

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 nafte d.d, Lovinčičeva bb, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(vladimir.veseli@ina.hr)

⁵Ivan Rakovec Institute of Palaeontology, ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia
(katica@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 off-shore 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 of fault-erosional scarp, selective erosion, and pelagositic 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 Ravni Žakan Island – correlation with Kate-1 borehole.

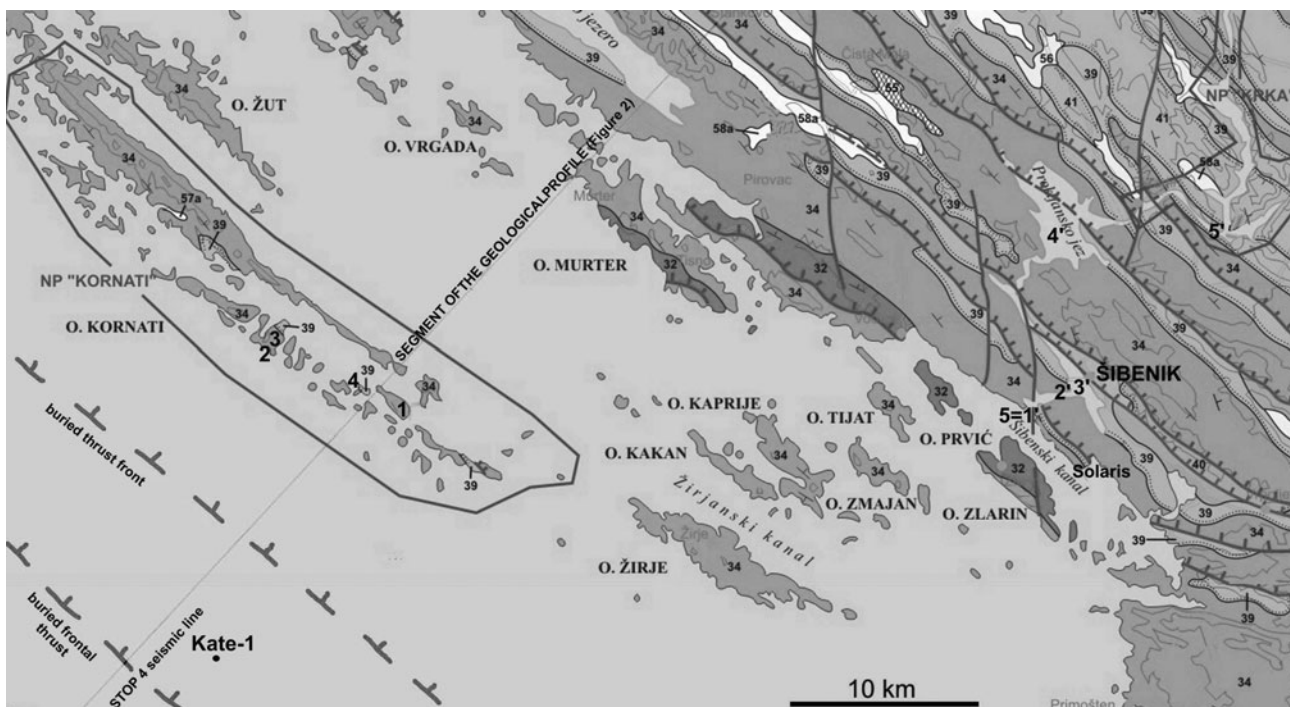
Stop 5. (from boat)=Stop 1' of field trip B1' (ČUKROV et al., 2010): Submerged canyon of palaeo-Krka River.

Geološki pregled šireg područja Šibenika

Otoci Šibenskog i Kornatskog arhipelaga, kao i šire šibensko kopneno područje (sjeverna Dalmacija), izgrađeni su od deformiranih naslaga najgornje kore, istaloženih na središnjem dijelu Jadranske mikroploče (CHANNELL et al., 1979). Većim dijelom to su predorogenetski karbonati Jadranske (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 & NEDELA-DEVIDE, 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 preplavlivanja 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 stratigrafske 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 lapori). 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 predgorskog bazena (LAWRENCE et al., 1995; KORBAR, 2009). U sjevernom dijelu promatranog područja na foraminiferskim vapnencima nekonformno slijede naslage formacije Promina (vidi ekskurziju B3, BABIĆ & ZUPANIĆ, 2010). Na temelju stratigrafskih značajki, pojedini autori promatraju kopneno i otočno područje pripisuju tektonostratigrafskoj 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 – kvartarne naslage.

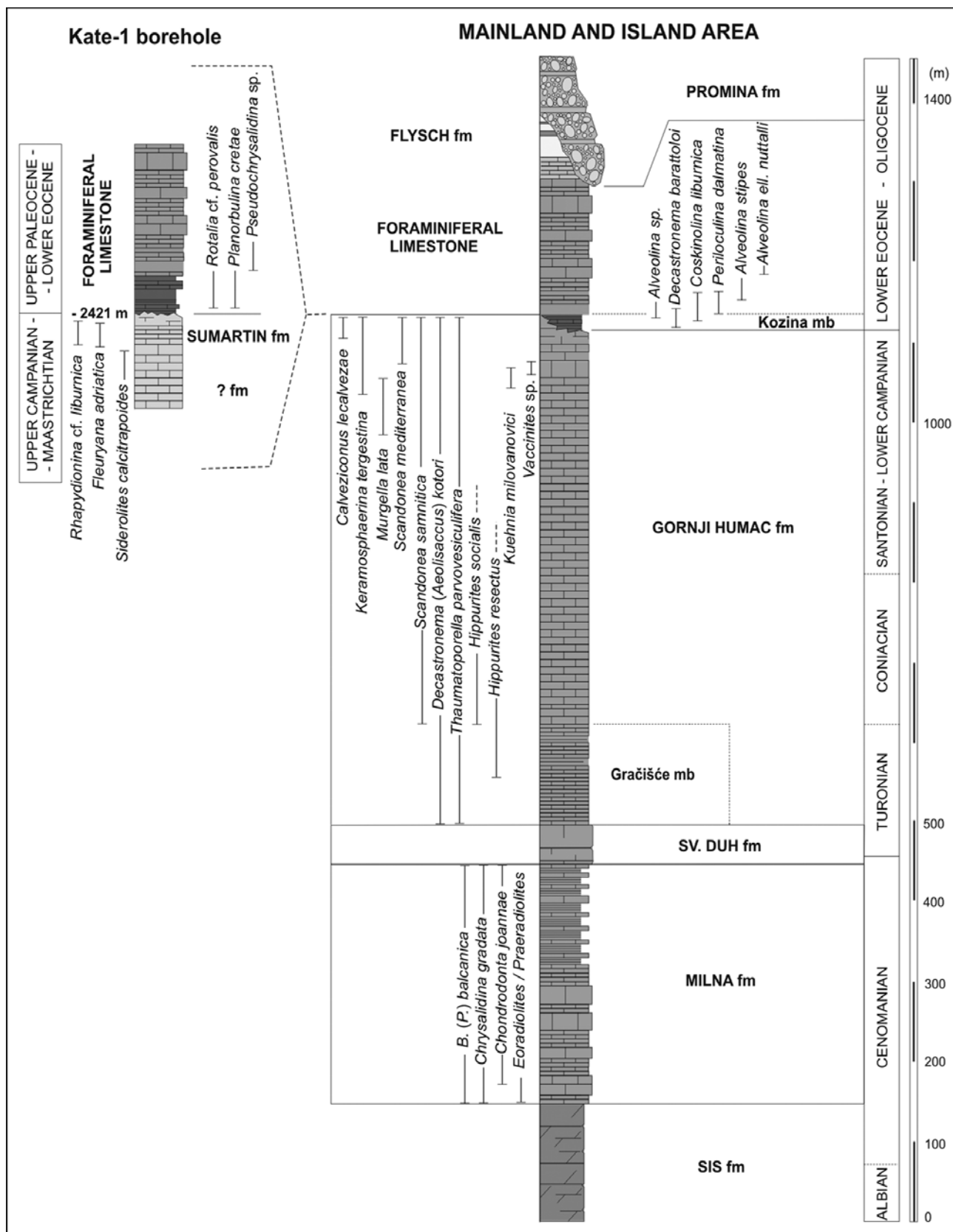
Figure 1. Geological map (modified from GKRH, 2009) showing field trip stops (B1=1-4, B1'=1'-5'), and schematic geological column of Upper Cretaceous and Paleogene of wider island and mainland Šibenik region, correlated to a segment of the column in Kate-1 borehole. Main stratigraphical units on the map: 32 – SIS dolomites (Albian-Cenomanian), 34 – Upper Cretaceous carbonate formations (see column, Cenomanian-Lower Campanian), 39 – Foraminiferal limestones (Lower-Middle Eocene), 40 – Fliš 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 stratigrafskom kontaktu nalaze plitkovodni karbonati mastrihta i paleocena (TARI-KOVAČIĆ et al., 1998; GRANDIĆ et al., 2002), razlikuje se od razvoja na kopnom 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

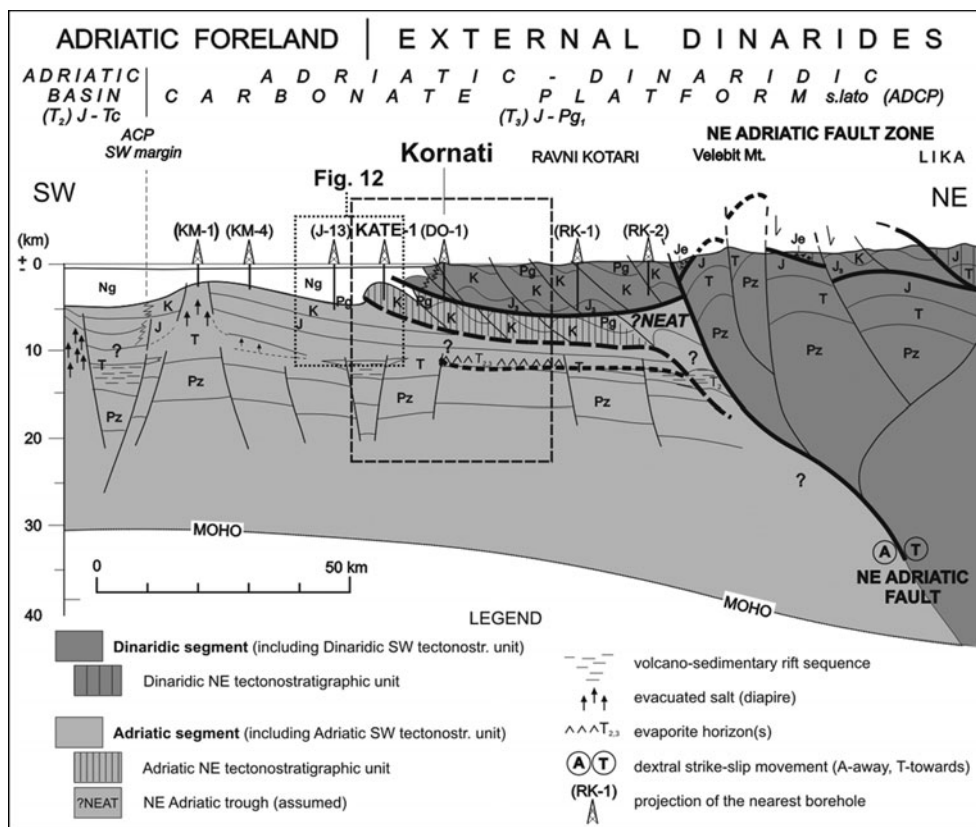
kao alohtoni dio dinaridskog segmenta karbonatne platforme, koji je navučen preko SI dijela jadranskog segmenta (Dalmatinskog krša) tijekom glavne faze dinaridskih deformacija (KORBAR, 2009; Slika 2). Tome u prilog ide i značajno tektonsko zadebljanje naslaga, interpretirano na temelju analize seizmičkih 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 deformiranom dijelu Jadranske karbonatne platforme, odnosno Dalmatinskoj zoni (LAWRENCE et al., 1995) ili imbriciranoj Jadranskoj karbonatnoj platformi (TARI, 2002). Prema tom modelu, Jadranska platforma ne pripada Vanj-



skim Dinaridima, već je samo imbricirana u njihovoj 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 Škulu 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 sinklinalne

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 pelagozitim 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 pelagositic crusts.

Točka 2 – Stop 2

Južna obala otoka Lavsa – Southern coast 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 strmcce. 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 intertajdala. 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 detaljnom 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

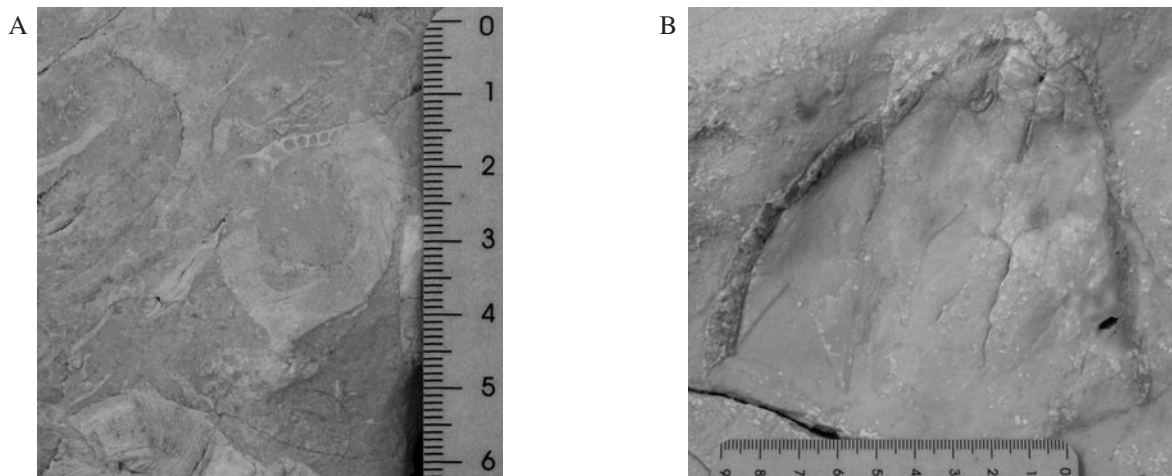
Istočna obala otoka Lavsa – Eastern coast of Lavsa Island

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 svijetli rudistno-bioklastični floutstoni/radstoni te kalcisferski vekstoni/pektioni (gornji cenoman-donji turon), ekvivalentni formaciji

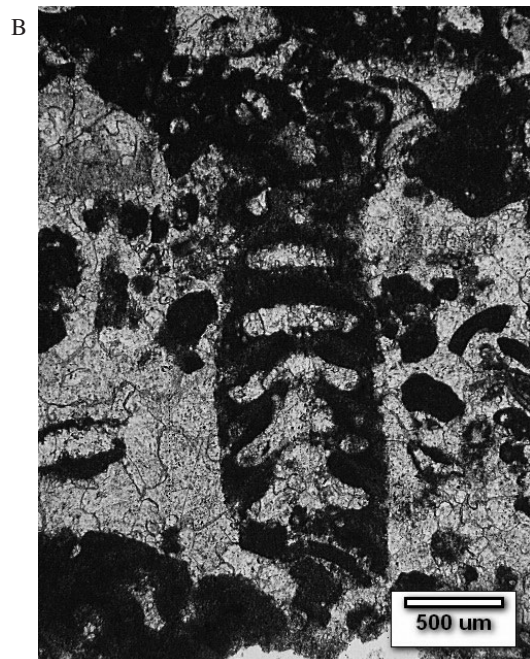
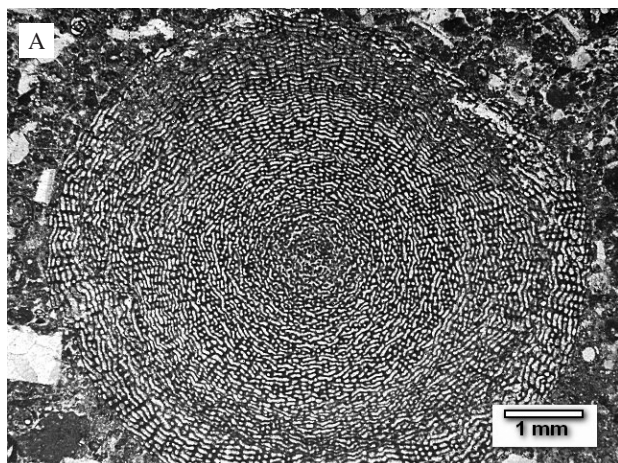
Sveti Duh. U njihovoj krovini nalazi se više stotina metara debeli paket dobro uslojenih naslaga formacije Gornji Humac. U središnjem dijelu potonje formacije slijed je prekinut reverznim rasjedom (Slika 5) koji onemogućava snimanje potpunog detaljnog stupa kroz naslage gornje krede i paleogena.



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.

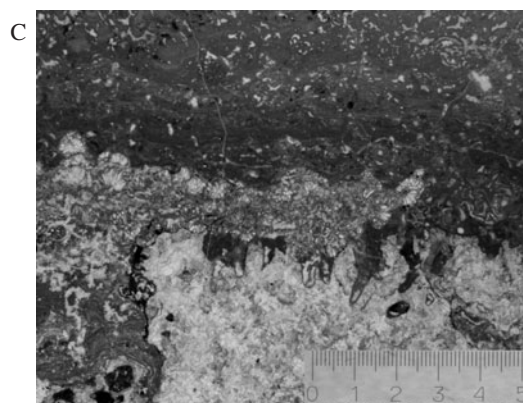
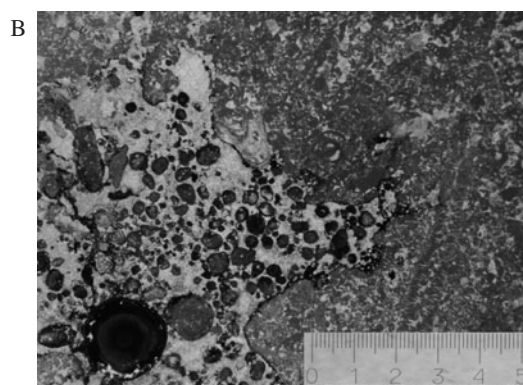


Slika 7. Mikrofotografije tipičnih bentičkih foraminifera gornjeg santona-donjeg kampana iz najmlađih naslaga formacije Gornji Humac na SI obali otoka Lavsa (Kornati). A) *Keramosphaerina tergestina* i B) *Scandonea mediterranea*.

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*.

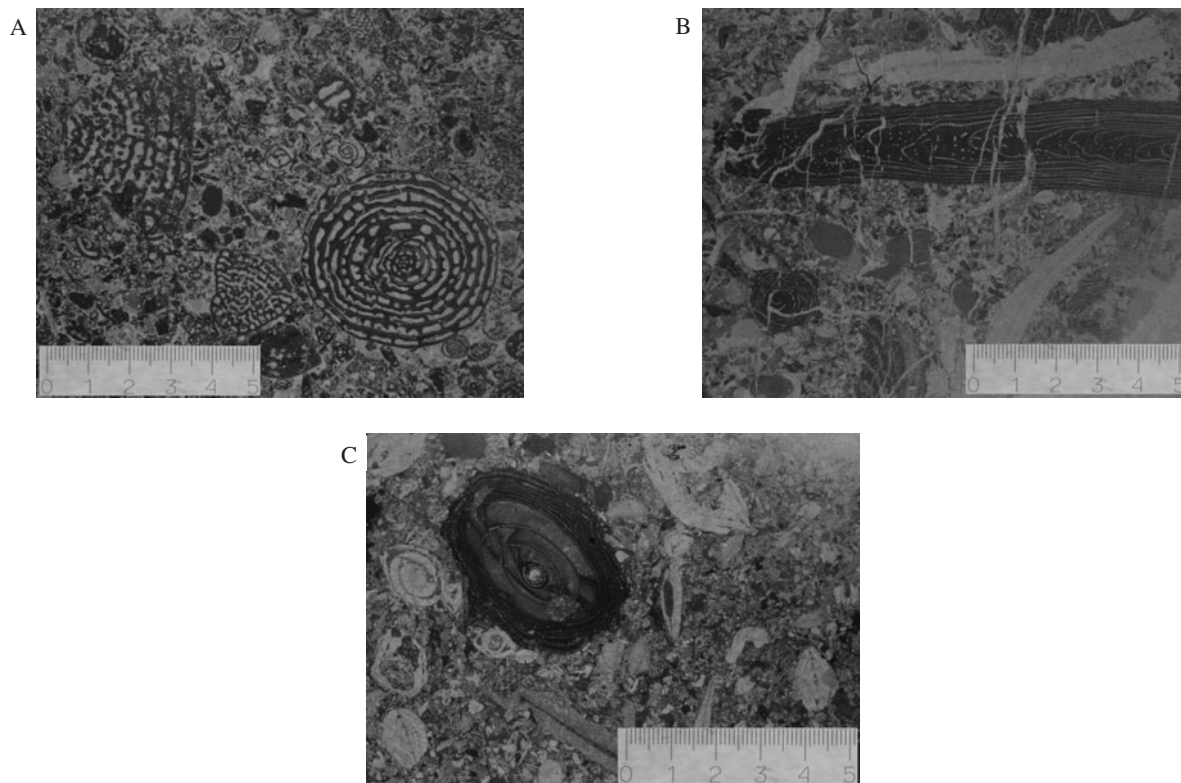
U gornjem dijelu formacije Gornji Humac nalazi se nekoliko desetaka metara debeli paket zrnastih bioklastičnih vapnenaca s facijesima otvorene platforme, na što upućuju brojni fragmenti ježinaca i raznovrsna rudistna zajednica s *Kuehnia milovanovici* (SLIŠKOVIĆ) (Slika 6A), *Vaccinites* sp. (Slika 6B) i dr.

U neposrednoj podini tog facijesa nalazi se santonska foraminiferska zajednica s *Murgella lata* Luperto Sinni i *Keramosphaerina tergestina* Stache. U vrhu formacije Gornji Humac nalazi se foraminiferska zajednica: *Dicyclina schlumbergeri* Munier-Chalmas, *Accordiella conica* Farinacci, *Keramosphaerina tergestina* Stache (Slika 7A), *Scandonea mediterranea* De Castro (Slika 7B) i *Calveziconus lecalvezae* Caus & Cornella, koja ukazuje na gornji santon-donji kampan.



Slika 8. A) Nekonformni stratigrafski kontakt vertikalnih slojeva gornje krede (lijevo) i paleogena (desno) na SI obali otoka Lavsa; B) Mikrofotografija paleokrške šupljine zapunjene pizoidnim grejns-tonom; 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 palaeokarst pocket filled by pisolitic 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, SE obale otoka Lavsa): 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-boksitičnog materijala (Slika 8A). Paleookrške šupljine zapunjene su pizoidnim grejnostonima (Slika 8B), a u vrhu nalazimo i rizoidne strukture sa sitnim mikrokodijima (Slika 8C).

Na paleookršanim naslagama krede, nekonformno slijede paleogeni Foraminiferski vapnenci (Slika 8A), koji izgrađuju čitav SE rt otoka Lavsa. Otkrivena debljina naslaga eocenskih foraminiferskih vapnenaca je oko 165 m. U samom dnu slijeda, u muljnim 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

pekstone s brojnim koskinolinama i velikim miliolidama srednjeg i gornjeg kvizija (SBZ-11, SBZ-12) (veliki primjerci *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 donjeg (SBZ-13), a navise i srednjeg lutecija (SBZ-14).

Iz navedenih podataka proizlazi da je na Lavsi stratigrafska praznina između naslaga krede i paleogena približno jednaka kao i na širem otočnom i kopnenom dijelu promatranog područja, a odgovara vremenu od oko 30 milijuna godina. Budući da je iskrcavanje s velikog broda na Lavsi problematično, nešto manje atraktivan lateralni ekvivalent opisanih naslaga rudistnih vapnenaca gornje krede i foraminiferskih vapnenaca paleogena, promatrat ćemo na susjednom otoku Ravni Žakan.

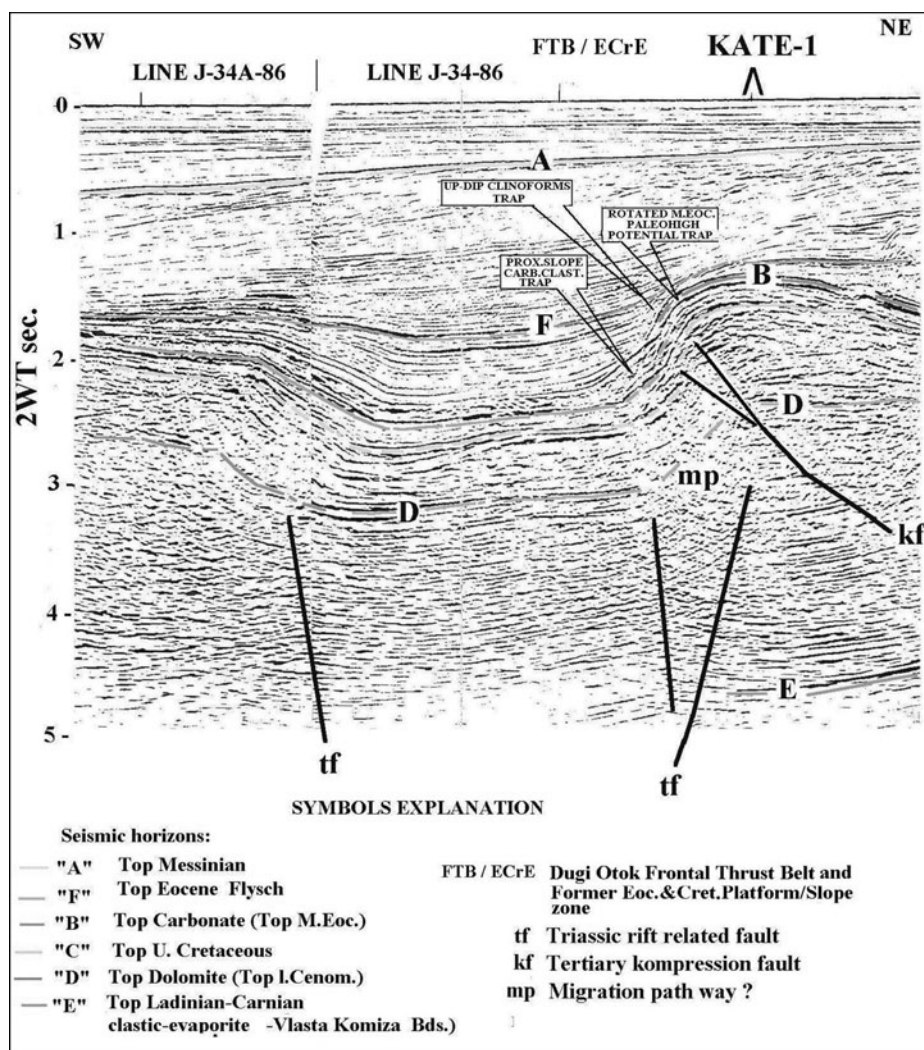
Točka 4 – Stop 4

Otok Ravni Žakan i bušotina Kate-1 – Ravni Žakan Island and Kate-1 borehole

Razvoj naslaga vršne krede i donjeg paleogena 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).

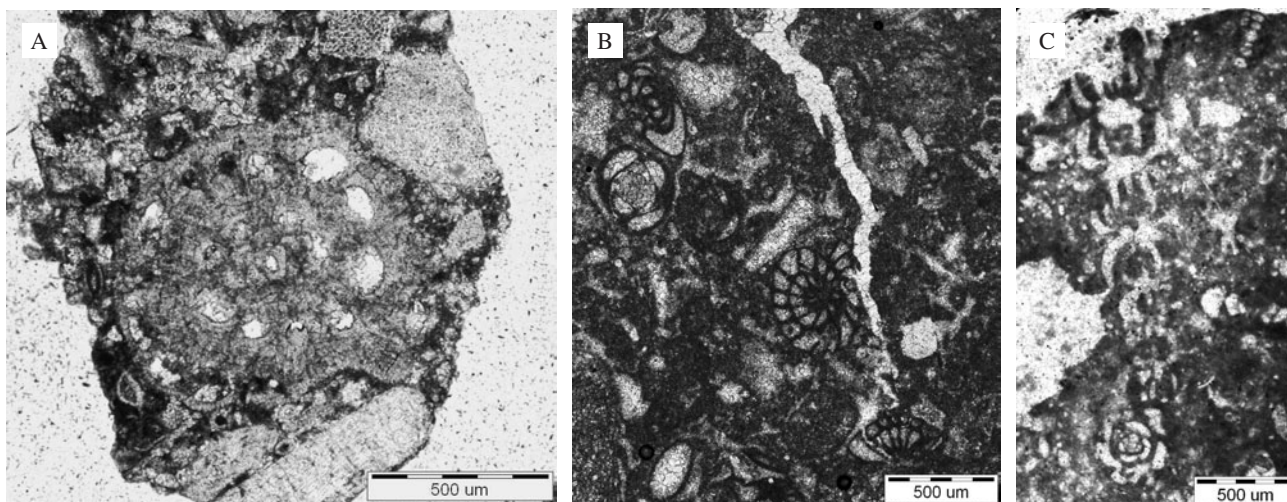
U gornjem dijelu naslaga krede u bušotini Kate-1 (Slika 1), u isplaci je pronađena foraminifera *Siderolites calcitra-*

poides Lamarck (Slika 11A), koji upućuje na gornji kampan-mastriht. U samom vrhu naslaga krede (na dubini od oko 2420 m) nabušeni 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 ilerdu, slijede tipični eocenski Foraminiferski vapnenci (TARI-KOVAČIĆ 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 mastrihta iz bušotine Kate-1 (rasponi na Sl. 1): A) *Siderolites calcitrapoides*, B) *Fleuryana adriatica* i C) *Rhapydionina 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) *Rhapydionina 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 ekscurziju B1', CUKROV et al., 2010, ova knjiga str 143).

LITERATURA

- BABIĆ, LJ. & 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 ekscurzija, 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.
- CUKROV, N., SURIC, M., FUČEK, L., ČOSOVIĆ, V., KORBAR, T. & JURAČIĆ, M. (2010): Geologija estuarija rijeke Krke. – U: HORVAT, M. (ur.): 4. Hrvatski geološki kongres – Šibenik 2010, Vodič ekscurzija, 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., KOROLIJA, B. & OŠTRIĆ, N. (1990): Stratigrafija gornjokrednih 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 gornjokrednih naslaga otoka Brača u okviru geodinamske evolucije Jadranske karbonatne platforme (Upper Cretaceous stratigraphy of the Island of Brač within the geodynamic evolution of the Adriatic carbonate platform). – Djela Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 69, Institut za geološka istraživanja, OOUR za geologiju, 160 str., Zagreb.
- JELASKA, V. (2004): Kamene poruke iz paleogena. – Biseri Jadrana, vol. 6 (Kornati), 50–60, Fabra d.o.o., 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, 96/4, 296–312, doi: 10.1016/j.earscirev.2009.07.004
- KORBAR, T., MONTANARI, A., KOCH, G., MARIANI, S., DEPAOLO, 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).– *Geologický ústav Dioníza 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, Tvrtko Korbar³ & Mladen Juračić⁴

¹Institut Ruđer Bošković, Zavod za istraživanje mora i okoliša, Bijenička 54, 10 000 Zagreb, Hrvatska
(ncukrov@irb.hr)

²Sveučilište u Zadru, Odjel za geografiju, Tudmanova 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; tvrtko.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 of field trip B1 – KORBAR et al., this book p. 131).

Stop 2'. Upper Cretaceous peritidal carbonates of Gornji Humac formation along Sv. 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'

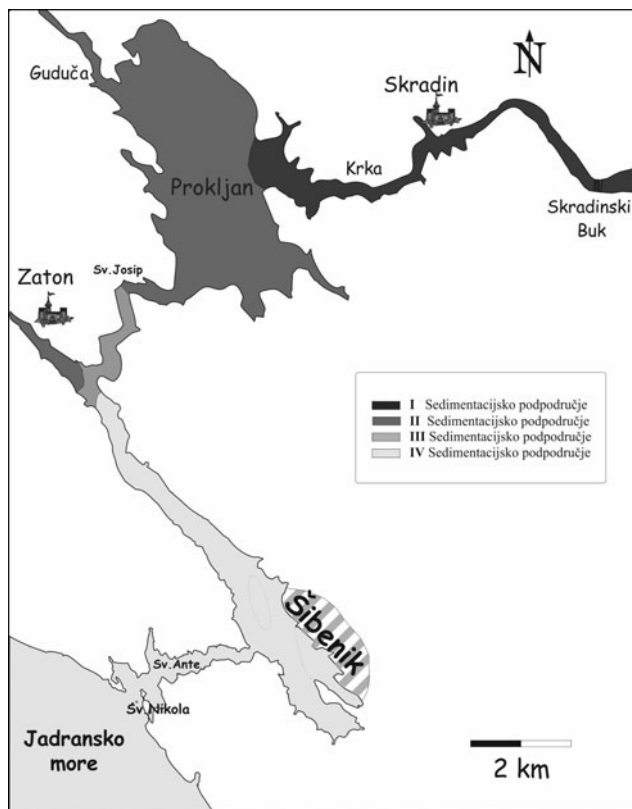
Estuarij rijeke Krke, potopljeni kanjon i sedrene barijere

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-

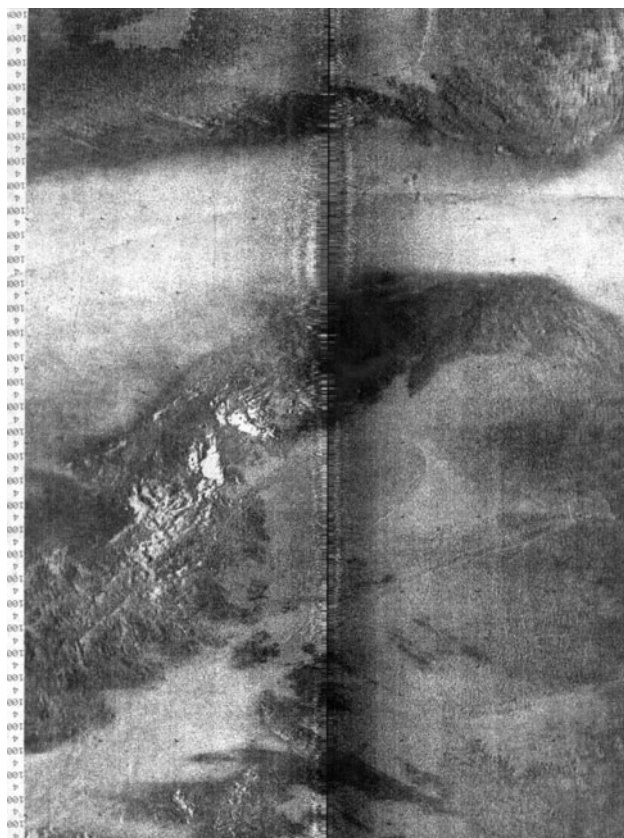
dno od Knina nalazi se nekarbonatno područje iz kojeg se transportira materijal koji pojačava riječnu eroziju i pospješuje nastanak kanjonske doline, posebno tijekom nižih morskih razina. Prije 26 000 godina, u posljednjem glacijalnom maksimumu (LGM), razina mora, a time i erozijska baza rijeke Krke, 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).

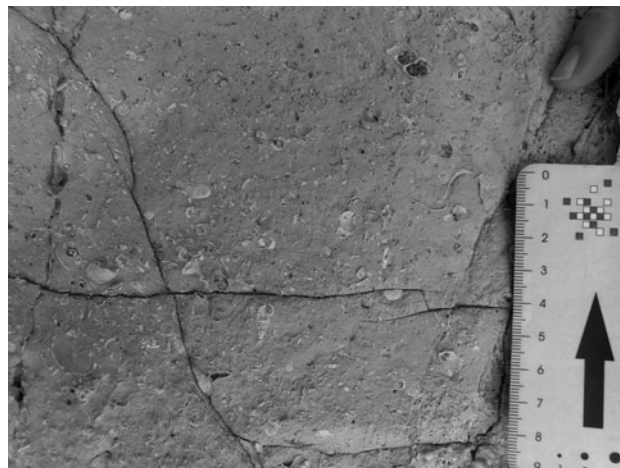
Figure 3. Deformed Upper Cretaceous deposits along St. Ante Channel (Gornji Humac formation).



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 paleogena 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 vapnenca 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 metara krednih naslaga obilježavaju paleokrške šupljine zapunjene sigovinom (Slika 4) i drugim vadoznim sedimentima, koji svjedoče o dugotrajnoj kopnenoj fazi od oko 30 milijuna godina (vidi KORBAR et al., 2010, ekskurzija B1, ova knjiga str. 131).

Prvi slojevi paleogena (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. Navise slijede 20-ak m debeli, tipični vapnenci Kozinskog facijesa s puževima (Slika 5; bočni ekvivalent snimljen na stupu „Morinje“ – Šparica 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 školjakaša i puževa. Unutar pretežito vekston-pekstona zapažena je zanimljiva dijagenza – otapanje kućica foraminifera, promjene stijenke miliolidnih 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 vjetrova. 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 pretovara 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 morsku vodu (CUCULIĆ et al. 2006; CUKROV et al., 2009).

Veći dio sedimenata estuarija rijeke Krke je nezagađen. Koncentracije ekotoksičnih metala su na prirodnim razinama i nisu se značajnije promijenile tijekom zadnjih dvadesetak godina (PROHIĆ & KNI EWALD, 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 ispušt izveden 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 Gudučom, 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 estuarij, oko 5000 tona godišnje (JURAČIĆ, 1992). Glavninu suspendiranog materijala u estuarij 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 Gudučom. 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 funkcionira 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 Prokljan 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 spuštavanja erozijske baze dolazi do monofaznog usijecanja kanjona rijeka Krke i Čikole koje se vjerojatno zbilo 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 krhku ljepotu trebalo i zaštititi. 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 opskrbljujući 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 mikro-okoliša 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.

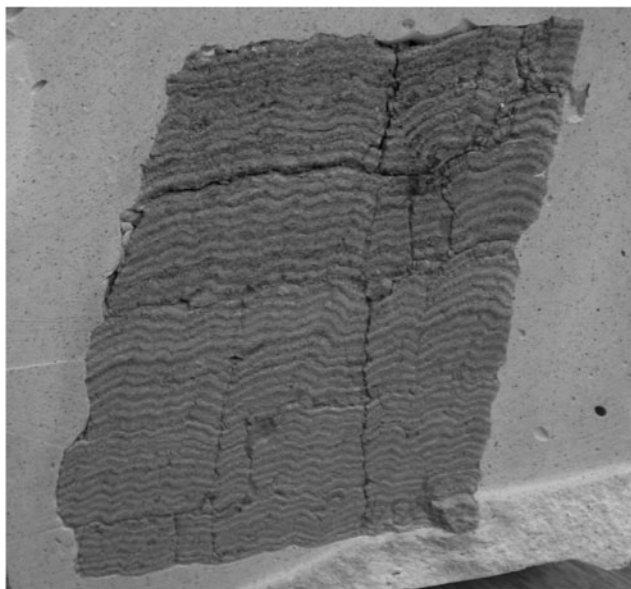
Sposobnost biljaka da potiču taloženje sedre je godina-bila diskutabilna, dok nije zaključeno da biljke ne mogu utjecati na precipitaciju CaCO_3 u vodenom toku iz kojeg sedra precipitira zbog njihove nemogućnosti da mijenjaju kemiju toka vode (LORAH & HERMAN, 1988). Međutim, iako biljke ne mogu mijenjati 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. & PERTIUISOT, 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.
- CUKROV, 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.
- CUKROV, N., FRANCIŠKOVIĆ-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.
- CUKROV, N., CMUK, P., MLAKAR, M. & OMANOVIĆ, D. (2008): Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: An example of the self-purification. – *Chemosphere*, 72/10, 1559–1566.
- CUKROV, N., CUCULIĆ, V. & KWOKAL, Ž. (2008): Ecotoxic metals in water and sediment of the southeastern part of the of Šibenik harbor, Croatia 3rd International Conference on Ports and Waterways – POWA 2008, 278–286.
- CUKROV, 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.
- CUKROV, 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., SURIC, M., FUČEK, L., MIHELČIĆ, V., VESELI, V. & DROBNE, K. (2010): Ekskurzija B1 – Geologija kornatskog 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., & CUKROV, 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., CUKROV, 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-Balkan countries, Mali Lošinj, September 22–26, 1992*, 55–63.
- MARGUŠ, D. (1994): Bibliografija radova o rijeci Krki, Gradska knjižnica “Juraj Šižgorić”, Uprava nacionalog 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.*, 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.
- ŠEGOTA, T. (1968): Morska razina u holocenu i mlađem 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.