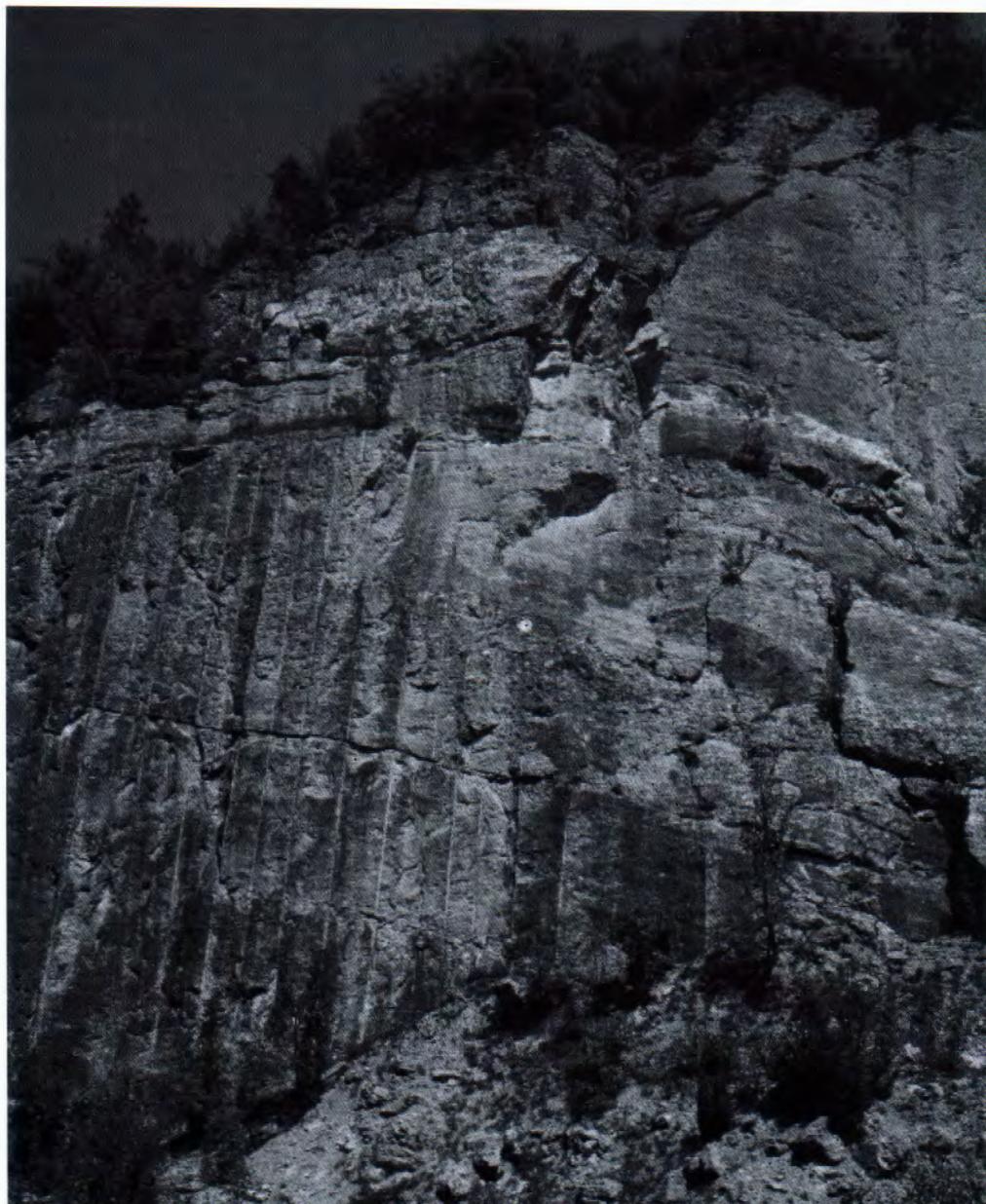
do 1964. traju intenzivni radovi na istraživanju bazena. Rezultat je cijelovita geološka karta mjerila 1:25.000, te niz izvješća, elaborata i publiciranih radova. Treba istaknuti najplodonosnije autore R. MILOJEVIĆA i M. MUFTIĆ. Temeljni geološki odnosi prikazani su na Osnovnoj geološkoj karti 1:100.000, listovi Zenica (ŽIVANOVIĆ et al., 1971; ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975), Vareš (OLUJIĆ et al., 1977) i Sarajevo (JOVANOVIĆ et al., 1977, 1978). U litostratigrafskoj građi bazena razlikuju se tri velika sedimentacijska ciklusa koji se odlikuju određenom zakonomjernošću i cikličkim redanjem određenih litoloških članova (ČIČIĆ & MILOJEVIĆ, 1977). Korelacija unutar bazena je dobra prvenstveno zahvaljujući slojevima ugljena (Sl. 2).

Detaljan litostratigrafski slijed naslaga dobro je utvrđen strukturnom bušotinom Kakanj-1, koju je izradila INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, u svrhu regionalnih naftno-geoloških istraživanja.

U strukturnom pogledu, oko 3.000 m debeli slijed raznovrsnih sedimenata molasnog karaktera, predstavlja sinklinorij koji je dodatno poremećen brojnim pretežito normalnim rasjedima. U središnjem i jugoistočnom dijelu bazena osi bora i pružanja slojeva su približno istok-zapad dok su u sjeverozapadnom dijelu bazena pružanja dinaridska.

Promatrani reprezentativni izdanak "lašvanskih konglomerata" nalazi se u zasjeku ceste Sarajevo-Zenica, nedaleko od ušća rijeke Lašve uz rijeku Bosnu.

Prema HRVATOVIĆ (1999) konglomerati se proslojavaju s pješčenjacima, laporima i vapnencima. Valutice su najčešće od mikrita, glinovitih mikrita i glinovitih šejlova koji vode podrijetlo od okolnih sedimentnih formacija pasivnog kontinentalnog ruba, te metasedimenata metariolita i trijaskih dolomita koji vode podrijetlo iz okružujućih formacija srednjebosanskog škriljavog gorja. Starost lašvanskih konglomerata je donjomiocenska.



Slika 4. Debelo slojeviti "Lašvanski konglomerati".
Figure 4. Thick-bedded "Lašva conglomerates".



Slika 5. Krupnozrnasti konglomerati.
Figure 5. Coarse-grained conglomerates.



Slika 6. Polimiktni konglomerati.
Figure 6. Polymictic conglomerates.

LITERATURA

- ČIĆIĆ, S. & MILOJEVIĆ, R. (1977): Terestričke i limničke formacije Bosne i Hercegovine.– U: ČIĆIĆ, S. (ur.): Geologija Bosne i Hercegovine. Kenozojska perioda. Geoinženjering, 107–118, Sarajevo.
- HRVATOVIĆ, H. (1999): Geological guide-book through Bosnia and Herzegovina.– Geol. Survey, Sarajevo, 203 p.
- JOVANOVIĆ, R., MOJIČEVIĆ, M., TOKIĆ, S. & ROKIĆ, M. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Sarajevo K34-1 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Sarajevo sheet).– Zav. za inž. geol. i hidrogeol. Građ. fak. Sarajevo, Institut za geološka istraživanja Sarajevo, Sav. geol. zavod, Beograd.
- JOVANOVIĆ, R., MOJIČEVIĆ, M., TOKIĆ, S. I ROKIĆ, M. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Sarajevo K34-1 (Geology of the Sarajevo sheet).– Zav. za inž. geol. i hidrogeol. Građ. fak., Sarajevo, Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 52 str.
- KATZER, F. (1903): Geološki razvoj naslaga mrkog ugljena u zeničkoj kotlini.– Glasnik Zem. muzeja BiH, sv. XV, Sarajevo.
- KATZER, F. (1918): Die fossilen Kohlen Bosniens und der Herzegovina.– I Band, Wien.
- OLUJIĆ, J., PAMIĆ, O., PAMIĆ, J., MIHAJLOVIĆ, R., VELJKOVIĆ, D. & KAPELAR, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Vareš L34-133 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Vareš sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŽIVANOVIĆ, M. & MILOJEVIĆ, R. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Zenica L33-144 (Geology of the Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 60 str.
- ŽIVANOVIĆ, M., SOFILJ, J. & MILOJEVIĆ, R. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zenica L33-144 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd.

Postaje 8, 9 i 10 – Stops 8, 9 and 10

Novi Travnik, Ravno Rostovo I, Ravno Rostovo II

Mramori, Niskometamorfni škriljavci "Travničke serije", Granodioriti Marbles, Low-grade metamorphics (schists) of the "Travnik Series", Granodiorites

Hazim Hrvatović, Ivan Dragičević & Branimir Šegvić

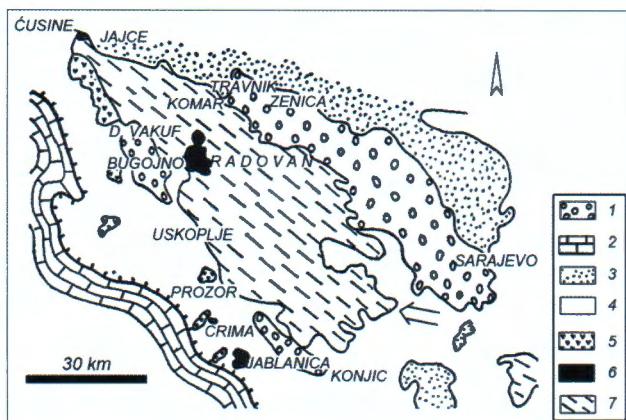
The Mid-Bosnian Schist Mountains (MBSM) is a fault-bounded body of (lower) greenschist facies metamorphic rocks in the hinterland of the active Dinaric fold-and-thrust belt. This Palaeozoic complex composed of pre-, syn- and post-Variscan formations deciphers a diverse lithological composition, including phyllite, mica schist, calc-schist, chloritoid schist, graphite-quartz schist, schistosemetasandstone and subordinate limestone and dolomite with penecontemporaneous rhyolite, mostly transformed into greenschist. Structurally, it is quite a complex area showing evidences of at least two Variscan deformations, and several younger Alpine-type deformation events, which reflect new folding and strong tangential tectonics. Within the MBSM, we shall see the following: (1) banded and massive marbles of Permo-Triassic age outcropped near Novi Travnik, (2) low-grade schist rocks (slates and phyllites), sandstones and porous limestones of the "Travnik serie" at the the Rostovo I. locality, and (3) acidic intrusive rocks of granite to quartz-diorite composition outcropping in the valley of Bijeli Potok, near Rostovo.

Ove točke promatranja smještene su u Srednjebosanskom škriljavom gorju uz cestu Novi Travnik-Bugojno. Pod ovim nazivom podrazumijevamo kompleks raznovrsnih stijena paleozojske do uključivo donjotrijaske starosti. U obliku jedinstvene zone ova se geotektonika jedinica visokog ranga proteže od Jajca na sjeverozapadu pa do Jablanice i Konjica na jugoistoku. Ona je tektonski uklopljena u mlađe, pretežito sedimentne stijene (mezozojski platformni vapnenci i dolomiti, fliševi jursko-kredne starosti, srednjotrijaske vulkanske stijene i neogenske slatkvodne taložine). Kontakti su najčešće rasjedni, ali nalazimo i transgresivne kontakte mlađih sedimentnih formacija preko formacija "škriljavog gorja". Glavne karakteristike Srednjebosanskog škriljavog gorja preuzete su prema HRVATOVIĆ (1996), pod nazivom: "Alohtone paleozojsko-trijaske formacije, paleozoik Srednjebosanskog škriljavog gorja".

"Alohtoni paleozojski kompleks Srednjebosanskog škriljavog gorja (SBŠG)", koji čini dio središnjih Dinarida, uključen je u Intra-alpinsku noričku bosansku zonu (FLÜGEL,

1990). Zona je sastavljena od varisijskih metasedimenata i metavulkanita, kao i postvarisijskih formacija na koje diskordantno naliježu stijene Alpinskog ciklusa (HRVATOVIĆ, 1996) (Sl. 1).

Geološki razvoj paleozojskog SBŠG prikazan je stupom (Sl.2). Najstarije stijene pripadaju ordovičijsko-silurskim? metamorfnim sekvincama P-T uvjeta facijesa zelenih škriljavaca, te podređeno epidot-amfibolitskog facijesa. Spomenute sekvene su sastava kvarc-muskovitnog škriljavca, filita, kloritnog škriljavca, kloritoidnog škriljavca, klorit-epidot amfibolskog škriljavca s pojavama vapnenaca, mramora, metapješčenjaka, te kvarcita. Navedene metamorfne stijene također uključuju manje do veće mase riolita i podređeno metabazalta u formi hipoabisalnih silova i vulkanskih tokova, koji su u nekim područjima proslojeni piroklastičnim stijenama. To ukazuje na sinsedimentacijski karakter riolitnog vulkanizma. Svježi rioliti su rijetki iz razloga što su u najvećoj mjeri izmijenjeni u varijetete ortogriništa. S druge strane ortoamfiboliti toleitnog afiniteta se u nekim područjima javljaju unutar metasedimentnih sekvenci.



Slika 1. Skica položaja Srednjebosanskog škriljavog gorja i okolnih jedinica (ŠARAC & PAMIĆ, 1981). Legenda: 1 Neogenski slatkovodni bazeni; 2 Sedimenti mezozojske karbonatne platforme; 3 Bosanski fliš; 4 Pretežno trijaski sedimenti; 5 Srednje-trijaske vulkanske stijene; 6 Srednje-trijaske plutonske stijene; 7 Paleozoik Srednjebosanskog škriljavog gorja.

Figure 1. Sketch-map showing location of the Mid-Bosnian Schist Mts. and the surrounding units (ŠARAC & PAMIĆ, 1981). Legend: 1 Neogene fresh-water basins; 2 Mesozoic carbonate platform sediments; 3 Bosnia flysch; 4 Mostly Triassic sediments; 5 Middle Triassic volcanic rocks; 6 Middle Triassic plutonic rocks; 7 Paleozoic of Mid-Bosnian Schist Mts.

Do danas nikakva fosilna zajednica nije nađena u metamorfnim sekvcencama silura. K-Ar datiranje načinjeno je na "bijelom tinjcu" iz metapelita, te je dobivena starost od 343 Ma (PALINKAŠ et al., 1996). No, valja primijetiti da su također dobivena i dva raspona starosti od 121 do 92 Ma iz metariolita, te 45–35 Ma iz minerala Alpskih žila.

Konkordantno na silurske metamorfne sekvene naliježu fosiliferne platformski vapnenci, dolomiti i lapor devonske starosti (ŽIVANOVIĆ, 1979). U nekim područjima u ove karbonatne stijene prodiru silovi metariolita koji su posljedica druge faze vulkanske aktivnosti (HRVATOVIĆ, 1996).

Smatra se da formacije karbonske starosti nisu razvijene unutar paleozojskog kompleksa Srednjebosanskog škriljavog gorja, iako su karbonske formacije sasvim uobičajene u drugim paleozojskim alohtonima unutarnjih Dinarida. No, u nekim dijelovima paleozojskog kompleksa SBŠG pojavljuju se bazaniti proslojeni metapelitima debljine više od 100 m. Opisana pojava se može korelirati s događajem u ranom karbonu variscijske Europe poznatom po izraženom baznitnom vulkanizmu (ZIEGLER, 1990).

Postvariscijske formacije bez fosilnih zajednica, sastavljene od heterogenih breča i konglomerata, diskordantno naliježu na paleozojski kompleks SBŠG-a. Ulomci metariolita i metasedimenata čine glavne konstituente breča i konglomerata. U nekim područjima uz ove stijene javljaju se i kvarc-sericitni škriljavci, kalcijski škriljavci i pješčenjaci. Diskordatno na vršni dio ove sekvene naliježu evaporiti s dolomitnim brečama i belerofonskim vapnencima koji obilježavaju početak Alpskog ciklusa.

Dvojben je položaj Travničke formacije (ŽIVANOVIĆ, 1979) sastavljene od šistoznih prahovnjaka, pješčenjaka i metasedimenata u kojima nije dokumentirano prisustvo fosila.

STAROST	DEBLJINA (m)	LITOLOGIJA	FORMACIJE
Perm-Trijas	450		Travnik formacija: slejtovi, filiti i metapješčenjaci
Gornji Perm	450		Bellerophon lms. formacija Evaporit formacija
Donji Perm	500		Kruščica formacija kvarc-konglomerati i pješčenjaci, karbonatne breče, polimiktne breče
Karbon		Vulkanske breče	
Devon	400	Rioliti	
Silur? Ordovicij?	>1000	Kruščica formacija vapnenci, mramori, dolomiti	
		Rioliti	
		Rioliti mramori, dolomiti	

Slika 2. Geološki stup Srednjebosanskog škriljavog gorja (HRVATOVIĆ, 1996).

Figure 2. Geological column for the Mid-Bosnian Schist Mts. (HRVATOVIĆ, 1996).

Uslijed nedostatka valjanih paleontoloških i radiometrijskih podataka izuzetno je teško prezentirati adekvatni geodinamski evolucijski model paleozojskog kompleksa SBŠG-a. Ipak, unutar kompleksa dokumentirana su geološka obilježja zajednička onima u Variscijskoj Europi i Alpama (PAMIĆ & JURKOVIĆ, 2000). Moglo bi se prepostaviti da je geodinamska evolucija paleozojskog kompleksa SBŠG-a, kao i drugih paleozojskih kompleksa variscijske noričko-bosanske zone, morala biti genetski vezana na razvoj Paleotethysa (prema FLÜGEL, 1990).

Inicijalni procesi riftovanja za koje se drži da označavaju početak razvoja Paleotethysa zahvaćaju tijekom ordovicija ili ranog silura sjevernu marginu Gondwane u još uvijek nedefiniranim predvariscijskim terenima. Na riftovanje upućuje pojava bazalta i riolita koji su praćeni silvskom metamorfnom sekvencom.

Otvaranje Paleotethysa je najvjerojatnije započelo u kasnom siluru ili ranom devonu nastavljajući njegovom dife-

rencijacijom. Područje šelfa (karbonatna platforma) je egzistiralo duž sjeverne marge Gondwane dok su se klastiti i mikriti taložili u bazenskim okolišima, proslojeni s bazanitima. Pojave ortometamorfita toleitske provenijencije unutar metasedimentne sekvence upućuje na okoliš otvorenog oceana.

Unutar SBŠG je KATZER (1924) prepoznao pojavu transverzalnog boranja što je upućivalo na dvije generacije deformacijskih pokreta. Nedavno, HRVATOVIĆ (1996) prepoznaće tri genetski neovisna sustava boranja koja su još uvijek nedatirana. Temeljem nedovoljnih radiometrijskih podataka (PALINKAŠ et al., 1996) B_1 boranje (prema HRVATOVIĆ, 1996) vuče podrijetlo u nekom predvariscijskom događaju dok bi B_2 boranje moglo biti vezano na variscijske deformacije na koje upućuje i K-Ar starost od 343 Ma dobivena iz metapelita. B_3 boranja najvjerojatnije potjeće iz

tektonskih aktivnosti koje nastupaju nakon glavnog variscijskog deformacijskog događaja dolazi do ranoperske resgresije i snažnog bočnog i lejevog transkurentnog rasjedanja. Transpresijski i transtenzijski rasjedi duboko se usijecaju u variscijsku osnovu kontrolirajući i predodređujući podrijetlo izoliranih bazena (ZIEGLER, 1990). Konačno, variscijske i postvariscijske formacije paleozojskog kompleksa SBŠG su uključene u Pangeu, kasnije rascijepanu mezozojskim procesima riftovanja i otvaranjem Neotethysa.

Postaja 8: Novi Travnik

U zasjeku ceste koja od Novog Travnika preko Ravnog Rostova vodi do Bugojna, u dolini rječice Rijeke nalaze se izdanci slojevitih masivnih mramora permotrijaske starosti.



Slika 1. Izdanak mramora.
Figure 1. Outcrop with marble.

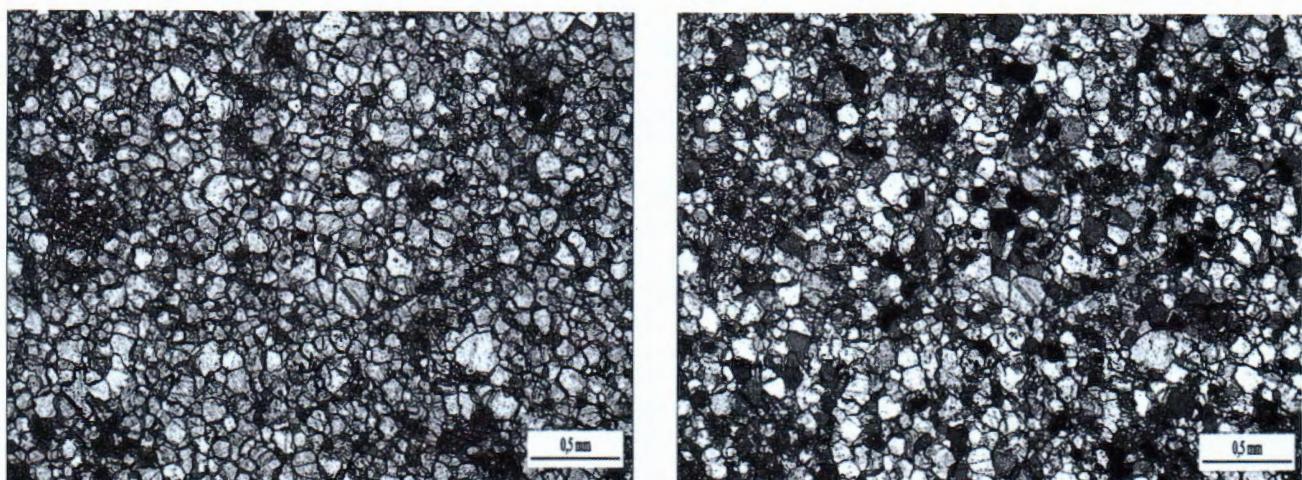
perioda rane krede koji je obilježen metamorfnim overprintom starosti 121–92 Ma (starost dobivena iz metariolita). Asocijirane Alpske metamorfne žile, koje često sijeku variscijske formacije, vezane su na eocenske kompresijske i oligocenske transpresijske pomake (43–35 Ma).

Završetkom glavne variscijske deformacijske faze, dolazi do početka ekshumacijskih procesa variscijskih tektonostratigrafskih jedinica. Postvariscijske formacije diskordantno naliježu na variscijsku osnovu na što upućuje: (1) nedostatak metamorfnih stijena na kontaktu variscijskih i postvariscijskih formacija, (2) oštra? diskordantnost, (3) pretaloživanje variscijskih stijena, posebice metariolita u transgresivne krupozrnaste klastite, i (4) paleontološki i geokronološki podaci (PAMIĆ & JURKOVIĆ, 2000).

Navedena promišljanja su kompatibilna s dobro obrađenim terenima permske starosti u variscijskoj Europi. Uslijed



Slika 2. Izdanak mramora.
Figure 2. Outcrop with marble.



Slika 3. Mikrofotografije mramora s lokaliteta Rostovo (Novi Travnik). Ljeva mikrofotografija je snimljena s paralelnim nikolima, dok je desna snimljena s ukrštenim nikolima. Obratiti pozornost na ekvidimenzionalne blaste kalcita koji definiraju jasnu granoblastičnu strukturu i homogenu teksturu.

Figure 3. Microphotographies of marble from the Rostovo locality. Left microphotography was taken under parallel polars, whereas the right microphotography was taken under crossed polars. Note the equidimensional calcite blasts defining a clear granoblastic texture and homogenous structure.

Geološki odnosi prikazani su na listu Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, list Zenica (ŽIVANOVIĆ et al., 1971) i u tumaču za istu kartu (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1971). Pripadaju gornjem dijelu tzv. "Bojske serije" koja bi stratigrafski bila ekvivalent belerofonskih vapnenaca. Litološki prevladavaju tinjasto-kvarcno-karbonatni škriljavci s pro-slojcima plavih vapnenaca, mramoriziranih vapnenaca i debelo slojevitih mramoriziranih pjeskovitih vapnenaca. Serija završava karbonatnim škriljavcima, lećama dolomita, plavim kvrgavim vapnencima i šupljikavim vapnencima. Debljina gornjeg dijela "Bojske serije" iznosi oko 600 m. Izdanci mramora su prikazani na Slikama 1 i 2.

Temeljna mikrofiziografska svojstva prikazana su na Slici 3 (analitičar: B. ŠEGVIĆ).

Na Slici 3 vidljiv je uzorak kalcitnog mramora karakteristične granoblastične strukture i homogene teksture. Stijena je gotovo monomineralna s izrazito ekvidimenzionalnim blastima kalcita. Sudeći po veličini blasta, ovaj izokemijski kontaktolit se nalazio podalje od kontakta s magmatskom intruzijom. Protolit nije sadržavao silikatno onečišćenje (netopivi ostatak), odnosno nisu dosegnute dosta reakcijske temperature, slijedom čega u ovom mramoru izostaju dijagnostički akcesorni minerali kao što su hedenbergit, grosular i drugi.

Postaja 9: Ravno Rostovo I

Niskometamorfni škriljavci, odnosno slejtori i rjeđe filiti, pješčenjaci kao i šupljikavi vapnenci zauzimaju velike



Slika 1. Izdanci niskometamorfnih škriljavaca.
Figure 1. Low grade metamorphic schists.



Slika 2. Izdanci niskometamorfnih škriljavaca.
Figure 2. Low grade metamorphic schists.

površine unutar Srednjebosanskog škriljavog gorja. Superpozicijski im je određena permo-trijaska starost. Boja škriljavaca je najčešće zelenasta, rjeđe siva do sivozelena. U njima su rijetki tanji slojevi limonitičnih pješčenjaka i mramoriziranih vapnenaca. Slojevitost, odnosno škriljavost vrlo dobro je izražena. Fosilni ostaci nisu nađeni. Izuzetak su kamene jezgre koje podsjećaju na mijacitese. Unutar "travničke serije" prisutna su manja tijela riolita te albitskih dijabaiza i spilita. Ovi posljednji dolaze kao žice i manji štokovi. Pretpostavlja se da pripadaju trijaskoj magmatskoj aktivnosti. Cijela serija je probijena brojnim kvarcним žicama mm-cm-dm dimenzija.

Stijene "travničke serije" intenzivno su borane (kose do prevrnute pretežito izoklinalne bore, m-dm-hm dimenzija). U suglasju s temeljnim strukturama redovito je razvijeno više vrsta klivaža i popratnih struktura (budeni npr.).

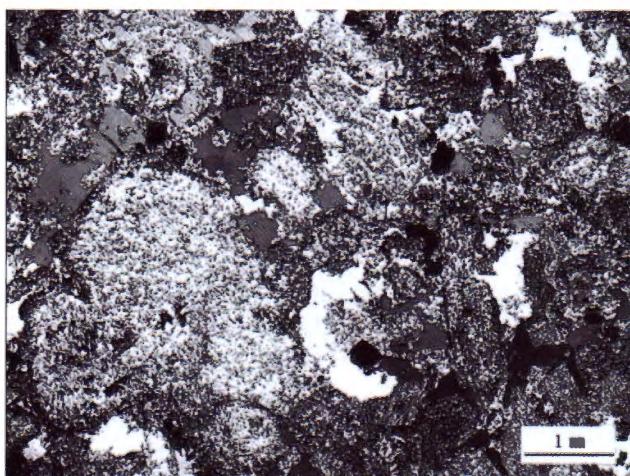
Izdanci niskometamorfnih škriljavaca "Travničke serije" prikazani su na Slikama 1, 2 i 3 (Postaja 9).



Slika 3. Izdanci niskometamorfnih škriljavaca.
Figure 3. Low grade metamorphic schists.

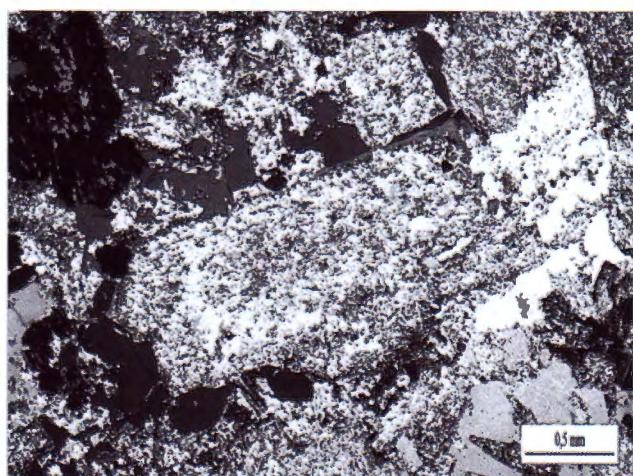
Postaja 10: Ravno Rostovo II

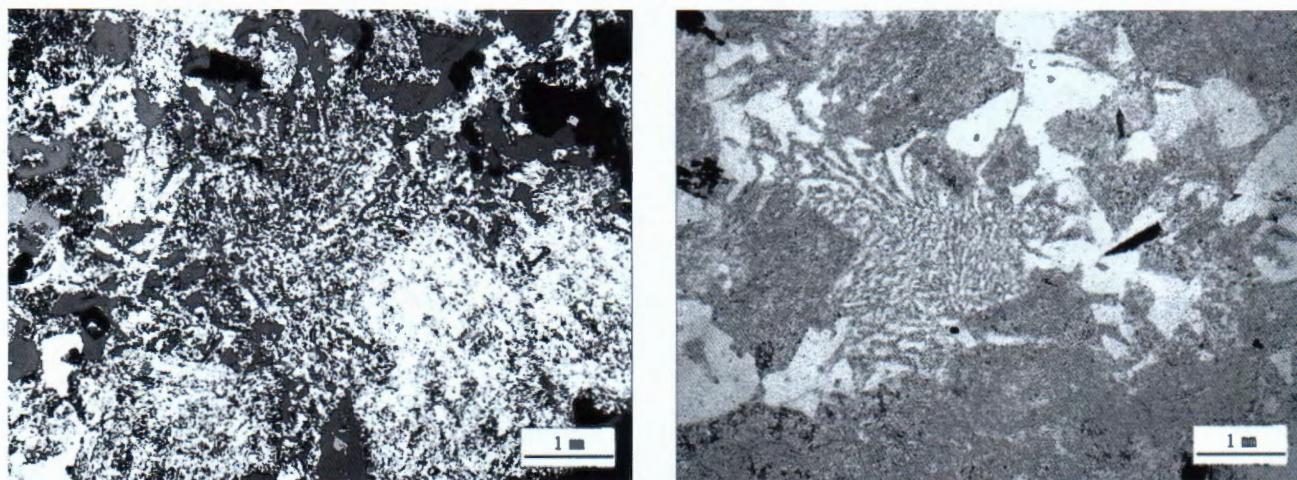
U dolini Bijelog potoka, u blizini Ravnog Rostova u usjeku puta izdanjuju na većim površinama masivni svjetlo sivi, zelenkastosivi do sivi granodioriti. Na osnovnoj geolo-



Slika 1. Mikrofotografije kiselih intruziva s lokaliteta Rostovo. Obje mikrofotografije su snimljene s ukrštenim nikolima. Obratiti pozornost na potpuno alterirana zrna K-feldspata (lijevo) i plagioklaza (desno). Rezistentna zrna kvarca nepravilna oblike zapunjavaju međuprostor feldspata.

Figure 1. Microphotographies of acid intrusive rocks from the Rostovo locality. Both microphotographies were taken under crossed polars. Note the complete alteration of K-feldspar (left) and plagioclase (right). Resistant quartz grains decipher an irregular shape filling the interstitial space between feldspar.





Slika 2. Mikrofotografije kiselih intruziva s lokaliteta Rostovo. Ljeva mikrofotografija je snimljena s ukrštenim nikolima, dok je desna snimljena s paralelnim nikolima. Obratiti pozornost na mikrografsko proraštanje kvarca i K-feldspata u obliku klinastog pisma.

Figure 2. Microphotographies of acid intrusive rocks from the Rostovo locality. Left microphotography was taken under crossed polars, whereas the right microphotography was taken under parallel polars. Note the micrographic intergrowth of K-feldspar and quartz.

Škoj karti. List Zenica, ove su stijene označene kao biotitski kvarcdioriti (ŽIVANOVIĆ et al., 1971). Autori tumača za istu kartu (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1971), uvrštavaju ove stijene u srednji trijas a javljaju se najčešće u obliku većih žica i štokova te redovito probijaju permske naslage.

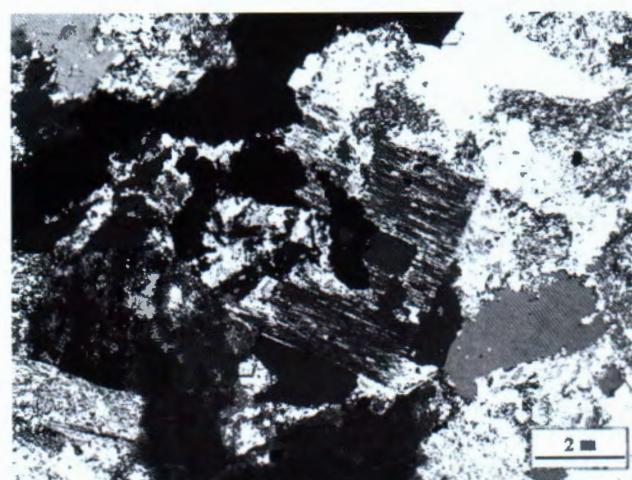
Analizirane magmatske stijene s područja Rostova (analitičar: B. ŠEGVIĆ), su gotovo u potpunosti alterirane, a klasificiraju se kao kiseli intruzivi iz familije granita-granodiorita-kvarcdiorita. Struktura im je hipidiomorfnozrnata do granofirna, a tekstura homogena. Izdanci ovih stijena prikazani su slikama 4 i 5.

Alkalijski feldspati koji dominiraju stijenom su sericitirani i djelomice kaolinizirani (Sl. 1). Još su dijelom uščuvane konture krupnijih zrna, najvjerojatnije ortoklasa. Plagioklas je također prisutan u ovoj paragenezi u obliku krupnijih

alteriranih zrna. Tomu svjedoči Slika 1 (desno) gdje su djelomično sačuvane konture zrna plagioklaza definirane karakterističnim sraslačkim lamelama. Međuprostore feldspata ispunjava kvarc. Kako se vidi iz Slike 1, neobična je oblika, ali karakteriziran jasnim unduloznim potamnjenjem. Nerijetko se zapaža eutektičko mikrografsko proraštanje kvarca i K-feldspata u obliku klinastog pisma (Sl. 2).

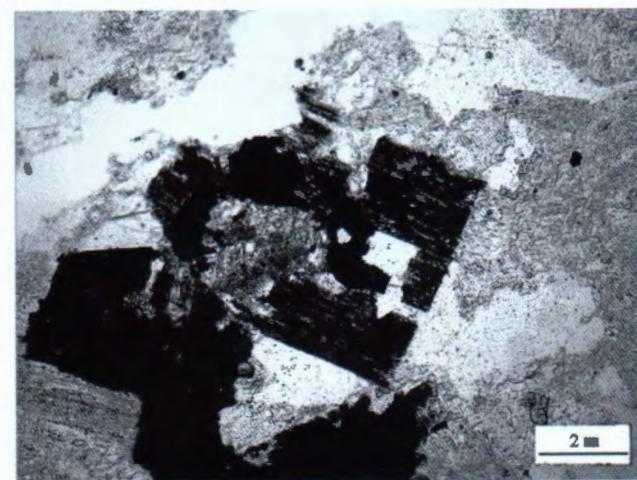
Od feromagnezijskih minerala u ovoj paragenezi su prisutni biotit i u manjoj mjeri muskovit. Kako se vidi u Slici 3, spomenuti tinjci su u pravilu alterirani na način da se najčešće u presjecima okomitim na kristalografsku os c vidi njihova djelomična kloritizacija uz oslobođanje Fe u vidu Fe-oksida (magnetit).

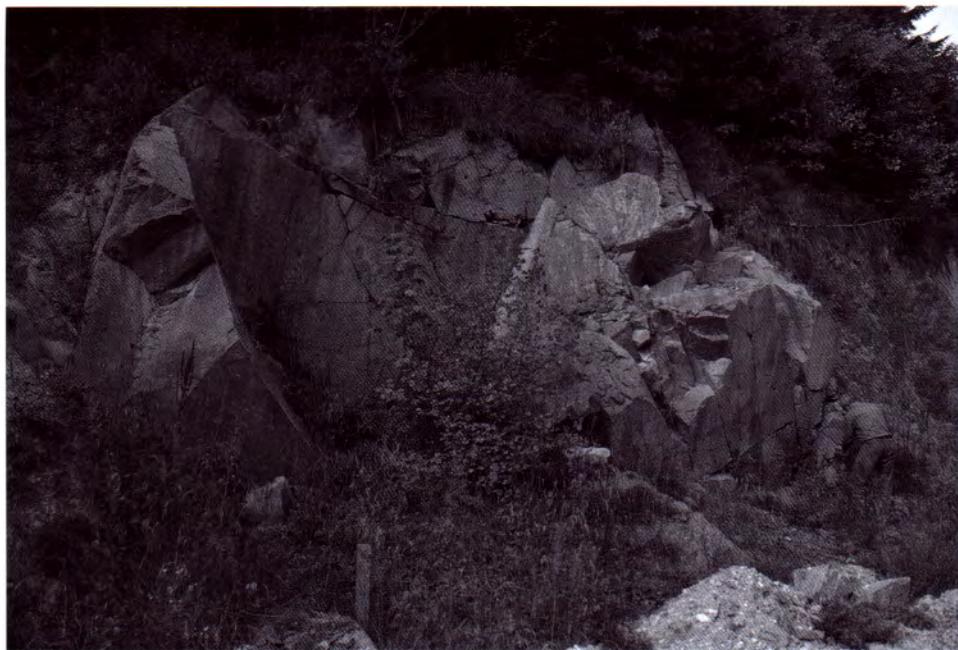
Izdanci granita-granodiorita-kvarcdiorita prikazani su na Slikama 4 i 5.



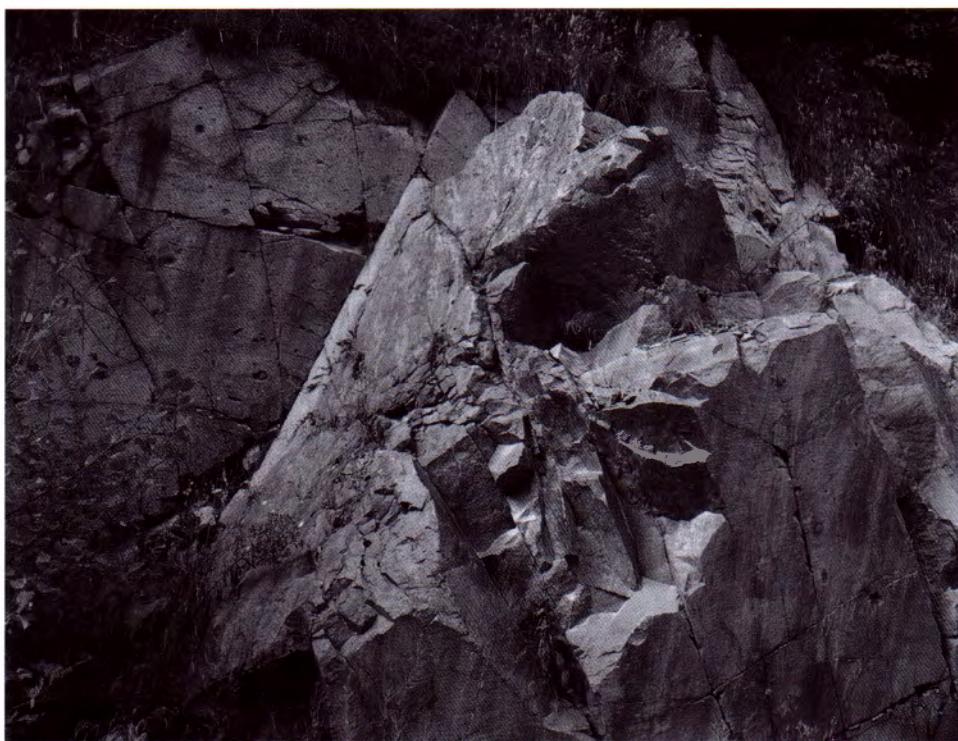
Slika 3. Mikrofotografije kiselih intruziva s lokaliteta Rostovo. Ljeva mikrofotografija je snimljena s ukrštenim nikolima, dok je desna snimljena s paralelnim nikolima. Obratiti pozornost na djelomičnu kloritizaciju biotita. Tamni, opaki mineral vjerojatno odgovara Fe oksidu.

Figure 3. Microphotographies of acid intrusive rocks from the Rostovo locality. Left microphotography was taken under crossed polars, whereas the right microphotography was taken under parallel polars. Note the partial chloritisation of biotite. Dark and opaque phases are due to Fe-oxide mineralization.





Slika 4. Granit-granodiorit-kvarcdiorit.
Figure 4. Granite-granodiorite-quartzdiorite.



Slika 5. Granit-granodiorit-kvarcdiorit.
Figure 5. Granite-granodiorite-quartzdiorite.

LITERATURA

FLÜGEL, H.W. (1990): Das voralpen basement in Alpen-Mediterranean belt – Überblick und Problematik.– Jährb. Geol. Bundesan., 133, 181–221, Wien.

HRVATOVIĆ, H. (1996): Structural and facies analyses of parts of the Mid Bosnian Schist Mts. (in Bosnian).– Doktorska disertacija, Sveučilište u Tuzli, 112 str., Tuzla.

KATZER, F: (1924): Geologie Bosniens und Herzegowina.– Bd. 1, Sarajevo, 480 str.

PALINKAŠ, L., MAJER, V., BALOGH, K., BERMANEC, V. & JURKOVIĆ, I. (1996): Geochronometry and tectonochronometry of the metamorphism in the Inner Dinarides, Mid-Bosnian Schist Mts.– IGCP 356, Poster Session 2, 53, Bucuresti.

PAMIĆ, J. & JURKOVIĆ, I. (2000): Paleozoic tectonostratigraphic units of the northwest and central Dinarides and the adjoining South Tisia.– Int. Jour. Earth. Sci., 91, 538–554.

ŠARAC, M. & PAMIĆ, J. (1981): Metallogeny of the low-manganese iron ores from the Triassic Zone of the Inner Dinarides (in Bosnian, English Summary).– Monograph., Geol. glasnik, 17, 1–251, Sarajevo.

ZIGLER, P. (1990): Geological atlas of western and central Europe.– 2nd Ed. Shell intern. Petrol. Maatsch BV, Distrib. Geol. Soc. London Publ. House, Den Haag, 239 p.

ŽIVANOVIĆ, M. (1979): Paleozoic formations of the Mid-Bosnian Schist Mts. (in Serbian).– U: JURIĆ, M. (ur.): Paleozojske periode.– Geoinženjering, 55–66, Sarajevo.

ŽIVANOVIĆ, M. & MILOJEVIĆ, R. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zenica L33-144 (Geology of the Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 60 str.

ŽIVANOVIĆ, M., SOFILJ, J. & MILOJEVIĆ, R. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Zenica L33-144 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd.

Postaja 11 – Stop 11

Kupres

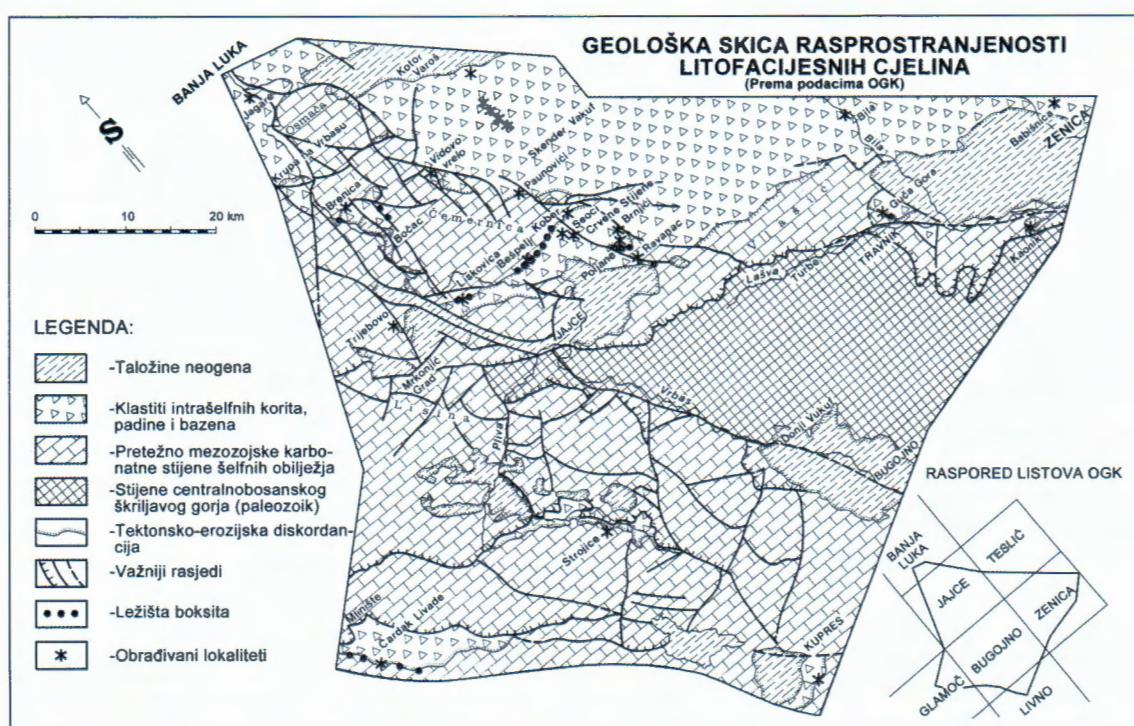
Sjeverni rub Jadranske karbonatne platforme Northern margin of the Adriatic Carbonate Platform

Ivan Dragičević

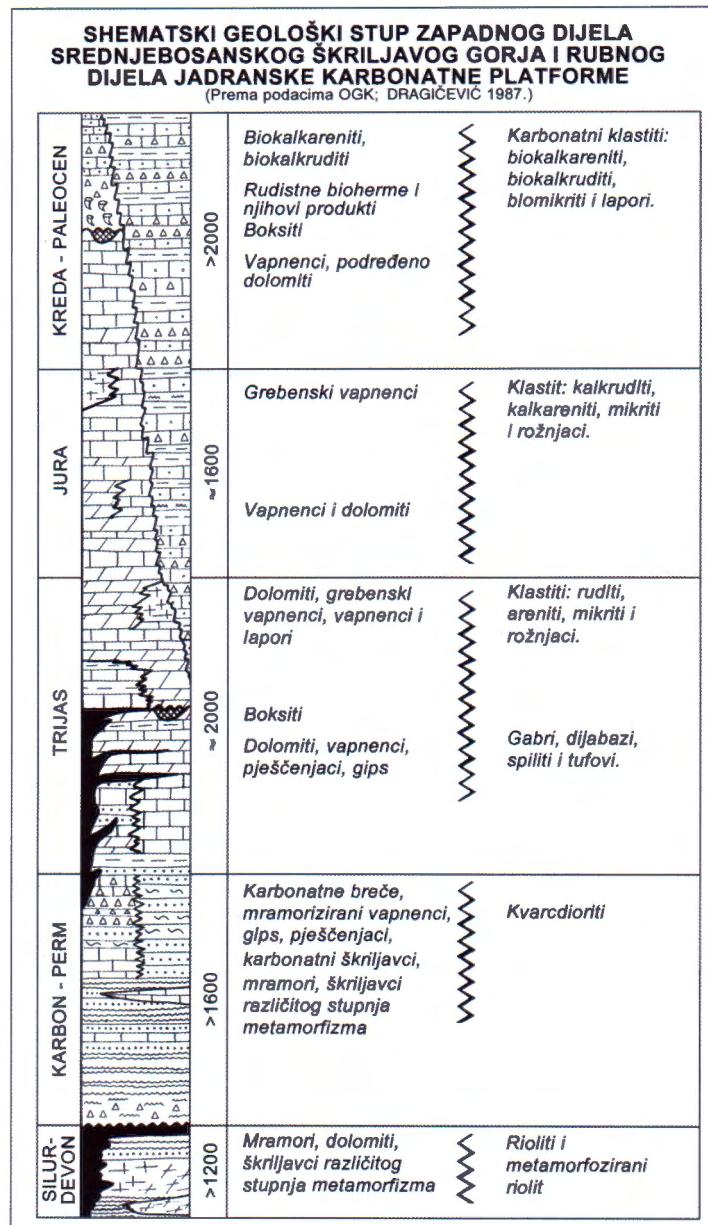
Evolution of the northern margin of the Adriatic carbonate from the Late Triassic to Paleogene will be presented. Including its pre-platform evolution, it will be described in four phases.

Pre-platform relationships the time span from the Permian to the Late Triassic represents initial phase of the evolution of the carbonate shelf. From the Late Triassic to the Early Cretaceous paleogeographic distribution of the carbonate platform, carbonate slope and basinal environment was relatively simple. In the Cretaceous some important changes were occurring along the platform margin such as emerging. Some series of small islands existed. However, most important changes happened from the Senonian to the Paleocene.

Tectogenesis of the northern margin of the Adriatic carbonate platform and forming of the modern tectonic relationship evolved within regional changes and events in the large area if the Mediterranean. Tectonic movements which act from the Late Cretaceous to the Quaternary resulted in very complicated structural pattern.



Slika 1. Geološka skica rasprostranjenosti litofacijsnih cjelina.
Figure 1. Geological sketch of distribution of lithofacial units.



Slika 2. Shematski geološki stup.
Figure 2. Schematic geological column.

Geološki odnosi sjevernog ruba Dinaridske, odnosno Jadranske karbonatne platforme bit će prikazani prema radovima: DRAGIČEVIĆ (1987, 1997) i DRAGIČEVIĆ & VELIĆ (1994, 2001, 2002).

Evolucija sjevernog ruba Jadranske karbonatne platforme može se pratiti od gornjeg trijasa do paleoena. Recentno on ima pružanje sjeverozapad-jugoistok i može se prepoznavati od Slovenskog jarka na sjeverozapadu do približno poteza Skadar-Peć na kojem su prisutni pelagički elementi Pindos-Cukali-Budva zone na Kosovu. No odmah treba istaknuti da se paleogeografski kontinuitet može prepoznati na sjeverozapadu u području južnih vapnenačkih Alpa i na jugoistoku u području Helenida. Na površini je recentno rub obilježen krajnjim dosegom mezozojskih karbonatnih stijena platformnih obilježja prema sjeveroistoku udruženih s klastitim koje ubičajeno nazivamo "fliševi". U današnjim

zamršenim geološkim odnosima sjeverni rub je najdostupniji promatranju na potezu Karlovac-Sarajevo. Podaci koji su prikupljeni proučavanjem ovog dijela ruba, a poglavito između rijeka Vrbasa i Bosne, dali su solidnu osnovu za interpretaciju njegove evolucije na širem području. Litostratigrafski odnosi prikazani su na geološkoj skici rasprostranjenosti velikih litofacijesnih cjelina (Sl. 1) i shematskom geološkom stupu (Sl. 2).

Litostratigrafski odnosi

U razmatranom području, između Vrbasa i Bosne, srećemo stijene stratigrafskog raspona od silura do kvartara (Sl. 1 i 2). Ovdje će u najosnovnijim crtama biti prikazana litostratigrafija temeljena na podatcima listova i tumača Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, te rezultatima novijih istraživanja koji su prikazani u radovima VUJNOVIĆ (1980), DRAGIČEVIĆ (1981), TOMIĆ (1983) i PAPEŠ (1985).

Silur i devon

Raznovrsne stijene silur-devona zauzimaju znatno prostranstvo u području centralnobosanskog škriljavog gorja u jugositočnom dijelu istraživanog terena (Sl. 1).

Silurske stijene predstavljene su uglavnom škriljavcima različitog stupnja metamorfizma (Sl. 2), (kvarc-sericitski, kloritsko-sericitski, tinjčasto-kvarc-grafitični), rjeđe subgrauvaknim i subarkoznim pješčenjacima s vrlo rijetkim vapneničkim proslojcima. Paleontološki nisu dokazane, pa im je stratigrafska pripadnost određena na temelju superpozicije. One su, naime, u konkordatnom odnosu s krovinskim, paleontološki dokazanim, dolomitima i vapnencima donjeg i srednjeg devona.

Stijene devona zastupljene su uglavnom škriljavcima različitog stupnja metamorfizma (sericit-klorit-kvarcni), grebenskim vapnencima, dolomitima, mramorima, te riolitima i metamorfoziranim riolitima (Sl. 2).

Starost im je utvrđena na temelju relativno učestalih paleontoloških nalaza. U grebenskim vapnencima su određeni tabulatni koralji i stromatoporidi, a u rekristaliziranim vapnencima bogata zajednica konodonta na temelju kojih je dokazan razvoj cijelog devona (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975; VUJNOVIĆ, 1981; VUJNOVIĆ et al., 1981).

Debljina silur-devonskog kompleksa procjenjuje se na više od 1200 m.

Karbon i perm

Stijene karbona i perma izgrađuju najveći dio područja centralno-bosanskog škriljavog gorja. Njerasprostranjenije su u jugoistočnom dijelu terena na listovima Zenica i Bugojno, a na listu Jajce zauzimaju mali prostor. Njihov je odnos prema starijim stijenama diskordantan.

Karbon je predstavljen škriljavcima različitog stupnja metamorfizma, mramorima, krabonatnim škriljavcima, vapnencima i pješčenjacima (Sl. 2). Paleontološki nije dokumentiran a starost mu je određena superpozicijski s obzirom na paleontološki dokumentiran perm u krovini) (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975; VUJNOVIĆ, 1981; VUJNOVIĆ et al., 1981; MARINKOVIĆ & ĐORĐEVIĆ, 1981).

Permske stijene zastupljene su slično kao i karbonske, uglavnom škriljavcima različitog stupnja metamorfizma, pješčenjacima, mramoriziranim vapnencima, krabonatnim brečama, gipsom i anhidritima (Sl. 2). Stijene perma zbog nedostatka paleontoloških dokaza i slične litologije u pojedinim dijelovima terena nije bilo moguće razdvojiti od starijih karbonskih i mlađih trijaskih, pa su često prikazane kao karbon-perm ili permo-trijas. Ipak se na temelju nalaza konodonta na nekim lokalitetima moglo provesti detaljnije raščlanjivanje.

Debljina stijena označenih kao karbon-perm veća je od 1600 m.

Trijas

Stijene trijasa zauzimaju znatan dio razmatranog područja, a vezane su uglavnom za mezozojsku karbonatnu platformu i Srednje-bosansko škriljavo gorje (Sl. 1). Najbolje su razvijene na potezu Bugojno – Donji Vakuf – Jajce – Mrkonjić Grad, te u području planine Vlašić.

Paleontološki je dokazan kompletan trijas koji se dijelom može usporediti s klasičnim alpskim razvićem. Odlikuje se značajnom facijesnom raznolikošću. Na više mjesta utvrđen je kontinuitet sedimentacije iz perma (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975; VUJNOVIĆ, 1981; VUJNOVIĆ et al., 1981; MARINKOVIĆ & AHAC, 1979; MARINKOVIĆ & ĐORЂEVIĆ, 1981).

U donjem trijasu razvijeni su sajski i kampilski podkat. Predstavljeni su različitim tipovima crvenih do ljubičastih pješčenjaka, odnosno pločastih, često oolitičnih vapnenaca s laporovitim proslojcima. U njima je nađena za donji trijas karakteristična fosilna zajednica (puževi, školjke i amoniti). Na listovima Zenica i Bugojno donjem je trijasu pribrojena tzv. "Travnička serija" koja zauzima značajno prostranstvo, a sastoji se od karbonatnih škriljavaca, kvarc-tinjčastih karbonatnih škriljavaca i vapnenaca. Njezino raščlanjivanje na podkatove nije provedeno zbog nedostatka paleontoloških dokaza.

Stijene srednjeg trijasa, anizika i ladinika odlikuju se najvećom facijesnom raznolikošću. Predstavljene su s jedne strane različitim tipovima plitkovodnih vapnenaca i dolomita, koji označavaju početne faze egzistencije karbonatne platforme Dinarida, a s druge strane magmatsko-metalogenetskim kompleksom gdje dolaze uz vulkanske i najveće mase intruzivnih stijena. To su pretežno gabri, dijabazi, spiliti i tufovi, smješteni uz unutarnji dio vanjskog ruba karbonatne ploče (PAMIĆ, 1982). Najljepše su razvijene na potezu Jajce-Bugojno, odnosno uz veliki voljevački rasjed (KATZER, 1926). Ovdje treba napomenuti da od samih početaka formiranja karbonatne platforme, odnosno šelfa, postoji i njezin rub, odnosno završetak s već formiranom morfološkom padinom prema otvorenim morskim prostorima.

U vapnencima je određena bogata fosilna zajednica uglavnom alga i moluska na temelju kojih su razdvojeni anizik i ladinik.

Na prelazu ladinika u karnik utvrđena je kopnena faza kada se pojavljuju boksi. U podini boksa su ladinčki spilit-keratofiri, a u krovini dolomiti karnika (VUJNOVIĆ, 1970; 1981).

Gornji trijas je pretežno u karbonatnom razvoju. Zastupan je dolomitima, vapnencima, grebenskim vapnencima, dok se u karniku pojavljuju i latori. To ukazuje na utjecaj kopnenih prostora (Sl. 2). Zbog već formiranog ruba karbonatnog šelfa i njegove padine za pretpostaviti je da bi nastajali dijleovi klastita bazenskih obilježja, a koji su morali nastajati njegovim mehaničkim trošenjem (ruditi, areniti, mikriti i rožnaci), mogli pripadati gornjem trijasu. Za ovo ne postoje paleontološki dokazi.

U dijelovima terena gdje je gornji trijas razvijen u facijesu vapnenaca ili se oni nalaze kao ulošci u dolomitima, na temelju vapnenačkih alga, foraminifera i moluska raščlanjen je u katove. Posebno se fosilfernošću ističu grebenski vapnenci s megalodontima.

Debljina trijaskih stijena iznosi oko 2000 m.

Jura

Jurske naslage u značajnoj mjeri sudjeluju u geološkoj građi na slici 1 prikazanog terena i kontinuirano se nastavljaju na trijaske. Nastale su u dva paleoambijentalna prostora:

plitkovodnom (platformskom) gdje su istaloženi različiti tipovi vapnenaca i dolomita najbolje razvijenih u Vlašiću, južnim i jugozapadnim dijelovima terena, te padinsko-bazenskom s različitim tipovima klastita (kalkruditi, kalkareniti, mikriti i rožnaci) (Sl. 1 i 2).

Mnogobrojne makro i mikrofossilne asocijacije omogućile su raščlanjivanje karbonatnog kompleksa šelfnih obilježja na donju, srednju i gornju juru. Malm je zahvaljujući raznolikosti facijesa podjeljen na katove. Istoču se grebenski vapnenci oksford-kimeridža s kladokoropsisima i posebno titonski sa sferoktinidama i velikim gastropodima (ŽIVANOVIĆ & MILOJEVIĆ, 1975; VUJNOVIĆ, 1981; VUJNOVIĆ et al., 1981; MARINKOVIĆ & AHAC, 1979; MARINKOVIĆ & ĐORĐEVIĆ, 1981; MOJIČEVIĆ et al., 1977; PAPEŠ, 1975a, 1975b).

Klastični kompleks razvijen je u krajnjem sjeveroistočnom dijelu terena, a proteže se u kontinuiranom pojasu od Banje Luke do Zenice (Sl. 1). Prema podatcima iz Osnovne geološke karte nastao je u Banjalučko-vrandučko-sarajevskom flišnom koritu. Najstarije paleontološke mikrofossilne zajednice koje su do sada nađene ukazuju na titonsku, a najmlađe na berijsku starost. Treba napomenuti da se radi o planktonskim oblicima (kalpionele), širokog stratigrafskog raspona pa je moguće da je dio klastita i stariji. Zbog toga je cijeli kompleks nazvan "jursko-kredna flišna serija". Sastoji se od izmjena kalkrudita, kalkarenita, lapor, biomikrita i rožnaca (sa čestim internim i eksternim teksturama karakterističnim za turbidite). Za pretpostaviti je da se u debelom kompleksu klastita nastalih na rubu i padini karbonatne platforme te pripadajućem bazenu, nalaze ekvivalenti cijele jure. S druge pak strane jura je kompletno razvijena na karbonatnom šelfu.

Na temelju litoloških obilježja autori listova Osnovne geološke karte (listovi Banja Luka, Jajce i Teslić), ovisno o otkrivenosti terena dijele ovu "flišnu seriju" u dva do četiri superpozicijska paketa. Postanak ovih sedimenata objašnjavaju mehanizmom mutnih struja, argumentirano mnogo-brojnim karakterističnim eksternim i internim teksturama.

Debljina jurskih sedimenata iznosi oko 1600 m.

Kreda

Sedimenti kredne starosti najrasprostranjeniji su u istraživanom prostoru. Predstavljeni su vapnencima i podređeno dolomitima, mjestimice rudistnim biohermama i njihovim produktima te karbonatnim klastitima (biokalkruditi, biokalkareniti, biomikruti i lapor) (Sl. 1 i 2). Nastali su u različitim okolišima, koji se, općenito, mogu svesti na tri paleoambijentalna područja.

Plitkovodni vapnenci i dolomiti, te rudistne bioherme i neki njihovi proizvodi (npr. kokine i kokiniti) nastali su na karbonatnoj platformi i njezinom rubu. Bogata mikrofossilna zajednica vapnenačkih algi i bentoskih foraminifera omogućila je izdvajanje pojedinih katova ili više katova zajedno u donjoj i gornjoj kredi. U bolje istraženim područjima (šire boksonosno područje Jajca) načinjeno je i detaljnije zoniranje u donjoj kredi (DRAGIČEVIĆ, 1981), a na osnovi rudista, foraminifera i algi dokazani su pojedini katovi i podkaktovi krede (DRAGIČEVIĆ, 1981; POLŠAK et al.,

1982; TOMIĆ, 1983). Treba istaknuti okopnjavanje odnosno emerziju regionalnih razmjera na prijelazu donja/gornja kreda različitog vremenskog trajanja u pojedinim područjima (najčešće alb-senon), posljedica koje su postanak mnogo-brojnih ležišta visokokvalitetnih boksita.

Na karbonatnoj padini u pripadajućem bazenu nastala je znatna količina karbonatnih klastita podrijetlo kojih je uglavnom s ruba platforme i od rudistnih biohermi. Prevladavaju biokalkruditi, biokalkareniti, biomikriti i lapor. Mojičević et al. (1977) smatraju da u području lista Banja Luka postoji kontinuitet sedimentacije klastita kroz cijelu kredu, dok su na listovima Jajce, Teslić i Zenica prikazani samo gornjakredni klastiti koji su u diskordantnom odnosu sa starijim klastitima, označenim kao jura-kreda. U okviru gornjakrednih klastita izdvojena su dva superpozicijska paketa: donji laporovito-kalkarenitni i gornji konglomeratno-kalkarenitno-laporoviti.

Na temelju analiza pelagičkih foraminifera, uglavnom globotrunkana, ustanovljen je kontinuitet sedimentacije kroz gornju kredu.

Mehanizam postanka ovih sedimenata, prema registriranim internim i eksternim teksturama, pripisuje se turbiditnim tokovima.

Treći paleoambijentalni prostor su intrašelfna, odnosno intraplatformska rubna korita gdje su razvijeni isključivo karbonatni klastiti mastrichta. Uglavnom su zastupljeni biokalkareniti, biokalkruditi, biomikriti, lapor i konglomerati, odnosno breče. Leže transgresivno i diskordantno na različitim stratigrafskim članovima karbonatne podloge od gornjeg triasa do alba. Taloženi su kroz cijeli mastricht što je dokazano bogatim zajednicama pelagičkih foraminifera (globotrunkane) i vapnenačkog nanoplanktona. Izvoršni materijal potječe od rudistnih biohermi i "razbijenog" ruba karbonatnog šelfa

Debljina krednih naslaga prelazi 2000 m.

Paleocen

Prema podatcima iz Osnovne geološke karte u razmatranom području nisu dokazane stijene paleocenske starosti. Iako su pojedini autori pretpostavili kontinuirani prijelaz iz gornjakrednih klastita u paleocenske, nedostajali su paleontološki dokazi.

Novijim radovima (POLŠAK et al., 1982; TOMIĆ, 1983), te naročito DRAGIČEVIĆ (1987), snimanjem detaljnih stratimetrijskih profila i analiziranjem jezgara bušotina na temelju vapnenačkog nanoplanktona utvrđen je kontinuirani prijelaz iz krede u paleocen, kako u području karbonatne padine i pripadajućeg bazena, tako i u području intrašelfnih rubnih korita.

U litološkom pogledu zastupljeni su isti tipovi stijena kao i u gornjoj kredi, jedino nedostaju proizvodi razaranja rudistnih grebena, ali ih zamjenjuju drugi grebenotvorci (TOMIĆ, 1983). Najmlađe taložine koje su nastale u ovim paleoambijentalnim sredinama pripadale bi donjem dijelu gornjeg paleocena. Mlađi sedimenti nisu paleontološki dokazani.

Neogen

Taložine neogena, koje nisu bile predmet razmatranja, susrećemo u nekoliko međusobno odvojenih bazena (dio Zeničko-sarajevskog, Bugojanski, Jajačko-dnolučki i Ko-



Slika 3. Ladinički "Slojeviti" spiliti u dolini Vrbasa.
Figure 3. Ladinian stratified spilites in the valley of the Vrbas River.



Slika 4. Karnički boksite na Ljuši.
Figure 4. Carnian bauxite at the Ljuša locality.

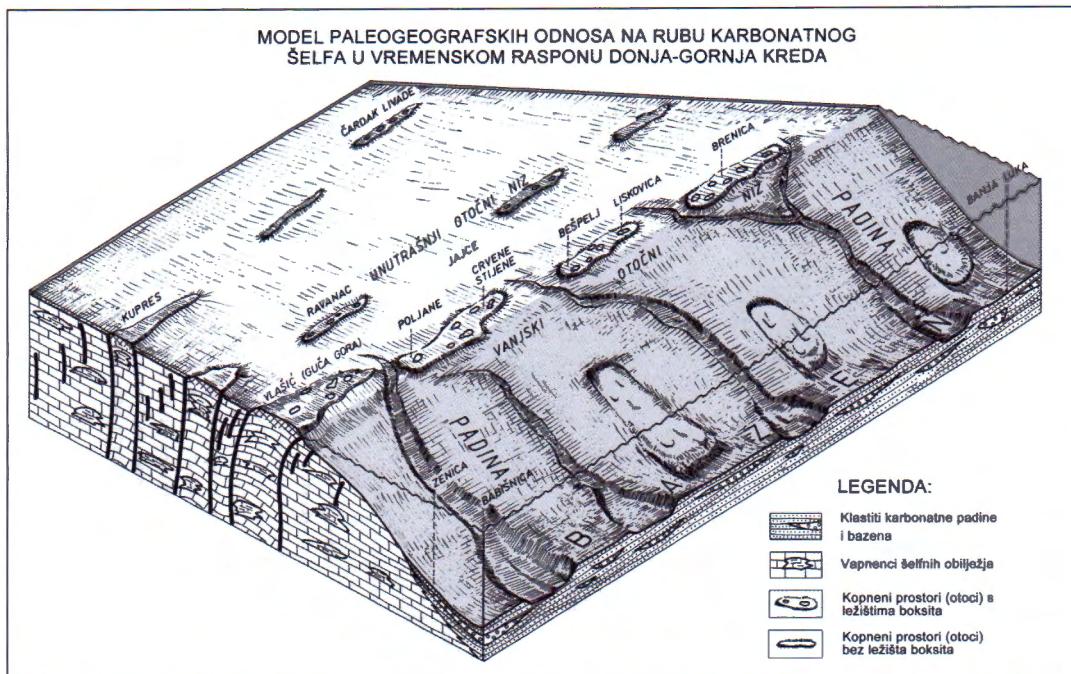
tor-varoški, te nekoliko manjih bazena) (Sl. 1). Zastupljene su uglavnom konglomeratima, brećama, pješčenjacima, vapnencima, laporima i ugljenom koji su nastajali u stratigrafskom rasponu od oligomiocena do pliokvartara. Pripisuju se molasnom tipu sedimenata.

Paleogeografska evolucija sjevernog ruba karbonatne platforme

Geološka povijest razmatranog područja može se objasniti kroz četiri etape u vremenskom razdoblju perm-paleo-

gen. Svaka od njih odlikuje se posebnim paleogeografskim odnosima i kontinuirano se nadovezuje jedna na drugu.

Predplatformni odnosi, razdoblje perm-gornji trijas, vrijeme je početka, odnosno inicijalnih faza egzistencije karbonatnog šelfa. Već u permu egzistira više manjih karbonatnih platformi (Jajce-Šipovo, Kupres, Istočna Bosna), koje su kasnije "uklopljene" u debeli slijed karbonatnih stijena. Slični se uvjeti uspostavljaju u aniziku i dijelu ladinika kada se talože značajne količine pretežito algalnih vapnenaca. U



Slika 5. Model paleogeografskih odnosa na rubu karbonatnog šelfa u vremenskom rasponu donja-gornja krede.
Figure 5. Paleogeographic model at the carbonate shelf margin in the time span Early – Late Cretaceous.

najvećem dijelu ladinika (ponegdje i anizik-karnik), događaju se zamršeni procesi riftovanja. Vulkanska, pretežito submarinska aktivnost je značajna. Dijabazi i spiliti su dominantne stijene (Sl. 3). Uz njih se talože klastiti, piroklastiti i vapnenci. Karakteristična je velika diversifikacija taložnih prostora i litofacijesa. Na prijelazu ladinik-karnik u pojedinim područjima dolazi do okopnjavanja kada nastaju lateritski boksi (Sl. 4). U gornjem trijasu definitivno se uspostavlja prostrana relativno stabilna karbonatna platforma s jasno definiranim rubom na sjeveru, prema otvorenim bazenskim prostorima.

U razdoblju gornji trijas-donja kreda paleogeografski odnosi u rubnom dijelu karbonatne platforme, na karbonatnoj padini i pripadajućem bazenu bili su relativno jednostavni. Taloži se debeli stup plitkovodnih karbonata pretežito biogenog podrijetla. U rubnim dijelovima karbonatne platforme koji su izloženi mehaničkoj dezintegraciji nakupljaju se značajne količine karbonatnog detritusa, koji opetovano gravitacijskim tokovima biva transportiran u bazen. Za malm je karakterističan bujni razvoj grebenotvoraca na rubu (hidrozoji i koralji). Svojim velikim biološkim potencijalom dali su značajne količine grebenskih vapnenaca i biogenog detritusa. Prepostavljaju se grebeni barijernog tipa. Za donju kredu karakteristični su orbitolinski i salpingoporelski vapnenci. Za vrijeme urgona karakterističan je razvoj grebenskih organizama na rubu karbonatne platforme.

U vremenu donja-gornja kreda na rubu se odvijaju vrlo značajne promjene. Dolazi do okopnjavanja uzduž ruba. Egzistiraju otoci u više "nizova". Duže osi otoka paralelne su rubu karbonatne platforme (Sl. 5). Uzrok tome su snažna vertikalna tektonska gibanja. Otoći najvećih površina i s najduljim trajanjem kopnenog režima smješteni su na samom

rubu platforme ("vanjski otočni niz"), a prema unutrašnjosti platforme površine otoka se smanjuju i kopneni režim traje kraće ("unutrašnji otočni nizovi"). Za vrijeme kopnenog režima u okruženju otoka odvija se kontinuirana sedimentacija. Obale kopnenih prostora su mehaničkim trošenjem davale znatne količine litoklasta, pretežito vapnenaca donje krede, koji su gravitacijskim tokovima premješteni u bazen. U unutrašnjosti otoka prevladava kemijsko trošenje i modeliranje krškog reljefa u čijim se udubljenjima akumulira matični materijal za ležišta boksa (najvjerojatnije vulkanski pepeo i prah). Njih nalazimo uzduž ruba na više mjesta (Klina na Kosovu, Poljane, Crvene stijene, Bešpelj (Sl. 6), Liskovica i Brenica u središnjoj Bosni, Bosanska Krupa i Grmeč u zapadnoj Bosni Dubravčani zapadno od Karlovca u Hrvatskoj s produžetkom u Sloveniju).

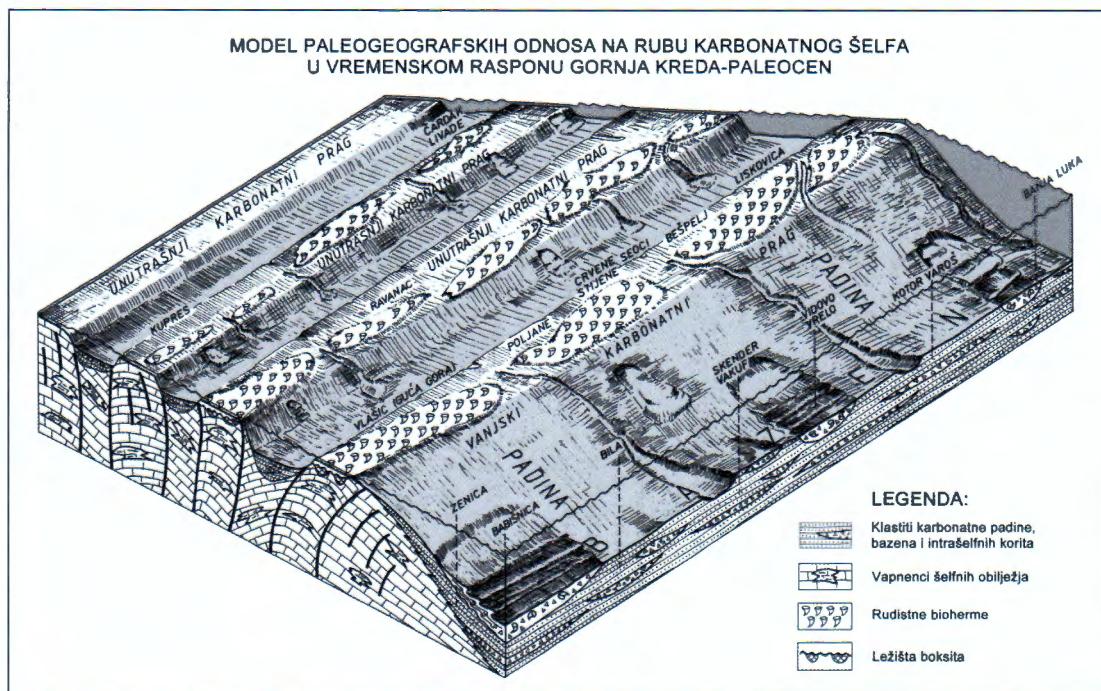
U razdoblju senon-paleocen dogodile su se najznačajnije i najintenzivnije promjene na rubu karbonatne platforme. U okviru senonske transgresije postojeće kopnene prostore prekriva more. Pri tome je došlo do erozije dijela kopna s ležištima boksa. Uz regionalne uzdužne rasjede počinju završne faze dezintegracije rubnog dijela karbonatne platforme. Formiraju se karbonatni pragovi između kojih nastaju labilni prostori, odnosno intrašelfna korita (Sl. 7). Ona su znatnih dimenzija po pružanju ali relativno uska. U njima se odlažu goleme količine karbonatnih klastita (Sl. 8). Na prostranim karbonatnim pragovima, zbog povoljnih ekoloških uvjeta i uz konstantnu tektonsku aktivnost egzistiraju mnogobrojne zajednice rudista koji izgrađuju bioherme barijernog tipa. Njihovim razaranjem nastaju velike količine karbonatnog detritusa koji gravitacijskim tokovima biva snošen kako u glavni bazen niz vanjsku padinu (Sl. 9), tako i u intrašelfna korita. Na prijelazu iz krede u paleogen dolazi do potapanja fragmentiranih karbonatnih kompleksa ruba plat-

forme. Uspostavljaju se dubljevodni bazenski uvjeti što rezultira kontinuitetom bazenske sedimentacije iz krede u paleogen. To sve svjedoči o premještanju ruba karbonatne

platforme prema jugu, odnosno prema jugozapadu, kao i o postupnom slabljenju šelfne "stabilnosti" uz jačanje tektonskog mobiliteta.



Slika 6. Ležište boksita na Bešpelju.
Figure 6. Bauxite bearing on Bešpelj.



Slika 7. Model paleogeografskih odnosa na rubu karbonatnog šelfa u vremenskom rasponu gornja kreda-paleocen.
Figure 7. Paleogeographic model at the carbonate shelf margin in the time span Late Cretaceous – Paleocene.



Slika 8. Bouma sekvene u intrašelfnom koritu, lokalitet Poljane, Jajce.

Figure 8. Bouma sequence in the intra-shelf through, Poljane locality, Jajce.



Slika 9. Turbiditi bazenskog dijela vanjskog ruba karbonatne platforme, dolina rijeke Ugar.

Figure 9. Turbidites of the basinal zone of the outer carbonate platform, the Ugar River valley.

Tektogeneza sjevernog ruba karbonatne platforme

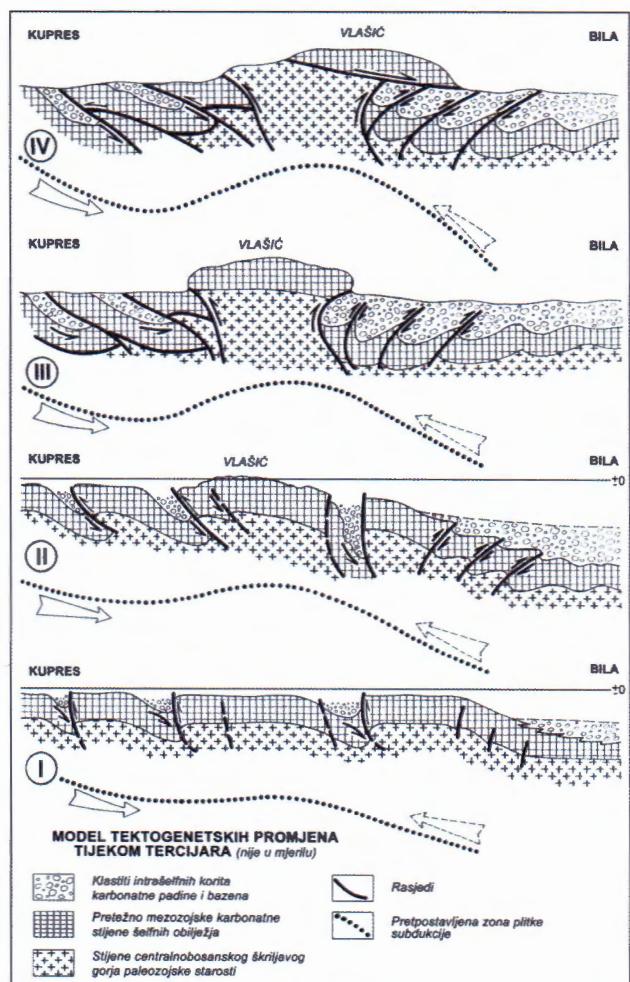
Tektonska aktivnost na rubu karbonatnog šelfa predstavlja najznačajniji čimbenik u cijeloj njegovoј evoluciji. Ona regulira intenzitet erozije, nagibe padina, batimetrijske odnose, rast grebena i egzistenciju drugih okoliša. S njom je povezano iniciranje sedimentacijskih gravitacijskih tokova iz kojih su istaložene ogromne količine turbidita i debrita. U bazenskim prostorima nastale su i znatne količine autohtonih taložina tipa "scaglia" i rožnaci. Stalna tektonska aktivnost glavni je uzrok današnjih strukturnih odnosa.

Tektogeneza sjevernog ruba Dinaridske karbonatne platforme i uspostavljanje recentnih tektonskih odnosa odvijali su se u okviru regionalnih promjena i događaja u širem prostoru Mediterana. Od gornje krede do danas stvoreni su zamršeni tektonski odnosi. Oni su danas naročito iskazani u postojanju velikih masa karbonatnih stijena mezozojske starosti koji su bili integralni dio dinaridske karbonatne platforme, a danas se nalaze sjeveroistočno od glavnine klastita (fliševa), koji su istaloženi na padini i u bazenu uz sjeverni rub platforme. To se prije svega odnosi na masive Vlašića, Čemernice i Osmače u središnjem dijelu ruba (Sl. 10, Sl. 11, Sl.12). Idući na jugoistok, to su karbonatni masivi sjeveroistočno od Zeničko-sarajevskog neogenskog bazena, a vjerojatno i Igman i Bjelašnica. Na sjeverozapadnom dijelu ruba to su mezozojski karbonatni kompleksi u području Ozalj-Kamanje i Žumberak.

O zamršenim strukturnim odnosima na sjeveroistočnom rubu karbonatne platforme govore i podatci iz duboke strukturne bušotine Glamoč- 1, koju je izradio INA-Naftaplin iz Zagreba u razdoblju od 1963.-1965. godine. Probušeni su vrlo interesantni litostratigrafski i strukturni odnosi koji su prikazani (Sl. 13). Strukturalna interpretacija preuzeta je iz PAPEŠ (1985), a prikazana je na Slici 14. Bušotina je dosegla dubinu od 4.212 m, a ušće bušotine je na 931,5 mm.

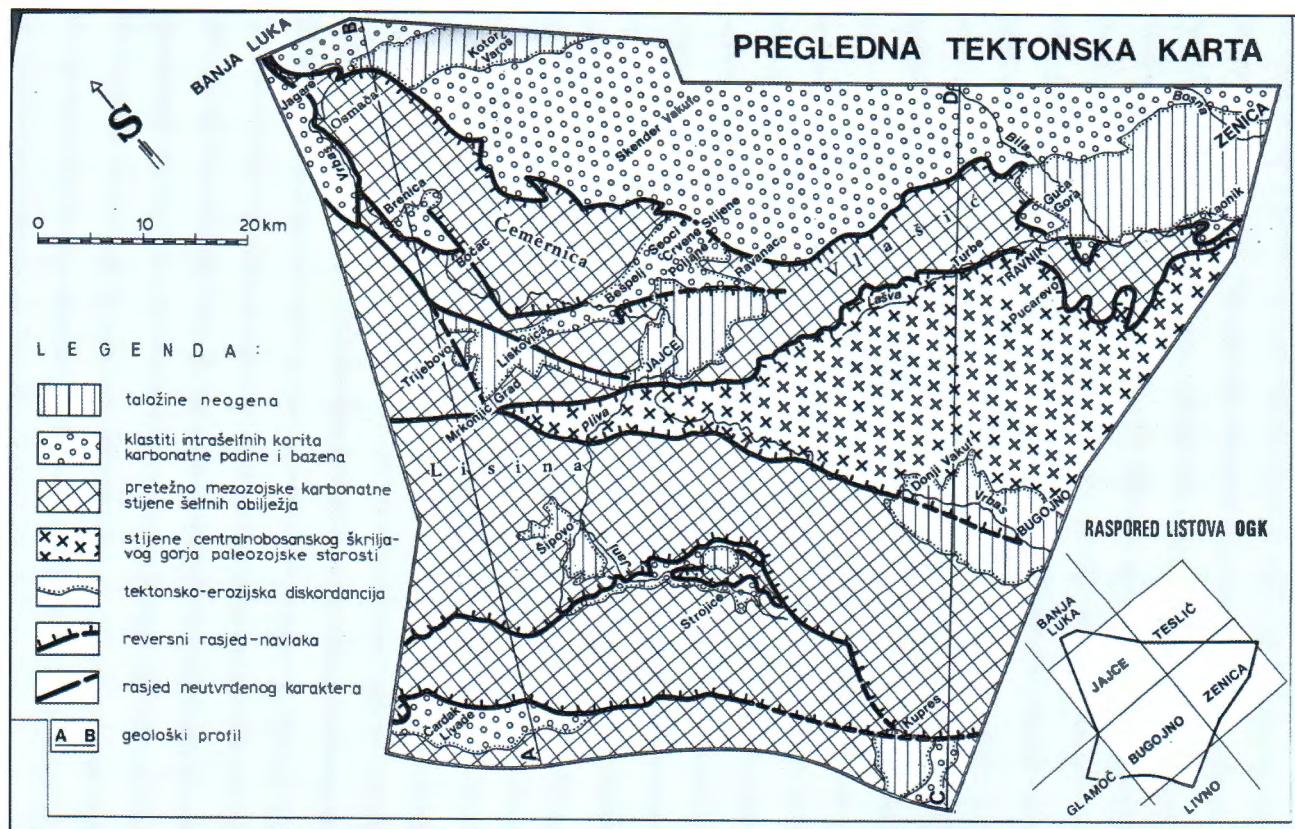
Od površine terena do dubine od 396 m probušeni su slatkovodni vapnenci i glinoviti vapnenci miocenske starosti. Slijedi interval do dubine od 900 m koji izgrađuju gips,

anhidrit, gline i dolomit s piritom. Pripadaju permu. Slijedeći interval do dubine od 1.485 m pripada aniziku. Izgrađen je od kriptokristalastih i stromatolitnih dolomita, rekrusta-

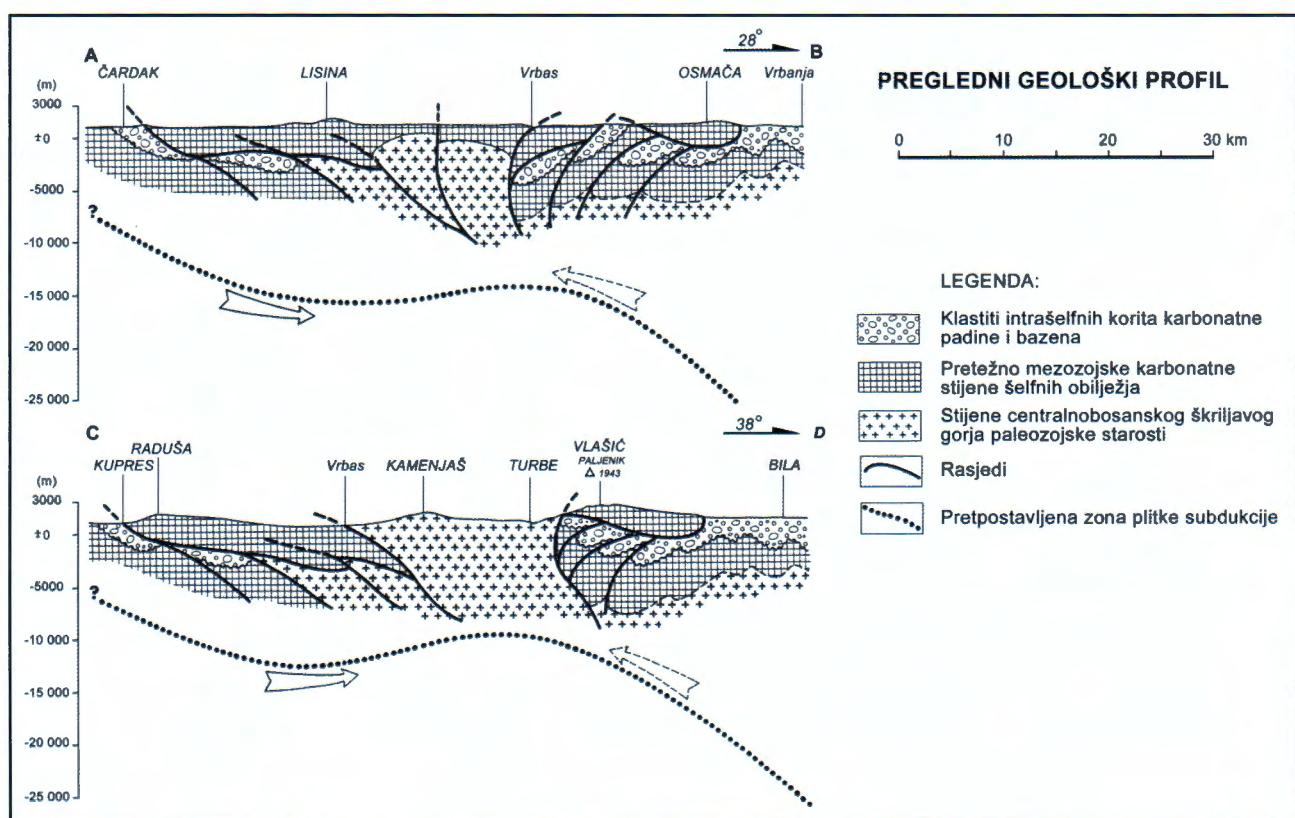


Slika 10. Model tektogenetskih promjena tijekom tercijara.

Figure 10. Model of tectonic changes during the Tertiary.



Slika 11. Pregledna tektonska karta.
Figure 11. Simplified tectonic map.

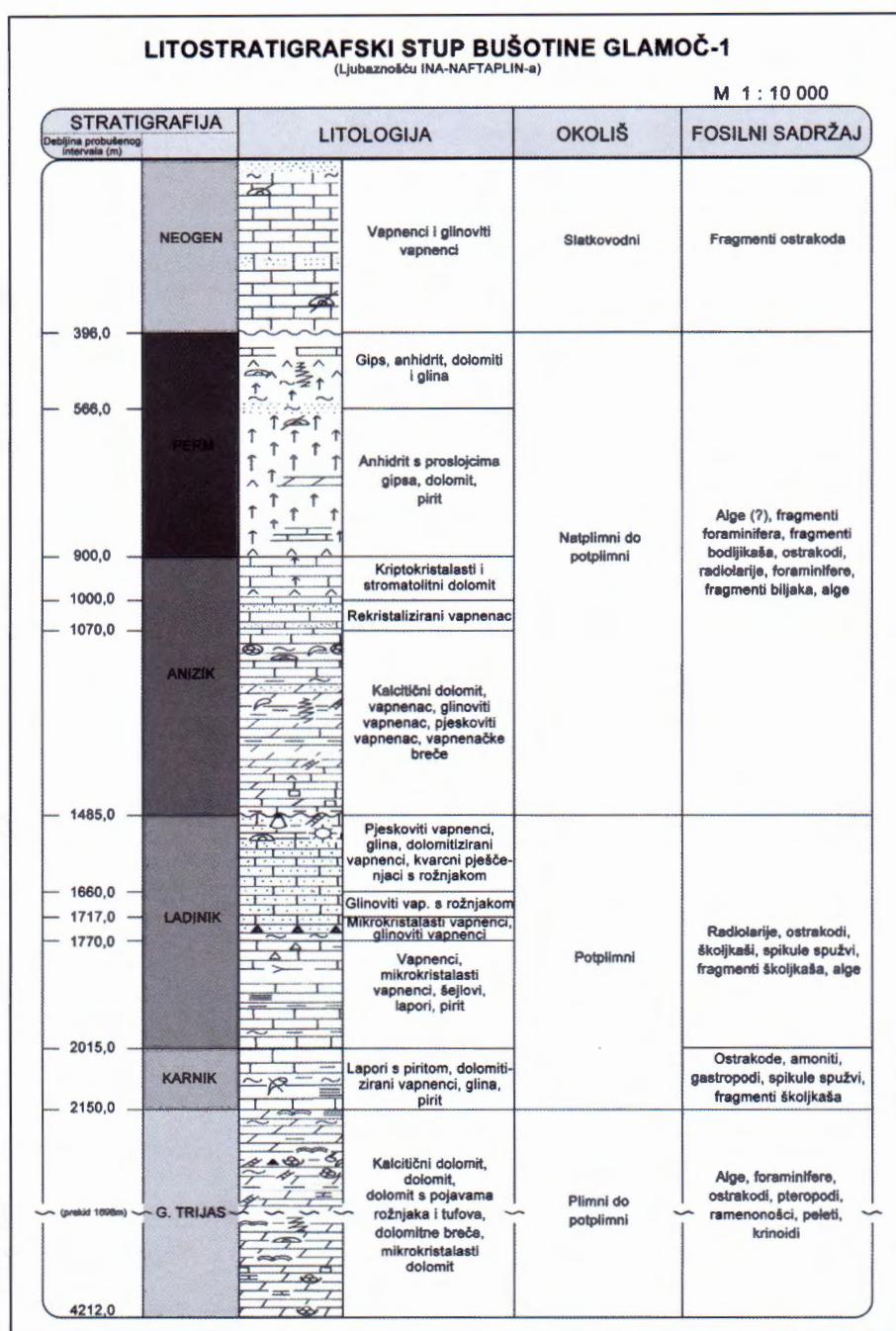


Slika 12. Pregledni geološki profili.
Figure 12. Simplified geological cross-section.

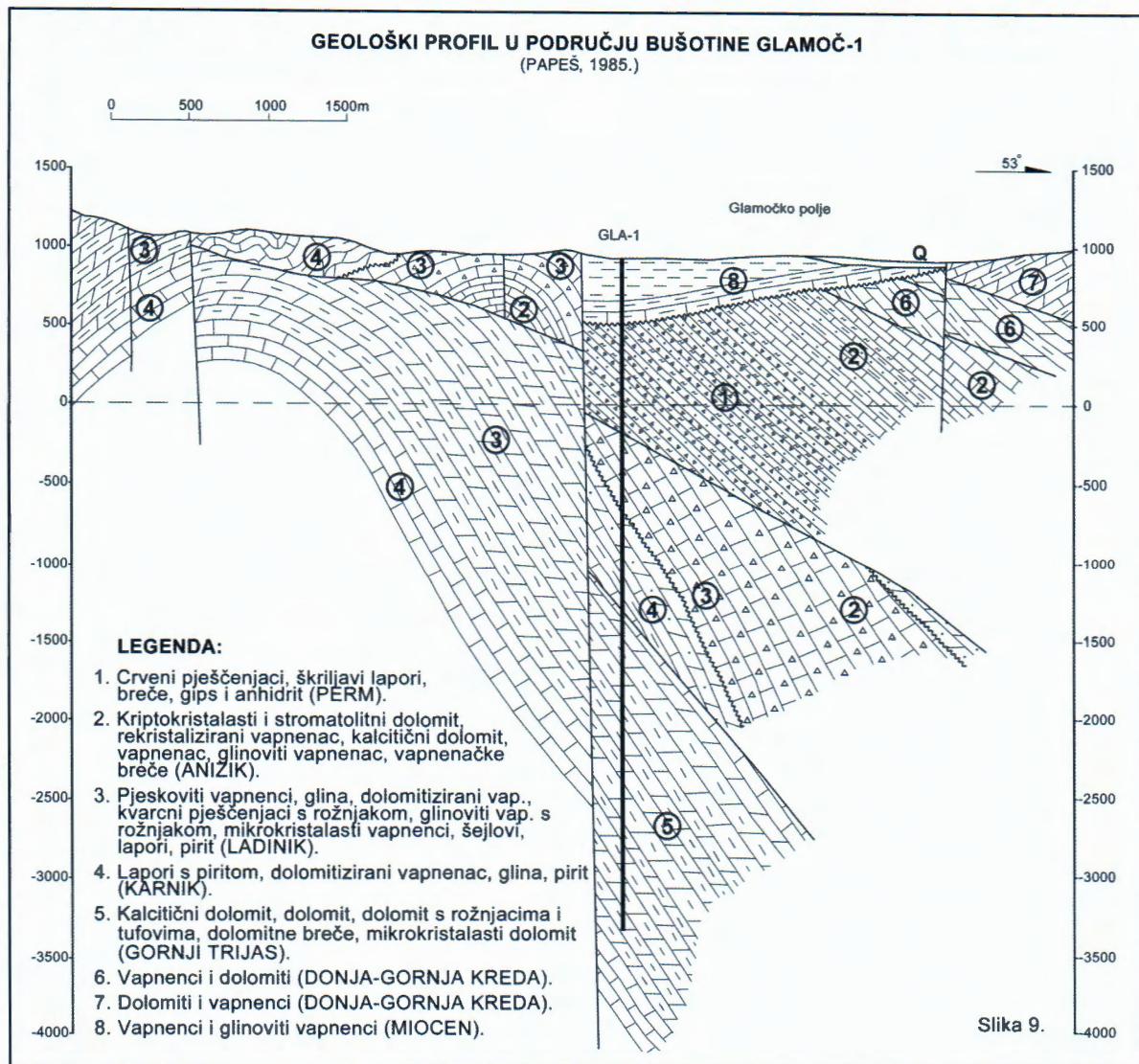
liziranih vapnenaca, kalcitičnih dolomita, vapnenaca, glinovitih vapnenaca, pjeskovitih vapnenaca i vapnenačkih breča. Slijedi interval s ladičkim stijenama do dubine od 2.015 m. Izgrađuju ga pjeskoviti vapnenci, gline, dolomitizirani vapnenci, kvarni pješčenjaci s rožnjacom, glinoviti vapnenci s rožnjacom, mikrokristalasti vapnenci, šejlovi, lapori i pirit. U dubinskom intervalu od 2.015-2.150 m slijede karnički lapori s piritom, dolomitizirani vapnenci, gline i pirit. Do dna bušotine (4.212 m) slijede sedimentne stijene gornjeg triaja. Sastoje se od kalcitičnih dolomita, dolomita, dolomita s pojavama rožnaca, tufova, dolomitnih breča i mikrokristalastih dolomita.

U regionalnim geološkim odnosima pozornost treba обратити на:

- transgresivan i diskordantan odnos slatkovodnog neogen-a preko kemogenih taložina permske starosti,
- tektonski (reversni-navlačni) kontakt između perm-skih pretežito kemogenih sedimenata perma i pretežito karbonatnih stijena anizičke starosti, i
- inverzni kontinuirani slijed litostratigrafskih jedinica od anizika do gornjeg trijsa koji se nalazi ispod permских stijena odnosno ispod navlačnog kontakta.



Slika 13. Litostratigrafski stup bušotine Glamoč-1.
Figure 13. Lithostratigraphic column of the Glamoč-1 well.



Slika 14. Geološki profil u području bušotine Glamoč-1.
Figure 14. Geological cross-section in the area of the Glamoč-1 well.

LITERATURA

- DRAGIČEVIĆ, I. (1981): Geološki odnosi u boksitonosnom području Jajca.– Magistarski rad., Sveučilište u Zagrebu, 65 str., Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. (1987): Paleogeografska evolucija rubnog dijela mezojske karbonatne platforme Dinarida između Vrbasa i Bosne.– Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 90 str., Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. (1997): The Bauxites of the Northern Margin of the Dinarides Carbonate Platform (Area of Jajce, Bosnia).– 8th Internat. Congress of ICSOBA, Milan, April 16/18–1997, Travaux, ICSOBA, 24, 64–73, Milan.
- DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (1994): Stratigraphical position and significance of reef facies at the Northern margin of the Dinaric carbonate platform during the Late Jurassic and Cretaceous in Croatia and Bosnia.– Geologie Méditerranéenne, Tome XXI, n^o 3–4, 59–63, Marseille.
- DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (2001): Sjeverni rub Dinaridske karbonatne platforme.– U: DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): 1. znanstveni skup, Karbonatna platforma ili karbonatne platforme Dinarida. Knjiga sažetaka, 35–37, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Prirodoslovno-matematički fakultet, Institut za geološka istraživanja i Hrvatsko geološko društvo, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (2002): The Northeastern Margin of the Adriatic Carbonate Platform.– Geol. Croatica, 55, 185–232.
- KATZER, F. (1926): Geologie BOSNIENS UND HERZEGOVINA.– BD. 1., Sarajevo, 480 str.
- MARINKOVIĆ, R. & AHAC, A. (1979): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Jajce I33-131 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Jajce sheet).– Poduzeće "Geoinženjeri" – Institut za geologiju Sarajevo (1975), Sav. geol. zavod, Beograd.
- MARINKOVIĆ, R. & ĐORĐEVIĆ, D. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Jajce L33-131 (Geology of the Jajce sheet).– Poduzeće "Geoinženjeri" – Institut za geologiju Sarajevo (1975), Sav. geol. zavod, Beograd, 52 str.
- MOJIČEVIĆ, M., VILOVSKI, S. & TOMIĆ, B. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. List Banja Luka L33-119 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Banja Luka sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1969), Sav. geol. zavod, Beograd.
- MOJIČEVIĆ, M., VILOVSKI, S., TOMIĆ, B. & PAMIĆ, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Banjaluka

- L33-119 (Geology of the Banjaluka sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1976), Sav. geol. zavod, Beograd, 50 str.
- PAMIĆ, J. (1982): Trijaski magmatizam Dinarida.– Nafta, 236 str, Zagreb.
- PAPEŠ, J. (1975a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Livno L33-11 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Livno sheet).– Geol. zavod Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd.
- PAPEŠ, J. (1975b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Livno L33-11 (Geology of the Livno sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 64 str.
- PAPEŠ, J. (1985): Geologija jugozapadne Bosne (Geology of the southwestern Bosnia).– Geol. glasnik, 19, Pos. izd., “Geoinženjering” Sarajevo, 166 str, Sarajevo.
- POLŠAK, A., DRAGIČEVIĆ, I., TOMIĆ, V., DEVIDÉ-NEDELA, D. & BENIĆ, J.: (1982): Tektonika i paleogeografska dinamika u rubnoj zoni Jadranske ploče; primjer kredno-paleogenskog kompleksa Jajca.– Zbornik radova 10. jub. kongr. geol. Jugosl., 1, 605–623, Budva.
- TOMIĆ, V. (1983): Stratigrafija i paleogeografija kredno-paleogenskog boksitonsnog područja Jajca.– Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 71 str, Zagreb.
- VUJNOVIĆ, L. (1980) Geologija područja između Jajca, Donjeg Vakufa i Kupresa (Geology of the area Jajce – Donji Vakuf – Kupres).– Geol glasnik, 16, Pos. izd., 104 str, Sarajevo.
- VUJNOVIĆ, L. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Bugojno L33-143 (Geology of the Bugojno sheet).– Preduzeće “Geoinženjering”, OOUR Geološki institut Sarajevo (1975), Sav. geol. zavod, Beograd, 58 str.
- VUJNOVIĆ, L., VRHOVČIĆ, J., JOVANOVIĆ, R., ŽIVANOVIĆ, M., SOFIJLJ, J., AHAC, A., ANDRIJAŠEVIĆ, M., GOVEDARICA, M., JOVIĆ, R., VELJOVIĆ, R. & MITROVIĆ, P. (1980): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Bugojno L33-143 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100.000, Bugojno sheet).– Geoinženjering, Institut za geologiju Sarajevo (1975), Sav. geol. zavod, Beograd.
- ŽIVANOVIĆ, M. & MILOJEVIĆ, R. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Zenica L33-144 (Geology of the Zenica sheet).– Institut za geološka istraživanja Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd, 60 str.

Postaja 12 – Stop 12 Studena Vrila

Poslijeplatformni razvitak na Jadranskoj karbonatnoj platformi Post-platform evolution of the Adriatic Carbonate Platform

Ivan Dragičević

The beginning of the Adriatic carbonate platform disintegration starts on its northern and southern margins during transitional period from the Early to the Late Cretaceous. Disintegration processes continue towards the interior of the platform. Laramian orogenic event marks the final disintegration of the platform. After long emersion/continental faze on carbonate platform, three paleoenvironments differentiate. Despite their great differences in sedimentological relations, they are closely related from the lithostratigraphic point of view: areas with thick succession of dominantly carbonate and flysch deposition, areas with Promina formation deposition and areas with Jelar formation deposition.

Poslijeplatformni razvitak bit će prikazan u okvirima koje je načinio DRAGIČEVIĆ (2001).

U dinamskoj evoluciji Jadranske (Dinaridske) karbonatne platforme, završetak njezine egzistencije predstavlja geološki vrlo burno razdoblje. Ono je karakterizirano dezintegracijom platforme pretežito zbog snažnih tektonskih pokreta što je uvjetovalo diversifikaciju taložnih prostora i nastanak debelih slijedova raznovrsnih sedimentnih stijena kako po petrografском sastavu tako i po mehanizmima taloženja. Sve to je posljedica značajne orogenetske i epirogenetske dinamike koju možemo pratiti u razdoblju od prijelaza donje-gornja kreda pa do oligocena.

Poslijeplatformna evolucija najranije započinje na sjevernom i južnom rubu, a nakon toga postupno se seli prema unutrašnjosti platforme. Južni odnosno jugozapadni rub, danas je prekriven Jadranskim morem i kvartarnim taložinama, pa o poslijeplatformnim odnosima možemo zaključivati na temelju oskudnog broja dubokih bušotina.

Krajem Odonje krede uz regionalne uzdužne rasjede na sjevernom rubu platforme formiraju se kopnene površine

koje su kao otoci poredani u nekoliko “nizova”. Pretpostavlja se njihov elipsoidalni oblik s dužom osi paralelnom rubu šelfa. Trajanje kopnenog režima nije bilo jednako. Strme obale kopnenih prostora su mehaničkim trošenjem davale znatne količine litoklasta, pretežito vapnenaca donje krede koji su gravitacijskim tokovima premještani u bazen. U unutrašnjosti otoka prevladava kemijsko trošenje, odnosno paleookršavanje uz deponiranje materijala za ležišta boksita.

U razdoblju senon-paleocen potpuno prestaje pravi platformni razvitak. Naime, u okviru senonske transgresije postojeće kopnene prostore prekriva more, a transgresivni senonski sedimenti leže preko karbonatnih stijena stratigrafskog raspona od gornjeg trijasa do cenomana (DRAGIČEVIĆ, 1987). Regionalni uzdužni rasjedi postaju aktivniji i mijenjaju karakter iz normalnih u reversne. Formiraju se karbonatni pragovi između kojih nastaju labilni prostori, odnosno intrašelfna korita. Ona su znatnih dimenzija po pružanju, ali relativno uska. U njima se odlaže golema količina karbonatnih klastita. Na prostranim karbonatnim pragovima, koji još imaju obilježja izoliranih karbonatnih platformi, zbog povoljnih ekoloških

uvjeta i uz konstantnu tektonsku aktivnost, egzistiraju nebrojene zajednice rudista koji izgrađuju grebene barijernog tipa. Njihovim razaranjem nastaju ogromne količine karbonatnog detritusa koji gravitacijskim tokovima biva snošen kako u glavni bazen niz vanjsku padinu, tako i u intrašelfna korita. Na prijelazu iz krede u paleogen dolazi do potapanja fragmentiranih karbonatnih kompleksa ruba platforme. Uspostavljuje se dubljevodni bazenski uvjeti što rezultira kontinuitetom bazenske sedimentacije iz krede u paleogen. To sve svjedoči o premeštanju ruba karbonatne platforme prema jugu, odnosno prema jugozapadu, kao i o postupnom slabljenju šelfne "stabilnosti" uz jačanje tektonskog mobiliteta.

Nameće se pitanje čime je obilježen regresivni slijed u području sjevernog ruba platforme? Za sada se može sugerirati da ga u materijalnom smislu obilježavaju debeli slijedovi oligocenskih klastita krupnoga zrna koji imaju obilježja molase. Oni se redovito nalaze u podlozi neogenskih taložina s ugljenom.

U unutrašnjem dijelu platforme, odnosno idući prema jugu nastaju nova intrašelfna korita u kojima se odlažu pretežito karbonatni klastiti poznati pod nazivom "fliš". Svako je južnije korito mlađe od sjevernog.

U priobalnome dijelu Dinarida od Slovenije, Istre, Kvarnera, Dalmacije, Hercegovine, Crnogorskog primorja do Skadra u Albaniji platformni uvjeti prestaju u okviru laramskih događanja. Veliki dio područja okopnjava uz značajnu tektonsku aktivnost kada nastaju blage plikativne strukture i uzdužni normalni rasjedi. Trajanje kopnene faze vrlo je promjenjivo. Rezultat toga je da su različiti članovi paleogenskih naslaga istaloženi na različite članove gornjokrednih vapnenaca. Transgresivna granica često je obilježena ležištima boksita koji u različitim područjima imaju krovine različite starosti. Izgleda da je transgresija najranije započinje u zapadnim područjima, a postoje i područja s kontinuiranim taloženjem iz krede u paleogen.

U cijelom razmatranom prostoru mogu se razlikovati tri regionalna paleoambijentalna područja:

1. Područje u kojem je istaložen debeli slijed pretežito karbonatnih sedimenata i fliša. Općenito tu razlikujemo: Liburnijske naslage (donji foraminferski vapnenci, Kozina naslage i miliolidni vapnenci), foraminferske vapnence, prijelazne naslage i fliš. U početku je sedimentacija pretežito slatkovodno-brakična i odvija se u batimetrijski najnižim dijelovima reljefa. Bituminozni vapnenci, lapori i ugljen najčešće su stijene. Pretpostavljaju se jezersko-lagunski okoliši. S miliolidnim vapnencima uspostavljuje se pravi marinски uvjeti. Oni se nastavljaju i za vrijeme taloženja foraminferskih vapnenaca, pa u paleogeografskom smislu može se govoriti o više manjih karbonatnih platformi. Tijekom taloženja numulitnih vapnenaca one bivaju potopljene i uspostavljaju se drugačiji batimetrijski odnosi kada se taloži fliš. Posebno je interesantno pitanje je li barem dio fliških taložina istovremen s dijelom karbonatnog sedimentacijskog slijeda. Ovakva razmišljanja potkrepljuju debeli slojevi karbonatnih klastita unutar fliša u kojima nalazimo vrlo brojnu i raznovrsnu pretaloženu faunu karakterističnu za plićevodna područja, npr. karbonatni pragovi gdje primarno žive numu-

liti, diskocikline, koralji, ježinci itd. Karakteristično je da su takvi slojevi redovito istaloženi iz gravitacijskih tokova (debriti). Tradicionalna razmišljanja ovako prikazani slijed smatraju stratigrafskim i sedimentacijskim kontinuitetom, a što predstavlja glavni problem u razumijevanju zamršenih paleogeografskih odnosa i posebice usporedbe sa sedimentacijskim prostorima u susjedstvu.

2. Područje u kojem je istaložena Promina formacija (južna Hrvatska, Hercegovina i druga područja). Karakteriziraju je raznovrsni litološki članovi: klastiti različite veličine zrna, lapori, glinoviti vapnenci, vapnenci, grebenski vapnenci, ugljen... Generalno gledajući stariji dio izgrađuju taložine sitnijeg zrna, vapnenci, lapori i ugljen dok u mlađem dijelu prevladavaju konglomerati. Mehanizmi taloženja su raznovrsni od turbiditnih, debritnih, riječnih do autohtonih vapnenaca i ugljena. Promina formacija je transgresivna i diskordantna preko vapnenaca gornje krede, ali i preko alveolinskih vapnenaca. U oba slučaja transgresivna je granica obilježena ležištima boksita No, brojni su lokaliteti gdje se sedimentacija iz alveolinskih vapnenaca kontinuirano nastavlja u klastite Promina formacije. Prijelazne su naslage karbonatno klastične. Početak sedimentacije obilježen je taloženjem slatkovodnih klastita i glinovitih vapnenaca s ugljenom. Posebice su intersantna brojna krška udubljenja u gornjokrednim vapnencima u čijim se dñima nalazi boksi kojem krovina čine najstariji spomenuti slojevi Promina formacije. Ti su slojevi često stariji od foraminiferskih vapnenaca koji se nalaze u neposrednoj blizini (zapadna Hercegovina). Ova činjenica nesumljivo govori u prilog istovremenosti znatnog dijela karbonatnog slijeda s flišem i Prominske formacije. U slijedu prema gore naslage poprimaju marinska obilježja. Susrećemo grebenske vapnence, lapore s bogatim sadržajem nanoplanktona, glinovite vapnence, te leće konglomerata koje su s obližnjih kopnenih prostora donešene u bazen. Završni članovi regresivnog ciklusa Promina formacije (uglavnom konglomerati, ali i lapori i ugljen) istaloženi su pretežito u kopnenim i jezerskim okolišima. Valutice konglomerata izgrađuju pretežito vapnenci i dolomiti stratigrafskog raspona od trijasa do paleogene. Uz njih susrećemo i pješčenjake iz "fliša", rožnace, ali i valutice konglomerata iz starijih članova Promina formacije.

Sedimentacijski okoliši, odnosno tip bazena u kojima je istaložena Promina formacija pripadao bi "foreland" tipu bazena u kojem je sedimentacija bila snažno povezana s tektonskim događajima (bore i snažni reversni rasjedi). Konstantna tektonska aktivnost dala je ogromne količine pretežito karbonatnih klastita širokog stratigrafskog raspona koji su transportirani i zaobljavani na putu do bazena u kojem je istaložena Promina formacija.

3. Područje u kojem je istaložena Jelar formacija (Lika, Velebit, sjevernojadranski otoci, zaleđe Kvarnera i dr.). Sastoji se skoro u potpunosti od karbonatnih klastita krupnog zrna (pretežno fragmenti rudita, ali nalazimo i olistolite). Prevladavaju breče i podređeno brečokonglomerati. Veživo je uvjek karbonatno što govori da je formacija nastala u potpunom karbonatnom okruženju, dakle na području nekadašnje karbonatne platforme. Uglati ili tek neznatno zaobljeni fragmenti te potpuna neuređenost sedimenata upućuju da

su oni nastali u području snažnih (reversnih) rasjeda čija je aktivnost kroz dulje vrijeme davala velike količine litoklasta. Zbog toga Jelar formaciju možemo smatrati grandioznim tektofacijesom, a njezin položaj označava glavne aktivne reversne rasjede paleogenske aktivnosti u području Dinarske karbonatne platforme.

Stratigrafski raspon karbontanih fragmenata u Jelar formaciji jednak je rasponu valutica u Promina formaciji. Tako se susreću fragmenti i valutice od trijasa do paleogenca. Zbog toga se nameće zaključak o istodobnosti, barem u najvećem dijelu, Jelar i Promina formacije, koje su nastale u jedinstvenom "foreland" bazenu.

Područje koje je danas prekriveno Jadranskim morem, odnosno područje južnog i/ili jugozapadnog ruba karbonatne platforme ima istaložene poslije platformne sedimente. Oni su poznati jedino iz podataka dubokih bušotina. Prema oskudnim dostupnim podacima u litološkom i stratigrafskom smislu najslužbeniji su slijedu sedimenata koji su istaloženi u opisanom području br. 1. Međutim, temeljna je razlika da različiti litostratigrafski članovi paleogenca mogu biti transgresivni i diskordantni preko znatnije starijih karbonatnih članova (jura npr.). Velika je varijabilnost u debljini paleogenskog sedimentacijskog slijeda kako u cjelini tako i u debljini pojedinih članova (alveolinski vapnenci, numulitni vapnenci, fliš). Ponekad je cjelokupni slijed zastupljen pretežito klastitima, a ponekad nedostaje cjelokupni slijed, pa su preko stratigrafski različitih članova platformnih karbonata mezozojske starosti diskordantne taložine neogenske starosti.

Ovakvi litografski odnosi govore o burnoj geološkoj povijesti ovog područja glede poslijeplatformne evolucije.

Sigurno je da je tektonska aktivnost odigrala najvažniju ulogu u stvaranju ovakvih litostratigrafskih odnosa.

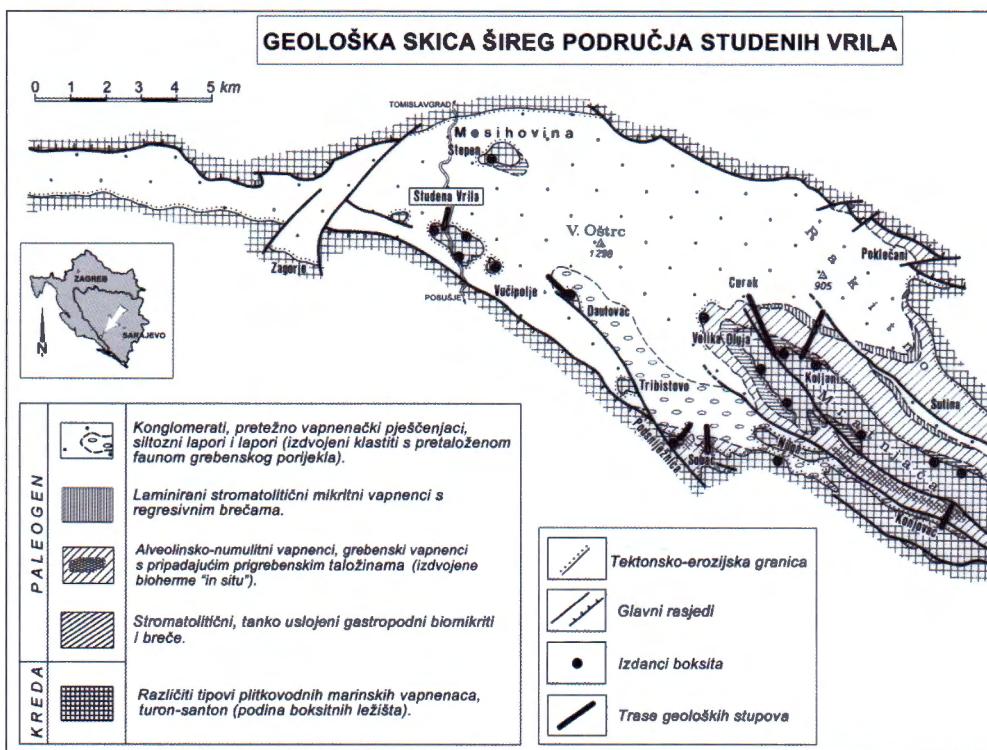
Temeljem iznesenog glede dinamske evolucije u poslijeplatformnom razdoblju u području Dinarske karbonatne platforme mogu se ponuditi određena razmišljanja koja bi mogla pripomoći u dalnjem istraživanju:

- Poslijeplatformni odnosi (odnosno dezintegracija) započinju u različitim područjima platforme u različito vrijeme.
- Najranije započinju na njezinim rubovima: sjevernom (sjeveroistočnom) i južnom (jugozapadnom).dezintegracija napreduje od sjevera prema jugu u unutrašnjost platforme.
- Uzdužni rasjedi i blage plikativne strukture temeljena su obilježja ranih faza dezintegracije platforme, odnosno poslije platformnih odnosa.
- U uznapredovalim fazama dezintegracije rasjedi prelaze u snažne reversne uz intenzivnije boranje

Biostratigrafski podatci upućuju na istovremenost karbonatnih i klastičnih slijedova (u njihovom najvećem dijelu) s mješovitim litofacijesima između njih. Samo bazalni i završni dijelovi slijeda ne moraju biti istovremeni. Dakle, karbonatni slijed, formacija fliša najvećim dijelom, Promina formacija i Jelar formacija predstavljaju najvećim dijelom bočne ekvalente.

- Završetak poslijeplatformnog razvijatika obilježen je regresivnim slijedom.

Naša postaja promatranja poslijeplatformnog razvijića na Jadranskoj karbonatnoj platformi nalazi se u zapadnoj Her-



Slika 1. Geološka skica šireg područja Studenih Vrila.
Figure 1. Geological sketch of the area of Studena Vrila.



Slika 2. Studena Vrila: bazalni dio Promina formacije.

Figure 2. Studena Vrila: the basal portion of the Promina Formation.

cegovini, gdje su Prominska formacija i karbonatne formacije i njihovi međusobni odnosi dostupni promatranju na brojnim otvorenim profilima. Zbog brojnih lokaliteta na kojima su izvađena ležišta boksita, a tu pripada i naš lokalitet Studena Vrila, dostupni su promatranju bazalni slijedovi poslijeplatformnih sedimentnih formacija. Temeljni stratigrafski i strukturni odnosi postavljeni su izradom Osnovne geološke karte SFRJ 1:100.000, list Imotski (RAIĆ et al., 1976) i tumača za istu kartu (RAIĆ & PAPEŠ, 1976). Prema

citiranim autorima boksići Studenih Vrila u podini imaju vapnence s rudistima turon-senonske starosti, a krovinu im izgrađuju klastične naslage eocena i starijeg oligocena, odnosno Promina formacije.

Na lokalitetu Studena Vrila (Sl. 1 i 2), koji je jedan od najbolje istraživanih boksonosnih lokaliteta upoznat ćemo se s podinskim plitkomarinskim vapnencima gornje krede, stratigrafskom prazninom u okviru laramijskih događanja, stvaranjem paleoreljefa, genezom ležišta boksita, paleogeografskim



Slika 3. Paleorelief – bokxit: bazalni dio Promina formacije.

Figure 3. Paleorelief – bauxite: the basal portion of the Promina Formation.



Slika 4. Paleorelief – boksit: bazalni dio Promina formacije.

Figure 4. Paleorelief – bauxite: the basal portion of the Promina Formation.



Slika 5. Paleorelief – boksit: geometrija sedimentnih tijela u krovini.

Figure 5. Paleorelief – bauxite: geometry of overlying sedimentary bodies.

odnosima i paleoambijetalnim sedimentacijskim okolišima u vrijeme taloženja krovinskih (bazalnih) litoloških članova Promina formacije (Sl. 3) (BLAŠKOVIĆ & DRAGIČEVIĆ, 1991; DRAGIČEVIĆ et al., 1986, 1987; BLAŠKOVIĆ et al., 1988, 1995; DRAGIČEVIĆ & BLAŠKOVIĆ, 2001).

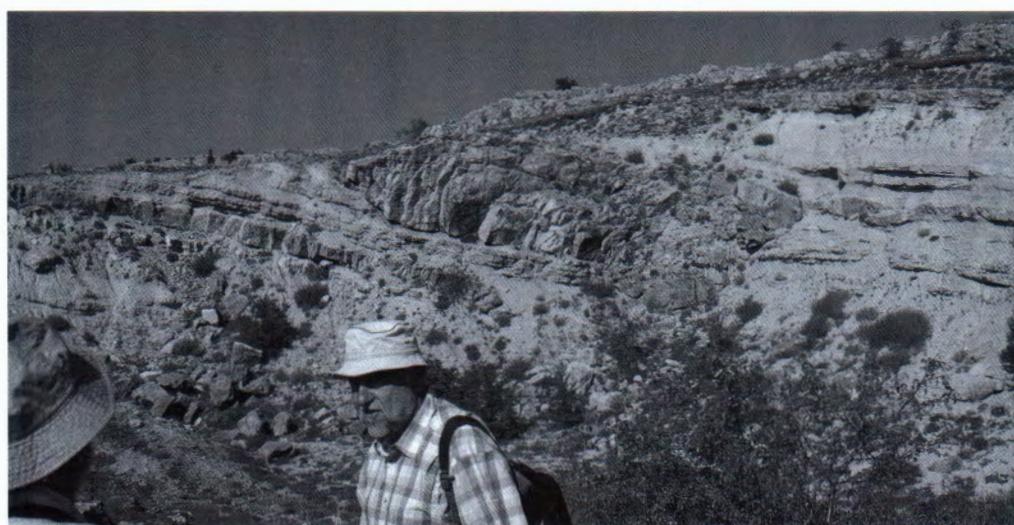
U okviru laramijskih događanja u najmlađoj kredi egzistiraju kopneni uvjeti. Dolazi do prekida taloženja plitkomorskih vapnenaca (najmlađi očuvani vapnenci su turon-senonske starosti (RAIĆ et al., 1976). Istovremeno se u strukturonom pogledu stvaraju blage plikativne strukture (antiklinale i sinklinale), koje daju temeljna struktura i geomorfološka obilježja području. Nastaje paleorelief-paleookršavanje koje je naročito intenzivno u tjemenim dijelovima blagih antiklinala zbog njihove mehaničke oštećenosti uslijed nastanka više pukotinskih sustava (Sl. 4 i 5).

Dominantno je kemijsko trošenje vapnenaca. Kroz dulje vrijeme nastaje egzotičan paleorelief s brojnim morfološki raznovrsnim udubljenjima. Najčešće su to manje doline, vrtače, kanali, manji kanjoni i sl. Istovremeno sa stvaranjem paleoreljeфа na predmetno paleokopno padaju najvjerojatnije vulkanski pepeo i prašina i/ili kopneni pijesak i prah koji su donošeni posredstvom vjetra. Kišama i gravitacijom se takav talog premješta u najniže dijelove paleoreljeфа. Tako se taloži materijal za buduća ležišta boksita. Količina materijala za boksit u svakom paleoudubljenju ovisi o veličini gravitirajuće površine. Tako nailazimo na mala paleoudubljenja koja su do vrha ispunjena materijalom za boksit ili pak nailazimo na velika udubljenja koja su samo manjim dijelom ispunjena materijalom za boksit. Pri ovome treba istaknuti da su i dna paleoudubljenja bila na različitim hipsometrijskim položajima. Lateritizacija materijala za boksit obav-

Ijena je u kopnenoj fazi o čemu svjedoče litoklasti boksita u prvim krovinskim konglomeratima.

Na ovakovo egzotično paleokopno Studenih Vrila započinje paleogenska ingressija. U početku vladaju slatkovodni uvjeti što se tlocrtno iskazuje kao skup jezera koja su smještena u najdubljim paleoudubljenjima. Za to vrijeme hipsometrijski viša i volumno manja paleoudubljenja su izvan dosega vode. U slatkovodnim jezerima talože se gline, lapori, pjeskoviti lapori, mikriti i kalkareniti, a nerijetko i slojevi ugljena (ustanovljeno buštinama i podzemnim rudarskim radovima). Sedimentacija je spora i dugotrajna. Razina vode neprestano raste uz postupni utjecaj mora. Nastavlja se slična sedimentacija. Cijelo kopno koje razmatramo još nije poplavljeno. Nedostatak fosilnih ostataka u krovinskim slojevima onemogućuje određivanje sekvencija taloženih u oslanjenim uvjetima. Razina mora i dalje raste. Uvjeti postaju marinski,

ali dno sedimentacijskog bazena i dalje ima razvedenu morfologiju što je naslijedeno iz ranijih faza. U područjima iznad boksita talože se lapori, mikriti i sitnozrnasti kalkareniti. U laporima je ustanovljen marinski nanoplankton kako na otvorenim profilima tako i u buštinama (NP-14, *Trybrachiatus orthostylus*, DRAGIČEVIĆ et al., 1985). Marinski uvjeti traju kroz donji i srednji eocen. U zaleđu sedimentacijskog bazena zbog snažnih i vrlo aktivnih reversnih rasjeda stvara se hipsometrijski razvedeni reljef čijim intenzivnim mehaničkim trošenjem nastaju velike količine klastita krupnog zrna. Njihovim transportom prema našem marinskom bazenu i pri tome zaobljavanjem ostvaruju se uvjeti za taloženje leća konglomerata unutar marinskog bazena. To je vidljivo iz izmjene laporanima s marinskim vapnenačkim nanoplanktonom i raznovrsnih po obliku i veličini leća konglomerata. Pri tome je taloženje konglomerata bio brz i buran proces pri čemu je



Slika 6. Erozijski kanal: odnos tijela konglomerata prema sitnozrnastim talozima u krovini boksita.

Figure 6. Erosional channele: relationship of conglomeratic bodies and finer-grained deposits which overly bauxite.



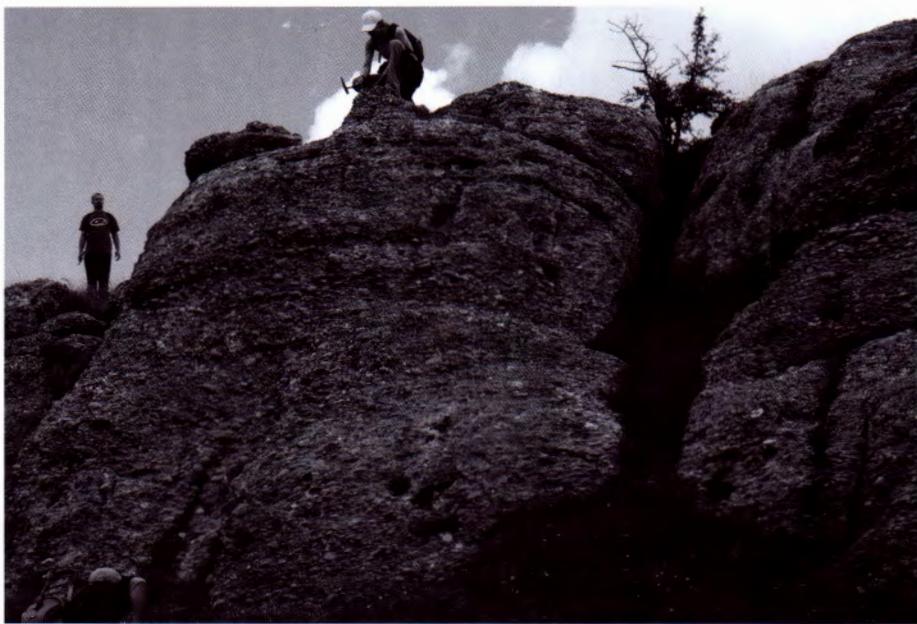
Slika 7. Geometrija i prostorni raspored konglomeratnih tijela u neposrednoj krovini ležišta boksita.

Figure 7. Geometry and spatial distribution of conglomeratic bodies overlying bauxite deposits.



Slika 8. Paleorelief: boksit i ugledni geolozi.

Figure 8. Paleorelief: bauxite and prominent geologists.



Slika 9. Prominski konglomerati: Studena Vrila.

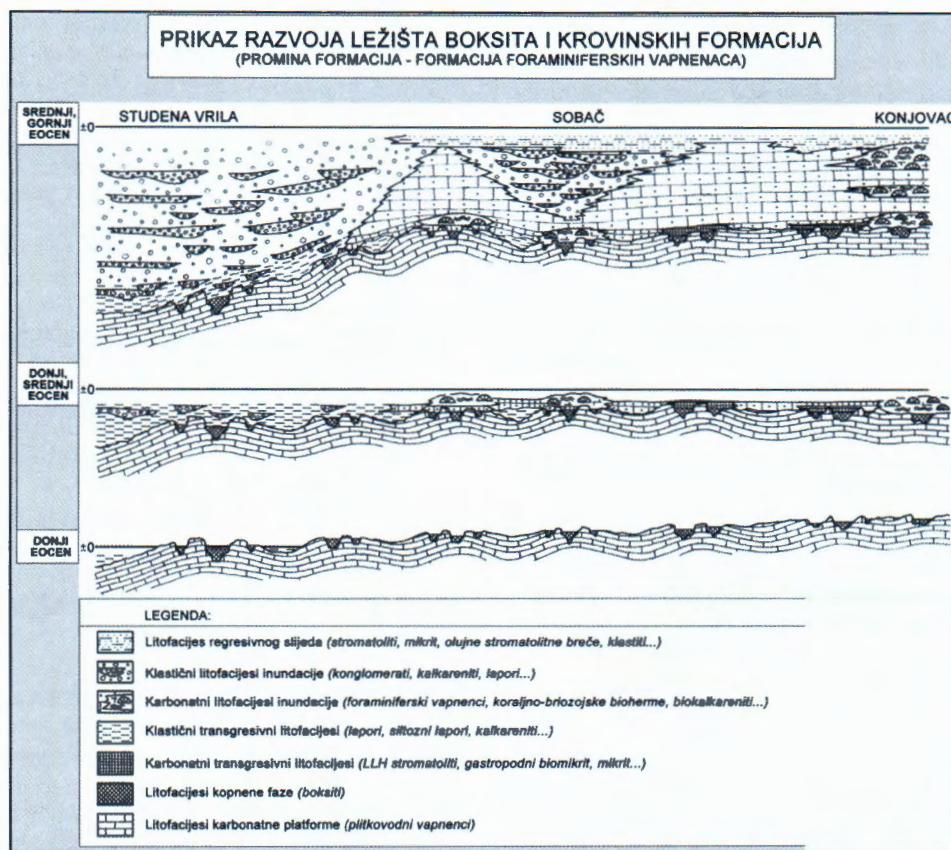
Figure 9. Prominent conglomerates: Studena Vrila.

dolazilo do djelomične, a nekada i potpune erozije slojeva lapor (brojni erozijski kanali i druge teksure, ili dodir dvije leće konglomerata – potpuna erozija sloja lapor) (Sl. 6).

Konglomerati su polimiktini. Pretež valutice vapnenaca i dolomita (od gornjeg trijasa do gornje krede – najčešće kredne starosti). Nerijetko se susreću i slabije zaobljene valutice rožnaca. Dno sedimentacijskog bazena i dalje je razvedeno. Iznad ležišta boksita su i veće dubine vode, odnosno nalaze se morfološka udubljenja na dnu bazena. Prostor iznad ležišta boksita još nije u potpunosti ispunjen sedimentom. Ovakova morfologija dna snažno utječe na način taloženja, prostorni raspored i geometriju leća konglo-

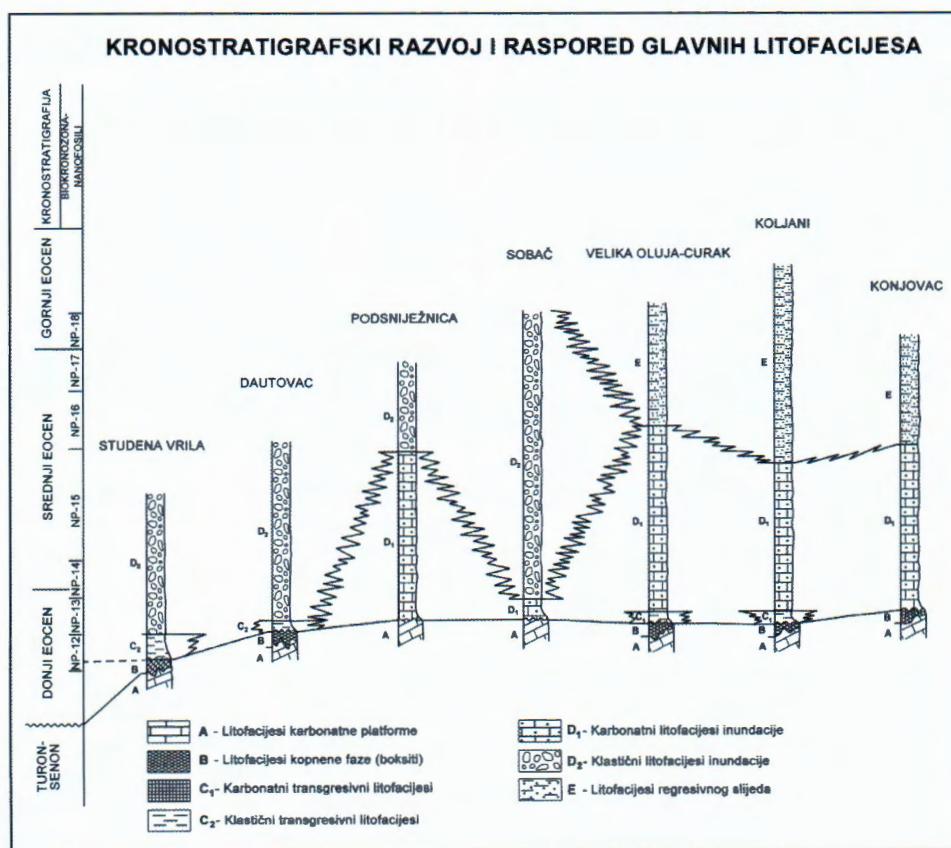
metata. One zauzimaju naoko kaotičan izgled, geometrija im je određena akomodacijskim prostorom iznad ležišta boksita, te su često zdepasta ili izdužena po dužoj osi ležišta (Sl. 7).

Ovakovi “kaotični” rasporedi konglomeratnih tijela kod relativno manjih debljina krovinskih članova (čak i do 150 m) definirani su kao odličan indikator postojanja ležišta boksita. Na većim dubinama (veće debljine krovine) ovakovi su odnosi definirani geofizičkim metodama istraživanja (DRAĐEVIĆ et al., 1991). Izvan područja s ležištima boksita na zaravnjenim dijelovima dna sedimentacijskog bazena također se odlazu leće konglomerata. No, ovdje su one daleko pravilnije, izdužene i međusobno konkordantne.



Slika 10. Prikaz razvoja ležišta boksita i krovinskih formacija.

Figure 10. Review of developing of the bauxite bearings and overlieing formations.



Slika 11. Kronostratigrafski razvoj i raspored glavnih litofakcija.

Figure 11. Chronostratigraphic evolution and distribution of major lithofacies.

Iz iznesenog je razvidno da je paleoreljeff podinskih vapnenaca s ležištima boksita snažno utjecao i kontrolirao mehanizme sedimentacije, raspored i geometriju sedimentnih tijela kroz dugo vremensko razdoblje (Sl. 8).

U mlađim slijedovima Prominske formacije utjecaj paleoreljefa se smanjio odnosno nestao pa su se istaložile debele sekvene s konglomeratnim slojevima koji su pretežito međusobno konkordantni (Sl. 9).

U širem prostoru Studenih Vrila (boksitonosni sedimentacijski bazen Mesihovina – Rakitno (DRAGIČEVIĆ et al., 1992) (Sl. 1), nalaze se brojni lokaliteti s ležištima boksita (Dautovac, Podsniježnica, Sobač, Velika oluja, Koljani, Kojnovac itd.), ali i s krovinskim naslagama bitno različitim od onih u Studenim Vriliima. Prvenstveno se to odnosi na mijesane klastično-karbonatne i čisto karbonatne krovinske sedimente. Njihova geneza i međusobna korelacija prikazani su na Slikama 10 i 11.

Više podataka o stratigrafskim, litostratigrafskim, sedimentološkim, paleogeografskim, paleostrukturnim, strukturnim i praktičnim geološkim istraživačkim podacima može se naći u literaturnim podacima koji su u prilogu.

LITERATURA

- BLAŠKOVIĆ, I., DRAGIČEVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1986): On mechanism of deposition of the “Promina formation” conglomerate in the Mesihovina-Rakitno basin Western Herzegovina, Yugoslavia.– 7th Regional meeting Sediment., I.A.S., 195–199, Krakow.
- BLAŠKOVIĆ, I. & DRAGIČEVIĆ, I. (1991): Structure and morphology of bauxite deposits in the area of Studena Vrila.– TRAVAUX, ICSOBA, 20–21/23, 13–28, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I., DRAGIČEVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1995): Morphological and geological indicators of the possible bauxite deposits in the karst region of Western Herzegovina.– Zbornik Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, 7, 17–27, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. (1987): Paleogeografska evolucija rubnog dijela mezozojske karbonatne platforme Dinarida između Vrbasa i Bosne.– Disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 90 str., Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. (2001): Poslijeplatformni razvitak na Dinaridskoj karbonatnoj platformi.– U: DRAGIČEVIĆ, I. & VELIĆ, I. (ur.): 1. znanstveni skup, Karbonatna platforma ili karbonatne platforme Dinarida. Knjiga sažetaka, 84–88, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Prirodoslovno-matematički fakultet, Institut za geološka istraživanja i Hrvatsko geološko društvo, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I., ANDRIĆ, M. & BLAŠKOVIĆ, I. (1991): Geological and geophysical exploration of the bauxite deposits application of the shallow seismic reflection method.– Zbornik Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, 3, 23–28, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I., BENIĆ, J. & BLAŠKOVIĆ, I. (1985): Novi stratigrafski podaci o paleogenskim klastitima Studenih Vrila – Zapadna Hercegovina.– Geol. vjesnik, 38, 31–34, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I. & BLAŠKOVIĆ, I. (2001): On Stratigraphy and Bauxitogenesis of Paleogene Bauxites of the Carbonate Dinarides.– Geol. glasnik, 34, 5–18, Sarajevo.
- DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & BENIĆ, J. (1992): Stratigraphy of paleogene strata within the Mesihovina-Rakitno area (Western Herzegovina).– Geol. Croatica, 45, 25–52, Zagreb.
- DRAGIČEVIĆ, I., BLAŠKOVIĆ, I., TIŠLJAR, J. & PAPEŠ, J. (1987): Eocene bioherms and the associated lithofacies in Western Herzegovina, Yugoslavia.– 8th Regional meeting Sediment., I.A.S., 199–203, Fac. des scienc. De Tunis, Tunis.
- DRAGIČEVIĆ, I., TIŠLJAR, J., BLAŠKOVIĆ, I. & BENIĆ, J. (1986): Mehanizam taloženja krovinskih naslaga ležišta boksita kao odraz paleoreljeфа podine.– ANUBiH, Naučne komunikacije, I, Odjeljenje tehničkih nauka, 1, 1–31, Sarajevo.
- RAIĆ, V., AHAC, A. & PAPEŠ, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Imotski K33-23 (Basic geological map of SFRY, scale 1:100 000, Imotski sheet).– Inst. za geol. istraž. Sarajevo (1967), Sav. geol. zavod, Beograd.
- RAIĆ, V. & PAPEŠ, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Imotski K33-23 (Geology of the Imotski sheet).– Inst. za geol. istraž. Sarajevo (1968), Sav. geol. zavod, Beograd, 51 str.

Postaja 13 – Stop 13

Profil Ostrožac – Section Ostrožac

Jezerski miocen Duvanskog bazena – Lacustrine Miocene of the Duvno basin

Oleg Mandić, Arjan de Leeuw¹ & Hazim Hrvatović

¹Paleomagnetic Laboratory “Fort Hoofddijk”, Utrecht University, Budapestlaan 4, 3584 CD, Utrecht, Netherlands

Livno-Duvno Basin located in SW Bosnia and Herzegovina is the second largest intra-mountainous basin of the Dinaric Alps with a surface of 590 km² and sedimentary infill of more than 2000 m thickness. Its infill comprises two sequences of dominantly shallow lake deposits bounded by angular unconformity. We present here almost complete section in the lower sequence at locality Ostrožac W of Tomislavgrad. 1700 m thick, Early to Middle Miocene, succession starts with coal seam, passing upward into limestone dominated succession. At about 850 m first distal debris flow deposit intercalates. The intercalations show thickening and coarsening upward, culminating on top of the section with about 26 m thick megabreccia bed indicating tectonics to be the cessation trigger for the first and the main basinal deposition cycle.

Kao posljedica regionalnog geodinamskog razvoja, na širokom prostoru od Jadranskog mora sve do Dravske depresije, tokom donjeg i srednjeg miocena nastaje niz manjih i većih longitudinalnih, pull-apart bazena. Tokom više miliona godina u tim bazenima traje stabilna jezerska sedimentacija. Autohtona faunistička evolucija dugovječnih jezera dovodi ubrzo do visokog stupnja endemičnosti prostora i do nastanka zasebne biogeografske jedinice nazvane Dinarski jezerski sustav, paleogeografski smještene između Paratethysa i Sredozemnog mora (Neotethysa) (izvori u MANDIC et al., 2009).

Livanjsko-duvanjski bazen, ima površinu od oko 590 km², a poslije Sarajevsko-zeničkog bazena (oko 1000 km²) najveći je slatkvodni bazen Dinarskog jezerskog sustava. Kao i drugi bazeni ovog razvoja, izdužen je u smjeru JI – SZ i slijedi Dinarsko pružanje. Tonjenje se odvijalo duž uzdužnih rasjeda uz rubove bazena. Po pravilu, to tonjenje je znatno veće uz jugozapadne nego uz sjeveroistočne rubove bazena. Uzdužni rasjedi su nastali oligocenskom postorogenom, transpresivnom tektonikom, a reaktivirani su u donjem miocenu pod utjecajem back-arc ekstenzije Panonskog bazena i podvlačenja Adrijatskog bloka pod Dinaride u smjeru sjevera (izvori u de LEEUW et al., in prep.).

Dolje opisani stup, snimljen na sjeverozapadnom rubu Duvanjskog polja, udaljen je oko 3 km zračne linije od Tomislavgrada i prati duž 2 km široki tok potoka Ostrožac. Potok teče istočnim rubom planine Tušnice (1697 m) i slijedi makadamski put što spaja glavnu cestu Tomislavgrad-Livno s napuštenim rudnikom ugljena jugoistočno od Vučipolja. Profil ima generalno pružanje prema jugu, okomito na pružanje slojeva. Baza mu je na 930 m nadmorske visine, 150 m sjeverno od potoka Ostrožac, na odvojku makadamskog puta prema Eminovom selu (N43 43 40.5 E17 10 59.6). Vrh mu je veliko tijelo megabreče uz veliki zavoj glavne ceste i most sjeverno od sela Jošanica, na oko 910 m nadmorske visine (N43 42 34.9 E17 10 58.0).

Stup Ostrožac omogućuje uvid u razvoj starije (i glavne) jezerske faze Livanjsko-duvanjskog bazena (Sl. 1). U to vrijeme prostor je još cjelovit, no ubrzo ga zahvaćaju sin-sedimentacijski tektonski pokreti što dovode ne samo do postupne diferencijacije bazena već i do privremenog prekida taloženja. Pritom izdignuto paleokopno odgovara otrilike današnjem prostoru planine Tušnice (pružanja I-Z), gdje se i danas nalaze erozioni ostaci starijih jezerskih naslaga. Laporovito-glinovita serija bogata lignitom, stratigrafski mlađeg razvoja je transgresivna i naliježe kutnom diskordancijom na starije naslage. Sedimentacija teče istovremeno, ali u okviru izoliranih sinklinalnih struktura (MILOJEVIĆ & SUNARIĆ, 1964)

Integrirana magnetostratigrafska mjerena i geokronologija tufova omogućili su preciznu korelaciju stupa Ostrožac u srednji miocen (DE LEEUW et al., in prep.). Isti autori datiraju glavni ugljeni sloj u Tušnici u gornji dio donjeg miocena. To je isti ugljeni sloj koji se vadio kod Vučipolja, a koji se prema korelaciji MILOJEVIĆ & SUNARIĆ (1964) nalazi na dubini od oko 350 m ispod baze profila Ostrožac. Profil snimljen u otvorenom rudniku Tušnica prikazan je u donjem dijelu stupa slike 1. Debljina intervala je 45 m. U bazi

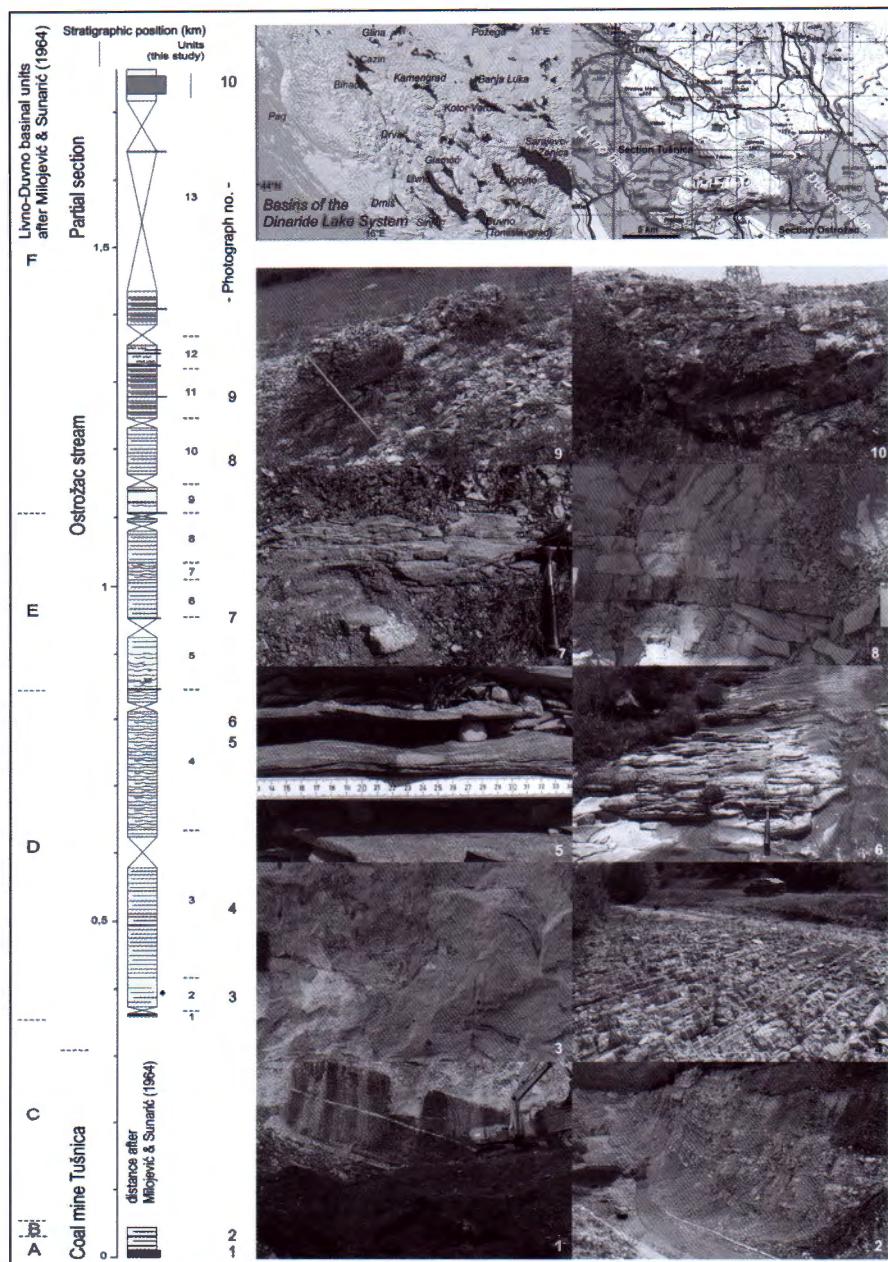
je smeđi ugljen debljine 10,5 m, podijeljen proslojcima vapnenca (dolje) i tufa (gore) u tri jedinice. Na ugljenu slijedi prijelazna zona vapnenaca s glinovitim i ugljevitim proslojcima (A), nakon čega slijede pretežno tamno smeđi i sivi, uslojeni vapnenci bogati organskom tvari sa sporadičnim ostacima riba i bilja (B). Tamni vapnenci, s endemičnom faunom, priljepku sličnih puževa Clivinellida, nađeni su u izoliranim izdancima krovinskih slojeva izvan rudničkog prostora (C).

Profil Ostrožac počinje izmjenom vapnenaca i glinovitih proslojaka / tufova (jed. 1, 8,2 m). Slijedi smeđi vapnenac s korjenjem vodenog bilja (jed. 2., 49,6 m), koji prema gore prelazi u smeđi dobro uslojeni vapnenac (jed. 3, 215,9 m). Do prvog pješčanog proslojka slijedi još dobro uslojeni vapnenac s riplovanim intervalima (jed. 4., 211,2 m). Na centimetarskom proslojku slabo sortiranog pješčenjaka slijede vapnenci s riplovima i koritnom kosom slojevitošću. Prisutne su i teksture kanala i klizišta kao i daljnji proslojci pješčenjaka. Pješčenjaci imaju uglasta do poluuglasta zrna i tamne su, hrđavosmede boje (jed. 5., 111,2 m). Prema gore slijede dobro uslojeni vapnenci (jed. 6, 54,0 m), riplovani vapnenci (jed. 7, 24,4 m) i uslojeni vapnenci s istanjanjem banaka prema gore (jed. 8, 72,2 m).

Interval krupnozrnastih proslojaka počinje dvometarskim slojem breče unutar lithostratigrafske jedinice djelomično koso uslojenih vapnenaca u izmjeni s laporima. Pretežno karbonatne komponente ove breče slabo su zaobljene i loše sortirane. Dva sloja do pola metra debelog tufa javljaju se u gornjem dijelu jedinice. Tuf i breča se lateralno mogu slijediti više stotina metara (jed. 9, 42,0 m). Slijede debelo uslojeni vapnenci (jed. 10., 97,2 m), tanko uslojeni vapnenci s metarski debelim slojem karbonatne breče u središnjem dijelu (jed. 11, 73,9 m) i vapnenci s proslojcima karbonatnih i mikrooidnih pjesaka (jed. 12, 48,3 m). Vršni interval (jed. 13, 394,9 m) je samo manjim dijelom otkriven. Sačinjavaju ga laporoviti vapnenci s uločcima breče. Vršna breča je debljine 26,3 m i uključuje karbonatne blokove od preko 2 m visine. Kontakt s mlađim jezerskim naslagama opisan je u neposrednoj krovini ove breče (MILOJEVIĆ & SUNARIĆ, 1964).

Originalno definirana zona žutih vapnenaca s dreissenidnim školjkašima (MILOJEVIĆ & SUNARIĆ, 1964, D) odgovara jedinicama 1 do 4 zajedničke debljine 418,7 m. Dok se debljina i litologija dobro podudaraju, primjetan je izostanak fosila. Zona vapnenaca s proslojcima pješčenjaka (E) podijeljena je u četiri nove jedinice (5–8) i ukupne je debljine od 245,6 m. U zoni vapnenaca s "konglomeratima" (F) razlikujemo 5 jedinica zajedničke debljine 738,6 m. Konglomerate klasificiramo na osnovu zaobljenosti komponenata kao breče. Izmjerenе debljine se vrlo dobro podudaraju s prijašnjim podacima.

Sedimentološki razvoj interpretiramo taloženjem pretežno plitkovodnih, jezerskih karbonata u neprekinutom stratigrafskom slijedu od oko 1700 m. Smeđi ugljen vezan je za močvariste razvijeno pri samoj inicijaciji bazena. Gornja polovina stupa pokazuje unos detritusa iz izvorišta u neposrednoj blizini jezera, na što upućuju loša zaobljenost zrna i sortiranost sedimenta. Unos materijala vežemo za tektonske nemire popraćene potresima, kao najvjerojatniji pokretač



Slika 1. Geografski položaj i litostratigrafija opisanih naslaga (vidi tekst radi daljnog objašnjenja).
Figure 1. Geographic position and lithostratigraphy of studied sucession (see text for details).

pretaložavanja terigenog materijala u jezero. Konačni prekid sedimentacije najavljuje paket megabreče debljine od gotovo 30 m, koji ukazuje na značajan razvitak reljefa ruba jezerskog bazena, u srednjem miocenu, pred sami kraj starije jezerske faze.

LITERATURA

DE LEEUW, A., MANDIC, O., KRIJGSMAN, W., KUIPER, K. & HRVATOVIĆ, H. (in prep.): Paleomagnetic and chronologic con-

straints on the evolution of the Dinaride Lake System.– Earth and Planetary Science Letters.

MANDIC, O., PAVELIĆ, D., HARZHAUSER, M., ZUPANIĆ, J., REISCHENBACHER, D., SACHSENHOFER, R.F., TADEJ, N. & VRANKOVIĆ, A. (2009): Depositional history of the Miocene Lake Sinj (Dinaride Lake System, Croatia): a long-lived hard-water lake in a pull-apart tectonic setting.– Journal of Paleolimnology, 41, 431–452.

MILOJEVIĆ, R. & SUNARIĆ, O. (1964): Pokušaj stratigrafskog raščlanjavanja slatkovodnih sedimenata Duvanjskog basena i neki ekonomski geološki momenti u razvoju ugljenih facija.– Geol. glasnik, 9, 59–75, Sarajevo.

Postaja 14 – Stop 14

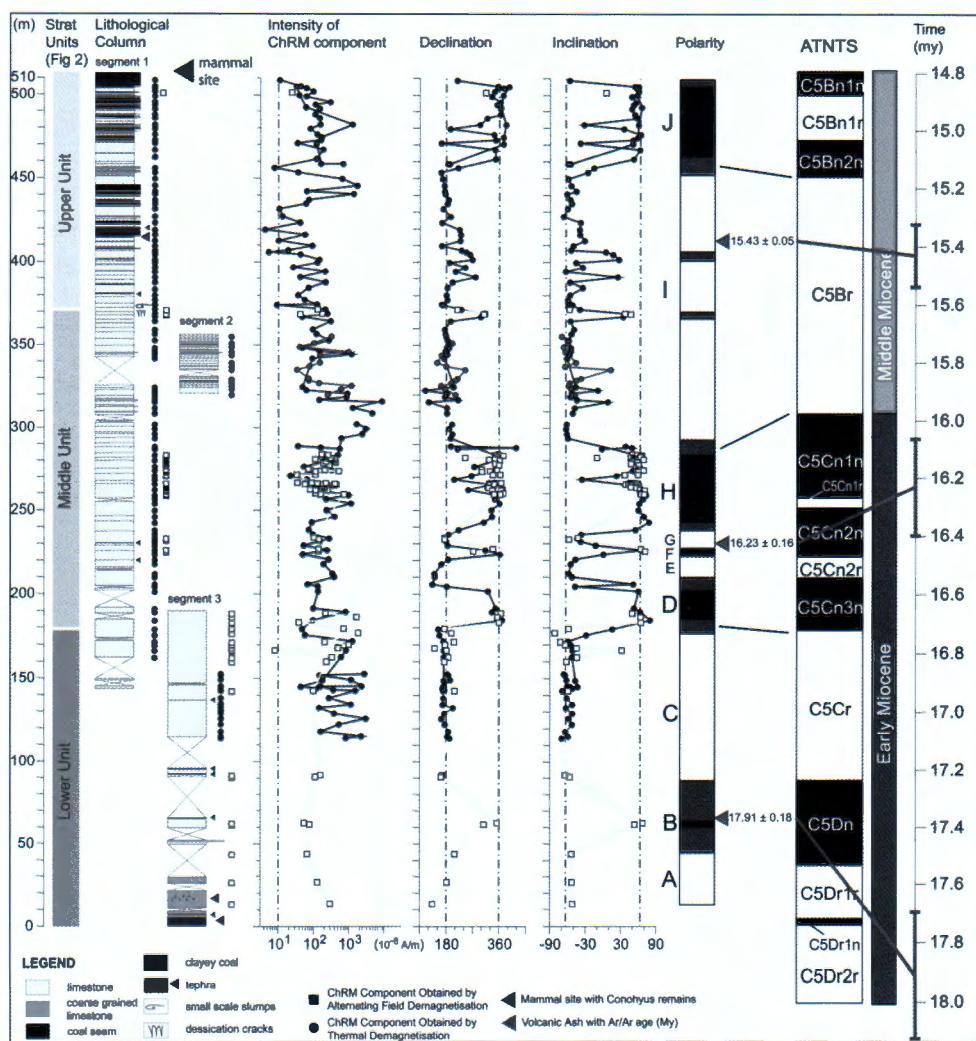
Profil Lučane – Section Lučane

Miocensi Sinjski bazen – profil Lučane (jezersko/močvarni vapnenci s ugljenom)
Miocene Sinj basin – section Lučane (lacustrine/palustrine limestones with coal seams)

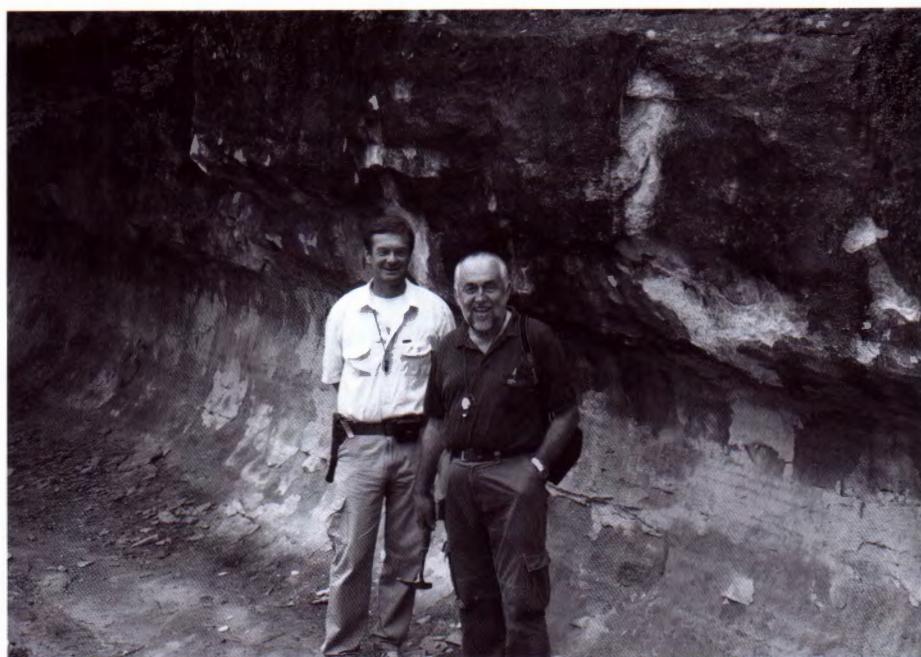
Alan Vranjković, Davor Pavelić, Ivan Dragičević, Oleg Mandic & Arjan de Leeuw¹

¹Paleomagnetic Laboratory “Fort Hoofddijk”, Utrecht University, Budapestlaan 4, 3584 CD, Utrecht, The Netherlands

The Sinj basin belongs to the southernmost basins of the Miocene Dinaride Lake System. It was formed in a 342 km² large, rhomboidal, NW-SE elongated pull-apart basin. An about 500 m thick lacustrine/palustrine succession was logged in the western marginal part of the basin, in and around creek Sutina, near village of Lučane. Integrated Ar/Ar dating and magnetostratigraphic investigation proved the long-levity of the Sinj basin lake environment demonstrating that deposition took place between 18.0 to 15.0 Ma, a time span that correlates with the upper Burdigalian and lower Langhian Mediterranean stages and Ottnangian, Karpatian and lowermost Badenian Paratethys stages. The lake sediments are dominated by authigenic carbonates while the siliciclastic input was insignificant. The uppermost 100 m of the section include up to 2 m thick coal seam intercalations, whereas the basal and the middle part of the infill show exclusively carbonate rocks. The whole succession is intercalated occasionally by volcanic ash layers. The initiation of the coal deposition at the top of the section shows a straightforward correlation with the Middle Miocene climate optimum.



Slika 1. Litološki stup, distribucija fosila i rezultati paleomagnetskih istraživanja profila Lučane (de LEEUW et al., 2010).
 Figure 1. Lithological column, fossil distribution and paleomagnetic results for the Lučane section (de LEEUW et al., 2010).



Slika 2. Jezerski/močvarni vapnenci.
Figure 2. Lacustrine/palustrine limestones.



Slika 3. Proslojavanje vapnenaca i ugljena.
Figure 3. Limestone/coal interbedding.

Tijekom donjeg i srednjeg miocena na širem prostoru zapadnog navlačnog pojasa Dinarida formirano je niz bazena (TARI, 2002) koje objedinjeno nazivamo Dinaridski jezerski sustav (KRSTIĆ et al., 2003). Sinjski bazen kao najjužniji bazen Miocenskog dinaridskog jezerskog sustava predstavlja romboidnu grabu smještenu duž 'strike-slip' rasjeda s desnim karakterom pomaka na potezu Split-Karlovac (SCHMIDT et al., 2008).

Dinaridskog smjera pružanja SZ-JI, Sinjski bazen danas predstavlja 342 km² veliki romboidalni bazen smješten na hrvatskim krškim (Vanjskim) Dinaridima. Predneogenskom

podlogom bazena prevladavaju karbonati Jadranske karbonatne platforme stratigrafskog raspona od gornjeg trijasa do eocena (VLAHOVIĆ et al., 2005). Manjom površinom na SZ rubu bazena izdanjuju srednjetrijaski vulkanoklastiti dok u središnjem dijelu bazena izdanjuju permo-trijaski evaporiti.

Profil Lučane je snimljen u i oko potoka Sutina, blizu sela Lučane na SZ rubu bazena. Profil predstavlja gotovo cjelovitu ispunu bazena debljine od oko 500 m (Sl. 1) uglavnom jezerskih/močvarnih karbonata (MANDIĆ et al., 2008). Vapnenci su prevladavajući tip stijene u snimljenom slijedu. To su svijetli, tanko do srednje debeli i najčešće mekani i

porozni vapnencima. Udio CaCO_3 je u rasponu od 80 do 99 masenih % i najvećim dijelom se odnosi na kalcit. Netopivi ostatak sadržava smeđocrnu amorfnu organsku tvar, framboidalni pirit, minerale glina (smektit, kaolinit, interstratificirani klorit-vermikulit i klorit) i nepravilna do euhedralna zrna kvarca i feldspata dimenzija silta. Osim više tipova vapnenaca (Sl. 2) slijed se sastoji od dvije konglomeratne leće (Sl. 3), dva horizonta s ugljenim proslojavanjem (Sl. 4) i 12 proslojaka tufova/glina (Sl. 5).

U vršnom dijelu stupa Lučane slatkvodne jezerske naslage sadrže izrazito brojnu, dobro očuvanu endemičnu faunu jezerskih mekušaca, uključivši i regionalno-stratigrafski provodnog dreissenidnog školjkaša *Mytilopsis aletici*. Sljedeće vrste dominiraju: *Melanopsis lanzae* (BRUSINA, 1874), *Melanopsis lyrata* (NEUMAYR, 1869), *Prososthenia superstes* (OLUJIĆ, 1999), *Prososthenia vojskavae* (OLUJIĆ, 1999), *Theodoxus (Calvertia) imbricata* (BRUSINA, 1878), *Theodoxus (Calvertia) lorkovici* (BRUSINA, 1878),



Slika 4. Leće konglomerata.
Figure 4. Conglomeratic lenses.



Slika 5. Tuf/glina.
Figure 5. Tuff/clay.



Slika 6. Endemična fauna jezerskih mekušaca.
Figure 6. Endemic fauna of lacustrine mollusks.

Gyraulus (Gyraulus) geminus (BRUSINA, 1897), *Orygoceras dentaliforme* (BRUSINA, 1882), *Mytilopsis aletici* (KOCHANSKY-DEVIDÉ & SLIŠKOVIĆ, 1978), *Mytilopsis nitida* (KOCHANSKY-DEVIDÉ & SLIŠKOVIĆ, 1978), *Mytilopsis jadrovi* (BRUSINA, 1892) (Sl. 6). Gastropodna asocijacija s dominirajućim *Melanopsis*, *Prososthenia* i *Theodoxus* upućuje na jezerski litoral pod utjecajem riječnog dotoka. Da-

nas, *Melanopsis* i *Theodoxus* vrste preferiraju potočne i estuarijske okoliše rubova jezera. Česta *Prososthenia* preferira litoralne muljevite ravnicena kojima se hrane stružući algalni obraštaj. S druge strane malo se zna o ekologiji velike dreisenidne školjke *M. aletici*. Ovaj endem dinaridskog jezerskog sustava ima oblik nekarakterističan za dreisenide, sličan marinskim lucinidnim školjkašima. Učestalo ih se

nalazi cijele orijentirane paralelno slojevitošću. Kao i sve druge dreisenidne školjke vjerovatno su se hranile filtriranjem jezerske vode u okolišu jezerskog sublitorala i litorala. Velika kružna i izrazito tanka stijenka ljuštare je bila izvrsno prilagođena za život u okolišima mirnih voda položena na mulju. Sićušna, trokutna *M. nitida* je bila pričvršćena na čvrstu podlogu, vjerovatno na podvodno bilje. Ovo sve upućuje na mirne, vrlo plitke, slatkodne okoliše kojima dominiraju karbonatne močvare. Fauna daje impresivan primjer radijacije mekušaca u specifičnim jezerskim uvjetima, međutim zbog endemičnosti nije ju moguće koristiti za biostratigrafsku korelaciju izvan granica DJS. Upravo navedena endemičnost faune jezerskih mekušaca spriječila je njenu upotrebu u stratigrafskoj odredbi miocena Sinjskog bazena. Od fosilnih ostataka važno je spomenuti da su tijekom eksploracije vršnog sloja ugljena 30-tih godina 20. st. pronađeni fosilni ostaci krupnih sisavaca *Gomphotherium angustidens* i *Conochetus olujici* (OLUJIĆ, 1999; BERNOIR et al., 2004). Paleomagnetičnim istraživanjima u kombinaciji s $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ radiometrijskim datiranjem na sanidinu i biotitu iz proslojaka tufova dokazano je kontinuirano taloženje u jezerskom okolišu u trajanju od 3 mil.god. zahvaćajući granicu donji/gornji miocen (de LEEUW et al., 2010). Točnije, možemo reći da se taloženje u Sinjskom bazenu odvijalo od 18.0 do 15.0 mil.god., što korelira s gornjim burdigalom i donjim langijem mediteranske ljestvice, i otnangom, karpatom i najnižim badenom ljestvice Paratethys.

Rezultati analiza stabilnih izotopa ukazuju na širok raspon vrijednosti $\delta^{18}\text{O}$ (-17,21 do -1,8 vs. VPDB) i $\delta^{13}\text{C}$ (-15,40 do 2,80 vs VPDB) što upućuje na veliku varijabilnost paleookoliša i procesa uključenih u frakcioniranje stabilnih izotopa. Posebno, široki raspon vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ ukazuje na činjenicu da jezerske vode nisu značajno kemijski varirale kroz vrijeme što je tipično za okoliše bez kontinuiranog obnavljanja vode (ARENAS et al., 2007). Dodatna osobina takvih okoliša je značajna izotopna frakcionacija izazvana evaporacijom. I $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ pokazuju negativne pomake u intervalima proslojenim s lignitnim slojevima. Nasuprot tome generalni trend zatopljavanja koji prethodi srednjemiocenskom klimatskom optimumu reflektira se u postupnom pozitivnom pomaku vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$.

Kalibracija krivulja stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ s vremenskom skalom, bazirana na magnetostratigrafskom strosnom modelu, dopušta njihovu približnu korelaciju prvog reda s ciklusima ekscentriteta od 400.000 i 100.000 godina. Pribavljeni zapis stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ ukazuje na nedvosmislenu korelaciju utvrđenih ciklusa s astronomski uvjetovanim klimatskim promjenama koje mjenjaju lokalnu ravnotežu precipitacije i evaporacije. Negativni pomaci krivulje pokazuju faznu relaciju s minimumom ekscentriteta, što odgovara vlažnim klimatskim fazama s unosom novih količina slatke vode u jezero. S druge strane pozitivni pomaci vrijednosti stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ koji označavaju fazu suhe klime s povećanom evaporacijom jezerske vode koreliraju se s maksimumom ekscentriteta. Pomak faznog odnosa je u suglasju s distribucijom polena iz vršnog ugljenonosnog dijela slijeda (JIMÉNEZ-MORENO et al., 2008). Periodi s

taloženjem horizonata ugljena odgovaraju fazama tople i suhe klime dok taloženje organski osiromašenih vapnenaca odgovara fazama relativno hladnije i vlažne klime. Također svaki maksimum ekscentriteta od 100.000 godina utvrđen iz pozitivnog pomaka krivulje stabilnih izotopa $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ može se korelirati s pojedinom fazom zatopljavanja dokaznom palinostratigrafskom analizom.

LITERATURA

- ARENAS, C., CABRERA, L. & RAMOS, E. (2007): Sedimentology of tufa facies and continental microbialites from the Palaeogene of Mallorca Island (Spain). – *Sedimentary Geology*, 197, 1–27.
- BERNOR R.L., BI, S. & RADOVČIĆ, J. (2004): A contribution to the evolutionary biology of *Conohyus Olujici* n.sp. (Mammalia, Suidae, Tetraconodontinae) from the early Miocene of Lučane, Croatia. – *Geodiversitas*, 26, 509–533.
- BRUSINA, S. (1874): Fossile Binnen-Mollusken aus Dalmatien, Kroatien und Slavonien nebst einem Anhange. – *Actienbuchdruckerei, Agram*.
- BRUSINA, S. (1878): Molluscorum fossilium species novae et emendatae, in tellure tertiaria Dalmatiae, Croatiae et Slavoniae inventae. – *Journal de Conchyliologie*, Oct. 1878, 1–10.
- BRUSINA, S. (1882): *Orygoceras* eine neue Gasteropodengattung der Melanopsiden-Mergel Dalmatiens. – *Beiträge zur Paläontologie Österreich-Ungarns und des Orients*, 2, 33–46.
- BRUSINA, S. (1892): Fauna fossile terziaria di Markuševac in Croazia. Con un elenco delle Dreissensidae della Dalmazia, Croazia e Slavonia. – *Glasnik Hrvatskoga naravoslovnoga društva*, 7, 113–210.
- BRUSINA, S. (1897): Građa za neogensku malakološku faunu Dalmacije, Hrvatske i Slavonije uz neke vrste iz Bosne i Hercegovine i Srbije. – *Djela Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti*, 18, 1–43.
- DE LEEUW, A., MANDIC, O., VRANJKOVIĆ, A., PAVELIĆ, D., HARZHAUSER, M., KRIJGSMAN, W. & KUIPER, K.F. (2010): Chronology and integrated stratigraphy of the Miocene Sinj Basin (Dinaride Lake System, Croatia). – *Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology*, 292, 155–167.
- HARZHAUSER, M. & MANDIC, O. (2009): Neogene dreissenids in Central Europe: evolutionary shifts and diversity changes. Chapter 2. – In: VAN DER VELDE, G., RAJAGOPAL, S. & BIJ DE VAATE, A. (eds.): *The Zebra Mussel in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden/Margraf Publishers, 11–29, Weikersheim.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & SLIŠKOVIĆ, T. (1978): Miocene kongerije Hrvatske, Bosne i Hercegovine. – *Palaeontologia jugoslavica*, 19, 1–98.
- KRSTIĆ, N., SAVIĆ, LJ., JOVANOVIĆ, G. & BODOR, E. (2003): Lower Miocene lakes of the Balkan Land. – *Acta Geologica Hungarica*, 46, 291–299.
- JIMÉNEZ-MORENO, G., MANDIC, O., HARZHAUSER, M., PAVELIĆ, D. & VRANJKOVIĆ, A. (2008): Vegetation and climate dynamics during the early Middle Miocene from Lake Sinj (Dinaride Lake System, SE Croatia). – *Review of Palaeobotany and Palynology*, 152, 237–245.
- MANDIC, O., PAVELIĆ, D., HARZHAUSER, M., ZUPANIĆ, J., REISCHENBACHER, D., SACHSENHOFER, R.F., TADEJ, N. & VRANJKOVIĆ, A. (2008): Depositional history of the Miocene Lake Sinj (Dinaride Lake System, Croatia): a long-lived hard-water lake in a pull-apart tectonic setting. – *Journal of Paleolimnology*, 41, 431–452.
- NEUMAYR, M. (1869): Beiträge zur Kenntnis fossiler Binnenfaunen. – *Jahrbuch der Geologischen Reichsanstalt*, 19, 355–382.
- OLUJIĆ, J. (1999): O razvojnim nizovima nekoliko melanopsida i prozostenida iz sarmatskih naslaga okoline Sinja (Dalmacija, Hr-

- vatska).– U: JURIŠIĆ-POLŠAK, Z. (ur.): O razvojnim nizovima nekoliko melanopsida i prozostenida iz sarmatskih naslaga okoline Sinja (Dalmacija, Hrvatska). Hrvatski prirodoslovni muzej, Zagreb and Provincijalat Franjevačke provincije presvetog Otkupitelja, Sinj, 7–32 + 33–60 str.
- TARI-KOVAČIĆ, V. (2002): Evolution of the northern and western Dinarides: a tectonostratigraphic approach.– European Geosciences Union, Stephan Mueller Special Publication, Series 1, 223–236.
- SCHMID, SM., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATENCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTA-
- SZEWSKI, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaridic orogenic system: correlation and evolution of tectonic units.– Swiss Journal of Geosciences, 101, 139–183.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics.– Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 220, 333–360.

**Ekskurzija A2 – Geološka ekskurzija kroz hrvatske Dinaride:
geologija, hidrogeologija i mineralne sirovine**

**Excursion A2 – Geological field-trip across Croatian Dinarides Mts.:
geology, hydrogeology and mineral resources**

Tonći Grgasović, Tamara Marković, Vili Pencinger & Josip Terzić

Geološka ekskurzija kroz hrvatske Dinaride: geologija, hidrogeologija i mineralne sirovine

Geological field-trip across Croatian Dinarides Mts.: geology, hydrogeology and mineral resources

Voditelji: Tonći Grgasović, Tamara Marković, Vili Pencinger & Josip Terzić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska

Geološka ekskurzija kroz hrvatske Dinaride raznolika je na više načina. Raznolikost se očituje u objedinjavanju više geoloških disciplina: paleontologije (cijanobakterije, alge, foraminifere, ihnofosili), stratigrafije (bio- i lito-), sedimentologije (recentna, karbonatna i klastična), hidrogeologije (s hidrogeokemijom) i geologije mineralnih sirovina (ležišta vapnenca i boksita). Često smo mi geolozi zatvoreni u svoje stručno-znanstvene krugove, a upravo je međusobna suradnja i uvažavanje ono što unaprijeđuje geologiju. Nadamo se da će ova ekskurzija biti jedan od poticaja međusobne suradnje među geolozima.

Ekskurzija prolazi kroz najljepše krajeve Hrvatske: od prvog hrvatskog nacionalnog parka Plitvičkih jezera, preko prekrasnog Gackog polja, pitome i krševite Like, do opjevanog Velebita, čitavog uključenog u park prirode, s impresivnim šiljcima Tulovih greda odakle puca pogled na široke Ravne kotare, gdje je i zadnja točka naše ekskurzije.

Ovaj vodič ekskurzije pisalo je više autora, ne samo njegovi voditelji. Za jedan dio točaka iskorišten je raniji vodič publiciran za potrebe Međunarodnog simpozija o fosilnim algama, prilagođen za ovu svrhu. Nadamo se da će biti od koristi, ne samo na ovoj ekskurziji, već i kasnije kao pomoć u radu.

Sretно!

Trasa ekskurzije:

1. dan: 12.10.2010.

Točka 1. Plitvička jezera – geologija, hidrogeologija, nastanak jezera, stvaranje sedre, sedrotvorci

Točka 2. Hidrogeološka i hidrokemijska obilježja izvora rijeke Gacke

2. dan: 13.10.2010.

Točka 3. Velebit – cesta Sv. Rok – Mali Alan – Tulove grede: evolucija karbonatne platforme i stratigrafija (perm, trijas, jura i Jelar-naslage)

Točka 4. Obrovac – lokalitet Karamarkuša – paleogenski boksiti

Točka 5. Benkovački kamen – lokalitet Mejanica

Field trip route:

1. day: 12.10.2010.

Stop 1. Plitvice lakes – geology, hydrogeology, origin of the lakes, formation of calcareous tufa, tufa-making biota

Stop 2. Hydrogeological and hydrochemical characteristics of Gacka river fountains

2. day: 13.10.2010.

Stop 3. Velebit Mt. – road Sv. Rok – Mali Alan – Tulove grede: carbonate platform evolution and stratigraphy (Permian, Triassic, Jurassic and “Jelar deposits”)

Stop 4. Obrovac – Karamarkuša locality – Palaeogene bauxites

Stop 5. “Benkovac stone” – Mejanica locality

Točka 1 – Stop 1

Plitvička jezera* Plitvice Lakes

Tonći Grgasović¹, Stjepko Golubić² & Josip Terzić¹

¹Hrvatski geološki institut, Sachova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(tgargasovic@hgi-cgs.hr, jterzic@hgi-cgs.hr)

²Boston University, Biological Science Center, 5 Cummington Street, Boston, MA 02215–2406, USA
(golubic@bu.edu)

* Tekst je većim dijelom baziran na radu GOLUBIĆ, S. & GRGASOVIĆ, T. (2007): Stop 19 – Plitvice Lakes.– In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 125–134, Zagreb.

Uvod

Plitvička jezera sastoje se od 16 kaskadno raspoređenih jezera odvojenih sedrenim barijerama. Sedrotvorci, u koje spadaju mahovine, alge i drugi mikroorganizmi, igraju ključnu ulogu u nastanku ovih barijera, a time i nastanku jezera. Plitvička jezera predstavljaju vrlo osjetljivi biodinamički sustav koji je održavan intenzivnim procesom biokalcifikacije.

Plitvička jezera su najstariji hrvatski nacionalni park, utemeljen 1949. godine. Park je 1979. godine uključen u UNESCO-v popis svjetske baštine zbog svoje "izvanredne ljepote i kontinuirane produkcije sedre kemijskim i biološkim procesima". Površina Parka je 295 km².

Jezera su raspoređena u nizu duljine oko 8 km s visinskom razlikom od 158 m. Voda dolazi u jezera dvama rijekama – Crnom i Bijelom, koje se neposredno prije jezera spajaju u rijeku Maticu. Postoje također i manji potoci. Voda izlazi iz jezera kao rijeka Korana. Plitvička jezera mogu se jasno razdvojiti u dva dijela – gornja i donja jezera (Sl. 1, 2). Gornja jezera (Prošćansko, Ciginovac, Okrugljak, Batinovac, Veliko, Malo, Vir, Galovac, Milino, Gradinsko, Burget – Tab. I, Sl. 2, Kozjak) leže u širokoj dolini razvijenoj u gornjotrijaskim dolomitima, dok su Donja jezera (Milanovac, Gavanovac, Kaluđerovac – Sl. 3, Novakovića brod) stisnuta unutar uskog kanjona usječenog u kredne vapnence. Najviši vodopad Skakavac (78 m) nalazi se na potoku Plitvice, koji utječe u jezera na mjestu zvanom Sastavci (Tab. I, Sl. 1).

Klima ovog dijela Like je prijelazna između mediteranske i kontinentalne, uz elemente planinske klime (prosječna nadmorska visina je oko 700 m). Ljeta su topla i sunčana, ali su zime duge, hladne i s puno snijega. Nacionalni park Plitvička jezera je jako šumovit (oko 75% parka) s elementima alpske i mediteranske vegetacije. Najčešća vrsta je bukva, a javljaju se i jela i smreka. Neki dijelovi šume su pod posebnom zaštitom. Park je i dom za brojne životinjske vrste, kao što su mrki medvjed, vuk, sova ušara i ris.

Geologija i hidrogeologija

Plitvička jezera geomorfološki i geološki dio su Dinarda. Šire područje Plitvičkih jezera izgrađeno je od mezozojskih vapnenaca i dolomita (PETRIK, 1958; POLŠAK, 1960, 1974; POLŠAK et al., 1978; BOŽIČEVIĆ, 1990, 1994).

Mezozojske (uglavnom jurske) karbonatne stijene iz zaleđa jezera prikupljaju vodu koja otjeće prema jezerima. Područje Nacionalnog parka zahvaća dijelom ili u cijelosti šest krških sljevova: slijev Plitvičkih jezera, slijev Koreničkog polja, slijev ponora Prijeko, slijev izvora Klokot, slijev izvora Ličke Jesenice i slijev Vrhovinskog polja. Oblik jezera i okolnog terena direktan je odraz geološke gradi (Sl. 2). Gornjotrijasci dolomiti na kojima leže gornja jezera su slabije propusni i zadržavaju vodu. Kao rezultat toga, gornja jezera smještena su u širokoj dolini s relativno blagim padinama. Upravo je relativno niža vodopropusnost dolomita jedan od najvažnijih čimbenika u postanku jezera. Gornjokredni vapnenaci nalaze se u podini donjih jezera. Uslijed okršavanja vapnenaca, donja jezera su uža i nalaze se unutar dubokog kanjona. Kontakt između dolomita i vapnenaca je rasjedan i definira SZ-JI pružanje jezera Kozjak.

Izdanci u bližoj okolini jezera su gornjotrijaske, donjorske i gornjokredne starosti. Gornjotrijasci dolomiti su uslojeni, rjeđe masivni, debljine oko 400 m (tektonski reducirane). Ovi dolomiti predstavljaju tipične naslage "Glavnog dolomita" s ritmičkom izmjenom potplimskih mikrokristaliničnih dolomita i međuplimskih dolomitnih stromatolita. Donjojurske naslage otkrivene su sjeverozapadno od jezera. Njihov donji dio izgrađen je od sivih dobro uslojenih dolomitičnih vapnenaca s rijetkim interkalacijama pločastih vapnenaca koji u gornjem dijelu prelaze u tanko uslojene i pločaste tamno sive vapnence s rijetkim interkalacijama rožnjaka. Vapnenaci u blizini izvora potoka Plitvica sadrže foraminifera *Orbitopsella precursor* (vidi točku 2D ovog vodiča). Vanda KOCHANSKY (1958) opisala je izmjenu generacija kod ove vrste upravo na temelju primjeraka s ovog lokaliteta. Mnoge generacije studenata posjećivale su ovaj lokalitet pa je on sada, na žalost, iscrpljen. Gornji dio jurskog slijeda izgrađen je od sivih vapnenaca i dolomita. Ukupna debljina donjojurskih naslaga iznosi 400-600 m. Gornjokredne naslage debljine 600-800 m izgrađene su isključivo od vapnenaca. U njima su nađeni brojni rudisti (POLŠAK, 1963), među kojima *Bournonia excavata*, *Gorjanovicia costata*, *Vaccinites cornuvaccinum* i dr., kao i foraminifere *Accordiella conica*, *Dicyclina schlumbergeri*, *Cuneolina pavonia parva*, *Keramosphaerina tergestina* i dr.



Slika 1. Plitvička jezera – panorama (izvor: NP Plitvička jezera).
Figure 1. Plitvice lakes – panorama (source: Plitvice lakes National Park).

(POLŠAK et al., 1978). Na temelju ovih fosilnih nalaza starost je definirana kao konjak – donji kampan.

Unutar Nacionalnog parka prisutni su i brojni krški fenomeni, među kojima i 36 speleoloških objekata (špilja i jama). Posebna zanimljivost su tzv. "sedrene špilje". Dok "standardne" špilje nastaju otapanjem vapnenca, sedrene špilje nastaju na potpuno suprotan način. Napredovanje sedrenih barijera ponekad unutar sebe ostavlja šupljine (zbog razdvajanja vodenog toka, bujnog rasta mahovina, oborenog stabla i sl.), pa imamo inverzan proces u usporedbi s okršavanjem: vapnenac se taloži oko šupljine, umjesto da šupljina nastaje unutar vapnenca. Ovakve su špilje uglavnom jako male.

Sedra

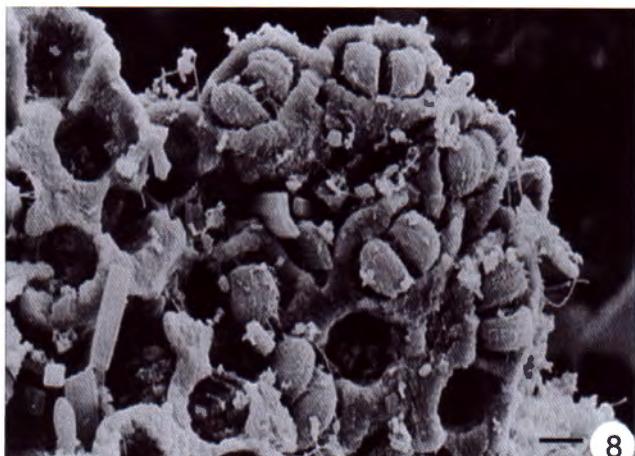
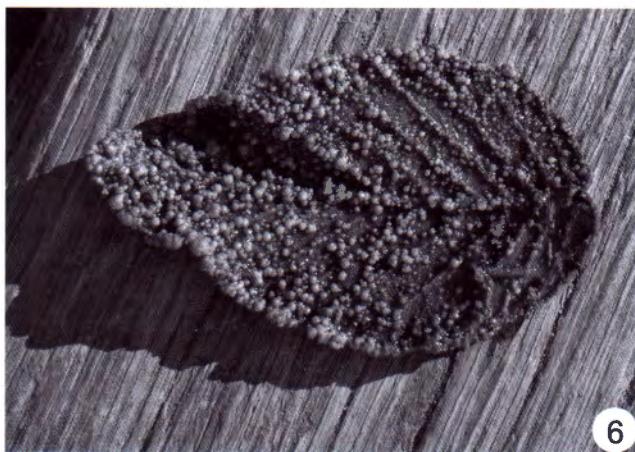
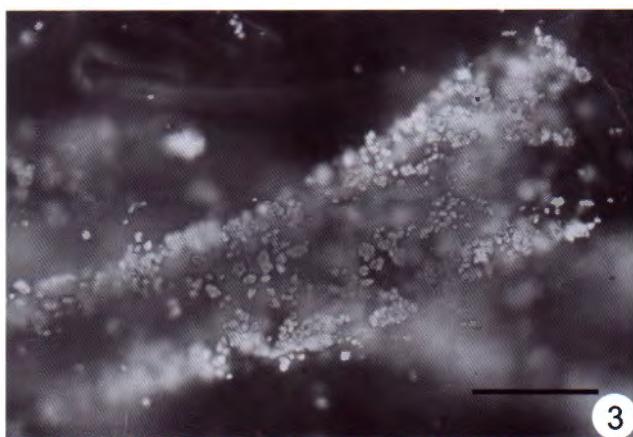
Jezera su odvojena barijerama od porozne vapnenačke stijene – sedre. Engleski naziv za sedru je "calcareous tufa", dok se slične naslage istaložene iz termalnih voda nazivaju travertin, prema talijanskom mjestu Tibur (danast Tivoli) gdje se ovaj kamen (*Lapis tiburtinus*) vadio u rimsko vrijeme, a vadi se i danas. Stvaranje sedre temeljni je fenomen Plitvičkih jezera i osnovni preduvjet njihova nastanka i očuvanja. Imaju li kod stvaranja sedre veću važnost abiogeni (fizičko-kemijski) ili biološki procesi pitanje je koje se u literaturi često razmatralo (PEVALEK, 1926, 1935, 1958; MATONIČKIN & PAVLETIĆ, 1961; MATONIČKIN et al., 1971; GOLUBIĆ, 1969, 1973; SRDOČ et al., 1985; EMEIS et al., 1987; PLENKOVIĆ-MORAJ, 1993; CHAFETZ et al., 1994; STILINoviĆ, 1994; PRIMC-HABDIJA et al., 2001; PLENKOVIĆ-MORAJ et al., 2002; FRANCIŠKOVIĆ-BILINSKI et al., 2004; HORVATINČIĆ, 2004; ZWICKER & RUBINIĆ, 2005; GOLUBIĆ et al. 2008). Plitvička jezera predstavljaju kompleksan i dinamičan sustav u kojem postoje biokemijske i geokemijske interakcije od mikroskopskog

do regionalnog nivoa. Proces stvaranja sedre uključuje fizičko-kemijske uvijete za otapanje i obaranje kalcijevog karbonata, ali je u najvećoj mjeri kontroliran biološkim procesima, prvenstveno fotosintezom.

Tri su glavna preduvjeta za nastanak sedre: 1) supersaturacija vode u odnosu na kalcijev karbonat, 2) prisutnost fotosintetskih organizama (cijanobakterija, algi i biljaka) i 3) čistoća vode s niskim udjelom organske tvari. Karbonatne stijene iz slijevnog područja Plitvičkih jezera izvor su otopljenog kalcijevog karbonata koji je prisutan u obliku kalcijevog bikarbonata $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Supersaturiranost ove otopine nastaje zbog povišenog parcijalnog pritiska uglavnom biogenog CO_2 u tlu i u podzemnim vodama slijevnog područja (GOLUBIĆ, 1973). Guste šume u okolini jezera djeluju kao karbonska pumpa i utječu u velikoj mjeri na otapanje vapnenca vodama koje cirkuliraju prema jezerima.

MATONIČKIN et al. (1971) smatrali su abiotičke faktore, posebno prskanje i prozračivanje vode na barijerama i slapovima, najvažnijim za taloženje sedre. Ovo objašnjenje nastanka sedre "primilo se na plodno tlo" i još i danas u neznanstvenoj javnosti (prospekti, izlaganja turističkih vodiča i dr.) dominira, iako je kasnijim istraživanjima dokazana presudna važnost organizama za precipitaciju karbonata.

EMEIS et al. (1987), istražujući proces stvaranja sedre na Plitvicama, izmjerili su povišeni parcijalni pritisak CO_2 (preko 7000 ppm) na izvorima, uz blagu podsaturiranost na kalcit (indeks saturacije 0,03). Parcijalni pritisak CO_2 vrlo brzo opada nizvodno, što vodi visokoj supersaturaciji karbonata (indeks saturacije 0,53–0,74). Oni procjenjuju godišnje taloženje CaCO_3 reda veličine 10.000 tona i to u obliku sedre i mikritnog mulja unutar jezera. U zaključcima EMEIS et al. (1987) navode da je osnovni faktor lokalizirane pojave sedrenih barijera onaj biološki, naravno uz zadovoljene fizi-



čko kemiske uvijete koji međutim postoje i na drugim mjestima, također i unutar sustava Plitvica, ali bez taloženja sedre. Presudnu važnost biološkog faktora naglašavao je i znameniti istraživač i popularizator Plitvičkih jezera Ivo PEVALEK (1926): "Suština Plitvičkih jezera leži u sedri i sedrotvornom bilju (sedrotvorci) i to algama i mahovinama. Bezbroj različitih slapova, raznolične pregrade između pojedinih jezera i jezeraca, pa jedinstvene spilje izradilo je sedrotvorno bilje". Zajednice mikro i makro-organizama koje nalazimo na Plitvicama i drugim mjestima sa sedrom ne nalazimo u riječima u kojima nema sedrenja (GOLUBIĆ, 1969). Najvažniji dokaz za presudnu važnost biljaka u procesu sedrenja dali su izvanredno zamišljenim jednostavnim eksperimentom SRDOČ et al. (1985). Oni su na mjesta najintenzivnije kalcifikacije postavili čeličnu i bakrenu mrežicu. Nakon izvjesnog vremena čelična mrežica bila je potpuno prekrivena sedrom, dok je bakrena mrežica (otrovna za mikroorganizme) bila bez ikakvog traga ovapnjena.

ZWICKER & RUBINIĆ (2005) hidrološkim su izračunima procijenili godišnji rast sedrenih barijera na 1,5 cm za Prošćansko jezero, a 0,56 cm za jezero Kozjak, dok su SRDOČ et al (1985) za Prošćansko jezero izotopnim datiranjem potopljenog debla na temelju ^{14}C izračunali brzina rasta od 1,35 cm/god.

Brojni organizmi učestvuju u stvaranju sedre. Inicijalno ovapnjene nastaju u sluzavim ovojniciama cijanobakterija i dijatomeja koje su pričvršćene za podlogu (stijenu, sedru, mahovinu i sl.) i tako tvore tzv. "mikrobski biofilm" (Tab. I, Sl. 7). Pojedine vrste ovih organizama su posebno značajne, kao npr. cijanobakterija *Scytonema julianum* (Tab. I, Sl. 3) i mikroskopska zelena alga *Oocardium stratum* (Tab. I, Sl. 6, 8) (GOLUBIĆ et al., 2008.). U zonama intenzivne kalcifikacije važna je značajka mikroorganizama da migriraju van sedrenih naslaga, ostavljajući svoje sluzave ovoje, slično kao kod stromatolita (GOLUBIĆ, 1991). Ekstracelularni sluzavi ovoji cijanobakterija, dijatomeja i ostalih alga vezani su i za hvatanje karbonatnih čestica iz suspenzije (PRIMC-HABDIJA et al., 2001; PLENKOVIĆ-MORAJ et al., 2002). MARČENKO (1960) je opisao nekoliko ovapnjujućih cijanobakterija, a također i cijanobakterije i dijatomeje koje rastu na vodenim mahovinama. Taloženje sedre, nakon inicijalnog ovapnjenja, vezano je, osim za spomenute organizme, u manjoj mjeri i za druge mikroskopske i makroskopske alge, kao i za mahovine. Vodene mahovine rastu obično na kaskadama i brzacima, gdje često bivaju prekrivene sedrom. Najčešća vrsta na strim stranama sedrenih barijera i na slapo-

vima je *Cratoneuron commutatum* (Tab. I, Sl. 5), a na brzacima *Bryum pseudotriquetrum*. Nešto je rjeđa vrsta *Didymodon tophaceus*, koju nalazimo na mjestima udara vode. Naravno, sve ove vrste mogu se naći i zajedno (PAVLETIĆ, 1957). Da je značaj mahovina (i njihove fotosinteze) u stvaranju sedre manji od mikroskopskih organizama, pokazuje to da je ovapnjene kod mahovina intenzivnije na stabljici i na starim listićima nego na onima koji aktivno rastu. Ovapnjene mahovine čine u biti "kostur" sedrenih barijera, iako njihovim truljenjem ostaju šupljine koje sedru čine poroznom.

Kroz opisani proces sedrenja (kalcifikacije) rijeka se transformira u seriju jezera odvojenih sedrenim barijerama. Kako barijere rastu, jezera iza njih postaju sve dubla. Rast mahovina na rubu barijera uzrokuje stvaranje zavjesa i šiplja. U ovim, nešto zatamnjениm okolišima obitava ponešto drukčija zajednica organizama, među kojima i cijanobakterija *Petalonema* (Tab I, Sl. 4).

Plitvička sedra ima i svoju geološku povijest. Izotopnim istraživanjima (MARČENKO et al., 1989; HORVATINČIĆ et al., 2000, 2003; HORVATINČIĆ, 1985, 2004) utvrđena je maksimalna starost aktivnih sedrenih barijera od 7000 godina, a onih fosilnih od oko 90.000 do 130.000 godina, kao i okoliš taloženja u vrijeme toplijih i vlažnijih razdoblja interglacijsala.

Rast sedrenih barijera je dinamičan proces i izgled jezera je podložan stalnoj promjeni. Potres ili nagli prodror vode može probiti sedrenu barijeru i smanjiti nivo u jezeru ili ga isušiti. Brzi rast donje (nizvodne) barijere može potopiti onu uzvodnu. Tako je jezero Kozjak (danasa duboko 46 m) bilo podijeljeno sedrenom barijerom u dva jezera još prije 400 g. (Sl. 2), ali su se bržim rastom donje barijere dva jezera spojila u jedno. O drukčijem izgledu jezera svjedoče i fosilne barijere u okolini jezera.

Zaštita Plitvičkih jezera

Plitvička jezera ugrožena su u prvom redu antropogenom eutrofikacijom, koja raste sa stalnim porastom broja posjetitelja parka. Neki znakovi ovog procesa vidljivi su i golim okom, kao što je promjena boje vode prema zelenoj zbog povećanog rasta zelenih alga, a što je posljedica povećanog unosa dušika u jezera. Karakteristična tirkizna boja plitvičke vode upravo je znak čistoće vode i oligotrofnih uvjeta neophodnih za život sedrotvornih organizama (GOLUBIĆ, 1966). Kalcitne kore koje su se redovito primjećivale na granama u vodi sada su često zamijenjene sluzavim organskim pokrovom. ZWICKER & RUBINIĆ (2005) su



Tabla I – Plate 1

1 Slap Mali Prštavac – Mali Prštavac waterfall.

2 Burget – potopljena sedrena barijera – Burget – drowned tufa barrier.

3 Ovapnjela cijanobakterija *Scytonema julianum*. Skala 10 µm – Calcified cyanobacterium *Scytonema julianum*. Scale bar is 10 µm

4 Cijanobakterija *Petalonema alatum* iz šiplje ispod vodopada Mali Prštavac. Skala 10 µm – The cyanobacterium *Petalonema alatum* from a cave under the waterfall Mali Prštavac. Scale bar is 10 µm

5 Mahovina *Cratoneuron commutatum* – The moss *Cratoneuron commutatum*

6 Ovapnjene kolonije alge *Oocardium stratum* (desmids, Chlorophyta) na listu – Calcified colonies of *Oocardium stratum* (desmids, Chlorophyta) on a leaf

7 SEM fotografija mikrobskog biofilma. Sklala 10 µm – SEM picture of microbial biofilm. Scale bar is 10 µm

8 SEM fotografija alge *Oocardium stratum*. Skala 10 µm – SEM picture of alga *Oocardium stratum*. Scale bar is 10 µm



Slika 2. Uzdužni hidrogeološki profil kroz Plitvička jezera (izvor: NP Plitvička jezera; autor: S. BOŽIĆEVIĆ).

Figure 2. Longitudinal hydrogeological section of the Plitvice lakes source: Plitvice lakes National Park; author: S. BOŽIĆEVIĆ.



Slika 3. Jezero Kaluđerovac.

Figure 3. Kaluđerovac lake.

također zaključili kako je do usporavanja rasta sedre došlo i zbog antropogenog onečišćenja vode koja dotječe u jezera. Ovo su upozoravajući znakovi s obzirom da stvaranje sedre prestaje iznad koncentracije od 10 mg/l otopljene organske tvari (PLENKOVIĆ-MORAJ et al., 2002). Krajnji je čas za primjerene akcije za spas ovog spomenika svjetske prirodne baštine, čemu bi trebala prethoditi i dodatna znanstvena istraživanja, kako biološka (HORVATINČIĆ et al., 2004, 2006), tako i geološka (BOŽIĆEVIĆ, 1990).

LITERATURA

- BOŽIĆEVIĆ, S. (1990): Hidrogeološke zanimljivosti Plitvičkih jezera.– Ekološki glasnik, 7–8, Zagreb.
- BOŽIĆEVIĆ, S. (1994): Hidrogeološki problemi na području Plitvičkih jezera (Problems of hydrogeological exploration in the Plitvice lakes area).– Plitvička jezera – nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština, znanstveni skup, Zagreb, 43–51.
- CHAFETZ, S.H., SRDOČ, D. & HORVATINČIĆ, N. (1994): Early diagenesis of Plitvice Lakes waterfall and barrier travertine deposits.– Geographic physique et Quaternaire, 48, 247–255.
- EMEIS, K.C., RISHNOW, H.H. & KEMPE, S. (1987): Travertine formation – in Plitvice National Park, Yugoslavia: Chemical versus biological control.– Sedimentology, 34, 595–609.
- FRANČIŠKOVIĆ-BILINSKI, S., BARIŠIĆ, D., VERTAČNIK, A., BILINSKI, H. & PROHIĆ, E. (2004): Characterization of tufa from the Dinaric Karst of Croatia: mineralogy, geochemistry and discussion of climate conditions.– Facies, 50/2, 183–194.
- GOLUBIĆ, S. (1966): Vergleichende Untersuchungen des Lichtklimas in den Plitvicer Seen (Comparative study on light penetration in Plitvice lakes).– Verh. Internat. Verein. Limnol., 16, 108–110.
- GOLUBIĆ, S. (1969): Cyclic and noncyclic mechanisms in the formation of travertine.– Verh. Int. Verein Limnol., 17, 956–961.
- GOLUBIĆ, S. (1973): The relationship between blue-green algae and carbonate deposits.– In: CARR, N. & WHITTON, B.A. (eds.): The Biology of Blue-green Algae, Blackwell Scientific Publications, 434–472, Oxford.
- GOLUBIĆ, S., VIOLANTE, C., PLENKOVIĆ-MORAJ, A. & GRGASOVIĆ, T. (2008): Travertines or calcareous tufa deposits: an insight in diagenesis.– Geologia Croatica, 61/2–3, 363–378, Zagreb.
- HORVATINČIĆ, N. (1985): Određivanje starosti sedre na području Plitvičkih jezera metodom radioaktivnog ugljika ^{14}C . Disertacija, 189 str.
- HORVATINČIĆ, N. (2004): Investigations of water and tufa at the Plitvice National Park – Review of previous and future investigations in the Laboratory for low-level activity measurements at the Rudjer Bošković Institute.– Plitvički bilten, 6, 115–120, Plitvička jezera.
- HORVATINČIĆ, N., ČALIĆ, R. & GEYH, M.A. (2000): Interglacial growth of tufa in Croatia.– Quaternary Research, 53, 185–195.
- HORVATINČIĆ, N., BRIANSÓ, J.L., OBELIĆ, B., BAREŠIĆ, J. & KRAJCAR BRONIĆ, I. (2006): Water, Air and Soil Pollution.– Focus, 6, 475–485.

- HORVATINČIĆ, N., KRAJCAR BRONIĆ, I. & OBELIĆ, B. (2003): Differences in the ^{14}C age, ^{13}C and ^{18}O of holocene tufa and speleothem in the Dinaric Karst.– Palaeogeogr., Palaeoclim., Paleaeoecology, 193, 139–157.
- KOCHANSKY, V. (1958): Izmjena generacija vrste *Orbitopsella prae-cursor* u lijasu Plitvica (Generationswechsel der *Orbitopsella prae-cursor* im Lias von Plitvice, Croatia).– Geol. vjesnik, 11 (1957), 77–86, 3 pl, Zagreb.
- MARČENKO, E. (1960): Prilozi poznavanju vegetacije alga na području slapova Plitvičkih jezera.– Rad JAZU, 320, 106–152, Zagreb.
- MARČENKO, E., SRDOČ, D., GOLUBIĆ, S., PEZDIĆ, J. & HEAD, M.J. (1989): Carbon uptake in aquatic plants deduced from their natural ^{13}C and ^{14}C content.– Radiocarbon, 31, 785–794.
- MATONIČKIN, I. & PAVLETIĆ, Z. (1961): Biološke karakteristike sedrenih slapova u našim krškim rijekama.– Geografski glasnik, 22, 43–56, Zagreb.
- MATONIČKIN, I., PAVLETIĆ, Z., TAVČAR, V. & KRKAČ, N. (1971): Limnološka istraživanja reiokopta i fonoena protočne travertinizacije u plitvičkim jezerima.– Acta biol., 7/1 (Prir. istraž. JAZU, 40), 5–68, Zagreb.
- PAVLETIĆ, Z. (1957): Ekološki odnosi briofitske vegetacije na slavovima Plitvičkih jezera.– Acta Botanica Croatica, 16, 63–88, Zagreb.
- PETRIK, M. (1958): Prinos hidrologiji Plitvica.– Plitvička jezera – nacionalni park, 49–171, Zagreb.
- PEVALEK, I. (1926): Oblici fitogenih inkrustacija i sedre na Plitvičkim Jezerima i njihovo geološko znamenovanje.– Spomenica u počast Dr. Dragutinu Gorjanović – Krambergeru, 101–110, Hrvatsko prirodoslovno društvo, Zagreb.
- PEVALEK, I. (1935): Der Travertin und die Plitvice Seen.– Verh. intern. Verein. Limnol., 7, 167–181.
- PEVALEK, I. (1958): Biodinamika Plitvičkih jezera i njena zaštita.– Plitvička jezera – nacionalni park, 275–293, Zagreb.
- PLENKOVIĆ-MORAJ, A. (1993): Perifitonske alge i njihova povezanost sa sedrenjem u lotičkim biotopima Plitvičkih jezera.– Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
- PLENKOVIĆ-MORAJ, A., HORVATINČIĆ, N. & PRIMC-HABDIJA, B. (2002): Periphyton and its role in tufa deposition in karstic waters (Plitvice Lakes, Croatia).– Biologia, 57/4, 423–431.
- POLŠAK, A. (1960): Geološko istraživanje okolice Plitvičkih jezera.– Ljetopis JAZU, 63, 367–373, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1963): Rudisti senona Plitvičkih jezera i Ličke Plješevice (Les Rudistes du Sénonien des Lacs de Plitvice et de la Lička Plješevica en Croatie).– Geol. vjesnik, 15/2 (1961), 435–454, 8 fig., 3 pl, Zagreb.
- POLŠAK, A. (1974): Geološki aspekt zaštite Plitvičkih jezera.– In: Plitvička jezera – čovjek i priroda.– Nacionalni park Plitvička jezera, Zagreb.
- POLŠAK, A., ŠPARICA, M., CRNKO, J. & JURIŠA, M. (1978): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Bihać L33-116.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, 52 str., 4 fig., Beograd.
- PRIMC-HABDIJA, B., HABDIJA, I. & PLENKOVIĆ-MORAJ, A. (2001): Tufa deposition and periphyton overgrowth as factors affecting the ciliate community on travertine barriers in different current velocity conditions.– Hydrobiologia, 457, 87–96.
- SRDOČ, D., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., KRAJCAR, I. & SLIEPČEVIĆ, A. (1985): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera (Calcite deposition processes in karstwaters with special emphasis on the Plitvice Lakes).– Krš jugoslavije (Carsus Jugoslaviae), 11/4–6, 101–204.
- STILINOVIĆ, B. (1994): Temeljni fenomen Plitvičkih jezera (The fundamental phenomenon of the Plitvice lakes).– Plitvička jezera – nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština, znanstveni skup, 53–51, Zagreb.
- ZWICKER, G. & RUBINIC, J. (2005): Water level fluctuations as an indicator of tufa barrier growth dynamics in the Plitvice Lakes.– RMZ – Materials and Geoenvironment, 52/1, 161–163, 1 fig.

Točka 2 – Stop 2

Hidrogeološka i hidrokemijska obilježja izvora rijeke Gacke Hydrogeological and hydrochemical characteristics of the River Gacka springs

Tamara Marković

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(tmarkovic@hgi-cgs.hr)

Uvod

Slijev izvorišta rijeke Gacke nalazi se na području Ličko-senjske županije koja je smještena u centralnom dijelu dinarskog krša koji je u svjetskim razmjerima poznat kao *locus typicus*, odnosno klasični krš (Sl. 1). Područje prihranjivanja izvora obuhvaća prostor od 487 km². Gacka je tipična krška rijeka, ponornica. Tijekom godine ne dolazi do znatnih kolebanja količina protoka kroz korito te joj je, za kršku ponornicu, režim ujednačen. Srednja vrijednost protoka rijeke je 14 m³/s, a najniža zabilježena protoka je 8,5 m³/s, a najviša izmjerena je 59,9 m³/s.

Obzirom na to da se u Hrvatskoj 90% vode za potrebe vodoopskrbe dobiva iz zahvata podzemne vode na crpilištima i kaptiranim izvorištima, podzemna voda u kršu je od posebnog značenja jer se gotovo 50% teritorija države nalazi upravo na takvim terenima. Sustav izvora rijeke Gacke po količini i kakvoći može zadovoljiti potrebe vodoopskrbe regije i osigurati značajan ekonomski i socijalni razvoj tog prostora (PAVIČIĆ et al., 1997; PAVIČIĆ et al., 2006; MIKO et al., 2006; LUKAČ-REBERSKI, 2008). Povoljan geografski i hidrološki položaj omogućio je naseljenost još u kasno brončano doba. Stanovništvo je u novijoj povijesti ko-



Slika 1. Položaj slijeva rijeke Gacke.
Figure 1. The position of the River Gacka catchment.

silo vodeno bilje u rijeci za hranjenje stoke i na izvorima su sagradili mlinice za mljevenje žita, stupe za stupanje domaćeg sukna (Sl. 2a). Danas, samo koriste vodu za piće i love ribu (ribolovni turizam), a mlinice na Gackoj posebna su atraktivnost kao ostatak tradicijskog graditeljstva na vodi i starih obrta (Sl. 2b).

Hidrogeloška obilježja područja prihranjivanja izvora

Izvođe rijeke Gacke čini nekoliko izvora koji su smješteni duž JI ruba polja koje je smješteno 460 m.n.m u zoni rasjeda Žuta Lokva-Otočac-Udbina. Ona je u području između Gackog polja i Ramljana znatno sužena, a to suženje i njen položaj u odnosu na regionalni stres utječe na tečenje i raspored voda u širem području. Povoljniji smjer za kretanje vode je duž rasjeda pružanja SZ-JI (dinarski smjer) s utvrđenim horizontalnim pomacima krila (PAVIČIĆ et al., 1984; PAVIČIĆ et al., 1997). Duž rasjeda pružanja gotovo Z-I, dotječu podzemne vode što dovodi do javljanja izvora uz istočni rub Gackog polja (PAVIČIĆ et al., 1997). Nasuprot tome, nepovoljna orijentacija rasjeda prema stresu (60° – 90°)



Slika 2. a) Ribiči na rijeci Gackoj b) Mlinice na Majerovom vrilu (preuzete s web stranica sirana-ekogacka.hr i wikipedia.org.hr).
Figure 2. a) Fishermen on the River Gacka b) Watermills on the spring Majerovo vrilo (from www.sirana-ekogacka.hr and www.wikipedia.org.hr).

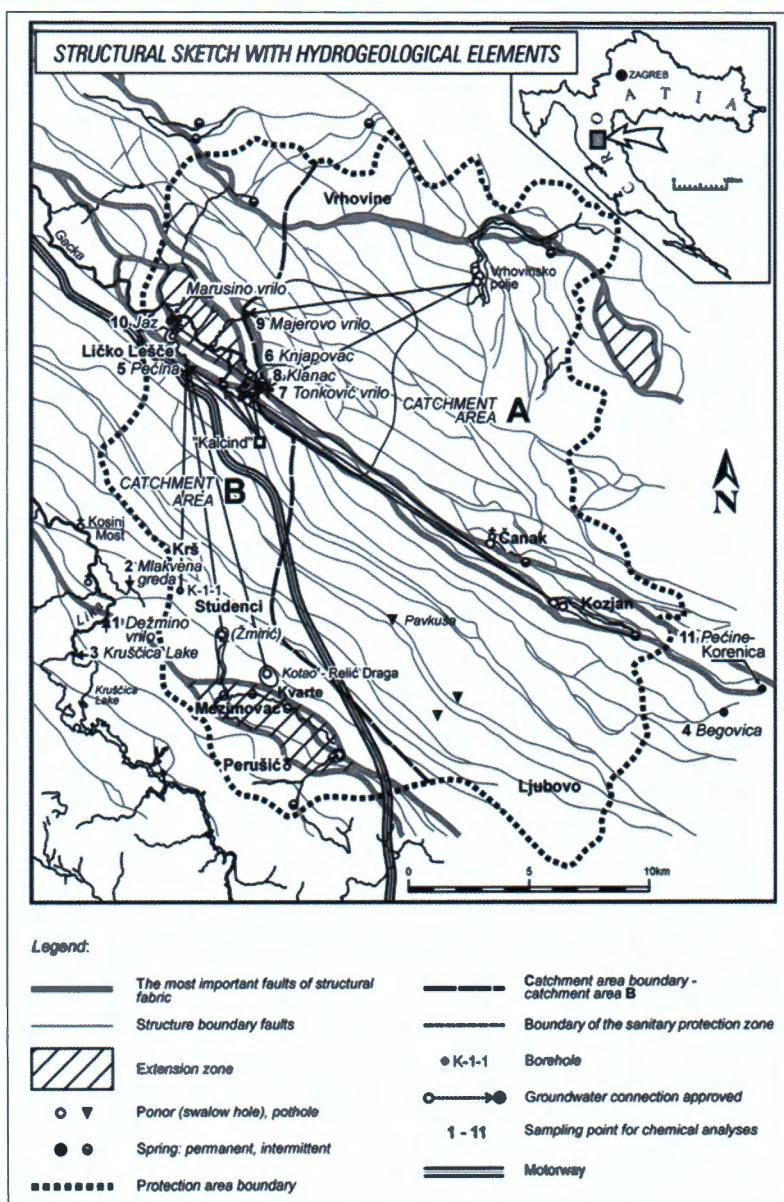
dovodi do lokalne kompresije, zatvaranja prostora i mogućeg sprečavanja protoka vode (PAVIČIĆ et. al., 1997).

Područje je u najvećoj mjeri izgrađeno od stijena sekundarne pukotinske poroznosti, a slabije su rasprostranjene stijene intergranularne poroznosti koje nalazimo kao kvartarni pokrivač u poljima i depresijama.

Najzastupljenije su dobro propusne karbonatne naslage. Izgrađuju ih vapnenci, dolomitizirani vapnenci, vapnenačke breče, vapnenaci i dolomiti u izmjeni i leće fosilifernog vapneca. Ovim debelim kompleksom naslaga obuhvaćen je niz litostratigrafskih članova od lijasa do eocena. Pretežno propusne naslage zastupljene su osim karbonatnim naslagama, mlađim paleogenskim vapnenačkim klastitima. Njihovo proširjanje i debljina je veliko što utječe na tečenje i raspored voda. Propusnost ovih naslaga varira ovisno o stupnju okršenosti i izlomljenosti te o zastupljenosti dolomitne, glinovite i laporovite komponente. Jelar naslage imaju specifične hidro-

geološke karakteristike, a zbog svojeg litološkog sastava i prostornog položaja i specifičnu hidrogeološku funkciju. Prisutnost breča s laporovitim vezivom i leće lapora u terenu izgrađenom od Jelar naslaga dovele je do dva suprotna hidrogeološka efekta, s jedne strane do neobično dobro razvijenih i površinskih i podzemnih krških fenomena, a s druge strane do formiranja u cjelini relativno slabije vodopropusne sredine (BAHUN & FRITZ, 1975). Nalazimo ih u dnu polja kod izvorišta Gacke, te u zapadnom dijelu slijeva. U svrhu analize hidrogeoloških osobina Jelar naslaga rađena su ispitivanja vodopropusnosti pod pritiskom u buštinama smještenim unutar krednih i jurskih naslaga i Jelar naslaga. Jelar naslage su pokazale oko 50 % manju vodopropusnost od karbonatnih naslaga jure i krede koje ih okružuju i na kojima leže.

Pretežno nepropusne naslage stratigrafski obuhvačaju J_2 , $J_3^{2,3}$, K_1 , K_2^1 i J_3 . Sastoje se od dolomita, vapnenačkih dolomita i dolomitnih breča. Područja gdje su debljine ovih



Slika 3. Hidrogeološka shema motrenog prostora.
Figure 3. Schematic hydrogeological map of investigated area.

naslaga veće možemo smatrati praktično nepropusnim. Tako, debeli kompleks dolomitnih naslaga koji se prostire na velikoj površini oko Vrhovinskog polja, Rudopolja i Babinog potoka čini barijeru tečenju podzemne vode. Nasuprot tome, prijelazne gornjokredne dolomitne naslage iz ove grupe stijena, koje se nalaze u okolini Ramljana i Perušića zbog male debljine i ograničenog prostranstva nemaju veći utjecaj na tok vode.

Nepropusne naslage se nalaze na vrlo malim površinama. To su rastrošeni i mjestimično vapnoviti lapori srednjeg i gornjeg eocena koje nalazimo na maloj površini zapadno od Bunića. Kvartarne naslage izdvojene su kao posebna skupina stijena naizmjeničnih osobina jer im propusnost varira ovisno o debljini i sastavu. Nalazimo ih u depresijama polja oko Perušića, Gackom, Krbavskom, Vrhovinskom, Lipovom polju, te ostalim manjim poljima i depresijama.

Unatoč činjenici da je najveći dio slijeva Gacke izgrađen iz propusnih karbonatnih naslaga, granice slijeva izvorišta Gacke su u znatnom dijelu prilično dobro definirane. Zapadna granica slijeva prema rijeci Lici relativno je dobro definirana zahvaljujući obilježavanju podzemnih tokova Mezimovac potoka na Žmirić ponoru (TURNER, 1957) i u piezometrima (PAVIČIĆ & RENIĆ, 1988) (Sl. 3). Uočava se izdvojenost slijeva izvora Pećina od izvora Tonkovića vrlila koja se očituje u hidrološkim značajkama ovih izvora. Izvor Pećina najvećim dijelom se prihranjuje vodom iz zapadnog dijela slijeva, gdje prevladavaju strukture odijeljene paralelnim vertikalnim rasjedima. Posljedica toga su velike oscilacije u izdašnosti, od 2,5 m³/s u maksimumu do svega 12 l/s u minimumu, sa srednjom vrijednosti od 1,4 m³/s.

Obilježavanjem podzemnih voda na ponoru Babinog potoka dokazane su brze veze (9,17 m/s) šireg područja Vrhovinskog polja s Majerovim vrilom (Sl. 3). Mjerene izda-

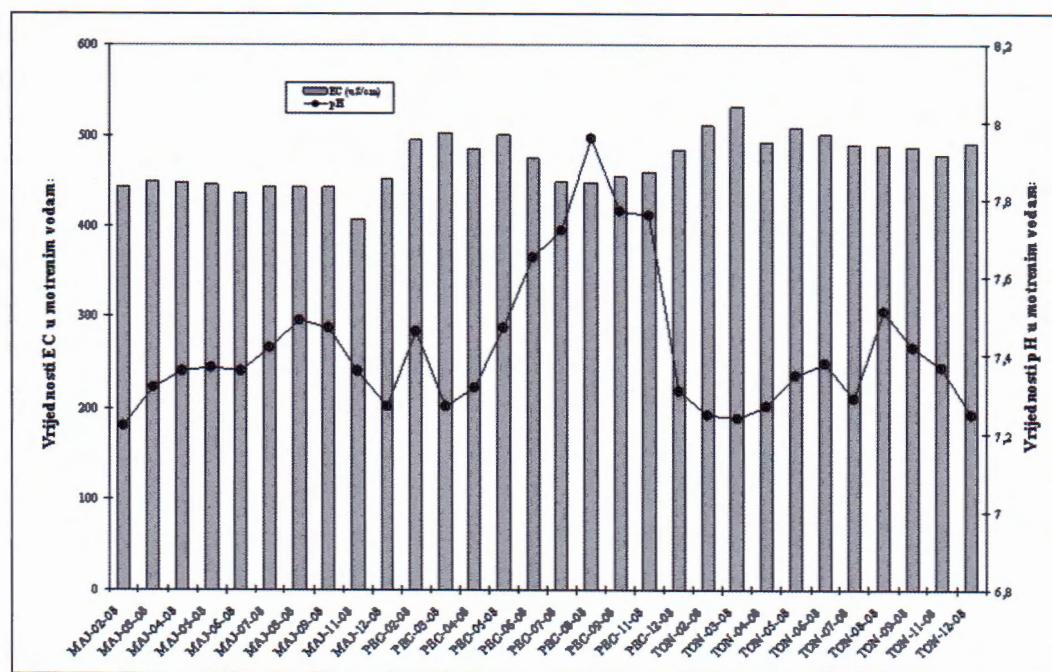
šnosti osciliraju od 1,5 do 8 m³/s te su posljedica postojanja otvorenih pukotina i krških kanala kojima je omogućeno brzo pritjecanje velikih količina vode.

Tonkovića vrilo najveći dio vode drenira iz strukturne jedinice u neposrednom zaleđu izvora i središnjem dijelu slijeva, gdje su prisutne strukture pull-apart (Sl. 3). Posljedica utjecaja struktura je stalna i velika izdašnost koja je povezana s velikim retencijskim prostorom slijeva. Postojanje retencijskog prostora zapremine oko 400×10^3 m³ u slijevu izvorišta Gacke dokazano je hidrološkom analizom (ŽU-GAJ, 1983). Iako izdašnost izvora se kreće od 3,7 do 6 m³/s, svega 100 l/s je zahvaćeno za vodoopskrbu okolnih mjesta.

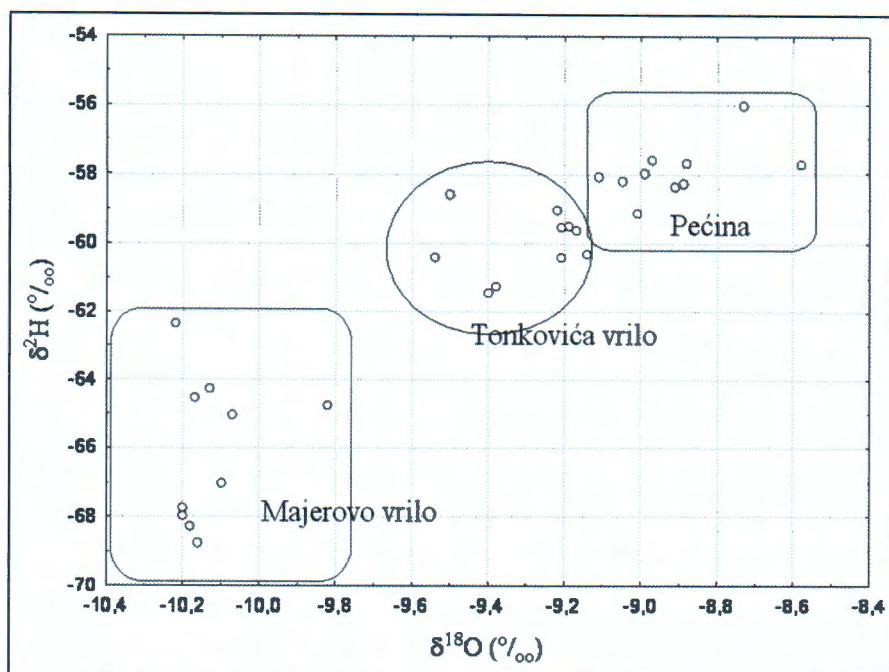
Hidrokemijska obilježja izvora

Motrene temperature izvorskih voda se kreću od 8,4 do 9,9 °C. Zapažaju se male varijacije u temperaturi vode Majerovog (8,8–9,6 °C) i Tonkovića vrilo (9,2–9,8 °C). Samo u izvorskoj vodi Pećine zapažaju se veće oscilacije temperature u usporedbi s ostalim izvorima 8,4–9,9 °C. Općenit je poznato, da je temperatura izvorske vode jednaka srednjoj godišnjoj vrijednosti temperature zraka područja prihranjuvanja izvora. Zapaža se kod krških izvora oscilacije u temperaturi zbog utjecaja dominantnog kanalnog tečenja jer se uočavaju utjecaji oborina infiltriranih tijekom različitih godišnjih doba. Izvorske vode su blago alkalne i pH-vrijednosti se kreću od 7,22 do 7,96 (Sl. 4). Vrijednosti EC se kreću od 407 do 452 µS/cm u vodama Majerovog vrlila, od 478 do 511 µS/cm u vodama Tonkovića vrlila, a u vodama izvora Pećina od 460 do 503 µS/cm (Sl. 4).

Prema svom osnovnom ionskom sastavu motrene vode pripadaju Ca-HCO₃ do CaMg-HCO₃ tipu voda odnosno hidrokemijskom facijesu. Hidrokemijski facijes posljedica je otapanja minerala stijena koje izgrađuju vodonosnik. U



Slika 4. Raspodjela vrijednost EC i pH u motrenim vodama.
Figure 4. Distribution of values EC and pH of monitored waters.



Slika 5. Raspodjela stabilnih izotopa vodika i kisika u izvorskim vodama.
Figure 5. Distribution of stable isotopes of hydrogen and oxygen in spring waters.

slučaju izvorskih voda rijeke Gacke vidljivo je dominantno otapanje karbonatnih minerala (kalcita i dolomita).

Izmjereni omjeri stabilnih izotopa kisika i vodika u uzorkovanim vodama izvora upućuju na obnavljanje izvorskih voda oborinama (HORVATINČIĆ et al., 2007; MANDIĆ et al., 2008). Usporednom omjeru stabilnih izotopa kisika i vodika po pojedinim izvorima uočava se odvajanje izvora Majerovog vrla, Tonkovića i Pećine (Sl. 5).

Sadržaji nitrata, ortofosfata, amonijaka, sulfata i klorida su niske i daleko su ispod MDK koncentracija. Koncentracije nitrata se kreću od 2,7 do 5,2 mg/l i zamjećuje se utjecaj vegetacije. Koncentracije amonijaka i ortofosfata su vrlo niske i u većini slučajeva su ispod detekcije instrumenta <0,01 mg/l. Koncentracije sulfata se kreću od 4,4 do 10,6 mg/l. Sadržaji klorida se kreću od 1,9 do 20,1 mg/l. Najviše koncentracije klorida su zabilježene u ožujku i travnju (nakon otapanja snijega i obilnih kiša) na izvoru Pećina. Visoke koncentracije su posljedica utjecaja soljenja autoceste (MIKO et al., 2006; PAVIČIĆ et al., 2006).

Obzirom na mikrobiološke pokazatelje izvori su zagonjeni za vrijeme visokih i niskih ili samo visokih voda (PAVIČIĆ et al., 2003; 1997). U sljevnim područjima pojedinih izvora postoje naselja koja nemaju izgrađenu kanalizacijsku infrastrukturu pa otpadne vode iz kućanstva se ulijevaju u podzemlje. Međutim, izvor mikrobiološkog onečišćenja može biti i ispiranje površine terena.

LITERATURA

- BAHUN, S. (1989): Geološka osnova zaštite podzemnih voda u kršu.– Geol. vjesnik, 42, 201–211, Zagreb.
 BAHUN, S. & FRITZ, F. (1975): Hidrogeološke specifičnosti Jelar-naslagi Like.– Geol. vjesnik, 28, 345–355, Zagreb.

HORVATINČIĆ, N., KAPELJ, S., SIRONIĆ, A., KRAJCAR BRONIĆ, I., KAPELJ, J. & MARKOVIĆ, T. (2007): Investigation of water resources and water protection in the karst area of Croatia using isotopic and geochemical analyses.– Advances in Isotope Hydrology and its Role in Sustainable Water Resources Management (IHS-2007), Austria, 2, 295–304, Vienna.

MANDIĆ, M., BOJIĆ, D., ROLLER-LUTZ, Z., LUTZ, HANS O. & KRAJCAR BRONIĆ, I. (2008): Note on the spring region of Gacka River (Croatia).– Isotopes in Environmental and Health Studies, 44/2, 201–208.

MIKO, S., PAVIČIĆ, A., MARKOVIĆ, T. & KUHTA, M. (2006): Impact of highway stormwater runoff on the chemical status of karst waters of the Gacka spring, Croatia.– All About Karst and Water – Decision Making in a Sensitive Environment, Proceedings, Waterworks, 277–282.

PAVIČIĆ, A. & DOLIĆ, S. (2003): Trasiranje na ponoru Kotao – Relić Draga kod Perušića.– Fond. str. dok. HGI-a, Zagreb.

PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1988): Akumulacijsko jezero Kosinj i HE Otočac. Idejni projekt. Bojenje podzemnih voda.– Fond str. dok. HGI-a, Zagreb.

PAVIČIĆ, A., FRITZ, F. & BAHUN, S. (1984): Studija optimalnog korištenja vode slivova Like i Gacke. Knjiga 4. Geologija (Geološke podloge).– Fond. str. dok. HGI, Zagreb.

PAVIČIĆ, A., MIKO, S., DOLIĆ, M., MARKOVIĆ, T. & KUHTA, M. (2006): Impact of transport infrastructure (motorways) on the environment and water resources in karstic areas: Croatian contribution to KATER II, All About Karst & Water – Decision Making in a Sensitive Environment, Proceedings, Vienna Waterworks, 245–251.

PAVIČIĆ, A., PRELOGOVIC, E., BIONDIĆ, D., KAPELJ, S. & HINIĆ, V. (1997): Studija ugroženosti izvorišta rijeke Gacke.– Fond. str. dok. HGI, Zagreb.

REBERSKI-LUKAČ, J. (2008): Hidrogeološka i hidrogeokemijska osnova za definiranje slijeva Gacke i zaštita njenog izvorišta.– Magistarski rad, RGNF Sveučilišta u Zagrebu, 118 str.

TURNER, S. (1957): Bojenje ponora Mizimovac.– HMZ, Zagreb.

ŽUGAJ, M. (1981): Posebna analiza u hidrotehnici.– Sveučilišna naklada Liber, Zagreb.

Točka 3 – Stop 3

Velebit – cesta Sv. Rok – Mali Alan – Tulove grede: evolucija karbonatne platforme i stratigrafija (perm, trijas, jura i "Jelar-naslage")

Velebit – cesta Sv. Rok – Mali Alan – Tulove grede: carbonate platform evolution and stratigraphy (Permian, Triassic, Jurassic and "Jelar deposits")

Kratki prikaz geologije Velebita – Overview of geology of Velebit Mt.*

Ivo Velić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ivelic@hgi-cgs.hr)

*Tekst je preuzet iz VELIĆ, I. (2007): Velebit Mt.– In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 7–12, Zagreb.

Gorski masiv Velebita najduža je i obujmom najveća planina ne samo u Republici Hrvatskoj nego i u čitavim krškim Dinaridima. Proteže se od sjeverozapada od Senjske drage i Vratnika prema jugoistoku do doline rijeke Zrmanje u dužini od oko 150 km s prosječnom širinom od oko 14 km: najmanjom na potezu Lukovo Šugarje-Rizvanuša (10 km), a najvećom na potezu Jablanac – Gornji Kosinj (35 km). Sveukupna površina Velebita iznosi oko 2280 km².

Smješten poput bedema između jadranske i kontinen-talne Hrvatske ujedinjuje u sebi mnogobrojne prirodne značajke mediteranskog i alpskog podneblja. To se najviše očituje u njegovoj bogatoj i raznolikoj morfologiji, ogoljeloj primorskoj i šumovitoj kontinentalnoj padini, kao i mješovitoj mediteransko-alpskoj flori i fauni s mnoštvom endem-skih oblika.

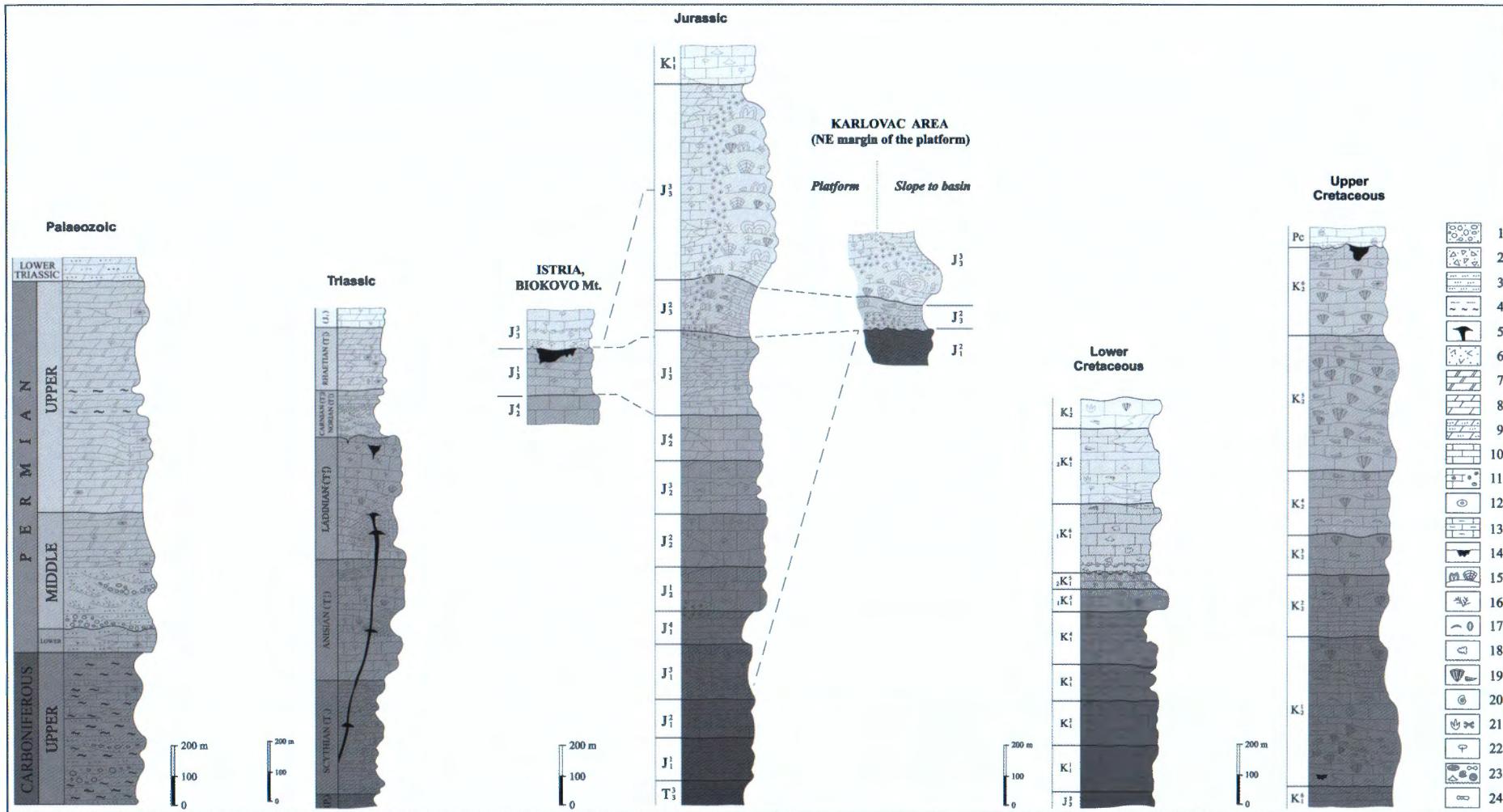
Cijeli je Velebit zaštićen kao Park prirode Velebit, a njegovi su pojedini dijelovi posebno zaštićeni kao geomorfološki ili floristički rezervati, kanjoni Velike i Male Paklenice su Nacionalni park Paklenica, najljepši dijelovi Sjevernoga Velebita također su uključeni u Nacionalni park Sjeverni Velebit, a unutar njega Hajdučki i Rožanski kukovi su strogi prirodni rezervati, što je najviši stupanj prirodne zaštite, te Modrić Dolac – planinski botanički vrt. Prašuma Štirovača u Srednjem Velebitu bila je prije Drugoga sv. rata također Nacionalni park.

Općenito se u geoznanstvenim krugovima Krške Dinaride smatra za svjetski "*locus typicus*" krške morfologije. U tome pogledu Velebitu pripada vodeće mjesto za što postoji više razloga. Najvažniji je u raznovrsnosti, mnogobrojnosti i osebujnosti krških oblika od najmanjih grižina ili škrapa do najvećih poput krških polja. Druga je važna posebnost Velebita u tome što je samo u njemu otkrivena podloga oko 8000 m debelog krškoga karbonatnoga kompleksa (SOKAČ, 1973; VELIĆ et al., 2002) čiji veći dio, od plinsbaha/toarcija do kraja krede, pripada razdoblju trajanja Jadranke karbonatne platforme (VLAHOVIĆ et al., 2005) kada je istaložen i najveći dio karbonatnih naslaga dinarskoga krša. Geomorfološke osobitosti i znamenitosti u Krškim Dinaridima posljedice su upravo spomenute izuzetno velike debljine karbonatnih naslaga. Stoga je Velebit jedno od rijetkih područja u Dina-

ridima gdje je moguće istraživati postupne početke taloženja plitkomorskih karbonatnih naslaga na varistički konsolidiranoj paleozojskoj podlozi (VELIĆ et al., 2002). Nigdje drugdje u Hrvatskoj nisu tako dobro i cjelovito otkrivene naslage perma i trijasa. Velebitska jura smatra se klasičnim plitkomorskим razvojem jurskih naslaga ne samo u Dinaridima nego i u širem mediteranskom području. U tercijarnim karbonatnim klastitima – "Jelar" brečama, koje pokrivaju najveći dio primorske padine i izgrađuju Crnopac i okolno područje, Tulove grede, donje dijelove kanjona Male i Velike Paklenice s Anića kukom, Stap i mnogobrojne stipline, Kizu, Dabarske kukove, Bačić kuk, Rožanske i Hajdučke kukove, Veliki Kozjak i Begovačke kukove, nalaze se najneobičniji i najljepši krški oblici, među njima i najdublje hrvatske Jame. Ako se ovome pridoda izuzetno bogatstvo fosilne flore i faune u velebitskim stijenama, nebrojeni sedimentološki fenomeni nastali u različitim taložnim, pretežito plitkomorskim okolišima od karbona do oligocena i u kopnenim taložinama srednjega perma, mlađega trijasa, mlađe krede, tercijara i kvartara onda i nije pretjerano ustvrditi da je i u Hrvatskoj, a i u Krškim Dinaridima Velebit i najveći prirodni geološki muzej.

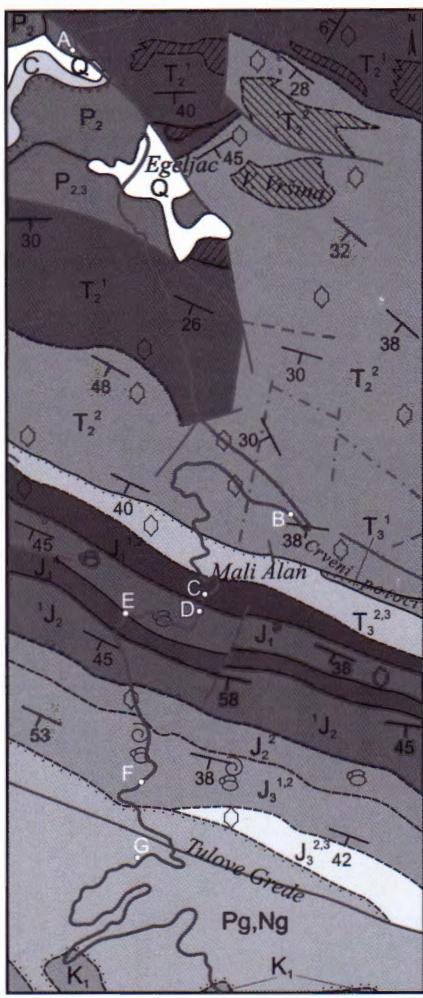
Velebit je izgrađen najvećim dijelom, preko 99%, od sedimentnih stijena, među kojima uvjerljivo prevladavaju karbonati. Izdanci magmatskih stijena srednjotrijaske i gornjotrijaske starosti ograničeni su na lokalne pojave u Senjskoj dragi, Donjem Pazariju i Baškim Oštarijama i zauzimaju manje od 1% ukupne površine planine. Stratigrfski raspon naslaga i stijena u Velebitu od sredine karbona (moskovijena) od prije oko 310 milijuna godina, pa do danas može se podijeliti u 5 taložnih megasekvencija: (1) srednji karbon – rani perm, (2) srednji perm (word) – srednji trijas (ladinik), (3) kasni norik – konijak/santon, (4) eocen, (5) oligocen – pliocen i (6) kvartar.

Sekvencija srednji karbon – rani perm najvećim dijelom zastupana je klastitima: izmjenama šejla, pješčenjaka, kvarcnih konglomerata s interkalacijama plitkovodnih vapnenaca. To je zrelo razdoblje hercinske konsolidacije s razvijenim reljefom i znatnim terigenim utjecajima. Ova regresivna sekvensija završava potpunim okopnjavanjem u ranom per-



Slika 1. Generalizirani stratigrafski stupovi Jadranske karbonatne platforme (prema VELIĆ et al., 2002). Legenda: 1) konglomerati; 2) breče; 3) pješčenjaci; 4) šejlovi, glinoviti šejlovi; 5) magmatske stijene; 6) tufovi i tufiti; 7) ranodijagenetski dolomiti; 8) kasnodijagenetski dolomiti; 9) pjeskoviti dolomiti; 10) vapnenci; 11) oolitici vapnenci; 12) onkoidni vapnenci; 13) bituminozni vapnenci; 14) boksići; 15) hidrozoji, sružne, stromatoporoidi; 16) koralji, briozofi; 17) školjkaši; 18) gastropodi; 19) rudisti; 20) glavonožci; 21) tragovi i kosti dinosaure; 22) vapnenačke alge; 23) bentičke foraminifere; 24) planktonische foraminifera

Figure 1. General stratigraphic columns of the Adriatic Carbonate Platform (after VELIĆ et al., 2002). Legend: 1) conglomerate; 2) breccia; 3) sandstone; 4) shale, clayey shale; 5) magmatic rocks; 6) tuff and tufite; 7) early diagenetic dolomite; 8) late diagenetic dolomite; 9) sandy dolomite; 10) limestone; 11) oolitic limestone; 12) oncoid limestone; 13) bituminous limestone; 14) bauxite; 15) hydrozoans, sponges, stromatoporoids; 16) corals, bryozoans; 17) bivalves; 18) gastropods; 19) rudists; 20) cephalopods; 21) dinosaur footprints and bones; 22) calcareous algae; 23) benthic foraminifera; 24) planctonic foraminifera.



A 42 a b c d A-G e

Slika 2. Geološka karta područja Sv. Rok–Mali Alan, Velebit (prema SOKAČ, 1973). Legenda: C – karbonski šejlovi; P₂ – srednjepermski pješčenjaci; P_{2,3} – srednje-gornjopermski dolomiti; T₂¹ – anizički vapnenci i dolomiti, a – klastiti (peliti i siliti); ¹T₂² – ladinički vapnenci i dolomiti; ²T₂² – ladinički tufovi, tufiti, tanko uslojeni vapnenci i rožnjaci; T₃¹ – karnički crveni klastiti (peliti, pješčenjaci i konglomerati, sporadično boksiti); T₃^{2,3} – gornjonoričko?-retske Glavni dolomit; J₁^{1,2} – donjovjurski vapnenci s *Palaeodasycladus*-ima; J₁³ – donjovjurski *Lithiotis* vapnenci; J₁⁴ – donjovjurski "mrljasti" vapnenci; ¹J₂ – srednjojurski vapnenci i dolomiti; ²J₂ – srednjojurski fosiliferni vapnenci; J₃^{1,2} – gornjovjurski vapnenci i dolomiti; J₃^{2,3} – gornjovjurski klipeinski vapnenci; K₁ – donjokredne vapnenačke breče i vapnenci; Pg, Ng – paleogen, neogen – Jelarske breče; Q – kvartarne aluvijalne naslage. Simboli: a) položaj sloja; b) makrofauna; c) mikrofauna; d) mikroflora – vapnenačke alge; e) Točke ekskurzije.

Figure 2. Geological map of the Sv. Rok–Mali Alan area, Velebit Mt. (after SOKAČ, 1973). Legend: C – Carboniferous shale; P₂ – Middle Permian sandstone; P_{2,3} – Middle–Upper Permian dolomite; T₂¹ – Anisian limestone and dolomite, a – clastics (pelite and siltite); ¹T₂² – Ladinian limestone and dolomite; ²T₂² – Ladinian tuff and tuffitic clastics with intercalations of limestone and chert; T₃¹ – Carnian red clastics (pelite, sandstone and conglomerate, sporadically bauxite); T₃^{2,3} – Upper Norian?–Rhaetian Hauptdolomite; J₁^{1,2} – Lower Jurassic *Palaeodasycladus* limestone; J₁³ – Lower Jurassic *Lithiotis* limestone; J₁⁴ – Lower Jurassic "Spotty" limestone; ¹J₂ – Middle Jurassic limestone and dolomite; ²J₂ – Middle Jurassic fossiliferous limestone; J₃^{1,2} – Upper Jurassic limestone and dolomite; J₃^{2,3} – Upper Jurassic *Clypeina* limestone; K₁ – Lower Cretaceous limestone breccia and limestone; Pg, Ng – Paleogene, Neogene – Jelar breccia; Q – Quaternary, alluvial deposits. Symbols: a) strike and dip of bed; b) macrofauna; c) microfauna; d) microflora – calcareous algae; e) Field trip stops.

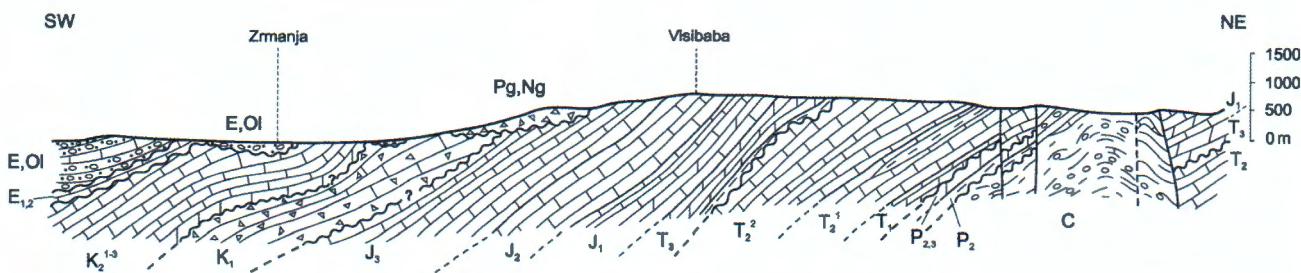
LEGENDA

	Q
	Pg,Ng
	K ₁
	J ₃ ^{2,3}
	J ₃ ^{1,2}
	² J ₂
	¹ J ₂
	J ₁ ⁴
	J ₁ ³
	J ₁ ^{1,2}
	T ₃ ^{2,3}
	T ₃ ¹
	² T ₂ ²
	¹ T ₂ ²
	T ₂ ¹
a	P _{2,3}
	P ₂
	C

mu pa se krajem ranoga perm-a i u starijem srednjem perm-u talože crvene kopnene klastične naslage – "Brušane" pješčenjaci i siliti te "Košna" konglomerati (SALOPEK, 1942; SREMAC, 2005).

Sekvencija srednji perm – srednji trijas je razdoblje tipične plitkovodne karbonatne sedimentacije s mjestimičnim interkalacijama klastita. U gornjem perm-u taložili su se rano- i kasnodijagenetski dolomiti – "Schwagerina-Mizzia" dolomiti (točka 3A) s lećama vapnenaca bogatima organskom supstancijom, u donjem trijasu pjeskoviti dolomiti i vapnenci, te tinčasti pješčenjaci (HERAK et al., 1967). Za srednji trijas karakteristični su algalni – "Diplopora" vapnenci (točka 3B), a mjestimice, u Južnom Velebitu (Sv. Rok – Gračac), lateralno tijekom anizika taložile su se i klastične naslage – šejlovi, siliti, pješčenjaci i konglomerati. Kao posljedica ladiničke ekstenzijske tektonike u području današnje Senjske drage, Donjega Pazarišta i Sv. Roka (Vršina) nastala su lokalna korita u kojima su se taložile vulkanoklastične, klastične i dubljemorske karbonatne naslage obogaćene organskom tvari, praćene podmorskim vulkanskim izljevima (Senjska draga, Donje Pazarište). Istovremeno, započelo je i izdizanje regionalnih razmjera u najvećem dijelu Krških Dinarida, pa je vjerojatno već u ladiniku nastupilo okopnjavanje i okršavanje diplopornih vapnenaca. Tako su se krajem srednjega i početkom kasnoga trijasa u Velebitu ponovili događaji iz perm-a, pa su završni član ove sekvensacije kopnene naslage – crveni siliti i konglomerati, a mjestimice i glinoviti boksiti (Gregurić brije, Vrace), taložene u udubljenjima okršenoga paleoreljefa diplopornih vapnenaca i nemaju kontinuirano lateralno pružanje.

Postupnom ingressijom kasnonoričkoga mora započelo je taloženje naslaga treće velebitske sekvensacije čiji je prvi član kasnonoričko-retska formacija "Glavni dolomit" ili "Hauptdolomit" predstavljena peritajdalnom izmjenom rano- i kasnodijagenetskih dolomita. U kontinuitetu slijede subtajdalni vapnenci donje jure (točke 3C,D) raspona hetangij – plinsbah s proslojcima kasnodijagenetskih dolomita. U vapnencima su određene bogate zajednice mikroorganizama – vapneničkih alga i bentičkih foraminifera (NIKLER & SOKAČ, 1968; VELIĆ, 2007), a bogato su zastupljeni i makrofossili, osobito litotidni školjkaši ("Lithiotis-vapnenac", točka 3E), puževi i brahiopodi. Tijekom toarcija taložila se je formacija "Mrljasti vapnenci" ("Fleckenkalk", točka 3E), bioturbirani tamnosivi madstoni i ooidni pekstoni (JELASKA & VELIĆ, 1971; TIŠLJAR et al., 1991), za koju se vežu značajni paleogeografski događaji – otvaranje Jadranskoga bazena razlamanjem Južnotetiske megaplatforme (VLAHOVIĆ et al., 2005) i njezinim raspadom na više manjih platformi, među kojima je bila i Jadranska platforma. Jadranska platforma kao jedinstveni plitkomorski sustav trajala je do kraja krede, a u Velebitu su iz toga razdoblja otkrivene naslage od toarcija do kasnoga konijaka ili ranoga santona. To su isključivo karbonatne naslage taložene najvećim dijelom u izrazito plitkomorskim okolišima, osim u kasnom cenomanu i ranom turonu kada je čitava platforma bila potopljena (GUŠIĆ & JELASKA, 1993), pa tako i područje današnjeg Velebita. Nakon toga započinje završni dio procesa dezintegracije platforme, koji je u području Velebita i okončan u



Slika 3. Geološki profil kroz Velebit. – približno 4 km istočno od prevoja Mali Alan (prema SOKAČ u JELASKA & VELIĆ, 1971). Legenda: C – karbonski šejlovi, konglomerati i pješčenjaci; P₂ – srednjopermski pješčenjaci; P_{2,3} – srednje-gornjopermski dolomiti; T₁ – dolomiti s terigenim primjesama vršnog donjeg trijasa; T₂¹ – anizički vapnenci s interkalacijama klastita (pelita i siltita); T₂² – ladinički vapnenci; T₃ – gornjotrijski dolomiti s crvenim klastitima u podnici; J₁ – donojurski vapnenci, podređeno dolomiti; J₂ – srednjojurski vapnenci; J₃ – gornojurski vapnenci; K₁ – donjokredne vapneničke breče i vapnenci; K₂¹⁻³ – gornjokredni vapnenci; E_{1,2} – eocensi foraminiferski vapnenci; E, Ol – eocen, oligocen "Promina" naslage; Pg, Ng – paleogen, neogen – Jelarske breče; Q – kvartarne aluvijalne naslage.

Figure 3. Geological profile of Velebit Mt. – approximately 4 km E of the Mali Alan Pass (after SOKAČ in JELASKA & VELIĆ, 1971). Legend: C – Carboniferous shale, conglomerate and sandstone; P₂ – Middle Permian sandstone; P_{2,3} – Middle-Upper Permian dolomite; T₁ – Uppermost Lower Triassic dolomite with terrigenous admixtures; T₂¹ – Anisian limestone with intercalation of clastics (pelite and siltite); T₂² – Ladinian limestone; T₃ – Upper Triassic dolomite with red clastics in its base; J₁ – Lower Jurassic limestone, subordinate dolomite; J₂ – Middle Jurassic limestone; J₃ – Upper Jurassic limestone; K₁ – Lower Cretaceous limestone breccia and limestone; K₂¹⁻³ – Upper Cretaceous limestone; E_{1,2} – Eocene foraminifera limestone; E, Ol – Eocene, Oligocene "Promina" clastics; Pg, Ng – Paleogene, Neogene – "Jelar breccia"; Q – Quaternary, alluvial deposits.

kasnom konijaku/ranom santonu kada je nastupilo je okopnjavanje i započelo okršavanje. Kopneni režim potrajanje sve do eocena, a zanimljivo je da iz toga razdoblja nema kopnenih naslaga, tek rijetko pojave boksita.

Taloženje paleogenskih naslaga na karbonatnoj platformi odvijalo se je u dvije međusobno vezane megasekvencije: starijoj transgresivnoj i mladoj regresivnoj. Recentno u primorskom podnožju Južnoga Velebita, sjeverno od kanjona rijeke Zrmanje nalaze se naslage početnoga člana transgresivne megasekvencije – eocensi *foraminiferski vapnenci* i završni član regresivne megasekvencije – konglomerati *Prominskih naslaga*.

Foraminferski miliolidno-alveolinski crvenkasti i svijetli vapnenci – skeletni, bioakumulirani i bioklastični vektoni, pekstoni i grejnstoni pripadaju četvrtoj velebitskoj sekvenciji, a prominski konglomerati, taloženi u aluvijalnim ravnicama i deltama podvelebitskih oligocenskih rijeka petoj velebitskoj sekvenciji. Prominski konglomerati su poveznica s najrasprostranjenijim naslagama u Velebitu – *Jelarskim brećama* (točka 3G), uvrštenima također u petu velebitsku sekvenciju. Jelarske breče, koje imaju lithostratigrafski rang formacije, jedinstvena su lithostratigrafska jedinica u svijetu. Predstavljaju karakterističan sinorogenetski tektonofacijes, koji pokriva najaktivnije tektonske zone i rasjede. Postanak breča nije u potpunosti riješen, ali se pretpostavlja da su nastale u vrijeme najintenzivnijih tektonskih pokreta u izdizanju Velebita trošenjem izdignutih stijena treće i četvrte sekvencije, najviše iz jurskih i krednih naslaga, ali i iz foraminferskih vapnenaca, iz kojih su nastajali fosilni, oligocensi sipari. Veličina zrna u brećama kreće se od mikronskih do metarskih blokova, a najčešći su od 1-5 cm. Vezivo su najsitnija zrna breča, pa je upitna njihova akumulacija i taloženje u vodenoj – marinskoj ili lakustričnoj sredini. Pretpostavlja se da još nevezan siparišni materijal bujicama i vodotocima snašan u podvelebitski dio

oko današnjega donjega toka rijeke Zrmanje i sjeverne Dalmacije, zaobljan i riječnim tokom transportiran u aluvijalne ravnice i delte oligocenskih rijeka. To znači da je ishodišni materijal fosilnih velebitskih sipara bio zajednički za Jelarske breče i Prominske konglomerate.

Starije kvartarne naslage u Velebitu potječu od pleistocenskih oledbi. Glaciofluvijalne naslage nalaze u različitim dijelovima, a na Rujnu (dio Južnoga Velebita SZ od Velike Paklenice) i ostaci nekadašnje morene. Mjestimice ima sipara i siparišnih breča, u Velikoj Paklenici i u Jablancu čak debelo slojevitih i relativno ustrmljenih. Na primorskoj padini, okomito na pružanje planine, česte su i morfološki jako izražene bujične doline s navaljanim kršjem, blokovima i gromadama stijena, osobito dobro vidljivih u donjem dijelu kanjona V. Paklenice. Deluvijalnih, proluvijalnih i aluvijalnih taložina ima na nižim dijelovima ličke padine i u ličkom podnožju Velebita.

Strukturno-tektonska građa Velebita nije tako jednostavna koliko se čini na prvi pogled. Općenito, u tektonskome pogledu Velebit predstavlja višestruko rasjednutu antiklinalu čije je SI krilo tektonski reducirano longitudinalnim Ličkim rasjedom. Antiklinalna građa osobito je izražena u južnom Velebitu gdje su u jezgri strukture gornjopalaeozojske naslage od Gračačkoga polja do Baških Oštarija. Usljed velike rasprostranjenosti najmlađih naslaga – Jelarskih breča na primorskim padinama i kvartarnih taložina u ličkome podnožju pokriveni su i važni tektonski kontakti i rasjedne zone što otežava interpretacije strukturnih odnosa. Pružanje naslaga, struktura i gorskoga bila Velebita nije jednoznačno. Premda se u najvećem dijelu ta pružanja mogu svrstati u dinarsko pružanje (SZ-JI), uočljiva su i znatna odstupanja, a posljedica su različitoga kretanja i orientacije pojedinih tektonskih megablokova. U formiranju tih blokova uz starije strukture i longitudinalne rasjede najvažniju su ulogu odigrali transverzalni rasjedi s horizontalnim, mjestimice i re-

versnim kretanjem tijekom neotektonskoga razdoblja, koji-ma su presjecane starije, sekundarne antiklinale. Idući od sjevera izdvajaju se slijedeći tektonski blokovi: *Senjsko bilo* – trijasko-jurska rasjednuta antiklinala od Senjske drage do Krasanskoga rasjeda, pružanja SZ-JI; *Apatišan* – jurska antiklinala od Krasanskoga do Bakovačkoga rasjeda, pružanja ZSZ-IJI, *Srednji Velebit* – između Bakovačkog i Brušansko-oštarijskoga rasjeda s dvije trijasko jurske rasjednute sekundarne antiklinale: Štirovačka pružanja S-J i Pazariška pružanja SZ-JI; *Južni Velebit* – paleozojsko-trijasko-jurska antiklinala od prijevoja Vrace do Mliništa (u Sr. Velebitu) generalnoga pružanja SZ-JI sa sekundarnim strukturama: paleozojsko-trijaskim antiklinalama Ričice-Cerje i Sv. Rok Počitelj, paleozojsko-trijasko-jurskom antiklinalom Divose-lo-Brušane-B. Oštarije-Mlinište i monoklinom Jelova ruja; *Paklenica* – rasjednuta permsko-trijasko-jursko-kredno-tercijarna antiklinala – tektonski prodror, pružanja ZSZ-IJI te *Jugoistočni Velebit* – trijasko-jursko-kredno-tercijarna izrasjedana i borana monoklina od prijevoja Vrace do rijeke Zrmanje.

LITERATURA

- JELASKA, V. & VELIĆ, I. (1971): Stratigrafija jure južnog Velebita (General stratigraphic review of Jurassic of the southern Velebit).– Nafta, 22/4–5, 485–495, Zagreb.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1993): Upper Cenomanian-Lower Turonian sea-level rise and consequences on the Adriatic-Dinaric carbonate platform.– Geol. Rundsch., 82/4, 676–686.

- HERAK, M., SOKAČ, B. & ŠČAVNIČAR, B. (1967): Correlation of the Triassic in SW Like, Paklenica and Gorski Kotar (Croatia).– Geol. Sbornik (Geol. Carpathica), 18/2, 189–202, Bratislava.
- JELASKA, V. & VELIĆ, I. (1971): Stratigrafija jure južnog Velebita (General stratigraphic review of the Jurassic of the southern Velebit).– Nafta, 22/4–5, 485–495, Zagreb.
- NIKLER, L. & SOKAČ, B. (1968): Biostratigraphy of the Jurassic of Velebit (Croatia) (Biostratigrafija jure Velebita).– Geol. vjesnik, 21 (1967), 161–176, Zagreb.
- SALOPEK, M. (1942): O gornjem paleozoiku Velebita u okolici Brusana i Baških Oštarija.– Rad Hrv. akad. znan. umjet., 274, 218–272, Zagreb.
- SOKAČ, B. (1973): Geologija Velebita. Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Disertacija, iv+151 p., 38 fig., 7 suppl., Zagreb.
- SREMAC, J. (2005): Equatorial shelf of the Palaeozoic supercontinent – Cradle of the Adriatic Carbonate Platform.– Geol. Croatica, 58/1, 1–19, Zagreb.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., SREMAC, J., VELIĆ, I., VESELI, V. & STANKOVIĆ, D. (1991): Excursion "A" – Velebit Mt., Permian-Jurassic.– In: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (eds.): Some aspects of the shallow water sedimentation on the Adriatic carbonate platform (Permian to Eocene). The Second Int. Symp. on the Adriatic Carbonate Platform (Zadar, May 1991), Excursion guidebook, Inst. of Geology, 1–49, Zagreb.
- VELIĆ, I. (2008): Stratigraphy and Palaeobiogeography of Mesozoic Benthic Foraminifera.– Geol. Croatica, 60/1.
- VELIĆ, I., VLAHOVIĆ, I. & MATIČEC, D. (2002): Depositional sequences and palaeogeography of the Adriatic carbonate platform.– Mem. Soc. Geol. It., 57, 141–151.
- 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.

Točka 3A – Stop 3A

Sv. Rok – permski *Mizzia-dolomiti* – Permian *Mizzia-dolomite**

Tonći Grgasović & Branko Sokač

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(tgrgasovic@hgi-cgs.hr)

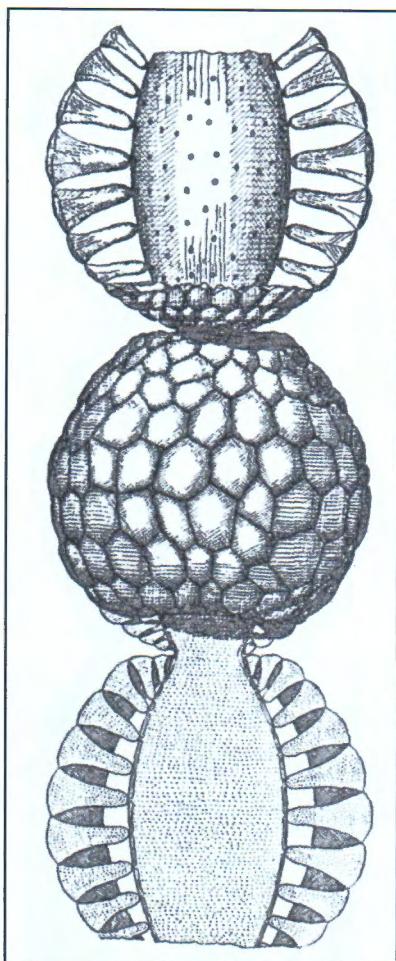
* Tekst je većim dijelom baziran na radu GRGASOVIĆ, T. & SOKAČ, B. (2007): Sv. Rok – Permian *Mizzia-dolomite*.– In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 23–28, Zagreb.

Niski izdanci permског *Mizzia-dolomita* nalaze se s južne strane ceste Sv. Rok – Mali Alan, uz križanje s lokalnom cestom prema zaseoku Šulentići. *Mizzia-dolomiti* ili micij-ski dolomiti dobili su ime po vapnenačkoj dazikladalnoj algi *Mizzia velebitana*, provodnoj za srednji i gornji perm. Dolomit je ranodijagenetski s izvanredno očuvanim svim primarnim strukturama i fosilnim sadržajem. Strukturni dip dolomita je bioklastični dolo-pekston do dolo-grejnston, podređeno dolo-vekston. Uz brojne skelete vapnenačkih alga nalazimo gastropode, školjkaše i foraminifere, a također i agregirana zrna i rijetke intraklaste, uglavnom podrijetla od mikritizacije

bioklasta i agregiranih zrna. Dolomiti su sivi do tamnosivi, masivni i uslojeni s debljinama slojeva od 10 do 80 cm. Udio dolomitne komponente kreće se između 80 i 96%.

Dolomiti kontinuirano slijede na donjopermskim crven-kastim i smeđkastim grauvaknim pješčenjacima, a u tektonskom su kontaktu s anizičkim vapnencima na koje se kontinuirano nastavljaju ladiničke naslage (HERAK et al., 1967; SOKAČ et al., 1976).

Dolomiti s ovog lokaliteta sadrže dobro očuvanu i bogatu fosilnu zajednicu. Najčešći fosil je dazikladalna alga *Mizzia*



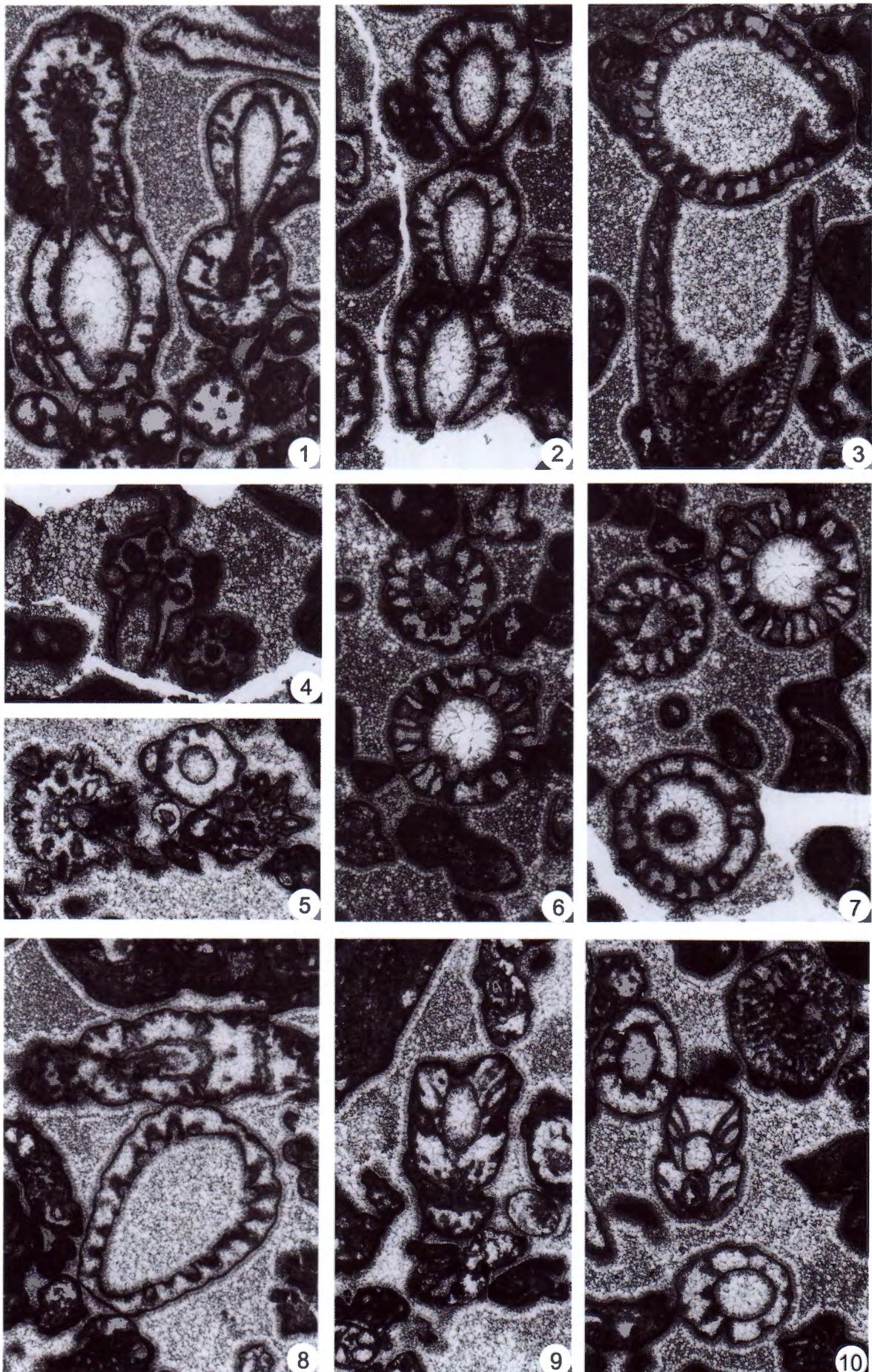
Slika 1. Rekonstrukcija *Mizzia velebitana* prema REZAK (1959).
Figure 1. Reconstruction of *Mizzia velebitana* after REZAK (1959).

velebitana SCHUBERT (Tab. I, Sl. 1–3, 6–8), prvi puta opisana iz sjevernog dijela Velike Paklenice, pokraj zaseoka Ramići (SCHUBERT, 1909; PIA, 1920; KOCHANSKY & HERAK, 1960), 9,5 km zapadno od ove točke. To je bio prvi nalaz neke alge permske starosti u svijetu. Nakon ovog prvog nalaza uslijedili su mnogi drugi širom svijeta. U preko 130 znanstvenih radova i knjiga objavljene su fotografije ove alge, dok je broj publikacija koje spominju ovu algu daleko veći (GRANIER & GRGASOVIĆ, 2000). Pronađena je u SAD-u, Gvatemali, Sloveniji, Austriji, Srbiji, Crnoj Gori, Italiji, Mađarskoj, Grčkoj, Turskoj, Saudijskoj Arabiji, Tunisu, Omanu, Iraku, Iranu, Tadikistanu, Rusiji, Afganistanu, Tajlandu, Filipinima, Kambođi, Vijetnamu, Indiji, Kini, Indoneziji i Japanu, a vjerojatno i drugdje. Velebitana je tako jedna od najrasprostranjenijih fosilnih alga u zemljinoj povijesti. Na Sl. 1 možete vidjeti njenu rekonstrukciju, a na Sl. 2 njenu najsličniju živuću srodnici, vrstu *Cymopolia barbata*. Osim spomenute, na ovom lokalitetu pronađene su još i vapnenačke alge *Mizzia cornuta* KOCHANSKY & HERAK (Tab. I, Sl. 4), *Clavaporella caliciformis* KOCHANSKY & HERAK (Tab. I, Sl. 8, 9–10), *Likanella spinosa* MILANOVIĆ (Tab. I, Sl. 5) i *Permocalculus cf. tenellus* (PIA) (Tab. I, Sl. 3, 10).

Starost dolomita se može definirati kao srednji-gornji perm, iako je, na temelju superpozicije i regionalnih odnosa, vjerojatnija srednjopermska starost. Iz sličnih dolomita u širem području MILANOVIĆ u SOKAČ et al., (1976) navodi nalaze alga: *Mizzia yabei* (KARPINSKY), *Salopekiella velebitana* MILANOVIĆ, *Goniolinopsis hexagona* MILANOVIĆ, and *Gymnocodium bellerophontis* ROTPLETZ.



Slika 2. Dazikladalna alga *Cymopolia barbata* (LINNAEUS), otok San Salvador, Bahami.
Figure 2. Dasycladal alga *Cymopolia barbata* (LINNAEUS), San Salvador island, Bahamas.



<=

Tabla I – Plate I

- 1–2 *Mizzia velebitana* SCHUBERT, x22
 3 *Mizzia velebitana* SCHUBERT; *Permocalculus cf. tenellus* (PIA), x22
 4 *Mizzia cornuta* KOCHANSKY & HERAK, x22
 5 *Likanella spinosa* MILANOVIĆ, x22
 6–7 *Mizzia velebitana* SCHUBERT, x22
 8 *Mizzia velebitana* SCHUBERT;? *Clavaporella caliciformis* KOCHANSKY & HERAK, x22
 9 *Clavaporella caliciformis* KOCHANSKY & HERAK, x22
 10 *Clavaporella caliciformis* KOCHANSKY & HERAK, *Mizzia* sp.; *Permocalculus cf. tenellus* (PIA), x22

LITERATURA

GRANIER, B.R.C. & GRGASOVIĆ, T. (2000): Les Algues Dasycladales du Permien et du Trias. Nouvelle tentative d'inventaire bibliographique, géographique et stratigraphique (Permian and Triassic Dasyclad algae. Bibliographic, geographic, and stratigraphic reappraisal).— Geologia Croatica, 53/1, 1–197, Zagreb.

HERAK, M., SOKAČ, B. & ŠČAVNIČAR, B. (1967): Correlation of the Triassic in SW Lika, Paklenica and Gorski Kotar (Croatia).— Geol. Sbornik (Geol. Carpathica), 18/2, 189–202, Bratislava.

KOCHANSKY, V. & HERAK, M. (1960): On the Carboniferous and Permian Dasycladaceae of Yugoslavia (O karbonskim i permskim

dasikladacejama Jugoslavije).— Geol. vjesnik, 13 (1959), 65–94, Zagreb.

REZAK, R. (1959): Permian algae from Saudi Arabia.— Journal of Paleontology, 33/4, 531–539, Tulsa.

SCHUBERT, R.J. (1907): Vorläufige Mitteilung über Foraminifera und Kalkalgen aus dem dalmatinischen Karbon.— Verhandlungen der kaiserlich-königlichen geologischen Reichsanstalt, 8, 211–214, Wien.

SOKAČ, B., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J. & BAHUN, S. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Udbina L 33-128.— Inst. geol. istraž. Zagreb (1965), Sav. geol. zavod Beograd, 62 str.

Točka 3B – Stop 3B

Cesta Sv. Rok–Mali Alan – ladinički "Diploporni vapnenci"
The Sv. Rok–Mali Alan road – Ladinian "Diplopora-limestone"

Tonći Grgasović

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
 (tgrgasovic@hgi-cgs.hr)

*Tekst je većim dijelom baziran na radu GRGASOVIĆ, T. (2007): The Sv. Rok–Mali Alan road – Ladinian limestones with *Diplopora annulata*/Kantia dolomitica.— In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 29–31, Zagreb.

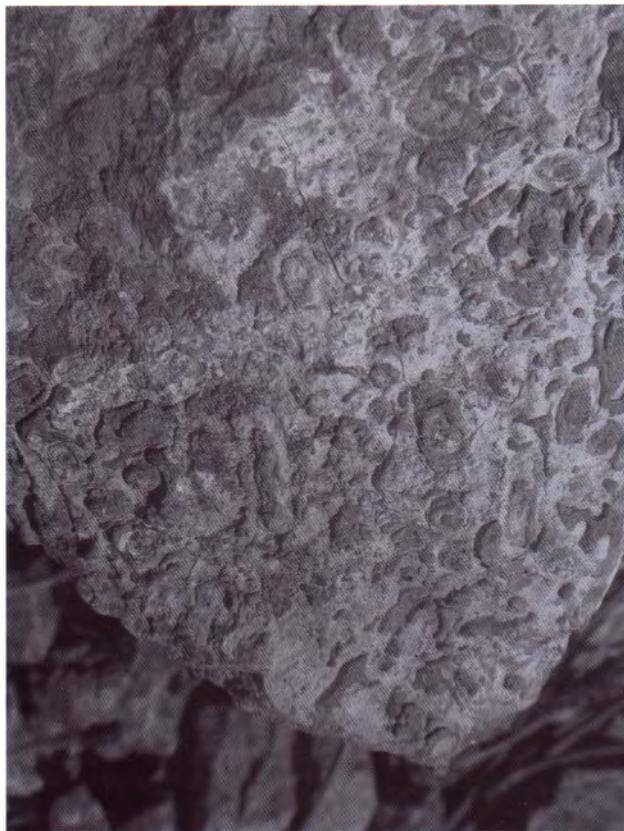
Točka se nalazi na cesti od Sv. Roka prema Malom Alanu, odmah iza odvojka za Crvene potoke. Ovdje su u usjeku ceste dobro otkriveni ladinički „Diploporni vapnenci“.

Ladinički vapnenci kontinuirano slijede na anizičkima, koji su otkriveni niže uz cestu. Ovi vapnenci su po svojim petrološkim i sedimentološkim karakteristikama vrlo su slični i mogu se razlikovati samo na temelju fosilnog sadržaja. U anizičkim vapnencima uz cestu pronađena je alga *Macroporella alpina* PIA i foraminifera *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ. U istim vapnencima ne posrednoj okolici Sv. Roka HERAK (1965a, b) je opisao anizičke alge *Oligoporella pilosa* var. *intusannulata* PIA, *Oligoporella pilosa* PIA var. *pilosa*, *Oligoporella pilosa* var. *subvaricans* PIA, *Physoporella likana* HERAK, *Physoporella minutuloidea* HERAK, te ladiničke alge *Diplopora annulata* SCHAFHÄUTL, *Diplopora annulatissima* PIA, *Euteutloporella triasina* (SCHAUROTH), *Gyroporella* cf.

ampleforata GÜMBEL, *Gyroporella maxima* PIA, *Kantia dolomitica* PIA, *Physoporella lotharingica* (BENECKE) i *Teutloporella herculea* (STOPPANI).

Ladinički vapnenci su uglavnom masivni, slojevitost se samo mjestimice uočava, a tada je i preko 2 m debljine. Izmenjuju se svijetlosivi kristalinični vapnenci (vjerojatno primarno madstoni) i svijetlosivi vapnenci različitih strukturnih tipova (madstoni do vekstoni, fenestralni madstoni, peloidno-intraklastično-bioklastični pekstoni do grejstoni, te diploporni i onkoidni floutstoni). Stiloliti su česti. U gornjem dijelu ovog intervala boja postaje više smeđkasta, a udio zrnastih vapnenaca raste (MATIČEC et al., 1997).

Kontakt ladiničkih vapnenaca s gornjotrijaskim dolomitima u krovini je erozijski. Na erozijskoj granici istaloženi su crveni terigeni klastiti čija debljina varira od 0 do 100 m. Na obližnjem lokalitetu Crveni potoci ove naslage su dobro otkrivene i lijepo su vidljivi konglomerati koji ispunjavaju



Slika 1. Diplopore na trošnoj površini stijene. Ladinik, cesta Sv. Rok–Mali Alan.

Figure 1. *Diplopora* on the weathered surface of the outcrop. Ladinian. Sv. Rok–Mali Alan road.



Slika 3. 1) *Diplopora annulata* – uzdužni, blago kosi presjek. Karakteristična anulacija (prstenastost) se jasno uočava, x8,3; 2) gore – *Kantia dolomitica* (prošireni ogranci), dolje *Diplopora annulata* (tanji ogranci); x8,3.

Figure 3. 1) *Diplopora annulata* – longitudinal, slightly oblique section. Annulation is clearly visible, x8.3. 2) Upper part – *Kantia dolomitica* (expanded branches), lower part - *Diplopora annulata* (thin branches), x8.3.



Slika 2. Originalne ilustracije *Diplopora annulata* var. *dolomitica* (forma *trichophora*) s ovog lokaliteta (iz PIA, 1920, tab. V, fli. 12–13).

Figure 2. Original illustrations of *Diplopora annulata* var. *dolomitica* (forma *trichophora*) from this locality (from PIA, 1920, Pl. V, figs. 12–13).

depresije u ladiničkom paleoreljefu. Osim konglomerata javljaju se kvarcni pješčenjaci i glineni šejlovi. Zbog rasjeda ove naslage se ne pojavljuju na cesti. Na lokalitetu Vrace uz

cestu Gračac–Karlobag u ovom nivou javljaju se boksiti. Iz gornjotrijaskih dolomita u krovini SOKAČ et al., (1964) su opisali algu *Griphoporella curvata* (GÜMBEL).

U vaspencima na ovom lokalitetu brojni su primjerici dazikladalne alge *Diplopora annulata* (SCHAFHÄUTL 1853), provodne za ladinik (GRGASOVIĆ & SOKAČ, 2003). Njezini talusi na površini stijene se lako uočavaju kao mali prsteni (poprečni presjeci) ili "vijci" (uzdužni i tangencijalni presjeci) zbog prstenaste građe ove alge (Sl. 1, 3). Taksonomija ove alge dosta je komplikirana (vidi GRANIER & GRGASOVIĆ, 2000, tabela 1). Pojednostavljenno, za potrebe ovog vodiča, može se reći da se kod ove alge javljaju dvije vrste ogranačaka: tanki i oni u vršnom dijelu prošireni u obliku mjeđurića (Sl. 3/2). HERAK (1957) je alge sa spomenuta dva tipa ogranačaka svrstao u dvije podvrste, tako da je, bez obzira na očuvanost alge i vještina geologa, lako bilo determinirati vrstu. Međutim neki drugi autori smatraju da se radi o dvije zasebne vrste i roda: *Diplopora annulata* SCHAFHÄUTL i *Kantia dolomitica* PIA, emend. GÜVENÇ, čime je otežano prepoznavanje ovih alga koje se javljaju u potpuno identičnom stratigrafskom nivou. Dok se u potpunosti ne dokaže tko je u pravu, bolje se držati jednostavnijeg pristupa i ove alge zvati *Diplopora annulata*.

Upravo s ovog izdanka je znameniti austrijski paleontolog i utežitelj istraživanja fosilnih alga Julius Pia opisao diplopore u svojim radovima (PIA, 1920; tab. V, Sl. 13; PIA 1925, tab. I, Sl. 4). Zanimljivo je da je uzorke dobio od Schuberta, otkrivača mije (vidi prethodnu točku) koji ih je pak većinom sam prikupio, a manji dio je dobio od Dragutina Gorjanovića-Krambergera (PIA, 1920, str. 6).

LITERATURA

- HERAK, M. (1965a): Comparative study of some Triassic Dasycladaceae in Yugoslavia (Komparativni studij nekih trijaskih dasikladijeva u Jugoslaviji).– Geol. vjesnik, 18/1 (1964), 3–34, Zagreb.
- HERAK, M. (1965b): Naslage trijasa u okolici Sv. Roka u Lici (Triasablagerungen in der Umgebung von Sv. Rok in der Lika).– Acta geol., 5 (Prir. istraž. Jugosl. akad. znan. umjet.), 35), 85–95, Zagreb.
- GRANIER, B.R.C. & GRGASOVIĆ, T. (2000): Les Algues Dasycladales du Permien et du Trias. Nouvelle tentative d'inventaire bibliographique, géographique et stratigraphique (Permian and Triassic Dasycladaceae).– Acta Botanica Fennica, 38, 1–120, Helsinki.
- HERAK, M. (1957): Some problems in the Dasyclad genus *Diplopore*.– Micropaleontology, 3/1, 49–52.
- MATIČEC, D., FUČEK, L. & OŠTRIĆ, N. (1994): Izvješće o rezultatima geoloških istraživanja na trasi tunela Sveti Rok kroz Velebit.– Arhiva Instituta za geološka istraživanja, 26 str., Zagreb.
- PIA, J. (1920): Die Siphoneae verticillatae vom Karbon bis zur Kreide.– Abhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien, Band XI, Heft 2, 263 p., Wien.
- PIA, J. (1925): Die Diploporen der Trias von Süddalmatien.– Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung I, Band 133 (1924), Heft 7–8, 329–346., Wien.
- SOKAČ, B., NIKLER, L. & IVANOVIĆ, A. (1964): Fund von obertriasischen Dasycladaceen im Gebiet des Velebit.– Bull. sci. Cons. Acad. Yougosl. (A), 9/6, 156–157, Zagreb.

Točka 3C – Stop 3C

Prijevoj Mali Alan – donja jura s bogatom fosilnom zajednicom *Paleodasycladus*-a* Mali Alan Pass – Lower Jurassic with rich *Paleodasycladus*-assemblage

Branko Sokač

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska

*Tekst je većim dijelom baziran na radu SOKAČ, B. (2007): Mali Alan Pass – Lower Jurassic with *Paleodasycladus*.– In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 33–45, Zagreb.

Uzduž makadamske ceste koja povezuje Sv. Rok s priobaljem, između prijevoja Mali Alan i Tulovih greda nalaze se lijepo otkrivene naslage jure.

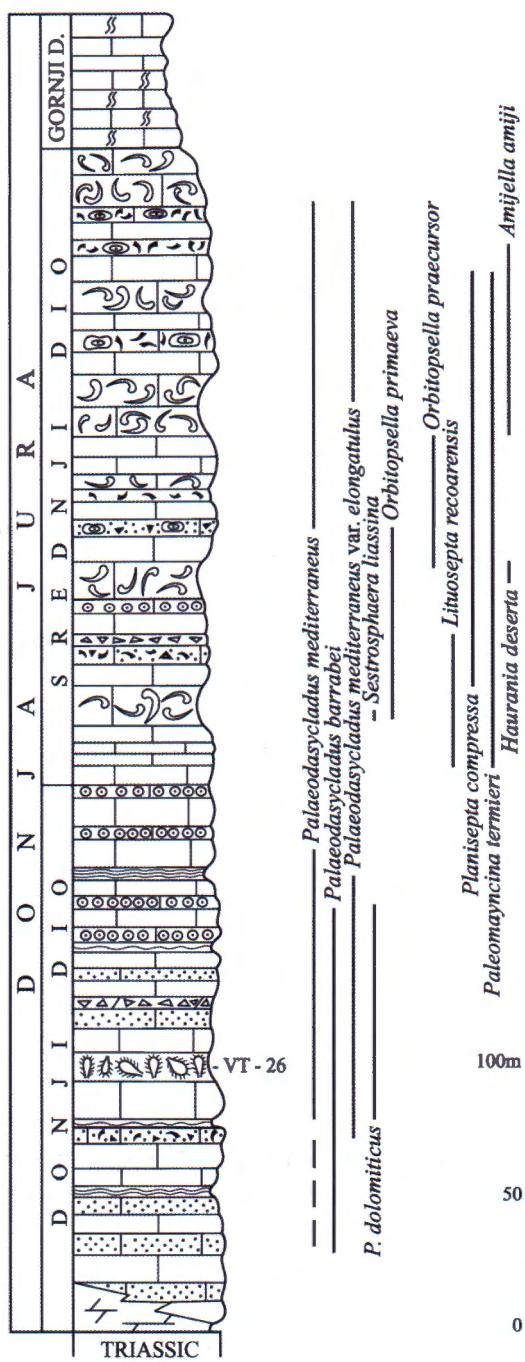
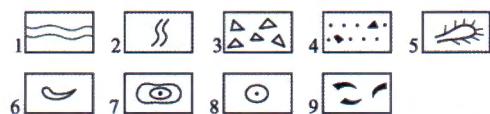
Ova točka nalazi se oko 100 m iznad aproksimativne granice gornji trijas-donja jura (Sl. 1). Nakon monotone serije dolomita gornjeg trijasa aproksimativni početak lijasa označen je pojmom vapnenaca. U prelaznom intervalu izmjenjuju se mikrokristalasti i stromatolitni dolomiti s dobro uslojenim madstonima, onkoidnim vekstonima, rekristaliziranim madstonima, fenestralnim madstonima i peletnim vekstonima, uz sporadičnu pojavu ooidnih greinstona, rijetko i intraformacijskih breča. Postupno dolomiti postaju sve rjeđi ili izostaju. Prvi, još rijetki algalni ostaci (*P. mediterraneus*), zapaženi su oko 50 m iznad spomenute granice. U nivou fosilifernog izdanka dominira ritmička izmjena madstona, peletno fosilifernih vekstona i peletnih greinstona, uz nepravilnu pojavu onkoidno bioklastičnog i gastropodnog greinstona. Uzorci koji se odnose na jedan ili dva sloja fosilifernog intervala izrazito sadržajni ostacima alga pripadaju intraklastično-bioklastičnom grejnstonu (intrabiosparitu) s "beach rock" cementacijom, uz mikritizaciju i mikritne ovojnice koje markiraju skelete algi i gastropoda. Od uzorka do uzorka ili jednog do drugog dijela istog uzorka varira sadržaj

bioklasta, intraklasta i rijetkih peleta favreina. Intraklasti potječu od "krpastog" mikrita, pelmikrita/pelsparita i fensicalnog mikrita.

Opisani slijed se može interpretirati kao peritidalni ciklusi opličavanja na više u okolišu intertidalnog pruda.

Naslage su izrazito fosiliferne s obiljem algalnih ostataka dominantno zastupanih vrstama i varijetetima roda *Palaeodasycladus*, opisanih u radu SOKAČ (2001). Zastupani su: *Palaeodasycladus mediterraneus* PIA var. *mediterraneus* (Tab. I, Sl. 1–2), *P. maediterraneus* var. *heraki* (SOKAČ & NIKLER) (Tab. I, Sl. 4), *P. mediterraneus* var. *illyricus* (SOKAČ & NIKLER) (Tab. I, Sl. 3, 6), *P. mediterraneus* var. *calciticus* SOKAČ, *P. mediterraneus* var. *elongatus* PRATURLON, *P. dolomiticus* (CROS & LEMOINE) (Tab. I, Sl. 7), *P. barrabeii* Lebouché & LEMOINE (Tab. I, Sl. 5). Ova točka je tipski lokalitet vrsta: *Palaeodasycladus anae* (SOKAČ), *P. multiporus* SOKAČ (Tab. I, Sl. 8), *P. alanensis* SOKAČ i *P. benceki* SOKAČ. Posljednje tri vrste i *Eodasycladus ogilviae* CROS & LEMOINE relativno su rijetke i sporadične su u ukupnom fosilnom sadržaju.

S obzirom na nalaz značajne foraminferske zajednice u višem dijelu kontinuirano otkrivenog lijaskog stupa 100–200 m

MALI ALAN**LEGENDA:**

Slika 1. Geološki stup naslaga donje jure lokaliteta Mali Alan (Velebit). Legenda: 1) stromatoliti; 2) bioturbacije; 3) peritajdalne breće; 4) peloidi i intraklasti; 5) dasikladalne alge; 6) školjkaši *Lithiotis problematica*; 7) onkoidi; 8) ooidi; 9) bioklasti; VT 26 – uzorak s algama.

Figure 1. Geological column of the Lower Jurassic deposits of the Mali Alan locality (Velebit Mt.). Legend: 1) stromatolites; 2) bioturbations; 3) peritidal breccia; 4) peloids and intraclasts; 5) dasyclad algae; 6) bivalve *Lithiotis problematica*; 7) oncoids; 8) ooids; 9) bioclasts; VT 26 – sample with algae.

debljine iznad izdanaka na ovoj točci, koju sačinjavaju: *Lituosepta recoarensis* CATI, *Planisepta compresa* (HOTTINGER), *P. termieri* (HOTTINGER), *Orbitopsella primaeva* (HENSON) i *O. precursor* (GÜMBEL), stratigrافska pozicija ovog lokaliteta može se determinirati kao gornji hetangij-sinemurij.

LITERATURA

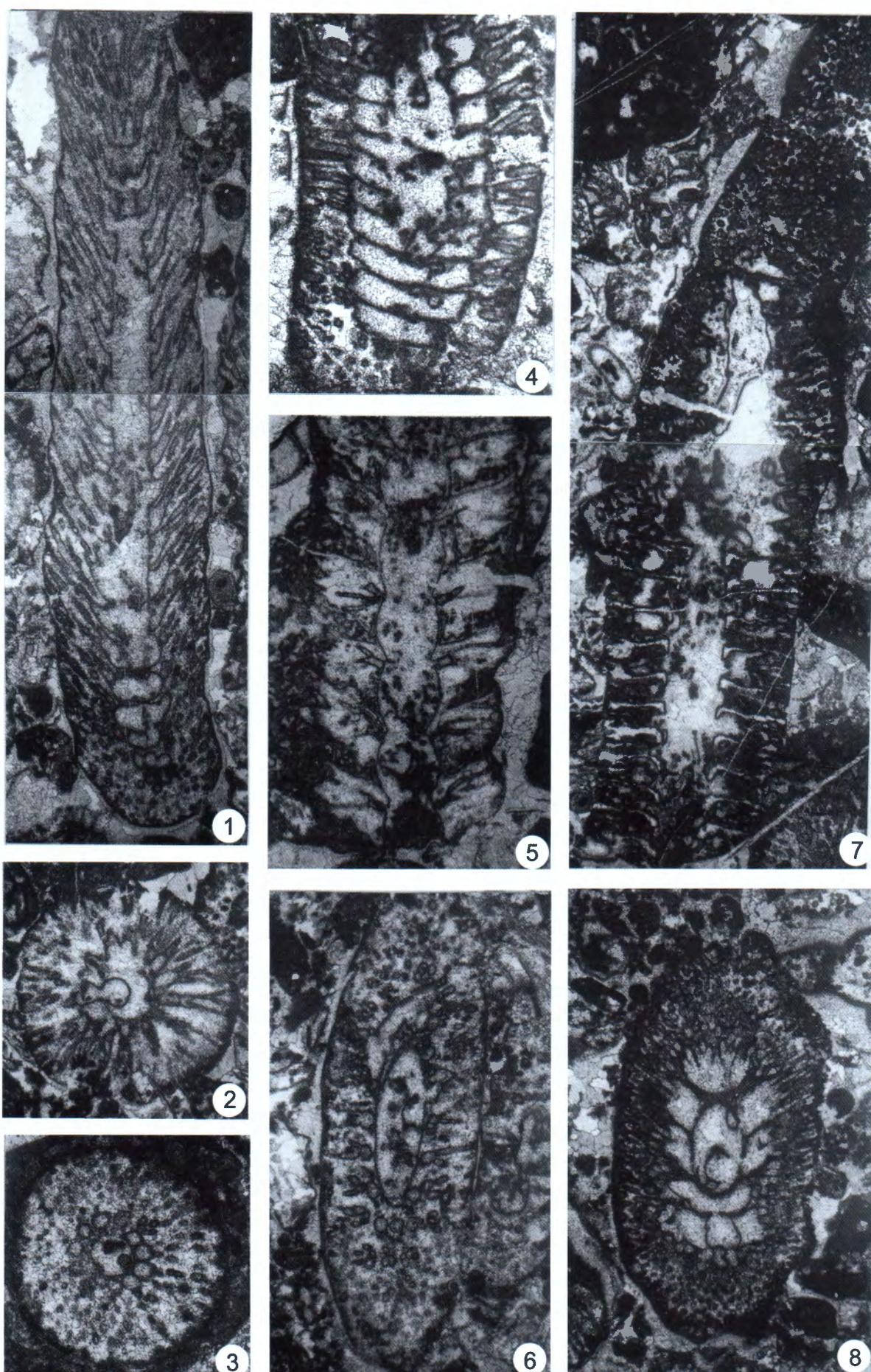
SOKAČ, B. (2001): Lower and Middle Liassic calcareous algae (Dasycladales) from Mt. Velebit (Croatia) and Mt. Trnovski Gozd (Slovenia) with particular reference to the genus *Palaeodasycladus* (PIA, 1920) 1927 and its species.– Gologija Croatica, 54/2, 133–257, Zagreb.

Tabla I – Plate I

Dio vapnenačkih alga opisanih s ovog lokaliteta opisanih u radu SOKAČ (2001). Algalna zajednica dominirana je vrstama i varijetetima roda *Palaeodasycladus*.

A portion of the algal association found at this locality and described by SOKAČ (2001). The algal association is dominated by species and varieties of the genus *Palaeodasycladus*.

- 1 *Palaeodasycladus mediterraneus* PIA var. *mediterraneus*, VT-26/40, x17.
- 2 *Palaeodasycladus mediterraneus* PIA var. *mediterraneus*, VT-26/ 229, x19.
- 3 *Palaeodasycladus mediterraneus* var. *illyricus* (SOKAČ & NIKLER), VT-26/126, x24.
- 4 *Palaeodasycladus mediterraneus* var. *heraki* (SOKAČ & NIKLER), VT-26/118, x34.
- 5 *Palaeodasycladus barrabeii* LEBOUCHÉ & LEMOINE, VT-26/33, x14
- 6 *Palaeodasycladus mediterraneus* var. *illyricus* (SOKAČ & NIKLER), VT-26/83, x17.
- 7 *Palaeodasycladus dolomiticus* (CROS & LEMOINE), VT-26/189, x14
- 8 *Palaeodasycladus multiporus* SOKAČ, VT-26/262, x17



Točka 3D – Stop 3D

Vapnenci donje jure s *Orbitopsella*-ma* Lower Jurassic *Orbitopsella*-limestone

Ivo Velić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska

*Tekst je većim dijelom baziran na radu VELIĆ, I. (2007): Lower Jurassic *Orbitopsella* limestone.– In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 47–49, Zagreb.

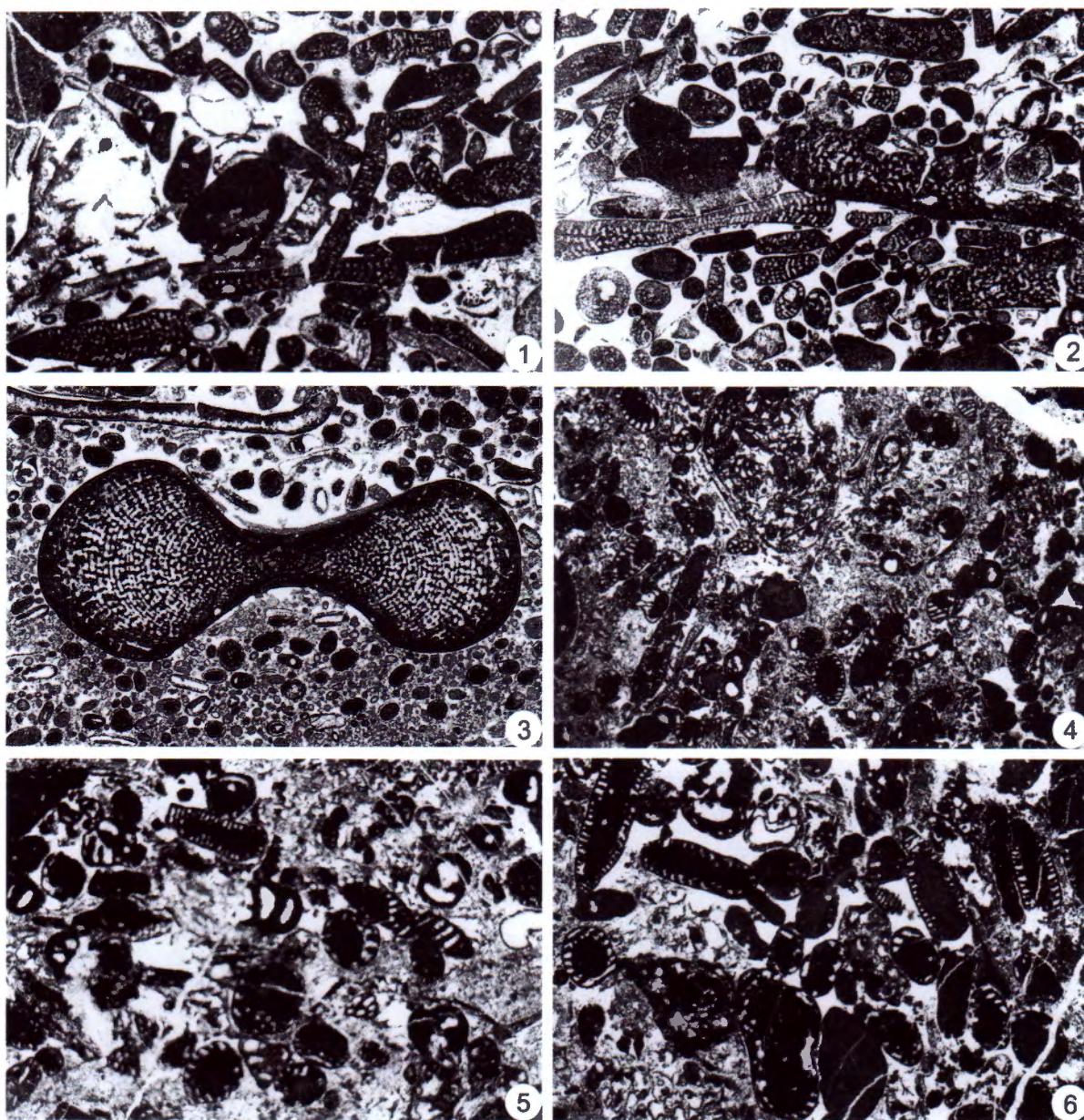


Tabla I – Plate I

Donojurske foraminifere – Lower Jurassic foraminifera

1–2 Skeletni grejnston s *Orbitopsella primaeva* (HENSON), kasni sinemur – rani plinsbah./ 1–2 Skeletal grainstone with *Orbitopsella primaeva* (HENSON), Late Sinemurian – Early Pliensbachian.

3 Onkolitizirana *Orbitopsella praecursor* (GÜMBEL) u ooidno-intraklastičnom pekstonsko/grejnstonskom matriksu, rani plinsbah – kariksij / Oncobilized *Orbitopsella praecursor* (GÜMBEL) in ooid-intraclastic packstone/grainstone matrix, Early Pliensbachian – Carixian.

4–6 *Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI) i *Satorina apuliensis* FUORCADE & CHOROWICZ u skeletno-peletnom pekstonu/grejnstonu, kasni baton/ *Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI) and *Satorina apuliensis* FUORCADE & CHOROWICZ in skeletal-pelet packstone/grainstone, Late Bathonian.

Izdanak s mnogobrojnim primjercima foraminifera roda *Orbitopsella* nalazi se uz ruševine kućice na cesti u području prijevoja Mali Alan.

Dosadašnja istraživanja su pokazala da su za stratigrafiku raščlambu jurskih, a time i donojurških naslaga u Krškim Dinaridima najvažniji mikrofossili i to vapnenačke alge i bentičke foraminifere. Makrofosili, od kojih se u donojurškim naslagama nalaze, brahiopodi, gastropodi i lamelibranhiati malo su korišteni zbog nemogućnosti vađenja njihovih ljuštura iz čvrstih vapnenačkih stijena. Bogata zastupljenost donojurških lituolidnih foraminifera u naslagama sinemura i plinsbaha u Velebitu omogućava pouzdanu odredbu stratigrafskih nivoa unutar tih katova. Raspon pojedinih vrsta, posebice iz roda *Orbitopsella*, su i kronostratigrafski provjereni i unutar amonitnih zona, uglavnom u zapadnomediterskom području, na pr. u marokanskom Visokom Atlasu (SEPTFONTAINE, 1984). Raspon vrsta roda *Orbitopsella* MUNIER-CHALMAS započinje u kasnom sinemuru, a završava sredinom plinsbaha tj. krajem ranoga plinsbaha (kariksija). Taj interval, u profilu Mali Alan, započinje prvim pojavama vrste *O. primaeva* (HENSON), što se podudara i sa završetkom

raspona provodne kasnosinemurske lituolide *Lituosepta recarensis* CATI, a završava zadnjim pojavama vrste *O. praecursor*. Pojavljuju se i druge ranojurske lituolide *Mesoendothyra* sp., *Paleomayncina termieri* (HOTTINGER) i *Planisepta compressa* (HOTTINGER, 1967).

Ova točka nalazi se na sredini orbitopselskoga raspona (Točka 3C, Sl. 1) u slojevima s prvim pojavama vrste *O. praecursor* u zajednici s *O. primaeva*. U tim skeletno-bio-klastičnim, pretežito orbitopselskim grejnstonima još su određene ranojurske *P. termieri* (HOTTINGER), te *Haurania deserta* HENSON širega raspona kroz ranu i srednju juru. Na temelju citirane foraminiferske zajednice slojevi s orbitopselama na ovoj točki kronostratigrafski pripadaju sredini ranoga plinsbaha ili sredini kariksija.

LITERATURA

SEPTFONTAINE, M. (1984): Biozonation (à l'aide des Foraminifères imperforés) de la plate-forme interne carbonatée liasique du Haut Atlas (Maroc).– Rev. Micropaléont., 27/3, 209–229.

Točka 3E – Stop 3E

Donojurski "Lithiotis-vapnenci" i "Mrljasti vapnenci" Lower Jurassic „Lithiotis limestone“ and „Spotty limestone“

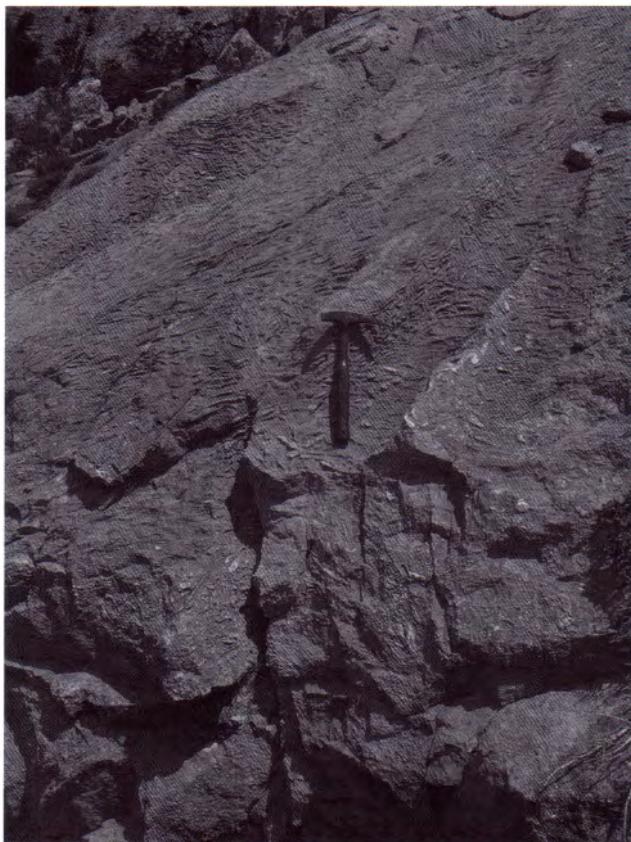
Ivo Velić

Hrvatski geološki institut, Sachova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ivelic@hgi-cgs.hr)

*Tekst je većim dijelom baziran na radu VELIĆ, I. (2007): Lower Jurassic: Domerian 'Lithiotis limestones' and Toarcian 'Spotty limestones'.– In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 51–52, Zagreb.



Slika 1. Desikacijske pukotine.
Figure 1. Desiccation cracks.



Slika 2. Kokina sa strujno orijentiranim ljušturama *Lithiotis-a*.
Figure 2. *Lithiotis* coquina with current oriented shells.

Od prethodne točke cesta siječe naslage kasnoga kariksija i domerija (kasni plinsbah) koje su u literaturi poznate kao "Lithiotis vapnenci" (JELASKA & VELIĆ, 1971). To su pretežito vapnenci muljne potpore – fosiliferni, skeletno-bioklastični i intraklastični madstoni i vekstoni do floutstoni

i radstoni u izmjeni s madstonima, vekstonima i peletnim pekstonima u ciklusima opličavanja naviše koji završavaju izronjavanjima s desikacijskim pukotinama (Sl. 1) i brečama. U vršnom dijelu ove sekvencije zapažaju se pojave podvodnog kliženja izražene dekametarskim *slump* borama. Litiotisi su bili najčešće neznatno transportirani strujama i olujama pa se nalaze u floutstonima i radstonima – strujno orijentiranim kokinama debljina i do 200 cm (Sl. 2).

Na samome kraju sekvencije u jednome sloju skeletnoga floutstona zapaženi su litiotidi u dva različita položaja: pri dnu i vrhu sloja su naplavljene ljuštture, paralelne sa slojevitošću, a u sredini sloja su u primarnom položaju tj. položaju života i rasta (Sl. 3). Njihov primaran položaj je sačuvan najvjerojatnije zbog brze akumulacije velikih količina karbonatnog mulja nanesenog i taloženog pod izrazito blagim pridnenim strujama.

U tamnosivim do crnim *Lithiotis*-vapnencima otvoreni je svojevremeno mali kamenolom. Arhitektonski kamen pod nazivom "negrofiorit" svojedobno je bio vrlo tražen (MARIKOVIĆ, 2002), pa ga se može vidjeti i u kinu Europa u Zagrebu.

Neposredno nakon zadnjih slojeva "Lithiotis-vapnenca" pojavljuju se bioturbirani "Mrljasti vapnenci", karakteristični litofacijes središnjih i sjeverozapadnih područja Jadran-ske karbonatne platforme. To su dobro slojeviti (10 do 60 cm) intenzivno bioturbirani madstoni/vekstoni (Sl. 4). Zbog bioturbacija pokazuju mrljasti izgled pa su tako i dobili ime "Mrljasti vapnenci" (njemački "Fleckenkalk"). Uz karbonatni mulj oni sadrže varijabilne količine bioklasta i ooida. Zbog jačeg trošenja ovih naslaga, u reljefu su predstavljene depresijama (Sl. 5). Taložene su u nešto dubljim subtajdalnim i lagunskim okolišima u reduktivnim uvjetima s niskim sedimentacijskim ratama tijekom toarcija kada se je za gotovo 8 milijuna godina istaložilo oko 120 m ovih vapnenaca. To je



Slika 3. Ljuštture *Lithiotis-a* u položaju rasta i paralelno sa slojnom plohom.
Figure 3. *Lithiotis* shells both in the growth position and parallel to the bedding plane.



Slika 4. Izdanak "Mrljastog vapnenca".

Figure 4. Outcrop of "Spotty limestone".



Slika 5. Odraz "Mrljastog vapnenca" u reljefu.

Figure 5. Reflection of the occurrence of "Spotty limestone" in relief.

i vrijeme ekstenzijske tektonike, kada se je jadranska karbonatna platforma odvojila od Apulijске, čime su spojeni Beluno i Ionian bazeni i.e. početak Jadranskoga bazena, kao i prvog jurskog OAE na platformi (VLAHOVIĆ et al., 2005).

LITERATURA

- MARKOVIĆ, S. (2002.): Hrvatske mineralne sirovine.– Institut za geološka istraživanja, XVI + 544. str., Zagreb.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics.– Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 220, 333–360.

Točka 3F – Stop 3F

Srednja i gornja jura područja Mali Alan – Tulove grede* The Middle and the Upper Jurassic of the Mali Alan – Tulove grede area

Ivo Velić, Branko Sokač & Tonći Grgasović

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ivelic@hgi-cgs.hr)

*Tekst je dijelom baziran na radovima VELIĆ, I. (2007): Lower Jurassic: Domerian 'Lithiotis limestones' and Toarcian 'Spotty limestones' i SOKAČ (2007): Limestones of the lower part of the Upper Jurassic with *Salpingoporella sellii*. – U: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.): 9th International Symposium on Fossil Algae, Field-Trip Guidebook and Abstracts. Hrvatski geološki institut, 51–55, Zagreb.

U središnjem dijelu profila Mali Alan iznad "Mrljastih vapnenaca" slijedi sekvencija od oko 800 m debelo slojevitih vapnenaca, pretežito madstona s proslojcima kristaliničnih krupnozrnastih kasnodijagenetskih dolomita srednjojurske starosti. U usporedbi s donojurskim, srednjojurski vapnenci su općenito slabije fosiliferni. Međutim, u rijetkim slojevima fosilifernih vapnenaca, najčešće skeletno-intraklastičnih veksona/pekstona/grejnstona nađeni su ostaci dazikladalne alge *Selliporella donzellii* SARTONI & CRESCENTI s rasponom od ranoga bajocija do kasnoga bata. Srednjojurske foraminiferske zajednice, u najvećem dijelu ovih naslaga

također su siromašne. U starijem dijelu sekvencije nalaze se samo vrste širega raspona: *Mesoendothyra croatica* GUŠIĆ, *Pfenderella arabica* REDMOND, *Redmondoides lugeoni* (SEPTFONTAINE) i dr. Najbogatija je, vrlo značajna i kronostratigrafski provodna, foraminferska zajednica batona (Točka 3D, Tabla I) u kojoj su na ovom profilu određene vrste *Paleopfenderina salernitana* (SARTONI & CRESCENTI), *P. trochoidea* (SMOUT & SUGDEN), *Pseudogegerella elongata* SEPTFONTAINE, *Satorina apuliensis* FUORCADE & CHOROWICZ, *S. mesojurassica* (MAYNC), *Orbitammina elliptica* (D'ARCHIAC) i *Kilianina blancheti* PFENDER, te *Praekurnubia crusei* REDMOND, *P. arabica* i drugi oblici širega raspona.

Nakon debelo uslojenih izrazito okršenih vapnenaca gornjeg dijela srednje jure, stratigrafski determiniranog obilnom foraminferskom zajednicom, slijede naslage donjeg dijela gornje jure debljine oko 100 m. Duž planinske ceste otkrivene su tanje uslojene naslage tamnosivih vapnenaca i dolomita koji se u terenu morfološki odražavaju nižim reljefom. Učestala je izmjena različitih varijeteta vapnenaca: onkoidno-skeletnih vekstona s relativno brojnim foraminifera, madstona s proslojcima onkoidnog, skeletnog ili peloidnog vekson-pekstona, te ooidnog grejnstona. Za ovaj interval gornje jure karakteristični su slojevi s kladokoropisisma (*Cladocoropsis mirabilis* FELIX). Veći dio intervala predstavljen je zrnastim tipovima vapnenaca, posebice ooidnim grejnstonima. Vapnenci su često zahvaćeni dolomitizacijom, od samo djelomično mrljaste do potpunog razvoja šećerastih (krupnokristalastih) kasnodijagenetskih dolomita. U ovim kasnodijagenetskim dolomitima mjestimično su očuvani relikti madstona i vekstona što daje dojam brečastog izgleda. Općenito slaba fosilifernost generalno je odlika ovog nižeg djela gornje jure. Tek pojedini tanji intervali sadrže nešto učestalije bentonske foraminifere, kojima je determinirana oksfordska starost ovog intervala (MATIČEC et al., 1997).

U izdancima sjeverno od srušene cestarske kuće (oznaka Točke 2F na karti) nalazimo bioklastične vekstone sa sitnim fosilnim kršjem, pojedinačnim bentonskim foraminifera i u osnovi raspršenim ostacima talusa vapnenačkih alga. Pojedinačnim presjecima nešto češće je prisutna *Salpingoporella sellii* (CRESCENTI) (Sl. 1). Uz ovu vrstu, ali izuzetno rijetko, moguć je i nalaz tek ponekog presjeka vrste



Slika 1. *Salpingoporella sellii* (CRESCENTI), koso-poprečni presjek.
Figure 1. *Salpingoporella sellii* (CRESCENTI), oblique-transversal section.

Heteroporella anici (SOKAČ & NIKLER). Nalaz ovih vrsta u području Velebita značajan je za niži dio gornje jure oksford-kimeridž, starost koja se pridaje i ovom lokalitetu.

Gornji dio naslaga gornje jure karakteriziran je debelo uslojenim i masivnim madstonima u kojima se javljaju tanji proslojci peloidnih vekson-pekstona, mjestimice i onkoidnih floutstona. Debljina ovog intervala je oko 250 m. Među rijetkim fosilnim sadržajem nađena je alga *Salpingoporella sellii* i foraminiferska zajednica provodna za kimeridž (MA-

TIČEC et al., 1997). U širem području naslage se proteže do vršnog dijela jure – titona, uz nalaz alge *Clypeina jurasicca* FAVRE.

LITERATURA

MATIČEC, D., FUČEK, L. & OŠTRIĆ, N. (1994): Izvješće o rezultatima geoloških istraživanja na trasi tunela Sveti Rok kroz Velebit.– Arhiva Instituta za geološka istraživanja, 26 str., Zagreb.

Točka 3G – Stop 3G

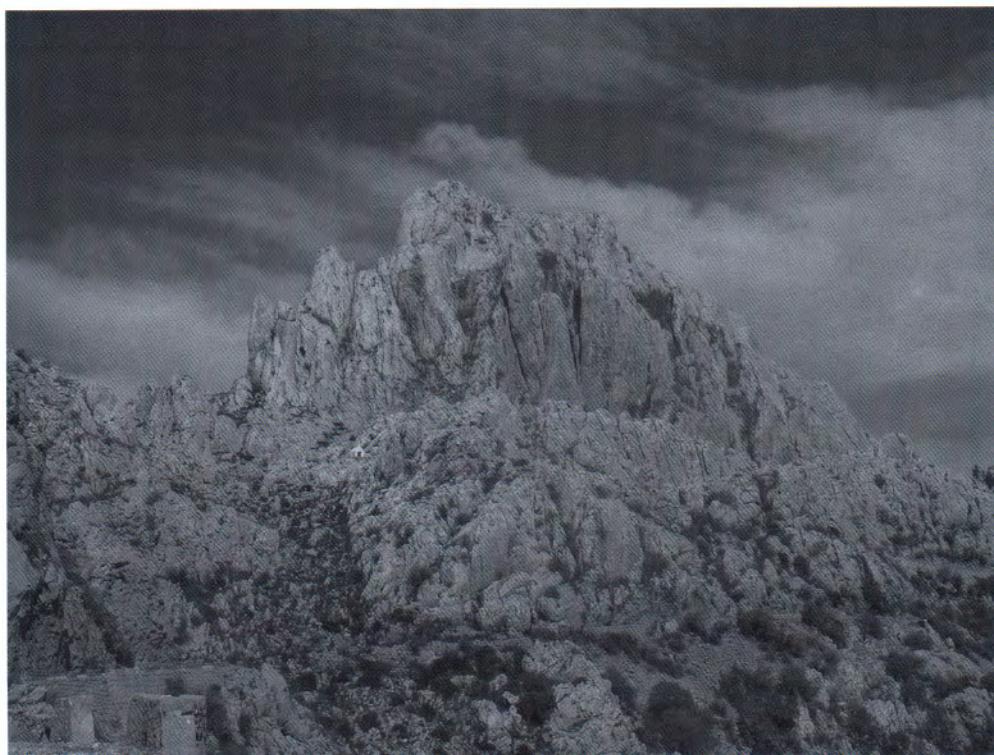
Tulove grede – Jelarske breče Tulove grede – "Jelar Breccia"

Tonći Grgasović

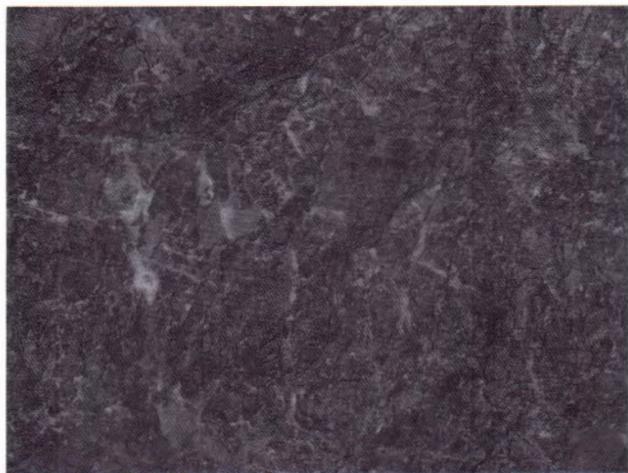
Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10000 Zagreb, Hrvatska
(tgrgasovic@hgi-cgs.hr)

Tulove grede (Sl. 1) predstavljaju fascinantan skup oštih kamenih vrhunaca koji plijene pogled, posebno sa južne strane, te su zbog toga zaštićene kao geomorfološki spomenik prirode. Zbog svoje ljepote "glumile" su i u filmovima o indijanskom poglavici Winnetou. Svoj izuzetan re-

ljef mogu zahvaliti, kao i ostali kukovi na Velebitu i okolici (Rožanski, Hajdučki, Dabarski, Stap i dr.), stijeni od koje su izgrađeni – Jelarskim brečama. Jelar-naslagama ime je dao BAHUN (1963) prema brdu Jelar pokraj Gornjeg Kosinja u Lici. Ranije su različito opisivane, u starijim radovima uglav-



Slika 1. Tulove grede – izgrađene od Jelarskih breča.
Figure 1. Tulove grede – made from "Jelar-breccia".



Slika 2. Detalj Jelarske breče iz kamenoloma Romanovac.
Figure 2. Detail of "Jelar-breccia" from Romanovac quarry.



Slika 3. Geolozi oduševljeni rješenjem geneze Jelarskih breča od strane Hrvatskih cesta (iz VELIĆ et al., 2006).
Figure 3. Geologists delighted by the interpretation of origin of "Jelar-breccia" proposed by the company "Croatian Roads" (from VELIĆ et al., 2006).

nom kao donjokredne vapnenačke breče (npr. KOCH, 1909), a kasnije, uglavnom u tumačima OKG, kao vapnenačke breče tercijarne starosti.

Jelarske naslage sa svih strana okružuju glavnu masu Velebita (BAHUN, 1974, 1985; HERAK & BAHUN, 1980), s jugozapadne strane u duljini preko 100 km. U većim ili manjim područjima rasprostranjene su u Lici, a manje pojave nalazimo na zapadu na Krku i okolici Rijeke (BLAŠKOVIĆ & TIŠLJAR, 1983), na istoku do vrela Une (BAHUN, 1985), a na jugoistoku do Šestanovca.

Jelarske breče su vapnenačke polimiktne klastpotporne breče. Klasti su uglati i gotovo isključivo izgrađeni od vapnenca. Breča je nesortirana, a dimenzije fragmenata su od submilimetarskih do decimetarskih, ali se na svim područjima na kojima su rasprostranjene ove naslage veličina većine klasta kreće u istom rasponu od par centimetara do najviše par decimetara. Vezivo je izgrađeno od vrlo sitnih klasta vapnenaca sve do mikronskih dimenzija i u mikroskopskom preparatu se ne mogu razdvojiti od dijagenetskog cementa.

Samo iznimno rijetko mogu se naći slabo zaobljeni klasti, fragmenti klastita, udio finih klastita u vezivu, krupniji (metarski) klasti, te matrikspotporna struktura breče. Opažanja na brojnim lokalitetima pokazala su da je prijelaz iz podine u Jelarske naslage uvijek isti: najprije se iz "zdrave" podloge prelazi u slabije, a onda i jače izlomljenu (tektoniziranu) podlogu, zatim nalazimo Jelarsku breču koja ispunjava pukotine u tektoniziranoj podlozi, da bi postupno prešla u tipičnu Jelarsku breču. Na samom kontaktu Jelarskih breča i podloge klasti su isključivo oni iz podloge, da bi na više ubrzo postali vrlo raznoliki i sadržavali klaste stijena kojih nema u okolnom području. Na jugozapadnim padinama Velebita Jelarske breče su u kontaktu s neokomskim, apskim i albskim naslagama, tj. prekrivaju vrlo vjerojatno kontinuirani slijed dojnjokrednih naslaga, bez dokaza o jakim rasjedima (VELIĆ et al., 2006). Na Tulovim gredama Jelarske breče leže na ispucalim vapnencima gornje jure.

Breče su čvrsto vezane i upravo zbog svoje litificirane strše u reljefu tvoreći izrazite kukove. Nisu uslojene i pokazuju karakterističnu ispucalost (Sl. 1). U njima su jako lijepo razvijeni krški oblici, posebno škape, a u njima su i ulazi svih najvećih hrvatskih jama (Lukina jama, Slovačka jama, Velebita). Iznimno je zanimljivo da predstavljaju jedinstven fenomen, nepoznat u drugim dijelovima svijeta.

Dok je litologija ovih naslaga dobro poznata, njihovu genezu je teško protumačiti, iako se svi istraživači slažu da je povezana sa snažnim tektonskim pokretima (npr. HERAK & BAHUN, 1980; KORBAR, 2009). BAHUN (1974) je interpretirao nastanak ovih naslaga slijedećim riječima: "...stječe se dojam da su ovi klastiti nastali na taj način da su fragmenti stvoreni drobljenjem, otkidanjem i rušenjem (ne transportiranjem vodom!) dospijevали u bazene, gdje je bilo izvršeno povezivanje u breču..."; "...vrijeme i način njihova postanka moramo vezati uz orogenetske pokrete... pri čemu je nastalo obilje klastičnog materijala". Transport siparima se čini najlogičnijim rješenjem (Sl. 3).

Starost Jelarskih breča se ne može odrediti zbog odstvasta fosila u matriksu. U tumačima OGK se determiniraju kao eocen, oligocen (GRIMANI et al., 1973; MAJCEN et al., 1973; MAMUŽIĆ & SOKAČ, 1973; SOKAČ et al., 1976b, 1976c; VELIĆ et al., 1982), oligocen (MARINČIĆ et al., 1977) ili paleogen, neogen (IVANOVIĆ et al., 1967; MAMUŽIĆ & MILAN, 1973; SOKAČ et al., 1976a). S obzirom na nalaz klasta eocenskih vapnenaca, superpoziciju i prepostavljeni maksimum tektonske aktivnosti VELIĆ et al. (2006) starost determiniraju kao oligocensko-miocensku. Obično se Jelarske naslage smatra ekivalentom Prominskih naslaga, ili njihova višeg dijela. Nasuprot tome, SAKAČ et al. (1993a) navode srednjeeocensku starost breča s vršnog dijela Promine i onih iz Dabrice pokraj Stolca u BiH, koje smatraju dijelom Jelar-naslaga. Oni ove neuslojene do slabo uslojene breče nalaze se u krovini foraminiferskih vapnenaca starijeg dijela srednjeg eocena, a u njihovoj krovini su Prominske naslage mlađeg paleogena, čiju donjoeocensku (Promina) i srednjeeocensku (Dabrica) starost autori dokazuju nalazima nanofosila. U podini spomenutih breča SAKAČ et al. (1993b) opisuju boksite.

Hidrogeološke karakteristike Jelarskih naslaga u području Like opisuju BAHUN & FRITZ (1975) i PAVIČIĆ (1997), smatrajući ih relativno slabije propusnima od drugih vapnenačkih naslaga.

Odmah uz same Tulove grede nalazi se kamenolom Romanovac, gdje se eksploatiraju Jelarske breče (Sl. 3). Kamenolom je povremeno u funkciji od 1956. Vađene su dvije vrste vapnenačkih breča: one s crvenim vezivom – "romanovac" i one sa sivim (mjestimice smeđkastim) vezivom – "tulovac". Kamen je tako dekorativan, pa je tako romanovac ugrađen u hotel Internacional u Zagrebu i hotelu Kaktus u Supetu (MARKOVIĆ, 2002).

LITERATURA

- BAHUN, S. (1963): Geološki odnosi okolice Donjeg Pazarišta u Lici (trijas i tercijarne Jelar-naslage).– Geol. vjesnik, 16, 161–170, Zagreb.
- BAHUN, S. (1974): Tektogeneza Velebita i postanak Jelar naslaga (The tectogenesis of Mt. Velebit and the formation of Jelar deposits).– Geol. vjesnik, 27, 35–51, Zagreb.
- BAHUN, S. (1985): Trijaske naslage i Jelar – formacija u dolini Une između Srba i Brotnje (Hrvatska).– Geol. vjesnik, 38, 21–30, Zagreb.
- BAHUN, S & FRITZ, F. (1975): Hidrogeološke specifičnosti Jelar-naslaga Like.– Geol. vjesnik, 28, 345–355, Zagreb.
- BLAŠKOVIĆ, I. & TIŠLJAR, J. (1983): Prominske i Jelar naslage u Vinodolu (Hrvatsko primorje).– Geol. vjesnik, 36, 37–50, Zagreb.
- GRIMANI, I., ŠUŠNjar, M., BUKOVAC, J., MILAN, A., NIKLER, L., CRNOLATAC, I., ŠIKIĆ, D. & BLAŠKOVIĆ, I. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Crikvenica L33-102.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1963), Savezni geološki zavod, Beograd, 47 str.
- HERAK, M. & BAHUN, S. (1980): The role of the calcareous breccias (Jelar Formation) in the tectonic interpretation of the High karst zone of the Dinarides.– Geol. vjesnik, 31, 49–59, Zagreb.
- IVANOVIĆ, A., SAKAČ, K., SOKAČ, B., VRSALOVIĆ-CAREVIĆ, I. & ZUPANIĆ, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Obrovac L33-140.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, Beograd, 61 str.
- KOCH, F. (1909): Geologiska prijegledna karta Kraljevine Hrvatske i Slavonije. Tumač geologische karte Medak-Sv. Rok.– Naklada Kr. zemaljske vlade Odjela za unutarnje poslove, Izdanje Geološkog povjerenstva, 7, 1–31, Zagreb.
- KORBAR, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates.– Earth Science Reviews, 96, 296–312.
- MAJCEN, Ž., KOROLIJA, B., SOKAČ, B. & NIKLER, L. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Zadar L33-139.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, Beograd, 44 str.
- MAMUŽIĆ, P. & MILAN, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Rab L33-114.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1966), Savezni geološki zavod, Beograd, 39 str.
- MAMUŽIĆ, P. & SOKAČ, B. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za listove Molat i Silba.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, Beograd, 45 str.
- MARINČIĆ, S., KOROLIJA, B. & MAJCEN, Ž. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Omiš K 33-22.– Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 51 str.
- MARKOVIĆ, S. (2002.): Hrvatske mineralne sirovine.– Institut za geološka istraživanja, XVI + 544. str., Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. (1997): Hydrogeological Evaluation of Water Retaining Properties of the Kosinj Reservoir (Lika, Croatia).– Geol.Croat, 50/2, 289–298.
- SAKAČ, K., BAHUN, S., BENIĆ, J. & PENCINGER, V. (1993a): Stratigraphic and tectonic position of Paleogene Jelar Beds in the Outer Dinarides (Stratigrafski i tektonski položaj Jelar naslaga u Vanjskim Dinaridima).– Nat. Croat., 2/1, 55–72, Zagreb.
- SAKAČ, K., ŠINKOVEC, B., DURN, G., BENIĆ, J. (1993b): Boksiti i Jelar-naslage.– RGN zbornik, 5, 59–64, Zagreb.
- SOKAČ, B., ŠUŠNjar, M., BUKOVAC, J., BAHUN, S. (1976a): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Udbina L33-128.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1965), Savezni geološki zavod, Beograd, 62 str.
- SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I. (1976b): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Gospić L33-127.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, Beograd, 64 str.
- SOKAČ, B., BAHUN, S., VELIĆ, I. & GALOVIĆ, I. (1976c): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Otočac L33-115.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1970), Savezni geološki zavod, Beograd, 44 str.
- VELIĆ, I., SOKAČ, B. & ŠČAVNIČAR, B. (1982): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Ogulin L33-103.– Geološki zavod Zagreb (1980), Savezni geološki zavod, Beograd, 46 str.
- VELIĆ, I., VLADHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., SREMAC, J., & MATIĆEC, D. (2006): Middle Permian clastic deposits – Carbonate succession Middle–Upper Permian – Clastic–carbonate deposits of Middle–Upper Triassic (Ladinian–Norian) – Lower Jurassic shallow-marine carbonates (Hettangian to Pliensbachian) – Lower Jurassic bioturbated limestones (Toarcian) – Oligocene–Miocene Jelar brechia.– In: MENICHETTI, M. & MENUCCI, D. (eds.): Adria 2006 – Field trip Guide, Universita degli Studi di Urbino, 51–58.

Točke 4 i 5 – Stops 4 and 5

Paleogenski boksiti područja Obrovca i "Benkovački kamen" Mejanice Paleogene bauxites of the Obrovac area and "Benkovac" limestone of Mejanica locality

Vili Pencinger¹ & Ervin Mrnjek²

¹Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(vpencinger@hgi-cgs.hr)

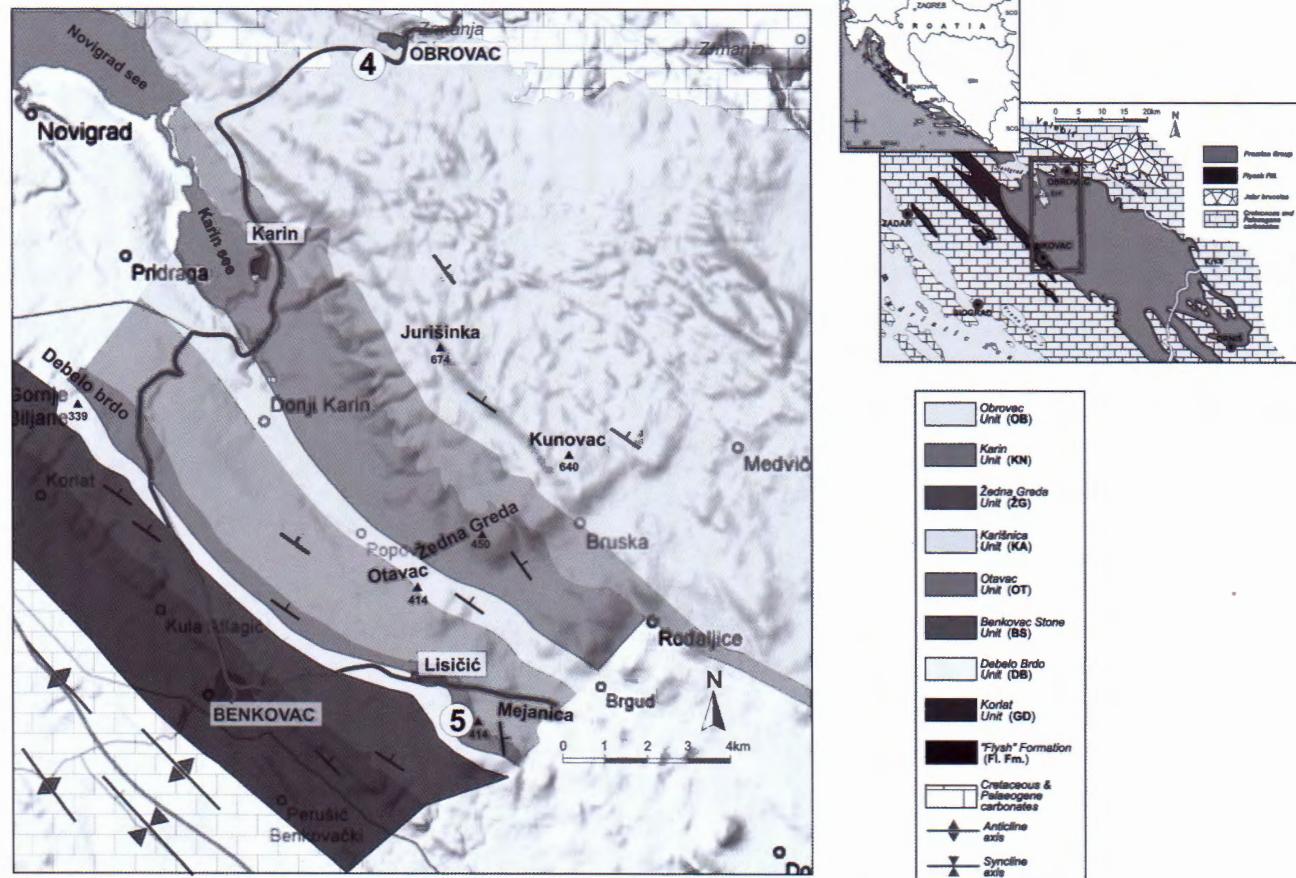
²Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ervin.mrnjek@zg.t-com.hr)

Uvod

Prominske naslage sjeverne Dalmacije su gornjosrednje-eocensi do donjooligocensi karbonatni klastiti taloženi u plitkomorskim i kopnenim okolišima (IVANOVIĆ et al., 1973, 1976; BABIĆ & ZUPANIĆ, 1983; 1988; 1990; MRNJEK, 1993a, 1993b 2008; MRNJEK et al., 2005; MRNJEK et al., 2007; MRNJEK & PENCINGER, 2008; PENCINGER, 2010) (Sl. 1). Prominske naslage se često puta smatra za litostratigrafsku jedinicu ranga formacije što je pogrešno jer one po svojim litostratigrafskim značajkama i vremenskom rasponu izlaze daleko izvan okvira definicije formacija pa bi bilo adekvatnije prominske naslage nazivati Promina grupa ili čak Promina supergrupa. Spomenuti vre-

menski raspon Prominskih naslaga preuzet je iz tumača lista OGK Obrovac (IVANOVIĆ et al., 1976), a određen je na osnovu makro i mikroflosila. Postoje indikacije (na osnovu odredbe nanoplanktona) da su Prominske naslage mlađe, tj. raspona gornji eocen – gornji oligocen ili čak početak miocena. Pri tome se ne misli na rezultate mađarskih autora (MIKES et al., 2008) koji su „Jadranski fliš“ a samim time i prominske naslage znatno „pomladili“ davši fliškim naslagama donjo-srednje miocensku starost, nego na rezultate analiza nanoplanktona prominskih naslaga iz neobjavljenih elaborata prof. Benića.

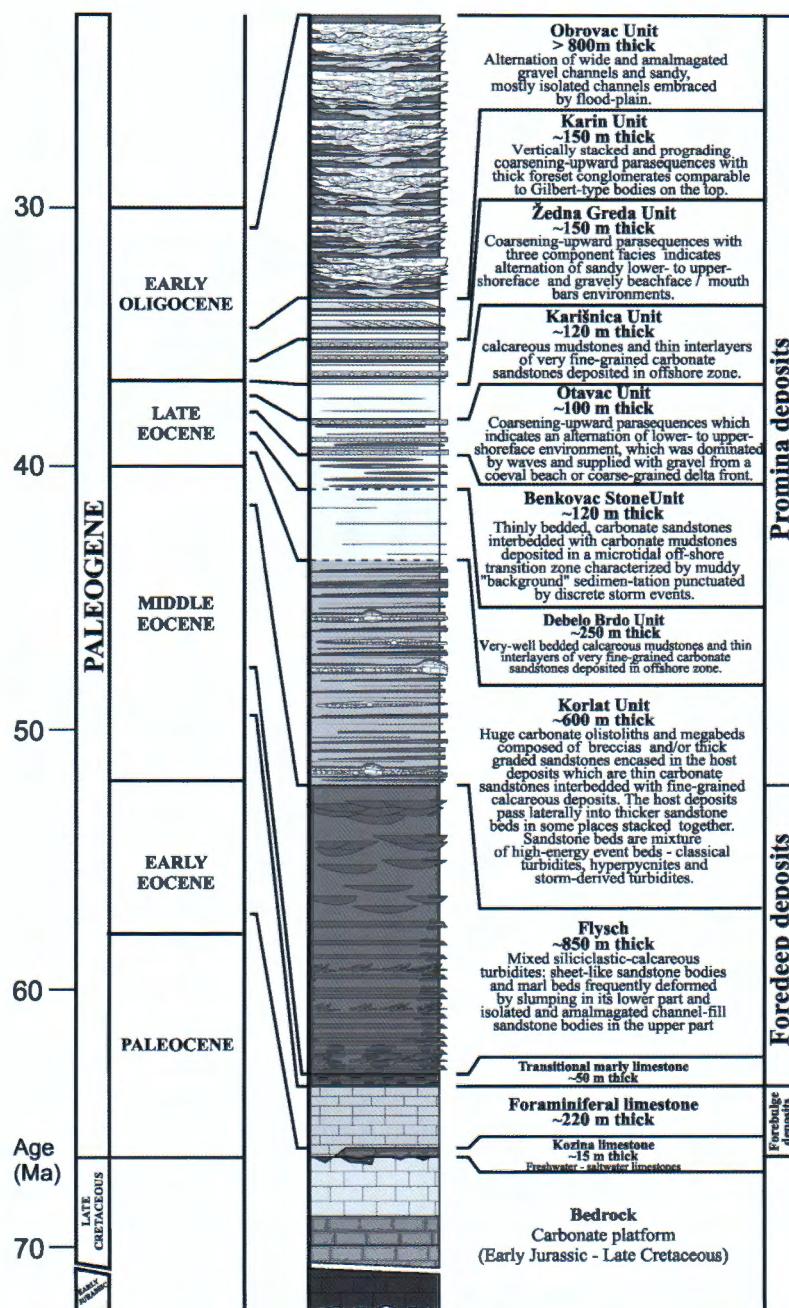
Ukupna debljina Prominskih naslaga je oko 2000 m, a otkrivene su u sjevernoj Dalmaciji na površini dugačkoj oko



Slika 1. Lokacijske karte i litostratigrafska karta sjeverozapadnog dijela područja Prominskih naslaga sa rutom i točkama ekskursije.
Figure 1. Locality map and lithostratigraphic map of the north-western part of "Promina-deposits" with the route and field-trip stops.

80 i širokoj oko 20 km (Sl. 1). Prominske naslage su nastale taloženjem u *piggyback* bazenima (ORI & FREIND, 1984) ili *thrust top* bazenima (DECELLES & GILLES, 1996; MUTTI et al., 2009) na frontalnom dijelu orogenetskog klina te predstavljaju *wedge-top* naslage predgorskog (*foreland*) bazena. Napredovanjem „slijepih“ reversnih struktura u srednjem eocenu u sjevernoj Dalmaciji dolazi do vrlo brzog evoluiranja proksimalnog dijela predgorskog (*foreland*) bazena u male i djelomično izolirane taložne prostore (*piggy-back* bazeni). U području Benkovca particijom predgorskog bazena nastala su dva subparelerna bazena- sjeveroistočni prominski *piggyback* bazen i jugoistočno fliško kori-

to (*foredeep*). Litostratigrafska jedinica Korlat predstavlja početak taloženja u *piggy-back* bazenu odnosno najstarije *wedge-top* naslage (Sl. 2 i MRINJEK et al., 2010). Značajke *wedge-top* naslaga su prisutnost progresivnih diskordancija i „rastućih bora“ kao što je to slučaj kod najstarije litostratigrafske jedinice Korlat; progresivne deformacije, lokalne diskordancije i stanjivanje naslaga što se može primijetiti u najmlađim aluvijalnim Prominskim naslagama (litostratigrafska jedinica Obrovac, Sl. 2) kod Obrovca gdje najmlađe i najtanje prominske naslaga diskordatno s *onlapping trend*-om pokrivaju kredne i eocenske foraminifeske vapnence i ležišta boksita (Točka 4)



Slika 2. Stratigrafija „fliškog bazena“ (*foredeep*) i „Prominskog bazena“ (*piggy-back* bazen). Prominske jedinice prikazuju stratigrafiju sjeverozapadnog dijela Prominskog bazena. Iz PENCINGER (2010).

Figure 2. Stratigraphy of „Flysch basin“(*foredeep*) and „Promina basin“ (*piggy back* basin). The Promina units in the profile pertain to the northwestern part of the basin (from PENCINGER, 2010).

Točka 4 – Stop 4

Karamarkuša (paleogenski boksiti) – Karamarkuša (Paleogene bauxites)

Lokalitet „Karamarkuša“ (Krš IV) je nekadašnja površinska eksploatacijska jama boksita iz grupe Krš, koja se nalazi uz južni rub lokalne ceste Obrovac-Smilčić. Preostala ležišta iz ove grupe (Krš I, II i III) eksploatirana su podzemnom eksploatacijom. Boksit iz grupe ležišta Krš je mlađepaleogenke starosti. Krovinu mu predstavljaju Prominske naslage (E_3Ol_1), a podinu čine rudisti vaspenci gornje krede (K_2^3).

„Prominski“, boksiti grupe Krš sadrže 49,50–50,00 % aluminijevog oksida (Al_2O_3) i samo 2,20–2,40 % silicija (SiO_2).

Jamskom eksploatacijom iz grupe ležišta Krš izvađeno je ukupno oko 550.000 t, a površinskim kopom oko 80.000–100.000 t kvalitetnog boksita.

Ležište boksita je pokriveno najmlađim aluvijalnim Prominskim naslagama. Iako su podina i krovina boksita za-

jedno sa boksitima jako deformirani tektonikom, na sjevernoj strani eksploatacijske jame lijepo su vidljivi slojevi konglomerata sa slabo zaobljenim valuticama u matriksnoj potpori u izmjeni sa slojevima kalkarenita i sitnozrnatih klastita. Pojava debrita i općenito pločasti karakter slojeva ukazuje da otkriveni slijed naslaga vjerojatno predstavlja dio aluvijalne lepeze. Veliko lečasto tijelo u vršnom dijelu izdanka izgrađeno od konglomerata sa slabo zaobljenim valuticama u međusobnoj potpori je vjerojatno „hranidbeni“ kanal (jarak) usječen u niži, distalniji dio lepeze. Pojava takvog kanala usječenog u gornji dio i djelomično u niže dijelove lepeze govori u prilog progradaciji lepeznog sustava (Sl. 3).



Slika 3. Slojevi konglomerata i kalkarenita pločastog oblika su vjerojatno dijelovi aluvijalne lepeze. U vršnom dijelu se jasno vidi usječeni kanal ispunjen konglomeratima. Lokalitet Karamarkuša (Krš IV).

Figure 3. Conglomerate and calcarenite beds, probably part of alluvial fan deposits. In the upper part, incised channel with conglomerates is clearly visible. Karamarkuša (Krš IV) locality.

Točka 5 – Stop 5

Benkovački kamen (brdo Mejanica) – „Benkovac stone“ – Mejanica hill

Litostratigrafski član (jedinica) Benkovački kamen je relativno uska zona dinarskog pravca pružanja unutar Prominskog naslaga koja je najbolje vidljiva između Debelog brda, oko 12 km sjeverozapadno od Benkovca i brežuljka Mejanice kod zaseoka Lisičić, oko 4 km jugoistočno od Benkovca. Područje je zaravnjeno do brežuljkasto, pokriveno niskom vegetacijom a naslage su blago nagnute prema sjeveroistoku. Benkovački kamen kojeg karakterizira dobro izražena tanka slojevitost i lako otkidanje po slojnim plohama je već dugi niz godina glavni građevinski kamen lokalnog stanovništva (otuda mu i naziv) koji se vadi iz mnogobrojnih (uglavnom ilegalnih) kamenoloma.

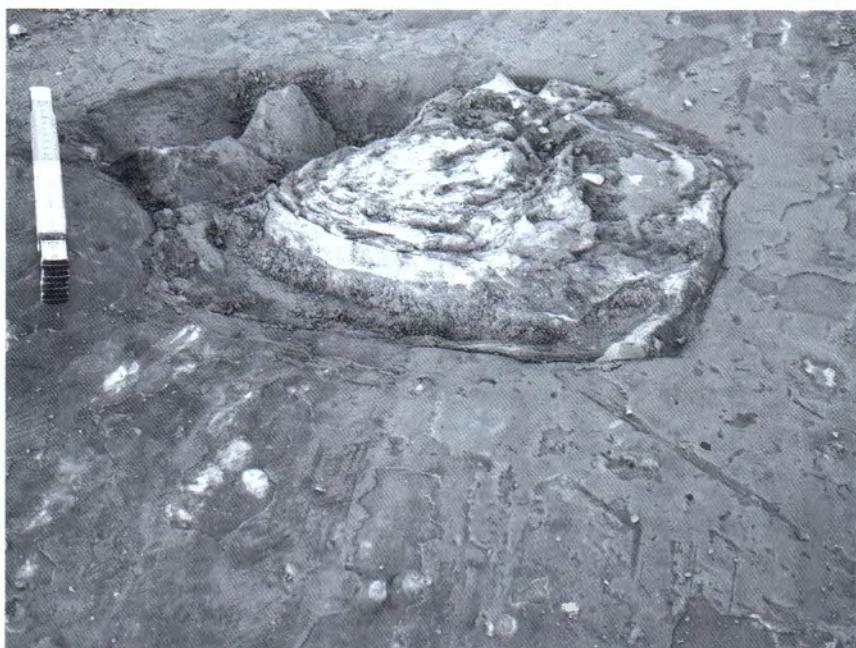
Benkovački kamen je kalciklastična sukcesija, debljine oko 140 m, izgrađena od izmjene tankih slojeva sitnozrnatih kalkarenita sa slojevima kalksiltita i kalklitita. Pripisana im je gornjocenska starost na osnovu nalaza foraminifera – bentičkih numulita i diskociklina i pelagičkih globigerina.

Karbonatni pješčenjaci (kalkareniti) su vrlo sitno do sitnozrnati, tek iznimno u najdonjem dijelu nekih slojeva srednjezrnati. Zrna su izgrađena od mikrita i različitih tipova sparita a tek rijetko od kvarca (manje od 10%). Zrna su uglavnom dobro sortirana, srednje do dobro zaobljena i u međusobnoj potpori. Njihov među prostor je ispunjen mikrokristaliničnim sparitom ili zrnima veličine mulja ili silta. Debljina slojeva varira u rasponu od 3 cm do 40 cm. Tipovi i raspored strukturnih i teksturnih značajki unutar pješčenjaka (pješčanih slojeva) omogućili su izdvajanje šest tipova facijesa i tri tipa subfacijesa (MRINJEK et al., 2005):

S1 – kalkareniti sa planarno paralelnom stratifikacijom, brežuljkasto kosom laminacijom i ravnom paralelnom laminacijom; S2 – kalkareniti sa brežuljkasto kosom laminacijom i ravnom paralelnom laminacijom; S3 – kalkareniti sa konvolutnom stratifikacijom; S4 – amalgamirani kalkareniti; S5 – kalkareniti sa kosom laminacijom koji se mogu



Slika 4. Vrlo mali i blago asimetrični riplovi (kombinirani riplovi). Može se uočiti "dvostruka kresta" riplova.
Figure 4. Very small, slightly asymmetrical ripple-marks (combined ripples). Ripple's "double crest" is visible.



Slika 5. Pješčani vulkan. Pješčani dajkovi i vulkani ukazuju na seizmičku aktivnost dok sediment nije još bio litificiran.
Figure 5. Sand volcano. Sand dikes and volcanoes indicate seismic activity in the nonlithified sediments.

podijeliti u tri subfacijesa kao što su kalkareniti sa translacijskim riplovima (S5a), kalkareniti sa „*climbing*“ riplovima (S5b); kalkareniti sa „*pinch & swell*“, laminacijom; S6 – normalno graduirani masivni kalkareniti.

Sitnozrnati karbonatni klastiti (kalksiltiti i kalklutići) su tanko laminirani ili uslojeni (od nekoliko milimetara do 30 cm). Kalksiltiti su izgrađeni od karbonatnih zrna u glavnom veličine srednjeg i krupnog silita a sadrže i rijetka

zrna (manje od 10%) kvarca. Kalklutići su mikriti sa malim postotkom glina i rijetkim zrnima kalcita i kvarca veličine silta. Kalksiltiti se vide kao lamine debljine 0,2–1 cm ili izuzetno tanki slojevi debljine 1–3 cm unutar masivnih kalklutića debljine 5–30 cm. Imaju formu ravnih pruga ili tankih leća sa „*pinch*“ i „*swell*“ laminacijom koje predstavljaju izolirane („izgladnjene ili starved“) riplove valnog ili plimskog postanka. Lamine i tanki slojevi kalksiltita imaju blago



Slika 6. Eksplatacija je otvorila mnogobrojne gotovo idealne profile. U gornjem dijelu se jasno vidi relativno "debeli" sloj kalkarenita, oštре, erozivne baze i intraklasti kalklutita u njegovoj bazi. Donji dio je horizontalno laminiran a njegov središnji i gornji dio je "humčasto" laminiran. Vršni dio je izgrađen od valnih ili "kombiniranih" riplova nastalih slabljenjem oluje ili naknadnim prerađivanjem. Ispod debelog sloja se naziru tanki slojevi sa "climbing" riplovima, izoliranim (lećastim) riplovima, "pinch & swell" laminacijom itd.

Figure 6. Exploatation has opened numerous well suited profiles. In the upper part relatively thick calcarenite layer is visible, with sharp erosional base and calcilutite clasts in its base. The lower part shows horizontal lamination and the middle part shows hummocky lamination. The uppermost part is made from wave or "combined" ripple-marks developed by the weakening of storm or subsequent reworking. Under the thick bed, there are thin layers with "climbing ripples", isolated (lens-like) ripples, "pinch & swell" lamination etc.

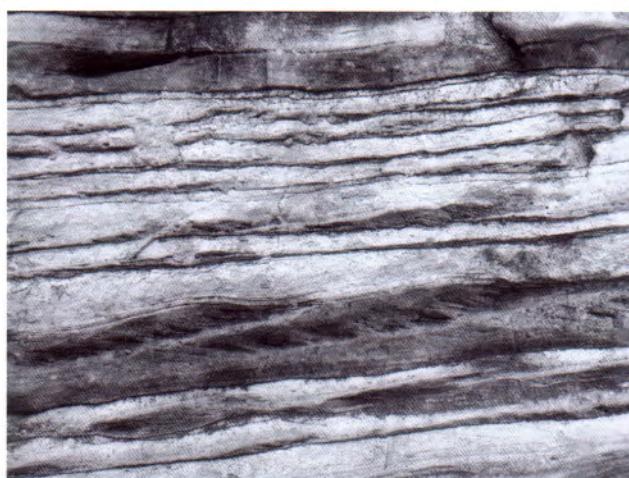
erozivnu bazu, normalno su graduirani te često prekinuti ili deformirani bušaćima.

Benkovački kamen je slijed naslaga taložen u prijeznoj zoni između obalnog lica i odobalja („offshore-transitional zone“) pod utjecajem običnih i povremenih olujnih valova. Upravo kalkareniti predstavljaju pješčane tempestite

dok kalksiltiti i lutiti pripadaju „background“ talozima nastalih za vrijeme mirnih ili običnih uvjeta. Kalkareniti su indikator „olujnih događaja“ različitih magnituda i načina disperzije pijeska u rasponu od oscilacijsko djelovanja valova do geoastroficih struja s time da se većini tempestita može pripisati kombinacija djelovanja navedenih faktora (MYROW & SOUTHARD, 1996).

Benkovački kamen se kontinuirano nastavlja na litostratigrafski član Debelo brdo koji predstavlja slijed naslaga taloženih u zoni odobalja („offshore zone“) a pokriven je naslagama pješčano-šljunčanog obalnog lica (listostratigrafski član Otavac). Benkovački kamen zajedno sa svojim podinskim i krovinskim naslagama predstavlja regresivnu sukcesiju unutar jednog „highstand tracta“ (MRINJEK et al., 2005).

Područje ove točke je locirano na brdu Mejanica, neposredno iznad sela Lisičić. Mejanica i streljana neposredno ispod brda su sada u vlasništvu Hrvatske vojske. Zbog "socijalnog mira" još uvijek se tolerira ilegalna eksplatacija kamena tako da brdo, kao i ostalom cijela zona "Benkovačkog kamen" nalikuje na "krtičnjak" (Sl. 8). Posljedica takve eksplatacije je velika količina jalovine, ali s druge strane bezbrojne "kave" su omogućile dobar uvid u slijed naslaga, tako da su neki od najinformativnijih i najljepših izdanaka nađeni ovdje. Upravo ovdje je bilo moguće opisati strukturne jedinice navedene na početku teksta o Benko-



Slika 7. Jasno vidljivi "climbing" riplovi, izolirani riplovi i "pinch & swell" laminacija.

Figure 7. Clearly visible "climbing-ripples", isolated ripples and "pinch & swell" lamination.



Slika 8. Primjer nestručne eksploracije s mnogo nepotrebne jalovine.

Figure 8. Example of non-competent exploitation with a lot of unnecessary waste-rock.

vačkom kamenu. Naročito je pogodno što je moguće promatrati slojne plohe na kojima se najbolje mogu proučavati ihnofosili kao i brojni mali riplovi, "hummocky" strukture, pješčani dajkovi i pješčani vulkani itd. (Sl. 4–Sl. 7). Ovdje se nije teško uvjeriti u taloženje na plitkom šelfu koji je očito bio pod utjecajem valova, povremeno i olujnih ali i vjerojatno pod utjecajem slabe plime i oseke što je za posljedicu imalo vrlo složenu dinamiku kretanja morske vode i kalcitnih čestica.

U Benkovačkom kamenu očuvana je iznimna zajednica ihnofosila u smislu svoje raznolikosti i učestalosti pojavljivanja. Ihnofosili su pronađeni u cijelom slijedu naslaga s manjom ili većom gustoćom pojavljivanja. Utvrđeno je preko 50 različitih oblika. Iako bogata formama, ova ihnozajednica nije rezultat velikog biološkog diverziteta koliko čestih promjena koje su prisiljavale organizme na prilagodbe u uvjek iznova novonastalim uvjetima.

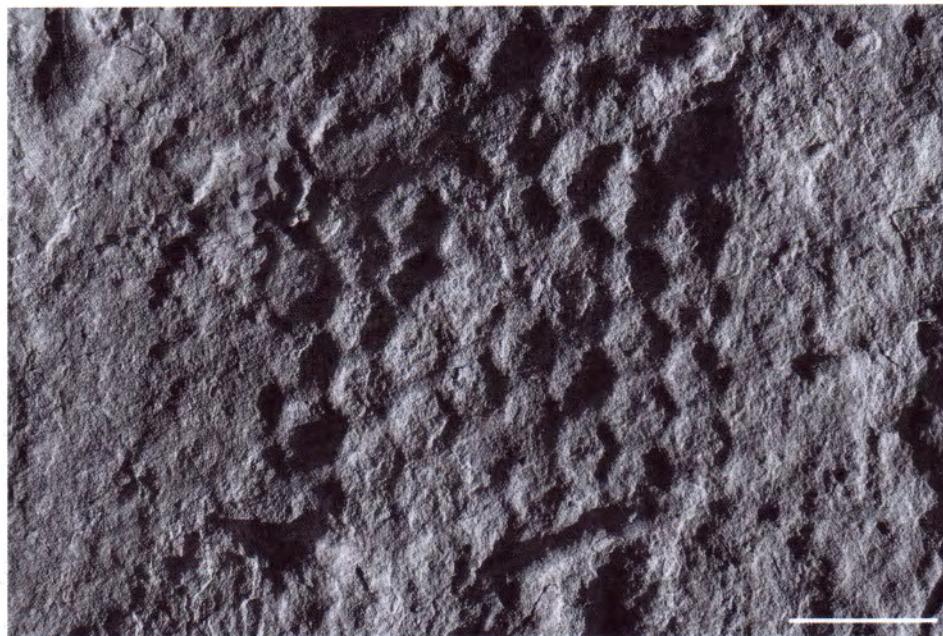
Ipak ono što je još zanimljivije je pojava dubokomorske *Nereites* ihno zajednice (*Palaeodictyon*, *Helminthoides*) (Sl. 11) u sedimentima plitkog šelfa gdje njeni predstavnicima dolaze zajedno sa predstavnicima *Cruziana* (*Chondrites*, *Planolites*, *Thalassanoides*) (Sl. 10) i *Skolithos* (*Ophiomorpha*) zajednice (Sl. 9). Objašnjenje ove pojave leži u tome da si tip podloge, hidraulički faktori, brzina taloženja, uzburkanost vode, količina kisika, salinitet, vrsta i količina nutrienta važniji u ekologiji ihnofaune od batimetrije i udaljenosti od obale. U konkretnom slučaju to znači da je prelazna šelfna zona pod čestim naletima oluja po uvjetima vrlo slična dubokomorskem, padinskom okolišu na kojem se talože „klasični“ turbiditi. Takvo objašnjene pogotovo ima smisla kada se zna da su najstarije, fliške naslage u podini



Slika 9. /Figure 9. *Ophiomorpha*.



Slika 10. /Figure 10. *Chondrites*.



Slika 11. /Figure 11. Paleodictyon.

Benkovačkog kamena pripadale „fliškom koritu“ i da je napredovanjem reversnih struktura došlo do vrlo brzog evo-luiranja tog dijela predgorskog (*foreland*) bazena u male djelomično izolirane taložne prostore (*piggyback* bazeni).

LITERATURA

- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1983): Paleogene clastic formations in northern Dalmatia.– In: BABIĆ, L.J. & JELASKA, V. (eds.): Contributions to Sedimentology of some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides.– Excursion Guidebook, International Association of Sedimentologists 4th Regional Meeting, 37–61, Split.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1988): Coarse-grained alluvium in the Paleogene of northern Dalmatia (Croatia, Yugoslavia).– Rad JAZU, 441/23, 139–164, Zagreb.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1990): Progradacijski sljedovi u paleogenskom klastičnom bazenu Vanjskih Dinara, od sjeverne Dalmacije do zapadne Hercegovine.– Rad JAZU, 449/24, 319–343, Zagreb.
- DECELLES, P.G. & GILES, K.A. (1996): Foreland Basin System.– Bas. Research, 8, 105–123.
- IVANOVIĆ, A., SAKAČ, K., MARKOVIĆ, S., SOKAČ, B., ŠUŠNJA, M., NIKLER, L. & ŠUŠNJARA, A. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. List Obrovac L33-140.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, Beograd.
- IVANOVIĆ, A., SAKAČ, K., SOKAČ, B., VRSALOVIĆ-CAREVIĆ, I. & ZUPANIĆ, J. (1976): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tumač za list Obrovac L33-140.– Institut za geološka istraživanja Zagreb (1967), Savezni geološki zavod, Beograd, 61 str.
- MIKES, T., BALDI-BEKE, M., KAZMER, M., DUNKL, I. & EYNATTEN, H. VON (2008): Calcareous nannofossil age constraints on Miocene flysch sedimentation in the Outer Dinarides (Slovenia, Croatia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro).– Geological Society, London, Special Publications, 298/1, 335–363.
- MRINJEK, E. (1993a): Conglomerate fabric and paleocurrent measurement in the braided fluvial system of the Promina Beds in northern Dalmatia (Croatia).– Geol. Croat., 46/1, 125–136.
- MRINJEK, E. (1993b): Sedimentology and depositional setting of alluvial Promina Beds in northern Dalmatia, Croatia.– Geol. Croat., 46/2, 243–261.
- MRINJEK, E. (2008): Promina Beds in Canyon of Krka River and Bribirske Mostine.– Excursion 3A, Split – Rab, Field Guide, 5th International ProGEO Symposium, Rab Island, Croatia, 37–77.
- MRINJEK, E., PENCINGER, V., SREMAC, J. & LUKŠIĆ, B. (2005): The Benkovac Stone Member of the Promina Formation: A Late Eocene succession of Storm-Dominated Shelf Deposits. Croatia.– Geol. Croat., 58/2, 163–184.
- MRINJEK, E., PENCINGER, V. & SREMAC, J. (2007): The stacked shallow coarse-grained mouth-bar – type deltas in Promina Formation: A Late Eocene prograding succession in Bribir area, Northern Dalmatia, Croatia.– Abstracts, 25th IAŚ meeting, Patras, Greece.
- MRINJEK, E. & PENCINGER, V. (2008): The Benkovac Stone – a building stone from the Promina Beds: A Late Eocene heterolithic succession of storm-dominated shelf deposits with highly diverse trace fossils.– Excursion 3B, Split – Rab, Field Guide, 5th International ProGEO Symposium, Rab Island, Croatia, 105–125.
- MRINJEK, E., PENCINGER, V., MATIČEC, D., MIKŠA, G., BERGANT, S., VELIĆ, I., VELIĆ, J., PRTOLJAN, B. & VLAVOVIĆ, I. (2010): Carbonate Olistoliths and Megabeds within Middle to Upper Eocene Promina Deposits: A Sedimentary Response to Thrusting and Fold Growth an the Dinaric Foreland Basin.– In: HORVAT, M. (ed.): 4th Croatian Geological Congress – Šibenik 2010, Abstracts Book.
- MUTTI, E., BERNOULLI, D., RICCI LUCCHI, F. & TINTERRI, R. (2009): Turbidities and turbidity currents from Alpine “flysch” to the exploration of continental margins.– Sedimentology, 56, 267–318.
- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. (1996): Tempestite deposition.– Jour. Sed. Res., 66, 875–887.
- ORI, G.G. & FRIEND, P.G. (1984): Sedimentary basins, formed and carried piggyback on active thrust sheets.– Geology, 12, 475–478.
- PENCINGER, V. (2010, u izradi): Sedimentološke i stratigrafske značajke Prominskih naslaga sjeverozapadne Dalmacije.– Disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu.

Ekskurzija B1 – Geologija kornatskog otočja
Excursion B1 – Geology of Kornati archipelago

Tvrtko Korbar, Maša Surić, Ladislav Fuček, Vladislav Mihelčić, Vladimir Veseli & Katica Drobne

Ekskurzija B1' – Geologija estuarija rijeke Krke
Excursion B1' – Geology of Krka River estuary

Neven Cukrov, Maša Surić, Ladislav Fuček, Vlasta Čosović, Tvrtko Korbar & Mladen Juračić

Geologija kornatskog otočja

Geology of Kornati archipelago

Tvrtko Korbar¹, Maša Surić², Ladislav Fuček¹, Vladislav Mihelčić³, Vladimir Veseli⁴ & Katica Drobne⁵

¹Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(tvrtko.korbar@hgi-cgs.hr; ladislav.fucek@hgi-cgs.hr)

²Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Tuđmanova 24 i, 23 000 Zadar, Hrvatska
(msuric@unizd.hr)

³NP Kornati, Butina 2, 22 243 Murter, Hrvatska
(vladislav.mihelcic@kornati.hr)

⁴INA industrija naftne d.d., Lovinčićeva bb, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(vladimir.veseli@ina.hr)

⁵Ivan Rakovec Institute of Palaeontology, ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia
(katrica@zrc-sazu.si)

Islands and mainland in wider Šibenik region (northern Dalmatia, Croatia) are predominantly composed of deformed Upper Cretaceous to Eocene pre-orogenic carbonates, detached from the uppermost crust of central Adriatic microplate (Adriatic-Dinaridic carbonate platform) during Dinaridic (Alpine) orogenesis. Syn-orogenic Flysch conformably, and Promina deposits unconformably overlay the carbonates, while thin Quaternary deposits in places cover all the older formations (Fig. 1). Upper Cretaceous to Paleogene successions of carbonates from the region, and the succession from the offshore borehole Kate-1, are supposed to belong to the different tectonostratigraphical units (Fig. 2). However, orogenic evolution and tectonic structure of the region are still a matter of debates.

Stop 1. (from boat): The overturned syncline of Škulj Islet is a typical SW verging Dinaridic structure.

Stop 2. (from boat): Exposure off fault-erosional scarp, selective erosion, and pelagosome crusts on southern Lavsa Island.

Stop 3. (from boat): Upper Cretaceous to Paleogene carbonate succession of eastern Lavsa Island.

Stop 4. Unconformity between Upper Santonian/Lower Campanian and Lower Eocene carbonates on Ravní Žakan Island – correlation with Kate-1 borehole.

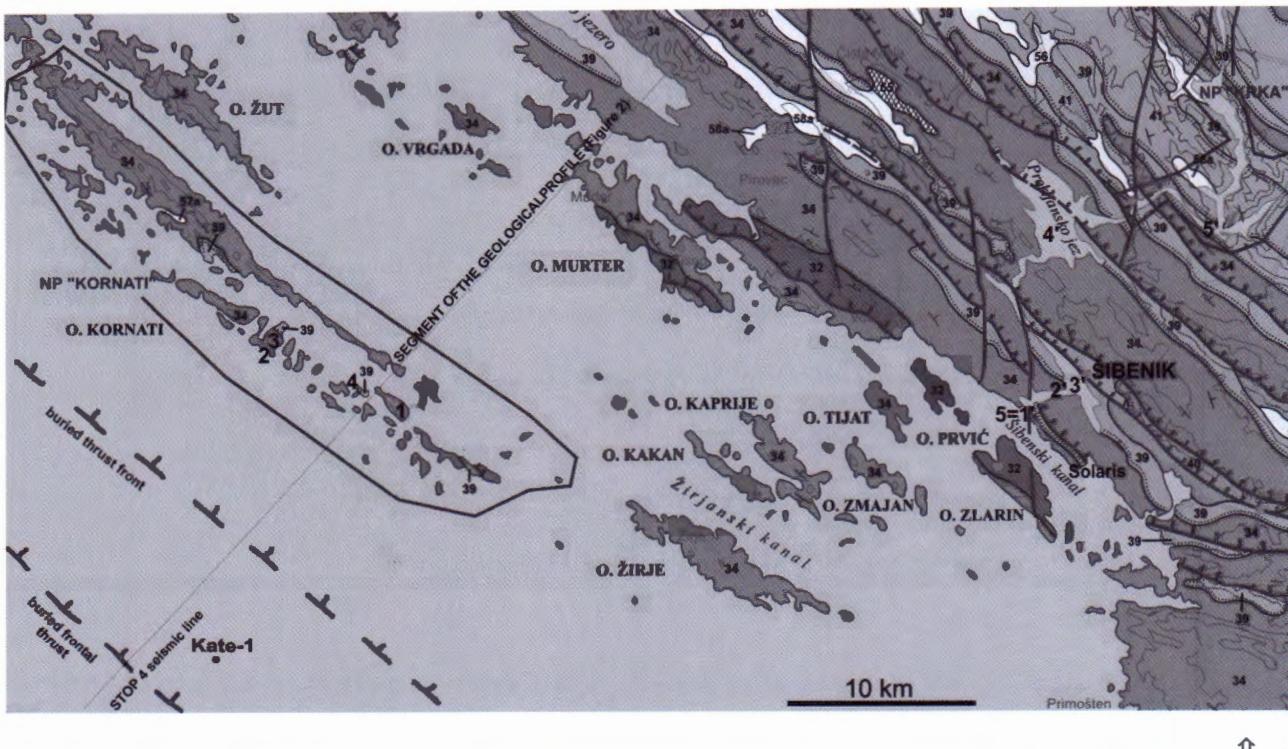
Stop 5. (from boat)=Stop 1' of field trip B1' (CUKROV et al., 2010): Submerged canyon of palaeo-Krka River.

Geološki pregled šireg područja Šibenika

Ooci Šibenskog i Kornatskog arhipelaga, kao i šire šibensko kopneno područje (sjeverna Dalmacija), izgrađeni su od deformiranih naslaga najgornje kore, istaloženih na srednjem dijelu Jadranske mikroploče (CHANNELL et al., 1979). Većim dijelom to su predorogenetski karbonati Jadranse (TARI, 2002; VLAHOVIĆ et al., 2005) odnosno Jadransko-dinaridske karbonatne platforme (PAMIĆ et al., 1998; KORBAR, 2009) te krovinski sinorogenetski karbonati i klastiti (MAMUŽIĆ, 1971; MAMUŽIĆ & NEDELADEVIDE, 1968; GKRH 2009; Slika 1).

Na promatranom području nalaze se uglavnom naslage plitkovodnih karbonata gornje krede (cenoman do donji kampan), koji su detaljnije opisani na južnom dijelu Dugog otoka (FUČEK et al., 1990), a na kojima su, nakon dugotrajne emerzijske faze, taložene eocenske (kviz-lutet) karbonatne naslage formacije Foraminiferski vapnenci (DROBNE et al., 1991). Stratigrafska praznina obuhvaća oko 30 milijuna godina. Mjestimice se, kao posljedica preplavljanja neravnog krednog paleoreljefa, u početku eocenskog

slijeda nalaze do nekoliko metara debeli, tamni, brakični vapnenci Kozinskog facijesa s puževima (*Stomatopsis* sp.), sitnim miliolidama i ostrakodima (ŠPARICA et al., 2000), koji su često, bez obzira na znatne stratigradske razlike, označavani kao Liburnijska formacija (vidi diskusiju u KORBAR, 2009). Slijede tipični foraminiferski vapnenci, na kojima konformno leže prijelazne, a na njima i flišne naslage (uglavnom lapor). Fliš se danas nalazi uglavnom u fronti reversnih rasjeda (GKRH 2009, Slika 1). Slijed eocenskih naslaga ukazuje na formiranje i produbljivanje karbonatne rampe (ĆOSOVIĆ et al., 2004), koja se može interpretirati kao najdistalniji rub migrirajućeg predgor-skog bazena (LAWRENCE et al., 1995; KORBAR, 2009). U sjevernom dijelu promatranog područja na foraminifer-skim vapnencima nekonformno slijede naslage formacije Promina (vidi ekskurziju B3, BABIĆ & ZUPANIĆ, 2010). Na temelju stratigrafskih značajki, pojedini autori promatranu kopneno i otočno područje pripisuju tektonostrati-grafskoj jedinici Vanjskog (CHOROWICZ, 1975) ili Visokog krša (KORBAR, 2009).



Slika 1. Geološka karta (modificirani isječak GKRH, 2009) s prikazanim točkama ekskurzije (B1=1-5, B1'=1'-5') i pregledni geološki stup gornje krede i paleogena šireg kopnenog i otočnog područja Šibenika, koreliran sa segmentom stupa iz bušotine Kate-1. Glavne stratigrafske jedinice na karti: 32 – SIS dolomiti (alb-cenoman), 34 – karbonatne formacije gornje krede (vidi stup, cenoman-donji kampan), 39 – Foraminiferski vapnenci (donji-srednji eocen), 40 – Fliš formacija (srednji-gornji eocen), 41 – Promina formacija (gornji eocen-oligocen), 56, 57a, 58a, 65 – kvarterne naslage.

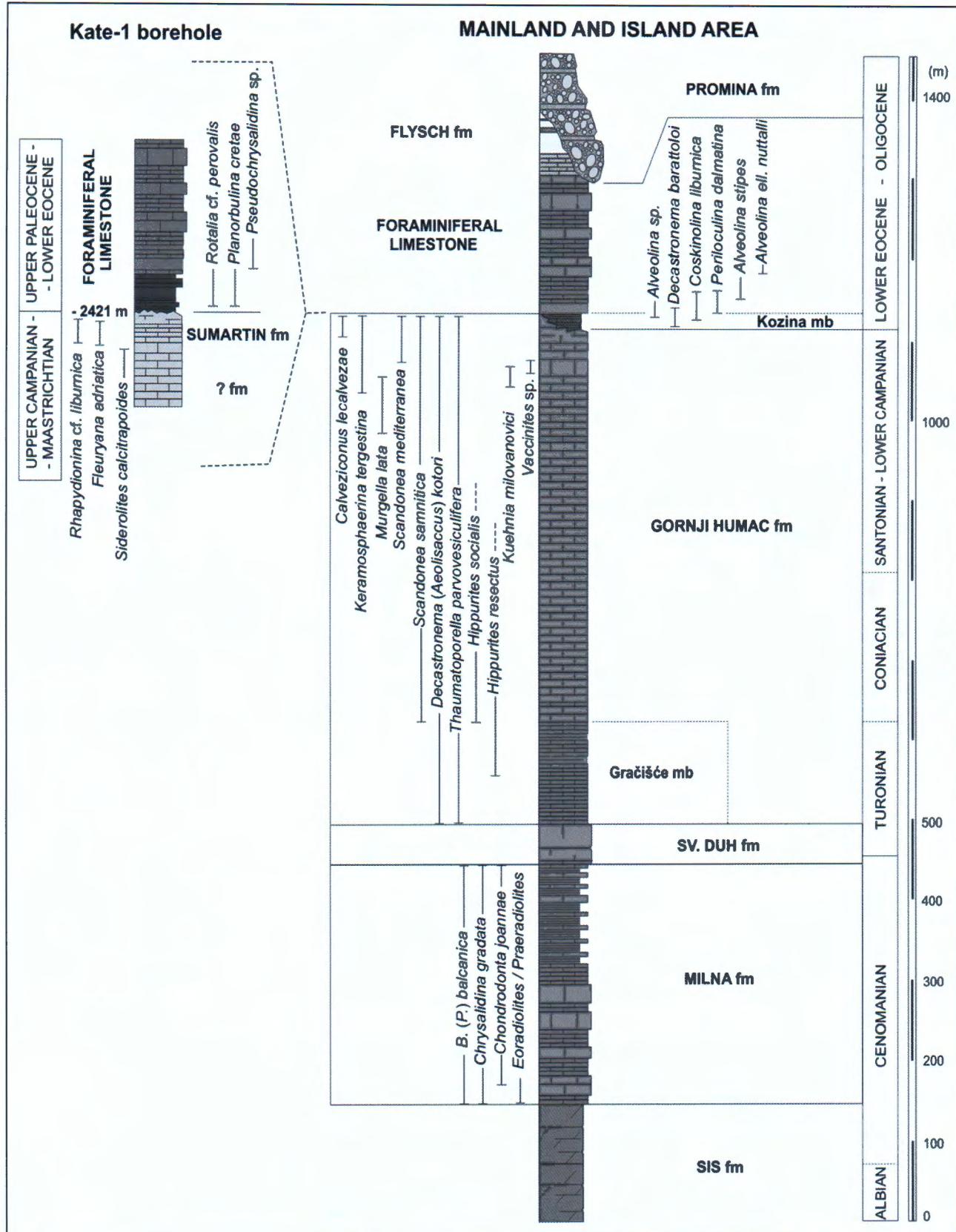
Figure 1. Geological map (modified from GKRH, 2009) showing field trip stops (B1=1-4, B1'=1'-5'), and schematic geological column of Upper Cretaceous and Paleogene of wider island and mainland Šibenik region, correlated to a segment of the column in Kate-1 borehole. Main stratigraphical units on the map: 32 – SIS dolomites (Albian-Cenomanian), 34 – Upper Cretaceous carbonate formations (see column, Cenomanian-Lower Campanian), 39 – Foraminiferal limestones (Lower-Middle Eocene), 40 – Flysch fm. (Middle-Upper Eocene), 41 – Promina fm. (Upper Eocene-Oligocene), 56, 57a, 58a, 65 – Quaternary deposits.

Razvoj karbonata krede i paleogena u podmorskom dijelu promatranog područja (područje bušotine Kate-1), gdje se u stratigraskom kontaktu nalaze plitkovodni karbonati mlađi i paleocena (TARI-KOVAČIĆ et al., 1998; GRANDIĆ et al., 2002), razlikuje se od razvoja na kopnenom i otočnom dijelu, a sličan je razvoju na otoku Braču i drugim srednjodalmatinskim otocima (GUŠIĆ & JELASKA, 1990; KORBAR, 2009). Na temelju tih razlika, naslage u području bušotine Kate-1 neki autori pripisuju zasebnoj tektonostratigrafskoj jedinici – Dalmatinskoj zoni (CHOROWICZ, 1975), odnosno Dalmatinskom kršu – para-autohtonom dijelu jadranskog segmenta karbonatne platforme (KORBAR, 2009; Slika 2).

Na temelju interpretacije seizmičkih profila (PRELOGOVIĆ et al., 1995; GRANDIĆ et al., 2002) i tektonostratigrafske analize (KORBAR, 2009), pretpostavlja se da je jedinica Visokog krša od jedinice Dalmatinskog krša u promatranom području odijeljena navlakom, čija je fronta prekrivena mlađim sedimentima, a nalazi se 10-ak km JZ od južnog kornatskog otočja (Slike 1 i 2). Premda u širem području nema dovoljno dubokih istražnih bušotina, jedinica Visokog krša je na temelju gore navedenih podataka interpretirana

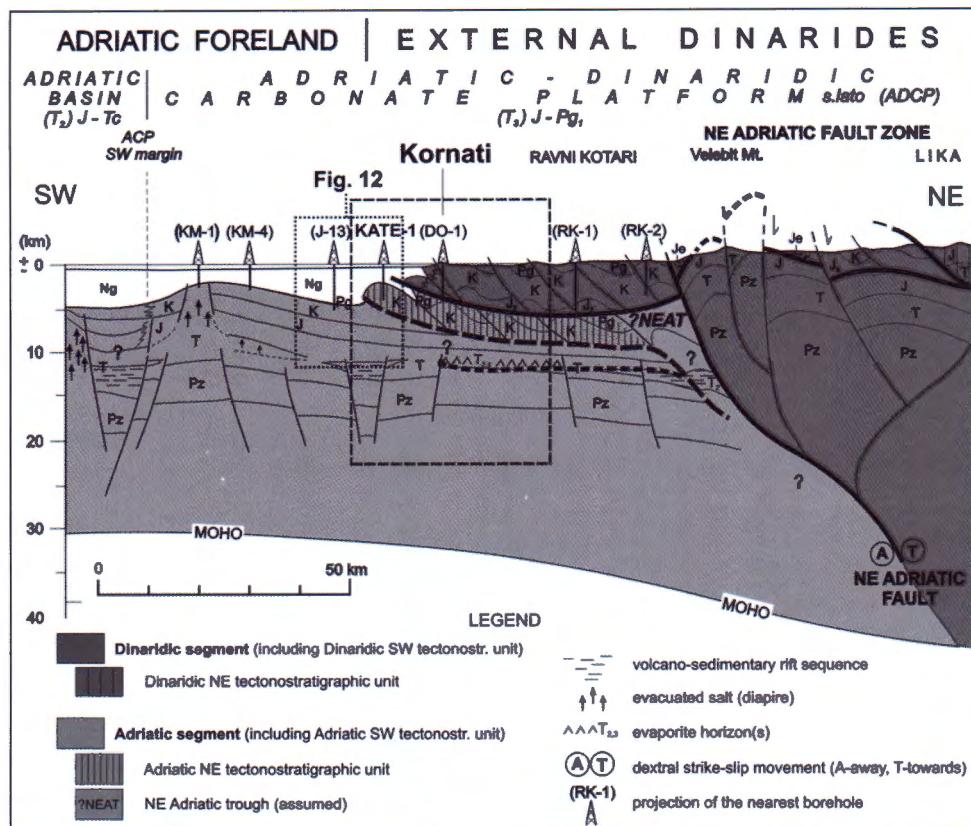
kao alohtonii dio dinaridskog segmenta karbonatne platforme, koji je navučen preko SI dijela jadranskog segmenta (Dalmatinskog krša) tijekom glavne faze dinaridskih deformacija (KORBAR, 2009; Slika 2). Tome u prilog ide i značajno tektonsko zadebljanje naslaga, interpretirano na temelju analize seizmičkih profila (LAWRENCE et al., 1995). Reversni rasjedi i bore jugozapadnih vergencija formirani su uslijed izražene horizontalno-tangencijalne komponente stresa, vjerojatno u prvoj fazi orogeneze na području Vanjskih Dinarida (KORBAR, 2009). Frontalni rasjed/navlaka Vanjskih Dinarida nalazi se 20-ak km JZ od južnog kornatskog otočja (Slike 1 i 2). Južno od dinaridske fronte nalazi se Jadransko predgorje, kojeg čine mlađim naslagama prekriveni dijelovi karbonatne platforme koji nisu bili zahvaćeni dinaridskim deformacijama. Taj dio podmorja, prema već spomenutom modelu, odgovara tektonostratigrafskoj jedinici Istarskog krša (KORBAR, 2009).

Drugi tektonski model čitavo promatrano područje pripisuje deformiranim dijelom Jadranske karbonatne platforme, odnosno Dalmatinskoj zoni (LAWRENCE et al., 1995) ili imbriciranoj Jadranskoj karbonatnoj platformi (TARI, 2002). Prema tom modelu, Jadranska platforma ne pripada Van-



skim Dinaridima, već je samo imbricirana u njihovoј fronti, a njezini SI dijelovi su zajedno sa SZ produžetkom Budva-Cukali bazena podvučeni pod deformirane naslage Dinaridske karbonatne platforme i njezine podloge (TARI, 2002).

Više o geologiji kvartara (okršavanju, sedimentaciji, promjenama razine mora, nalazi se u vodiču ekskurzije B1' (CUKROV et al., 2010, ova knjiga str. 143).



Slika 2. Kompozicijski geološki profil kroz Vanjske Dinaride i Jadransko predgorje na području sjeverne Dalmacije, njenog zaleđa i podmorja. Veći okvir označen isprekidanom linijom označava područje ekskurzije B (modificirano prema KORBAR, 2009). Manji okvir (točkasta linija) označava područje koje pokriva interpretirani seizmički profil (Slika 10).

Figure 2. Composite geological profile across the External Dinarides and the Adriatic foreland in northern Dalmatia, its hinterland and offshore (modified after KORBAR, 2009). Dashed-line frame delimits the area of the field trips B. Dotted-line frame delimits the area of seismic profile image on Fig. 10.

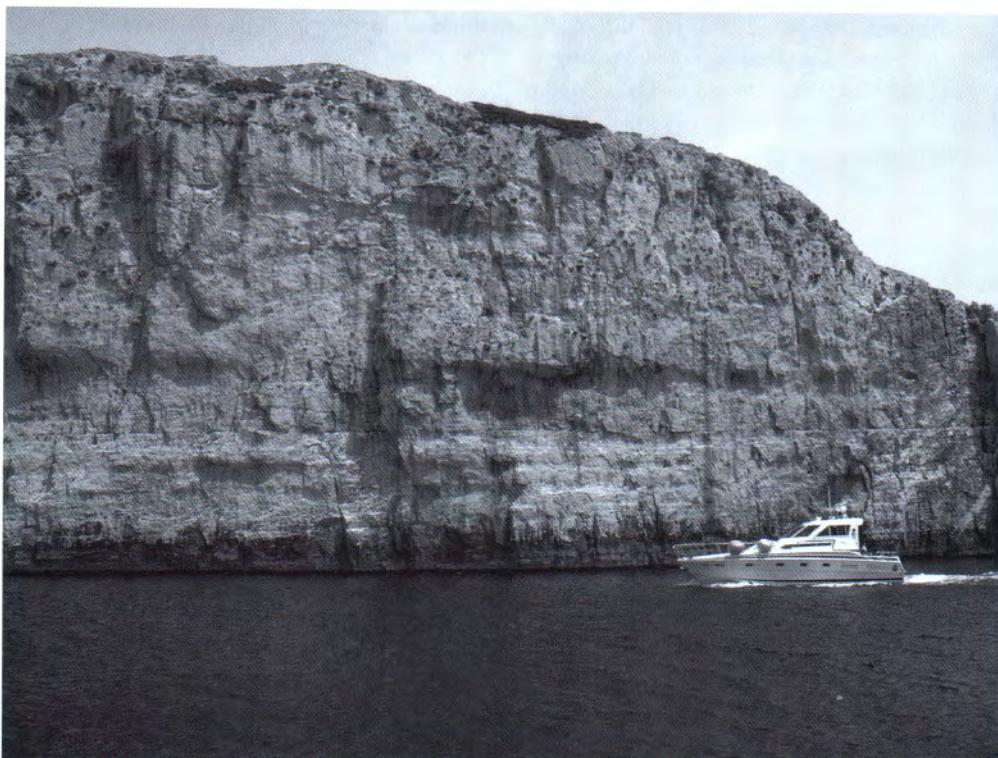
Točka 1 – Stop 1 Otok Škulj – Škulj Islet

Prebačena sinklinala južne vergencije (Slika 3) na otoku Škulju, ili Škuju po *kurnatarski*, karakteristična je dinaridska struktura koja svjedoči o izraženoj horizontalno-tangencijalnoj komponenti stresa tijekom prve faze orogeneze na tom području. U SZ produžetku ove prebačene sinklinale

nalazimo zonu intenzivno boranih pa i prebačenih karbonatnih naslaga gornje krede, koje izdanjuju duž središnjeg dijela otoka Kornata (MAMUŽIĆ & NEDELA-DEVIDE, 1968), najvećeg otoka Kornatskog arhipelaga (Slika 1).



Slika 3. Pogled s istoka prema prebačenoj sinklinali JZ vergencije (otok Škulj).
Figure 3. Westward view to overturned SW verging syncline (Škulj Islet).



Slika 4. Selektivna erozija: A) na JZ strmcima Borovnika, koja nalikuje izdignutoj plimskoj potkapini i B) na JI rtu otoka Lavsa s crnim pelagozitnim korama.

Figure 4. Differential weathering: A) on SW escarpment of Borovnik Islet, resembling uplifted tidal notch, and B) on the SE cape of Lavsa Island with black pelagozitic crusts.

Točka 2 – Stop 2

Južna obala otoka Lavsa – Southern cost of Lavsa Island

Geneza južnih obala otoka Lavse, kao i većine otoka vanjskog kornatskog niza te JZ obale Dugog otoka, vezana je uz rasjedno-erozijske procese koji su oblikovali strmce. Na njima se selektivnom erozijom često oblikuju geomorfološke forme koje na izdancima subhorizontalnih slojeva mogu nalikovati na plimske potkapine (kao što je slučaj na otočiću Borovniku, Slika 4A iz SURIĆ, 2009). Međutim, na izdancima koso položenih slojeva cenomana na strmcima JI rta otoka Lavse (Slika 4B), jasno se vidi da su takve konkavne forme (u ovom slučaju povinute) posljedica selektivne erozije, a ne djelovanja mora i morskih organizama u po-

dručju intertajdalu. Zbog toga je pri istraživanju takvih geomorfoloških pojava potreban oprez, jer se slične pojave mogu pogrešno interpretirati kao indikatori nekadašnje morske razine. U litoralnom dijelu strmaca, pa sve do visine od oko 15 m, na stijenama se nalaze subrecentne enkrustacije crnog pelagozita, čija je geneza vezana uz obilje morskog aerosola, kojeg proizvode južni vjetrovi i valovi, razbijajući se duž južnih otočkih strmaca. Aerosol doprinosi bujanju cijanobakterije *Xenococcus* koja obara aragonit s primjesama organske tvari (KORBAR et al., 2009). Na južnom, kopnenom završetku doline koja dijeli Lavsu na zapadni i istočni

dio, na OGK listu Biograd (MAMUŽIĆ & NEDELA-DEVIDE, 1968) prikazano je područje prekriveno sedrom, koja se spominje i u novijim publikacijama (Jelaska, 2004). Međutim, unatoč detaljnem pregledu tog dijela otoka nisu pronađeni niti izdanci, niti fragmenti sedre. Pa ipak, zanimljivo je

da su blokovi sedre u prošlosti korišteni za gradnju crkvice Gospe od Tarca na susjednom otoku Kornatu (JELASKA, 2004).

Točka 3 – Stop 3

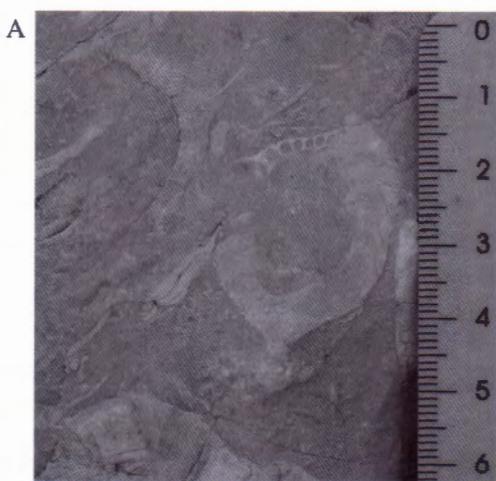
Istočna obala otoka Lavsa – Eastern coast of Lavsa Island

Slijed karbonatnih naslaga gornje krede (Slika 1) duž istočne obale otoka Lavse započinje dobro uslojenim peritajdalnim vapnencima i dolomitima formacije Milna (srednji-gornji cenoman). Na njima leže masivni svjetli rudistno-bioklastični floutstoni/radstoni te kalciferski vekstoni/pekstoni (gornji cenoman-donji turon), ekvivalentni formaciji

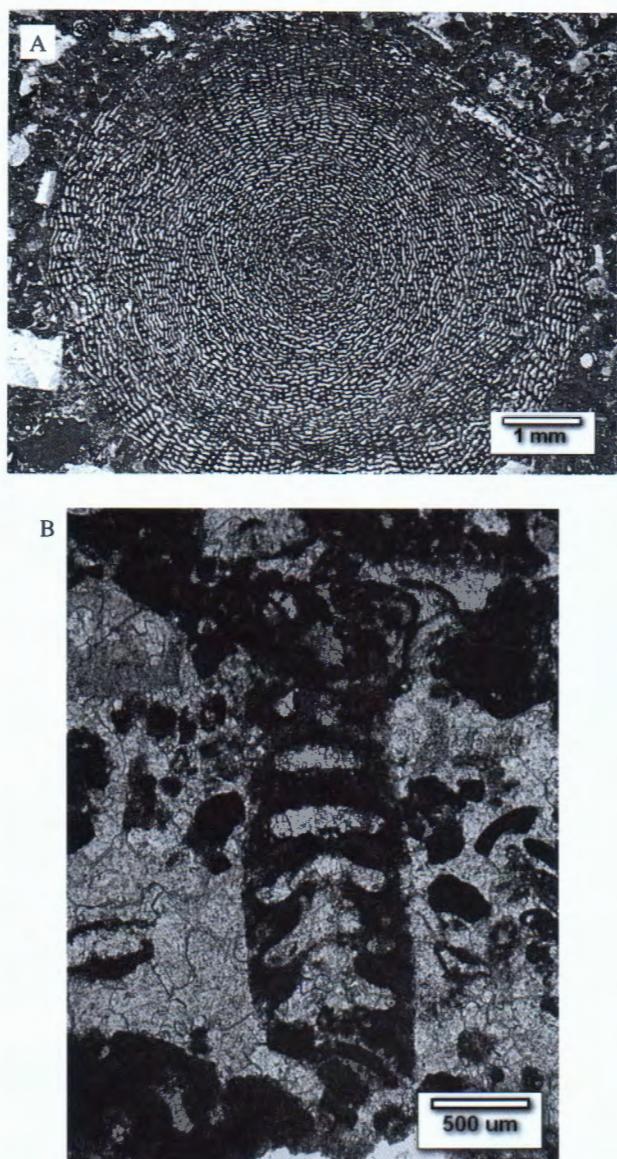
Sveti Duh. U njihovoj krovini nalazi se više stotina metara debeli paket dobro uslojenih naslaga formacije Gornji Humac. U središnjem dijelu potonje formacije slijed je prekinut reverznim rasjedom (Slika 5) koji onemogućava snimanje kompletног detaljnog stupa kroz naslage gornje krede i paleogenog.



Slika 5. Reversni rasjed na istočnoj obali otoka Lavsa, koji u središnjem dijelu prekida slijed naslaga formacije Gornji Humac.
Figure 5. Reverse fault at the eastern coast of Lavsa Island, disturbing succession of Gornji Humac formation in its middle part.



Slika 6. Rudisti gornjeg dijela formacije Gornji Humac na istočnoj obali otoka Lavsa: A) *Kuehnia milovanovici* i B) *Vaccinites* sp. Mjerilo u cm + mm.
Figure 6. Rudists from the upper part of Gornji Humac formation at eastern coast of Lavsa Island: A) *Kuehnia milovanovici*, and B) *Vaccinites* sp. Scale bar in cm + mm.

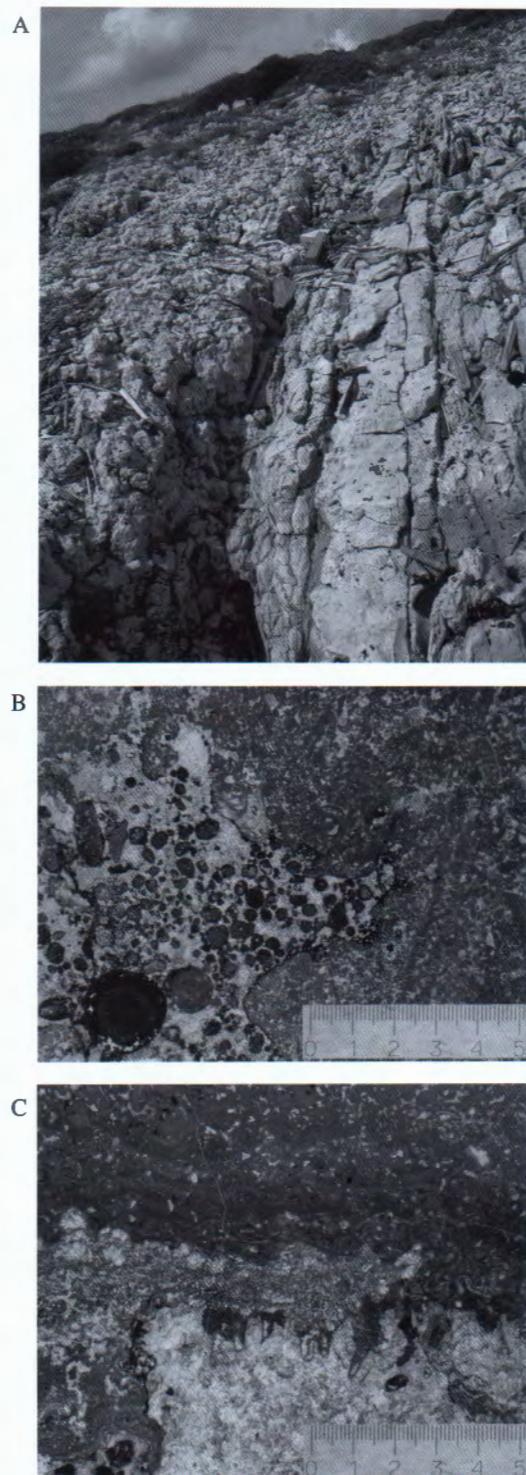


Slika 7. Mikrofotografije tipičnih bentičkih foraminifera gornjeg santona-donjeg kampana iz najmlađih naslaga formacije Gornji Humac na Slj obali otoka Lavsa (Kornati). A) *Keramosphaerina tergestina* i B) *Scandonea mediterranea*.

Figure 7. Microphotographs of typical benthic foraminifera from the uppermost deposits of Gornji Humac formation at eastern coast of Lavsa Island: A) *Keramosphaerina tergestina*, and B) *Scandonea mediterranea*.

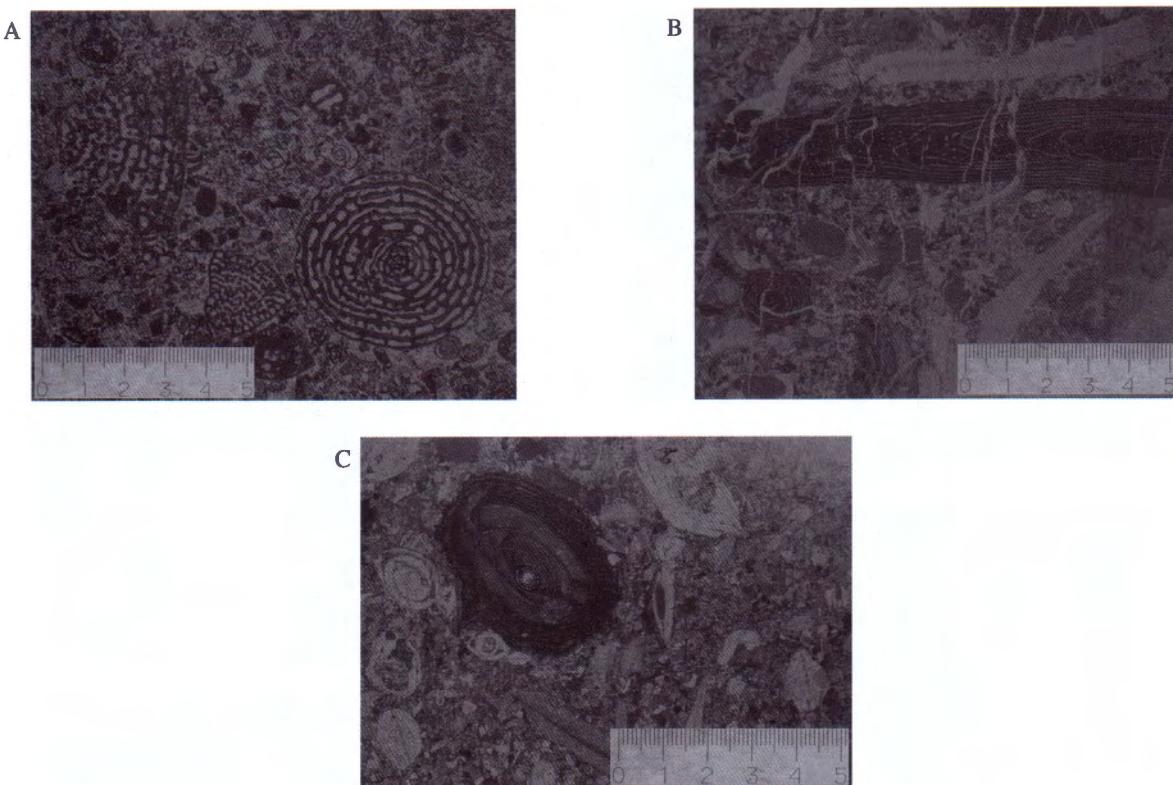
U gornjem dijelu formacije Gornji Humac nalazi se nekoliko desetaka metara debeli paket zrnastih bioklastičnih vapnenaca s facijesima otvorene platforme, na što upućuju brojni fragmenti ježinaca i raznovrsna rudistna zajednica s *Kuehnia milovanovici* (SLIŠKOVIĆ) (Slika 6A), *Vaccinites* sp. (Slika 6B) i dr.

U neposrednoj podini tog facijesa nalazi se santonska foraminferska zajednica s *Murgella lata* Luperto Sinni i *Keramosphaerina tergestina* Stache. U vrhu formacije Gornji Humac nalazi se foraminferska zajednica: *Dicyclina schlumbergeri* Munier-Chalmas, *Accordiella conica* Farinacci, *Keramosphaerina tergestina* Stache (Slika 7A), *Scandonea mediterranea* De Castro (Slika 7B) i *Calveziconus lecalvezae* Caus & Cornellà, koja ukazuje na gornji santon-donji kamp.



Slika 8. A) Nekonformni stratigrafski kontakt vertikalnih slojeva gornje krede (lijevo) i paleogena (desno) na Slj obali otoka Lavsa; B) Mikrofotografija paleokrške šupljine zapunjene pizolidnim grejntonom; C) Mikrofotografija samog kontakta paleookršenog kristaliničnog krednog vapnenca, *Microcodium* struktura i paleogenskih fenestralnih madstona s rijetkim cijanobakterijama *Decastronema* (ex. *Aeolisaccus*) *barattoloi*. Mjerilo u mm.

Figure 8. A) Unconformable contact of vertical beds of Upper Cretaceous (left) and Paleogene (right) carbonates at NE coast of Lavsa Island; B) Microphotograph of paleokarst pocket filled by pisolithic grainstones; C) Microphotograph of the contact of the Upper Cretaceous crystalline limestone, *Microcodium* structures and Paleogene fenestral mudstones containing cyanobacteria *Decastronema* (ex. *Aeolisaccus*) *barattoloi*. Scale bar in mm.



Slika 9. Mikrofotografije tipičnih velikih foraminifera iz foraminiferskih vapnenaca (eocen, SI obale otoka Lavse): A) *Coskinolina liburnica* (lijevo) i *Periloculina dalmatina* (desno) – srednji-gornji kviz (SBZ 11, 12); B) *Alveolina stipes*, *Discocyclina* sp., *Nummulites* sp. – donji lutet (SBZ-13) i C) *Alveolina elliptica nuttalli*, *Nummulites* sp. i dr. – srednji lutet (SBZ 14). Mjerilo u mm.

Figure 9. Microphotographs of typical larger foraminifera from Foraminiferal limestones (Eocene, NE cost of Lavsa Island): A) *Coskinolina liburnica* (left) and *Periloculina dalmatina* (right) – Middle-Upper Cuisian (SBZ 11, 12); B) *Alveolina stipes*, *Discocyclina* sp., *Nummulites* sp. – Lower Lutetian (SBZ-13) and C) *Alveolina elliptica nuttalli*, *Nummulites* sp. etc. – Middle Lutetian (SBZ 14). Scale bar in mm.

Vrh naslaga krede je paleookršen tijekom dugotrajne emerzijske faze, tijekom koje su mjestimice nakupljani decimetarski džepovi i leće lateritno-boksičnog materijala (Slika 8A). Paleookrške šupljine zapunjene su pizoidnim grejnostinima (Slika 8B), a u vrhu nalazimo i rizoidne strukture sa sitnim mikrokodijima (Slika 8C).

Na paleookršenim naslagama krede, nekonformno slijede paleogenski Foraminiferski vaspenci (Slika 8A), koji izgraduju čitav SI rt otoka Lavsa. Otkrivena debljina naslaga eocenskih foraminferskih vapnenaca je oko 165 m. U samom dnu slijeda, u mulnjim litotipovima vapnenaca, koji leže tik na strukturama mikrokodija (Slika 8C), nalaze se brojne cijanobakterije *Decastronema* (ex. *Aeolisaccus*) *barattoloi* (De Castro) (ĆOSOVIĆ et al., 2008).

Biostratigrafski je definirano sljedećih 70-ak m naslaga (Slike 1 i 9A-C). U prvim slojevima nalazimo skeletne

peksone s brojnim koskinolinama i velikim miliolidama srednjeg i gornjeg kvizija (SBZ-11, SBZ-12) (veliki primjeri *Coskinolina liburnica* Stache i *Periloculina dalmatina* Drobne). Nakon 10-ak m debljine nalaze se brojne alveoline (*Alveolina stipes* Hottinger i *Alveolina elliptica nuttalli* Davies), numuliti te ortofragminide donjem (SBZ-13), a naviše i srednjem luteciju (SBZ-14).

Iz navedenih podataka proizlazi da je na Lavsi stratigrafska praznina između naslaga krede i paleogenom približno jednaka kao i na širem otočnom i kopnenom dijelu promatrano područja, a odgovara vremenu od oko 30 milijuna godina. Budući da je iskrcavanje s velikog broda na Lavsi problematično, nešto manje atraktivni lateralni ekvivalent opisanih naslaga rudistnih vapnenaca gornje krede i foraminferskih vapnenaca paleogen, promatraćemo na susjednom otoku Ravni Žakan.

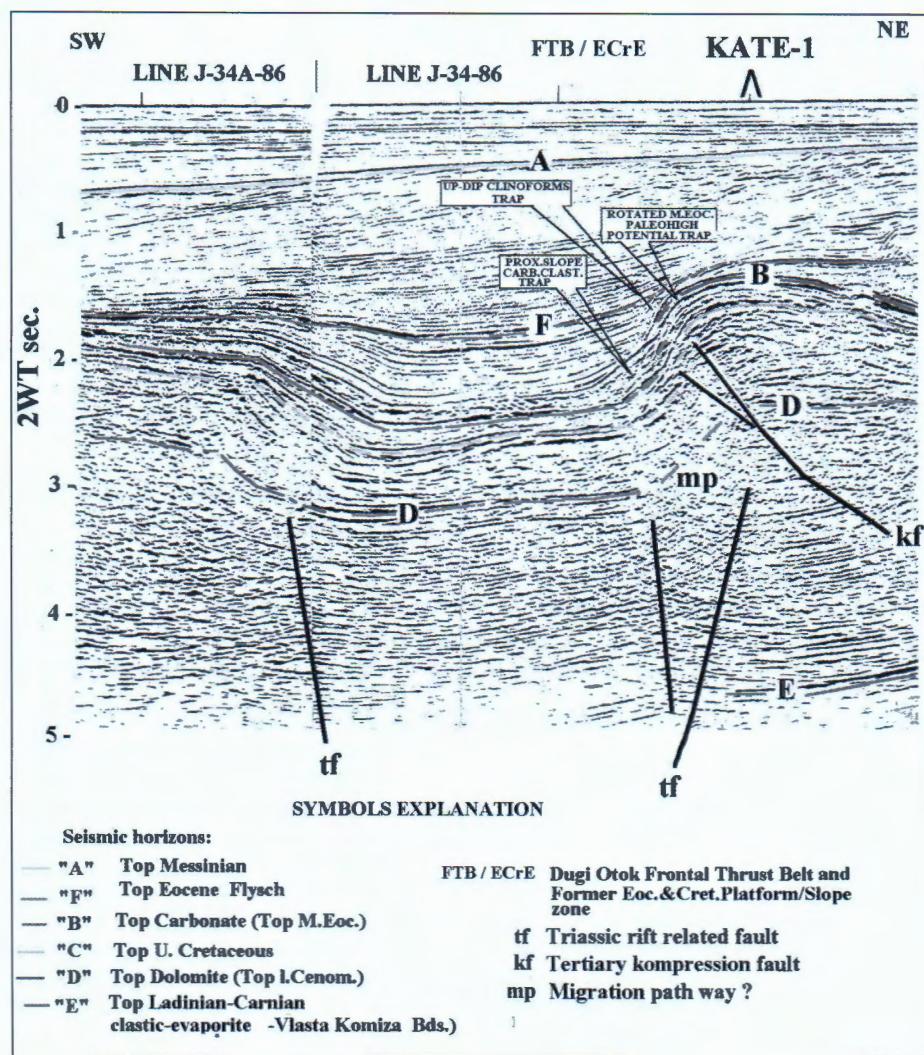
Točka 4 – Stop 4

Otok Ravni Žakan i bušotina Kate-1 – Ravni Žakan Island and Kate-1 borehole

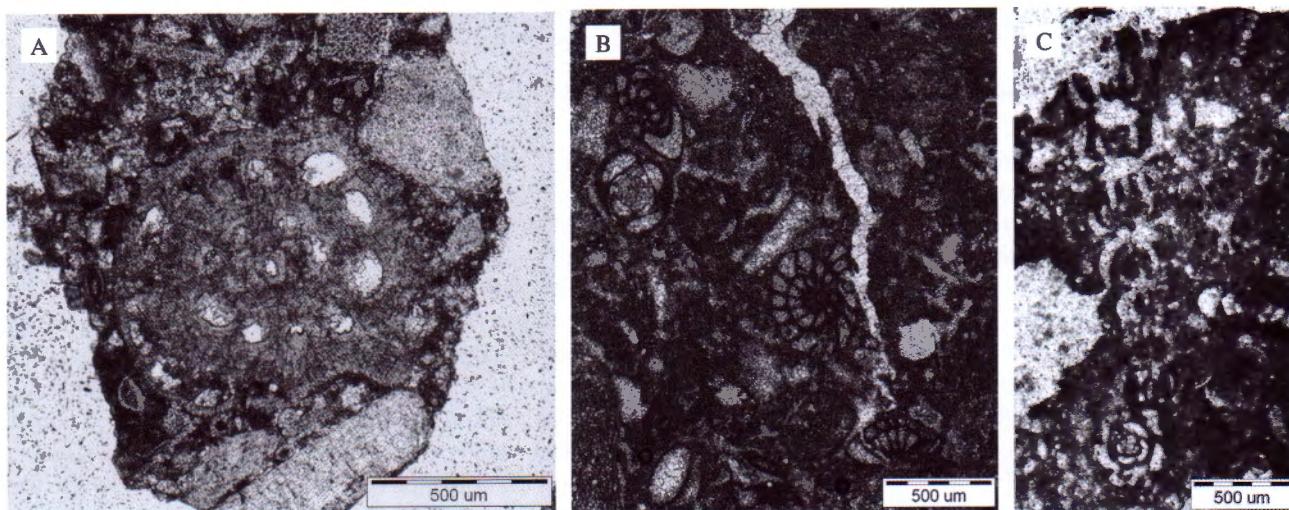
Razvoj naslaga vršne krede i donjeg paleocena kakav je nabušen u antiklinanoj strukturi smještenoj 15-ak km južnije od Ravnog Žakna, u samoj fronti vanjskih Dinarida (bušotina Kate-1; Slike 1, 2 i 10), razlikuje se od razvoja na čitavom promatranom otočnom i kopnenom području. U vrhu krede nalaze se naslage mastrihta na kojima, preko nekonformnog stratigrafskog kontakta, leže naslage gornjeg paleocena (Tari-Kovačić et al., 1998). To upućuje na produženu sedimentaciju tijekom mastrihta i raniju transgresiju tijekom gornjeg paleocena na tom području, za razliku od obalnog i otočnog područja koje je tijekom istog vremenskog intervala bilo u emerziji. Sličan razvoj naslaga nalazi se i na srednjodalmatinskim otocima (GUŠIĆ & JELASKA, 1990), koji su, isto kao i područje bušotine Kate-1, pripisani tektonostratigrafskoj jedinici Dalmatinskog krša (KORBAR, 2009).

U gornjem dijelu naslaga krede u bušotini Kate-1 (Slika 1), u isplaci je pronađena foraminifera *Siderolites calcitra-*

poides Lamarck (Slika 11A), koji upućuje na gornji kampan-mastricht. U samom vrhu naslaga krede (na dubini od oko 2420 m) pronađeni su facijesi zaštićene platforme formacije Sumartin, a pronađene su foraminifere *Fleuryana adriatica* DeCastro, DROBNE & GUŠIĆ (Slika 11B) i *Rhapydionina cf. liburnica* (Stache) (Slika 11C), koje su provodne za mastriht. Paleogenske naslage, koje leže neposredno iznad stratigrafskog kontakta s naslagama formacije Sumartin, razvijene su također u facijesu zaštićene platforme, a unutar njih su pronađene sitne foraminifere iz skupine *Discorbidae*, zatim *Orthophragmina* sp., *Rotalia* cf. *perovalis* (Terquem) i *Planorbulina cretae* (Marsson), koje se pojavljuju od gornjeg paleocena (tanet) (SAMUEL et al., 1972) te *Pseudochrysalidina* sp., koja dolazi najčešće u gornjem paleocenu (tanet) i u donjem eocenu (kviz). Naviše, nakon hijatusa u ilterdu, slijede tipični eocenski Foraminiferski vapnenci (TARIKOVAČIĆ et al., 1998; GRANDIĆ et al., 2002).



Slika 10. Seizmički profil kroz strukturu Kate-1 i frontalni dinaridski rasjed/navlaku (iz GRANDIĆ et al., 2002). Položajna skica na Slikama 1 i 2. Figure 10. Seismic section through Kate-1 structure and frontal Dinaridic thrust (from GRANDIĆ et al., 2002). Location scheme on Figure 1 and 2.



Slika 11. Mikrofotografije odabranih foraminifera mastrihtra iz bušotine Kate-1 (rasponi na Sl. 1): A) *Siderolites calcitrapoides*, B) *Fleuryana adriatica* i C) *Rhytidionina cf. liburnica*.

Figure 11. Microphotographs of selected Maastrichtian foraminifera from Kate-1 borehole (ranges on Fig. 1): A) *Siderolites calcitrapoides*, B) *Fleuryana adriatica*, and C) *Rhytidionina cf. liburnica*.

Točka 5 = Točka 1' Stop 5 = Stop 1'

Potopljeni kanjon paleo-Krke – Submerged canyon of paleo-Krka River

Povratak brodom s Kornata uz južni ulaz u kanal Sv. Ante – potopljeni kanjon paleo-Krke (vidi ekskurziju B1', CUKROV et al., 2010, ova knjiga str 143).

LITERATURA

- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. & LUŽAR-OBERITER, B. (2010): Evolution of a Dinaric foreland basin fill: flysch and molasse of North Dalmatia.– U: HORVAT, M. (ur.): 4. Hrvatski geološki kongres – Šibenik 2010, Vodič ekskurzija, 177–201.
- CHANNELL, J.E.T., D'ARGENIO, B. & HORVATH, F. (1979): Adria, the African promontory, in Mesozoic Mediterranean palaeogeography.– Earth-Science Reviews, 15, 213–292.
- CHOROWICZ, J. (1975): Le devenir de la zone de Budva vers le Nord-Ouest de la Yougoslavie.– Bull. Soc. Géol. France, 7/17, 699–709.
- CEKROV, N., SURIĆ, M., FUČEK, L., ČOSOVIĆ, V., KORBARIĆ, T. & JURAČIĆ, M. (2010): Geologija estuarija rijeke Krke.– U: HORVAT, M. (ur.): 4. Hrvatski geološki kongres – Šibenik 2010, Vodič ekskurzija, 143–148.
- ČOSOVIĆ, V., DROBNE, K. & MORO, A. (2004): Paleoenvironmental model for Eocene foraminiferal limestones of the Adriatic carbonate platform (Istrian Peninsula).– Facies, 50, 61–75.
- ČOSOVIĆ, V., DROBNE, K., OGORELEC, B., MORO, A., KOIĆ, M., ŠOŠTARKO, I., TARLAO, A. & TUNIS, G. (2008): *Decastronema (Aeolisaccus) barattoloi* (De Castro), characteristic fossil of the Palaeocene and the Eocene peritidal sediments from the Adriatic carbonate platform.– Geologia Croatica, 61/2–3, 321–332.
- DROBNE, K., VLAHOVIĆ, I., TRUTIN, M., PAVLOVEC, R., ČOSOVIĆ, V., BABAC, D., CIMERMAN, F., LUČIĆ, D. & PAVŠIĆ, J. (1991): Excursion B – Ravni Kotari, Paleogene.– In: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (eds.): Some aspects of the shallow water sedimentation on the Adriatic Carbonate Platform (Permian to Eocene), The second international symposium on the Adriatic carbonate platform, Excursion Guide-Book, 53–90.
- FUČEK, L., GUŠIĆ, I., JELASKA, V., KOROLJA, B. & OŠTRIĆ, N. (1990): Stratigrafija gomjakrednih naslaga jugoistočnog dijela Dugog otoka i njihova korelacija s istovremenim naslagama otoka Brača (Upper Cretaceous stratigraphy of the SE part of Dugi otok Island and its correlation with the corresponding deposits of the Brač Island, Adriatic carbonate platform).– Geol. vjesnik, 43, 23–33, Zagreb.
- GKRH (2009): Geološka karta Republike Hrvatske 1:300.000, Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- GRANDIĆ, S., VESELI, V. & KOLBAH, S. (2002): Hydrocarbon potential of Dugi otok basin in offshore Croatia.– Nafta, 53/6–7, 215–224.
- GUŠIĆ, I. & JELASKA, V. (1990): Stratigrafija gomjakrednih naslaga otoka Brača u okviru geodinamske evolucije Jadranske karbonatne platforme (Upper Cretaceous stratigraphy of the Island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform).– Djela Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 69, Institut za geološka istraživanja, OOUR za geologiju, 160 str., Zagreb.
- JELASKA, V. (2004): Kamene poruke iz paleogena.– Biseri Jadran, vol. 6 (Kornati), 50–60, Fabra d.o.o., Zagreb.
- KORBARIĆ, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates.– Earth Science Reviews, 96/4, 296–312, doi: 10.1016/j.earscirev.2009.07.004
- KORBARIĆ, T., MONTANARI, A., KOCH, G., MARIANI, S., DEPAOLI, D., TURCHYN, V.A., MIKNIĆ, M. & TARI, V. (2009): Geologic reconnaissance of the island of Velika Palagruža (central Adriatic, Croatia).– Geologia Croatica, 62/2, 75–94, doi: 10.4154/gc.2009.07154
- LAWRENCE, S.R., TARI-KOVAČIĆ, V. & GJUKIĆ, B. (1995): Geological evolution model of the Dinarides.– Nafta, 46/2, 103–113, Zagreb.

- MAMUŽIĆ, P. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ, list Šibenik, 1:100.000, L33-8 (Basic geological map of SFRY, Sheet Šibenik L33-8).– Instit. za geol. istraž., Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- MAMUŽIĆ, P. & NEDELA-DEVIDE, D. (1968): Osnovna geološka karta SFRJ (Basic geological map of SFRY): list (Sheet) Biograd, K 33-7, M 1:100.000.– Inst. geol. istraž. Zagreb, Sav. geol. zavod Beograd.
- PRELOGOVIĆ, E., ALJINOVIĆ, B. & BAHUN, S. (1995): New Data on Structural Relationships in the Northern Dalmatian Dinaride Area.– *Geologia Croatica*, 48/2, 167–176.
- SAMUEL, O., BORZA, K. & KÖHLER, E. (1972): Microfauna and Lithostratigraphy of the Paleogene and adjacent Cretaceous of the Middle Váh Valley (West Carpathian).– *Geologicky ústav Dioniza Štúra*, Bratislava, 246 p., 180 pls.
- SURIĆ, M. (2009): Reconstructing sea-level changes on the Eastern Adriatic Sea (Croatia) – an overview.– *Geoadria*, 14/2, 181–199.
- ŠPARICA, M., BERGANT, S., HAJEK-TADESSE, V. & FUČEK, L. (2000): Geologija područja Morinskog zaljeva (srednja Dalmacija, Hrvatska), (Geology of Morinje Bay Area (Middle Dalmatia, Croatia)).– In: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (eds.): 2. Hrvatski Geološki Kongres (Second Croatian Geological Congress), Cavtat – Dubrovnik 2000, Zbornik radova (Proceedings), 412–427.
- TARI, V. (2002): Evolution of the northern and western Dinarides: a tectonostratigraphic approach.– European Geosciences Union, Stephan Mueller Special Publication Series, 1, 223–236.
- TARI-KOVAČIĆ, V., KALAC, K., LUČIĆ, D. & BENIĆ, J. (1998): Stratigraphic analysis of Paleogene beds in some off-shore wells (Central Adriatic Area, Croatia).– In: HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (eds.): Paleogene shallow benthos of the Tethys, Dela, Slovenska akademija znanosti in umetnosti (SAZU), Znanstveno-raziskovalni center SAZU, Ljubljana, 34/2, 203–242.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics.– *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 220/3–4, 333–360.

Geologija estuarija rijeke Krke

Geology of Krka River estuary

Neven Cukrov¹, Maša Surić², Ladislav Fuček³, Vlasta Čosović⁴, Tvrko Korbar³ & Mladen Juračić⁴

¹Institut Ruđer Bošković, Zavod za istražvanje mora i okoliša, Bijenička 54, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ncukrov@irb.hr)

²Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Tuđmanova 24 i, 23 000 Zadar, Hrvatska
(msuric@unizd.hr)

³Hrvatski geološki institut, Zavod za geologiju, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ladislav.fucek@hgi-cgs.hr; tvrko.korbar@hgi-cgs.hr)

⁴Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(vcosovic@geol.pmf.hr; mjuracic@geol.pmf.hr)

The Krka River estuary has a total length of 22 km and was formed during the Late Pleistocene – Holocene transgression. Input of terrigenous clastic material into the Krka River estuary is small, with the main input of the particulate material via small Guduča River. The length of freshwater part of Krka River is 50 km and the hydrological situation of the catchment is very complex and not yet fully explained. Tufa precipitates on the entire course of the river, forming several up to 50 m high barriers and cascades and stretching over several 100 m in length. Due to, the biological and geological characteristics of the region, and the picturesque scenery of tufa cascades, lower part of the freshwater river region is protected as a National park.

Stop 1'. (from boat) Krka River estuary, palaeo-canyon, and submerged tufa barriers (location map on Fig. 1 offield trip B1 – KORBAR et al., this book p. 131).

Stop 2'. Upper Cretaceous peritidal carbonates of Gornji Humac formation along Su Ante Channel, and the unconformable contact with Paleogene (Lower Eocene) shallow-water carbonates at Martinska locality.

Stop 3'. (from boat): Recent deposition in Šibenik Bay and influence of the town of Šibenik and its industry.

Stop 4'. (from boat): Prokljan and deposition under influence of Krka and Guduča rivers. Transit to boats of NP Krka in Skradin and cruise to Skradinski Buk waterfalls.

Stop 5'. Tufa barriers and a tale about Krka River incision.

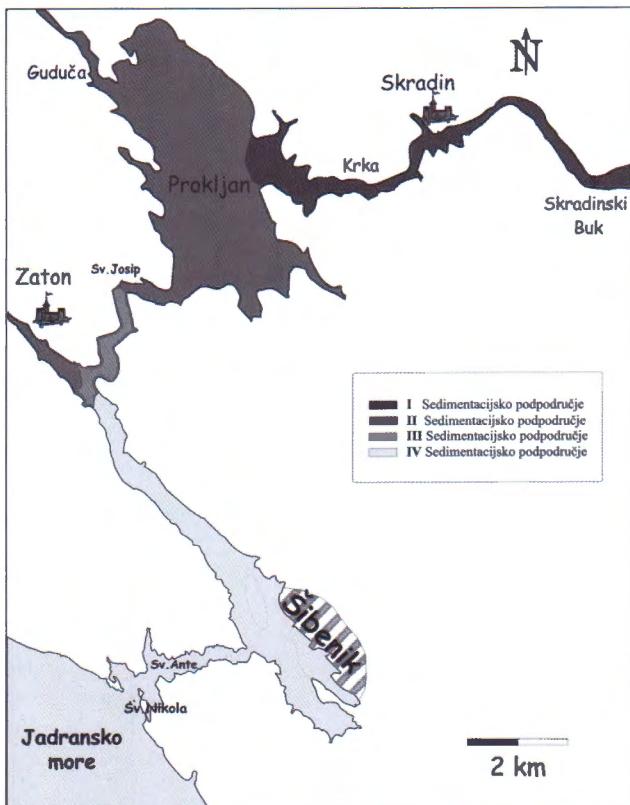
Točka 1' – Stop 1'

Estuarij rijeke Krke, potopljeni kanjon i sedrene barijere Krka River estuary, submerged canyon and tufa barriers

Estuarij rijeke Krke (Slika 1) počinje ispod slapišta Skradinskog buka na sjeveru i proteže se do tvrđave Sv. Nikola na jugu, u dužini nešto većoj od 22 km (od točke 5' do točke 1' na Sl. 1 ekskurzije B1, KORBAR et al., 2010, ova knjiga str 130). Između Skradinskog buka i proširenog gornjeg dijela estuarija (Prokljan) smješten je gradić Skradin. U Prokljan sa zapada utječe rječica Guduča. U donjem dijelu estuarija smješten je grad Šibenik. Između Prokljana i Šibenika u slijepom rukavcu nalazi se naselje Zaton.

Recentna morfologija doline rijeke Krke i okolnih područja rezultat je geološke građe i klimatskih promjena tijekom gornjeg pleistocena i holocena. Tijekom glacijala (gornji pleistocen – Würm 3, prije 40 000 do 170 000 godina) rijeka Krka (nizvodno od Knina) te njene pritoke Čikola i Guduča usjekle su svoje kanjone u Sjevernodalmatinsku kršku zaravan (JURAČIĆ & PROHIĆ, 1991). Uzvo-

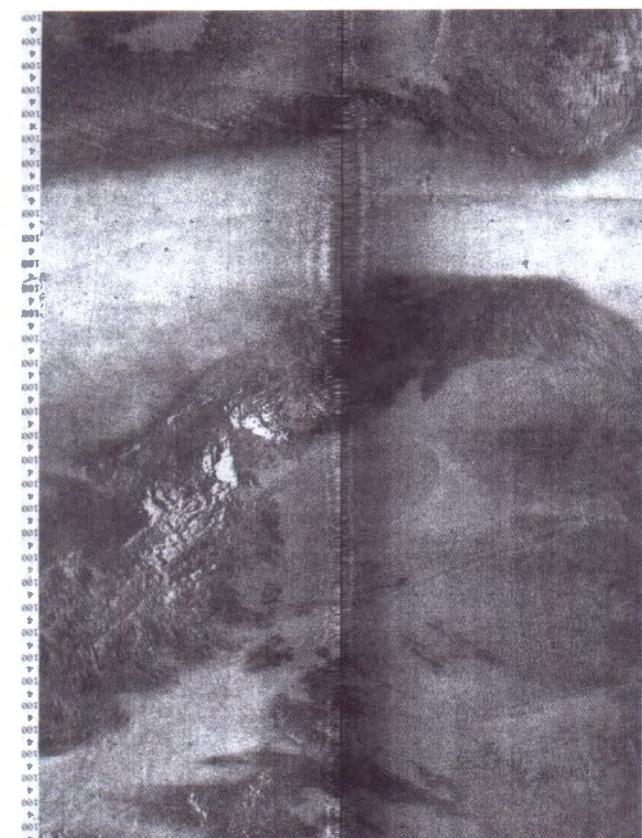
dno od Knina nalazi se nekarbonatno područje iz kojeg se transportira materijal koji pojačava riječnu eroziju i posjepuje nastanak kanjonske doline, posebno tijekom nižih morskih razina. Prije 26 000 godina, u posljednjem glacijalnom maksimumu (LGM), razina mora, a time i erozijska baza rijeke Krke, bila je 135 m niža od današnje (PELTIER & FAIRBANKS, 2006), dok je npr. tijekom mesinske solne krize (prije ~6 milijuna godina) razina mora bila čak 1500 m niža od današnje (HSÜ et al., 1977; MURPHY et al., 2009). Morfologija kanjona paleo-Krke koji je formiran u razdobljima regresije, danas se može pratiti do izobate 60 m, između otoka Zlarina i kopna (JURAČIĆ & PROHIĆ, 1991; JURAČIĆ, 1992, Slika 2). Osim toga, u estuariju Krke nalaze se najmanje četiri morem potopljene sedrene barijere čija je starost procijenjena na <9000 godina (ROGLIĆ, 1967), odnosno ~6900 godina (ŠEGOTA, 1968). No, tek će se preciznim radiometrijskim datiranjem sedre moći utvrditi



Slika 1. Sedimentacijska područja estuarija rijeke Krke (za objašnjenje vidi tekst pod točkom 4').

Figure 1. Depositional provinces of Krka River estuary (for explanation see text of Stop 4').

stvarna starost barijera te procijeniti razina mora tijekom koje se sedra, kao sekundarni karbonatni sediment, mogla istaložiti.



Slika 2. Snimka panoramskim dubinomjerom (SSS EG&G 260) prikazuje potopljeni kanjon paleo-Krke u središnjem dijelu Šibenskog kanala (snimka pokriva širinu od 200 m). Hrvatski hidrografski institut, Split, Projekt Adria, 1993.

Figure 2. Side scan sonar image (SSS EG&G 260) of submerged canyon of palaeo-Krka River in the central part of Šibenik channel (image covers 200 m in width). Croatian Hydrographic Institute, Split, Adria Project, 1993.

Točka 2' – Stop 2'

Naslage gornje krede i paleogena duž kanala Sv. Ante Upper Cretaceous to Paleogene deposits along Sv. Ante Channel

Plitkovodne karbonatne naslage gornje krede lijepo su otkrivene duž kanala Sv. Ante, na ulazu u Šibenski zaljev. Naslage formacije Gornji Humac (GUŠIĆ & JELASKA,

1990) nagnute su generalno prema SI te mjestimice blago borane uzduž dinaridskih rasjeda (Slika 3).



Slika 3. Deformirane naslage gornje krede duž kanala Sv. Ante (formacija Gornji Humac).

Figure 3. Deformed Upper Cretaceous deposits along St. Ante Channel (Gornji Humac formation).



Slika 4. Zapune paleokrških šupljina u najgornjem dijelu naslaga formacije Gornji Humac.

Figure 4. Palaeokarst infillings in uppermost part of Gornji Humac formation.

Kontakt karbonatnih naslaga gornje krede i paleogenia otkriven je na SZ obali uvale Dumboka (trajektno pristanište Martinska; točka 2' na Sl. 1 u B1, KORBAR et al., 2010, ova knjiga str. 131). Vršnih 50-ak m naslaga krede izdanjuje duž šetnice u uvali Dumboka. Čine ga tipični, debeloslojeviti vapnenci formacije Gornji Humac. U izmjeni se nalaze razni muljni litotipovi vapenca koji upućuju na taloženje u plićacima unutar područja zaštićene platforme. To su pretežito madstoni do vekstoni sa sitnim algama (*Thaumatoporella* i *Decastronema* (*Aeolisaccus*) *kotori*) i rijetkim miliolidnim



Slika 5. Kozinski facijes s puževima (donji eocen, Martinska).

Figure 5. Kozina facies with gastropods (Lower Eocene, Martinska locality).

foraminiferama te fenestralni madstoni i cijanobakterijski laminiti. U vrhu pojedinih slojeva mogu se naći buketi radiolitida u položaju rasta. Vršnih 15-ak metra krednih naslaga obilježavaju paleokrške šupljine zapunjene sigovinom (Slika 4) i drugim vadoznim sedimentima, koji svjedoče o dugo-trajnoj kopnenoj fazi od oko 30 milijuna godina (vidi KORBART et al., 2010, ekskurzija B1, ova knjiga str. 131).

Prvi slojevi paleogenia (oko 5 m debljine) su smeđi vekstoni/pekstoni s brojnim sitnim cijanobakterijama *Decastronema* (*Aeolisaccus*) *barattoloi* (De Castro), koje upućuju na taloženje u plitkomorskoj, nestabilnoj sredini. Naviše slijede 20-ak m debeli, tipični vapnenci Kozinskog facijesa s puževima (Slika 5; bočni ekvivalent snimljen na stupu „Morinje“ – Sparica et al., 2000). U gornjem dijelu Kozinskog facijesa nalaze se prve provodne foraminifere donjo-eocenske starosti. Od foraminifera su nađene: *Alveolina* sp., *Orbitolites* sp., *Coskinolina* sp., *Spirolina* sp., *Periloculina dalmatina* Drobne te ostaci ljuštura školjkaša i puževa. Unutar pretežito vekston-pekstona zapažena je zanimljiva diagenza – otapanje kućica foraminifera, promjene stijenke milio-lidnih foraminifera i crvenkasto obojenje sedimenta.

Točka 3' – Stop 3'

Sedimentacija u Šibenskom zaljevu te utjecaj grada Šibenika i njegove industrije Recent deposition in Šibenik Bay and influence of the town of Šibenik and its industry

Luka Šibenik jedna je od najstarijih i najbolje zaštićenih luka na hrvatskoj obali Jadrana. Smještena je u Šibenskom zaljevu u estuariju rijeke Krke i prirodno je zaštićena od utjecaja valova i vjetra. Luka je specijalizirana za pretovar rasutog tereta, posebno sirovih fosfata i umjetnog gnojiva. Transport fosfatne rude kroz Luku Šibenik počeo je u ranim šezdesetim godinama prošlog stoljeća.

Rasipanja prilikom pretvara fosfatne rude u Luci Šibenik imalo je ključni utjecaj na povišenje aktivnosti radija i uranija u sedimentu. Ispitivanjem aktivnosti radionuklida ^{238}U i ^{226}Ra u sedimentu, vodi i bioti iz estuarija rijeke Krke, pokazano je kako se većina radionuklida koji su u estuarijski okoliš dospjeli rasipanjem, u svom najvećem dijelu istaložila u neposrednoj blizini operativne obale. Samo je dio ura-

nija, otopljenog u morskoj vodi, djelomično napustio estuarij (CUCULIĆ et al., 2006; CUKROV et al., 2009). Povišene koncentracije uranija u sedimentu se zbog njegove topivosti djelomično odražavaju na njegovu koncentraciju u vodi neposredno iznad sedimenta, te u mesu školjkaša (*Mytilus* sp.) koji žive u području estuarija. Današnje koncentracije uranija u vodi su na razini uobičajenoj za morskou vodu (CUCULIĆ et al. 2006; CUKROV et al., 2009).

Veći dio sedimenata estuarija rijeke Krke je nezagoden. Koncentracije ekotoksičnih metala su na prirodnim razinama i nisu se značajnije promijenile tijekom zadnjih dvadesetak godina (PROHIĆ & KNIEWALD, 1987; PROHIĆ &

JURAČIĆ; 1991; JURAČIĆ & PROHIĆ, 1992; CUKROV et al., 2008a; CUKROV et al., 2008b). Međutim, prostorna raspodjela koncentracija ekotoksičnih metala pokazala je da postoje neka područja s povišenim koncentracijama metala. To se prvenstveno odnosi na Luku Šibenik i na područje ispred bivše fero-manganske tvornice u Crnici (CUKROV et al., 2008). Pretovar fosfata nije imao značajnijeg utjecaja na povišenje koncentracija ekotoksičnih metala na području Luke Šibenik. Kako su tvornica i brodogradilišne zatvoreni, a Luka Šibenik modernizirana, te je kanalizacijski isput izведен izvan estuarija, ne očekuje se daljnje povišenje koncentracija ekotoksičnih metala u sedimentu.

Točka 4' – Stop 4'

Prokljan i sedimentacija pod utjecajem Krke i Guduče Prokljan and deposition under influence of Krka and Guduča rivers

Sedimentacija u estuariju rijeke Krke je pod utjecajem donosa terigenog materijala rijekom Krkom i Gudućom, te biogene karbonatne produkcije. Rijeka Krka sa slivnim područjem u pretežno karbonatnim stijenama i sa sedrenim barijerama koje usporavaju njezin tok, donosi relativno malo suspendiranog materijala u estuariju, oko 5000 tona godišnje (JURAČIĆ, 1992). Glavninu suspendiranog materijala u estuariju rijeke Krke donosi rječica Guduča (JURAČIĆ & PROHIĆ, 1991; JURAČIĆ, 1992; CUKROV & BARIŠIĆ, 2006).

Estuarijski prostor rijeke Krke je prema aktivnostima kalija i torija u sedimentima podijeljen na četiri sedimentacijska područja (CUKROV & BARIŠIĆ, 2006; Slika 1):

I. Područje estuarija rijeke Krke uzvodno od Prokljana gdje se taloži materijal donesen rijekom Krkom.

II. Područje Prokljana gdje se pretežno taloži čestični materijal donesen rječicom Gudućom. Tu je uključeno i područje Zatonskog zaljeva gdje se taloži terigeni materijal transportiran iz smjera Zatona.

III. Područje kanala Sv. Josipa do gdje se taloži materijal miješanog porijekla. Dijelom je to morski karbonatni materijal, a dijelom terigeni materijal.

IV. Područje donjeg dijela estuarija rijeke Krke u kojem prevladava morska biogeno-karbonatna sedimentacija. Iz ovog područja su kao zasebne cjeline izdvojena dva

potpodručja. Prvo je potpodručje najvećih dubina Šibenskog zaljeva koje funkcioniра kao svojevrsna klopka za sedimente, a drugo potpodručje je akvatorij Luke Šibenik sa snažnim antropogenim utjecajem.

U I. sedimentacijskom području uzvodno od Prokljana brzina sedimentacije je vjerojatno nešto veća od 2 mm/god. U II. sedimentacijskom području na ušću rječice Guduče u Prokljanu brzina sedimentacije na temelju vertikalne raspodjele aktivnosti ¹³⁷Cs procijenjena je na oko 4–5 mm/god. Nešto sporija sedimentacija (3–4 mm/god) pretpostavljena je u Prokljanu uključujući i izlaz iz Prokljana. Za III. sedimentacijsko područje pretpostavljena je brzina sedimentacije od 1 mm/god. U IV. sedimentacijskom području pretpostavljena je vrlo mala brzina sedimentacije (< 0,5 mm/god), ali u najdubljim dijelovima estuarija ispred Šibenika, brzina sedimentacije bi mogla biti veća od 3 mm/god (CUKROV et al., 2007). U Luci Šibenik u neposrednoj blizini operativne obale za pretovar fosfatne rude pretpostavljena je brzina sedimentacije od 4–5 mm/god što je posljedica rasipanja tijekom pretovara fosfatne rude. Danas je ta brzina vjerojatno manja zbog prestanka rasipanja prilikom pretovara. Brzina sedimentacije u akvatoriju Luke Šibenik je bila pod snažnim antropogenim utjecajem i odvijala se u više nezavisnih događaja tako da se ne može govoriti o kontinuiranoj sedimentaciji.

Točka 5' – Stop 5'

Skradinski buk – krška zaravan, usijecanje kanjona Krke i sedrene barijere Skradinski buk – karst plateau, Krka River incision and tufa barriers

Osnovnu morfološku odrednicu širem prostoru daje Sjevernodalmatinska krška zaravan (FRIGANOVIĆ, 1961). Značajka joj je da je jednako zaravnjena bez obzira na promjene

u litološkom sastavu (konglomerati, vapnenci, laporoviti vapnenci) i geološkim strukturama. Više je teorija o nastanku i oblikovanju zaravni u kršu, ali u svakom slučaju

treba pretpostaviti postojanje erozijske baze u visini zaravni u duljem vremenskom razdoblju. Plitko razvijeni površinski krški oblici upućuju na mladost zaravni (stariji pleistocen, FRITZ, 1972). Nakon bitnog spuštanja erozijske baze dolazi do monofaznog usijecanja kanjona rijeka Krke i Čikole koje se vjerojatno zabilo u vrijeme posljednje intenzivne glacijacije u gornjem pleistocenu (LGM, od 30.000 do 19.000 g prije današnjice) na tektonski predisponiranim pravcima. Intenzitet erozije je tijekom LGM vjerojatno bio znatno veći nego danas. Nakon LGM zatopljenjem klime smanjila se erozijska snaga rijeke Krke a pred ~8.500–8.000 godina nastali su povoljni klimatski uvjeti za nastanak sedre (FRIGANOVIĆ, 1961). Tok rijeke Krke u dužini od 75 km je pregradilo devet glavnih sedrenih barijera tvoreći slapove (Topoljski buk, Bilušića buk, Čorića buk, Brljan, Manojlovački slapovi, Rošnjak, Miljackin slap, Roški slap i Skradinski buk; Slika 6).

Od davnina su ljudi uništavali sedrene barijere, bilo da bi došli do lako obradivog građevinskog materijala, ili da bi isušili močvarna područja uzvodno, povećavajući tako površinu obradive zemlje i smanjujući mogućnost života te razmnožavanja insekata, a samim time i opasnost od zaraze malarijom. Međutim, ljepotama rijeke Krke i njenih sedrenih barijera divili su se ljudi koji su već vrlo rano došli do zaključka da bi tu krhklu ljepotu trebalo i zaštiti. Tako je 22. studenog 1948. godine donesen pravni akt o zaštiti vodotoka Krke od Bilušića buka do Skradinskog buka (MARGUŠ, 1994), a od 1985. godine gotovo cijeli slatkovodni dio je zaštićen kao nacionalni park.

Najvažnija forma slatkovodnih karbonata je ona koja nastaje gubitkom CO_2 iz vode prezasićene Ca-hidrogenkarbonatom. Usprkos njihovom jednostavnom porijeklu, u literaturi se upotrebljavaju različiti termini. Za laminirane sedimente nastale u toplovodnom okolišu uobičajen je naziv

„travertin“, a za hladniju vodu koristi se „sedra“. Kako se u rijeci Krki pojavljuju samo „hladnovodni“ korist se izraz sedra.

Glavni razlog precipitacije sedre je otplinjavanje CO_2 iz prezasićene vode u brzim tokovima, pojačano turbulencijom na vodopadima i kaskadama. Organska podloga, uključujući mikrobiološki tepih i biofilm u kojem dominiraju cijanobakterije, može značajno lokalizirati precipitaciju opskrbujući ju s početnim položajima (MERZ-PREISS & RIDING, 1999).

Već se duže vrijeme sumnja da bakterije utječu na formiranje vapnenaca, a najnovijim eksperimentima u mikrobiogeološkim laboratorijima gdje su istraživani metabolitički tragovi, uvjeti formiranja čvrste faze i razvijana bakteriološka karbonatna produktivnost, to je i potvrđeno (CASTANIER, 1999). Mikroorganizmi su posebno važni u kreiranju mikrookoliša u kojem se taloži karbonat. U sustavu taloženja sedre, precipitacija CaCO_3 se odigrava iz sloja molekula vode susjednih podlozi. Geokemija tog sloja može biti značajno različita od prosječne geokemije riječnog toka.

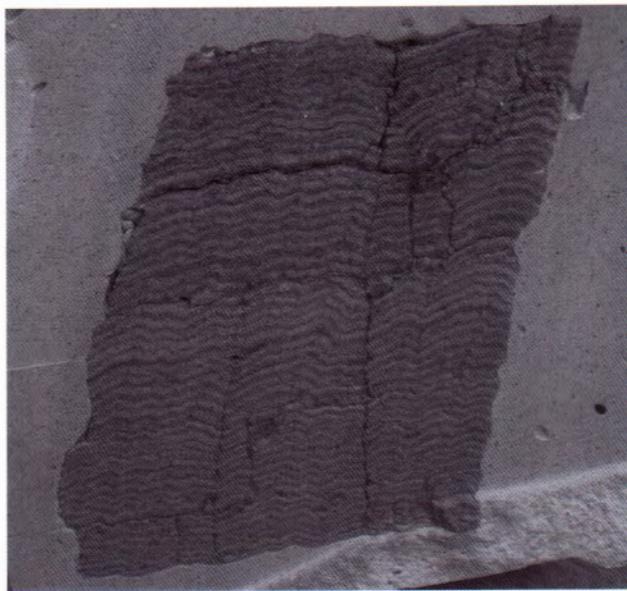
Sposobnost biljaka da potiču taloženje sedre je godina bila diskutabilna, dok nije zaključeno da biljke ne mogu utjecati na precipitaciju CaCO_3 u vodenom toku iz kojeg sedra precipitira zbog njihove nemogućnosti da mijenjaju kemiju toka vode (LORAH & HERMAN, 1988). Međutim, iako biljke ne mogu mijenjati geokemiju vode ukupnog riječnog toka, one mogu utjecati na svoj neposredni okoliš u kojem se precipitacija događa (CHAFETZ et al., 1991).

Raspodjela stabilnih izotopa C i O pokazala je da se precipitacija karbonata u rijeci Krki ne odvija u ravnotežnim uvjetima (LOJEN et al., 2004). Analiza recentnih precipitata na umjetnim podlogama (bakar, staklo, drvo) pokazala je da vrsta podloge i naseljene biote imaju bitan utjecaj na raspodjelu O i C izotopa tijekom precipitacije kalcita (LOJEN et al., 2004).



Slika 6. Skradinski buk.

Figure 6. Skradinski Buk waterfalls.



Slika 7. Laminirana sedra iz tunela HE Jaruga. Dimenzije presjeka 8x10 cm.

Figure 7. Laminated tufa from Jaruga power-plant tunnel. Dimensions 8x10 cm.

Pokazalo se da je raspodjela koncentracija metala i odnos stabilnih izotopa O i C u laminarnoj sedri vrlo pogodna za rekonstrukciju antropogenog utjecaja u prošlosti, te za promijene hidroloških prilika u sedrotvornom sustavu. Za takvu rekonstrukciju su posebno pogodne laminarne sedre kojima je poznat početak precipitacije, kakav je bio uzorak sedre iz dovodnog kanala HE Jaruga na Skradinskom buku (Slika 7). Na temelju promjena odnosa stabilnih izotopa kroz posljednjih 60 godina procijenjen je utjecaj promjene klime i biljnog pokrova kroz to vrijeme (LOJEN et al., 2009).

LITERATURA

- CASTANIER, S., MÉTAYER-LEVREL, G. & PERTIHUISOT, J.-P. (1999): Ca-carbonates precipitation and limestone genesis – the microbiologist point of view.– *Sediment. Geol.*, 126, 9–23.
- CHAFETZ, H.S., RUSH, P.F. & UTECH, N.M. (1991): Microenvironmental controls on mineralogy and habit of CaCO_3 precipitates: an example from an active travertine system.– *Sedimentology*, 38, 107–127.
- CUCULIĆ, V., CUKROV, N., BARIŠIĆ, D. & MLAKAR, M. (2006): Uranium in sediments, mussels (*Mytilus* sp.) and seawater of the Krka river estuary.– *J Environ Radioactiv*, 85/1, 59–70.
- CEKROV, N., MLAKAR, M., CUCULIĆ, V. & BARIŠIĆ, D. (2009): Origin and transport of ^{238}U and ^{226}Ra in riverine, estuarine and marine sediments of the Krka River, Croatia.– *J Environ Radioactiv*, 100/6, 497–504.
- CEKROV, N., FRANIŠKOVIĆ-BILINSKI, S., MIKAC, N. & ROJE, V. (2008): Natural and anthropogenic influences recorded in sediments from the Krka river estuary (Eastern Adriatic coast), evaluated by statistical methods.– *Fresen Environ Bull*, 17/7A, 855–863.
- CEKROV, N., CMUK, P., MLAKAR, M. & OMANOVIC, D. (2008): Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: An example of the self-purification.– *Chemosphere*, 72/10, 1559–1566.
- CEKROV, N., CUCULIĆ, V. & KWOKAL, Ž. (2008): Ecotoxic metals in water and sediment of the southeastern part of the Šibenik harbor, Croatia 3rd International Conference on Ports and Waterways – POWA 2008, 278–286.
- CEKROV, N., BARIŠIĆ, D. & JURAČIĆ, M. (2007): Calculated Sedimentation Rate in the Krka River Estuary Using Vertical Distribution of ^{137}Cs . 38th CIESM congress proceedings. Istanbul, 81–81.
- CEKROV, N. & BARIŠIĆ, D. (2006): Spatial distribution of ^{40}K and ^{232}Th in recent sediments of the Krka River Estuary.– *Croat Chem Acta*, 79/1, 115–118.
- FRIGANOVIĆ, M. (1961): Polja gornje Krke.– *Radovi Geogr. Inst. Sveučilišta u Zagrebu*, 3, 1–164.
- FRITZ, F. (1972): Razvitak gornjeg toka rijeke Zrmanje.– *Krš jugoslavije*, 8/1, 1–16.
- HSÜ, K.J., MONTADERT, L., BERNOULLI, D., CITA, M.B., ERICKSON, A., GARRISON, R.E., KIDD, R.B., MELIERES, F., MULLER, C. & WRIGHT, R. (1977): History of the Mediterranean salinity crisis.– *Nature*, 267, 399–403.
- KORBAR, T., SURIĆ, M., FUČEK, L., MIHELČIĆ, V., VESELI, V. & DROBNE, K. (2010): Ekskurzija B1 – Geologija komatskog otočja.– U: HORVAT, M. (ur.): 4. Hrvatski geološki kongres – Šibenik 2010, Vodič ekskurzija, 131–141.
- LOJEN, S., TRKOV, A., ŠČANČAR, J., VAZQUEZ-NAVARRO, J. A., & CEKROV, N. (2009): Continuous 60-year stable isotopic and earth-alkali element records in a modern laminated tufa (Jaruga, river Krka, Croatia): Implications for climate reconstruction.– *Chem Geol*, 258/3–4, 242–250.
- LOJEN, S., DOLENEC, T., VOKAL, B., CEKROV, N., MIHELČIĆ, G. & PAPESCH, W. (2004): C and O stable isotope variability in recent freshwater carbonates (River Krka, Croatia).– *Sedimentology*, 51/2, 361–375.
- LORAH, M.M. & HERMAN, J.S. (1988): The chemical evolution of a travertine-depositing stream: geochemical processes and mass transfer reactions.– *Water Resour. Res.*, 24, 1541–1552.
- JURAČIĆ, M. & PROHIĆ, E. (1991): Mineralogy, Sources of particles, and sedimentation in the Krka River Estuary (Croatia).– *Geol. vjesnik*, 44, 195–200.
- JURAČIĆ, M. (1992): Sedimentation in some Adriatic karstic river mouths – Are they estuaries or rias.– Proceedings of the international symposium “Geomorphology and sea” and the meeting of the geomorphological commission of the Carpatho-Balcan countries, Mali Lošinj, September 22–26, 1992, 55–63.
- MARGUŠ, D. (1994): Bibliografija radova o rijeći Krki, Gradska knjižnica “Juraj Šižgorić”, Uprava nacionalnog parka Krka, Bibliographia Sibenciensis, 98 str.
- MERZ-PREISS, M. & RIDING, R. (1999): Cyanobacterial tufa calcification in two freshwater streams: ambient environment, chemical thresholds and biological processes.– *Sediment. Geol.*, 126, 103–124.
- MURPHY, L.N., KIRK-DAVIDOFF, D.B., MAHOWALD, N. & OTTO-BLIESNER, B.L. (2009): A numerical study of the climate response to lowered Mediterranean Sea level during the Messinian Salinity Crisis.– *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 279/1–2, 41–59.
- PELTIER, W.R. & FAIRBANKS, R.G. (2006): Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record.– *Quat. Sci. Rev.*, 25, 3322–3337.
- PROHIĆ, E. & KNIEWALD, G. (1987): Heavy metal distribution in recent sediments of the Krka River Estuary – an example of sequential extraction analysis.– *Marine Chemistry*, 22, 279–297.
- PROHIĆ, E. & JURAČIĆ, M. (1989): Heavy metals in sediments – Problems concerning determination of the anthropogenic influence. Study in the Krka River estuary, eastern Adriatic coast, Yugoslavia.– *Environmental Geology and Water Sciences*, 13, 145–151.
- ROGLIĆ, J. (1967): Prilog poznavanju reljefa jadranskog priobalskog dna.– *Rad JAZU*, 345, 39–54.
- SEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mladom dijelu Würma.– *Geografski glasnik*, 30, 15–39.
- ŠPARICA, M., BERGANT, S., HAJEK-TADESSE, V. & FUČEK, L. (2000): Geologija područja Morinskog zaljeva (srednja Dalmacija, Hrvatska).– In: VLAHOVIĆ, I. & BIONDIĆ, R. (eds.): 2. Hrvatski Geološki Kongres (Second Croatian Geological Congress), Cavtat – Dubrovnik 2000, Zbornik radova (Proceedings), 412–427.

**Ekskurzija B2 – Prikaz odabranih lokaliteta iz geološkog
inženjerstva na području srednje Dalmacije i Like**
**Excursion B2 – Selected engineering – geological localities
of central Dalmatia and Lika**

**Renato Buljan, Davor Pollak, Dražen Navratil, Josip Terzić, Željko Dedić, Ante Pavričić,
Mladen Kuhta & Andrej Stroj**

Točka 1 – Stop 1

Izvor Pantan kraj Trogira – The Pantan spring near the town of Trogir

Renato Buljan & Ante Pavičić

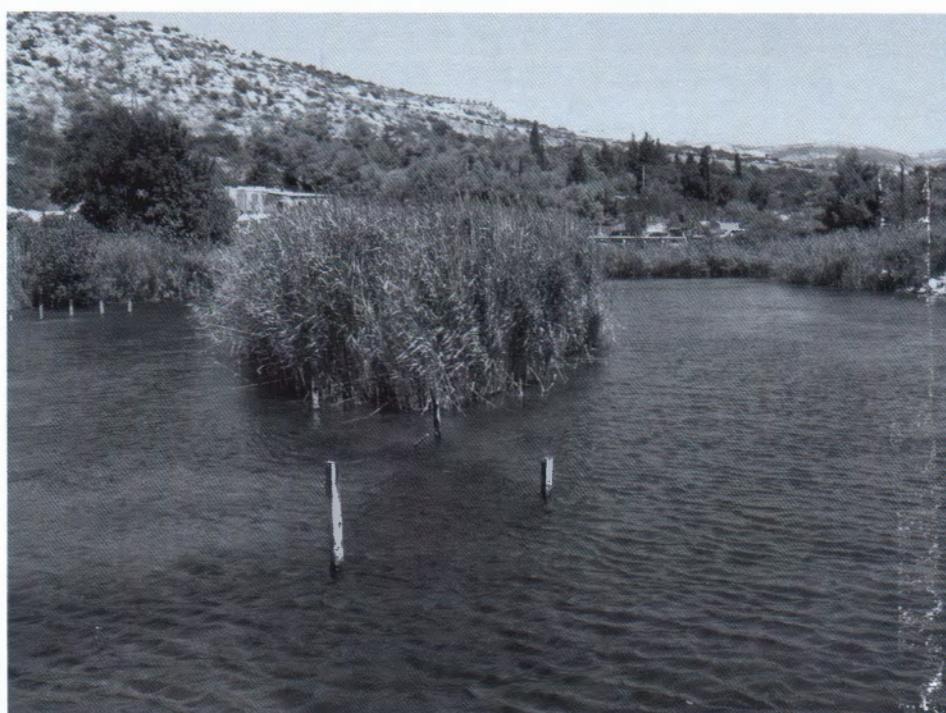
Hrvatski geološki institut, Sachsova 2., 10 000 Zagreb, Hrvatska
(apavicic@hgi-cgs.hr)

Ključne riječi: bočati izvor, hidrogeologija krša, vodozahvat
Key words: brachish spring, karst hydrogeology, water intake

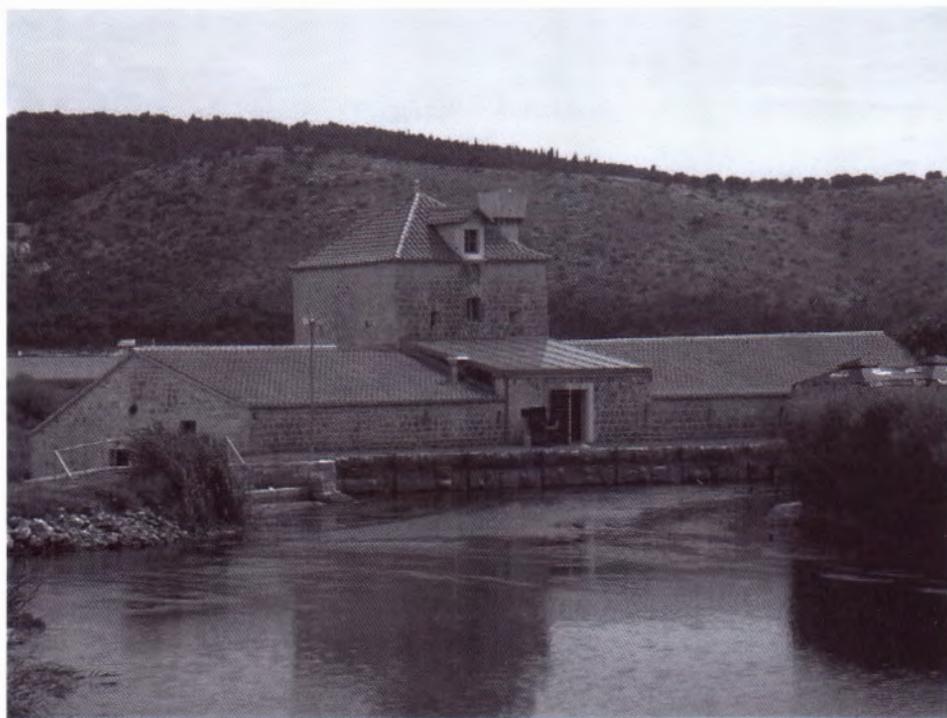
Izvor Pantan nalazi se neposredno ispod postojeće "stare" ceste od Trogira prema Kaštelima i Splitu, približno 2,5 km istočno od grada Trogira (Sl. 1 i 2). Voda izvora Pantan nije se do sada zahvatila za vodoopskrbu iz dva važna i do danas nepremostiva razloga. Prvi je poznat od početka hidrogeoloških istraživanja izvora – u njemu veći dio godine izvire zaslajena voda. Drugi razlog je što se u njegovom bliskom zaleđu posljednjih tridesetak godina nalazi deponij komunalnog otpada grada Trogira i okolice koji ima direktni utjecaj na kakvoću vode na izvoru.

Pantan izvire na tektonskom navlačnom kontaktu vodopropusnih karbonatnih naslaga i vodonepropusnih klastičnih flišnih naslaga u podini. Voda izvire iz lokalne depresije (jezera) duboke oko 13 m. Ona izbija iz pukotine duge 40 m, na dubini od 9 m (hipsometrijski na 2,7 m). Na izvoru je teško mjeriti izdašnost – postojeći mjereni podaci znatno

variraju. Maksimalna izdašnost od $12 \text{ m}^3/\text{s}$ zabilježena je u kišnom razdoblju 1967. godine (KOMATINA, 1967), a minimalna od 600 l/s (250 l/s slatke vode) u sušnom razdoblju 1965. godine (BRITVIĆ, 1965), kada je određeno da sadržaj klorida varira tijekom godine u rasponu od 160 do 10.600 mg/l (za pitku vodu maksimalna dopuštena koncentracija danas je 250 mg/l). U hidrološki kišnom razdoblju godine podzemne vode iz slijeva istječu još na vruljama Arbanija (na 32 m dubine) i Slatina (na 35 m dubine), a samo izuzetno i na bočatom izvoru Slanac (na 30 m n.m.) sjeverno od Divulja. Dno Kaštelanskog zaljeva u okolini vrulja je dubine oko 15 m – depresije s vruljama nastale su uslijed fluksije vode iz vrulja. Navedeni vodni objekti međusobno su hidraulički povezani i stoga predstavljaju jedno izvorište – izvorište sliva Pantan (FRITZ et al., 1991, BULJAN, 1993, FRITZ & BAHUN, 1997). Današnje vrulje su u vrijeme posljednjeg

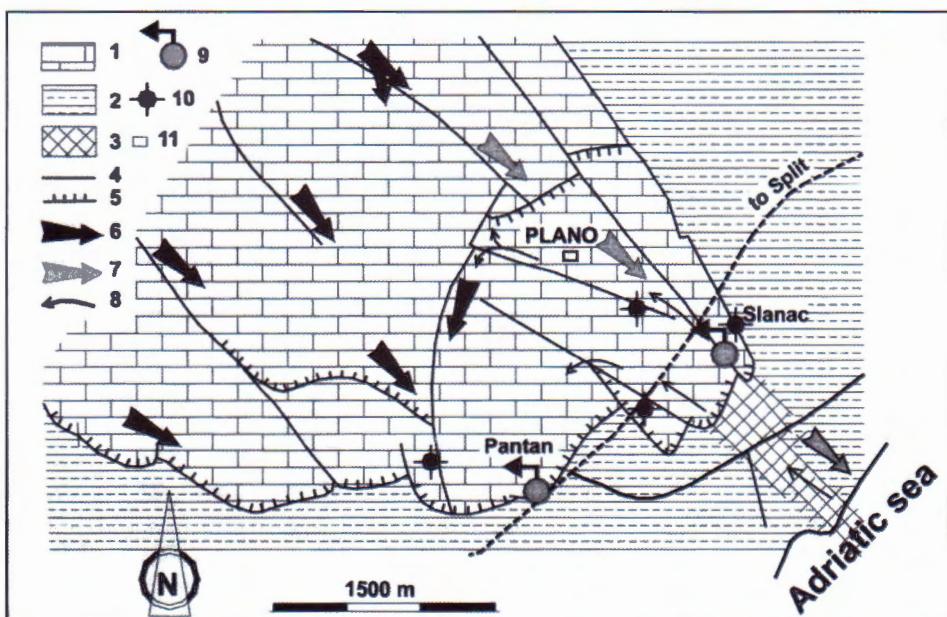


Slika 1. Izvor Pantan podno ceste Trogir – Kaštela.
Figure 1. The Pantan Spring below the road Trogir – Kaštela.



Slika 2. Mlinice Pantan neposredno nizvodno od izvora.

Figure 2. The Pantan mills, immediately downstream from the source.



Slika 3. Shematski prikaz okolice izvora Pantan. Legenda: 1) Vodopropusne karbonatne naslage; 2) Vodonepropusne klastične flišne naslage; 3) Nepotpuna, "viseća" hidrogeološka barijera; 4) značajniji srušni rasjedi; 5) reversni rasjedi i navlake; 6) Smjer toka podzemne vode tijekom cijele godine; 7) Smjer toka vode u kišnom razdoblju; 8) Pretpostavljeni smjer prodora morske vode u kopno; 9) Bočati izvori; 10) Istraživačke bušotine, pijezometri; 11) Istraživačka galerija Plano.

Figure 3. The sketch map showing the Pantan Spring surroundings. Legend: 1) Permeable carbonate sedimentary rocks; 2) Impermeable clastic flysch sedimentary rocks; 3) Incomplete "hanging" hydrogeological barrier; 4) Significant strike-slip faults; 5) Reverse and thrust faults; 6) Direction of the groundwater flow during the year cycle; 7) Direction of the groundwater flow during the rainy season; 8) Inferred direction of the sea water intrusion into aquifers; 9) Brackish springs; 10) Exploratory boreholes, Piezometers; 11) The exploratory gallery of Plano.

postglacijsala bile priobalni izvori koji su potopljeni tijekom posljednjeg izdizanja razine mora (prije približno 10.000 godina). S porastom razine mora, ono je nakon potapanja izvora i nastanka vrulja sve više "prigušivalo" istjecanje

slatke vode na vruljama, pa je ona počela istjecati na višim kotama – na izvoru Pantan, a povremeno i na izvoru Slanac. U sušnom razdoblju godine, kada se dotok, a time i pritisak slatke vode iz karbonatnog zaleđa smanji, tim istim podzem-

nim vodnim tokovima morska voda prodire (uvire) iz smjera vrulja relativno daleko u kopno što je razlog bočatosti izvora tijekom velikog dijela godine (Slika 3). Kod prvog jesenskog vodnog vala, nakon jakе kiše u zaleđu, voda izvora Pantana nekoliko dana sadrži najviše koncentracije klorida, jer slatka voda potiskuje (inspire) bočatu vodu iz karbonatnog zaleđa. Nakon toga na Pantanu izvire slatka voda do ponovnog hidrološki sušnog razdoblja.

Svojevremeno je razmatrana mogućnost izgradnje injekcijske zavjese koja bi spriječila prodror mora tijekom sušnog razdoblja godine u karbonatno zaobalje, ali zbog duboke okršenosti (baza okršavanja nalazi se na oko 100 m ispod razine mora), složenih hidrogeoloških i hidrauličkih odnosa, te velikih pritisaka (slana voda u izvoru Slanac na čak 30 m n.m.), od te ideje se odustalo.

Veličina slijeva izvora Pantan je oko 270 km². Određena je na temelju hidrogeoloških podataka o širem području zaleđa izvora Pantan i na osnovi definiranih sljevova njemu graničnih, susjednih krških izvora u šibensko-splitskoj regiji (izvora Jaruga i Torak koji izviru uz lijevu obalu rijeke Krke u okolini Skradinskog buka, izvora Jadro i izvora Žrnovnica; FRITZ et al., 1984; 1991) Pantan je jedini nepresušni vodni objekt unutar tog slijeva.

Dobro vodopropusne naslage šire okolice zaleđa izvora Pantan su vaspenci gornjokredne i donjoeocenske starosti, koji su uslijed tektonskih pokreta raspucani i zahvaćeni procesom okršavanja (erozijom i korozijom). U njima je formirana podzemna hidrografska mreža – kolektorska sredina sa sekundarnom, pukotinskom poroznošću. Proces okršavanja u geološkoj prošlosti je zbog snižene razine mora u kvartaru zahvatio stijene i do stotinjak metara ispod sadašnje razine mora (ŠEGOTA, 1968), pa je u njima razvijena gusta podzemna hidrografska mreža povezanih pukotina i kavernoznih kanalskih podzemnih tokova. Glavna hidrogeološka značajka ovih vasprenačkih naslaga je da se padalinske vode vrlo brzo, gotovo trenutno, infiltriraju u podzemlje, stupaju s vodom temeljnicom i teku prema mjestu izviranja.

Vodonepropusne klasične eocenske naslage fliša nalaze se lateralno nizvodno od izvora Pantan i imaju hidrogeološku funkciju nepotpune, tzv. "viseće" barijere. One do određene dubine (prema procjeni do dubine od stotinjak metara) sprečavaju gravitacijski tok vode prema moru. Ta neproporna barijera duž svog prostiranja usmjerava tokove podzemne vode iz navlačnih vasprenačkih naslaga sa sjeverne strane naslage fliša u smjeru izvora Pantan. Dublje od flišnog pojasa voda iz zaleđa teče u smjeru vrulja u Kaštelanskom zaljevu.

Opsežniji namjenski hidrogeološki istraživački radovi s ciljem zahvata pitke vode izvora Pantan započeli su 1965. godine kada je Britvić izradio preglednu hidrogeološku kartu područja Pantan – Trogir i dao prve detaljne podatke o protocima i salinitetu vode na izvoru. Već oko 1970. godine bilo je jasno da vodozahvat pitke podzemne vode na lokaciji izvora Pantan (u vrijeme dok još nije bilo deponija komunalnog otpada u neposrednom zaleđu) nije moguć. Zbog toga se pristupilo brojnim hidrogeološkim istraživačkim radovima s ciljem određivanja smjerova dotoka slatke vode iz unu-

trašnjosti s ciljem njenog zahvaćanja prije kontaminacije slanom vodom.

U području Plano izvedena je "istraživačko-eksploatacijska galerija Plano". Galerija se sastoji od vertikalnog okna dubine 67 m i drenažne galerije na koti 2 m n.m. kopane u tri navrata (MIJATOVIĆ, 1981), ukupne dužine 67 m. Iz galerije je izbušena i horizontalno položena bušotina dužine 100 m. Ni jedna od izvedenih istražnih bušotina, kao ni drenažna galerija, nisu ustanovile interesantne količine slatke vode (svega nekoliko l/s). Privilegirani provodnici slatke vode do izvora nalaze se znatno dublje.

Problem zasljanjenja pokušalo se riješiti izgradnjom nasute brane na lokaciji izvorišta, s krunom brane na 4,5 m n.m. (analitički određena kota istjecanja; BAGARIĆ, 1991), kojom se stvorio uspor i povišeni potencijal slatke vode u karbonatnom zaleđu. U sušnom razdoblju godine uspostavlja se takva dinamička ravnoteža voda pri kojoj se raspoloživi potencijal slatke vode na kontaktu akvifera slano/slatko ne može oduprijeti značajnjem prodroru mora u zaobalje izvora. Povišenjem kote izviranja uspostavila se nova ravnoteža slatke i slane vode s kontaktnom zonom miješanja pomaknutom u smjeru mora i time se pokušalo postići da na Pantanu istječe voda koja zadovoljava kriterije vode za vodozahvat glede klorida. Međutim, uslijed komplikacije oko ispuštanja vode za biološki minimum rada ribogojilišta pastrva (u ono vrijeme još aktivnog) smještenog nizvodno od izvora, potencijal od 4,5 m n.m. u sušnom razdoblju godine nije se uspio postići. S vremenom je nasuta brana počela propuštati, pa se može zaključiti kako spomenutim istraživanjima nije dobiven konačni dokaz da samo podizanjem potencijala izvora Pantan hipsometrijski na 4,5 m snižavamo zasljanost voda na izvoru ispod dozvoljene koncentracije klorida prema propisu o pitkim vodama. Osim koncentracije klorida, ostali fizikalno kemijski i bakteriološki parametri u vodi izvora Pantan tom prilikom nisu motreni. Nasuta brana srušena je u ožujku 1997. godine. Prilikom rušenja brane (na žalost kod velikih voda) i sniženja potencijala na izvoru za približno 1,5 m, u tada svega 4 prohodne bušotine glede vodomjerljivosti motrena je RPV, T i CND (BULJAN, 1997). Utvrđeno je da uspor istjecanja Pantana i povišeni potencijal slatke vode u zaleđu sasvim sigurno pozitivno utječe na upliv mora u karbonatno zaleđe i na kvalitetu vode na izvoru.

Osim bočatosti vode koja izvire na Pantanu poseban problem je deponij komunalnog otpada grada Trogira. Deponij se nalazi unutar dobro vodopropusnih karbonatnih stijena približno 2 km sjeverozapadno od izvora Pantan. Duž postojećih dubokih, tzv. penetrirajućih, pukotina padalinske vode se vrlo brzo, subvertikalno infiltriraju u podzemlje. One zajedno s tekućim i muljnim otpadnim tvarima poniru u podzemlje ispod deponija ili nizvodnije i stupaju se s vodom slijeva izvorišta Pantan. Postoji "slučaj" onečišćenja vode na izvoru Pantan (na žalost ne i u pisanoj formi, nego znan samo usmenom predajom) kada je nekoliko sati (spominju se 2 sata) nakon što je kamion cisterna istočio svoj tekući teret na lokaciji deponija, u ribogojilištu pastrva koje je koristilo vodu Pantana uginula sva riba. Taj podatak ukazuje da se područje deponija grada Trogira nalazi u II zoni sanitарne zaštite.

Od 1997. godine do danas istraživački radovi sa svrhom zahvata pitke vode izvora Pantan na izvorištu ili u njegovom zaleđu više nisu provođeni. Usmenom predajom je od tadašnjih rukovoditelja Hrvatskih voda, područje dalmatinskih slivova – Split, primljeno na znanje da se daljnji hidrogeološki istraživački radovi sa svrhom zahvata slatke vode izvorišta Pantan ne planiraju. Razlozi za to su jasni: vrlo nepovoljni uvjeti zahvata podzemne vode uzvodno od područja utjecaja deponija i dosega morske vode u okršenom karbonatnom zaleđu zbog razvedene morfologije terena, uslijed okršenosti niske razine vode u podzemlju (duboko ispod današnje razine mora), te skupih i krajnje neizvjesnih rezultata istraživačkih radova.

LITERATURA

- BAGARIĆ, I. (1991): Izvještaj o rezultatima istraživanja desalinizacije vode vrela Pantan.– IGH, Zavod za hidrotehniku, J. Rakuše 1, Zagreb.
- BRITVIĆ, V. (1965): Izvještaj o hidrogeološkom kartiranju na području Pantan – Trogir.– Fond str. dok. Geotehnika, Zagreb.

- BULJAN, R. (1993): Utjecaj strukturno-tektonskih odnosa na tečenje podzemnih voda u okolini izvora Pantan kraj Trogira.– Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 56 str.
- BULJAN, R. (1997): Izvještaj o izvršenim opažanjima na piezometarskim bušotinama u vrijeme rušenja brane na izvoru Pantan kraj Trogira.– Fond str. dok. IGI, br. 085/97, Zagreb.
- FRITZ, F., PAVIČIĆ, A. & RENIĆ, A. (1984): Hidrogeološka studija područja Trogir-Šibenik-Dmniš-Knin.– Fond str. dok. IGI, br. 248/84, Zagreb.
- FRITZ, F., RENIĆ, A. & BULJAN, R. (1991): Izvor Pantan kraj Trogira. Hidrogeološka osnova za eksploataciju pitkih podzemnih voda.– Fond str. dok. IGI, br. 95/91, Zagreb.
- FRITZ, F. & BAHUN, S. (1997): The Morphogenesis of Submarine Springs in the Bay of Kaštela, Croatia.– Geol. Croatica, 50/1, 105–110, Zagreb.
- KOMATINA, M. (1967): Hidrogeološke odlike delova terena Dalmacije, zapadne Bosne i Hercegovine.– Fond. str. dok. Geozavod, Beograd.
- MIJATOVIĆ, B. (1981): Izveštaj o vodoistražnim radovima na području Pantana kod Trogira od 1975. do 1981. godine.– Geozavod, OOURL – Institut za hidrogeološka i geotehnička istraživanja, Beograd.
- ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem würmu.– Geografski glasnik, 30, 15–39, Zagreb.

Točka 2 – Stop 2

Inženjerskogeološke značajke kaštelanskog fliša u obalnoj zoni (iz perspektive projekta Eko Kaštelanski zaljev) The engineering geological properties of Kaštela flysch in costal area (the perspective from the "Eko Kaštelanski zaljev" case study)

Davor Pollak & Renato Buljan

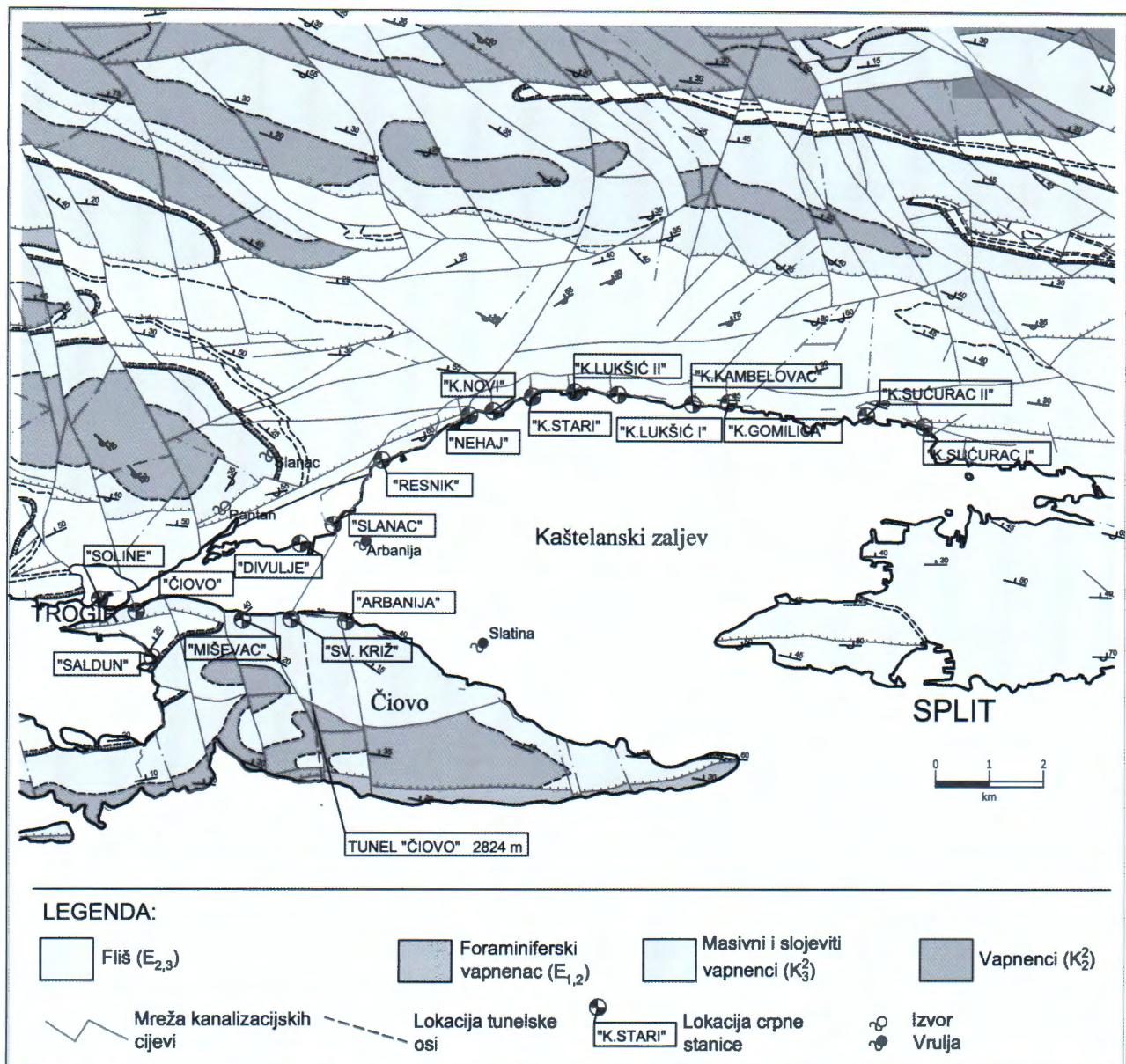
Hrvatski geološki institut, Sachsova 2., 10 000 Zagreb, Hrvatska
(dpollak@hgi-cgs.hr; rbuljan@hgi-cgs.hr)

Ključne riječi: fliš, inženjerskogeološke značajke, EKO Kaštelanski zaljev
Key words: flysch, engineering geological properties, EKO Kaštelanski zaljev

Kaštelanski zaljev, duljine 15 km, širine 5 km i maksimalna dubine 41 m, nalazi se između gradova Splita i Trogira. Prema moru zatvoren je otokom Čiovo, a prema sjeveru brdskim masivom Kozjak (Sl. 1). To je urbanizirano, gusto naseljeno područje s pratećim industrijskim sadržajem, te-retnom lukom grada Splita i međunarodnim aerodromom Resnik.

“Eko Kaštelanski zaljev” je projekt izgradnje kanalizacionog sustava Kaštela – Trogir – Čiovo koji se sastoji od kolektorske kanalizacijske mreže duljine preko 30 km, 18 crpnih postaja, centralnog uređaja u Divuljama za pročišćavanje vode do ekološki prihvatljive razine, podmorskog cjevovoda na dnu Kaštelanskog zaljeva do otoka Čiovo, hidrotehničkog tunela kroz Čiovo dužine 2824 m i podmorskog ispusta u otvoreno more.

Osnovno STRUKTURNO obilježje terena je, zbog kompresije prostora, visok stupanj tektonske destrukcije što se posebno manifestira u zastupljenim krtim karbonatnim naslagama. Rezultati tektonske aktivnosti su intenzivna bora-nja, reversna rasjedanja i navlačenja, pa u širem prostoru istraživanja, osobito u flišnim naslagama imamo brojne primjere poleglijih i prebačenih bora kao i rasjeda raznih karaktera što sve terenu daje obilježje “ljuskave strukturne građe”. Osim reversnih rasjeda i navlačnih ploha izraženi su i normalni rasjedi različitih orientacija. Generalno gledajući struktura je monoklinalna, s Dinarskim pružanjima (SZ-JI), smjerom nagiba slojeva prema sjeveru, sjeveroistoku i kutovima nagiba od 20 do 70°. U recentnom strukturnom sklopu okolice područja razmatranja dominira reversni rasjed Kozjak. U krovinskom krilu tog rasjeda su stariji dijelovi gornjokrednih naslaga navučeni na mlađe kredne naslage, a čitav



Slika 1. Geološka karta (OGK list Split, mjerila 1:100.000; MARINČIĆ et al., 1971) područja zaljeva s lokacijama crpnih stanica i kanalizacionim mrežom.

Figure 1. The geological map (in the scale 1:100 000; MARINČIĆ et al., 1971) of the Kaštela bay with the locations of pumping stations and sewage network.

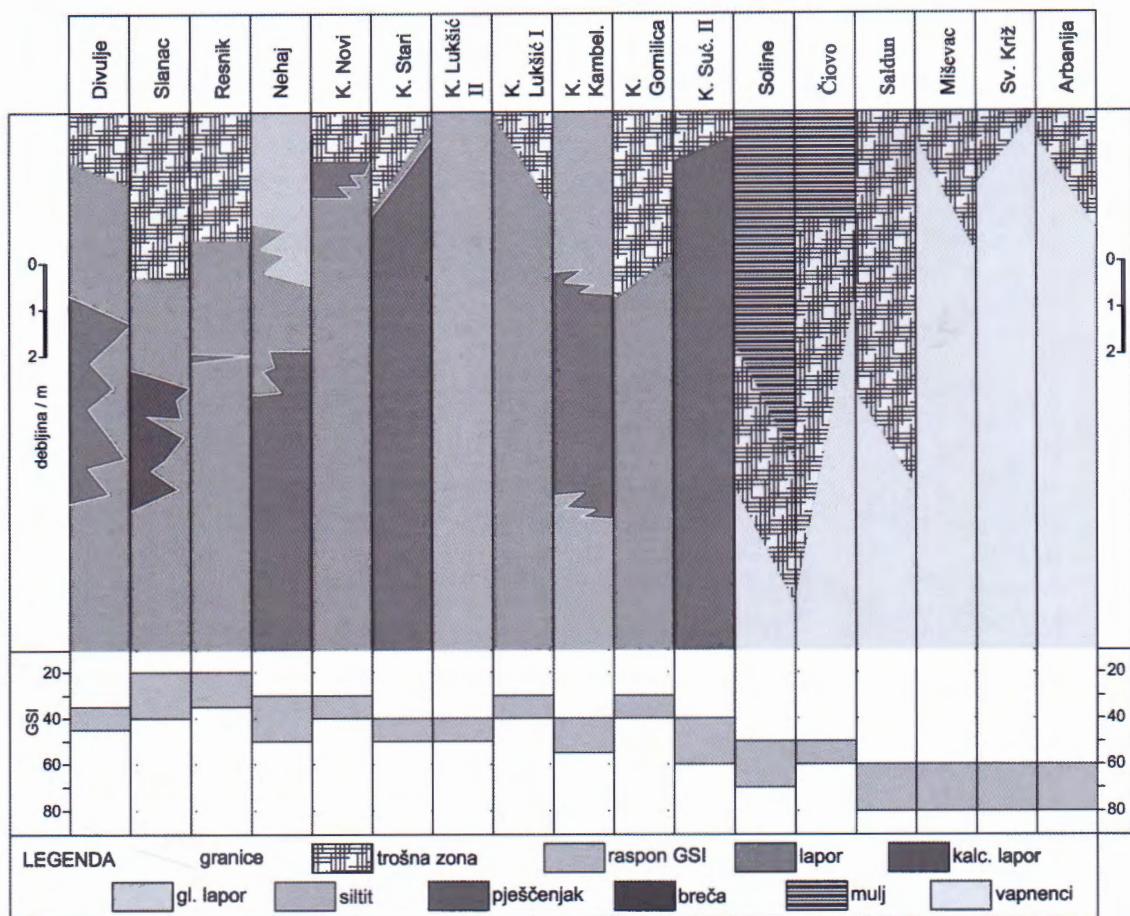
kompleks karbonatnih naslaga navučen je na klastične naslage eocenskog fliša (MAGAŠ & MARINČIĆ, 1973).

GEOLOŠKI, područje sjevernog dijela kaštelskog zaljeva predstavlja dio flišnog bazena izgrađenog od nekoliko stotina metara debelog kompleksa boranih eocenskih klastičnih, dominantno laporovitih naslaga i različitim naslaga kvartara. Nasuprot tome otok Čiovo, izgrađen je od karbonatnih naslaga gornjokredne i eocenske starosti i naslaga kvartara. Strukturno on predstavlja izoklinalno položenu do prebačenu, uslijed navlačenja reducirana antiklinalnu strukturu erodiranog tjemena s vergencijom u smjeru juga, jugozapada, sa smjerom nagiba slojeva prema sjeverozapadu, sjeveru pod kutovima nagiba 6–44°.

HIDROGEOLOŠKE značajke u skladu su s litološkim značajkama šireg područja gdje je moguće izdvojiti dvije

osnovne hidrogeološke jedinice: Vodopropusni vapnenci snažno su okršeni i imaju veliku sekundarnu poroznost i propusnost. U njima je dobro razvijena mreža kojom protječe podzemna voda. U takvoj sredini padalinske vode praktički se trenutno procjeđuju do vode temeljnica s kojom teku prema jugu do izvora. Vodonepropusne naslage flišnog kompleksa generalno predstavljaju barijeru za vode prikupljene u krškom zaleđu, i usmjeravaju tok vode prema izvorima Jadro i Pantan. Unutar samog fliša također postoje manji izvori i brojne bušotine i zdenci.

INŽENJERSKOGEOLOŠKA istraživanja bušenjem na svim lokacijama budućih crpnih stanica potvrdila su neke pretpostavke koje su slijedile iz terenske prospekcije i OGK tog područja. Međutim, bušenja, inženjerskogeološka determinacija i prikupljeni laboratorijski podaci u samom obal-

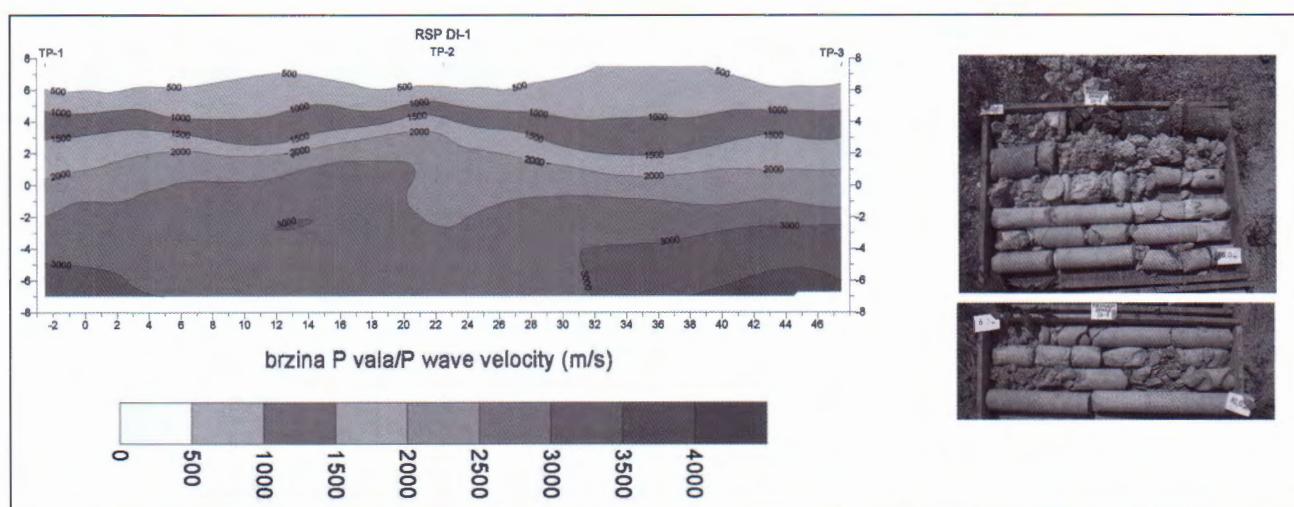


Slika 2. Shematski profili bušotina u obalnom pojusu kaštelskog zaljeva. Ispod profila nalaze se procijenjene GSI vrijednosti svježih ili slabo trošnih stijena. Iz shematskih profila su izbačeni antropogeni slojevi na površini (nasute plaže i rive).

Figure 2. The schematic profiles of borehole logs in the costal area of Kaštela bay. Below the profiles are presented the estimated GSI values of fresh or wea??? rock mass. The antropogene layers (beach embankments, waterfronts) are excluded from the profiles.

nom pojusu također su omogućili definiranje njihovih inženjerskogeoloških značajki i detaljnije diferenciranje naslaga fliša.

Naime, šire razmatrano područje u regionalnom mjerilu predstavlja distalni facijes Jadranskog fliškog kompleksa (MARINČIĆ, 1981). Sastoji se od vapnenačkih breča, konglo-



Slika 3. Profil plitke refrakcijske seizmike (MOHO) i jezgra iz bušotine na lokaciji crpne stanice Divulje.

Figure 3. The shallow refraction seismic profile (MOHO) and the borehole core at the Divulje pumping station location.

merata, kalkarenita, siltita, laporu, glinovitog vapnenca i rijetko od velikih olistolitnih blokova. Nekoliko autora izrađivalo je sedimentološke podjele unutar kompleksa fliša ovog područja (Kerner, Grubić, Magaš, Marinčić), a prema novijim istraživanjima fliš se dijeli na: donju flišku zonu i gornju flišku zonu (MARJANAC, 1993). Ova podjela vrlo je značajna za inženjerskogeološka svojstva jer jasno odjeljuje „zone“ fliša koje imaju različite udjele pojedinih komponenti fliša. Iz podjele je jasno vidljivo da su sedimenti donje fliške zone vrlo često pokriveni trošnim sedimentom – eluvijalnim tlom. U gornjoj fliškoj zoni udjel krupnozrnastijih klastita znatno je veći. Mineraloški i petrografska sastav klastita varira i često je u skladu s veličinom zrna. Breče i konglomerati imaju vapnenačke fragmente s biokalkarenitnim ili lokalno, laporovitim matriksom. Pješčenjaci su često s kalcitičnim i vapnenačkim detritusom i kalcitičnim cementom, pa ih nazivamo kalkarenitima. Lateralne i vertikalne izmjene svih komponenti fliša vrlo su česte, a snažna tektonika, boranje i ljudskanje cijelokupnog fliškog kompleksa dodatno komplikiraju njihove međusobne odnose. Cijelokupna debljina kompleksa flišnih naslaga u ovom području procjenjuje se na približno 800 m (MARINČIĆ et al., 1971).

Inženjerskogeološke značajke flišnog kompleksa naslaga

Laporoviti dio klastičnih naslaga fliša nepravilno se izmjenjuje s krupnozrnastijim komponentama: silitom, pješčenjakom ili čak brečom. Broj, debljina i udjel proslojaka krupnozrnatijih komponenti u laporu u velikoj mjeri utječu na inženjerskogeološke značajke cijelokupnog kompleksa naslaga (BULJAN & POLLAK, 2003).

Zbog toga je prilikom klasifikacije naslaga fliša korišten GSI sustav za heterogene stijenske mase (Marinos & Hoek, 2001). Prema navedenoj klasifikaciji GSI vrijednosti fliša variraju u vrlo širokom rasponu od 20 do 60 (Sl. 2). Ipak, može se primjetiti da se kvaliteta stijenske mase u izrazito heterogenoj sredini može dobro okarakterizirati ovim sustavom, dok je u nešto homogenijoj sredini u kojoj dominira lapor, to znatno teže jer su inženjerskogeološka svojstva cijelokupne stijenske mase dominantno pod utjecajem mineralnog sastava što u GSI sustavu nije predviđeno. Zbog toga su MIŠČEVIĆ & ROJE-BONACCI (2001) podijelili naslage fliša u tri grupe bazirane na sadržaju kalcita i povezanosti s otpornosti trošenju.

Kalcitični lapori imaju znatno veću jednoosnu čvrstoću od glinovitih laporu i zbog toga su u GSI sustavu procijenjeni kao bolji (Sl. 2). Značajke diskontinuiteta prilično su ujednačene.

Neznatno trošne ili svježe naslage fliša u ovom području imaju brzine širenja primarnih valova uglavnom između 2000–3000 m/s, rijetko više. RQD vrijednosti u bušotinama uglavnom se kreću u rasponu 50–75%.

Trošne zone istih naslaga relativno su pravilne, a graniće među trošnim zonama postupne (osobito u odnosu na zone trošenja u krabonatima) s brzinama 1000–1500, rijetko do 2000 m/s, i RQD indeksima 0–25% (Sl. 3). Debljina trošnih zona kreće se od 1–4 m. Iz provedenih istraživanja se također može uočiti odsutnost zona trošenja u područjima gdje dominiraju naslage siltita (Sl. 2).

Iz istraživanja koja su provedena za potrebe geotehničkog projekta „EKO Kaštelski zaljev“ i usporedbom s drugim dostupnim podacima u ovom području, mogu se izvući korisni zaključci vezani za inženjerskogeološko razmatranje fliša općenito, ali i lokalno:

- prilikom inženjerskogeoloških istraživanja u flišu potrebno je poznavanje sedimentoloških značajki cijelog kompleksa naslaga jer je njihov utjecaj na inženjerskogeološka svojstva vrlo velik;
- u tom smislu, za detaljniju inženjerskogeološku podjelu fliša ovog područja preporučuje se korištenje sedimentološke podjele na donju i gornju flišku zonu (MARJANAC, 1993)
- GSI sustav se može doslovno primijeniti za procjenu kvalitete fliške stijenske mase u smislu samo kod izrazito heterogenih materijala;
- u područjima u kojima dominira laporovita komponenta potrebno je detaljno poznavanje mineralnog sastava laporu jer upravo on u najvećoj mjeri određuje inženjerskogeološka svojstva takve stijenske mase;
- zone trošenja u naslagama fliša relativno su pravilne s postupnim prijelazima;
- svaka zona trošenja može se pouzdano izdvojiti plitkom refrakcijom i provjeriti bušenjem.

LITERATURA

- BULJAN, R. & POLLAK, D. (2003): Sustav odvodnje Kaštela–Trogir, hidrotehnički tunel Čiovo, Inženjerskogeološki i hidrogeološki istraživački radovi.– Fond str. dok. IGI, Zagreb.
- MAGAŠ, N. & MARINČIĆ, S. (1973): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za listove Split i Primošten K33-20 i K33-21.– Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 47 str.
- MARINČIĆ, S. (1981): Eocene Flysch of Adriatic area.– Geol. vjesnik, 34, 27–38.
- MARINČIĆ, S., MAGAŠ, N. & BOROVIĆ, I. (1971): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, List Split K33-21.– Institut za geološka istraživanja Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- MARINOS, P. & HOEK, E. (2001): Estimating the geotechnical properties of heterogeneous rock masses such as flysch.– Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 60/2, 85–92.
- MARJANAC, T. (1993): Evolution of Eocene-Miocene flysch basin in central Dalmatia, Croatia.– PhD thesis, Faculty of Science, University of Zagreb, 348 p.
- MIŠČEVIĆ, P. & ROJE-BONACCI, T. (2001): Weathering Processes in Eocene Flysch in Split Region (Croatia).– The Mining-Geological-Petroleum Engineering Bulletin, 13, 47–55.

Točka 3 – Stop 3

Cemexovi kamenolomi ponad Kaštelskog zaljeva Cemex quarries above the Kaštela Bay

Dražen Navratil, Željko Dedić & Josip Terzić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2., 10 000 Zagreb, Hrvatska
(dnavratil@hgi-cgs.hr; zdedic@hgi-cgs.hr; jterzic@hgi-cgs.hr)

Ključne riječi: fliš, inženjerska geologija, hidrogeologija, kamenolom

Key words: flysch, engineering geology, hydrogeology, quarry

Zemljopisno-gospodarske značajke područja

Eksplotacijsko polje mineralnih sirovina za proizvodnju cementa „Sv. Juraj – Sv. Kajo“, nalazi se na području Općine Kaštel Sućurac i grada Solina. Prostire se na južnim padinama planine Kozjak, na nadmorskoj visini od 70 do 340 m. Izduženo je smjerom SSZ–JJI (cca 6 km), širine cca 0,9 km. Eksplotacijsko polje ima oblik nepravilnog mnogokuta i zauzima površinu od 334,85 ha. Ležište sirovine za proizvodnju cementa na eksplotacijskom polju „Sv. Juraj – Sv. Kajo“ je u eksplotaciji dugi niz godina. Eksplotacija mineralne sirovine na ovom ležištu obavlja se površinskim kopom od početka 20. st., na više etaža visine do 20 m.

U ležištu postoji izmjena tri glavna tipa sirovina koje predstavljaju komponente sirovina (visoka, normalna i niska) za proizvodnju cementa. Ležište se odlikuje jednostavnim građom, konstantnom debljinom i ujednačenim sastavom. Planirana prosječna eksplotacija sirovine za proizvodnju cementa na eksplotacijskom polju „Sv. Juraj–Sv. Kajo“ iznosi 2,5 mil. tona godišnje. Veliki kapacitet intenzivne rudarske djelatnosti omogućuju dva, međusobno udaljena, industrijska pogona za primarnu preradu iskopane sirovine, locirana unutar granica eksplotacijskog polja.

Geološke značajke ležišta

Ležište izgrađuju naslage srednjoeocenskog fliša. Litološki članovi fliša su najvećim dijelom dobro uslojeni. Osnovni položaj slojeva je monoklinalan, generalno nagnut prema sjeveroistoku.

Samo ležište izgrađuje **srednja flišna zona** koju Marjanac (1987) naziva „olistostroma“ i **gornja flišna zona** koju je podijelio u tri člana: donji, srednji (pješčenjački) i gornji (konglomeratičan). Srednja flišna zona predstavlja izuzetno debelu zonu u kojem se uočavaju tri karakteristična litološki različita člana: donji debritni član, srednji kalkarenitni član i gornji laporni član.

Geološki stup ležišta kroz sedimente eocenskog fliša, od najstarijih litoloških članova prema mlađim se sastoji od: debritne serije (V4 i VM-sirovinske komponente), lapor s numulitima (V1), numulitične breče, kalkarenita (V3) i glinovitih vapnenaca (kalksiltita) (V1), vapnenačkog lapor (No1 No2-sirovinska komponenta), te izmjene pješčenjaka i lapor (N1 i N2 – sirovinske komponente).

Srednju flišnu zonu čini debritna serija (V4 i VM-sirovinske komponente). Ovaj debritni sediment deboje je 76–80 m i sadrži klaste plitkovodnih vapnenaca i prijelaznih naslaga te bazenskih sedimenata u muljnoj osnovi. Plitkovodni vapnenci izgrađuju dekametarske blokove i klaste različitih veličina. Blokovi su predstavljeni eocenskim foraminifer-skim vapnencima (uglavnom biomikrit), vapnencima s rožnjacima, te blokovi eocenskih sitnozrnatih biomikrita s glaukonitom.

Na njima kontinuirano slijede latori sa numulitima (V1), numulitične breče, kalkareniti (V3) i glinoviti vapnenci (V1). Srednji član ove zone predstavlja normalno graduirani kalkarenit. Ovaj član je deboje 27–60 m i u donjem dijelu je građen od velikog broja pakiranih numulita (tzv. „numulitna breča“). Numulitna breča izgrađena je od klasta veličine sitnog do krupnog pjeska, debljine sloja oko 10 m. Udio cijelih foraminifera postupno opada prema gore, a raste udio skeletnog krša, tako da stijena postaje čvrsti plavosivi kalkarenit (u narodu poznat kao „plavac“) deboje oko 12 m.

Latori s numulitima (V1) sastoje se od laporu žute do plavkaste boje s numulitima. Koncentracija numulita je različita i nalazimo stijenu s rijetko kojim fosilom do gnijezda spljoštenih numulita, gotovo bez laporovitog veziva. Zona laporu s pretaloženim numulitima može se pratiti duž cijelog ležišta. Kalkareniti (V3) sastoje se od karbonatnog detritusa organogenog podrijetla, rijetko sa zrcima kvarca i glaukonita, ulomcima foraminifera i korala. Debljina ovog litočlana varira od 40–100 m i može se pratiti kroz cijelo ležište.

Latori s numulitima kontinuirano prelaze u numulitne vapnence koji se nastavljaju u kalkarenit, te glinoviti vapnenci (kalksiltit) na kojem slijedi vapnenački lapor (tupina). Kalkareniti i kalksiltiti su sitnozrnaste strukture i sivo-zelenkaste boje. Nalaze se na južnoj strani sadašnjeg kopa i položeni su na laporu s pretaloženim numulitima. Glinoviti vapnenci (V1) nalaze se između kalkarenita, kalksiltita i tupine (vapnenačkog laporu). Pružaju se neprekinuto duž ležišta. Prema podini i krovini prijelazi su postupni. Sadrže 77,5–80% CaCO₃ i pripadaju visokoj sirovini.

Gornji član ove zone predstavljen je vapnenačkim laporom (No2 – sirovinska komponenta), deboje je 30–60 m i zbog idealnog udjela CaCO₃ (74–77,5%) predstavlja glavnu

Tablica 1. Prikaz raspona vrijednosti cementnih modula osam kemijskih sirovinskih komponenti cijelog ležišta „Sv. Juraj–Sv. Kajo“.
Table 1. Cement modulus sketch of light raw chemical components of entire deposit "Sv. Juraj–Sv. Kajo"

Kemijski varijeteti	Litološki sastav	SZ	SM	KEMIJSKI SASTAV	Rac. CaCO ₃
N1	Pješčenjaci, lapori i konglomerati na sjevernim dijelovima kopa (sjeverne etaže Sv. Jure i Sv. Kajo)	<90	>2,7	minimum maksimum prosjek	60,71 77,33 70,04
N2	Tamno sivi i žuti lapori, glinoviti lapori, u proslojcima	<90	<2,7	minimum maksimum prosjek	57,14 74,88 70,62
No2	Vapneni lapor (tupina), lapor s numulitima	90–110	>2,6	minimum maksimum prosjek	73,64 79,85 76,08
No1	Vapneni lapor u gornjim dijelovima (u podini izmjena pješčenjaka, konglomerata, laporu)	90–110	<2,6	minimum maksimum prosjek	73,29 77,96 74,46
V1	Laporoviti vapnenac, lapor s numulitima-veći udio numulita	>110	>2,7	minimum maksimum prosjek	77,02 88,13 81,69
V2	Laporoviti vapnenac	110–250	<2,7	minimum maksimum prosjek	77,29 87,88 81,44
V3	Vapnenac (kalkareniti, kalkruditi-u krovini laporu s numulitima; "numulitna breča")	>250		minimum maksimum prosjek	87,63 95,30 91,95
V4	Vapnenac (bijeli biokalkruditi)	>1000		minimum maksimum prosjek	95,25 97,57 96,33

sirovinsku komponentu za cementnu industriju u Splitskoj regiji. Vapnenački lapor ili „tupina“ postupno prelazi iz podine (glinovitog vapnenca). U krovini mu se nalazi jasno izražena oštra granica s tankoslojevitom izmjenom pješčenjaka i laporu gornje flišne zone (N1 i N2–sirovinske komponente). Tupina se pruža kontinuirano kroz cijelo ležište, a debljina joj iznosi do 80 m, sivo-plavičaste boje.

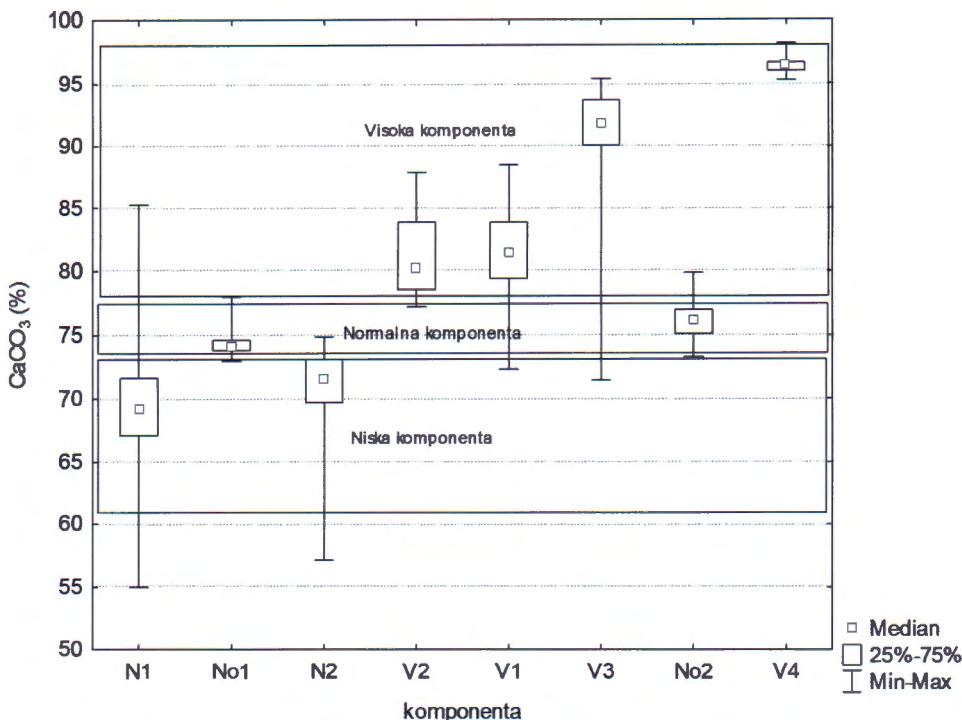
Gornju flišnu zonu predstavljaju konglomerati kao najznačajniji litofacialjni član jer izgrađuju debela sedimentna tijela. Pjeskoviti lapor u gornjoj polovici izgrađuju znatan dio stupca sedimenata, dok se turbiditi nalaze samo u donjem dijelu ove zone. Unutar gornje flišne zone može se izdvojiti nekoliko facijesa: tankouslojeni kalkareniti koji tvore lamine i lapore debljine od nekoliko centimetara do nekoliko decimetara. Kalkareniti su sitnozrnati do krupnozrnati, a neki slojevi sadrže i detritus ruditne veličine. Debljine kalkarenita su u rasponu od 0,2–15 cm. Slijede naslage pjeskovitog laporu koji imaju slično pojavljivanje kao prethodno opisana grupa facijesa, te pjeskoviti kalkareniti ili pješčenjaci, tankouslojeni sedimenti debljine od 5–60 cm. To su slabo do srednje sortirani areniti s promjenjivim udjelom nekarbonata, ali rijetko više od 30%, a nekarbonatni de-

tritus obuhvaća brojna zrna rožnjaka i mineralna zrna (različiti varijeteti kvarca i feldspata), zatim zrna piroita, piritizirane foraminifere, zrna glaukonita i tanke proslojke ugljevitne tvari. Izmjena tanko-slojevitih pješčenjaka, laporu i vapnenaca nalazi se sjeverno od zone tupine u sadašnjem kopu te se može pratiti duž cijelog tupinoloma (MARJANAC, 1987; LUKŠIĆ et al., 2008.).

Sediment muljne potpore kakav se nalazi u donjem članu srednje zone karakterističan je za gravitacijski tok sedimenata kod kojeg su se klasti kretali zajedno s osnovom, a bili su podržavani čvrstinom osnove, gustoćom osnove i uzgonom. Takav tok naziva se „debris flow“, odnosno debritni tok. Smatra se da debritni tok nastaje pretvorbom iz podvodnog klizanja koje je na svom putu niz padinu uklopilo dovoljnu količinu vode uz razaranje glinovitog sedimenta, čime je stvorena kohezivna muljna osnova.

Određivanje kakvoće mineralne sirovine

Kemijski kriteriji baziraju se na zastupljenosti određene razine cementnih modula u pojedinom litološkom članu ili slijedu naslaga litoloških članova. Na temelju glavnih oksida; CaO, Al₂O₃, SiO₂ i Fe₂O₃ izračunati su cementni moduli:



Slika 1. Prikaz raspona sirovinskih komponenti i njihove podjele na tri osnovne komponente po kemijskom sastavu.

Figure 1. Scale range of raw components and them distribution on three base component according to chemical composition.

SZ–koeficijent zasićenja, **SM**–silikatni modul i **AM**–aluminatni moduli. Prema Matijaci i Vujecu (1990) najvažniji modul je stupanj zasićenja (**SZ**), koji pokazuje odnos efektivnog, tj. stvarnog sadržaja CaO koji u normalnom procesu pečenja i hlađenja klinkera može biti vezan na okside SiO_2 , Al_2O_3 i Fe_2O_3 .

Stupanj zasićenja (SZ) daje pravu sliku o kvaliteti cementa kao i o tehnološko-termičkim svojstvima sirovine. Normalne vrijednosti SZ normalnog portland cementa su od 90–95. Sirovine koje imaju SZ 90–98 smatraju se sirovinama koje se jako dobro peku. S porastom SZ iznad 102 mora se računati i sa slobodnim CaO u klinkeru, koji stvara vremensku nestabilnost cementa. Vrijednosti SZ ispod 90 olakšavaju pečenje, ali i pospješuju stvaranje nalijepka i sirovinskog prstena u peći.

Silikatni modul (SM) varira između 1,9–3,3. Cement traži odnos 2,2 do 2,6. Kod većeg silikatnog modula slablji je pečenje klinkera sa smanjenjem likvidne faze i smanjenjem tendencije stvaranja prstena u peći.

Aluminatni modul (AM) varira između 1,5–2,5. On određuje sastav likvidne faze u klinkeru. Mali aluminatni modul karakterizira niska toplina hidratacije, sporo očvršćivanje i sporo vezivanje cementa. Visoki aluminatni modul zajedno s niskim silikatnim modulom ubrzava vezivanje, te je zbog toga potrebno dodavati više gipsa.

Na temelju zastupljenosti određene razine cementnih modula u pojedinom litološkom članu ili slijedu naslage litoloških članova, a koje su dobivene iz rezultata kompletnih kemijskih analiza u intervalu svaka 2 m i korištenog tehnološkog postupka pripreme sirovine, došlo se do podjele ležišta mineralne sirovine na tri osnovne komponente po

kemijskom sastavu i rasponima vrijednosti cementnih modula (LUKŠIĆ et al. 2008; Tabl. 1).

To su tzv. „niska“, „normalna“ i „visoka“ komponenta mineralnih sirovina, od kojih „niska“ ima dva varijeteta u ležištu (N1 i N2), „normalna“ također dva varijeteta (No1 i No2), a „visoka“ četiri različita varijeteta (V1, V2, V3 i V4) te (VM) kao „visoka mješavina“. U slici 1. vidljivo je da se niske komponente N1 i N2 ne razlikuju po distribuciji CaCO_3 . Slično je i s No1 i No2, dok visoke komponente gotovo ne razlikuju V1 i V2 a V3 i V4 pokazuju povišeni sadržaj CaCO_3 u odnosu na prve dvije visoke komponente. Komponenta V4 je najmanje zastupljena u ležištu (Sl. 1).

Koeficijent korelacije među glavnim komponentama je vrlo visok (Tab. 2). Prema su flišne naslage generalno heterogeni sediment, promjene u kemijskom sastavu ležišta su po pravcu pružanja i smjeru nagiba vrlo male, dok su promjene u vertikalnom slijedu zbog promjene u litološkom sastavu veće. No analizirajući varijabilnost kemijskog sastava ležišta u 2 m bušotinskim intervalima, gdje se intervali mogu promatrati kao slučajno odabrane intervali u različitim litološkim članovima (ušća bušotina su na različitim nadmorskim visinama i nalaze se unutar različitih litoloških članova) predstavljaju slučajne dužine odabrane na mreži bušenja, a daju varijabilnost unutar cijelog istraživanog tijela mineralne sirovine.

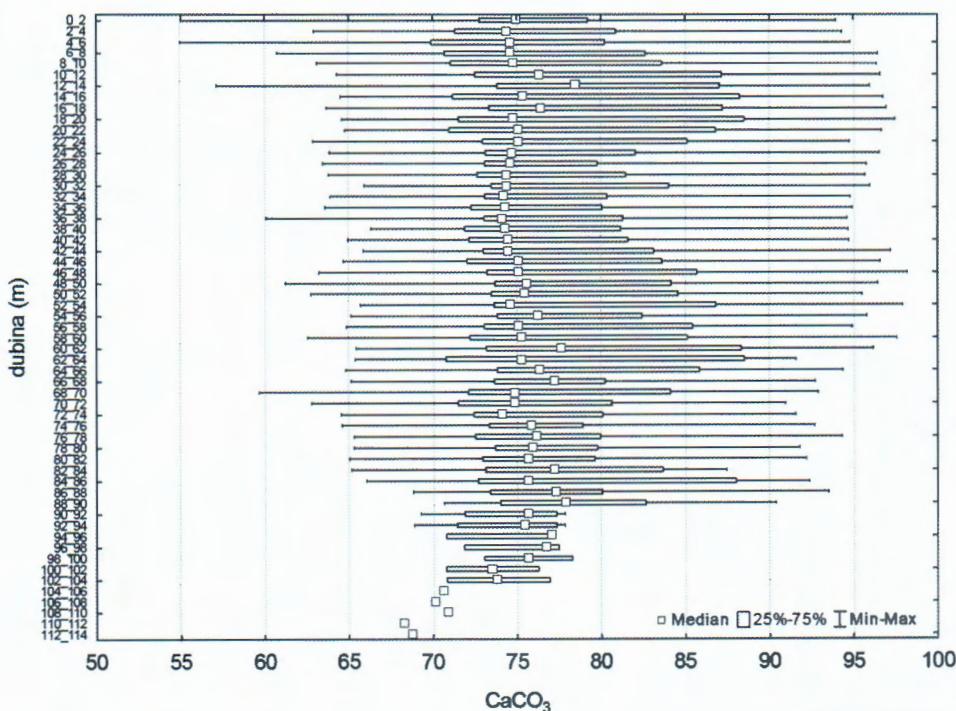
Proračun srednjeg kemijskog sadržaja korisne mineralne sirovine i koeficijenta varijacije (analiza kvalitete ležišta)

Kako bi se stekao uvid u distribuciju kemijskih komponenti unutar litoloških članova u ležištu te u njihovu prostornu varijabilnost unutar okonturenog ležišta mineralne sirovine

Tablica 2. Koeficijenti korelacija kemijskih komponenti u ležištu.

Table 2. Coefficients of chemical components correlation at the deposit.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
SiO ₂	1							
Al ₂ O ₃	0,82	1						
Fe ₂ O ₃	0,8	0,98	1					
CaO	-0,96	-0,91	-0,9	1				
MgO	0,36	0,52	0,55	-0,48	1			
SO ₃	0,45	0,18	0,2	-0,4	0,41	1		
Na ₂ O	0,62	0,68	0,7	-0,69	0,61	0,31	1	
K ₂ O	0,6	0,81	0,81	-0,7	0,46	0,06	0,58	1

Slika 2. Distribucija CaCO₃ po dubinskim intervalima na prostoru cijelog ležišta; ujednačenost vrijednosti ukazuje na homogenost ležišta.
Figure 2. CaCO₃ distribution by depth intervals on the entire deposit; values balance indicating at the homogeneity of deposit.

načinjena je analiza varijance čije je svrha bila utvrđivanje prostorne homogenosti, tj. iste varijabilnosti glavnih kemijskih komponenti sirovine.

Rezultati jednosmjerne analize varijance ukazuju da ne postoje statistički značajne varijabilnosti srednjih vrijednosti unutar i između grupa podataka. Statistička značajnost ovih komponenti (analiziranih intervala i kemijskih komponenti) ukupne varijance utvrđuje se na osnovu kritičnih vrijednosti F testa na nivou pouzdanosti 95% i odgovarajućih stupnjeva slobode (KOCH & LINK, 1980; DAVIS, 1986).

Distribucija CaCO₃ po dubinskim intervalima na prostoru cijelog ležišta, ujednačenost raspona vrijednosti ukazuje da se rudno tijelo ima distribuciju kemijskog sastava korisnih komponenti koji omogućuju homogenu eksploataciju ležišta prilagođenu tehnološkom procesu bez gubitaka u smislu štetnih komponenti (Sl. 2).

Inženjerskogeološke značajke istraživanog područja

Za utvrđivanje stabilnosti kosina na području eksploatacijskog polja „Sv. Juraj – Sv. Kajo“ provedeno je inženjerskogeološko kartiranje sa snimanjem diskontinuiteta osnovnog struktturnog sklopa. Tom prilikom određene su i ostale inženjerskogeološke značajke stijenske mase. Prospekcijom kosina i napuštenog tunela na području kamenoloma izdvojene su značajnije pukotinske i rasjedne zone. Na temelju svih prikupljenih podataka utvrđene su karakteristične vrijednosti fizičko mehaničkih svojstava za intaktnu stijenu, značajke stijenske mase izražene preko geološkog indeksa čvrstoće (GSI) u definiranim inženjerskogeološkim jedinicama koje se uglavnom podudaraju s litološkim jedinicama.

U Tablici 3 prikazane su srednje vrijednosti osnovnih fizičko-mehaničkih značajki intaktnih uzoraka istraživanih

Tablica 3. Srednje vrijednosti osnovnih fizičko-mehaničkih značajki intaktnih uzoraka stijena dobivenih istražnim bušenjem (GB-1 do GB11 – podaci iz bušotina preuzeti od investitora).

Table 3. Average values of the physical-mechanical properties of intact rock samples taken from boreholes (GB-1 to GB11)

Inženjerskogeološka / litološka jedinica	Gustoća (eng. "bulk density") g/cm ³	Jedoosna tlačna čvrstoća (MPa)	PLT čvrstoća Is ₅₀ (MPa)	Vlažnost (%)
Izmjena laporanja i pješčenjaka s proslojcima brečokonglomerata	2,67 (brečokonglomerati) 2,61 (izmjena laporanja i pješčenjaka) 2,60 (lapori)	103,9 (brečokonglomerati) 46,2 (izmjena laporanja i pješčenjaka) 7,8 (lapori)		
Debritna serija	2,63 (biokalkarenit – biokalkrudit) 2,50 (fosifernji lapor)	72,8 (biokalkarenit – biokalkrudit) 2,4 (fosifernji lapor)		
Lapori s numulitima	2,65	25,9	2,55	
Kalkareniti	2,68	210,5		
Kalksiltiti			4,1	
Lapori s većim udjelom kalcitne komponente ("tupina")	2,62	73,9		0,93

Tablica 4. Geološki indeksi čvrstoće i indeks kvalitete jezgre (RQD) za inženjerskogeološke / litološke jedinice na području kamenoloma „Sv. Juraj – Sv. Kajo“.

Table 4. Geological strength index and rock quality designation for engineering geological / lithological units in quarry „Sv. Juraj – Sv. Kajo“.

Inženjerskogeološka / litološka jedinica	Geološki indeks čvrstoće (eng. "Geological Strength Index") – GSI	Indeks kvalitete jezgre (eng. "Rock Quality Designation") – RQD
Izmjena laporanja i pješčenjaka s proslojcima brečokonglomerata	37–58 (Sjeverna i južna strana kamenoloma Sv. Juraj – Sv. Kajo)	36–84 %
Debritna serija	–	60–83%
Lapori s numulitima	10–25 (Središnji dio kamenoloma Sv. Juraj – Sv. Kajo)	25–62 %
Kalkareniti	44–66 (Sjeverna i južna strana kamenoloma Sv. Juraj – Sv. Kajo)	32–87% (najčešće 79–87%)
Kalksiltiti	43–61 (Središnji dio kamenoloma Sv. Juraj – Sv. Kajo)	37–85%
Lapori s većim udjelom kalcitne komponente ("tupina")	42–55 (Sjeverna i južna strana kamenoloma Sv. Juraj – Sv. Kajo)	55–91%

litoloških jedinica unutar flišnog kompleksa. Utvrđena je značajna heterogenost jednoosnih tlačnih čvrstoća; **R1 – vrlo slabe** (1–5 MPa) do **R5 vrlo čvrste** (100–250 MPa) stijene.

Često u heterogenim naslagama filša zbog nemogućnosti dobivanja odgovarajuće veličinu uzorka za laboratorijsko ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće istu utvrđujemo indeksnim testovima. U kamenolomu je korišten **PLT** (*Point Load Test*) čije su vrijednosti korelirane s jednoosnom tlačnom čvrstoćom preko formule $qu=24*Is(50)$ (najčešće korištene u praksi), odnosno za lapore prema Mišćeviću i suradnicima (1999) $qu=7,48*Is(50)$ (sadržaj karbonata 35–75%) ili $qu=8,79*Is(50)$ (sadržaj karbonata 75–95%).

Na temelju značajki diskontinuiteta stijenskih masa različitih litoloških članova izvršeno je bodovanje po modifi-

ciranoj GSI klasifikaciji (SONMEZ & ULUSAY, 1999; Tab. 4) za stijenu podloge. Geološki indeks čvrstoće (eng. „Geological Strength Index“) – GSI je utvrđen snimanjem diskontinuiteta osnovnog struktturnog sklopa kao i njihovih značajki, te definiranja reprezentativnog bloka nakon čega je izvršeno bodovanje obzirom na veličinu bloka i stanje stijenki diskontinuiteta (hrapavost, zjevi, ispuna i trošnost). U plastično deformiranim materijalima (lapor s numulitima, debritna serija), gdje nije moguće utvrditi osnovni strukturalni sklop, izvršeno je bodovanje procjenom prema modificiranoj GSI klasifikaciji za heterogene stijenske mase kao što su naslage flišna (MARINOS & HOEK, 2000; NAVRATIL & HRŽENJAK, 2009).

Većina litoloških odnosno inženjerskogeoloških jedinica, navedenih u tablici 4 spada u **povoljne stijenske mase**

($GSI = 41-60$). Izmjena lapor i pješčenjaka s proslojcima brečokonglomerata djelomično spada u **slabe stijenske mase ($GSI = 21-41$)** što možemo djelomično povezati s rasjedima u tom litološkom članu koji doprinose stanju trošnosti, odnosno degradaciji stijenske mase i njenih fizičko – mehaničkih svojstava intaktnog uzorka. Lapor i numulitima uslijed svojih plastičnih deformacija prouzročenih tektonikom spadaju u **vrlo slabe do slabe stijenske mase ($GSI <20$ i $GSI = 21-40$)**.

U debitnoj seriji, zbog njene izrazite heterogenosti teško je provesti kategorizaciju pomoću GSI klasifikacije za heterogene flišne naslage (MARINOS & HOEK, 2000), ali možemo prepostaviti da se radi o **vrlo slaboj do slaboj** tektonski deformiranoj i heterogenoj stijenskoj masi.

Uz geološki indeks čvrstoće (GSI) za procjenu kvalitete stijenske mase u praksi se koristi i indeks kvalitete jezgre RQD (eng. Rock Quality Designation) koji je u stvari linearni pokazatelj razlomljenoosti stijenske mase. Dobiva se iz bušotine i predstavlja omjer zbroja svih dužina svjeći jezgre dužih od 10 cm (4 incha) i intervala bušenja, izražen u postotcima.

Utvrđene vrijednosti RQD-a (Tab. 4) pokazuju velika varijabilnost ovog indeksa u svim litološkim jedinicama koja je vjerojatno uvjetovana tektonikom i strukturnim znajkama stijenske mase (uslojena, tanko uslojena, laminirana, borana). Također, poznato je da vrijednosti RQD-a ovise o međusobnom odnosu orientacije bušotine prema orijentacijama utvrđenih diskontinuiteta.

Najmanje vrijednosti RQD-a svojstvene su za lapore s numulitima koji i prema geološkom indeksu čvrstoće (GSI) spadaju u **vrlo slabe do slabe stijenske mase**.

Obzirom na trošnost, dubina trošne zone u području kamenoloma „Sv. Juraj – Sv. Kajo“ ovisi o litološkom sastavu, kemizmu (količini $CaCO_3$), starosti izvedenih etaža i tektonici.

Terenskom procjenom i analizom geotehničkih istražnih bušotina (GB-1 do GB11) možemo prepostaviti debljine trošne zone. Također, potrebno je uzeti u obzir i proteklo vrijeme od izvođenja određene etaže u kojoj promatramo pojedinu litološku jedinicu.

Debljina trošne zone u „tupini“ je do 4 metra i odlikuje se formiranjem sipara u podnožju etaža izgrađenog od manjih odlomaka školjkastog loma.

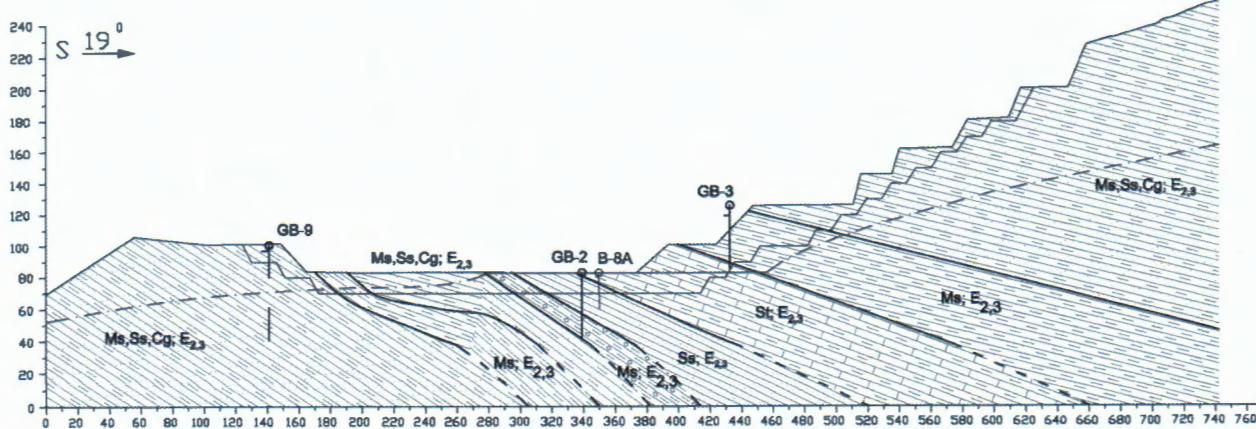
U izmjeni pješčenjaka i lapor i debljina trošne zone je neznatna u novijim etažama, odnosno do 4,7 metara debljine u starijim etažama, pa sve do ~18 metara u zoni rasjeda. Trošnost se očituje na terenu u promjeni boje pješčenjaka iz sive u sivo smeđu.

Dubine zona trošenja u kalkarenitima i kalksiltitima su neznatne, a u laporima s numulitima ovise o tektonskoj deformiranosti i količini $CaCO_3$ („Sv. Kajo“ ~6 metara).

U debitnoj seriji zbog izrazite heterogenosti i kaotičnosti teško je utvrditi dubinu trošne zone. Uočena je redukcija fizičko-mehaničkih svojstva intaktnih uzoraka (jednoosne tlačne čvrstoće) litoloških članova zastupljenih u debritu u odnosu na iste litotipove u ostalom dijelu flišnog kompleksa što se može povezati s većim stupnjem trošenja u takvim naslagama.

Hidrogeološka istraživanja u kamenolomu

U sklopu sveobuhvatnih geoloških istraživačkih radova u kamenolomima su napravljena i opsežna hidrogeološka istraživanja (TERZIĆ & LUKAČ REBERSKI, 2009). Klastične naslage eocenskog fliša najvećim dijelom nisu podložne okršavanju (osim pojedinih litočlanova, lokalno), no mogu se smatrati dijelom krškog dinaridskog pojasa. Dinaridski krš je poznat po dubokoj tektonici, preferiranim podzemnim tokovima i visokoj regionalnoj vodopropusnosti, a u regionalnom mjerilu izučavanja flišne naslage smatraju se barijerama za tečenje krških podzemnih voda. Ovisno o debljini flišnog kompleksa, njegovu položaju u strukturi, morfologiji i samoj nadmorskoj visini fliš predstavlja ili potpunu barijeru krškim vodama, ili tzv. „viseću“ barijeru, ispod koje podzemne vode i dalje struje. Zbog toga se uz kontakt flišnih i karbonatnih naslaga često pojavljuju izvori. Flišne naslage razmatranog terena u regionalnom mjerilu predstavljaju potpunu barijeru za tečenje krških podzemnih voda. Tako se u širem području istraživanja nalaze i neki od najznačajnijih kontaktnih izvora dinaridskog krša, kao npr. izvor rijeke Jadro koji se već više od 2000 godina koristi za



Slika 3. Geološki profil poprečno na kamenolom Sv. Juraj i flišnu strukturu. GB-3 – geotehnička bušotina; B-8A – HG bušotina.

Figure 3. Geological profile perpendicular to the St. Juraj quarry and perpendicular to flysch structure. GB-3 – geotechnical borehole; B-8A – hydrogeological borehole.

vodoopskrbu Splita i okolice. Ipak, u lokalnom mjerilu pojedini litočlanovi fliš mogu biti vodonosni. Kako se strukture u ovome dijelu terena pružaju tzv. dinaridskim smjerom (SZ-JI), a slojevi su generalno nagnuti prema SI, unutar propusnih članova dolazi do nakupljanja podzemne vode (Sl. 3).

Tečenje podzemnih voda u slijedu klastičnih naslaga kakav je fliš najvećim je dijelom paralelno slojevima, dok je strujanje poprečno na slojeve znatno nižeg intenziteta i pojavi ljuje se samo u zonama izrazite tektonske razlomljenosti (pukotinske i/ili rasjedne zone). Litološke članove istraživane flišne formacije moguće je prema vodopropusnosti podijeliti u tri glavne skupine:

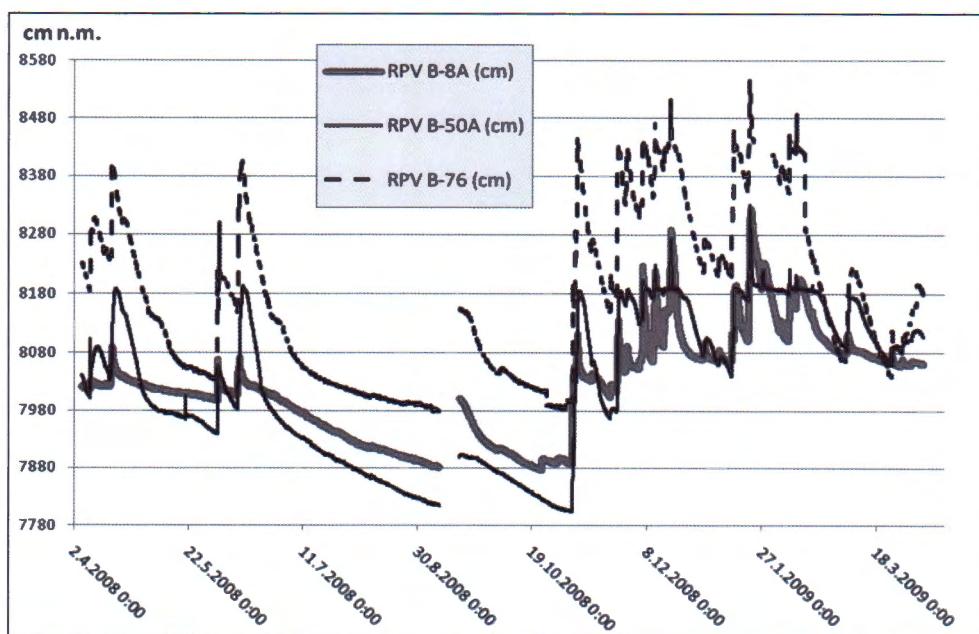
- Propusna stijenska masa – relativno propusni članovi unutar flišnog kompleksa. U ovu skupinu uvršteni su kalkareniti i tamno sivi lapor s numulitima;
- Djelomično propusna stijenska masa – tu se ubrajaju vrlo heterogena debritna serija i glinoviti vapnenac (kalksiltit);
- Slabo propusna stijenska masa – stijene od vrlo slabe propusnosti do gotovo nepropusne stijenske mase. Tu se ubrajaju kalcitični lapori (tupina) i izmjene lapora i pješčenjaka.

Kako su propusni litočlanovi (kalkareniti i tamno sivi lapor s numulitima) prostorno povezani i kontinuirano se pružaju uzduž oba dva kamenoloma, moguće je zaključiti kako se radi o jedinstvenom flišnom vodonosniku. Glinoviti vapnenac i debritna serija (djelomično propusni članovi) također su prostorno povezani s vodonosnim slojevima, ali su ipak znatno niže hidrauličke vodljivosti. Opažanja razina podzemnih voda su obavljana kontinuirano automatskim mjeračima (tzv. logerima) tipa Eijkelkamp Diver TD, u trima hidrogeološkim bušotinama. Sve tri bušotine smještene su u „vodonosnom“ horizontu: B-8A prolazi kroz gline

viti vapnenac (kalksiltit), kalkarenit i tamno sivi lapor s numulitima. B-50A i B-76 kroz glinoviti vapnenac (kalksiltit) i kalkarenit.

Prilikom pokusnog crpljenja bušotine B-8A zabilježen je određeni utjecaj na više stotina metara bočno (zapadno) udaljenu buštinu B-3, dok obližnje bušotine na južnoj strani platoa Sv. Juraj – hidraulički odvojene od glavnog vodonosnika vrlo slabo propusnim laporovitim naslagama (tupina i izmjena lapora i pješčenjaka) – praktično nisu reagirale na crpljenje. U njima su razine podzemne vode niže djelomično zato što je taj dio stijenske mase pod utjecajem drenažnog tunela, a djelomično zbog same morfologije padine. Razine podzemne vode u „vodonosnom“ slijedu slojeva približno variraju od 78 do 84 m n.m., ovisno o hidrološkim prilikama (Sl. 4). Na južnoj strani platoa Sv. Juraj, u slabo propusnoj stijenskoj masi zabilježene su znatno niže razine podzemne vode, približno od 65 do 72 m n.m., što je u ovome dijelu terena posljedica utjecaja drenažnog tunela. Ovakav podatak upućuje na lokalno moguću prisutnost podzemne vode i u slabije propusnim litološkim članovima. Ona se procjeđuje iz bolje propusnih slojeva. Na samome platou Sv. Juraj najvećim dijelom godine postoji „ujezerena“ površinska voda. Praktično, riječ je o svojevrsnom „izdanku“ podzemne vode, jer se prema podatcima opažanja u B-8A razina vode nalazi približno na istoj koti. U sušnim mjesecima razina vode se spusti i lokva presuši, no i tada je vidljivo kako je podzemna voda vrlo blizu površini terena jer je tlo vlažno i obrasio.

Opisana hidrogeološka situacija može se bočno proširiti cijelom dužinom eksplotacijskog polja, po vodonosnim litološkim članovima. Određena odstupanja su ovisna o lokalnim prilikama vezanim uz razlomljenost stijenske mase, debljinu vodonosnih paketa i utjecaj odvodnjavanja vezan uz morfološka udubljenja ili poprečno/dijagonalne rasjede. Sjeverno od vodonosnog slijeda naslaga nije bilo zabilježeno



Slika 4. Kolebanje razine podzemne vode u trima hidrogeološkim bušotinama tijekom jedne godine.
Figure 4. Fluctuation of groundwater levels in the three hydrogeological boreholes during one year.

nih pojava podzemne vode tijekom istraživačkih bušenja za bilo koju namjenu. Neposredna sjeverna granica vodonosnika je sloj tupine koji je vodonepropustan, a dalje sjeverno od njega se nastavljaju slabo propusne izmjene laporu i pješčenjaka. Analogijom sa situacijom na području platoa Sv. Juraj, i u slabo propusnim stijenama moguća je prisutnost podzemne vode, a kako je stijenska masa niske hidrauličke vodljivosti, vodno lice je nagnuto tako da prati morfologiju padine. Ukoliko ta podzemna voda i postoji, riječ je o relativno malim količinama. Međutim, ni u kojem slučaju ne smije se zanemariti procjeđivanje kroz ove vrlo slabo propusne slojeve prema „vodonosnim“ slojevima i u izračunima stabilnosti prisutnost ove podzemne vode mora se uzeti u obzir.

Pokusno crpljenje načinjeno u rujnu 2008. u vrijeme pravih hidroloških minimuma i nakon dugotrajne suše ukazalo je na postojanje zaliha podzemne vode, te su sniženja prilikom crpljenja s nešto više od 2 L/s bila relativno niska. Pri crpljenju s maksimalnim količinama (nešto iznad 2 L/s) na dvije istraživane bušotine (B-8A i B-76) po bušotini je iscrpljeno više od 1000 m³ podzemne vode u samo tri dana crpljenja. Na temelju obrade crpljenja u koracima (tzv. step-drawdown test) prikazano je kako su na bušotini B-8A moguće čak crpne količine više od 10 L/s. Na bušotini B-76 crpne količine ipak treba ograničiti ispod 5 L/s jer su prisutne znatne turbulencije u podzemlju i strujanje je slično onome u krškim vapnenačkim terenima. Pokusna crpljenja konstantnom količinom su obrađena orientacijskim izračunom hidrauličkih parametara Thiemovom metodom, koja je zbog svoje jednostavnosti pogodna za heterogene, pa čak i krške uvjete strujanja; ali joj rezultate treba shvatiti samo kao približne, orientacijske vrijednosti – unutar „reda veličine“. Tako je izračunata hidraulička vodljivost (K). Vidljivo je da je stijenska masa oko bušotine B-8A najpropusnija (prvo crpljenje $K=2 \cdot 10^{-4}$ m/s, drugo $K=5,5 \cdot 10^{-5}$ m/s). Ovdje su rezultati upitni jer prvi put gotovo da nije postignuto sniženje, a drugi put je sniženje vrlo polako napreduvalo tijekom višednevног crpljenja, no nije došlo do potpunog ustaljenja razine. To upućuje na mogućnost određenog „rudearenja“ podzemne vode, tj. odvodnjavanja zaliha. Druga crpljena bušotina jest B-50A. Ovdje je hidraulička vodljivost najniža i u oba crpljenja bila je unutar reda veličine 10^{-7} m/s. Relativno najkvalitetniji rezultati postignuti su na bušotini B-76, gdje je u oba dva navrata za sve tri crpne količine izračunata hidraulička vodljivost unutar reda veličine 10^{-5} m/s. Ipak, s površnjem crpne količine i odvodnjavanjem površinskih slojeva vodonosnika, hidraulička vodljivost se snižavala, što znači da su slojevi bliži površini terena nešto propusniji. Ta činjenica upućuje na ograničene zalihe podzemnih voda. Tijekom drugog crpljenja (pri crpljenju bušotine B-76) došlo je do obilnih padalina, koje su podigle razinu podzemne vode znatno iznad početne. Usprkos ne-prekidnom višednevnom crpljenju s više od 2 L/s. Vodonosnik se, dakle, vrlo brzo i obnavlja. Utjecaj konstantnog

crpljenja s više od 2 L/s bio je u potpunosti poništen dotocima izazvanim obilnim kišama, koje se vrlo brzo prirodnim jarugama i kanalima slijevaju do platoa i infiltriraju u vodosne horizonte.

Površinski slijev eksplotacijskog polja iznosi nešto više od 4,5 km². Zbog toga što je riječ o vrlo strmom terenu i slabo propusnim flišnim naslagama, oborinske vode se vrlo brzo površinski dreniraju i u vrlo visokom postotku naglo dotječu u područje eksplotacijskog polja, a kako se na samim platoima nalaze relativno propusne naslage, brzo se i infiltriraju u podzemlje. Voda se iz polja drenira dijelom prirodnim putem, a dijelom tunelom plato Sv. Juraj – naselje Smoljevci, odakle se bujičnim tokom usmjerava do mora u području Kaštel Sućurca. Kako nisu zabilježeni značajniji flišni izvori niz padinu južno od kamenoloma, a niti istočno po pružanju propusnih flišnih litočlanova, većina podzemnih voda vjerojatno se drenira u taj i ostale bujične tokove.

LITERATURA

- DAVIS, J.C. (1986): Statistics and Data Analysis in Geology.– John Wiley & Sons, Toronto. Second Edition, 646 p.
- KERNER, F. (1903): Gliederung der Spalatiner Flyschformation.– Verh. geol. R. A., Wien.
- KOCH, G.S. JR. & LINK, R.F. (1980): Statistical Analysis of Geological Data. Vol. 1.– Dover Publications Inc., New York, NY, 296 p.
- LUKŠIĆ, B., PENCINGER, V., OŽANIĆ, M., CRNOGAJ, S., DEDIĆ, Ž. & JURIĆ, A. (2008): Elaborat o rezervama mineralnih sirovina za proizvodnju cementa na eksplotacijskom polju „Sv. Juraj-Sv. Kajo“ – Obnova.– Fond str. dok. HGI, 73/08–1.
- MARINOS, P. & HOEK, E. (2000): Estimating the mechanical properties of heterogeneous rock masses such as flysh.– Bulletin of the Engineering Geology & the Environment (IAEG), 60, 85–92.
- MARINOS, P. & HOEK, E. (2000): GSI-a geologically friendly tool for rock mass strength estimation.– In: Proc. GeoEng2000 Conference, Melbourne, Invited Papers vol. 1, Technomic Publishing Co. Inc., Pennsylvania, 1422–1440.
- MARJANAC, T. (1987): Sedimentacija Kernerove „srednje fliške zone“ (paleogen okolice Splita).– Geol. vjesnik, 40, 177–194. Zagreb.
- MATIJACA, M. & VUJEC, S. (1990): Statistička interpretacija sirovina za cementnu industriju u Splitu.– Rud. geol. naftni zbor, 2, 75–81, Zagreb.
- MIŠČEVIĆ P., TURKOVIĆ, A., ŠTIMAC, D. & ŠTUMBEK-CVITANOVIĆ, N. (1999): Korelacija između PLT-a i jednoosne čvrstoće za lapore. U: JAŠAREVIĆ, I., HUDEC, M. & VUJEC, S. (ur.): Mehanika stijena i tuneli. Zbornik radova, 69–72.
- NAV RATIL, D. & HRŽENJAK, P. (2009): Elaborat o geomehaničkim uvjetima eksplotacije na području eksplotacijskog polja „Sv. Juraj – Sv. Kajo“.– Hrvatski geološki institut, Zagreb.
- SONMEZ, H. & ULUSAY, R. (1999): Modification to the geological strength index (GSI) and their applicability to stability of slopes.– International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 36, 743–760.
- TERZIĆ, J. & LUKAČ REBERSKI, J. (2009): Hidrogeološka istraživanja na području eksplotacijskog polja „Sv. Juraj – Sv. Kajo“.– Fond str. dok. HGI br. 24/09.

Točka 4 – Stop 4

Ležište gipsa Slane Stine kod Sinja Gypsum quarry Slane Stine near Sinj

Željko Dedić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2., 10 000 Zagreb, Hrvatska
(zdedic@hgi-cgs.hr)

Ključne riječi: gips, anhidrit, gornji perm, sabhka, Dinaridi
Key words: gypsum, anhydrite, Upper Permian, sabkha, Dinarides

Ležište gipsa u eksploatacijskom polju „Slane Stine-Karakaćica“ udaljeno je oko 3 km od Sinja u pravcu sjeveroistoka. Nalazi se na području Suhača, na ulazu u selo Karakaćica. Samo ležište (Sl. 1) je smješteno uz, a dijelom i ispod regionalne ceste Sinj-Knin, te uz križanje asfaltnih cesta za Karakašicu, Jasensko i Suhač. Eksploatacijsko polje „Slane Stine-Karakaćica“ ima oblik nepravilnog peterokuta, površine 25,72 ha. Središnji dio površinskog kopa je veličine 200×150 m pružanja SZ-JI. Dno mu je temeljna etaža na koti 340 m.n.v. Trgovačkom društvu „Ciglane-Sinj“ d.d. Sinj dodijeljena je koncesija za izvođenje rudarskih radova na eksploatacijskom polju „Slane Stine-Karakaćica“.



Slika 1. Ležišta gipsa Slane Stine sjeverno od Sinja, sjeveroistočni dio kopa.

Figure 1. Gypsum quarry Slane Stine northern from Sinj. Northern part of pit.

Na temelju istražnog bušenja utvrđeno je da se ležište „Slane Stine-Karakaćica“ sastoji od evaporitnih naslaga visokokvalitetnog **gipsa** i podređenog **anhidrita** ograničenog na podinski, neeksploatirani dio ležišta, te na male rijetke proslojke u pojedinim rubnim dijelovima ležišta.

Evaporiti ovog ležišta relativno su homogene strukture, pa se pri eksploataciji u kopu ne urušavaju. U ležištu su dvije vrste naslaga različitih fizičko-mehaničkih obilježja. Jednu vrstu čine evaporiti, a drugu jalovina kao krovina gipsa. Krovina su slabo vezane **pjeskovito-glinovite naslage deluvija**, te **šupljikavo vapnenačko-dolomitne breče tzv. opučnjaci ili „rauchwacke“** kao krupnoklastični, pretežno karbonatni sedimenti s različitim stupnjem povezanosti ulomaka. Krovina je većinom slabije konzistencije. Razlikuju se tri dijela ležišta: jugozapadni uz regionalnu cestu Sinj-Knin s tanjim pokrovom jalovine, zatim jugoistočni pretežno otkriven i sjeveroistočni s više jalovinskog pokriva (Slika 1).

U stratigrafiskom smislu evaporitne naslage, **gips** ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) i **anhidrit** (CaSO_4) izdvojene su kao gornjopermske naslage, dok su kvartarne starosti opučnjaci te deluvijalni i aluvijalni nanosi. U sklopu evaporitno-klastične serije bilježimo manje pojave eruptivnih stijena.

Gornjopermski evaporiti ležišta su uslojeni, u tankim slojevima (3–8 cm) i sadrže valovitu ali jasno paralelnu laminaciju svijetlih i tamnih gipseva koji su intezivno borani i ispresjecani brojnim rasjedima. Sastoje se od leća, proslojaka i lamina glinovite komponente te manje količine organske supstancije s piritom. Često su trakaste teksture zbog izmjena sivih, svijetlosivih i bijelih proslojaka. Karakteristična je fibrozna struktura uz krupnozrnatu i sitnozrnatu strukturu.

Gips sa lokaliteta Slane Stine sedimentacijski je asociran s tamnosivim dolomitima. U mikroskopskim preparatima uzorci gipsa predstavljaju srednjo do krupnozrnaste mozaične agregate i kristale gipsa, ranodijagenetski dolomit te fragmentirane lamine dolomikrita, a katkada i mikrita s piritom, te nakupine, gnijezda karbonata, potiskivanih gipsom ili poikilitiski uklopljenih u gips. Najveći broj zrnaca gipsa su izduženih, fibriznih i neravnih rubova, dok su prizmatski idiomorfni kristali znatno rjeđi. Kao akcesorni mineral opažen je barit te pojedinačni kristali autigenog kvarca.



Slika 2. Primjer enterolitnog boranja unutar ležišta Slane Stine.
Figure 2. Example of enterolithic folding within Slane Stine deposit.

Karbonatne šupljikave breče tzv. opučnjaci ili „rauch-wacke“ su visoko porozne, šupljikave, celularne breče sastavljene od varijabilnih udjela nesortiranih, nezaobljenih i po površinama i uglovima korodiranih odlomaka vapnenaca, ranodijagenetskih dolomita, dedolomita i evaporita (gipsa i anhidrita).

Opučnjaci Slanih Stina općenito su neuslojeni, izgledaju poput šljake, odlomci su nezaobljeni ili subangularni smeđe tamnosive boje. Karbonatne šupljikave breče sadrže odlomke dolomita koji su obično manje ili više dedolimitizirani (kalcitizirani), a odlomci evaporita uglavnom su potpuno izluženi, što brečama daje izrazitu šupljikavost. Osim odlomaka evaporita često su izluženi i odlomci dedolomita ili iz njih drobljenjem ili mehaničkim raspadanjem odstranjena drobiva dedolomitna masa, a nastali kalupi-šupljine naknadno su djelomice, ponegdje i potpuno ispunjeni kalcitnim cementom.

Visoka šupljikavost breče i njihova celularna građa uzrokovani su potpunim otapanjem evaporitnih odlomaka te dedolimitizacijom i potom izluživanjem ili mehaničkim odstranjivanjem drobivnog dedolomita iz potpuno dedolimitiziranih odlomaka. Tvorba šupljina, naime, uglavnom slijedi nakon što su odlomci već bili djelomice ili potpuno cementirani, tj. u breči, a ne prije njihove cementacije u breču. To je očigledno po tome što je cement uglavnom potpuno očuvan od izluživanja i što su šupljine prave kalupne šupljine odlomaka.

Eruptivi su određeni kao dijabaz-spiliti, kao manje pojave, često morfološki istaknute i čunjasta oblika. Glavni sastojci eruptiva su hornblenda, augit, albit i prenit, a kao sekundarni nalaze se minerali nastali kasnijim procesima kaolinitizacije i sericitizacije.

Krovinski jalovinski pokrivač-deluvijalni nanos, direktno naliježe na naslage gipsa i predstavlja fizički dezinte-

grirane ostatke klastita i karbonata permske starosti s vrlo kratkim transportom. Nanos aluvijalnog karaktera izgrađuje gornji pokrivač, a sastoji se od sitnozrnatog glinovito-pješkovitog materijala, koji je po sastavu i podrijetlu naglašeno heterogen i duže transportiran.

Gornjopermski evaporiti i prateći karbonati te sitnozrnati klastiti središnjeg dijela Dinarida (središnja i sjeverna Dalmacija, Lika i sjeverozapadna Bosna) nastali su u evaporacijskim uvjetima playa, obalnih sabkhi i periplimnih okoliša duž rubnog dijela epikontinentalnog mora.

Na evaporitnim sedimentima Vanjskih Dinarida provedena su određivanja izotopnog sastava sumpora u uzorcima gipsa, uzorci potječu uglavnom s izdanaka, i svi sadrže male količine anhidrita, kalcija, sulfata i netopljivog ostatka. Među analiziranim uzorcima gipseva Slanih Stina izotopne vrijednosti jasno upućuju svojom veličinom i ujednačenošću $\delta^{34}\text{S}$ na permsku starost i izotopno homogen sulfat u sedimentacijskom bazenu.

Evaporiti nastaju kemijskim izlučivanjem iz prirodno visokokoncentriranih otopina ili brina nakon snažna isparavanja ili evaporacije. Petrološki najvažniji i najčešći evaporitni sedimenti, uz ranodijagenetske dolomite, jesu gipsevi, anhidriti i soli. Izlučivanje gipsa i anhidrita iz morske vode je u ovisnosti s povišenjem koncentracije soli zbog isparavanja ili pak znatnim povećanjem temperature. Najveći dio gipsa i anhidrita izlučuje se iz morske vode u izoliranim bazenima kad je isparavanje toliko da joj je volumen smanjen na svega 30 % od prvotnog, a njezina gustoća povećana s 1,025 na 1,126 do 1,214 g/cm³. Uz stalno smanjivanje prostora sedimentacije na rubnim dijelovima bazena mogu se nastati debele naslage anhidrita. Postupnim procesima hidratacije anhidrit prelazi u gips ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$), taj je proces moguć uslijed djelovanja padalinskih voda, ili iz drugih izvora u potpovršinskom dijelu kopna.

Procesi hidratacije u gips i dehidratacije u anhidrit mogu se u istim stijenama višestruko ponavljati. Pri tome proslojci anhidrita i gipsa te tanke lamine ranodijagenetskog dolomita, glinovite i organske tvari tvore raskinute ili plisirane lamine, gnijezda i svinute trake. To je tzv. enterolitno boranje (enterolithic folds) slično tektonskim boranjima, posljedica re-kristalizacijskih i kemijskih promjena volumena Ca-sulfata zbog stezanja i rastezanja pri hidrataciji i dehidrataciji, tj reverzibilnih prijalaza anhidrita u gips i obrnuto (Slika 2).

Hidratacijom anhidrita u gips povećava se volumen evaporitne stijene za 38%, što je praćeno snažnim naprezanjima i dijapirizmom tj. utiskivanjem gipsa u okolne stijene, obično u krovinu evaporita. Pri procesu enterolitnog boranja, zbog bitne razlike u stupnju plastičnosti gipsa i proslojaka ili lamina dolomita koje sadrže **sabkha-anhidriti**, nerijetko dolazi do pucanja ili potpunog razaranja debljih dolomitnih lamina (Slika 2). Udio dolomita u **sabkha-anhidritima** je znatno manji od prvotnog udjela, jer je dolomit potisnut procesima ranodijaganetske anhidritizacije već u **sabkhi** te pri hidratacijskim i dehidratacijskim procesima enterolitnim boranjima i dijapirizmom. Kod dijapirizma se kreće uglavnom gips, dok dolomit ostaje i osiromašuje se gipsom, što je razlog manje količine dolomita u **sabkha-evaporitima** gornjeg perma Slanih Stina.

Planiranim godišnjom proizvodnjom gipsa iz ležišta „Slane Stine-Karakaća“ u visini od 100 000 t, opskrbljuju

se cementare u Solinu, Koromačnom i Našicama. Korisna gipsno-sirovinska komponenta ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) u ležištu odlikuje se visokim postotkom koji u prosjeku za ležište iznosi 88,18%. Štetne sirovinske komponente su zanemarive, posebice jer se glavni dio gipsnih rezervi isporučuje cementarama.

LITERATURA

- GABRIĆ, A., ŠINKOVEC, B., SAKAČ, K. & KULJAK, G. (2002): Ležišta gipsa u Republici Hrvatskoj.– Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 14, 21–36.
- ŠUŠNJARA, A., SAKAČ, K., JELEN, B. & GABRIĆ, A. (1992): Upper Permian Evaporites and Associated Rocks of Dalmatia and Borderline Area of Lika and Bosnia.– Geol. Croatica, 45, 95–114.
- 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 Bosnia).– Geol. Croatica, 45, 115–126.
- ŠIFTAR, D. (1986): Starost evaporita u području Sinj-gornji tok Une – Geol. vjesnik, 39, 55–60.
- DOLENC, T. (1986): Raziskava izotopske sestave O, C in S.– Fond stručne dokumentacije HGI-a, 218/86.
- ŠČAVNIČAR, B. (1986): Mikroskopska istraživanja klastita i sulfata iz područja Sinja, Vrlike i Kosovog polja.– Fond stručne dokumentacije HGI-a, 215/86.
- TIŠLJAR, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita.– Institut za geološka istraživanja, 1–246, Zagreb.

Točka 5 – Stop 5

Dolina rijeke Krčić i izvor rijeke Krke The Krčić River valley and river Krka spring

Renato Buljan & Ante Pavičić

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2., 10 000 Zagreb, Hrvatska
(rbuljan@hgi-cgs.hr; apavicic@hgi-cgs.hr)

Ključne riječi: krški izvori, hidrogeološki odnosi, sedrene barijere, glacijali, erozijski procesi

Key words: karst springs, hydrogeological setting, tufa barriers, glacial periods, erosional processes

Slap Krčić i izvor rijeke Krke (Sl. 1) nalaze se u dolini Krčić oko 500 m od Kninskog polja, 2,6 km istočno od centra Knina kod naselja Kovačić nedaleko magistralne ceste Knin–Vrlika–Sinj. Dolinom Krčić, dužine petnaestak kilometara, prolazi lokalna makadamska cesta Knin–Kijevo–Vrlika, izgrađena prije dvjestotinjak godina u vrijeme Napoleona, a obnovljena za Austrougarske.

Razvoj doline Krčića tektonski je predisponiran, ali najviše je vezan uz postojanje tektonske depresije Kninskog polja koje ima hidrogeološku ulogu erozijske baze (baze okršavanja) za okolne vode. Slap Krčić je 22 metara visok vodopad kojim se povremena rijeka obrušava u Krku. Nazi-

vaju ga još Veliki buk i Topoljski buk. Na samom izvorištu tok Krčić izgleda kao spoj nekolicine malih potocića koji se jedva naziru (procijenjene izdašnosti 700 l/s). Idući nizvodno njegov tok (ukupne duljine 10,5 km) na više mesta poprima izgled kanjona koji sadrži 8 slapova i 10 jezera. Krčić je povremen tok – u pravilu presuši u 8 i 9 mjesecu. Prostor uz rječicu je 1964. godine kategoriziran kao geomorfološko-hidrološki rezervat.

Geomorfologija šire okolice područja doline Krčić i izvora Krke ima izrazita krška obilježja. Glavne morfološke jedinice imaju dinarski pravac pružanja, SZ–JI. Današnji morfološki oblici orografskih nizova Plješivica–Dinara–Ka-



Slika 1. Slap Krčić obrušava se u izvor Rijeke Krke.
Figure 1. The Krčić waterfall falling into the river Krka spring.

mešnica, Svilajski Kozjak-Svilaja, te polja između njih i zapadno od njih dinaridskog su pružanja, SZ–JI, podudaraju se s temeljnim geološkim strukturama, što je posljedica tektonskih pomicanja. Kninsko polje sa zapadne strane ima pravac pružanja S–J.

Procesi okršavanja (erozija, korozija) i akumulacija kvarternih naslaga dodatno su uvjetovali oblikovanje današnjeg reljefa. Morfološki se u okolini doline Krčić jasno ističu tri reljefne cjeline: visoko planinsko područje, krška zaravan i krško polje.

Visoko planinsko područje, masiv Dinare, zauzima sjeverni dio sljevnog područja izvorišta Krčić i Krke. Dominantno je izgrađeno od vapneničke i dolomitne, dobro uslojene i tektonski razlomljene stijenske mase mezozojske strossi te različitih naslaga kvartara.

Dolina Krčić izgrađena je od dobro uslojenih do laminiranih gornjotrijaskih dolomita na kojima kontinuirano slijede: vapnenci i vapnenci s dolomitima donjeg dijela lijsa, vapnenci sa školjkašima Lithiotis u srednjem te vapnenci sa znatom količinom glinovite komponente, tzv. "mrljasti vapnenci", gornjeg dijela lijsa. Te naslage grade šire područje južno od Strmice i Bosanskog Grahova (PAVIĆIĆ et al., 1983).

Južnu granicu slijeva predstavlja antiklinalna strukturalna forma Krčić iza koje se nalazi uska dolina rijeke Krčić,

predisponirana rasjedom u sjevernom krilu antiklinale izgrađenom od gornjotrijaskih dolomita i donjojurskih dolomita i vapnenaca u izmjeni. U koritu rijeke na više mjesta je istožena sedra koja u nizvodnom dijelu tvori poznate slapove.

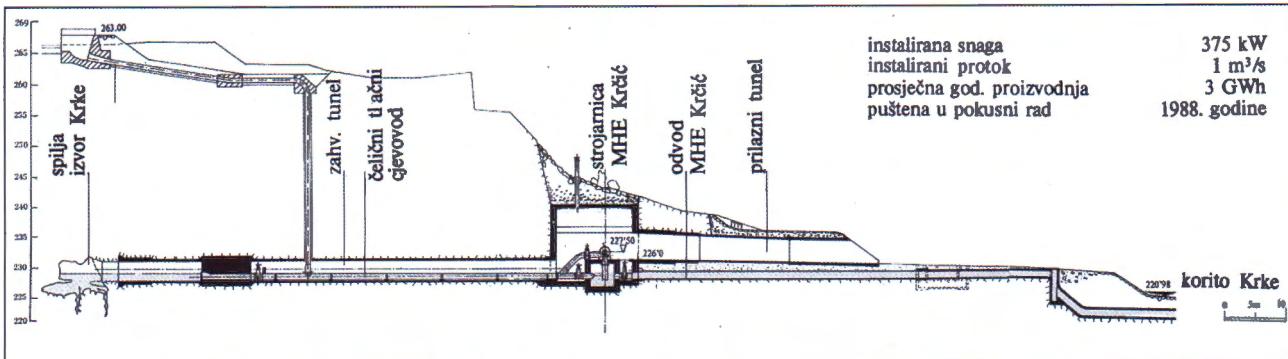
Suhopolje i Polačka krška zaravan nalaze se s istočne i južne strane doline rijeke Krčić. Dijelom se prostiru duž južnog krila dolomitne antiklinale Krčić hipsometrijski na 350–400 m n.m. i razvedene su s nekoliko morfoloških uzvišenja. Maksimovića glavica (531 m) predstavlja najviše uzvišenje tjemene dolomitne antiklinalne strukture Krčić. Glavno obilježje karbonatne zaravni su brojne kružne, ovalne i izdužene plitke ponikve različitih dimenzija, često vezane u nizove ponikava, izdužene i s dodirom. Prostorni raspored i učestalost ponikava je pokazatelj tektonske aktivnosti koja duž pukotina i rasjeda intenzivira površinsku okršenost karbonatnih stijena.

Kninsko polje nalazi se sa zapadne strane krške zaravni, kanjona Krčić i izvora Krke, hipsometrijski na 200–250 m n.m. Izgrađeno je od jezerskih sitnoklastičnih naslaga i aluvijalnih pjeskovito šljunkovitih naslaga ukupne debljine preko 150 m. Materijal za taloženje klastita nastao je erozijom okolnih izdignutih kopnenih područja. Specifičnost tog polja je njegov pravac pružanja S–J, a prijelaz s karbonatne krške zaravni u polje je relativno strm – tektonski predisponiran.

S istočne strane slijev Krke graniči sa slijevom izvora Cetine u Paškom polju. Granica se pruža od Validžića preko Runjave glave (1.160 m), duž grebena Ošljak (1.698 m) do vrha Dinara (1.830 m) i dalje u smjeru Sjedinovaca. To je podzemna linijska razvodnica po litostратigrafskoj granici između osrednje vodopropusnih malmskih vapnenaca u izmjeni s dolomitima i vodopropusnih donjokrednih vapneničkih naslaga (BULJAN et al., 2001). Sa zapadne strane slijeva izvora Krke nalazi se sljepno područje rijeke Butižnice, a s južne Kosovčice, koje se i same ulijevaju u rijeku Krku.

Stupanj tektonske destrukcije karbonatnih naslaga jedan je od najznačajnijih čimbenika koji izravno utječe na intenzitet procesa okršavanja, stvaranja šupljina u karbonatnom podzemlju, a samim tim i na tečenje, kako s površine u podzemlje tako i podzemljem prema izdašnim krškim izvorima, u ovom području Krčića, Krke (1.300–2.000 l/s), te Lopuškog vrila (80–350 l/s), Kosovčice (50–150 l/s), Crnog vrila (80–160 l/s), Šegotina vrila (50–120 l/s) i Šimića vrila (115–550 l/s, zahvaćeno za vodoopskrbu Knina) koji izviru uz istočni rubni dio Kninskog polja.

U području planina Dinare, Plješvice, Ilice, kao i na širem prostoru Dinarida, najznačajnije tektonske deformacije uzrokovala je tzv. "pirenejska orogenetska faza" na prijelazu iz oligocena u miocen. Tada je dugotrajnim intenzivnim djelovanjem regionalnog stresa u pravcu SI–JZ izazvana kontrakcija prostora već ranije diferencirane mezozojske karbonatne platforme, uslijed čega je nastalo boranje naslaga, zbog krtosti karbonata njihovo pucanje i čitav niz ploha subdukcije regionalnog značenja. Posljedica tih regionalnih podvlačenja je dodatno izdizanje prostora današnjih



Slika 2. Shematski prikaz izvora Krke i spiljskog kanala u kojem se nalazi Mala hidroelektrana Krčić.

Figure 2. Schematic description of the river Krka spring with a cave channel containing small hydroelectric plant of Krčić.

Dinarida i glavno strukturno oblikovanje reljefa s dinaridskim pravcem pružanja SZ–JI.

Krajem miocena započinje promjena pravca globalnog stresa iz smjera SI–JZ u približno S–J. Ta orientacija stresa traje i danas. Neotektonski pravac stresa uvjetovao je destrukciju dinaridskih struktura. Usljedila su relativna izdizanja i spuštanja tektonskih blokova, fleksurna svijanja, subhorizontalni sмиčni pomaci, rotacije tektonskih blokova i druge deformacije, posljedica čega je različit stupanj dezintegracije osnovnih dinaridskih struktura. Promjene nastale u neotektonskom ciklusu, koji još uvijek traje, uz klimatološke promjene (oledbe) u kvartaru i procese okršavanja, imaju presudan utjecaj na današnji sustav tečenja i akumulacije vode u krškom podzemljtu, na poniranje površinskih i izvirnje podzemnih voda.

Dominantna struktura duž kanjona Krčić je istoimena antiklinala. Jezgra antiklinale Krčić izgrađena je od dolomita gornjeg trijasa, a u krilima se nalaze vapnenci i proslojci dolomita jurske i kredne starosti. Antiklinala je sa sjeverne strane tektonski reducirana rasjedom generalnog pružanja istok – zapad. Duž tog rasjeda formiran je tok Krčića. Usljed tektonske destrukcije, naslage u sjevernom krilu antiklinale su ustrmljene pod kutevima nagiba 40–80°, a južno krilo je blaže nagnuto u prostoru, pod kutevima 15–45°. Antiklinala Krčić ispresjecana je brojnim poprečnim rasjedima generalnog pružanja S–J, okomito na os strukture, s dominantno lijevom subhorizontalnom komponentom pomaka u prostoru (lijevi poprečni sмиčni rasjedi; BULJAN et al., 2002).

Korito rijeke Krčić i prateća dolina detaljno su geološki istraženi tijekom radova za idejni projekt hidroelektrane Krčić. Uočeno je da osim sedre današnjeg slapa Krčić postoji sedreni sedimenti i nizvodno uz tok Krke na rubnom istočnom dijelu Kninskog polja koje položajem nadvisuju današnji slap za 30 m. Sedra nastaje iz vode zasićene kalcijevim hidrogenkarbonatom. Izlaskom ugljičnog dioksida iz vode dolazi do precipitacije kalcijevog karbonata po vodonosnom bilju i po koritu toka. Razvijena su dva tipa sedre: čvrsta kamena sedra šupljikave strukture taložena u riječnim barijerama preko kojih nastaju slapišta i prašinasta sedra taložena u jezercima uzvodno od barijera.

Radiokarbonskom analizom ^{14}C sedrenih sedimenta na uzorku iz rubnog dijela slapa Krčić određena je starost 4.500 godina, a u potkopu slapa starost 12.000 godina. Na

uzorcima sedre uzetim iz rubnog dijela Kninskog polja koji položajem nadvisuju današnji slap za 30 m utvrđena je starost 30.000 godina. Na osnovi toga i analize naslaga u polju moglo se zaključiti da se usijecanje doline Krčića odvijalo u dvije faze (PAVIĆIĆ & FRITZ, 1986).

Usijecanje doline Krčić nastalo je prije i tijekom erozijskih procesa u glacijalu riss. Nakon njega, u interglacijalu riss-würm trajala je sedimentacija sedre čiji su ostaci sačuvani na bokovima doline i u rubnom dijelu Kninskog polja. Prema ostacima sedre, u pleistocenu je na tom mjestu postojao slap viši od današnjeg za oko 30 m preko kojeg se voda obrušavala s visine od 50 m duž slapišta širokog 750 m.

Tijekom zadnjeg glacijala (erozijski procesi u glacijalu würm) uslijedila je destrukcija ondašnjih sedrenih sedimenta i dodatno produbljavanje korita Krčića do današnje dubine. U holocenu, nakon würma, započinje ponovno nakupljanje sedre i rast slapa Krčić, što traje i danas, a njegova visina iznosi 22 m.

Drugom fazom usijecanja doline Krčić u karbonatne stijene iniciran je postanak izvora Krke. Po svom postanku izvor Krke je mlađi od doline Krčića i ostalih izvora uz istočni gornji dio ruba Kninskog polja (Šimića, Šegotino i Crno vrilo). Postanak izvora Krke vezan je uz najdublje usijecanje doline Krčića u karbonatne naslage kada su se promjenili odnosi lokalnih erozijskih baza (dubine jače okršenosti naslaga) – nastala je nova lokalna erozijska baza za okolne krške vode. Iz područja sjeverno od antiklinale u kojoj je usječena dolina Krčić, voda je duž izrazitih poprečnih i diagonalnih rasjeda tekla u smjeru novoformirane doline koja je tako postala lokalna zona dreniranja za dio vode istočno od Kninskog polja. Uz geološke i strukturno-tektonске, nastali su i hidrogeološki uvjeti za postanak užaznog izvora rijeke Krke u sjevernom rubnom dijelu doline Krčić. Izvor Krke nalazi se u desnom boku osnovne doline Krčića (bez sedrenih naslaga), hipsometrijski je neznatno viši od dna najdubljeg dijela korita Krčića, a 10-tak m je viši od istočnog rubnog dijela Kninskog polja. Nastao je u izrazitoj rasjednoj zoni pružanja poprečnog na dolinu Krčić komjom je pomaknuta i lokalna hidrogeološka barijera – dolomitna antiklinala Krčić.

Između slapa Krčić i izvora Krke nalazi se spiljski kanal dužine 130 m. Unutar kanala smještena je malena turbina za proizvodnju električne energije koja radi jedino u vrijeme

visokih voda (Sl. 2). Današnja hidroelektrana je prema projektu HE Krčić trebala raditi samo na količini vode izdvojenoj za biološki minimum toku rijeke Krke kroz Kninsko polje (~1.000 l/s).

LITERATURA

BULJAN, R., RENIĆ, A. & PAVIČIĆ, A. (2001): Izvor Vukovića vrelo. Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarno zaštite crpilišta vodovoda.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.

- BULJAN, R., MARKOVIĆ, T., KAPELJ, S., PAVIČIĆ, A. & LUKAČ, J. (2002): Izvor Lopuško vrelo. Hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarno zaštite crpilišta vodovoda.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A., RENIĆ, A. & KAPELJ, J. (1983): HE Krčić, Idejni projekt.– Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- PAVIČIĆ, A. & FRITZ, F. (1986): Postanak i razvoj doline Krčić i izvora Krke.– Acta carsologica, XIV/XV, (1985-86), 162–172, Ljubljana.

Točka 6 – Stop 6

Hidrogeološke i hidrološke značajke izvorišnog područja Une Hydrogeological and hydrological characteristics of the Una Spring area

Andrej Stroj & Mladen Kuhta

Hrvatski geološki institut, Sachsova 2., 10 000 Zagreb, Hrvatska
(astroj@hgi-cgs.hr; mkuhta@hgi-cgs.hr)

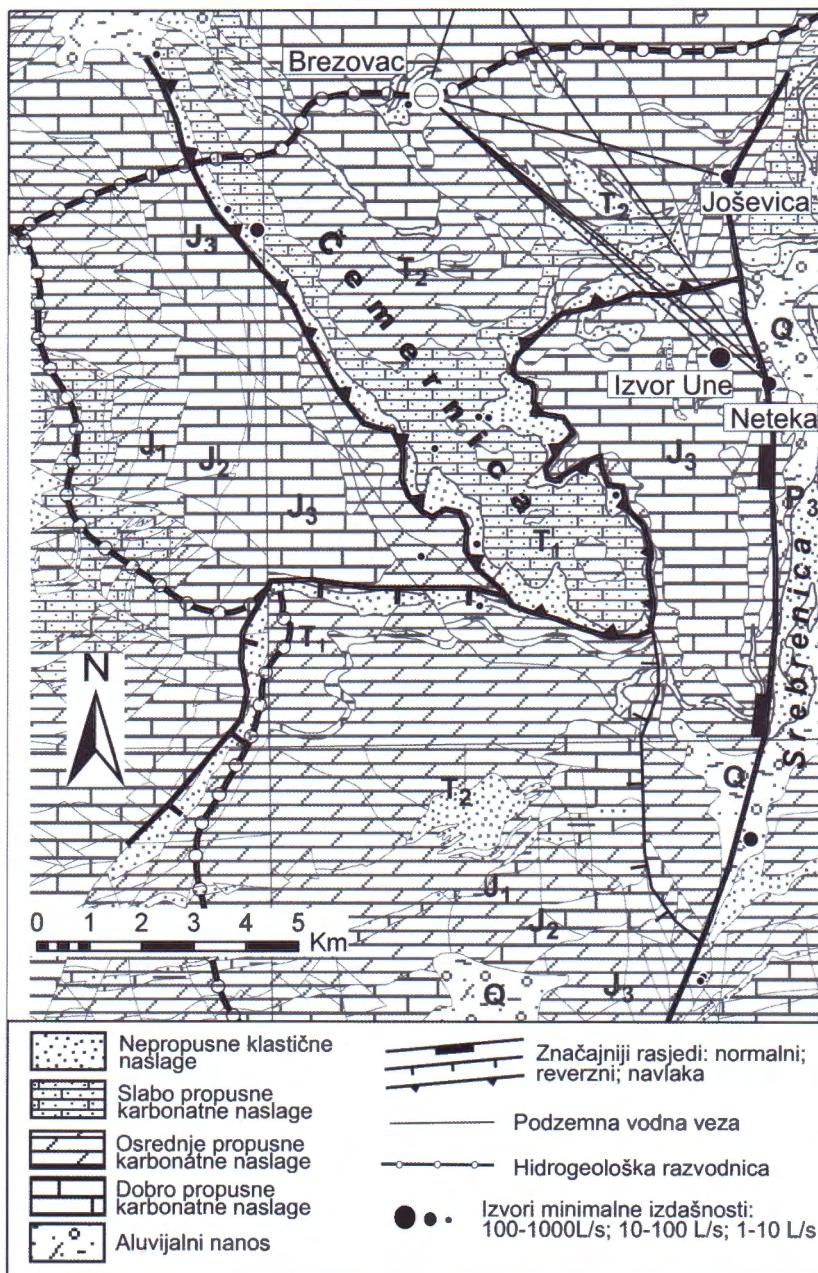
Ključne riječi: krški izvor, hidrogeologija, Una
Key words: karst spring, hydrogeology, Una

Slijev izvorišta Une smješten je u planinskom području jugoistočnog dijela Like. Najviši dio slijeva predstavlja masiv Čemernice čiji se najviši dijelovi nalaze na visini od oko 1300 m n.m., dok je vrelo Une smješteno na visini od 430 m n.m.. Prema kartama izohijeta i izotermi klimatskog atlasa Hrvatske (ZANINOVIĆ et al., 2008), srednja godišnja visina oborina u slijevu iznosi 1650 mm, a srednja godišnja temperatura 6,7°C.

Slijevno područje gornjeg toka Une izgrađeno je pretežno od okršenih karbonatnih stijena i manjim dijelom od ne-propusnih klastičnih stijena koje tvore barijere podzemnim tokovima vode. U slijevu postoje dvije glavne hidrogeološke barijere: prva vezana uz plitku navlačnu strukturu Čemernice s donjotrijaskim klastičnim naslagama u dnu krovinskog dijela navlake i druga uzrokovanu pojmom evapotritno-klastičnog kompleksa naslaga u dolini Srebrenice i Une (Sl. 1). Navlačni kontakt Čemernice gotovo je horizontalan, što omogućuje duboku cirkulaciju vode kroz propusne karbonatne naslage podinskog dijela navlake. Za razliku od navlake Čemernice, evapotritno-klastični kompleks naslaga u dolini Srebrenice i Une tvori potpunu barijeru, koja uvjetuje i pojave najznačajnijih izvora na izvorišnom području Une. Prema opisanim značjkama građe terena može se prepostaviti da hidrogeološki slijev izvorišta Une obuhvaća uz karbonatno područje bližeg zaleđa i udaljenija područja zapadno i jugozapadno od navlake Čemernice. Slijevno područje izvorišta Une relativno je slabo hidrogeološki istraženo, te je položaj razvodnice prema Jadranskom slijevu (slijevu vrela Zrmanje i slijevu Otuče) orientacijskog karaktera.

Jedino trasiranje u slijevnom području gornjeg toka Une izvedeno je prije dvadesetak godina na ponoru u Brezovcu Dobroselskom za potrebe tadašnjeg SIZ-a Una-Sana iz Bihaća. Originalna dokumentacija ovog trasiranja nažalost nije dostupna, te su podaci preuzeti iz izvješća (INCO, 2005). Prema ovim podacima traser se je prvo pojavio na izvoru Ostrovica kod Kulen Vakufa, a tek kasnije na značajnijim izvorima izvorišne zone Une. Nepovoljna antiklinalna struktura terena između ponora u Brezovcu Dobroselskom i izvora Ostrovice, te njihova znatno veća udaljenost u odnosu na udaljenost prema izvoru Une i okolnim izvorima otvara pitanje pouzdanosti rezultata ovog trasiranja. Ipak, u nedostatku drugih trasiranja, na temelju ovih rezultata određen je položaj razvodnice slijevova izvorišta Une i izvora uz zapadnu obalu Une kod Kulen Vakufa. Sva ostala trasiranja podzemnih tokova vode izvedena u okolini slijevnog područja izvorišta Une (ponor u Dnopolju sjeverno od Lapca, ponor Bare u Lapačkom polju, ponor kod Mazina) utvrdila su podzemne vodne veze samo s izvorima uz lijevu obalu Une kod Kulen Vakufa (IPŠA et al., 1984).

Uz kontakt karbonatnih i klastičnih naslaga donjeg dijela navlake Čemernice nalazi se više stalnih izvora. Izdašnost ovih izvora znatno je manja od izdašnosti glavnih izvora u dolini Une i Srebrenice, a slijevno im je područje vezano uz viseci vodonosnik masiva Čemernice koji je s donje strane ograničen spomenutim trijaskim klastičnim naslagama (Sl. 1). Voda koja izvire na ovim izvorima, ponovno ponire u ponornim zonama ubrzo nakon što površinskim tokom dosegne područje karbonatnih naslaga nizvodno od navlačnog kontakta. Za velikih voda prihvati je kapacitet ponornih

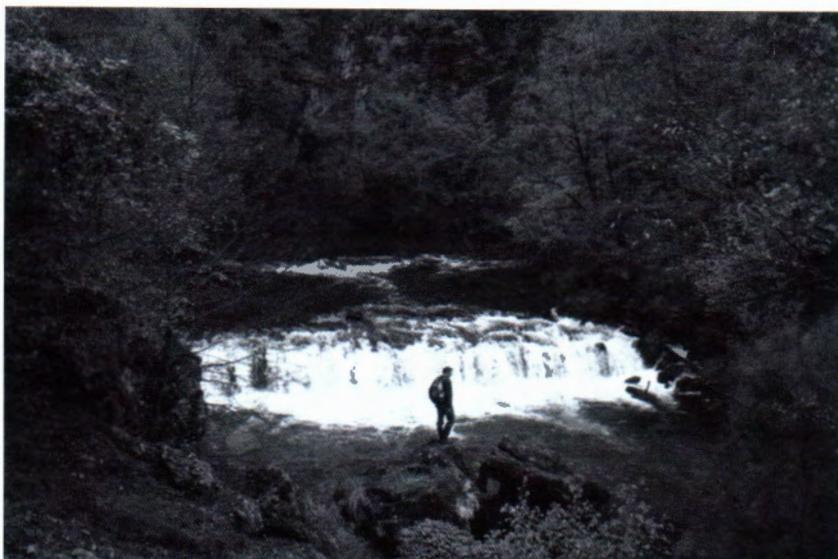


Slika 1. Pregledna hidrogeološka karta slijeva izvora Une.
Figure 1. Hydrogeological map of the Una spring recharge area.

zona premalen, te se formiraju povremeni površinski vodotoci do utoka u rijeku Unu. Najznačajniji vodotoci su Suvaja koja drenira vode izvora smještenih na istočnim padinama masiva Čemernice, te Dabašnica (u donjem dijelu se naziva Srebrenica) koja drenira vode izvora smještenih na zapadnim i južnim padinama istog masiva. U ponornim zonama Suvaje većim dijelom godine potpuno poniru površinski vodni tokovi, te je ovaj vodotok u svom donjem dijelu aktivan samo u kratkotrajnim razdobljima velikih voda. Za razliku od Suvaje, Dabašnica je aktivna tijekom većeg dijela godine, ali dio vode također raspršeno ponire duž korita. Na taj način vode iz višećeg vodonosnika Čemernice nakon izviranja i ponovnog uviranja prihranjuju glavni (odnosno donji) krški vodonosnik, koji se drenira na glavnim izvorima

smještenim uz kontakt s evaporitno-klastičnim kompleksom nasлага u dolini Srebrenice i Une.

Izvor Une nalazi se na kraju dubokog kanjona, usjećenog u vapnencima gornje jure. Izvor ima oblik manjeg jezera širine 30-tak metara iz kojeg koncentrirano izvire voda i formira tok Une (Sl. 2). Uzlaznog je tipa, formiran na kraju potopljenog krškog kanala velikih dimenzija. Prema rezultatima speleoronilačkih istraživanja (KOVAČEVIĆ, 2007) krški se kanal pruža strmo u dubinu od preko 200 metara (Sl. 3 i 4). Ovaj podatak dodatno upućuje na vrlo veliku dubinu okršenosti vodonosnika i cirkulacije podzemne vode u zaledju izvora. Izvor Une nalazi se na visini od 400 m n.m., što je 25 metara iznad razine obližnjih izvora smještenih na samom kontaktu karbonatnih stijena sa nepropusnim evapo-



Slika 2. Izvor Une (foto: M. KUHTA).
Figure 2. The Una spring (foto: M. KUHTA).



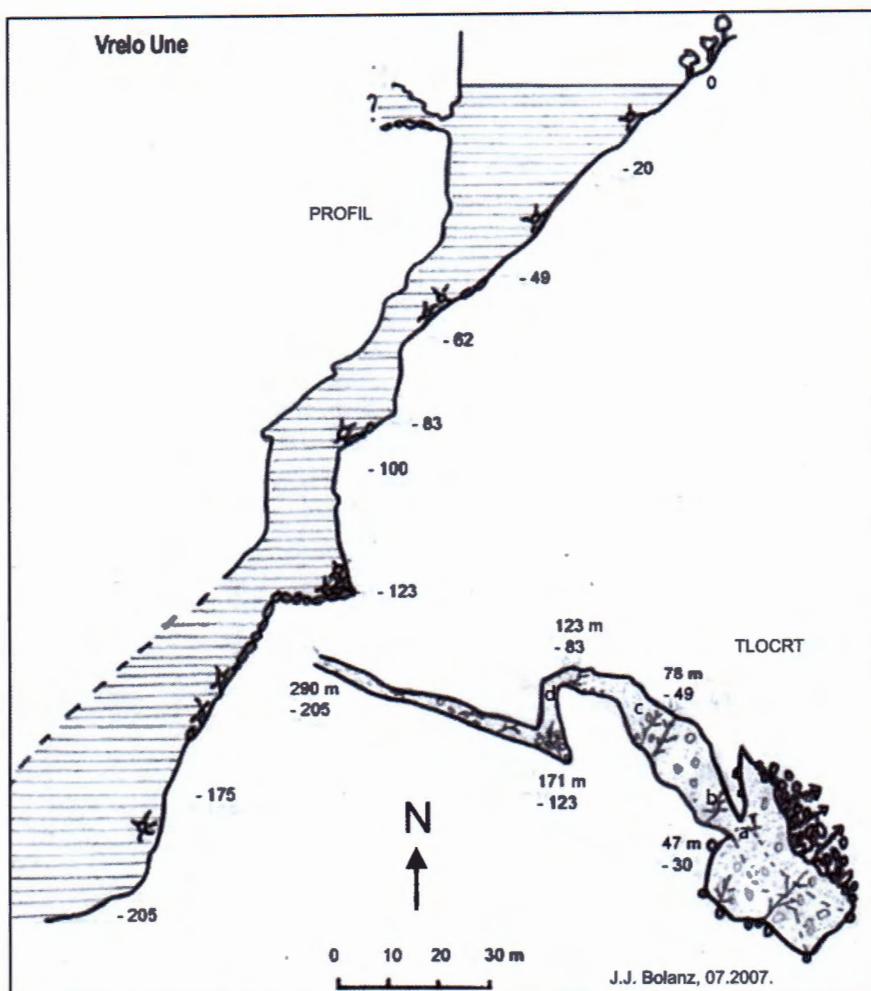
Slika 3. Speleoroničar u dovodnom kanalu izvora (foto: Lorenzzo della VENESIA).
Figure 3. Speleodiver in conveying channel of the spring (foto: Lorenzzo della VENESIA).

ritno-klastičnim kompleksom naslaga uz zapadni rub doline Une i Srebrenice (izvori Mala i Velika Neteka). Tok Une ovu visinsku razliku gubi u 500-tinjak metara dugom kanjonu, nakon kojeg nastavlja dolinom gdje se spaja sa Netekama, Suvajom i Srebrenicom.

Uz izvor Une najznačajniji izvori izvorišnog područja su Joševica, te Mala i Velika Neteka. Izvor **Joševica** nalazi se približno 3,5 km sjeverno od izvora Une na početku doline istoimenog potoka. Formiran je uz tektonski kontakt okršenih karbonatnih stijena i nepropusnih klastično-evaporitnih naslaga na visini od 390 m n.m. Joševica većim dijelom dijeli zajednički slijev s vrelom Une, što je vidljivo iz podataka trasiranja Ponora u Brezovcu Dobroselskom, dok

se vjerojatno dijelom napaja i s područja istočno od slijeva vrela Une. Tijekom nekoliko mjeseci u zimi 2005. i proljeće 2006. godine na izvoru je opažan protok (KUHTA & STROJ, 2006). Minimalni zabilježeni protok iznosio je $0,12 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je maksimalni iznosio $2,59 \text{ m}^3/\text{s}$. Usporedboj s vrijednostima istovremenih protoka izvora Une (2,5, odnosno $90,2 \text{ m}^3/\text{s}$), može se pretpostaviti da su srednji godišnji minimalni protoci Joševice unutar raspona od 0,01 do $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$, dok je zabilježeni maksimum protoka izvora Joševica vjerojatno na razini maksimalnih godišnjih protoka.

Izvori **Velika i Mala Neteka** nalaze se u dolini Srebrenice i Une na visini 375 m n.m., te oko 1 km udaljeni od vrela Une. Izvori su smješteni na rubu zamočvarenog terena u



Slika 4. Profil i tlocrt izvora Une (preuzeto iz KOVAČEVIĆ, 2007).
 Figure 4. Una spring cave survey (from KOVAČEVIĆ, 2007).

blizini ušća Srebrenice u Unu. Oba izvora nalaze se uz tektonski kontakt jurskih vapnenaca i nepropusne klastično evaporitne serije naslaga. Cijeli teren nizvodno od izvora je zamočvaren i djelomično poplavljena, te je vrlo teško procijeniti izdašnost ovih izvora. Protok na izvoru Velika Neteka mjerena je u nekoliko navrata 2005. i 2006. godine (KUHTA & STROJ, 2006), kada su izmjerene vrijednosti u rasponu između 0,10 i 1,02 m³/s. Prema dostupnim podacima geoloških i hidrogeoloških istraživanja ovi se izvori prihranjuju iz istog slijeva kao i izvor Une. Ustanovljen povišeni sadržaj sulfata u izvorskoj vodi upućuje na kontakt podzemnih tokova prema Neteci s anhidritima iz evaporitno-klastičnog kompleksa naslaga u zaleđu izvora.

Usporedbom podataka DHMZ-a o izdašnosti izvora Une s podacima dobivenim opažanjem protoka na izvoru Joše-

vica i povremenih mjerjenja protoka izvora Velika Neteka i vodotoka Dabašnica procijenjeno je da izvor Une drenira 70–80% vode koja se infiltrira u podzemlje na području slijeva (KUHTA & STROJ, 2006). Prema hidrološkoj bilanci površina slijeva izvorišta Une iznosi oko 250 km². Površina slijeva određenog prema geološkoj gradi terena i rezultatima spomenutih trasiranja (Sl. 1) iznosi oko 200 km², što ukazuje na nepreciznost pretpostavljenog položaja hidrogeološke razvodnice prema susjednim sljevovima.

Na izlazu iz kanjona smještena je hidrološka stanica DHMZ-a „Donja Suvaja“. Kako uzvodno od nje nema drugih izvora ili pritoka, podaci o protocima s ove stanice mogu se prihvatiti kao mjerodavni za analizu izdašnosti izvora Une. Stanica je aktivna od 1973. godine do danas, uz prekid od listopada 1991. do travnja 1998. godine (Tab. 1). Wilco-

Tablica 1. Karakteristične vrijednosti protoka vrela Une za razdoblja 1973–1990. i 1999–2006. godina.

Table 1. Characteristic Una spring discharge values for years 1973–1990. and 1999–2006. periods.

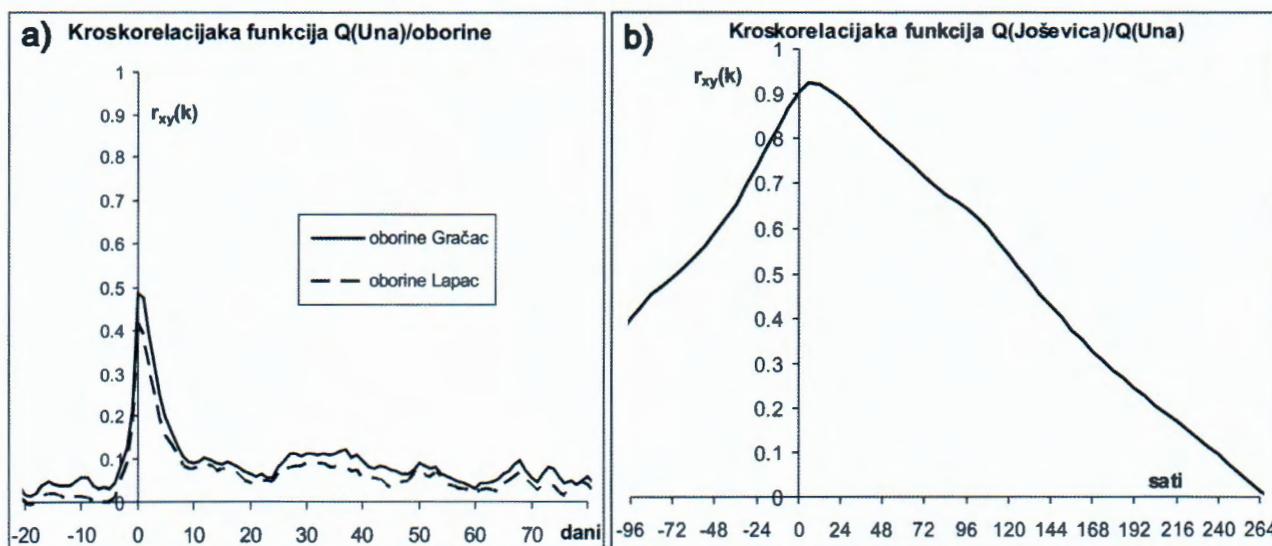
Vremenski niz	Q_{\max} (m ³ /s)	Datum Q_{\max}	Q_{\min} (m ³ /s)	Datum Q_{\min}	Q_{sr} (m ³ /s)
1973–1990	65,70	29.1.1978	0,076	19.10.1975	6,78
1999–2006	90,20	2.1.2006	0,169	18.8.2003	7,93

Tablica 2. Vrijednosti karakterističnih parametara za nekoliko najduljih recesijskih razdoblja hidrograma izvora Une.
Table 2. Values of characteristic parameters of the longest Una spring hydrograph recession periods.

Recesija	Q_{b0} (m^3/s)	a (1/dan)	$W (10^6 \text{ m}^3)$
20.5.–17.10.1985.	5,98	0,034	15,20
8.5.–14.9.2001.	6,38	0,042	13,12
16.4.–4.7.2003.	7,79	0,046	14,63
19.5.–20.8.2005.	8,31	0,043	16,70

xonovim testom (ŽUGAJ, 2000) ustanovljena je nehomogenost nizova maksimalnih i srednjih godišnjih protoka za razdoblja 1973.–1990. i 1999.–2006. godina. Uzrok ove nehomogenosti vjerojatno je promjena načina opažanja protoka (1998. godine postavljen je limnograf na mjernom profilu), te nizove podataka navedena dva razdoblja treba razmatrati zasebno. Maksimalni zabilježeni protok izvora za niz 1973.–1990. godine iznosi $65,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (zabilježen u siječnju 1978.), dok srednji godišnji maksimalni protoci iznose $50,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimalni protok od samo $0,076 \text{ m}^3/\text{s}$ zabilježen je u listopadu 1985. godine, dok srednji godišnji minimalni protok iznosi $0,268 \text{ m}^3/\text{s}$. Srednji godišnji protok za ovo razdoblje opažanja iznosi $6,78 \text{ m}^3/\text{s}$. Za niz podataka iz razdoblja 1999.–2006. maksimalni zabilježeni protok iznosi $90,2 \text{ m}^3/\text{s}$, a zabilježen je u siječnju 2006. Srednji godišnji maksimalni protok iznosi $79,1 \text{ m}^3/\text{s}$, a srednji godišnji minimalni $0,218 \text{ m}^3/\text{s}$. Minimalni protok od $0,169 \text{ m}^3/\text{s}$ zabilježen je u kolovozu 2003. godine. Srednji godišnji protok za ovo razdoblje iznosi $7,93 \text{ m}^3/\text{s}$. Uočljiva je znatna razlika u podacima za protoke u uvjetima velikih voda između niza 1973.–1990. i 1999.–2006. godina. Tako je najmanji maksimalni godišnji protok niza 1999.–2006. veći od najvećeg iz niza 1973.–1990. U podacima za srednje godišnje protoke također je primjetna razlika, dok u podacima za minimalne nema značajnih razlika. Visok odnos minimalnih i maksimalnih protoka izvora Une pokazuje izrazito krški režim podzemnih tokova u zaleđu izvora.

Analiza recesijskih dijelova hidrograma omogućava dodatan uvid u značajke krških vodonosnika (DROGUE, 1972; MARGIN, 1975; ATKINSON, 1977; MILANOVIĆ, 1981; BONACCI 1987; 1993, i drugi), te mogućnost usporedbe s objavljenim rezultatima analize drugih značajnih krških izvora kod nas i u svijetu. Područja recesije hidrograma na kojima je prisutan približno eksponencijalni pad protoka u vremenu opisana su Mailletovom formulom recesije (MAILLET, 1905), te je izračunat kapacitet napajanja W (volumen podzemne vode raspoloživ za odvodnjavanje na početku razdoblja recesije u režimu baznog toka). U tablici 2 prikazani su karakteristični parametri nekoliko najduljih recesija hidrograma izvora Une. Vrijednosti koeficijenata recesije baznog toka Une relativno su visoke, gotovo za red veličine veće od uobičajenih za velike krške izvore (FORKASIEWICZ & PALOC, 1967; MARGIN, 1975; MILANOVIĆ, 1981; BONACCI, 1987; URUMOVIĆ & RUBINIĆ, 2000; LUKAČ REBERSKI, 2008; URUMOVIĆ et al., 2009). Visok koeficijent recesije uvjetuje relativno brzo pražnjenje vodonosnika u razdobljima bez oborina. Kapacitet napajanja W ujednačen je u analiziranim recesijskim razdobljima i varira u rasponu od $13,1$ do $16,7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Treba spomenuti odstupanje od eksponencijalnog pada protoka i prelazak u gotovo konstantan režim istjecanja pri vrlo niskim vrijednostima protoka od oko $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, prisutan kod svih duljih recesija. Mogući uzrok ovoj pojavi je usporeno odvodnjavanje sredina niske propusnosti unutar vodonosnika (klastične i slabo



Slika 5. Prikaz kroskorelacijskih funkcija a) protoka Une i oborina u Gračacu i Donjem Lapcu, i b) protoka Joševice i Une.

Figure 5. Crosscorrelograms of a) Una spring discharges and precipitations at Gračac and Lapac rain gauges and b) Una spring and Joševica spring discharges.

propusne karbonatne stijene trijasa), čije značajke u uvjetima niskih vodostaja imaju pojačan utjecaj na oblik hidrograma.

Ispitivanjem ovisnosti protoka na izvoru Une o oborinama kišomjernih stanica u Donjem Lapcu i Gračacu kroskorelacijskom analizom utvrđena je nešto značajnija ovisnost o oborinama na području Gračaca (Sl. 5a). Ovaj podatak dodatno upućuje na duboku cirkulaciju podzemne vode iz smjera zapada prema istoku ispod viseće barijere Čemernice (Sl. 1). Oblik kroskorelacijske funkcije također ukazuje na srednje kašnjenje krškog sustava u odnosu na oborine kraće od jednog dana. Nagli pad vrijednosti funkcije koji se zauštavlja nakon 10 dana određuje trajanje brze reakcije sustava.

Ispitivanjem odnosa dinamike izvora Une i Joševice pomoću kroskorelacijske funkcije (Sl. 5b) utvrđen je vrlo visok koeficijent korelacije istjecanja na razmatranim izvorima, uz srednje kašnjenje Joševice u odnosu na Unu od 6 do 12 sati. Ovi rezultati potvrđuju prihranjivanje oba izvora iz istog krškog sustava.

LITERATURA

- ATKINSON, T.C. (1977): Diffuse and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain).– *J. Hydrol.*, 35, 93–103.
- BONACCI, O. (1987): Karst Hydrology.– Springer-Verlag, Berlin, 173 p.
- BONACCI, O. (1993): Karst spring hydrographs as indicators of karst aquifers.– *J. Hydrol. Sciences*, 38/1–2, 51–62.
- DROGUE, C. (1972): Analyse statistique des hydrogrammes de décrues des sources karstiques.– *J. Hydrol.* 15, 49–68.
- INCO (2005): Final report. www.irb.hr/en/research/projects/intl/enprojects/ICA2/

IPŠA, D., HANICH, M. & MATIĆ, Ž. (1984): Zaštita izvorišta „Ostrovica“ kod Kulen Vakufa. Hidrogeološki istražni radovi. INA – projekt, OOUR Kompleksna geološka istraživanja.– Arhiv Hrvatske vode, Zagreb.

KOVAČEVIĆ T. (2007): Speleoromilačka ekspedicija „Zrmanjin zov 2007“.– Speleolog, god. 55., SO HPD Željezničar / SK Željezničar, Zagreb.

KUHTA, M. & STROJ, A. (2006): Geološka, hidrogeološka i geo-kemijska istraživanja područja Like. Lokaliteti: Izvorišno područje Une i Baške Oštarije. Izvješće 2. faze istraživanja. Knjiga 2 – Hidrogeološka istraživanja.– Fond str. dok. HGI, Zagreb.

LUKAČ REBERSKI, J. (2008): Hidrogeološka i hidrogeokemijska osnova za definiranje slijeva Gacke i zaštita njenog izvorišta.– Magistarski rad. Rudarsko geološko naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 118 str.

MANGIN, A. (1975): Contribution à l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. – These, Université de Dijon, 124 p.

MILANOVIĆ, P. (1981): Karst Hydrogeology.– Water resources publication, Colorado, 434 p.

FORKASIEWICZ, J. & PALOC, H. (1967): Le régime de tarissement de la Foux de la Vis.– Chronique d'hydrogéologie, 10, 59–73.

URUMOVIĆ, K. & RUBINIĆ, J. (2000): Razvitak izvorišta u funkciji rješavanja vodoopskrbe u Vodoopsrbni sustav Istre.– Hidroprojekt-ing, Zagreb.

URUMOVIĆ, K., DUIĆ, Ž. & HLEVNIJAK, B. (2009): Hidrogeološko značenje koeficijenta recesije na primjeru istarskih izvora.– Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 21, 25–34, Zagreb.

ZANINOVIC, K., GAJIĆ-ČAPKA, M. & PERČEC TADIĆ, M. (2008): Klimatski atlas Hrvatske 1961–1990., 1971–2000.– Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb, 200 str.

ŽUGAJ, R. (2000): Hidrologija.– Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 407 str.

Excursion B3 – Evolution of a Dinaric foreland basin fill: flysch and molasse of North Dalmatia

Ljubomir Babić, Jožica Zupanič & Borna Lužar-Oberiter

Evolution of a Dinaric foreland basin fill: flysch and molasse of North Dalmatia

Ljubomir Babić¹, Jozica Zupanić² & Borna Lužar-Oberiter¹

¹Institute of Geology and Paleontology, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 102a, 10 000 Zagreb, Croatia
(ljubomir.babic@zg.htnet.hr; bluzar@geol.pmf.hr)

²Institute of Mineralogy and Petrography, Department of Geology, Faculty of Science, University of Zagreb, Horvatovac 95, 10 000 Zagreb, Croatia
(jzupanic@gfz.hr)

1. INTRODUCTION

The sedimentary fill of foreland basins stores precious information on the evolution of basin physiography, distribution and changes of depositional settings, as well as relative sea-level fluctuations. In the same time, the sediments record the dynamic interaction of tectonics and sedimentation, so that the evolution of an orogen may be read from foreland basin sediments - the critical source for getting such information. The significance of understanding the sedimentary evolution of foreland basins also derives from the fact that important hydrocarbon reservoirs, including giant fields, have been discovered in foreland basins. Hence, an immense literature has been and is continuously published on foreland basins and manifold aspects of their sedimentary fills. It also includes three special volumes (ALLEN & HOMEWOOD, 1986; DOROBEC & ROSS, 1995; MASCLE et al., 1998).

The North Dalmatian foreland basin fill originated in the context of propagating deformation towards the foreland, so that the deformation and the basin itself were migrating and developing together (e.g. ALLEN & ALLEN, 1990; MIALL, 2000). Ideally, the first sign of approaching nappes is the development of a bulge in the foreland area. It is followed by subsidence, which is faster than the sedimentation rate due to the imposed orogenic load. The process leads to the generation of a deep basin, which receive detritus from the orogen. This stage of evolution is called flysch stage (e.g. FLEMINGS & JORDAN, 1989; ALLEN et al., 1991; CRAMPTON & ALLEN, 1995). When the shortening slows down, the sedimentation rates may outpace the subsidence rates which results in shallow-marine and continental depositional settings. This corresponds to the molasse stage. The foreland basin sediments of N Dalmatia are more than 2.5 km thick, and are known as the Paleogene flysch and molasse of the Dinaric orogen (e.g. CHOROWICZ, 1977; HERAK & BAHUN, 1979; MARINČIĆ, 1981, among others). These sediments represent an important target of research, crucial for obtaining knowledge on the evolution of the relevant basin and the Dinaric orogen. They include a variety of facies and depositional systems including deep-water, slope, shelf, delta, coast, lacustrine and alluvial. The pur-

pose of this excursion is to observe and discuss selected, main features discovered in this basin, which reflect evolutionary stages of the basin history. Although we shall study different continental and marine facies and systems, the emphasis is placed on the character of critical events and main evolutionary stages: what they look like, how they were generated, and what they mean for the stratigraphic evolution of the basin fill. We shall also check interesting lateral changes in sedimentary successions, which resulted from different positions in the basin, as well as from tectonic processes related to the evolution of the orogen.

A considerable number of the excursion stops have been previously described in publications, while the others are here presented for the first time.

2. EVOLUTION OF NORTH DALMATIAN FORELAND BASIN FILL: A SHORT OVERVIEW OF THE MAIN FEATURES

EX indicates features planned to be observed

2.1. Overall situation

The Paleogene foreland basin of N Dalmatia is situated within an imbricate-folded belt stretching along the Outer Dinarides (Fig. 1, 2 and 3). This belt consists of Cretaceous to Eocene platform carbonates, Eocene-Oligocene foreland basin clastics, minor Neogene sediments, and Quaternary deposits (e.g. MAJCEN & KOROLIJA, 1973; MAMUŽIĆ, 1975; IVANOVIĆ et al., 1976, 1978). Towards the inland, the belt is bounded by important Dinaric thrust units. On its Adriatic side, the belt is bounded by the foreland, which is a common foreland to both the Dinarides and Apennines (Fig. 1). The study area was a part of large carbonate platforms during the major part of the Mesozoic to Eocene period (VLAHOVIĆ et al., 2005; KORBAR, 2009). The migration of foreland basins towards the SW, related to the propagation of tectonic deformation of the Dinaric orogen, led to basin formation in the area of the present-day imbricate-folded belt during the Middle Eocene (e.g. IVANOVIĆ et al., 1976; MAMUŽIĆ, 1975).

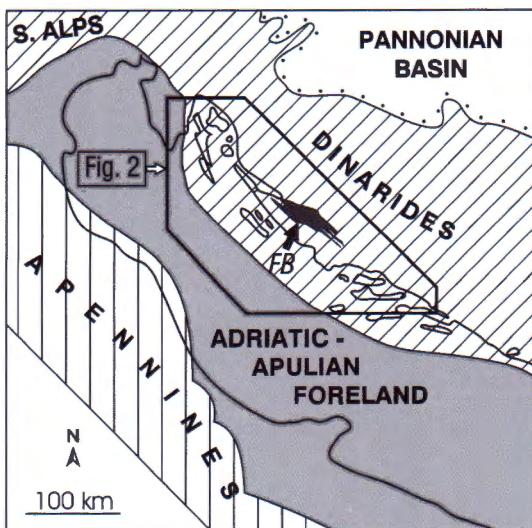


Figure 1. The Dinarides, neighbouring tectonic units and the location of the North Dalmatian foreland basin (FB).

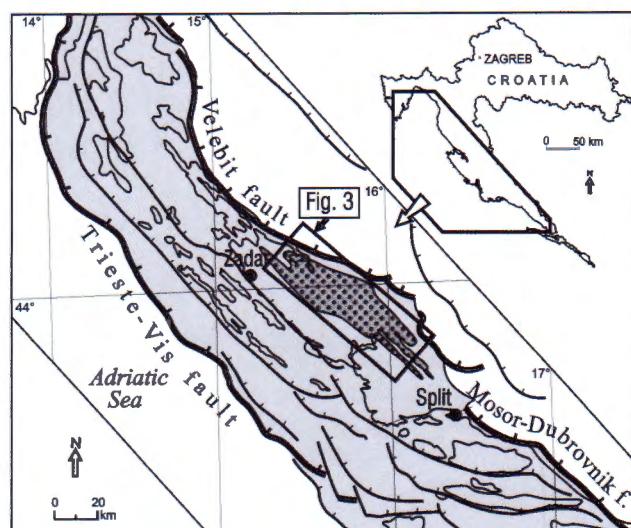


Figure 2. Location of the North Dalmatian foreland basin (dark grey) within the imbricate-folded belt (light grey) which is bounded by important thrust faults. Simplified after PRELOGOVIĆ et al. (2003).

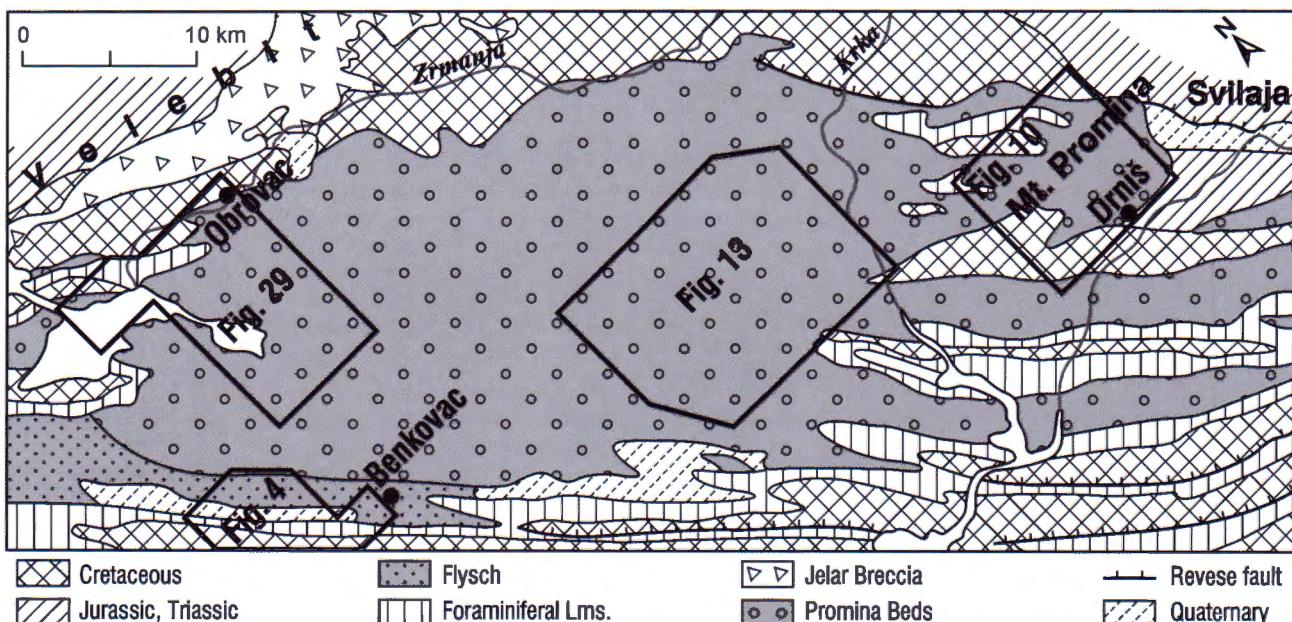


Figure 3. Geological map of the North Dalmatian foreland basin (in grey) and surroundings (partly simplified after SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD, 1970) with location of local maps.

2.2. From foreland platform to foreland basin

The gap between the Cretaceous and Eocene limestones which is marked by karstification and local bauxite deposits is regarded to be a consequence of the forebulge rise. The well known Paleogene limestone succession with successive occurrence of dominant miliolids, *Alveolina* and nummulites (e.g. IVANOVIC et al., 1976; MAMUŽIĆ, 1975), represents a deepening upward ramp limestone succession (*EX*) comparable to the first member of SINCLAIR's (1997) "underfilled trinity" (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2008) (Figs. 4 and 5). The process resulted from higher subsidence

rates compared to the sedimentation rates due to the advance of the orogenic load. The uppermost part of the ramp limestones (*EX*) is characterised by a gradual disappearance of larger foraminifera, increase in the non-carbonate component, and appearance of plankton (SCHUBERT, 1905; IVANOVIC et al., 1976), which indicates the inability of carbonate production to keep pace with the subsidence. This ended with the deposition of hemipelagites which are only a few metres thick, the second member of the underfilled trinity. Its modest thickness contrasts the thick Istrian counterpart ("Globigerina Marls").

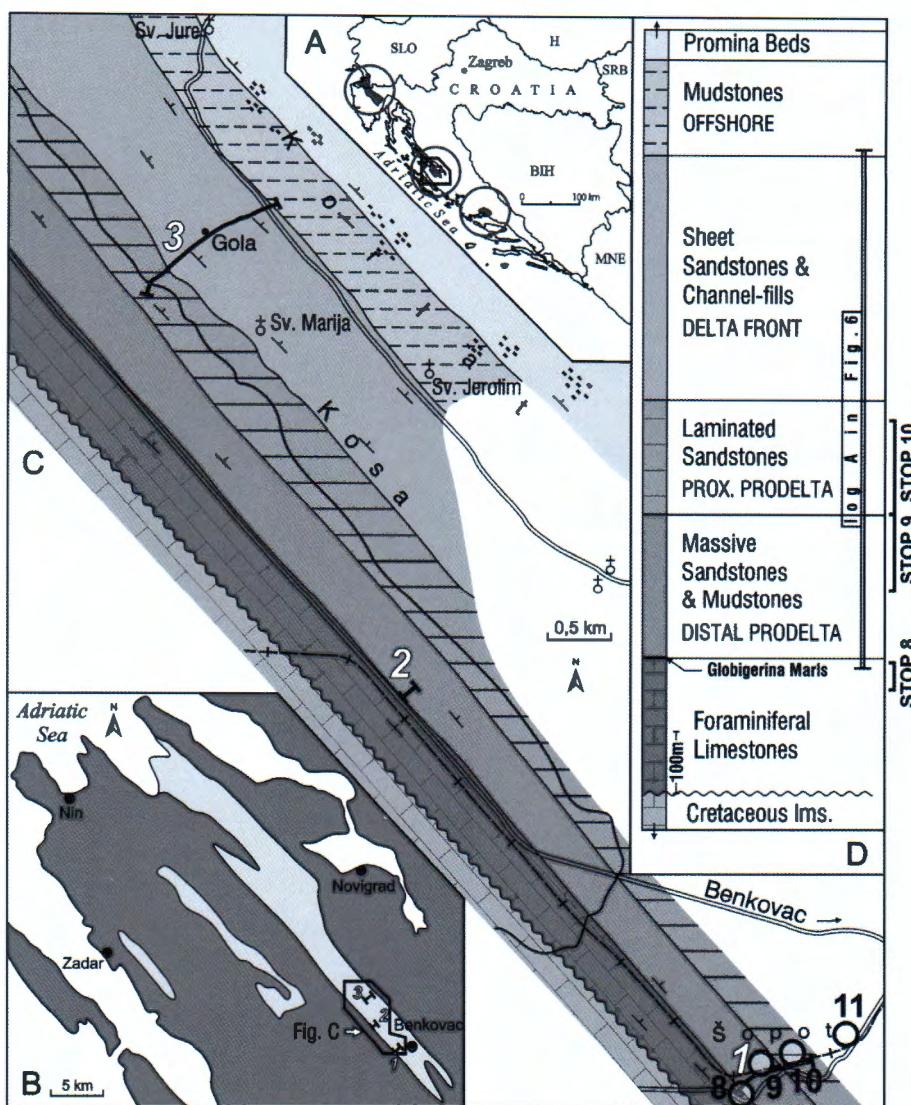


Figure 4. A) Three main fields of Paleogene foreland basins in the Adriatic coastal range (Outer Dinarides). Framed area is shown in B. B) Fields of foreland basin sediments assigned to flysch (light grey) (simplified after SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD, 1970). Framed area is shown in C. C) Map of four Eocene clastic lithozones, with the location of Sections 1-3 used for construction of log A in Fig. 6. Cretaceous and Paleogene limestones, and PB after IVANOVIĆ et al. (1973). D) Simplified log of the area in C.

LITHOZONES	DEPOSITIONAL SETTINGS	DEPOSITIONAL STAGES IN THE BASIN	
Mudstones	Offshore muds	Offshore muds	Covay (1986)
Sheet Sandstones & Channel-fills	discontinuity Delta front	transgressive event Filling Stage (Filled Stage?)	
Laminated Sandstones	Proximal prodelta	Filling Stage	
Massive Sandstones & Mudstones	Distal prodelta	Early (Deep-water) Stage	
Globigerina Marls	Offshore muds	Transition	
Foraminiferal Lms.	Foreland ramp	Ramp Limestones	
Cretaceous Lms.	Subaerial exposure Foreland platform	forebulge Foreland	

8 STOPS 9, 10, 11

Figure 5. Lithostratigraphic units, depositional settings and depositional stages of the North Dalmatian foreland basin in the Benkovac clastic belt with the position of related Stops.

2.3. Early basin fill

The subsequent unit, previously designated as flysch of Middle Eocene age (SCHUBERT, 1905; KRAŠENINNIKOV et al., 1968; MARINČIĆ, 1981) has later been found to include both deep-water and shallow-water sediments (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2008) (Fig. 5). Hence, it is only the lower part of this former unit which is comparable to the third member of the underfilled trinity of SINCLAR (1997). It represents deposition of orogen-derived detritus in a deep basin. Recently reported Miocene age of the flysch based on the nannoplankton (MIKES et al., 2008) is an interesting challenge, and is not farther discussed here.

The clastic basin fill starts with a unit representing an alternation of compact sandbodies and hemipelagites (Fig. 6A, B, C) (*EX*). Sandstones are massive, dominantly ungraded, while graded sandstones and horizontally laminated

sandstones are very rare. They were deposited from flood-generated, sustained, steady, density underflows, which deposited their load below the storm wave base in distal prodelta sand lobes (Fig. 5 and 7). The location of the lobes shifted laterally in response to the activity of different river mouths.

The situation subsequently changed by deposition of laminated sands (*EX*). They originated from flood-generated flows deriving from sand-rich alluvial systems. The flows were commonly influenced by oscillatory flows based on the occurrence of combined flow ripples and hummocky cross-stratification (Fig. 6D). These features, together with common slumps, slides and channels (*EX*) suggest a prodelta slope setting. It prograded over the underlying distal prodelta (Fig. 5). The subsequent evolution includes deposition at the delta front which resulted in sheet sandstones and channel fills (Fig. 7).

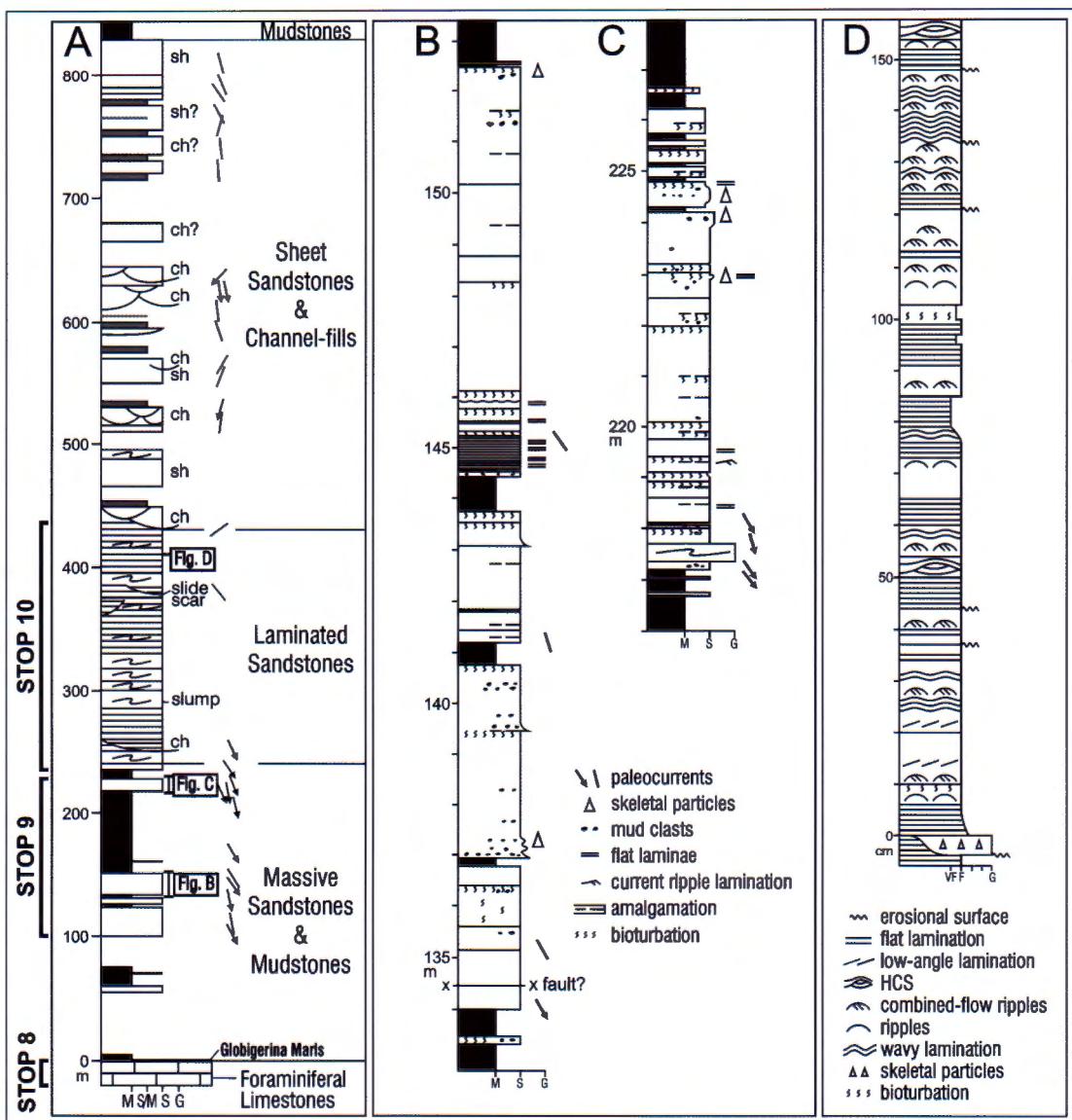


Figure 6. A) Clastic succession of the area in Fig. 4C. sh = sheet sandstones; ch = channel-fills; M, M/S, S, and G are mudstone, mudstone/sandstone alternation, sandstone, and gravel, respectively. Segment 55-75 m is from Section 2, segment 100-430 m from Section 1 (simplified after BABIĆ & ZUPANIĆ, 1983b), the rest is from Section 3. B and C) Detailed logs of two segments of the Massive Sandstones and Mudstones unit shown in A. D) A detailed segment of the Laminated Sandstone unit (396-397.6 m in A).

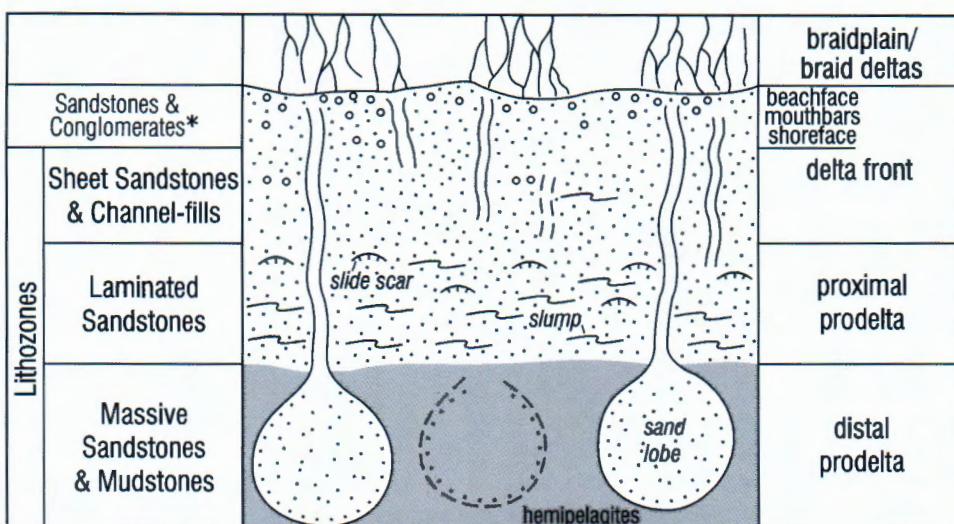


Figure 7. Depositional model for the lower part of the North Dalmatian foreland basin fill. Asterisk marks the unit exposed in the NW part of the Benkovac belt. Scale not implied.

The evolutionary trend described above was halted by a transgressive event, marked by a mudstone unit reflecting deposition on a muddy shelf (Figs. 4 and 5).

2.4. Late basin fill

The strata which follow all the way up to the end of the Palaeogene succession are known as the Promina Beds (PB) (SCHUBERT, 1904, 1908; MAMUŽIĆ, 1971; IVANOVIĆ et al., 1973, 1977), which is Middle Eocene, to Early Oligocene in age (IVANOVIĆ et al., 1978; MAMUŽIĆ, 1975; SAKAČ et al., 1993).

2.4.1. Lower Promina Beds

In the NW part of the basin, the PB begins with a more than 1000 m thick succession consisting of two parts. The lower part is represented by an alternation of calcarenites and mudstones which are intercalated by several gravity-flow beds ("Tintor Beds") including giant blocks which indicate a derivation from a faulted basin margin (ZUPANIĆ & BABIĆ, 1981; BABIĆ & ZUPANIĆ, 1983b). Calcareous have been interpreted as turbidites, and they may have been deposited from flood-generated hyperpycnal flows, and combined flows. The upper part of this succession (including the "Benkovac Stone") has been regarded as an alternation of turbiditic calcarenites and mudstones (*op. cit.*), while a later work suggested the importance of storm-related processes for their origin (MRINJEK et al., 2005). This part might include two transgressive-regressive sequences (MRINJEK & PENCINGER, 2008) the upper one ending with shoreface to beach or delta-front cycles (MRINJEK et al., 2005, MRINJEK & PENCINGER, 2008).

A succession in the SE part of the basin has been found to consist of shelf deposits, forced regressive sediments, fan-delta cycles, and an alluvial unit (MRINJEK, 2008). However, at some other localities, the alluvial unit overlies shallow-marine limestones of an older part of the PB, with a sequence boundary in-between which correlates with the un-

conformable surface encountered along the inner basin margin (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007). The lateral difference in sedimentary successions is probably related to intrabasinal, synsedimentary tectonics. Interesting new data come from a

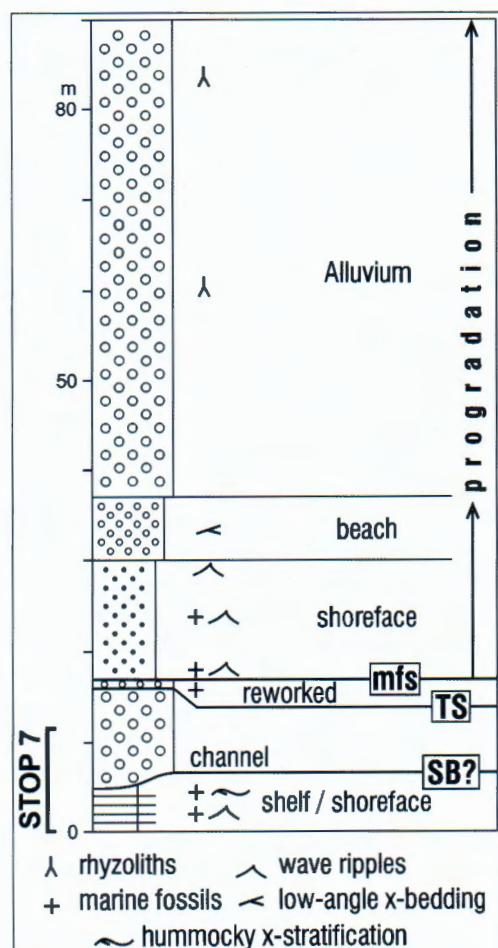


Figure 8. The Ivkovići succession, with position of Stop 7. SB and TS are sequence boundary and transgressive surface, respectively. Location in Fig. 13.

recently investigated section, which is summarised below. These data will help in improving our understanding of the Lower PB.

The exposures near Ivkovići display an erosional surface, which is underlain by shallow-marine deposits and overlain by conglomerates (*EX*) (Fig. 8). This surface may be a distal continuation of the sequence boundary known from some more inland parts of the basin, which originated by a relative sea-level fall. The conglomerates are followed by a thin transgressive cover (with foraminifera), and subsequently by a regressive succession. The later includes wave-rippled and hummocky cross-stratified calcarenites and thin conglomerates of the shoreface, low-angle cross-stratified conglomerates of the foreshore/beachface, and a thick alluvial unit. This alluvium, as well as the entire, overlying PB extend across most of the basin (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007) contrasting the lateral variability and complexity of the underlying sediments (*EX*). The unit is represented by an alternation of conglomerate sheets originated in channel belts of braided stream settings, and a floodplain facies association including sheet-flood calcarenites, mudstones, small-channel conglomerates, and pedogenically modified calcarenites and mudstones. Plant remains are common in this unit, and erect tree trunks have also been found.

2.4.2. Upper Promina Beds

The widespread alluvial unit mentioned above terminates at another important stratigraphic boundary, which is a transgressive surface of sequence stratigraphic systematics. It is the most conspicuous surface and geologic boundary recognisable within the entire basin fill, and is the easiest and most suitable for use in geological mapping and tectonic analysis. It is proposed to use it for separating Lower and Upper PB. The surface is overlain by marine-reworked clastics derived from underlying alluvium (*EX*) and fossiliferous limestones (*EX*) representing together a transgressive system tract (TST) (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007) (Fig. 9). Landwards, this TST may be represented by lacustrine deposits (*EX*). The transgressive surface extends all along the basin.

The subsequent, highstand (regressive) succession starts with shelf mudstones and calcarenites, and is represented by vertically stacked cycles of shelf (*EX*) to delta (*EX*), and rarely, shelf to coastal deposits (BABIĆ et al., 1995; BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007) (Fig. 9). Individual cycles start with a thin transgressive lag and/or limestones covering erosionally truncated delta foresets (POSTMA et al., 1988; ZUPANIĆ et al., 1987, 1988; BABIĆ & ZUPANIĆ, 1990). Shelf sediments (*EX*) include mudstones and calcarenites, rare lime packstones resulting from storm-related processes, as well as intercalations of gravity-flow conglomerates and slumps related to collapse events at the delta slopes. Deltas are mostly of Gilbert-type.

The youngest part of the PB is a thick alluvial unit (*EX*). Its major part was deposited in braided stream settings, mostly braidplains, while a part of the unit originated in alluvial fans (BABIĆ & ZUPANIĆ, 1988; MRINJEK,

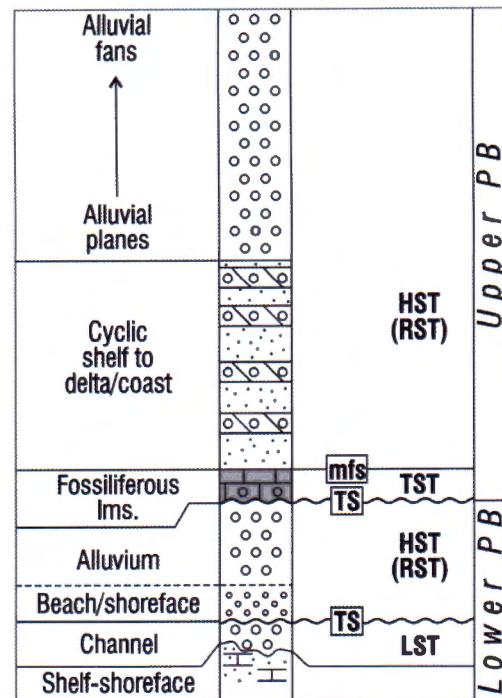


Figure 9. The succession of the upper part of the Lower PB and entire Upper PB. Schematised. Compiled from BABIĆ et al. (1995) and BABIĆ & ZUPANIĆ (2007), with addition of new data from the Ivkovići section (Fig. 8).

1993; BABIĆ et al., 1995). The unit dominantly consists of alternating sheet-like bodies representing deposits of braided channel belts and floodplain deposits locally including shallow channels. The sediments are rich in plant remains: leaves, including palm leaves, branches, and occasional palm trunks in growth position. This unit includes peculiar coarsening-upward units consisting of floodplain deposits and sheets of sandy-gravelly deposits and overlying conglomerates. There is little or no erosion at the sheet base. Low erosional intensity may have been related to the growth style of the sheets, which developed by progradation of braided-stream settings over the flodplains (BABIĆ et al., 1995). This contrasts commonly described fluvial, sheet-like bodies, whose bases are typically erosional (reviews in COLLINSON, 1996; MIALL, 1992; 1996). The depositional area of the braidplains was situated between the proximal, basin-margin alluvium including fans, and the marginal marine zone distally. The alluvial, progradational cycles might have represeted landward counterparts of shelf to delta cycles, and sharp tops of both the extensive alluvial sheets and deltas may have been related to short-term subsidence pulses, which alternated with quiet periods enabling progradation (HELLER et al., 1988).

The proximal part of the thick alluvial unit is locally characterised by debris-flow dominated fans (*EX*), which onlap the Cretaceous and Eocene carbonate basement at the basin margin. This situation indicates the position of the basin margin at this time, and also a very close position of marginal faults. In the same time, a thick succession of the PB encountered closely basinwards is here lacking. This reflects an uplift of the basin-margin area contrasting the subsidence

basinwards. Besides, the alluvial onlap at the basin margin may be preceded by a coastal onlap by fossiliferous limestones (*EX*). This feature additionally illustrates the tectonic activity at the basin margin which is responsible for the generation of relevant gaps.

3. DESCRIPTION OF STOPS

STOP 1 (Scenic): Panoramic view of SW Mt. Promina

Location: Road Drniš-Oklaj

To the SW: Foraminiferal limestones, bauxite deposits and alluvial conglomerates of the PB (Figs. 10 and 11).

To the NE: Alluvial succession of the lower mountain slopes (Figs. 10 and 11) includes debris flow conglomerates which appear as prominent rocky walls, and are parts of alluvial fan(s). The following soft sediments include lacustrine limestones, and shelf mudstones and calcarenites (Stops 3, 4). Rocky strips above them represent deltas.

STOP 2 (Scenic): Kistanje plateau

Location: Road to Lišnjak

The Kistanje or North Dalmatian plateau is a large, surprisingly flat landscape consisting of deformed Cretaceous and Middle Eocene limestones, and different lithologies of the PB. It has been incised by younger rivers, which resulted in the formation of two beautiful canyons. The Krka and Čikola canyons are parts of the Krka National Park. The excursion will descend twice to the river Krka on the first day. The two rivers and canyons are well known for their cascades and waterfalls related to the deposition of travertine. Besides,

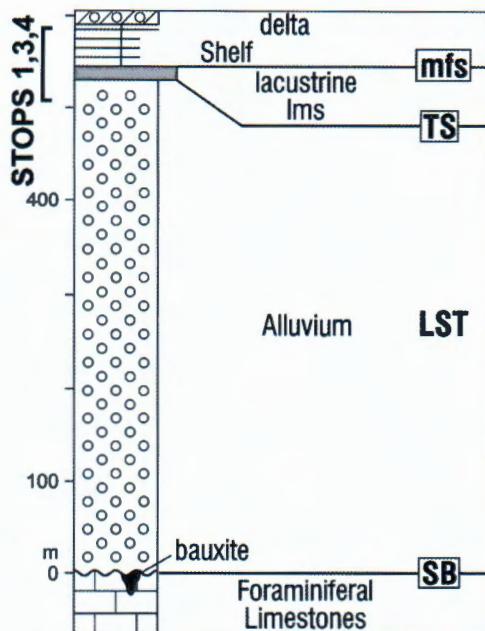


Figure 11. Succession Kalun-Čuline by Drniš (after BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007), with the position of related Stops. For location see Fig. 10.

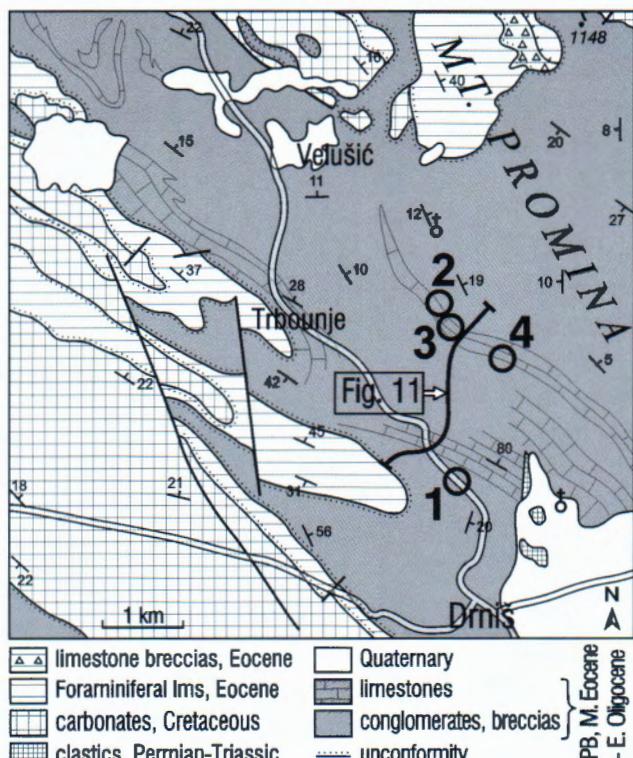


Figure 10. Location of Stops 1-4 and log in Fig. 11. Geological map of the northern Drniš area is simplified after IVANOVIĆ et al. (1977).

the area is rich in plants and animals, especially fish and birds.

The origin of plateaus in the carbonate Dinarides has been discussed and disputed many times. ROGLIĆ (1957) proposed erosional process at the margin of the plateau, some other workers suggested corrosion below the soil and alluvial cover (e.g. TERZAGHI, 1913), while BAHUN (1990) has doubts concerning these interpretations. The authors also diverge in the timing of the plateau formation: after ROGLIĆ (1957) they would be Pliocene in age, while BAHUN (1990) inferred their formation before the development of Neogene lakes, i.e. in the Oligocene.

STOP 3: Alluvial, lacustrine, shelf and delta deposits

Location: Forest road Lišnjak-Varoš

Above the road, observed from the distance (binoculars!), the mountain slopes consist of alternating shelf mudstones, calcarenites and rare foraminiferal tempestites. These sediments are subsequently intercalated by conglomerates, and overlain by Gilbert-type deltas (Fig. 11). The succession originated by the progradation of shelf to delta settings and may be compared to the highstand (or regressive) systems tract (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007).

Along the road, two stratigraphic surfaces are encountered: between alluvial conglomerates and overlying lacustrine limestones, and between lacustrine limestones and overlying shelf mudstones (Fig. 11). Our route starts in shelf mudstones locally containing thin foraminiferal tempestite packstones, and traverses underlying, locally disturbed laminated lacustrine limestones with bivalves, gastropods and stromatolites, and then enters still lower, alluvial, crudely bedded conglomerates with paleosol intercalations. Fartheron, the road climbs back to lacustrine limestones.

STOP 4: Lacustrine limestones and their stratigraphic position

Location: Below the road Lišnjak-Varoš

Lacustrine limestones (Fig. 12) are about 12 m thick, sharply overlying alluvial conglomerates (as at Stop 3), and are sharply overlain by shelf mudstones and calcarenites. The limestones are laminated, and show cyanobacterial filaments, characeans, bivalves and gastropods. They correspond to the TST, which is bounded by a transgressive surface below and a transgressive-to-regressive boundary above (Fig. 11). The unit correlates with marine TST distally (Stops 5 and 12), which is also situated between alluvial deposits below, and shelf to delta sediments above (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007).



Figure 12. Lacustrine limestones. Stop 4.

STOP 5: Marine limestones and maximum flooding

Location: 150 m N of Krka Monastery

Lower 11 m of the exposure (Figs. 13 and 14A) display poorly bedded lime packstones and wackestones containing larger foraminifera (common *Discocyclina*), miliolids, other smaller benthic forams, corallinaceans, gastropods, bryozoans and corals. They are underlain by an alluvial unit (Stops 3, 4

and 12) not exposed here. The uppermost 30 cm of the limestones are bioturbated packstones and wackestones with *Discocyclina*, glaucony and planktonic foraminifera. Overlying mudstones are intercalated by thin calcarenites as low as 1.5 m above their base. The mudstones contain rare smaller benthic and planktonic foraminifera and bivalves. The limestones

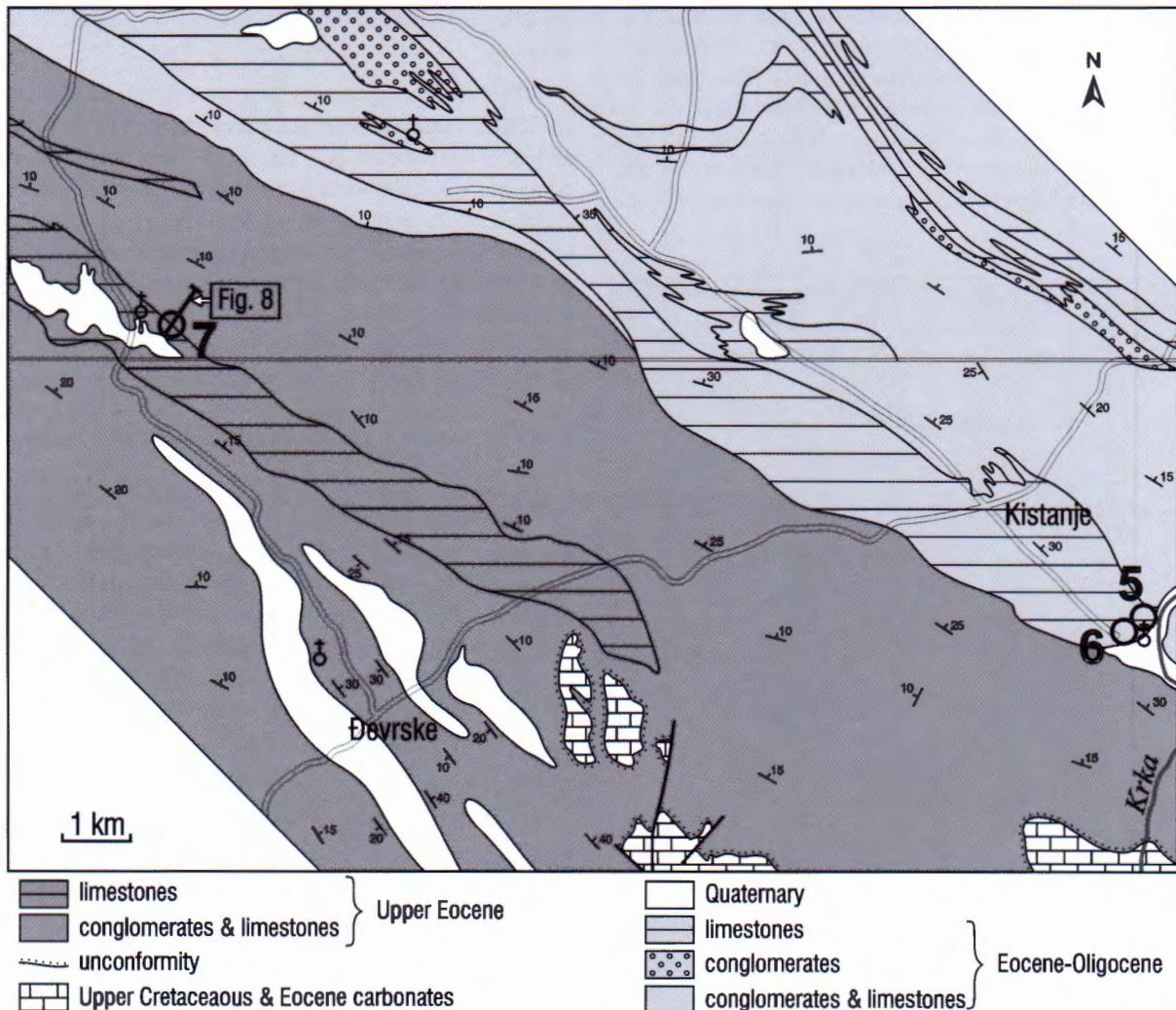


Figure 13. Location of Stops 5, 6 and 7, and log in Fig. 8. Geological map is simplified after MAMUŽIĆ (1971) (below double line) and IVANOVIĆ et al. (1973) (above double line).

indicate shallow-marine, carbonate settings, except for their thin top portion which reflects low sedimentation rates (“condensation”), and a deeper environment (planktonics). At this point, the shoreline was shifted farthest landwards. The transition to shelf sediments marks the end of transgression, and the onset of a regressive trend (Fig. 9), which will further be examined at the next Stop.

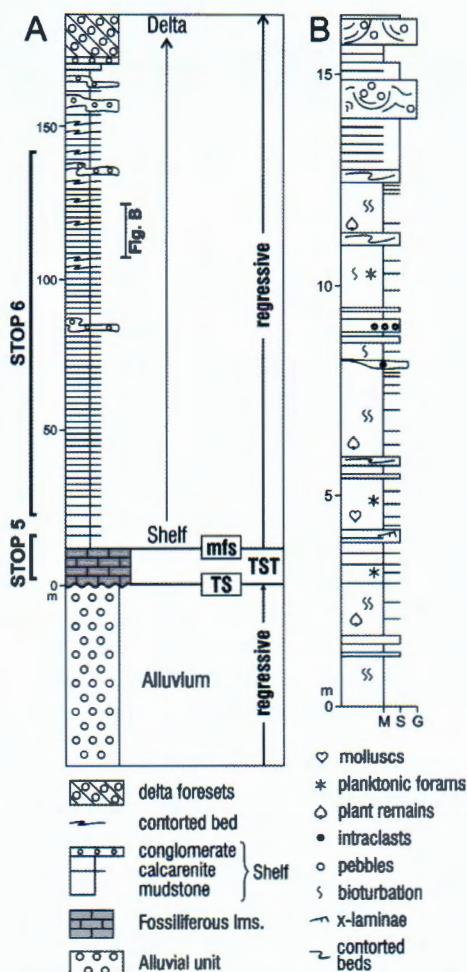


Figure 14. A) Succession of Kistanje area, with location of Stops 5 and 6. For location see Fig. 13. B) A detail of the succession in A. M, S, and G are mudstone, calcarenite and gravel, respectively. After BABIĆ & ZUPANIĆ (2007).

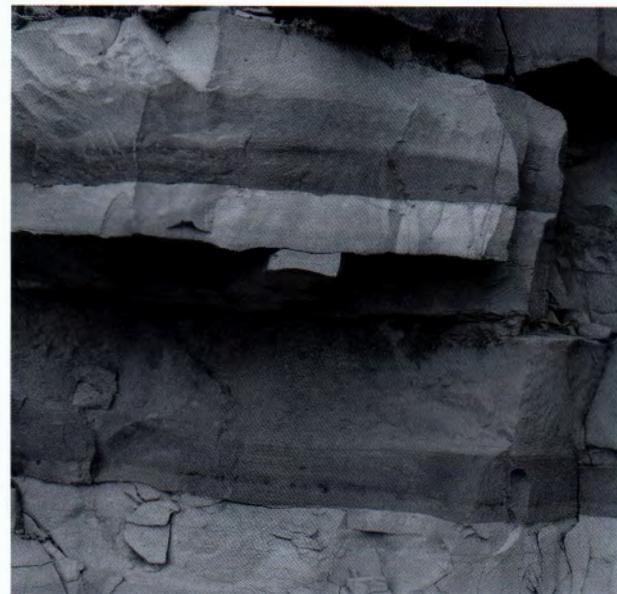


Figure 15. Alternating calcarenites and mudstones. Calcareous show sharp, locally erosive bases, and sharp or transitional tops. Horizontal laminae are locally observed. Stop 6.

STOP 6: Regressive shelf deposits

Location: Road climbing from Krka Monastery to Kistanje plateau

Superb exposures of alternating mudstones, calcarenites and several slump units (Figs. 13 to 20) which represent a continuation of the succession studied at the previous Stop. Intense bioturbation is common. Mudstones contain rare, smaller benthic foraminifera, planktonic foraminifera, bivalves and common plant remains including leaves. The sharply based calcarenites are 1 mm to 30 cm thick, and locally show flute casts and longitudinal ridges (the latter term after DZULYNSKI & WALTON, 1965). Their top may be sharp or gradational. Calcareous are either rippled, massive or horizontally laminated. Ripples are asymmetric, unidirectional and locally symmetric. Calcarenites may contain plant debris and leaves.

The mudstones with planktonic foraminifera indicate a deeper, quiet marine environment, while the calcarenites are event beds. The flow marks at calcarenite bases (Figs. 19



Figure 16. Alternating rippled calcarenites and mudstones. Note symmetrical ripple forms. Stop 6.



Figure 17. Calcareous bed with aligned mud intraclasts overlies bioturbated mudstones and calcarenites. Stop 6.



Figure 20. Prod and other sole marks at the base of a calcarenous bed. Terrace in front of the Krka Monastery. Excavated from sediments of Stop 6.

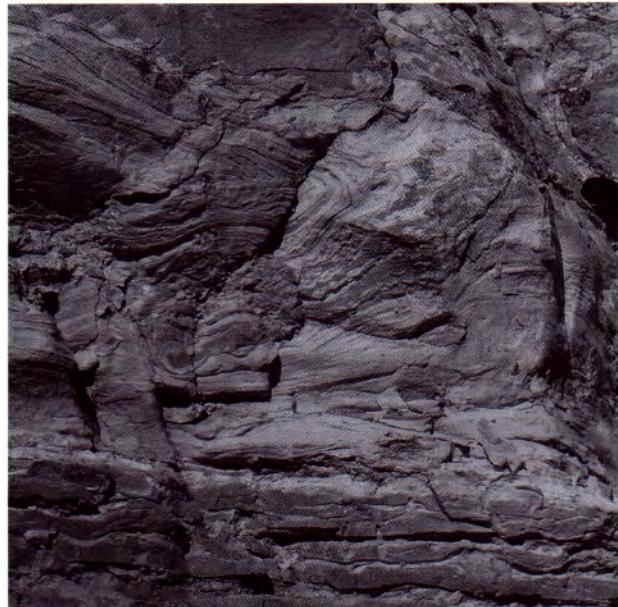


Figure 18. A slump unit overlying calcarenous beds. Stop 6.



Figure 19. Flute casts at the base of a calcarenous bed. Stop 6.

and 20) were produced by flows originated either from storm-induced processes, or from hyperpycnal inputs from rivers. Horizontal lamination may have been produced either by oscillatory, unidirectional, or combined flows (e.g. MYROW & SOUTHDARD, 1991). However, symmetric ripples indicate oscillatory flows, hence, the origin of many of the other calcarenous beds is probably related to storm-related processes. In general, the observed succession was deposited between the storm and fair-weather wave bases (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007). Only the basal mudstones immediately overlying the condensed limestone (Stop 5) might have been deposited in an outer shelf setting, below the storm wave base. Common slumps derived from failure events at the delta slopes, may have been initiated by seismic shocks related to slips at the basin-margin faults.

STOP 7: Erosional contact between shallow marine deposits and conglomerates (preliminary data)

Location: Ivkovići, near the road Varivode-Benkovac

The exposures (Figs. 8 and 13) display a 50 m long truncation surface with a relief of a few metres. Below this surface, there are lime wackestones, packstones and mudstones, as well as calcarenous beds. They contain *Amphistegina*, *Operculina*, smaller benthic foraminifera, molluscs and echinoid remains, and show horizontal lamination, wave ripples and probable hummocky cross-stratification. These features suggest deposition in a shallow sea.

Above the truncation surface, there are conglomerates, which locally contain clasts as large as 30 cm in diameter. They represent the fill of a channel-like feature, possibly a prodelta channel. The truncation surface probably originated due to a relative sea-level fall, and may correspond to a sequence boundary (*sensu* POSAMANTIER & VAIL, 1988; POSAMANTIER & ALLEN, 1999). If so, this boundary might represent a distal continuation of the well known unconformity along which the PB overly Cretaceous and Eocene basement and bauxites in the proximal part of the basin.

The succession above the conglomerates (Fig. 8) will not be studied. It consists of a thin transgressive cover (including foraminifera), which are followed by shallow marine, coastal, and finally, alluvial sediments correlatable to the alluvium at Stops 3, 4 and 12 (Fig. 9).



Figure 21. A sandstone body of the Massive Sandstones and Mudstones unit almost exclusively consisting of ungraded sandstones (log in Fig. 6C). Underlying are hemipelagic mudstones with thin sandstone intercalations, and the same sediments overlying the body are here covered by concrete. Persons for scale. Stop 9.

STOP 8: Ramp limestones: Heralds of dramatic changes

Location: Cross-roads by Mikulići, SW of Benkovac

Three types of vertically succeeding limestones may be observed: (A) packstones with *Nummulites* and *Assilina*, as well as molluscs and echinoids, (B) packstones with numerous *Discocyclina*, and (C) packstones and wackestones with *Discocyclina*, planktonic foraminifera and glaucony. The exposures represent the uppermost part of Middle Eocene Foraminiferal Limestones, whose lower part is dominated first by miliolids and subsequently by *Alveolina* (IVANOVIC et al., 1973). Foraminiferal Limestones overly Cretaceous limestones and local bauxites, and reflect a deepening-upward trend of carbonate ramp settings, whose upper part is observed at this Stop. These limestones represent the lower member of the “underfilled trinity” of SINCLAIR (1997). The second member of the trinity - the hemipelagic marls, is covered, while the third member, flysch, will be observed at the next Stop. The basal gap and ramp limestones therefore, herald the subsequent formation of a topographic basin which will receive clastic sediments from the orogen.

STOP 9: Sand lobes without Bouma turbidites:

“Flysch-like Beds”?

Location: Šopot, near Benkovac, lower part of the railway cut

The lower part of the railway cut allows an insight into the early part of the basin fill. It shows sandstone bodies separated by mudstone intervals (Figs. 4, 6A-C, 7, 21 and 22). The sandstone beds are mostly 10 to 150 cm thick, display sharp bases and intensely bioturbated tops. Amalgamation is common. The sandstones are predominantly ungraded. Mud clasts and plant debris are common, while molluscs and nummulites are very rare. Flat laminated sandstones occur exceptionally. The mudstones contain planktonic foraminifera, and may be intercalated by thin sandstones. Some bodies show a thickening-upward trend of component beds, while some others a thickening plus thinning trend.

The massive sandstones are regarded to reflect deposition from sustained, steady turbidity currents (KNELLER & BRANNEY, 1995). The deposition may be performed by gradual aggradation, mainly due to grain interactions, hindered settling and shear, and occurs as long as the grain flux to the depositional flow boundary is balanced by the grain supply. Some mud clast horizons are related to amalgamation process, while their distribution at different heights in the sandstone bed would support the aggradational deposition of the bed (KNELLER & BRANNEY, 1995). Rare, graded sandstones reflect a waning of otherwise similar depositing flows. The sustained character of the flows suggests a direct input from sand-laden streams during river flood periods, and thus represent hyperpycnal underflows. Rare, flat laminated sands might have originated by tractional processes, from sustained, unsteady flows.

The sandbodies encased in hemipelagites have previously been assumed (BABIĆ & ZUPANIĆ, 1983b) to represent parts of a poorly efficient, sand-rich turbidite system of MUTTI (1979). However, the sustained, depositing flows fit a relation to the delta(s) of sand-rich alluvial feeding systems. The close association of the sandbodies and hemipelagites,

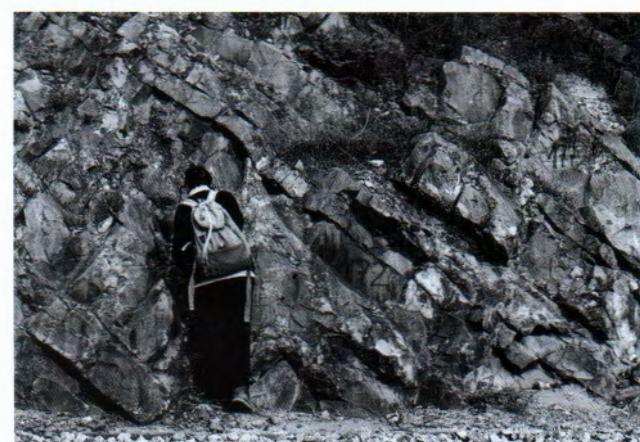


Figure 22. A part of the sandbody in Fig. 21. Stop 9.

and the absence of structures typical of settings above storm wave base, imply deposition below this depth. The depositional setting has been designated as a distal prodelta (BABIĆ & ZUPANIĆ, 2008) (Fig. 7). This interpretation is also in accordance with features of the overlying laminated sandstones inferred to have originated in a proximal prodelta (next Stop). Delta-related lobes dominated by turbiditic, massive sandstones in contrast to lobes related to submarine fans, were first recognised by HELLER & DICKINSON (1985) as a part of their “delta-fed submarine ramp model”. They also described the adjacent slope facies (similar to our proximal prodelta), which prograded over the ramp. Sand lobes containing massive sandstones deposited from flood-generated flows have also been reported from the Eocene Central Basin, Spitsbergen, where they are located on the lower slope to basin-floor (PLINK-BJÖRKLUND et al., 2001).

STOP 10: Laminated sandstones: rivers in flood

Location: Šopot, near Benkovac, upper part of the railway cut

This part of the railway cut displays highly predominant laminated sandstones (Figs. 6A, D, and 23–27) including flat lamination and ripple laminated structures. Slumps, slides, slide scars and probable channels are common. Also present are decimetres thick intervals dominated by alternating laminae of sandy mudstones and muddy sandstones. Flat laminated sandstones may be either up to 1 m thick, or make up several cm thick lower parts of units, whose upper part is represented either by combined-flow ripples (CFR), wavy laminae, low-angle laminae or small-scale hummocky cross-stratification (HCS). Such units may show erosional bases and a very thin, graded basal part which occasionally contains larger foraminifera and molluscs (Fig. 27). Sandstone beds may also begin with a rippled or wavy laminated interval, and continue with flat laminae. In other cases, flat and CFR lamination may alternate without erosional breaks (Fig. 25). The sandstones are rich in plant remains, and are commonly muddy.



Figure 23. Truncation surfaces in the Laminated Sandstones unit representing slide scars and/or channels. 382-385.5 m in Fig. 6A. Hammer (30 cm) for scale. Stop 10. After BABIĆ & ZUPANIĆ (2008).



Figure 24. Uniform, horizontally laminated sands deposited from a river-generated, sustained unsteady flow. Lens cap is 4.4 cm in diameter. Laminated Sandstones unit. Stop 10.



Figure 25. Alternating intervals of horizontally laminated and low-angle laminated sands, with local ripples. Interpreted as combined flow ripples and hummocky cross-stratification, and deposits of sustained, unsteady flows, which may have been combined with oscillatory flows. Pencil is 14 cm long. Laminated Sandstones unit. Stop 10.

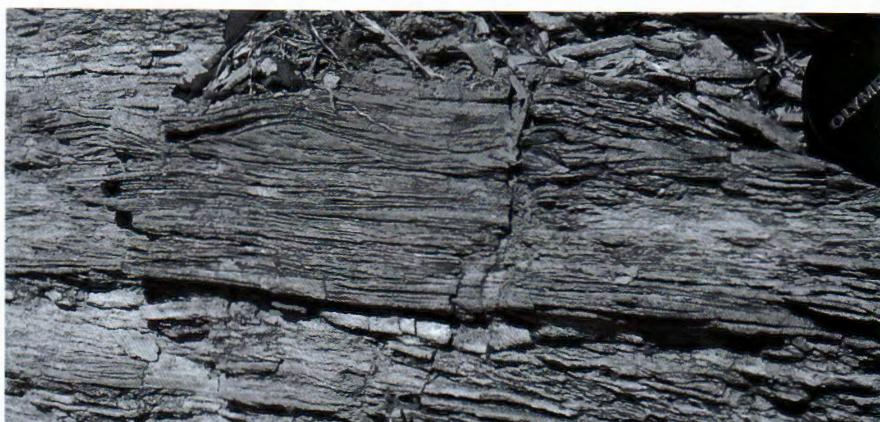


Figure 26. Sandstone bed in the middle is sharply based and shows quasi-flat to low-angle laminae followed by wave ripple structures, the latter grading laterally into CFR (out of the photo). Laminated Sandstones unit, above 120 cm in Fig. 6D. Lens cap is 4.4 cm in diameter. Stop 10. After BABIĆ & ZUPANIĆ (2009).



Figure 27. Conspicuous bedding planes within laminated sandstones indicate intensification of river floods or the onset of a new flood. Some of them show small-scale erosion and may be first covered by a thin fossiliferous sandstone. White bar is 20 cm long. Laminated Sandstones unit. Stop 10.

Thick, flat laminated sandstones must have been deposited by tractional processes from sustained density underflows which were related to prolonged river flood periods. The alternation of flat lamination with either CFR lamination, wavy lamination or HCS, may indicate intermittent modifications of the sustained flows by oscillatory flows ("wave-modified turbidites" of MYROW & SOUTHARD, 1996). Various processes may be responsible for generating the oscillatory component of hyperpycnal flows (review in TINTERRI, 2007), although the influence of storms have commonly been cited. This is because many similar examples are found in smaller basins, where storm and flood-related flows may occur at about the same time, thus enabling the combination of the hyperpycnal and storm-related flows (MYROW et al., 2002). The origin of erosional-based units may be related either to short-term intensification of otherwise sustained,

flood-generated flows, or to the onset of new flows (MULDER et al., 2003; TINTERRI, 2007). The intervals of thin, muddy sandstones and sandy mudstones reflect intermittent decreases in the sediment supply to the relevant depositional areas. Some of them may have been deposited from hypopycnal, buoyant plumes and/or from dilute underflows during normal river discharges (PRIOR & BORNHOLD, 1989). The abundance of the land-derived plant material is consistent with a direct supply from flooding rivers. The bioclastic material was entrained by erosion in shallow environments located landwards, thus documenting the erosive character of the flows in those areas.

The absence of features typically generated above fair-weather wave base, and probable influence of storms, may reflect a deposition in the offshore transition zone. Common slumps and slide scars, indicate frequent mass movements related to a high sedimentation rate on an unstable, sloping depositional setting. Probable channels may represent conduits for the river-derived flows bringing sediment to the distal prodelta lobes (Fig. 7). The depositional setting was a prodelta slope, related to sand-rich alluvial and delta systems. Its position above the distal prodelta facies suggests a progradational trend. The facies of the unit, as well as its vertical position resemble the slope facies of the "delta-fed submarine ramp model" of HELLER & DICKINSON (1985).

STOP 11 (optional): A prodelta channel

Location: Šopot well, near Benkovac

Uniform, laminated sandstones and siltstones are truncated by an oblique, irregular surface, and overlain by coarse-grained carbonate clastics (Fig. 28). The contact surface shows load casts, flames, flute casts and terraces (later term after DZULYNSKI & WALTON, 1965) (BABIĆ & ZUPANIĆ (1982, 1983a). The channel was at least 20 m deep, directed WNW and its wall was inclined at 35°–40°. Underlying deposits are similar to the prodelta sediments observed at the previous Stop, and are also regarded to have been deposited from flood related, sustained flows. Beds of the channel fill are 25–50 cm thick and separated by sharp, commonly erosional surfaces (Fig. 28B). They may be either massive, bipartite with graded and laminated divisions, or

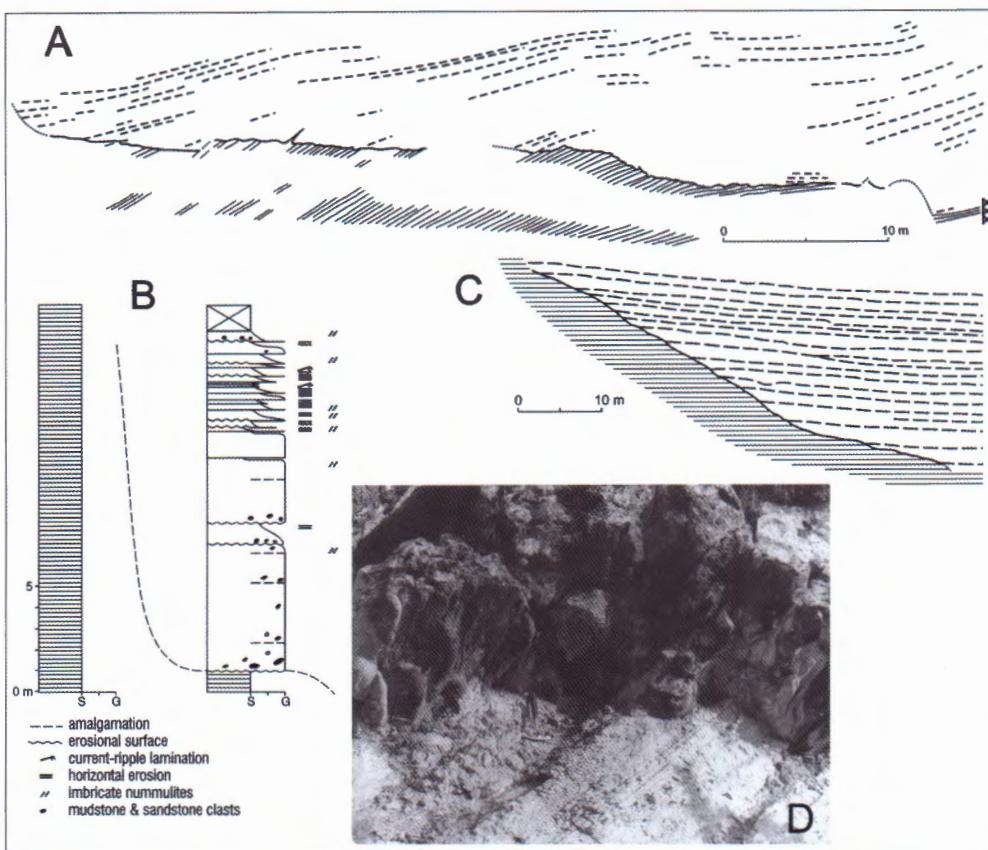


Figure 28. Features of the Šopot channel. After BABIĆ & ZUPANIĆ (1982, 1983a). **A)** Sketch of the exposure as seen from the SE. Tapped spring is in the lower right corner. **B)** Logs of incised sediments (schematised) and channel fill. **C)** Transversal section of the channel (reconstruction). Note a gentle inclination of the channel fill beds towards the deeper part of the channel. Stop 11 in Fig. 4. **D)** Flute casts at the base of the channel fill. Laminated siltstones and sandstones abut coarser grained channel fill.

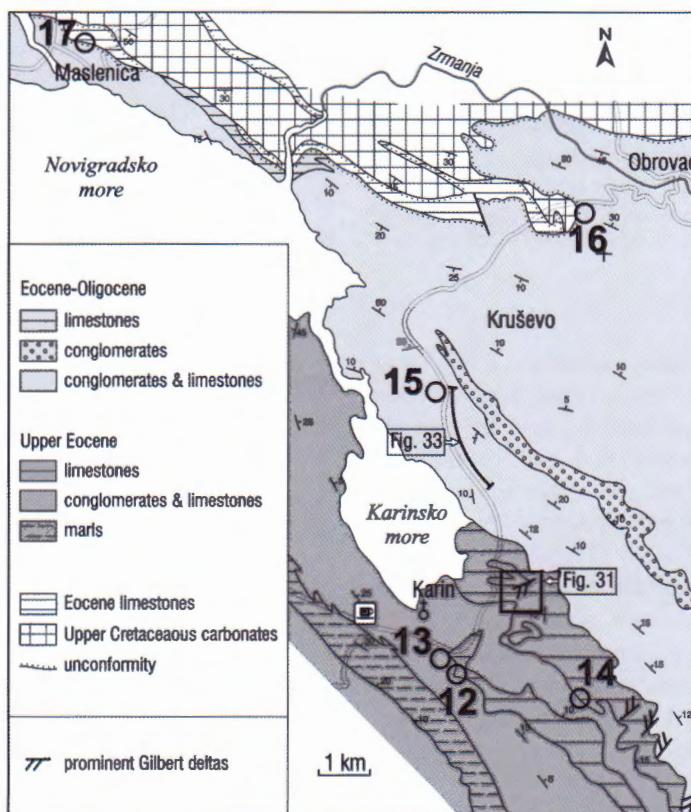


Figure 29. Location of Stops 12-17. Geological map of the area Karin-Obrovac-Maslenica is simplified after IVANOVIĆ et al. (1973).

parallel laminated. Limestone clasts including Middle Eocene Foraminiferal Limestones and intraclasts derived from the underlying deposits are common. Also common are larger benthic foraminifera (common nummulites). Non-carbonate particles are "chert", sandstones and quartz grains.

ŠIKIĆ (1969) interpreted the erosional surface as an angular unconformity resulting from his "Istrian-Dalmatian" orogenic phase in the middle of the Lutetian.

STOP 12: Transgressive erosion and maximum flooding; Basin-wide correlation

Location: Karišnica valley, S of Karin

The excursion follows the picturesque valley of the Karišnica River and passes along old mills which are kept company by fig trees.

The first decent outcrop encountered along the road displays shelf mudstones and calcarenites. Sharply based calcarenites are from mm to 10 cm thick and bioturbated. Both lithologies contain plant debris. They are situated a little above a maximum flooding surface described below. By the uppermost mill ("Paulića mlin") and an old stone bridge, the river comes out from a narrow canyon incised in thick alluvial sediments (also visited at Stop 3). After passing the bridge, the first outcrops are conglomerates which probably originated by the marine reworking of underlying alluvium (exposed in the canyon). They are overlain by reliably marine conglomerates with foraminifera recognisable in their matrix (Fig. 30). Hence, we are dealing with a marine ravinement process, i.e. a transgressive erosion. The relevant transgressive boundary ("transgressive surface of erosion" of POSAMANTIER & VAIL, 1988) is correlated with the surface separating alluvial conglomerates and lacustrine limestones in the proximal basin (Stops 3 and 4).

Fartheron, the road enters overlying, poorly bedded limestones (mainly packstones) with smaller benthic foraminifera, corallinaceans, bivalves and corals, which may contain scattered granules and smaller pebbles, and represent the upper part of the TST. The fossiliferous limestones end at a sharp, bioturbated surface, which is overlain by shelf mudstones with rare bivalves and planktonic foraminifera, and common plant remains. Correlative, fossiliferous limestones and the maximum flooding surface occur at Stop 5. Closely upwards, the mudstones alternate with calcarenites as already observed down the valley. Rocky outcrops at the neighbouring slopes represent overlying delta conglomerates. The sharp surface is a maximum flooding surface, and the following progradational succession reflects a regressive trend. A similar succession has been described from a closely located section (upper part of the road leading from Dubraja plain to Karišnica River; BABIĆ & ZUPANIĆ, 2007).

MRINJEK & PENCINGER (2008) presented a map including this area, where there is a zone of about 60 m thick mudstones with rare calcarenites (their "Karišnica Unit") interpreted as offshore deposits, with a lower transgressive segment, and an upper, regressive part. As described above, however, their offshore unit of this area covers

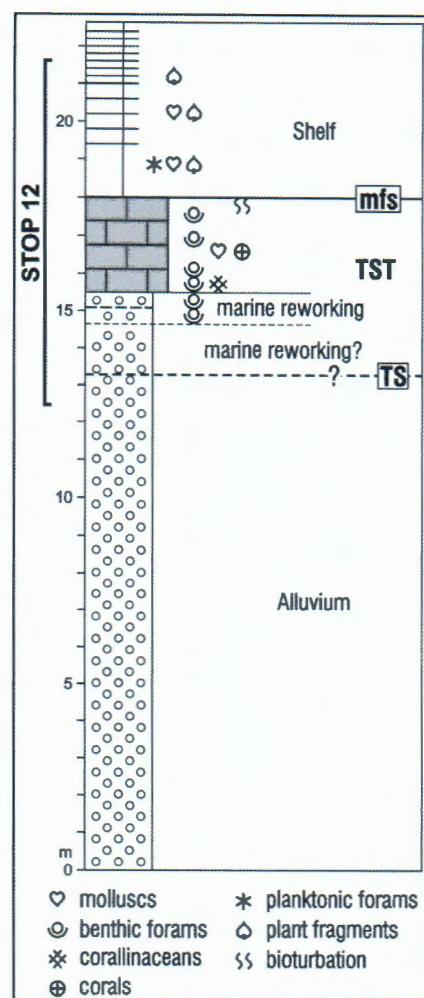


Figure 30. The succession of alluvial sediments, and transgressive and regressive tracts in Karišnica valley. The alluvial unit is presented schematically. Stop 12. For location see Fig. 29.

the entire alluvial unit (at least 40 m thick), transgressive conglomerates and fossiliferous limestones, the lower part of the regressive mudstones and calcarenites, and first overlying deltas.

STOP 13: Shelf to lower delta

Location: Karišnica rest area, road Benkovac-Karin

The road cut exposes shelf mudstones and calcarenites, and overlying conglomerates. The later change their thickness laterally and probably represent gravitational, bottomset to toeset parts of a Gilbert delta. Location in Fig. 29.

STOP 14 (Scenic): Panorama of shelf to delta cycles and overlying alluvium

Location: Gornji Karin, road Karin-Bruška

The succession on the SW mountain slopes consists of two parts. The lower part is characterised by shelf to delta/coast cycles (BABIĆ & ZUPANIĆ, 1990; BABIĆ et al., 1995). Most conspicuous are several Gilbert delta bodies showing conglomeratic foresets and representing uppermost parts of the many cycles (binoculars!) (Figs. 9, 31 and 32). These deltas differ from the classical examples described by

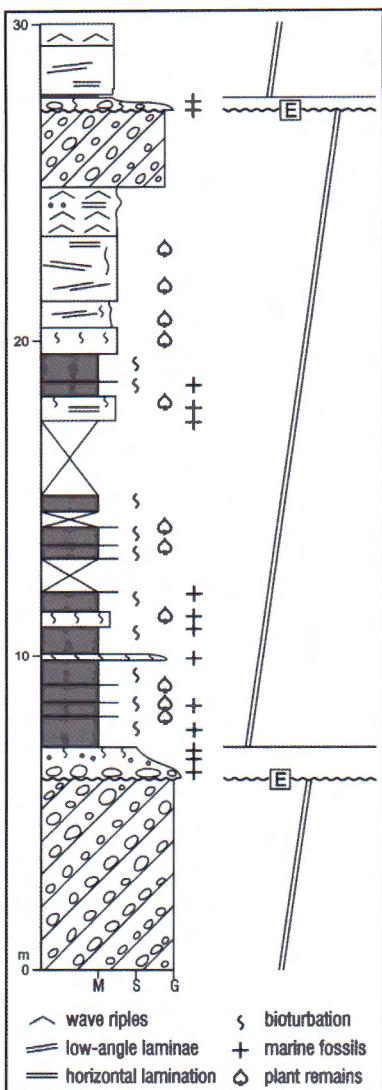


Figure 31. An example of shelf-delta cyclicity in Gornji Karin area. Note thin transgressive segment above the truncation surface cutting Gilbert delta foresets. E = erosional surface. From BABIĆ & ZUPANIĆ (1990). Location in Fig. 29. Observed from Stop 14.

GILBERT (1885) in the character of topset deposits, which are here represented by a transgressive cover (Fig. 31). The upper mountain slopes display the uppermost unit of the PB

- a thick alluvial succession with prominent, sharply topped conglomerate sheets. Some of them may be observed along the road towards the next Stop.

STOP 15: Alluvial sediments

Location: Podorljak, road Karin-Obrovac

The sediments belong to the lower part of the thick alluvium representing the uppermost unit of the PB (Figs. 9, 29 and 33). The S part of the road cut shows a unit of crudely bedded (locally cross-bedded) conglomerates with calcarenite lenses (Fig. 34). Such conglomerates constitute extensive sheets (observed on the way from previous Stop). They commonly start with a sandy-gravelly package showing cross bedding and shallow channels, and always display a sharp top surface, commonly modified by pedogenesis. Gravel was deposited by sheet flows on low bars and in shallow channels. Calcareous lenses are scour fills and erosional remnants. The gravel facies indicates shallow braided streams, which frequently switched and shifted within laterally extensive fluvial belts. The basal, sandy unit is a distal and lateral, fringe-like component of the prograding belt (Fig. 35). Prominent tops of the sheet bodies resulted from abrupt deactivation of the belt, which was colonised by plants as indicated by the pedogenic modification.

Floodplain deposits include mudstones, siltstones, laminae of coaly shale and coal of swamp origin, current-rippled, locally horizontally laminated calcarenites deposited by the sheet floods (commonly bioturbated), and pond carbonate intercalations. One can also observe conglomerates filling small gullies. Fossil roots (Fig. 36) and paleosol horizons are common. Floodplain facies includes abundant plant leaves and branches including large palm leaves (Fig. 37). The upright palm trunks (Fig. 38), up to 1.6 m long, have recently been destroyed.

The N end of the road cut displays debris-flow conglomerates, which probably derived from a neighbouring fan. Note the presence of sandstone clasts among dominant carbonate clasts (discussed at next Stop).

On the way to the next Stop, the road transects alternating, comparatively thicker conglomerate sheets and thinner floodplain deposits. These were deposited landward of the previously observed sediments.



Figure 32. Karin Gilbert delta described by POSTMA et al. (1988). Maximal thickness of the delta is 10 m. Observed from Stop 14.

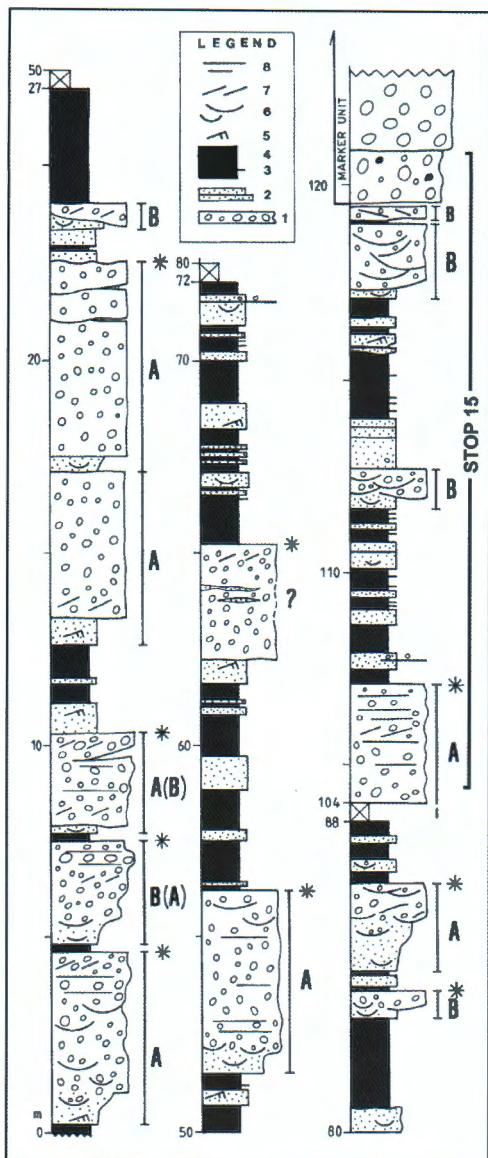


Figure 33. Alluvial succession north of Karin (location in Fig. 29) with position of Stop 15. 1 Conglomerates; 2 Calcarenites; 3 Calcareous, 4-10 cm thick; 4 Mudstones, siltstones and <4 cm thick calcarenites; 5 Cross-lamination; 6 Trough cross-bedding; 7 Planar cross-bedding; 8 Horizontal bedding. Asterisks, sharp tops of sheet-like bodies, with pedogenic features. A = extensive sheets. B = smaller sheets. After BABIĆ et al. (1995).

STOP 16: Onlapping alluvial fan at the basin margin

Location: Krš bauxite deposit (=Karamarkuša), WSW of Obrovac, road Karin-Obrovac

(A) Exposures close to the road (Fig. 39) display a pinching out of the former bauxite body situated between the Cretaceous carbonate basement and alluvial conglomerates with maximum clast size of 25 cm.

The conglomerates at this and the next Stop include conspicuous, scattered sandstone pebbles and cobbles among dominant limestone clasts. Work is now in progress aimed at identifying the source of these sandstones. They consist of carbonate and non-carbonate particles in about equal proportion, or the former prevail. Carbonate particles include

dominant lithoclasts and subordinate skeletal particles: *Nummulites*, *Discocyclina*, miliolids, planktonic foraminifera, corallinaceans and echinoids. Non-carbonate particles include basic rock fragments, quartz, feldspar and biotite. Heavy mineral associations are dominated by epidote group, garnet and zircon, less common are tourmaline and Cr-spinel, while other mineral species are even less represented. Two aspects of clasts composition are important. First, the foraminifera reveal their Paleogene age. Second, their heavy mineral association is very similar to that of North Dalmatian flysch sandstones (Stop 9) reported by PAVIČIĆ et al. (2003). This indicates that the deforming Dinaric hinterland included not only carbonate rocks (highly dominant as detritus in the PB), but also Paleogene (probably Eocene) sandstones, a probable proximal facies of the flysch.

(B) Exposures in the pit show four units (Figs. 40 and 41).

1. Above the bauxite and limestones, there are thin bedded, current ripple laminated calcarenous sandstones deposited by streams. The unit shows shearing surfaces.
2. Compact package of massive, debris-flow conglomerates and breccias. The lowermost bed displays inverse grading.
3. The thickest portion of the section consists of alternating, probable debris flow conglomerates and subordinate sandy and granular streamflow deposits. The conglomerates are massive, and some units show normal or inverse grading. They consist of limestone, subordinate sandstone and rare mudstone clasts, and sandy-muddy matrix. Sandy units form thin beds displaying current ripple lamination. In the W part of the pit, this unit directly overlies the basement and bauxite.
4. Compact conglomerates and minor calcarenous of a braided system. There is a metre thick sheared zone embracing uppermost unit 3 and lowermost unit 4. Unit 4 itself is represented by tectonic phacoids in its lower part.

In general, the data from areas (A) and (B) imply a variable relief, and a strong lateral difference in the character of vertical successions. As we are dealing with localised debris-flow dominated alluvial fans deposited at the basin margin, lateral differences can be related to both the relief and a non-uniform distribution of sediments. In the same time, the fans indicate a very close position of the faulted basin margin. It should be noted that the thick succession of the PB occurring in the closely situated basinward area is here lacking. This reflects a tectonic uplift of the basin-margin area.

STOP 17 (optional): Two superimposed onlaps at the basin margin

Location: Tople Torine bauxite deposit, above Maslenica

The W part of the pit displays Foraminiferal Limestones and bauxite overlain by fossiliferous limestones and alluvial deposits (Fig. 42). The limestones are mostly skeletal packstones containing miliolids, echinoids and *Orbitolites*. The boundary between limestones and the alluvium is tectonised. The alluvium consists of laminated calcarenous, pedogenically modified sediments, probable lacustrine mudstone in-

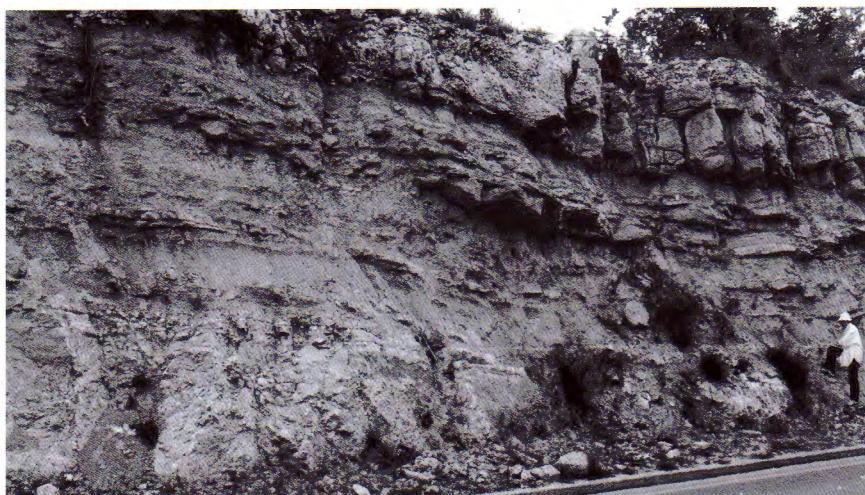


Figure 34. Two sheet-like conglomerate bodies are in the lower and top parts of the photo. The middle part shows floodplain deposits consisting of calcarenites, siltstones and mudstones, which include thin coal seams and lacustrine limestone intercalations. The floodplain unit contains abundant plant remains including palm leaves and trunks. Stop 15.

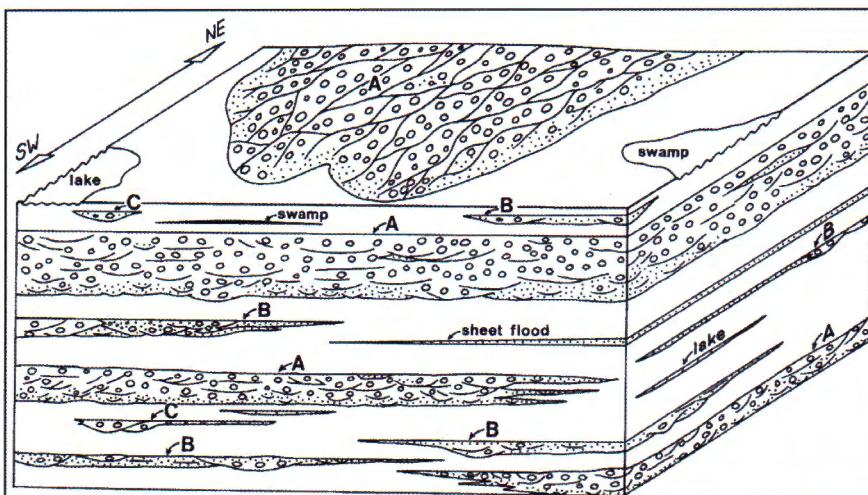


Figure 35. Depositional model for alluvial sediments of the major part of the upper alluvial unit. White: floodplain sediments with swamp, lake and sheetflood deposits. The upper surface of the blockdiagram shows an advancing A type belt containing a sandy fringe. Not to scale. After BABIĆ et al. (1995).



Figure 36. Fossil roots in a 6 cm thick muddy calcarenite of the sheetflood. From floodplain unit in Fig. 34.

tercalations, and conglomerates which may display erosional bases. The thick succession observed in the neighbouring Karin area is almost completely lacking (Fig. 43), as was also seen at the previous Stop. There is only a thin unit representing a marine onlap, the result of a far landward reaching transgression, and another, alluvial onlap.



Figure 37. A palm leaf in a sheetflood calcarenite. Visible length of the leave is 45 cm. From floodplain unit in Fig. 34. Stop 15.



Figure 38. Erect palm trunk. Visible part is 80 cm high. Stop 15.

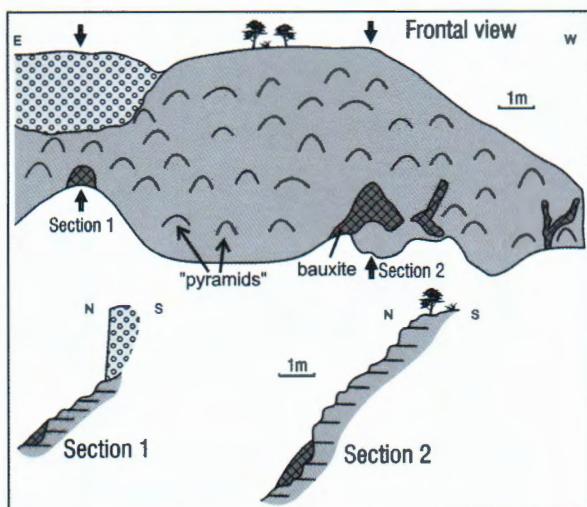


Figure 39. Sketches of exposures in the NW part of the Krš (Karamarkuša) bauxite deposit (Stop 16A). They show the pinching out of bauxite at the flank of a depression formerly filled with bauxite, which was later excavated. "Pyramids" are protruding dissolution forms in underlying limestones. The surface of the Cretaceous limestones below the bauxite may be covered by a thin breccia. Conglomerates of the PB are crudely bedded, with imbrication suggesting an approximate W direction of streams, and locally cross-bedded. Location in Fig. 29.

4. SEDIMENTARY EVOLUTION OF THE NORTH DALMATIAN BASIN: A SUMMARY OF THE PRESENTED FEATURES

1. The sedimentary evolution of the North Dalmatian basin shows a general trend typical for peripheral foreland basins, especially those of the alpine realm. This development includes the formation of the forebulge, the following

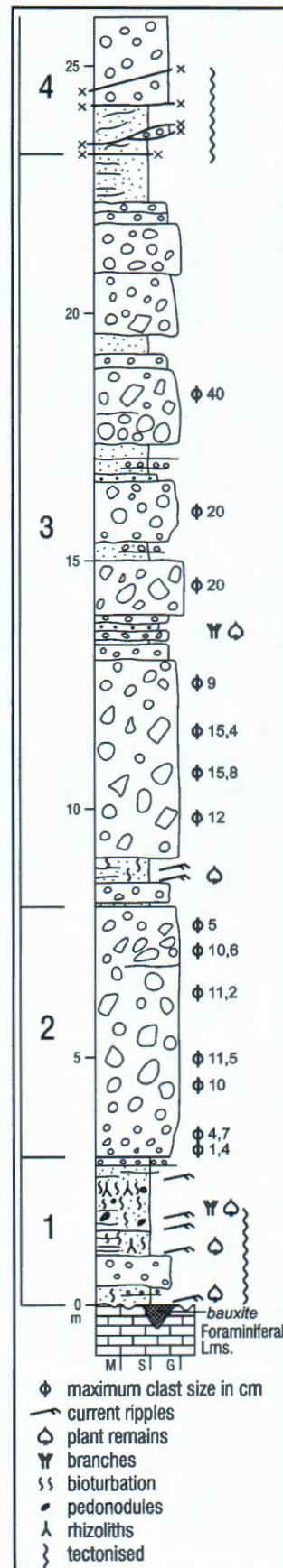


Figure 40. Succession of the PB in the pit of the Krš (Karamarkuša) bauxite deposit (Stop 16B). Note alternating debris-flow and thin stream-flow units, as well as the inverse grading in the lower part of some debris-flow units.

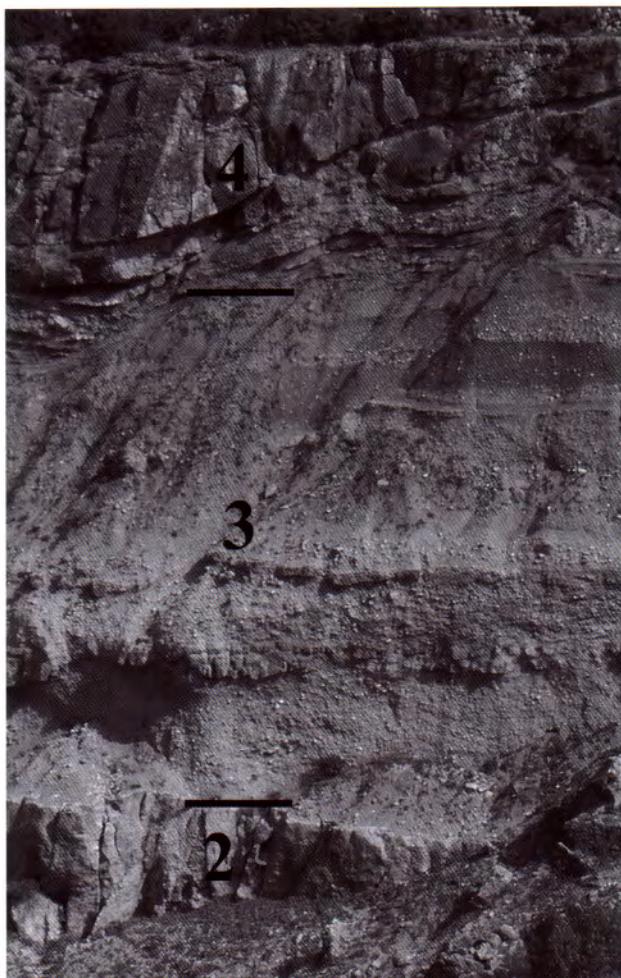


Figure 41. Photograph of the succession in Fig. 40.

deepening-upward ramp succession, a hemipelagic unit, deep-water clastics of the flysch stage, and a thick succession of alternating deltaic, shelf, shallow-marine (carbonate), coastal, lacustrine and alluvial deposits of the molasse stage.

2. The early basin filling processes were dominated by flood-generated density undflows. The relevant drainage basin was characterised by intense erosion in the mountains of the rising Dinaric orogen, and long lasting river floods.

3. The lower part of the overall succession varies along the depositional strike, which suggests differences in supply and tectonic behaviour along the basin. However, details of relevant correlation of distant successions are only fragmentarily known. On the other hand, the subsequent, progradational, marine to alluvial unit (Ivkovići section) seems to characterise an important part of the basin. Even more, its upper, alluvial portion may be traced along the major part of the basin, while the transgressive surface at its top extends along the entire basin. Equally, the succession above this surface appears uniform across the basin. It consists of cyclic, shelf-delta/coast deposits and overlying alluvial sediments.

4. The transgressive surface mentioned above is the most conspicuous, easy to identify stratigraphic boundary

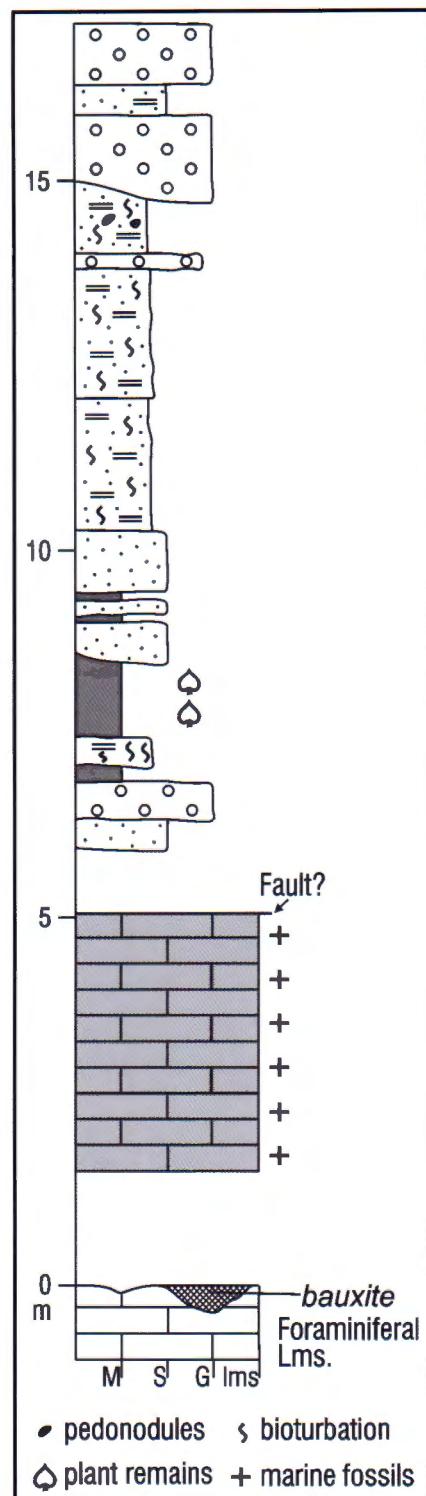


Figure 42. Succession in the Tople Torine bauxite pit (Stop 17). The limestone unit is bounded by two unconformities, now covered. Location in Fig. 29.

within the entire basin fill and is appropriate and useful for separating the Promina Beds in two large segments.

5. The thickness of the sedimentary successions is drastically reduced at the inner basin margin. Many units are there lacking, and only smaller parts of some units onlap the Cretaceous and Eocene carbonate basement. This is due to the prevailing uplift in the marginal area in contrast to the intense

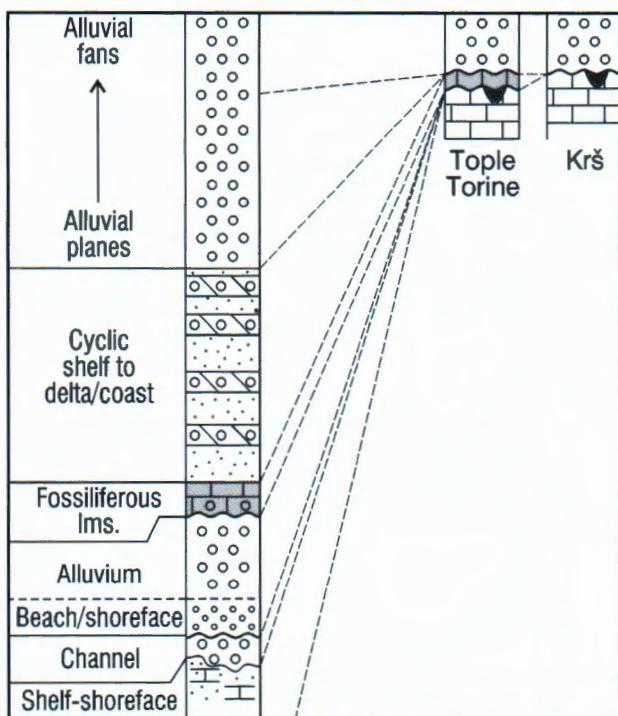


Figure 43. Drastic reduction in sediment thickness and number of units at the basin margin (right; details in Figs. 42 and 40) compared to the major part of the basin (left; details in Fig. 9).

subsidence of the closely situated basin areas seawards, as well as due to the close position to the advancing nappes landwards.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is part of the project "Evolutionary changes of the Dinarides from subduction to modern Adriatic beaches" supported by Ministry of Science, Education, and Sport of the Republic of Croatia. We thank Mr. R. KOŠČAL (Institut of Geology and Paleontology, Faculty of Science, Zagreb) for the artwork.

REFERENCES

- ALLEN, P.A. & ALLEN, J.R. (1990): Basin analysis: Principles and applications.– Blackwell, Oxford, 451 p.
- ALLEN, P.A., CRAMPTON, S.L. & SINCLAIR, H.D. (1991): The inception and early evolution of the North Alpine Foreland Basin, Switzerland.– Basin Res., 3, 143–163.
- ALLEN, P.A. & HOMEWOOD, P. (eds.) (1986): Foreland Basins.– IAS Spec. Publ., 8, Blackwell, Oxford, 453 p.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1982): Channel facies in the Eocene flysch formation of northern Dalmatia (in Croat., Engl. summary).– 10. jub. kongr. geol. Jugoslavije, Budva, 1, 509–513.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1983a): Šopot contact in northern Dalmatia: Eocene submarine channel (in Croat., Engl. summary).– Rad Jugosl. akad., 404, 125–135.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1983b): Paleogene clastic formations in northern Dalmatia.– In: BABIĆ, L.J. & JELASKA, V. (eds.): Contributions to Sedimentology of Some Carbonate and Clastic Units of the Coastal Dinarides. 4th International Association of Sedimentologists, Regional Meeting, Split, Excursion Guide-book, 37–61.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1988): Coarse-grained alluvium in the Paleogene of northern Dalmatia (Croatia, Yugoslavia) (in Croat., Engl. summary).– Rad Jugosl. akad., 441, 139–164.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (1990): Progradational sequences in the Paleogene clastic basin of the Outer Dinarids, from northern Dalmatia to western Herzegovina (in Croat., Engl. summary).– Rad Jugosl. akad., 449, 319–343.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (2007): Major events and stages in the sedimentary evolution of the Paleogene Promina basin (Dinarides, Croatia).– Natura Croatica, 16/4, 215–232.
- BABIĆ, L.J. & ZUPANIĆ, J. (2008): Evolution of a river-fed foreland basin fill: the North Dalmatian flysch revisited (Eocene, Outer Dinarides).– Natura Croatica, 17, 357–374.
- BABIĆ, L.J., ZUPANIĆ, J. & KURTANJEK, D. (1995): Sharply-topped alluvial gravel sheets in the Palaeogene Promina Basin (Dinarides, Croatia).– Geol. Croat., 48, 33–48.
- BAHUN, S. (1990): Stages of formation of plains in the Dinaric karst (In Croat., Engl. summary).– Cursus Iugoslaviae, 12/6, 147–158.
- CHOROWICZ, J. (1977): Étude géologique des Dinarides le long de la transversale Split–Karlovac (Yugoslavie).– Soc. Géol. Nord, Publ. 1, 331 p.
- COLLINSON, J.D. (1996): Alluvial sediments.– In: READING, H.G. (ed.): Sedimentary Environments. 3. Ed. Blackwell, Oxford, 37–82.
- COVEY, M. (1986): The evolution of foreland basins to steady state: evidence from the western Taiwan foreland basin.– In: ALLEN, P.A. & HOMEWOOD, P. (eds.): Foreland Basins. Intern. Assoc. Sedim. Spec. Publ., 8, Blackwell, 77–90, Oxford.
- CRAMPTON, S.L. & ALLEN, P.A. (1995): Recognition of forebulge unconformities associated with early stage foreland basin development: example from the North Alpine foreland basin.– AAPG Bull., 79, 1495–1514.
- DOROBEK, S.L. & ROSS, G.M. (1995): Stratigraphic evolution of foreland basins.– SEPM Spec. Publ., 52, 310 p.
- DZULYNSKI, S. & WALTON, E.K. (1965): Sedimentary features of flysch and greywackes.– Developments in Sedimentology, 7, Elsevier, 274 p., Amsterdam.
- FLEMINGS, P.B. & JORDAN, T.E. (1989): A synthetic stratigraphic model of foreland basin development.– J. Geophysical Res., 94/B4, 3851–3866.
- GILBERT, G.K. (1885): The topographic features of lake shores.– Ann. Rep. U.S. geol Surv., 5, 75–123.
- HELLER, P.L. & DICKINSON, W.R. (1985): Submarine ramp facies model for delta-fed, sand-rich turbidite system.– AAPG Bull. 69, 960–976.
- HELLER, P.L., ANGEVINE, C.L. & WINSLOW, N.S. (1988): Two-phase stratigraphic model of foreland basin sequences.– Geology, 16/6, 501–504.
- HERAK, M. & BAHUN, S. (1979): The role of calcareous breccia (Jelar Formation) in the tectonic interpretation of the High Karst zone of the Dinarides.– Geol. vjesnik, 31, 49–59.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., SAKAČ, K. (1978): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Geology of the Drniš sheet (in Croat., English summary).– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 59 p.
- IVANOVIĆ, A., SIKIRICA, V., MARKOVIĆ, S. & SAKAČ, K. (1977): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Sheet Drniš.– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- IVANOVIĆ, A., SAKAČ, K., SOKAČ, B., VRSALOVIĆ-CAREVIĆ, I. & ZUPANIĆ, J. (1976): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Geology of the Obrovac sheet (in Croat., Engl. summary).– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 61 p.
- IVANOVIĆ, A., SAKAČ, K., MARKOVIĆ, S., SOKAČ, B., ŠUŠNIJAR, M., NIKLER, L. & ŠUŠNIJARA, A. (1973): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Obrovac Sheet.– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.

- KNELLER, B.C. & BRANNEY, M.J. (1995): Sustained high-density turbidity currents and the deposition of massive sands.– *Sedimentology*, 42, 607–616.
- KORBAR, T. (2009): Orogenic evolution of the External Dinarides in the NE Adriatic region: a model constrained by tectonostratigraphy of Upper Cretaceous to Paleogene carbonates.– *Earth-Science Reviews* (2009), doi:10.1016/earscirev.2009.07.004, 1–17.
- KRAŠENINNIKOV, V.A., MULDINI-MAMUŽIĆ, S. & DŽODŽO-TOMIĆ R. (1968): Signification des foraminifères planktoniques pour la division de Paléogène de la Yougoslavie et comparaison avec les autres régions examinées (in Croat., French summary).– *Geol. vjesnik*, 21, 117–145.
- MAJCEN, Ž. & KOROLIJA, B. (1973): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Geology of Zadar sheet (in Croat., Engl. summary).– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 44 p.
- MAMUŽIĆ, P. (1971): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Šibenik sheet.– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- MAMUŽIĆ, P. (1975): Basic Geological Map of Yugoslavia, 1:100 000, Geology of Šibenik sheet (in Croat., Engl. summary).– Geološki zavod, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd, 37 p.
- MARINČIĆ, S. (1981): Eocene flysch of Adriatic area (in Croat., Engl. summary).– *Geol. vjesnik*, 34, 27–38.
- MASCLE, A., PUIGDEFABREGAS, C., LUTHERBACHER, C. & FERNANDEZ, M. (eds.) (1998): Cenozoic Foreland Basins of Western Europe.– *Geol. Soc. Spec. Publ.* London, 134, 442 p.
- MIAILL, A.D. (1992): Alluvial Deposits. In: Walker, R.G. & James, N.P. (eds.): Facies Models, Response to Sea-level Change.– St. John's, Geol. Assoc. Canada, 119–142.
- MIAILL, A.D. (1996): The Geology of Fluvial Deposits.– Springer, Berlin, 582 p.
- MIAILL, A.D. (2000): Principles of Sedimentary Basin Analysis.– 3. ed. Springer, 616 p., Berlin.
- MIKES, T., BÁLDIBEKE, M., KÁZMÉR, M., DUNKL, I. & VON EYNATTEN, H. (2008): Calcareous nannofossil age constraints on Miocene flysch sedimentation in the Outer Dinarides (Slovenia, Croatia, Bosnia-Herzegovina and Montenegro).– In: SIEGEMUND, S., FÜGENSCHUH, B. & FROITZHEIM, N. (eds.): Tectonic Aspects of the Alpine-Dinaride-Carpathian System. *Geol. Soc. Spec. Publ.* London, 298, 335–363.
- MRINJEK, E. (1993): Sedimentology and depositional setting of alluvial Promina Beds in Northern Dalmatia.– *Geol. Croat.*, 46, 243–261.
- MRINJEK, E. (2008): Excursion 3A, Split-Rab, Promina Beds in Canyon of Krka River and Bribirske Mostine.– In: MARJANAC, M. (ed.): Rab, 5. Int. ProGEO Symposium on Conservation and the Geological Heritage. Guidebook, ProGEO Croatia, 37–77, Zagreb.
- MRINJEK, E. & PENCINGER, V. (2008): Excursion 3B, Rab-Split, The Benkovac Stone – a building stone from the Promina Beds: A Late Eocene succession of storm-dominated shelf deposits with highly diverse trace fossils.– In: MARJANAC, M. (ed.): Rab, 5. Int. ProGEO Symposium on Conservation and the Geological Heritage. Guidebook ProGEO Croatia, 105–125, Zagreb.
- MRINJEK, E., PENCINGER, V., SREMAC, J. & LUKŠIĆ, B. (2005): The Benkovac Stone Member of the Promina Formation: a Late Eocene succession of storm-dominated shelf deposits.– *Geol. Croat.*, 58, 163–184.
- MULDER, T., SYVITSKI, J.P.M., MIGEON, S., FAUGERES, J-C. & SAVOYE, B. (2003): Marine hyperpycnal flows: initiation, behaviour and related deposits. A review.– *Marine Petroleum Geol.*, 20, 861–882.
- MUTTI, E. (1979): Turbidites et cônes sousmarines.– In: HOMEWOOD, P. (ed.): Sédimentation détritique. Course 3eme Cycle Romande en Science de la Terre, Institut de Géologie, Univ. Fribourg, 1, 353–419.
- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. (1991): Combined flow model for vertical stratification sequence in shallow marine storm-deposited beds.– *Jour. Sedimentary Research*, 61, 202–210.
- MYROW, P.M. & SOUTHARD, J.B. (1996): Tempestite deposition.– *Jour. Sedimentary Research*, 66, 875–887.
- MYROW, P.M., FISCHER, W. & GOODGE, J.W. (2002): Wave-modified turbidites: combined-flow shoreline and shelf deposits, Cambrian, Antarctica.– *Jour. Sedimentary Research*, 72, 641–656.
- PAVIČIĆ, Lj., ZUPANIĆ, J. & BABIĆ, Lj. (2003): Changing heavy mineral associations along the Outer Dinaric Eocene flysch belt: evidence for different structures along the rising Dinarides.– Abstract book, 22nd IAS Meeting of Sedimentology, Opatija 2003, 149.
- PLINK-BJÖRKlund, P., MELLERE, D. & STEEL, R.J. (2001): Turbidite variability and architecture of sand-prone, deep-water slopes: Eocene clinoforms in the Central Basin, Spitsbergen.– *Jour. Sedimentary Research*, 71, 895–912.
- POSAMENTIER, H.W. & ALLEN, G.P. (1999): Siliciclastic Sequence Stratigraphy – Concepts and Applications.– SEPM Concepts in Sedimentology and Palaeontology, 7, 204 p.
- POSAMENTIER, H.W. & VAIL, P.R. (1988): Eustatic controls on clastic deposition II – Sequence and systems tract models.– In: WILGUS, C.K., HASTINGS, B.S., KENDALL, C. G. ST. C., POSAMENTIER, H.W., ROSS, C.A. & VAN WAGONER, J.C. (eds.): Sea-Level Changes: an Integrated Approach. SEPM, Spec. Publ. 42, 125–154.
- POSTMA, G., BABIĆ, LJ., ZUPANIĆ, J. & ROE, S-L. (1988): Delta-front failure and associated bottomset deformation in a marine, gravelly Gilbert-type fan delta.– In: NEMEC, W. & STEEL, R.J. (eds.): Fan Deltas: Sedimentology and Tectonic Settings.– Blackie, Glasgow, 91–102.
- PRELOGOVIĆ, E., PRIBIČEVIĆ, B., IVKOVIĆ, Ž., DRAGIČEVIĆ, I., BULJAN, R. & TOMLJENOVIC, B. (2003): Recent structural fabric of the Dinarides and tectonically active zones important for petroleum–geological exploration in Croatia.– *Nafta*, 55, 155–161.
- PRIOR, D.B. & BORNHOLD, B.D. (1989): Submarine sedimentation on a developing Holocene fan delta.– *Sedimentology*, 36, 1053–1076.
- ROGLIĆ (1957): Les surfaces d'aplanissement dans les calcaires (In Croat., French summary).– *Geografski glasnik*, 18, 103–134.
- SAKAČ, K., BENIĆ, J., BAHUN, S. & PENCINGER, V. (1993): Stratigraphic and tectonic position of Paleogene Jelar Beds in the Outer Dinarides.– *Natura Croatica*, 2/1, 55–72.
- SAVEZNI GEOLOŠKI ZAVOD (FEDERAL GEOLOGICAL INSTITUT), 1970: Geološka karta SFR Jugoslavije, 1:500.000. Beograd.
- SCHUBERT, R.J. (1904): Das Verbreitungsbereich der Prominaschichten im Kartenblatte Novigrad-Benkovac (Norddalmatien).– *Jahrb. geol. Reichsanst.*, 54, 461–510, Wien.
- SCHUBERT, R.J. (1905): Zur Stratigraphie des istrisch-norddalmatinischen Mitteleocans.– *Jahrb. geol. Reichsanst.*, 55/1, 153–188, Wien.
- SCHUBERT, R.J. (1908): Geologische Spezialkarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie, 1:75.000. Novegradi-Benkovac.– *Geol. Reichsanst.*, Wien.
- SINCLAIR, H.D. (1997): Tectonostratigraphic model for underfilled foreland basins: an Alpine perspective.– *Geol. Soc. Am. Bull.*, 109, 324–346.
- ŠIKIĆ, D. (1969): Über die Entwicklung des Paläogens und die lutetischen Bewegungen in der nördlichen Dalmatien (In Croat., Germ. abstract).– *Geol. vjesnik* 22, 309–331.
- TERZAGHI, K. (1913): Beiträge zur Hydrographie und Morphologie des kroatischen Karstes.– *Mitt. Jahrb. Ungar. Geol. Reichsanst.*, Budapest, 20/6, 225–369.
- TINTERRI, R. (2007): The lower Eocene Roda Sandstone (south-central Pyrenees): an example of a flood-dominated river-delta system in a tectonically controlled basin.– *Riv. It. Paleont. Strat.*, 113, 223–255.

- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. (2005): Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics.– *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 220, 333–360.
- ZUPANIĆ, J. & BABIĆ, LJ. (1981): The origin of the lower part of Promina Formation (Paleogene) northwest of Benkovac (Dalmatia) (in Croat., Engl. summary).– *Vesnik A-Geologija*, 38/39, 227–230, Beograd.
- ZUPANIĆ, J., BABIĆ, L., ROE, S.L. & POSTMA, G. (1987): Wave-cut platform and wave-built terrace succeeding a Gilbert delta.– Abstracts, Int. Symposium, Fan-deltas, Sedimentology and Tectonic Settings, Norway, 1987, p. 48, Bergen.
- ZUPANIĆ, J., BABIĆ, L., ROE, S.L. & POSTMA, G. (1988): Construction and destruction of Gilbert-type deltas during transgression. An example from the Eocene Promina Formation, Yugoslavia.– Abstracts Int. Workshop Fan Deltas, Calabria, 1988, 58–59.

Potpore – Supported by



Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske
Ministry of Science, Education and Sports of the Republic of Croatia



Sponzori – Sponsored by

štedbanka d.d.

PROMEKS KOMPJUTER d.o.o.



KAMEN BENKOVAC d.o.o.

www.kamen-benkovac.hr



EKO, ETNO, TRADICIONALNO - KAMEN BENKOVAC



Kamen Benkovac – iz bogate ponude prirodnog kamena izdvajamo: **Mobilne kućice**, u potpunosti obložene benkovačkim kamenom. Pogodne za sve namjene (suvenirnice, pekarnice, zalogajnice....). Za sve dodatne informacije stojimo na raspolaganju na telefonima: 023 684 109 ili 023 684 134

Vaš Kamen Benkovac

IT'S SIMPLE
...because we know how to create...

picture
text
design
fonts
layout
editing
match print
press

LASER
plus

Brijunska 1a, 10 000 Zagreb, Croatia
Phone/Fax: +385.01.6180 110, +385.01.6180 111, E-mail: laser-plus@zg.hinet.hr

Hrvatsko geotehničko društvo

Hrvatsko geotehničko društvo (HGD) osnovano je 27.01.2006. u Zagrebu spajanjem dvije nacionalne udruge koje su do tada samostalno djelovale: Hrvatske udruge za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo i Hrvatske udruge za mehaniku stijena. Osnivanje jedinstvene geotehničke udruge bilo je na tragu svjetskog trenda povezivanja triju međunarodnih sestrinskih udruga za mehaniku tla (ISSMGE), mehaniku stijena (ISRM) i inženjersku geologiju (IAEG) u FedIGS (Federation of the Geo-engineering Societies). HGD je dobrovoljna strukovna udruga članova koji se bave geotehnikom i drugim srodnim strukama. Udruga potiče suradnju među inženjerima i znanstvenicima radi unapređenja znanja na polju geotehniki i drugih srodnih struka, osigurava potporu članovima u njihovim strukovnim djelovanjima vezanim za geotehniku i druge srodne struke, bavi se popularizacijom etičkih vrijednosti u struci, služi kao most u suradnji sa srodnim međunarodnim strukovnim udrušama kao što su Međunarodna udruga za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo (ISSMGE – International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering), Međunarodna udruga za mehaniku stijena (ISRM-International Society for Rock Mechanics) i druge. Udruga se bavi i organizacijom konferencija, simpozija, seminara, radionica i predavanja. Podupire izdavanje stručne literature; osigurava pravnu i stručnu pomoć članovima; sudjeluje u radu na priručnicima, normama i propisima vezanim uz geotehniku i druge sroдne struke. Članstvo u udruzi je dobrovoljno. Svatko tko je bio ili je aktivan na području geotehnike i drugih srodnih struka, a prihvata Statut Udruge i voljan je sudjelovati u njenom radu, može postati član Udruge.

Prof. Ivan Vrkljan
Tajnik HGD-a
Hrvatsko geotehničko društvo
Berislavićeva 6
10 000 Zagreb



ISBN 953-6907-08-9



9 789536 907229