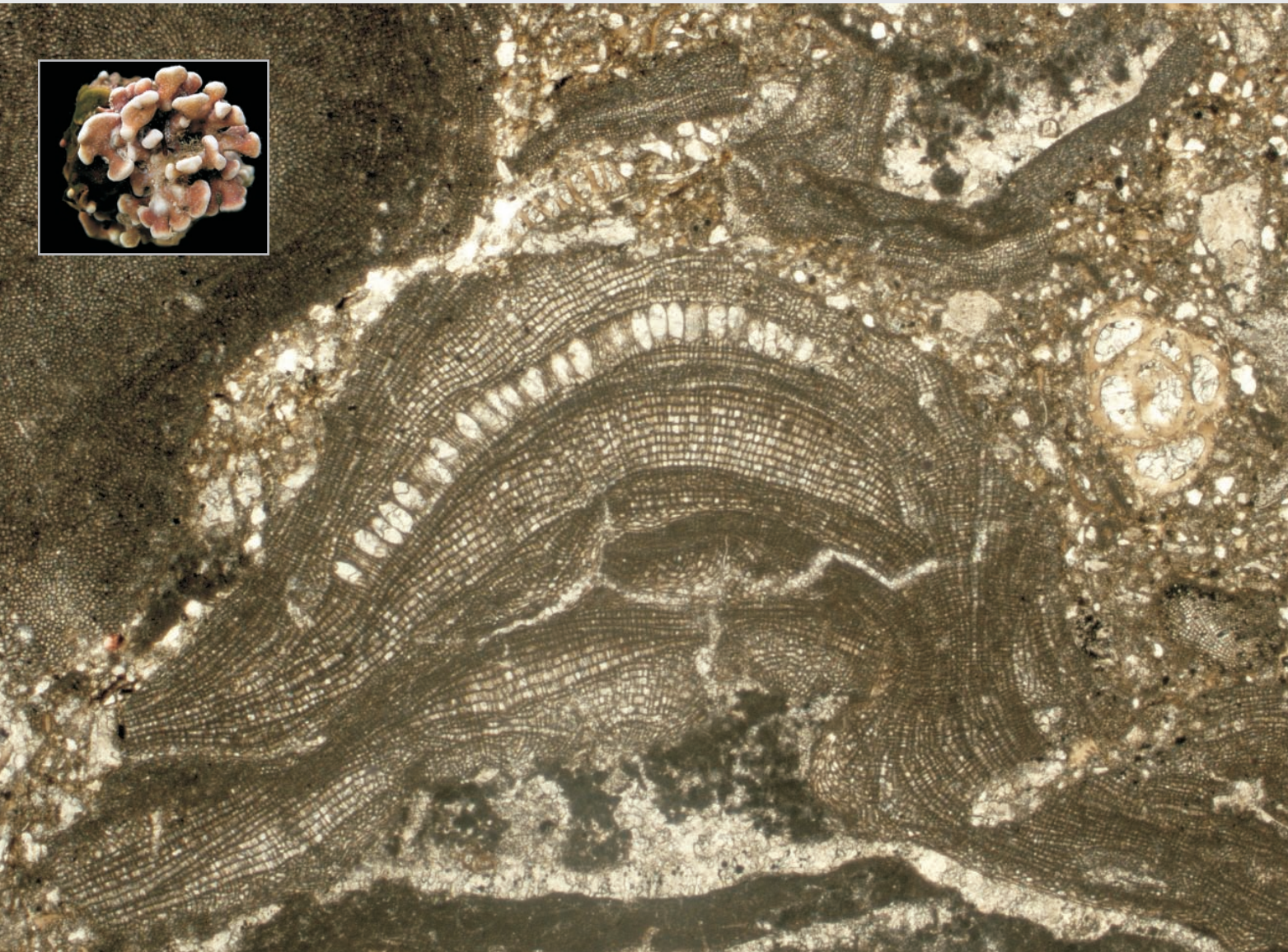
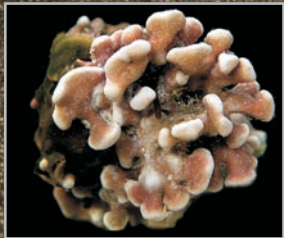


GEOLOGIJA

2008 | št.: **51/2**



Geološki zavod Slovenije
Geological Survey of Slovenia

ISSN 0016-7789
ISSN 1854-620X

GEOLOGIJA

51/2 – 2008



GEOLOGIJA	LETNIK 2008	KNJIGA 51/2	Str. 137-280	Ljubljana 2008
------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------------

GEOLOGIJA

Izdajatelj: Geološki zavod Slovenije, zanj direktor Marko KOMAC
Publisher: Geological Survey of Slovenia, represented by Director Marko KOMAC

Financirata Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Geološki zavod Slovenije
Financed by the Slovenian Research Agency and the Geological Survey of Slovenia

Vsebina številke 51/2 je bila sprejeta na seji Uredniškega odbora, dne 2. 12. 2008.
Manuscripts of the Volume 51/2 accepted by Editorial Board on December 12, 2008.

Glavni in odgovorni urednik - Editor-in-Chief: Bojan OGORELEC

Uredniški in recenzijski odbor - Scientific Advisory Board:

Mihael BRENČIČ, Ljubljana	Rinaldo NICOLICH, Trieste
Giovanni Battista CARULLI, Trieste	Simon PIRC, Ljubljana
Katica DROBNE, Ljubljana	Mario PLENIČAR, Ljubljana
Matija DROVENIK, Ljubljana	Danilo RAVNIK, Ljubljana
Jadran FAGANELI, Piran	Mihael RIBIČIČ, Ljubljana
Mateja GOSAR, Ljubljana	Marko ŠPARICA, Zagreb
János HAAS, Budapest	Sašo ŠTURM, Ljubljana
Bogdan JURKOVŠEK, Ljubljana	Josip TIŠLJAR, Zagreb
Roman KOCH, Erlangen	Dragica TURNŠEK, Ljubljana
Marko KOMAC, Ljubljana	Miran VESELIČ, Ljubljana
Harald LOBITZER, Wien	

Tehnična urednica - Technical Editor: Bernarda BOLE

Naslov - Adress: GEOLOGIJA
Geološki zavod Slovenije - Geological Survey of Slovenia
Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana
Tel.: +386 (01) 2089-700 Fax: +386 (01) 2089-753
e-mail: urednik@geologija-revija.si

Za mnenja in podatke v posameznih sestavkih so odgovorni avtorji.
The authors themselves are liable for the contents of the papers.

Naklada: 600 izvodov. Printed in 600 copies.

Price: 25 EUR, 30 USD

Tisk - Printed by: Tiskarna Formatisk d.o.o.

Priprava za tisk: Studio Luksuria, d.o.o.

Copyright © 2008 - GEOLOGIJA

Baze, v katerih je Geologija indeksirana / Indexation bases of Geologija:
GeoRef, Chemical Abstracts, PASCAL, Zoological Record

Slika na naslovni strani: Vzdolžni prerez koralineje (rod *Sporolithon*) z vidnimi spongijskimi prostori iz spodnjeoligocenskih plasti Poljšice pri Podnartu. Primerek je visok okoli 1 mm (Gale, članek v tej številki). Recentni rodoid (gomoljasta tvorba rdečih alg) iz Rdečega morja na sliki levo zgoraj meri v premeru 5 cm (nabral in slikal M. Richter).

Cover page:

Longitudinal section of non-geniculate coralline algae (genus *Sporolithon*) with sporangial compartments from the Lower Oligocene beds of Poljšica pri Podnartu. A series of (reproductive structures) stretches across the upper half of the thallus. Thallus is approximately 1 mm high (Gale, paper in this issue). Recent rhodolith on the upper left side of the picture comes from the Red Sea and measures 5 cm in diameter (collection and photo M. Richter).

VSEBINA – CONTENTS

<i>Brenčič, M.</i>	
Zgodovina hidrogeologije – Kratek oris življenja in dela Oskarja Smrekerja (1854–1935)	141
History of hydrogeology – Short description of life and work of Oskar Smreker (1854–1935)	
<i>Celarc, B.</i>	
Karnijski boksitni horizont na Kopitovem griču pri Borovnici – ali je v njegovi talnini »pozabljena« stratigrafska vrzel?	147
Carnian bauxite horizon on the Kopitov grič near Borovnica (Slovenia) – is there a »forgotten« stratigraphic gap in its footwall?	151
<i>Pleničar, M.</i>	
Paleogeografske rudistne podprovincice Tetide v zgornji kredi v Sloveniji	153
The Upper Cretaceous paleogeographical rudist subprovinces of the Tethys in Slovenia	
<i>Mikuž, V.</i>	
Serpulidni črv <i>Rotularia spirulaea</i> iz eocenskih plasti pri Gračišču v Istri, Hrvaška	161
The serpulid worm <i>Rotularia spirulaea</i> from Eocene beds near Gračišće in Istria, Croatia	165
<i>Vreča, P., Krajcar Bronić, I., Leis, A. & Brenčič, M.</i>	
Isotopic composition of precipitation in Ljubljana (Slovenia)	169
Izotopska sestava padavin v Ljubljani	
† <i>Buser, S. & Ogorelec, B.</i>	
Globaljevodne triasne in jurske plasti na Kobli	181
Deep-water Triassic and Jurassic beds from Mt. Kobla (W Slovenia)	
<i>Gale, L.</i>	
Lower Oligocene non-geniculate coralline red algal (Corallinales, Rhodophyta) assemblage from Poljšica pri Podnartu (Upper Carniola, Slovenia)	191
Spodnjeoligocenska združba nečlenjenih koralinej (Corallinales, Rhodophyta) iz Poljšice pri Podnartu	
<i>Placer, L.</i>	
Principles of the tectonic subdivision of Slovenia	205
Osnove tektonske razčlenitve Slovenije	211
<i>Jež, J., Mikoš, M., Trajanova, M., Kumelj, Š., Budkovič, T. & Bavec, M.</i>	
Vršaj Koroška Bela – Rezultat pobočnih katastrofičnih dogodkov	219
Koroška Bela alluvial fan – The result of the catastrophic slope events; (Karavanke Mountains, NW Slovenia)	
<i>Placer, L., Jež, J. & Atanackov, J.</i>	
Strukturni pogled na plaz Slano blato	229
Structural aspect of the Slano blato landslide (Slovenia)	
<i>Jemec, M. & Mikoš, M.</i>	
Pobočni masni premiki na satelitskih posnetkih SPOT: Primer območja Železnikov po vodni ujmi septembra 2007	235
Slope mass movements on SPOT satellite images: A case of the Železniki area (W Slovenia) after flash floods in September 2007	

<i>Verbovšek, T.</i>	
Koefficienti prepustnosti razpok in matriksa v slovenskih karbonatnih vodonosnikih	245
Hydraulic conductivities of fractures and matrix in Slovenian carbonate aquifers	
<i>Urbanc, J., Prestor, J. & Budkovič, T.</i>	
Možnost zajema pitne vode za potrebe mesta Ljubljane z drenažnim rovom na območju	
Krima	257
The possibility of drinking water capture for the city of Ljubljana by means of a water tunnel	
in the area of Krim mountain	
Nove knjige in karte	
<i>Komac, M. & Ribičič, M.:</i> Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji 1 : 250.000	263
Poročila	
<i>Budkovič, T.:</i> Manuskriptne geološke karte slovenskega ozemlja iz obdobja avstroogrške	
monarhije, ki jih hranijo v znanstvenem arhivu <i>Zveznega geološkega zavoda Avstrije</i>	
na Dunaju – Obvestilo o njihovem skeniranju	265
<i>Komac, M.:</i> 33. Mednarodni geološki kongres, Oslo (Norveška), 6–14. avgust 2008	266
<i>Brenčič, M.:</i> 2. Hidrogeološki kolokvij, Ljubljana, 20. 11. 2008	267
<i>Brenčič, M.:</i> Posvetovanje »Graditev objektov na vodovarstvenih območjih«,	
Ljubljana, 21. 11. 2008	268
<i>Brenčič, M.:</i> Ocenjevanje znanstveno raziskovalnega dela na področju geologije v Sloveniji	269
Navodila avtorjem	275
Instructions to authors	277

Zgodovina hidrogeologije Kratek oris življenja in dela Oskarja Smrekerja (1854–1935)

History of hydrogeology Short description of life and work of Oskar Smreker (1854–1935)

Mihael BRENČIČ^{1,2}

¹Katedra za geologijo krasa in hidrogeologijo, Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana; mihael.brencic@ntf.uni-lj.si

²Oddelek za hidrogeologijo, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Ključne besede: podzemna voda, hidrogeologija, vodovod, zgodovina hidrogeologije, Oskar Smreker, Ljubljana
Key words: groundwater, hydrogeology, waterworks, history of hydrogeology, Oskar Smreker, Ljubljana

Povzetek

Članek opisuje življenje in delo Oskarja Smrekerja (1854–1935) projektanta Ljubljanskega vodovoda, ki je bil rojen v bližini Celja. V svojem življenju je načrtoval in projektiral številne vodovode po Evropi in tudi na Bližnjem vzhodu, ki so bili vezani predvsem na izkoriščanje podzemne vode. Kot plodovit pisec je objavil številne članke s področja teorije toka podzemne vode in gradnje ter načrtovanja vodovodov. V znanstveni literaturi je znan kot začetnik nelinearne teorije toka vode skozi porozni medij. Po njem se imenuje tudi enačba, ki podaja odnos med gradientom in pretokom podzemne vode. Literatura na nemškem govornem področju ga uvršča med začetnike znanosti o podzemni vodi.

Abstract

In the article life and work of Oskar Smreker (1854–1935) designer of Ljubljana waterworks born in the vicinity of the Celje city – today Slovenia is described. During his long and successful life he has designed and built many waterworks based mainly on the groundwater abstraction all over the Europe and Near East. He was also very prolific writer; he has published many papers related to groundwater flow and construction of waterworks. In the scientific literature he has been known as one of the first authors considering nonlinear theory of water flow through the porous media. After him equation that relates gradient and discharge of groundwater is named. Some literature in German speaking area defines him as one of the founding fathers of groundwater science.

Uvod

Poznavanje zgodovinskega razvoja neke stroke je izredno pomembno iz številnih razlogov, ki bi za področje geološke znanosti in njenih vej, terjala posebno in poglobljeno analizo. Vsakogar, ki se poglobljeno ukvarja s študijem literaturnih virov, pot po literaturi privede do raznovrstnih vprašanj o tem, kako so se razvijale posamezne ideje in teorije, kako so napredovale merske tehnike, kako je potekala izmenjava informacij in kako se je vzpostavljalo sodelovanje med posameznimi področji. Odgovori na ta vprašanja so lahko predmet posameznih raziskav. Pri področjih, katerih predmet zanimanja so spremenljivi naravni pojavi, med katere sodi tudi hidrogeologija, je študij starejše literature pomemben tudi zaradi ugotavljanja preteklega stanja okolja. Tako nas v hidrogeologiji lahko zanimajo nivoji podzemne vode starejšega datuma, ali pa kemijsko stanje podzemne vode v nekem vodonosniku. Ti podatki so lahko danes, ko se veliko ukvarjamo s podnebnimi spremembami

in njihovim vplivom na vodni krog, zelo pomembni pri ocenjevanju ničelnega stanja. Takšen študij starejših virov nas pogosto privede do presenetljivih odkritij, pri katerih ugotovimo, da je bilo v preteklosti že veliko narejenega ali pa vsaj anticipiranega, pa današnja znanost in stroka tega ne poznata, ali pa sta na to preprosto pozabili.

Zdi se, da se je hidrogeologija v Sloveniji pričela razvijati šele po drugi svetovni vojni. V sodobni literaturi je le malo informacij o hidrogeoloških raziskavah izpred druge svetovne vojne. Toda natančnejšemu opazovalcu ne uide podatek, da je bila podzemna voda na območju današnje Slovenije že pred stoletji pomemben vir pitne vode, z njo pa so bile povezane tudi nekatere druge družbeno ekonomske relacije. Lep primer takšnega odnosa je obstoj naravnih zdravilišč ali pa težave pri rudarjenju, povezane z vodo. Raziskave vode na krasu ter njihova zgodovina pa so tako ali tako predmet številnih študij. Takšen odnos do podzemne vode je kmalu pripeljal do tega, da se je s tem naravnim pojavom pričela ukvarjati tudi

znanost. Tako bomo zlasti v starejši nemški literaturi našli na številne dokumentirane raziskave s področja podzemnih vod na območju današnjega slovenskega prostora, odkrijemo pa lahko tudi nekaj objav v slovenskem jeziku. Vso to gradivo predstavlja velik izziv za prihodnje raziskave, večina teh objav in arhivskih podatkov, ki so raztreseni po številnih arhivih, pa je še neobdelana.

Ambicija avtorja članka je, da bi v daljšem ciklu člankov z nosilnim naslovom »Zgodovina hidrogeologije« obdelal razvoj stroke z različnih zornih kotov. Tako s stališča zgodovine znanosti na današnjem slovenskem ozemlju, kot tudi v širšem svetovnem kontekstu. Nenazadnje je zgodovinski razvoj hidrogeologije v svetu danes predmet številnih znanstvenih objav. Na tem mestu se ne želim spuščati v vsebino tega programa raziskav, omenim naj le, da v okviru raziskav nekaj pozornosti posvečam tudi razvoju razumevanja podzemne vode kot pojava. Med študijem literature sem našel na članek enega od ustanoviteljev moderne hidrogeološke znanosti (MEINZER, 1934), ki se je v tem delu ukvarjal s pregledom hidrologije podzemnih vod do leta 1930. Ustavil se je tudi ob rezultatih na nemškem govornem področju, v katerem je omenil avstrijskega hidrologa Smrekerja. Priimek, ki zveni povsem slovensko, je zbudil moje zanimanje in spodbudil nadaljnje brskanje po literaturi. Ta pregled literature mi je odkril vrsto zanimivih in skorajda presenetljivih podatkov o življenju in delu Oskarja Smrekerja, enega od začetnikov hidrogeologije in projektanta številnih vodovodov širom po Evropi. Podatki in odkritja, do kateri sem se dokopal v relativno kratkem času, so tako presenetljivi, da si zaslužijo hiter in informativen prikaz, še zlasti, ko sem v številnih razgovorih s kolegi ugotovil, da je o Smrekerjevem delu v Sloveniji zelo malo znanega. Seveda bo potrebnega še veliko dela in poglobljenih raziskav, saj si obsežno gradivo v zvezi s Smrekerjevim delom zasluži posebno monografsko obdelavo. Podatki, ki jih podajam v nadaljevanju so le prvi korak v tej smeri. Pri pisanju članka smo vire za njegov življenjepis zajemali predvsem iz članka, ki je bil objavljen v reviji *Mannheimer Hefte* (ANONYMUS, 1956) ter na podlagi njegove kratke avtobiografije, ki jo navaja na koncu svoje doktorske disertacije (SMREKER, 1914b) ter deloma tudi nekrologa (Anonymus, 1935). Njegovo znanstveno in projektantsko delo je povzeto po drugih citiranih objavah.

Življenje

Oskar Smreker se je rodil 19. avgusta 1854 v dvorcu Gorica - Görtzhof pri Celju. V dostopni literaturi zasledimo dva zapisa njegovega imena Oscar in Oskar, nekrolog (ANONYMUS, 1935) pa poleg glavnega imena Oscar navaja še ime Maria. Njegov oče Franc Smreker je študiral v Gradcu pravo, kjer je tudi spoznal svojo bodočo ženo Josephine Schmidt. Po dokončanem študiju se je vrnil domov, kjer je prevzel vodenje posestva. V katerem dvorcu je bil rojen Oskar Smreker ni povsem jasno. STOPAR (1992) pod imenom Görtzhof

navaja, da gre za dvorec Gorica v Kaplji vasi pri Preboldu, vendar pa med lastniki dvorca družina Smreker ni omenjena. To je nenavadno, saj nekateri Smrekerjevi življenjepisi navajajo (ANONYMUS, 1956), da se je njegov oče posvečal kmetijstvu, to je vodenju posestva, glede na njegovo izobrazbo in glede na relativno majhen obseg posestva pa bi bilo nenavadno, če to posestvo ne bi bilo v njegovi lasti in bi bil le njegov upravnik. Prva leta svojega življenja je Oskar Smreker preživel v podeželskem okolju. Kje je dobil svojo prvo izobrazbo ni znano. Gimnazijo je dokončal v Gradcu z maturo, verjetno v začetku leta 1870. Po tem, ko je opravil sprejemne izpite je bil oktobra 1870 sprejet v prvi letnik strojništva na Tehniški visoki šoli ETH v Zürichu. Ta šola še danes velja za eno najboljših in najbolj prestižnih tehniških univerz na svetu. študij strojništva in inženirstva je končal kot redni študent. Diplomski izpit je opravil v zimskem semestru šolskega leta 1873/74.



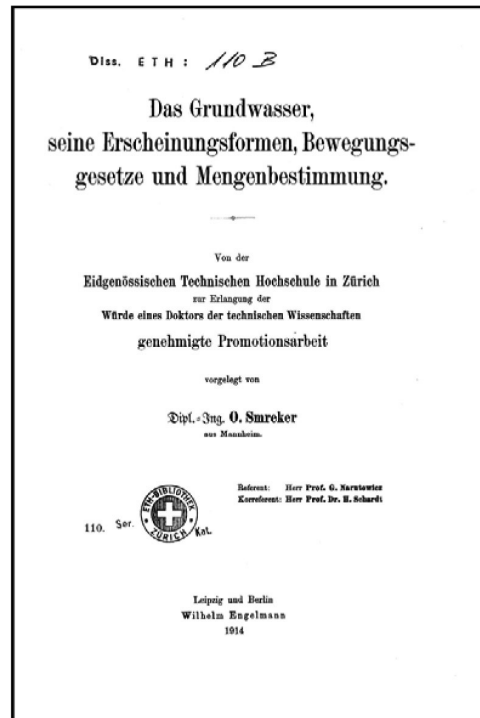
Slika 1.
Portret Oskarja Smrekerja
(HRIBAR, 1928)

Po uspešno opravljenih diplomskih izpitih se je aprila 1874 zaposlil na uradu Kraljevske pruske železniške direkcije v Saarbrücknu, kjer je konec leta 1875 specializiral iz gradnje železniških konstrukcij. Z delom je nadaljeval pri gradnji Moselske železnice. V začetku leta 1876 je zamenjal svoje delovno področje, zaposlil se je kot projektant na področju vodooskrbe in kanalizacije pri gradbenem inženirju Grunerju v Regensburgu. Leta 1878 je zamenjal delodajalca, preselil se je v Bologno in se zaposlil kot višji inženir pri Società nazionale per gasometri ed aquedotti. V letih od 1880 do marca 1882 pa je bil zaposlen kot višji inženir pri podjetju J. Aird & Marc v Berlinu. S tem podjetjem je sodeloval pri gradnji vodovoda v Darmstadtu. Podjetje je zapustil zaradi velikih notranjih nasprotij med sodelavci in umika enega od lastnikov podjetja. V tem času je uspel pridobiti projektiranje vodovoda za Mannheim, kar mu je omogočilo, da je julija 1882 odprl samostojno tehniško pisarno. Sprva je deloval v zelo skromnih razmerah, saj je na začetku lahko zaposlil le enega sodelavca, kmalu pa je uspel pridobiti številne projekte, ki so omogočili razcvet njegove dejavnosti ter posredno tudi publicistično in znanstveno raziskovalno delo. Mannheim je tako postal oporišče za njegovo poslovno dejavnost za dolgo vrsto let, vse do let po prvi svetovni vojni, ko je zaradi

težkih povojnih razmer zapustil mesto. Leta 1897 je spoznal operno pevko znano pod umetniškim imenom Mella Fiora, ki je pela v Mannheimskem dvornem opernem gledališču. Dunajčanka s prvim imenom Melanie in z dekliškim priimkom Fuchs je prišla v Mannheim skupaj s svojim možem kapelnikom opernega orkestra Leopoldom Weintraubom, ki je izhajal iz današnjega Wrotzlawa. Po razpadu svojega prvega zakona se je leta 1902 poročila z Oskarjem Smrekerjem in se umaknila z odrskih desk. Kmalu po tem je Smreker svojo dejavnost razširil. 7. oktobra 1903 je ustanovil podjetje Wasserwerks- und Kanalisationsbaute Oscar Smreker G.m.b.H. s sedežem v Mannheimu, nekaj več kot leto dni kasneje pa je 21.11.1904 ustanovil še podružnico podjetja v Berlinu. Istočasno z ustanovitvijo podružnice svojega podjetja je začel tudi sodelovati s podjetjem Continentalen Wasserverkersgesellschaft v Berlinu.

Leta 1909 je Smreker prevzel avstrijski konzulat v Mannheimu, leto dni kasneje pa je dobil še naziv generalnega konzula. Par se je preselil v vilo sezidano v florentinskem slogu v južni del mesta. Hiša je postala pomembno kulturno in družabno stičišče mestne noblese, zakonca pa sta se udejstvovala pri številnih dobrodelnih in kulturnih dejavnostih, čemur sta pogosto namenjala tudi večje vsote denarja. Na podlagi svojih zvez je Smreker leta 1910 dosegel podpis pogodbe med Mannheimskim mestnim svetom in podjetjem Continentalen Wasserverkersgesellschaft o ustanovitvi podjetja Wasserwerksgesellschaft Rheinau mbH., ki je predhodnik današnjega vodovodnega podjetja v Mannheimu. Sedež tega podjetja je bil dne 30.1.1920 prenešen v Berlin, to pa je verjetno tudi obdobje, ko se je Smreker dokončno umaknil iz Mannheima. Preselil se je v švico, kjer je še iz časa svojega študija ohranil dobre zveze. Iz tega časa je zanimiv podatek, da je imel verjetno tudi jugoslovansko državljanstvo. V patentu za izdelovanje betonskih železniških pragov (U.S. Patent Office S.No. 482272 – patent vložen leta 1921) je v začetnem delu teksta zapišan stavek »Be it known that I, Oscar Smreker a citizen of the Republic of Yugoslavia, residing at Lucerne, ..«, čeprav je vprašanje ali je pri tem šlo za Jugoslavijo ali Češkoslovaško seveda do nadaljnjega odprto. Na Dunaju je Smreker leta 1921 ustanovil podjetje z imenom Aktiengesellschaft für Montanbedarf okrepil pa je tudi svoj položaj v podjetju Continentalen Wasserverkersgesellschaft, v katerem je kmalu postal glavni lastnik in v letih 1925 do 1930 tudi predsednik njegovega upravnega odbora. Leta 1930 se je stalno naselil v Lucernu, družina pa je pridobila tudi švicarsko državljanstvo. Navkljub relativno visoki starosti je bil še vedno zelo aktiven, zlasti veliko je potoval po celotni Evropi in tudi na Bližnji vzhod. Kmalu po svojem 80. rojstnem dnevu se je preselil v Pariz, kjer je ustanovil podjetje, katerega namen je bil graditi vodovodno in kanalizacijsko omrežje v Maroku. Pri sklepanju dogovorov je sicer bil poslovno zelo uspešen, a pozimi 1935 je zbolel za gripo, ki ga je po 12 dneh pokosila. Umrli je 19. februarja 1935 v Parizu. Pokopan je skupaj s svojo ženo, ki je umr-

la 23. aprila 1955 v Zürichu, v bližini svojega posestva v družinski grobnici v kraju Reichenau pri Payerbachu v Spodnji Avstriji.



Slika 2. Naslovnica Smrekerjeve doktorske disertacije

Znanstveni dosežki

Smreker velja za enega od predhodnikov tako imenovane Dupit Forheimerjeve teorije turbulentnega toka vode v poroznem mediju. Med začetnike te teorije ga uvršča IRMAY (1967), ki SMREKERJU (1878) pripisuje uvajanje potence enačbe pri opisu toka podzemne vode. Smrekerjeve začetke na tem področju potrjujejo tudi novejšje objave, ki se ukvarjajo s turbulentnim tokom vode v poroznem mediju (ŠEN, 1989). Njegov prvi članek Smreker (1878) – IZPELJAVA zakona o uporabi toka podzemne vode (Entwicklung eines Gesetzes für den Widerstand bei der Bewegung des Grundwassers), ki ga je kmalu po svoji diplomi objavil v Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, je njegov najpogostejši citiran članek. Citat tega članka lahko v bazi Science Citation Index – SCI zasledimo še danes, kar je več kot sto let po njegovi objavi presenetljivo, še zlasti če upoštevamo, da v to bazo članki, ki niso napisani v angleškem jeziku, le stežka zaidejo. V svojem prvem članku (SMREKER, 1878) je postavil nekatera teoretična izhodišča, ki so kasneje postala temelj Dupit Forheimerjeve teorije turbulentnega toka podzemne vode. V nekaterih novejših člankih zasledimo tudi enačbo, ki jo avtorji imenujejo Smrekerjeva enačba. Gre za enačbo, ki podaja odnos med gradientom gladine podzemne vode i in pretokom podzemne vode q

$$i = Knq''$$

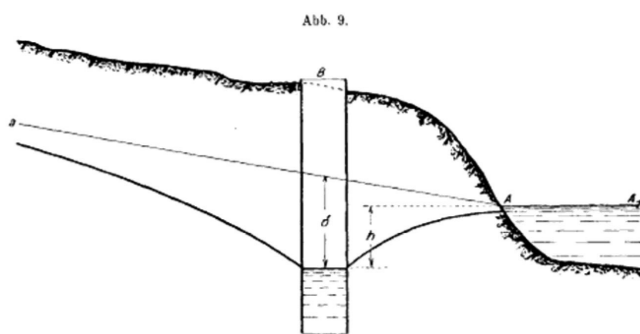
kjer sta K in n empirična koeficienta. Zapis bi lahko obravnavali podobno kot danes uveljavljeni

opis odnosa med gradientom i in pretokom q pri turbulentnem toku po Forcheimerju, ki se glasi

$$i = aq + bq^n$$

kjer so a , b in n empirični koeficienti.

Teorija, ki jo je postavil, je bila verjetno posledica njegovih izkušenj pri projektiranju vodnjakov. To teorijo je razvijal tudi v nekaterih drugih objavah (SMREKER, 1879; 1881). V literaturi lahko zasledimo njegove polemike s THIEMOM (1880), ki velja za utemeljitelja teorije stacionarnega toka podzemne vode proti vodnjakom in tudi z nekaterimi drugimi avtorji (ROTHER, 1919). Očitno je Smreker pri tem zastopal drugačna stališča, saj ga del literature obravnava izrazito negativno kot nasprotnika razumevanja Darcy Dupitovega toka podzemne vode (HALL, 1954).

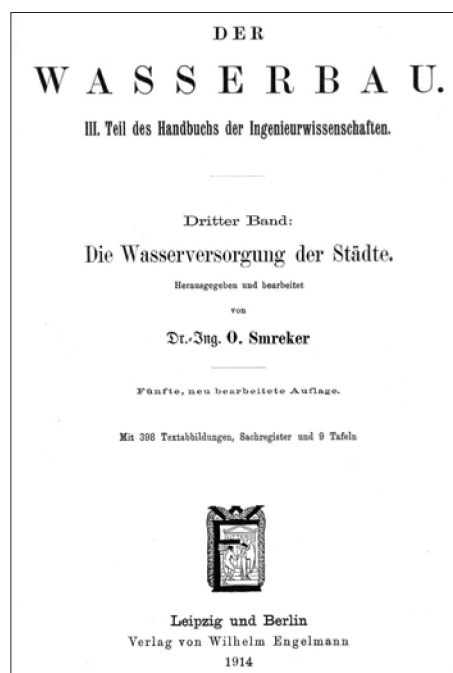


Slika 3. Eden od hidrogeoloških profilov iz Smrekerjeve doktorske disertacije

Smreker je bil izredno plodovit pisec, ki je objavljaj v večini takratne strokovne literature s področja vodnega in komunalnega gospodarstva na nemškem govornem področju. V okviru svojega obsežnega projektantskega dela je o svojem delu poročal v periodiki, ki je danes pomemben vir za opis njegovega dela. Objavljal je v reviji *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, *Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins*, *Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, *Mitteilungen der Königliche Prüfungsanstalt für Wasserversorgung*, *Zeitschrift für Wasser und Gas*, *Kommunale Rundschau*, *Zeitschrift des Vereins der Bohringenieur*, *Internationalen Zeitschrift für Wasserversorgung* ter *Verhandlungen des deutschen Vereins der Gas- und Wasserfachmänner*. Verjetno pa bo nadaljnji študij literature nakazal še na druge publikacije.

Poleg številnih periodičnih objav je objavil tudi nekaj samostojnih del. Prvo knjigo z naslovom *Učbenik tehnične mehanike (Lehrbuch der technischen Mechanik)* je leta 1886 objavil skupaj s Lebrecht Hennebergom pri založbi Verlag Bergsträßer v Darmstadt. Naslednji dve samostojni objavi segata šele v leto 1914. Prvi je njegov doktorat s področja tehniških znanosti, ki ga je zagovarjal na Tehniški visoki šoli v Zürichu. Doktorat z naslovom *Podzemna voda njeno pojavljanje, gibanje in količine (Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung)* je objavil tudi kot samostojno knjigo

pri založbi Wilhelm Engelmann iz Leipziga. Pri tej založbi je istega leta objavil tudi svoje monumentalno delo *Oskrba mest z vodo (Die Wasserversorgung der Städte)*, ki jo nekateri avtorji z nemškega govornega območja obravnavajo kot enega temeljnih kamnov hidrogeološke znanosti (npr. MERKEL, 2003). Smrekerjeva knjiga *Oskrba mest z vodo* je resnično monumentalno delo, ki zbuja navdušenje še danes. Takšnega dela bi se danes lotila ekipa strokovnjakov in ne le en sam avtor. Obsežna kar 522 strani debela knjiga vsebuje poglavja o pomenu pitne vode, o pojavljanju vode v naravi, o teoriji toka vode v poroznem mediju, o teoriji toka vode v ceveh in kanalih, o projektiranju vodovoda in njegovi ekonomiki.



Slika 4. Naslovnica Smrekerjeve knjige *Oskrba mest z vodo*

Njegov doktorat je zanimiv tudi zaradi svoje družbene vpetosti in tudi same strukture vsebine. Na tem mestu se ne moremo spuščati v globljo analizo teorije toka podzemne vode in primerjave le te s sodobnimi dognanji. Že bežen pregled dela pokaže, da je v sicer vsebinsko zaključenem delu zbral teorijo in dognanja, ki jih je objavil v številnih predhodnih člankih. Prav tako, lahko opazimo, da so v doktoratu objavljeni posamezni deli teksta, ki so skoraj identični nekaterim drugim objavam, na primer v njegovi knjigi *Oskrba mest z vodo* (SMREKER, 1914a). Tako je doktorat predvsem nekakšen pregled njegovega dotedanega dela, ki je bil glede na njegove reference verjetno spodbujen tudi s strani njegovih kolegov. Tudi okolje in ljudje, ki so bili udeleženi pri njegovem doktoratu so zelo zanimivi. Doktriral je na svoji nekdanji šoli ETH. O rezultatih njegovega doktorata sta poročala dva profesorja. Glavni poročevalec je bil profesor Gabriel Narutowicz (1865 – 1922) svetovno znan profesor hidrotehnike na ETH, kjer je poučeval v letih od 1908 do 1919. Bil je tudi projektant številnih hidroelektraren po zahodni Evropi, znan pa naj bi bil tudi po svojem obsežnem

znanju geologije. Po prvi svetovni vojni, ko se je Poljska osamosvojila in postala republika, je postal minister za javna dela in minister za zunanje zadeve ter nato prvi predsednik Poljske republike. Žal, se je njegova politična kariera tragično končala, po enem tednu je umrl kot žrtev atentata. Sopororočevalec je bil profesor Hans SCHARDT (1858 – 1931), prav tako profesor na ETH. Po svoji osnovni izobrazbi je bil geolog, ki se je zelo veliko ukvarjal s hidrogeologijo in aplikacijo geologije pri velikih inženirskih posegih v prostor, zelo pa se je udeleževal tudi na področju tektonike.

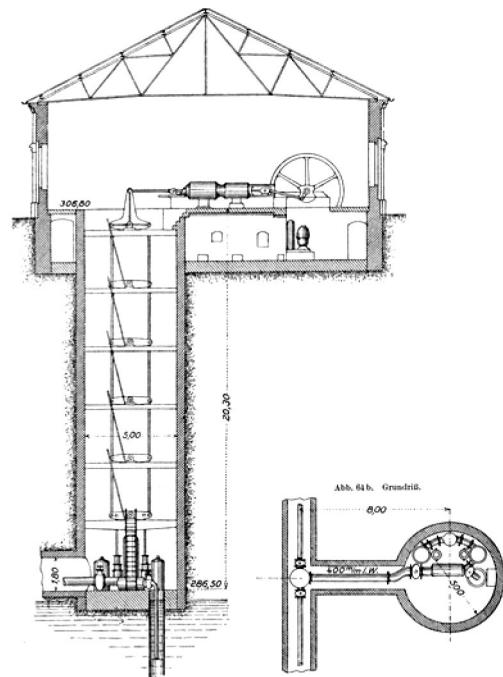
Smrekerjeve zadnje objave segajo v leto 1919 (SMREKER, 1919 a, b, c), v čas, ko se umakne iz Mannheima. Kaj je vzrok za prenehanje njegove sicer zelo intenzivne publicistične dejavnosti ni jasno. Prav gotovo je to nenavadno, še zlasti če upoštevamo dejstvo, da je bil še naprej zelo aktiven pri načrtovanju in gradnji številnih vodovodov. Nekateri podtoni v literaturi nakazujejo, da je njegov umik povezan z njegovim vztrajnim naspotovanjem Darcyevemu zakonu, ki se je v času prenehanja njegovega objavljanja že dodobra uveljavil. Do sedaj zbrana literatura tudi kaže, da je deloval predvsem sam. Poleg knjige o tehnični mehaniki je v soavtorstvu objavil le en članek (GÜNTHER & SMREKER, 1903), pa še v tem primeru gre za objavo mnenja v uradnem glasilu.

Čeprav Smreker ni bil nikoli imenovan za profesorja na kateri od takratnih univerz, je občasno deloval tudi pedagoško. Kraljevi urad za preiskovanje in preizkušanje oskrbe z vodo in odvodnjavanje odplak (Der königlichen Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung) v Berlinu ga je imenoval za svojega znanstvenega sodelavca. V okviru Inštituta za higieno vode (Institut für Wasserhygiene), ki je deloval v okviru Pruskega ministrstva za javna dela in notranje zadeve (Ministerium für öffentliche Arbeiten und des Innern) pa je od leta 1904 do 1914 vsako leto vodil štirinajst dnevne tečaje s področja oskrbe s pitno vodo, kanalizacije in odvodnjevanja. Ti tečaji so bili namenjeni višjim tehničnim uradnikom ministrstva. Poleg tega je bil tudi član nekaterih profesionalnih združenj, med drugim je bil od leta 1877 dalje član Nemškega društva za plinsko in vodno stroko (Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern), ki obstaja še danes.

Projektantsko delo

Smreker je širom po Evropi in tudi v Turčiji in na Bližnjem vzhodu projektiral ali svetoval pri gradnji preko 100 vodovodov. Nekatere vodovode so njegova podjetja tudi gradila ali pa je pri njih sodeloval kot vodja nadzora. Natančnega seznama vseh njegovih projektov ne poznamo. Prvi samostojni projekt vodovoda je izdelal za mesto Mannheim. Tukaj je vodil celoten projekt od začetka pa do konca, ko je bil objekt predan v uporabo, pa tudi kasneje je imel na njegovo obratovanje pomemben vpliv. Sodeloval je tudi pri gradnji vodnega stolpa, ki še danes predstavlja znamenitost mesta. Iz Mannheima je svojo dejavnost po-

stopoma širil po celotni tedanji Nemčiji in tudi drugod, predvsem po nemškem govornem področju. Na podlagi njegovih projektov so bili vodovodi izdelani v mestih: Mainz, Ludwigshafen am Rhein, Rüdeshheim, Boppard Feudenheim, Käferthal, Pankow, Brandenburg, Worms, Berlin, Ostvorthe in Magdeburg. Izven Nemčije pa v Lembergu, današnjem Lvovu v Ukrajini, Kronstadtu današnjem Kaliningradu v Rusiji, v Pragi in Ostrowu na Češkem, v Vilni in Rigi, v Trstu in Bologni, v Ljubljani in v Beogradu. In verjetno še v številnih drugih mestih. Nekatere vodovode je projektiral zgolj za velika industrijska podjetja, tak vodovod je projektiral za industrijsko družbo Rheinau, ki je gradila пристanišče Rheinau na Renu. Večina teh vodovodov temelji na izkoriščanju podzemne vode ali pa na kombinaciji podzemne in površinske vode. Nekateri med njimi še z današnjimi očmi predstavljajo pomembne tehnične dosežke. V Beogradu je vodovod zasnoval tako, da je del filterske konstrukcije izvedel pod strugo reke Save. V Lvovu je izvedel za takratne čase zelo dolg cevovod. Tudi vodovod v Trstu, ki zajema nekatere izvire Timava, je nekaj posebnega.



Slika 5. Skica enega od vodnjakov Ljubljanskega vodovoda iz Smrekerjeve knjige Oskrba mest z vodo

Hkrati z obsežnim projektantskim in načrtovalskim delom velja omeniti tudi njegov prispevek k razvoju tehnologije. Kot šolan strojnik je prijavil številne patente. Pregled dostopnih patentov v nekaterih patentnih pisarnah po svetu pokaže, da so nekateri njegovi patentni še vedno veljavni (npr. za batne črpalke in betonske železniške pragove).

Poleg tega, da je bil Smreker rojen v okolici Celja, pa je njegovo delo pomembno tudi za oskrbo s pitno vodo na območju Ljubljane in tudi širše. Smreker je bil projektant Ljubljanskega vodovoda. Poleg župana Ivana Hribarja, Dionzija štura in Jana Vladimira Hraskega ima Oskar Smreker

zasluge za to, da ima Ljubljana, navkljub izredno intenzivnemu urbanističnemu razvoju, po več kot sto letih še vedno kvalitetno pitno vodo. V Ljubljano je Smrekerja, ki je takrat že intenzivno deloval v Nemčiji, pripeljal kasnejši župan Hribar in takratni vodja vodovodnega odseka, ki je dajal prednost svojemu kandidatu, pred projektantom dvornim svetnikom Passinijem z Dunaja, ki ga je predlagalo takratno županstvo (HRIBAR, 1928). Z današnje optike preseneča, da je projekt vodovoda temeljil na izrisu kart gladine podzemne vode in na bilančnih izračuni toka podzemne vode, ki izhajajo iz Smrekerjeve teorije toka podzemne vode. Po do sedaj razpoložljivih podatkih so to prvi kvantitativni izračuni bilance toka podzemne vode v Sloveniji in kot kaže tudi med prvimi v Evropi. Ali je Smreker sodeloval tudi pri gradnji drugih vodovodov v Sloveniji, ni znano. Sledi njegovega dela zasledimo še pri gradnji vodovoda za Kranj, kjer se avtor knjižice z naslovom Vodovod mesta Kranja in nekaterih vasij občin Predoslje šenčur in Voglje (ANONYMUS, 1898) pogosto sklicuje na njegova tolmačenja.

Sklep

Slovenija je bogata s številnimi viri pitne vode, ki zajemajo podzemno vodo. Nekatera zajetja so zelo stara, njihov razvoj in načrtovanje sega v devetnajsto stoletje, v čas, ko se je v Evropi pričela sanitarna revolucija. Tak primer je Ljubljanski vodovod in njegovo najstarejše črpalnišče v Klečah. Glavni projektant tega vodovoda je bil Oskar Smreker, ki je bil v svojem času eden najbolj znanih načrtovalcev in graditeljev vodovodov v Evropi in pomemben raziskovalec podzemne vode. Čeprav je večji del svoje kariere preživel v državah nemškega govornega območja, je bil verjetno ves čas povezan tudi s svojo rojstno domovino. Njegovo delo je danes skorajda neznano, slovenska hidrogeologija, pa tudi geologija o njem ne vesta ničesar, čeprav se njegov ime in nekatera njegova dognanja ter teorije v svetovni literaturi pojavljajo še danes, več kot sto let po prvih objavah. Članek je droben prispevek k Smrekerjevi boljši prepoznavnosti, hkrati pa predstavlja tudi prvi korak k morebitni monografski obdelavi njegovega dela. Smrekerjevo delo nas napeljuje tudi na misel, da je bil na prehodu iz devetnajstega v dvajseto stoletje slovenski prostor vsaj posredno v stiku z razvojem znanosti o podzemnih voda, ki je danes prepoznana kot hidrogeologija.

Zahvala

Članek je bil pripravljen v okviru aktivnosti raziskovalnega programa »Podzemne vode in geokemija«, ki ga financira Agencija za raziskave RS. Za pomoč pri pridobivanju arhivskega gradiva se zahvaljujem knjižničarki OG NTF Barbari Bohar Bobnar.

Viri in literatura

ANONYMUS, 1898: Vodovod mesta Kranja in nekaterih vasij občin Predoslje šenčur in Voglje. Kranj, Vodovodni odsek mesta Kranja, 42 str.

- ANONYMUS, 1935: Persönliches. Das Gas und Wasserfach 78: 198.
- ANONYMUS, 1956: Oscar Smreker, ein Lebensbild. Mannheimer Hefte 2: 32–35.
- GÜNTHER, C. & SMREKER, O. 1903: Gutachten der Anstalt betr. das Projekt der Wasserversorgungs Magdeburgs aus dem Fein-Bruch. Mitteilungen der Kgl. Prüfungsanstalt für Wasserversorgung (Berlin) 2: 115–126.
- HALL, H.P. 1954: A historical review of investigations of seepage toward wells. Boston Society of Civil Engineers 41: 251–311.
- HRIBAR, I. 1928: Moji spomini – I. del od leta 1853 do leta 1910. Merkur, 507 str., Ljubljana.
- IRMAJ, S. 1967: Flow in porous media – a historical review. Hydrological Sciences Journal 12: 39–41.
- MEINZER, O. 1934: The history and development of ground-water hydrology. Journal of the Washington Academy of Sciences 24: 6–32.
- MERKEL, W. 2003: Wasserversorgungs in Deutschland. In: Wasserfersorgungswirtschaft 1–14, Deutschen Vereinigung des Gas- und Wasserfaches.
- ROTHER, M. 1919: Zur richtigen Wertung des Smreker'schen Widerstandsgesetzes für die Grundwasserbewegung. Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserfersorgung 62: 306–312.
- ŠEN, Z. 1989: Nonlinear flow toward wells. Journal of Hydraulic Engineering 115: 193–209.
- SMREKER, O. 1878: Entwicklung eines Gesetzes für den Widerstand bei der Bewegung des Grundwassers. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 22: 117.
- SMREKER, O. 1879: Das Grundwasser und seine Verwendung zu Wasserfersorgungen. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 23: 347.
- SMREKER, O. 1881: Die depressionsflächen bei Schachtbrunnen. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 25: 283.
- SMREKER, O. 1914a: Die Wasserfersorgung der Städte. Verlag von Wilhelm Engelmann, 522 S., Leipzig.
- SMREKER, O. 1914b: Das Grundwasser, seine Erscheinungsformen, Bewegungsgesetze und Mengenbestimmung. Verlag von Wilhelm Engelmann, 67 S., Leipzig.
- SMREKER, O. 1919a: Bestimmung der Durchflußmenge von Grundwasserströmen. Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserfersorgung 62: 45–48.
- SMREKER, O. 1919b: Erwiderung. Bestimmung der Durchflußmenge von Grundwasserströmen. Schillings Journal für Gasbeleuchtung und Wasserfersorgung 62: 500–504.
- SMREKER, O. 1919c: Übergang vom ruhenden Grundwasser zum Grundwasserstrom. Wasser und Gas (Berlin) 12: 70–86.
- STOPAR, I. 1992: Grajske stavbe v vzhodni Sloveniji – Spodnja Savinjska dolina. Založba Park, Znanstveni tisk, 187 str., Ljubljana.
- THIEM, A. 1880: Berichtigende Bemerkungen zu der in Band XXIII, 1879, S. 347 enthaltenen Abhandlung von Oscar Smreker. Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure 24: 102.

Karnijski boksitni horizont na Kopitovem griču pri Borovnici – ali je v njegovi talnini »pozabljena« stratigrafska vrzel?

Carnian bauxite horizon on the Kopitov grič near Borovnica (Slovenia) – is there a »forgotten« stratigraphic gap in its footwall?

Bogomir CELARC

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: bogomir.celarc@geo-zs.si

Ključne besede: karnij, cordevol, ladinij, boksit, Kopitov grič, Slovenija

Key words: Carnian, Cordevolian, Ladinian, bauxite, Kopitov grič, Slovenia

Izvleček

Talninske plasti pod karnijskem boksitom na Kopitovem griču so po avtorjevem mnenju ladinijske in ne karnijske (cordevolske) starosti. Med karnijskimi klastiti in spodaj ležečimi apnenci in dolomiti je prisotna znatna stratigrafska vrzel, ki je posledica prekinitve v sedimentaciji in erozije, boksit pa je rezultat prepevanja v času emerzije.

Abstract

Beds underlying the Carnian bauxite on the Kopitov grič (Slovenia) are by the author's opinion not Carnian (Cordevolian), but Ladinian age. The considerable stratigraphical gap is presented between Carnian clastic rocks and underlying limestones and dolomites. Bauxite is result of the weathering during the emersion.

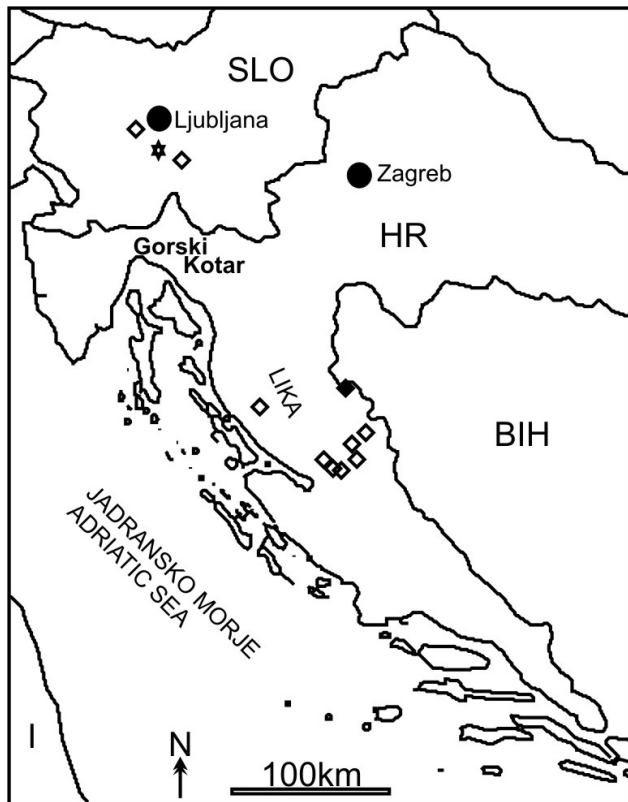
Uvod

Na območju Tetide je v geološki literaturi že dolgo poznan dogodek v spodnjem karniju, ko je zaradi nenadne prekinitve karbonatne produkcije na platformah prišlo do odlaganja terigenih klastičnih sedimentov. V bazenskih okoljih so se v sicer karbonatnem zaporedju pričeli odlagati horizonti črnih glinavcev. To je tako imenovani rabeljski dogodek v Južnih Alpah in v zahodnih Severnih apneniških Alpah ter »Reingraben preobrat« (ang. turnover) v vzhodnih Severnih apneniških Alpah (SCHLAGER & SCHÖLNBERGER, 1974). Oba se močno odražata v bio- in litofaciesu kamnin. Karbonatne platforme v Južnih Alpah in v Severnih Apneniških Alpah so bile subaersko dvignjene zaradi relativnega padca nivoja morske gladine v spodnjem karniju (BOSELLINI, 1984; BRANDNER, 1984). SIMMS in RUFFEL (1989) sta predlagala za ta dogodek izraz »pluvialni dogodek«, ki je prekinil pretežno aridno klimo v zgornjem triasu. Koližija Cimmeridov z Evrazijo naj bi povzročila, da so bila velika območja v vzhodnem delu severne Tetide relativno dvignjena, kar je povzročilo spremembe v oceanski cirkulaciji in močan dotok terigenih sedimentov. Nastal je tudi monsunki vzorec klime (SIMMS & RUFFEL, 1989).

V Zunanjih Dinaridih (slika 1), na območju osrednje Slovenije med Ligojno in Ribnico (BUSER & LUKACS, 1966; BUSER et al., 1967; BUSER, 1969; BUSER & LUKACS, 1979; BUSER, 1980; DOZET, 1979, 2004) ter na Hrvaškem v Liki (ŠINKOVEC, 1970) najdemo v karniju pojave bolj ali manj debelih horizontov kraških boksitov. Za nastanek boksitov je potrebna znatna subaerska ekspozicija, ki naj bi po nekaterih ocenah trajala več kot en milijon let in humidno okolje v času njegovega nastajanja (npr. MINDSZENTY et al., 1995).

Talnina boksitov na Kopitovem griču in nejasnosti pri njeni stratigrafski uvrstitvi

Talnino boksitov na Kopitovem griču (slika 2e) naj bi tvorila »kasijanski« dolomit in apnenec karnijske (cordevolske) starosti. DOZET (1979, 2004) je v člankih ponovil v Sloveniji že dolgo uporabljeno trditev, da so talninske plasti z algo *Diplopora annulata* cordevolske (karnijske) starosti in so ekvivalent kasijanskega dolomita v italijanskih Dolomitih. Opozoriti je potrebno, da se cordevolska podstopnja uradno ne uporablja več (OGG, 2004), če pa se že uporablja, potem ustreza julu 1/I, oziroma amonitni subconi *Trachyceras aon*.



Slika 1. Karta pojavov karnijskih boksitov v osrednji Sloveniji in v Liki na Hrvaškem. Nezapolnjeni rombi: pojavi karnijskih boksitov v splošnem; zvezdica: Kopitov grič; zapolnjen romb: Skočaj (Hrvaška).

Figure 1: Map of Carnian bauxite occurrences in the Central Slovenia and in Lika in Croatia. Empty rhombs: Carnian bauxite occurrences in general; star: Kopitov grič locality (Slovenia); filled rhomb: Skočaj locality (Croatia).

V vseh objavljenih delih do leta 2000, v katerih je omenjena alga *D. annulata* (GRANIER & GRGASOVIĆ, 2000) to praktično vsi, razen slovenskih geologov, uvrščajo v ladinjsko stopnjo. Od 147 citatov sinonimike za alga *D. annulata*, jo le trije (vsi iz Slovenije) uvrščajo v karnij (GRANIER & GRGASOVIĆ, 2000). Vzrok za napačno stratigrafsko uvrščanje vrste *D. annulata* je iskati v površnem ali napačnem določanju, saj so geologi praviloma vse najdbe členjenih dzikladicej na terenu pripisali tej vrsti, od koder je podatek zašel v geološko literaturo. Iz cassianskega dolomita v italijanskih Dolomitih alga *D. annulata* ni znana, pač pa jo geologi opisujejo npr. v srednjetrijskih apnencih Latemarja in Marmolade, kjer je njena starost usklajena z amonitno conacijo (PIROS & PRETO, 2008; PIROS, osebna informacija). Tudi za Severne apneniške Alpe velja, da seže alga *D. annulata* samo do konca ladinija, v karniju oziroma cordevolu = jul 1/I (NITTEL, 2006) pa ni prisotna. Najnovejše raziskave ladinjskih plasti planine Svilaja v Zunanjih Dinaridih Hrvaške (JELASKA et al., 2003; BALINI et al., 2006; GRGASOVIĆ et al., 2007) kažejo, da se v ladinjskih pregibnih sedimentih vrsta *D. annulata* pojavlja skupaj s konodontnimi elementi ladinjske cone Hungaricus. Iz istih plasti z diploporami so bili opisani tudi amoniti, ki jih uvrščajo v ladinjsko cono Gredleri oz. v spodnji del cone Archelaus.

Tudi če pri nas mogoče *D. annulata* res seže še v karnij, to še ni dokaz, da so plasti v katerih jo najdemo res karnijske starosti, če v njih ni mikrofosilov, ki se dokazano pojavljajo samo v karniju (npr. algi *Poikiloporella duplicata*, *Clypeina besici*).

Podobna stratigrafska pozicija talnine boksitov je interpretirana tudi drugje v osrednji Sloveniji.

Talnina boksitov v hrvaškem delu Zunanjih Dinaridov

Na Hrvaškem se karnijski boksiti pojavljajo pretežno v Liki (ŠINKOVEC, 1970; SOKAČ et al., 1976a, 1976b; TIŠLJAR et al., 1991; TIŠLJAR, 2001). Ležijo na ladinjskih apnencih in dolomitih, ponekod pa tudi na anizijskih apnencih in dolomitih (slika 2b). Pod boksiti ali karnijskimi klastičnimi kamninami je povsod prisotna znatna diskordanca, ponekod manjka celoten ladinij, kot npr. v Skočaju (slika 1) južno od Bihaća (ŠINKOVEC, 1970). Na prvi pogled je stratigrafska situacija podobna kot v Sloveniji. Tudi tu se v talninskih apnencih pojavlja *Diplopora annulata*, ki pa jo na Hrvaškem uvrščajo v ladinij (SOKAČ & VELIĆ, 1979; GRANIER & GRGASOVIĆ, 2000). Material za nastanek boksitov naj bi v Liki izviral iz ladinjskih klastičnih kamnin, ki se povsod nahajajo v bližini nahajališč boksita in so bočni ekvivalent platformnih ladinjskih apnencev, ki so bili kasneje zaradi erozije odkriti in presedimentirani.

Krovnina boksitov in njihova starost

Nad boksitnim členom nastopa na Kopitovem griču klastični člen, temu pa sledi karbonatni člen in prehodne plasti (DOZET, 1979, 2004). Vsi omenjeni členi tvorijo tako imenovane borovniške plasti, debeline približno 200 m (slika 2f). Borovniške plasti še niso bile podrobno datirane, tako da ni znano ali pripadajo julu ali tuvalu. Prav tako ni bil natančneje datiran spodnji del glavnega dolomita v krovnini borovniških plasti.

Na Hrvaškem uvrščajo glavni dolomit pretežno v norij (ŠINKOVEC, 1970; TIŠLJAR, 2001). Karbonatni člen borovniških plasti s pelagičnim faciesom, je dober kandidat za natančneje (konodontne) datacije.

Čas trajanja diskordance med borovniškimi plastmi z boksiti in talninskimi plastmi

Pri prekinitvah sedimentacije moramo ločiti čas trajanja prekinitve sedimentacije in stratigrafsko praznino, ki se je ustvarila zaradi prekinitve (nedepozicije) in erozijskega odstranjevanja talnine. Če ni erozijskega odnašanja, je trajanje prekinitve sedimentacije enaka časovnemu razponu stratigrafske vrzeli.

Nekateri avtorji (npr. MINDSZENTY et al., 1995) navajajo, da imajo prekinitve sedimentacije na območjih, kjer najdemo boksit (notranjost in pasivni robovi kontinentalnih plošč) časovni razpon od 1 do 10 milijonov let. Boksiti nastanejo kot posledica subaerskega kemičnega preprevanja v

humidnih tropskih in subtropskih razmerah. Primerjajo jih z železom in aluminijem bogato preperino, ki nastaja v deževnih gozdovih (oxisol). Minimalni čas ekspozicije za njihov nastanek je ocenjen na vsaj en milijon let. Boksiti ne dokazujejo le subaerske ekspozicije, ampak tudi obdobje humidnih tropskih pogojev z močno povečanim erozijskim delovanjem.

Za Kopitov grič lahko predpostavimo najmanjši čas ekspozicije vsaj en milijon let, stratigrafska praznina pa je zaradi erozije podlage, ki jo dokazujejo karnijski klastiti, še večja (slika 2d). Maksimalna stratigrafska vrzel v Hrvaških Zunanjih Dinaridih (karnijski klastiti ležijo na anizijskih plasteh) znaša najmanj $9 \pm 1,5$ milijonov let, kar je celoten čas trajanja ladinija (OGG, 2004).

Na Kopitovem griču ni v nobenih delih omenjena znatna stratigrafska praznina, ki bi nastala kot posledica hiatusa in erozije. DOZET (1979, 2004) sicer omenja, da julski boksiti ležijo diskordantno na cordevolskih apnencih in dolomitih, vendar pa vmes ni prikazane, niti omenjene v tekstu nobene stratigrafske praznine. V klastični enoti se skupaj nahajajo presedimentirane vulkanogene kamnine, ki so zagotovo ladinijske starosti in klasti cordevolskih (po našem mnenju ladinijskih) apnencev in dolomitov (DOZET, 1979, 2004).

Težko je razložiti, da v konglomeratih in brečah skupaj nastopajo klasti relativno različnih starosti. Verjetneje je, da so bili hkrati erodirani in preneseni različni ladinijski bočni ekvivalenti. Tako so morali biti ponekod v kopni fazi prav gotovo erodirani tudi klastični in vulkanogeni členi ladinijskih kamnin. Nelogično se torej zdi, da bi na Kopitovem griču karnijski (cordevolski) apnenec in dolomit diskordantno prehajal v julske plasti, saj se s tem zanika obstoj znatne stratigrafske praznine. Bolj logična razlaga govori, da karnijske plasti diskordantno nalegajo na ladinijske plasti, tako da je erodiran del ladinijskega zaporedja, v delu karnija pa je bila karbonatna platforma dvignjena in na njej ni potekala morska sedimentacija.

Čas trajanja emerzije na območju Kopitovega griča je iz podatkov, ki so na voljo danes, nemogoče oceniti. Zaradi nedoločene starosti tako krovne kot talne tudi ne vemo, kako velika je stratigrafska vrzel.

Razprava

Nejasnosti med primerjavo triasnih razvojev v Sloveniji in na Hrvaškem so najbolj prikazane v prispevku BUSERJA (1979) iz 16. evropskega mikropaleontološkega kolokvija (DROBNE (ur.), 1979). V tem delu BUSER prikazuje razvoj triasnih plasti v Sloveniji (tu nas zanima predvsem razvoj v Zunanjih Dinaridih), SOKAČ & VELIĆ (1979) pa prikazujeta razvoj triasnih plasti v kraškem delu hrvaških Dinaridov. Glavna razlika je v razumevanju stratigrafskega položaja tako imenovanih diplopornih apnencev in dolomitov v odnosu do vulkanogeno – sedimentnega faciesa ladinija. BUSER (1979) uvršča diploporni apnenec in dolomit dosledno nad vulkanogeno – sedimentni facies la-

dinija in njihovo medsebojno litološko mejo enači s kronostratigrafsko mejo med ladinijem in karnijem (cordevolom). Medtem SOKAČ & VELIĆ (1979) označujeta diploporni apnenec in dolomit ter vulkanogeno sedimentni facies kot bočna ekvivalenta in sta zato enake – ladinijske starosti.

V slovenskih Zunanjih Dinaridih zato ležijo diskordantno nad cordevolskim dolomitom in apnencem boksit in klastične kamnine julske starosti, v hrvaških Dinaridih pa ležijo nad ladinijskimi diplopornimi apnenci in dolomiti diskordantno odloženi rdeči karnijski klastiti.

Različna interpretacija stratigrafskega položaja diplopornih apnencev v Zunanjih Dinaridih Slovenije in njihove uvrstitve v karnij, namesto njihove uvrstitve kot bočni ekvivalent vulkanogeno – sedimentnega faciesa v ladiniju, je privedla tudi do različnih interpretacij diskordance s karnijskimi boksiti na Kopitovem griču. Dosedanjo razlago, da obstaja diskordanca med cordevolskimi in borovniškimi plastmi julsko-tuvalske starosti, lahko zamenjamo z razlago, da ležijo julsko-tuvalske plasti z boksitom diskordantno na ladinijskem diplopornem apnencu, vmes pa je znatna stratigrafska vrzel, ki je nastala kot posledica hiatusa in erozije (slika 2c). Časa pričetka emerzije se ne da ugotoviti, ker je erozija odstranila znaten del talninskih plasti. Trajanje emerzije prav tako ni znano, za nastanek bokstita je po literaturnih podatkih (MINDSZENTY et al., 1995) potrebna ekspozicija vsaj en milijon let. Konec odlaganja bokstita bi lahko natančno določili z datiranjem klastičnega člena, manj natančno, vendar še zmerom zadovoljivo pa z datiranjem nad njim ležečega karbonatnega člena. Zanimivo je, da na Kočevskem in v Gorskem Kotarju (slika 2a) karnijske plasti erozijsko-diskordantno nalegajo na spodnjetriasne plasti, emerzija naj bi se po DOZETU (1989, 1990), pričela že v skitiju, čeprav so našli v karnijskih klastitih presedimentirane klaste z ladinijskimi algami (ŠČAVNIČAR & ŠUŠNJARA, 1967). Tudi na tem območju ni upoštevan efekt erozije, da je ta lahko odstranila celotno zaporedje srednjega triasa. Menimo, da je tudi redukcija srednje triasnih kamnin v Gorskem Kotarju povezana s karnijsko erozijo in se emerzija ni pričela že v spodnjem triasu.

Zaključek

Karnijska emerzija in posledično nastanek bokstita na Kopitovem griču sta najverjetneje povezana z »rabeljskim dogodkom« v Južnih Alpah in zahodnih Severnih apneniških Alpah in »Reingrabenskim« preobratom v vzhodnih Severnih apneniških Alpah, ki sta se dogodila v spodnjem karniju. Erozija v času emerzije je odstranila različne debeline spodaj ležečih zaporedij.

Carnian bauxite horizon on the Kopitov grič near Borovnica (Slovenia) – is there a »forgotten« stratigraphic gap in its footwall?

Extended summary

In the geological literature, there is well known Lower Carnian event with the termination of the carbonate platform production and deposition of the terrigenous clastic sediments, and sedimentation of the black shales horizons in the basin environments. This is so called Raibl event in the Southern Alps and western Northern Calcareous Alps or Reigraben turnover in the western Northern Calcareous Alps (SCHLAGER & SCHÖLNBERGER, 1974). SIMMS & RUFFEL (1989), proposed »pluvial event« that interrupted mostly arid climate in Late Triassic. Cimmerian and Eurasian collision resulted in uplifting of the vast areas in the eastern part of the northern Thetis that change ocean circulation pattern and onset of the monsoonal climate.

In the part of the External Dinarides in central Slovenia between Ligojna and Ribnica (BUSER et al., 1967; BUSER, 1969; DOZET, 1979, 2004) and in Lika region in Croatia (ŠINKOVEC, 1970), there are occurrences of more or less thick horizons of carstic bauxites (Fig. 1). In the Kopitov grič near Borovnica village, 20km south of Ljubljana, Slovenia, according to DOZET (1979, 2004) the footwall of the Julian bauxites belongs to the Cassian dolomite of Cordevolian age (Fig. 2e), with the algae *Diplopora annulata*. Cordevolian substage is officially abandoned (OGG, 2004), and corresponds to the Julian 1/I, although is still used by some authors. According to this interpretation, no significant stratigraphic gap (due to the nodeposition and erosion) is present between bauxite and its footwall. It has to be emphasized, that practically whole (except for the Slovenian territory) geological literature ranges *D. annulata* as Ladinian guide form (GRANIER & GRGASOVIĆ, 2000 and references therein), for example: Croatia – Mt. Svi-laja area (BALINI et al., 2006; JELASKA et al., 2003, GRGASOVIĆ et al., 2007), Dolomites - Italy (PIROS & PRETO, 2008), Northern Calcareous Alps – Austria (NITTEL, 2006), to mention only several. There is no known occurrence of this alga from the Cassian dolomite in the Italian Dolomites.

In the Croatian part of the External Dinarides, bauxites occur in Lika (ŠINKOVEC, 1970; SOKAČ et al., 1975, 1976; TIŠLJAR et al., 1991; TIŠLJAR, 2001) and are positioned discordantly on the Ladinian limestones and dolomites, somewhere also on the Anisian limestones and dolomites (Fig 2b). Significant stratigraphic gap is present everywhere, but in the Skočaj locality (ŠINKOVEC, 1970), whole Ladinian succession is missing. Stratigraphic situation is similar as in Slovenia and there is also limestone with *D. annulata* in the footwall of the bauxites in the Lika. In Croatia, *D. annulata* belongs to the Ladinian stage and because of this (by our opinion more correct) interpretation, there exists stratigraphic gap of the significant duration.

Borovnica beds (divided in Clastic member, Carbonate member and Transitional beds), (Do-

ZET, 1979; 2004) form the hanging wall of the bauxites in Kopitov grič, which are not yet sufficiently dated, also the age of the Main Dolomite above Borovnica beds could be Carnian or Norian. So, the exact age of bauxites, approximated with the age of their hanging wall is unknown.

Bauxite deposition requires significant subaerial exposure, with duration of 1–10 million years and mostly humid environment (MINDESZENTY et al., 1995). Because of such conditions, there are also strong erosion processes. For the Kopitov grič, minimal subaerial exposition of 1 milion years may be assumed, but stratigraphic gap is bigger because of strong erosion, which is proven with Carnian clastics, with components mostly from underlying rocks. There is no significant stratigraphic gap as the result of hiatus and erosion described in the Kopitov grič (DOZET, 1979, 2004), although discordant position of bauxites on the Cassian limestones and dolomites is mentioned in the text. However, it is not logical, that in Kopitov grič and other localities in Central Slovenia, Cordevolian limestone and dolomite discordantly pass in to the Julian rocks with bauxite, because in this way significant stratigraphic gap is denied. More logical answer would be that Carnian beds are positioned discordantly on Ladinian ones, which are partly eroded (Fig. 2c, d). In the part of Carnian, carbonate platform emerged, and there was no marine sedimentation. Due to the insufficient datations, duration of emersion in the Kopitov grič is not possible to establish yet.

Basic misunderstanding of the stratigraphic position of the Ladinian diploporal limestones and dolomites in the Slovenian External Dinarides which are attributed to the Lower Carnian, instead as a lateral equivalent of the Ladinian volcanogenic-sedimentary facies, resulted in the wrong interpretation of the discordance with Carnian bauxites in the Kopitov grič. We could change previous interpretations, that there is discordance between Cordevolian limestones and dolomites and Julian units with bauxites, with more logical explanation, that Julian units are positioned discordantly on Ladinian ones, and there is significant gap in between. It is worth to mention, that in Kočevsko and Gorski Kotar regions, Carnian clastic beds are discordantly positioned on the Lower Triassic beds (Fig 2a). According to DOZET (1989; 1990), emersion already started in Scythian, although there were resedimented pebbles with Ladinian algae reported in the Carnian clastics (ŠČAVNIČAR & ŠUŠNJARA, 1967). Also in this area, effect of erosion is not taken in to the consideration, which possibly eroded whole Middle Triassic succession. We assume that reduction of Middle Triassic rocks in the Kočevsko and Gorski Kotar is connected with the Carnian erosion.

Carnian emersion and development of bauxite in the Kopitov grič is result of the Lower Carnian Raibl event or Reingraben turnover. Erosion removed different thicknesses of underlying successions during time of hiatus.

Reference

- BALINI, M., JURKOVŠEK, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2006: New Ladinian ammonoids from Mt. Svilaja (External Dinarides, Croatia). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 112/3: 383–395.
- BOSELLINI, A. 1984: Progradation geometries of carbonate platforms: examples from the Triassic of the Dolomites, Northern Italy. *Sedimentology* 31: 1–24.
- BRANDNER, R. 1984: Meeresspiegelschwankungen und Tektonik in der Trias der NW-Tethys. *Jb. Geol. B.-A.* 126: 435–475.
- BUSER, S. 1969: Osnovna geološka karta SFRJ, list Ribnica, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- BUSER, S. 1979: Triassic Beds in Slovenia. In: DROBNE, K. (ed.) 1979: 16th European Micropaleontological Colloquium (Zagreb – Bled): 17–25.
- BUSER, S. 1980: Stratigrafske vrzeli v paleozojskih in mezozojskih plasteh v Sloveniji. *Simp. reg. geol. paleont. Zavod reg. geol. paleont. RGF, Univ. Beograd (Beograd)*: 335–345.
- BUSER, S. & LUKACS, E. 1966: The results of recent geological bauxite exploring in Slovenia. *Referati 6. savet. geol. FLRJ*, 2 (Ohrid): 292–304.
- BUSER, S., GRAD, K. & PLENIČAR, M. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ, list Postojna, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- BUSER, S. & LUKACS, E. 1979: Bauxite in Slovenia. *Ann. Inst. Geol. Hungarici*, 54, 3 (Budapest): 209–220.
- DOZET, S. 1979: Karnijske plasti južno in zahodno od Ljubljanskega Barja. *Geologija* 22/1 (Ljubljana): 55–70.
- DOZET, S. 1989: Tektonska premikanja v mlajšem paleozoiku in mezozoiku (južna Slovenija). *RMZ – Mining and metallurgy quarterly* 36/4 (Ljubljana): 663–673.
- DOZET, S. 1990: Triasni skladi Kočevske in Gorskega Kotarja – *RMZ – Mining and metallurgy quarterly* 37/2 (Ljubljana): 141–160.
- DOZET, S. 2004: O karnijskem oolitnem železnatem boksitu Kopitovega griča ter o plasteh v njegovi talnini in krovnini. *RMZ – Materials and Geoenvironment* 51/4 (Ljubljana): 2191–2208.
- DROBNE, K. (ed.) 1979: 16th European micropaleontological colloquium. Geological development in Slovenia and Croatia. (Ljubljana): 1–258.
- GRANIER, R. C. B. & GRGASOVIĆ, T. 2000: Les Algues Dasycladales du Permien et du Trias. Nouvelle tentative d'inventaire bibliographique, géographique et stratigraphique. *Geologica Croatica* 53/1 (Zagreb): 1–197.
- GRGASOVIĆ, T., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2007: Preliminary report on Ladinian dasycladalean algae from Mt. Svilaja (Croatia). In: GRGASOVIĆ, T. & VLAHOVIĆ, I. (eds.) 2007: 9th International Symposium on Fossil Algae Croatia 2007, Field Trip Guidebook and Abstracts (Zagreb): 6.
- JELASKA, V., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B. & GUŠIĆ, I. 2003: Triassic beds in the basement of the Adriatic-Dinaric carbonate platform of Mt. Svilaja (Croatia). *Geologija* 46/2 (Ljubljana): 225–230.
- MINDSZENTY, A., D'ARGENIO, B. & AIELLO, G. 1995: Litospheric bulges recorded by regional unconformities. The case of Mesozoic-Tertiary Apulia. *Tectonophysics* 252: 137–161.
- NITTEL, P. 2006: Beiträge zur Stratigraphie und Mikropaläontologie der Mitteltrias der Innsbrucker Nordkette (Nördliche Kalkalpen, Austria). *Geo Alp* 3: 93–146.
- OGG, J.G. 2004: The Triassic Period. In: GRADSTEIN, F., OGG, J. & SMITH, A. (eds.) 2004: *A Geological Time Scale 2004* (Cambridge): 271–306.
- PIROS, O. & PRETO, N. 2008: Dasycladalean algae distribution in ammonoid-bearing Middle Triassic platforms (Dolomites, Italy). *Facies* 54 (Erlangen): 581–595.
- SCHLAGER & SCHÖLNBERGER, 1974: Das Prinzip stratigraphischer Wenden in der Schichfolge der Nördlichen Kalkalpen. *Mitt. Geol. Ges. Wien* 66/67 (Wien): 165–193.
- SIMMS, M.J. & RUFFEL, A.H. 1989: Synchronicity of climate change and extinctions in the Late Triassic. *Geology* 17: 265–268.
- SOKAČ, B., ŠČAVNIČAR, B. & VELIĆ, I. 1976a: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, Tolmač za list Gospić. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–64.
- SOKAČ, B., ŠUŠNJAR, M., BUKOVAC, J. & BAHUN, S. 1976b: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, Tolmač za list Udbina. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–62.
- SOKAČ & VELIĆ 1979: Triassic, Jurassic and Lower Cretaceous of the Karst part of the Dinarids in the western Croatia. In: DROBNE, K. (ed.) 1979: 16th European Micropaleontological Colloquium (Zagreb – Bled): 79–100.
- ŠČAVNIČAR, B. & ŠUŠNJARA, A. 1967: Geološka i petrografska istraživanja trijaskih naslaga u Gorskom Kotaru (područje Lokve – Gerovo). *Geol. vjesnik* 20 (Zagreb): 82–106.
- ŠINKOVEC, B. 1970: Geology of the Triassic bauxites of Lika, Yugoslavia. *Acta geologica* 7/1 (Zagreb): 1–70.
- TIŠLJAR, 2001: Sedimentologija karbonata i evaporita. školska knjiga (Zagreb): 1–375.
- TIŠLJAR, J., VLAHOVIĆ, I., SREMAC, J., VELIĆ, I., VESELI, V. & STANKOVIĆ, D. 1991: Excursion A – Velebit Mt.: Permian to Jurassic. Middle Permian calcispongite patch-reef, Permian peritidal carbonates, Middle to Upper Triassic shallow marine limestones and continental sediments, Liassic shallow marine and bioturbated limestones. In: VLAHOVIĆ, I. & VELIĆ, I. (eds.): *Some Aspects of the Shallow Water Sedimentation on the Adriatic Carbonate Platform (Permian to Eocene)*. Second Internat. Symposium on the Adriatic Carbonate Platform, Excursion Guidebook (Zagreb): 3–52.

Paleogeografske rudistne podprovincije Tetide v zgornji kredi v Sloveniji

The Upper Cretaceous paleogeographical rudist subprovinces of the Tethys in Slovenia

Mario PLENIČAR

Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehnična fakulteta, Univerza v Ljubljani, Privoz 11, 1000 Ljubljana,
Slovenija

Ključne besede: rudistne podprovincije, zgornja kreda, karbonatna platforma, flišni bazen, olistostroma, Slovenija

Key words: rudist subprovinces, Upper Cretaceous, carbonate platform, flysch basin, olistostrome, Slovenia

Izvleček

Po sedanjem poznavanju krednih skladov Slovenije in v skladu z DERKOURJEVO karto rudistnih paleogeografskih provinc in podprovinc Centralne Tetide (1985), lahko ločimo v Sloveniji od severa proti jugu naslednje zgornje-kredne rudistne podprovincije:

1. Karpatsko-Balkansko-Pondska podprovincino
2. Prehodno podprovincino
3. Apulijsko-Tauridsko-intraoceansko podprovincino.

Rudistne usedline **prve podprovincije** so v severovzhodni Sloveniji na Pohorju. Te kamnine obsegajo avtohtone rudiste iz rodov *Vaccinites*, *Radiolites* in *Lapeirouseia*. Rudistna favna **prehodne podprovincije** obstaja na območjih osrednje Slovenije (Notranji Dinaridi). Na teh območjih so bili rudisti in drugi plitvomorski organizmi prinešeni v fliš in v druge sedimente v globjemorskem bazenu kot alohtona favna (olistoliti). **Tretja podprovincina** obsega Dinarsko karbonatno platformo z rudistno združbo, ki je uspevala v pogojih toplega plitvega morja.

Abstract

To the present knowledge according to DERKOURT et al. (1985) the following Upper Cretaceous rudist subprovinces in Slovenia can be distinguished from the North to the South:

1. Carpathian-Balcanic-Pontidian subprovince
2. Transitional subprovince and
3. Apulian-Tauridian-intraoceanic subprovince.

Rudist deposits of the **first subprovince** occur in northeastern Slovenia in Pohorje. These deposits contain representatives of the genera *Vaccinites*, *Radiolites* and *Lapeirouseia*. Rudist faunas of the **transitional subprovince** existed in the regions of the Central Slovenia (Inner Dinarids). In this area rudists and other shallow marine organisms were transported into flysch and deep-marine basins within olistoliths (allochthonous fauna) or as individual specimens. The **third subprovince** comprise carbonate platformes with rudist associations developed in conditions of the warm and shallow seas.

Uvod

V sedemdesetih letih preteklega stoletja sta KAUFFMAN (1973) in COATES (1973) v svojih delih delila območje Tetide glede na rudiste in njim podobne organizme na biostratigrafske province in podprovincije. Kot najpomembnejše značilnosti za to delitev sta upoštevala klimatske faktorje, poleg tega pa še tektoniko plošč, spremembe globine morja v oceanih, višine morske gladine (evstatične oscilacije), strategijo prilagodljivosti organizmov itd. COATES je ločil dve veliki Tetidini pro-

vinci: Karibsko in Sredozemsko, med katerima je ležala in ju ločila oceanska pregrada. Močno se je naslanjal na razne endemične oblike rudistov, ki jih je našel na obeh območjih. Z razmikanjem Atlantika se je seveda v času večalo število endemičnih rodov v obeh provincah.

V Sredozemski provinci je pozneje PHILIP ločil pet Tetidinih zgornjekrednih rudistnih podprovinc (1982). Z nastajanjem »alpske geosinklinale« je ločil tri rudistne enote v Sredozemlju, oziroma tri sredozemsko-centralne vzhodno -rudistne združbe, ki so nastajale pri dviganju podmorskih

pragov. Posebno mesto je določil Jadranski provinci centralne Tetide.

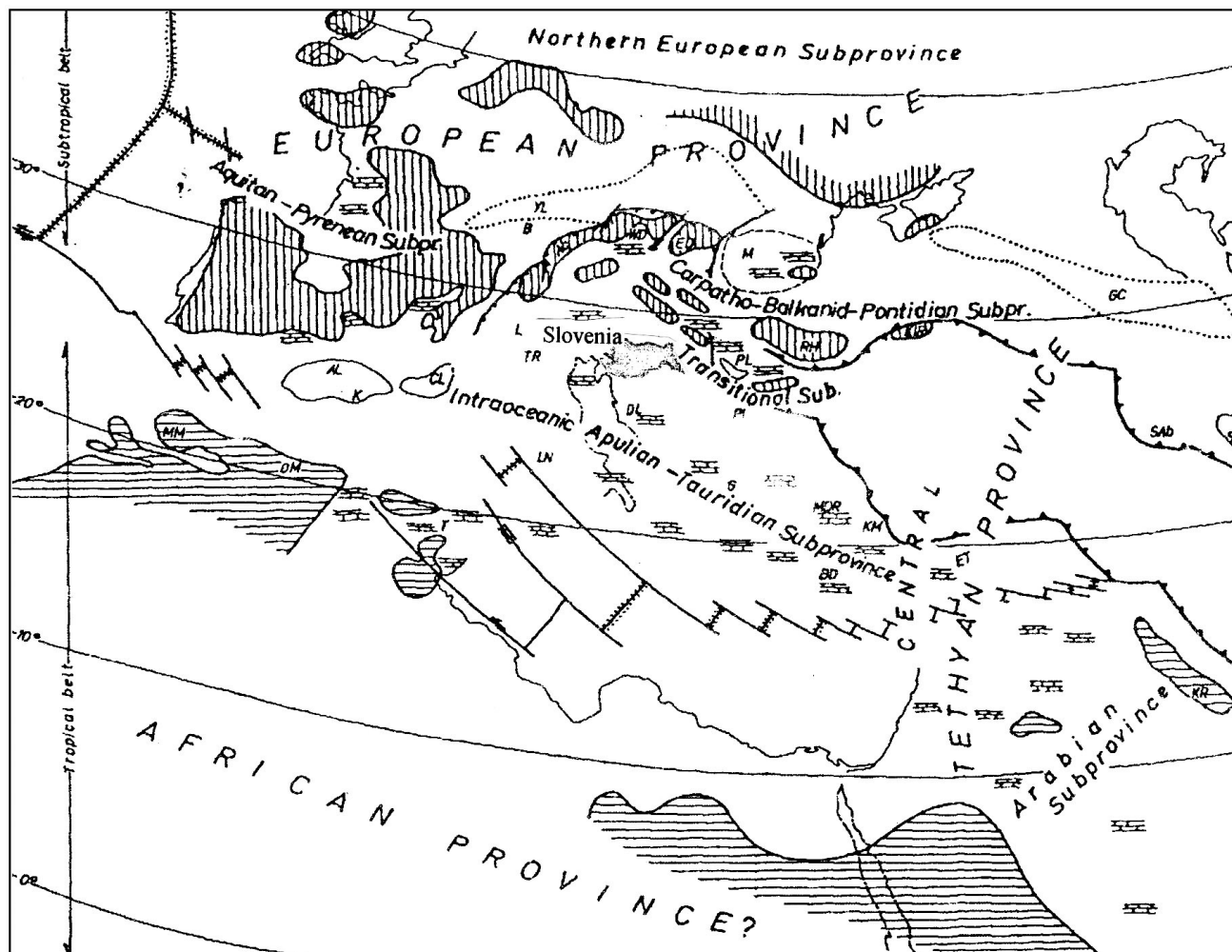
V letu 1985 so DERCOURT in soavtorji objavili karto, ki prikazuje razširjenost rudistnih paleobiogeografskih provinc in podprovinc Centralne Tetide med Evropsko in Afriško ploščo od Atlantika do Pamirja (sl. 1).

V letih 1996 in 2002 je MILEVA SLADIĆ-TRIFUNOVIĆ imela dva referata na kongresih o rudistih, ki sta obravnavala paleogeografijo zgornjekrednih rudistnih apnecev v Centralni Tetidi. V obeh zbornikih referatov je objavila isto pregledno paleogeografsko karto po DERCOURTU in sodelavcih iz leta 1985 (SLADIĆ-TRIFUNOVIĆ, 1998, 2002). Na podlagi razprav DERCOURTA in PHILIPA je ločila rudistne formacije nekdanje Jugoslavije v tri paleogeografska območja Centralne Tetide: 1. v Karpato-Balkansko-Pontidijsko podprovinc Centralne Tetidine province, 2. v prehodno podprovinc s cono jarkov in otokov med njimi in plitva okolja ob otokih; v psevdoselfih pa rudistne biostrome in bioherme, to je rudistne sedimentne kamnine Notranjih Dinaridov in 3. v sedimentne kamnine toplega plitvega morja Apulijsko-Tauridske podprovinc ali karbonatne platforme z rudisti Zunanjih Dinaridov v vzhodnem delu nekdanje Jugoslavije (Črna Gora, otok Brač).

Rudistne podprovinc

Za prvo podprovinc so značilna območja v vzhodnem delu Srbije z znanimi fosilnimi nahajališči pironejsko-psevdopolikonitne rudistne favne pri Vrbovcu (»vrbovački sprud«), to je nahajališča pironejsko-psevdopolikonitne rudistne favne, imenovane tudi vrbovačka favna, ki se širi iz vzhodne Srbije proti vzhodu v Bolgarijo, Rumunijo in Turčijo. Ta podprovinc se nadaljuje iz Srbije tudi proti severozahodu in tam predstavlja severni rob Centralne Tetide, oziroma mejo z Evropsko provinco.

»Karpato-Balkanska Pontidijska podprovinc« je v Sloveniji v Centralnih, oziroma v Vzhodnih Alpah. Pripadali naj bi ji erozijski ostanki krednih kamnin na Jesenkovem vrhu na vzhodnem delu Pohorja, to je apnenčeve breče z ostanki zdrobljenih rudistnih loput ter lapornati apnenci in laporovci z globotrunkanami. Tej podprovinci pripadajo »gosavske plasti« v okolici Stranic in Zreč pri Slovenskih Konjicah. V kamnolomu dolomitnega drobljenca v Stranica leži na zgornjetriasnem dolomitu plast črnega premoga, ki so ga nekoč tudi kopali (HAMRLA, 1988). Više sledijo glinavci in meljevci ter laporovci z izredno številnimi primerki solitarnih koral negrebenskega fa-



Sl. 1. Paleogeografska skica provinc in podprovinc rudistov zgornje krede v centralni Tetidi po DERCOURTU et al. (1985).

Fig. 1. Scheme of the paleobiogeographic distribution (provinces et subprovinces) of Late Cretaceous of the Central Tethys after DERCOURT et al. (1985).



Sl. 2. Paleogeografska karta rudistnih podprovincine Tetide v zgornji kredi v Sloveniji (dopolnjeno po DERCOURTU et al. 1985).

Fig.2 The Upper Cretaceous Paleogeographical Map of the Rudist Subprovinces of the Tethys in Slovenia (accomplished after DERCOURT et al. 1985).

ciesa z najpogostnejšim rodом *Cunoolites* (TURNŠEK, 1978). še više sledi apnenec z zdrobljenimi loputami rudistov. Verjetno je v vrhnjem delu teh kamnin pravi biolititni grebenski apnenec z rudisti, ki jih je paleontološko obdelal PLENIČAR (1971, 1993). Grebenski apnenec je v manjšem kamnolomu pri Stranica in je danes že delno odstranjen zaradi izkoriščanja kamnoloma. Določene so naslednje vrste: *Vaccinites ultimus* Milovanović, *V. braciensis* Sladić-Trifunović, *V. arhiaci* Munier-Chalmas, *V. castroi* Vidal, *Radiolites angeiodes* (Lapeirouse) Lamarck, *R. aurigerensis* Munier-Chalmas, *Biradiolites leychertensis* Toucas *biprimer* Astre, *Sauvagesia meneghiniana* (Pirone) Toucas, *Praelapeirouseia kossmati* Wiontzek, *P. wiontzeki* Slišković, *P. pajtleri* Pleničar, *Lapeirouseia jouanneti* (Des Moulins) Bayle, *L. laskarevi* Milovanović, *L. plana* Milovanović, *L. zitteli* Douvillé in druge (sl. 2).

Proti jugozahodu sledi na območju Notranjih Dinaridov »prehodna rudistna podprovinca« z globokimi aktivnimi jarki in loki otokov ter flišnim bazenom. To je naslednja rudistna podprovinca Centralne Tetide, v katero je SLADIĆ-TRIFUNOVIĆEVA (1998) uvrstila zgornjekredna nahajališča fosilov: Lisa, Ivanjica, Gučevo, Skrapez, Počuta, Dragačevo in Mokra Gora v jugozahodni Srbiji. Geotektonsko je to cona Notranjih Dinaridov, oziroma po HERAKU (1986) Supradinarik.

Na ozemlju nekdanje Jugoslavije je preučeval sedimente te prehodne podprovincine POLŠAK, ki

je v letih 1979, 1981b in 1985 podrobno obdelal fosilne grebene, ki se pojavljajo na območju Notranjih Dinaridov. Kot posledico podpiranja plošč na območju Notranjih Dinaridov je predvidel tri glavne otočne loke v približni smeri severozahod-jugovzhod, to je območja Slovenije prek Hrvaške in Bosne do Srbije, oziroma Kosova. Posebej se je oziral na biolititne grebenske komplekse v smislu DUNHAMA (1970), ki obsegajo grebenske in podgrebenske sedimente (obgrebenske breče – reef talus). Večina nekdanjih biolititnih grebenov je danes porušena. V času potresov so biolititi obenem s terestričnimi sedimenti zdrknili v jarke pod biolititnimi grebeni. Tako se tam pojavljajo rudisti v sedimentih zgornjekrednega, paleocenskega in eocenskega fliša, ki so prav tako bili prineseni v globlje morje z območij biolititnih grebenov, ki so uspevali na šelfnih območjih okoli otokov ali z Dinarskih karbonatnih plošč.

Ker zajemajo referati SLADIĆ-TRIFUNOVIĆEVE (1998) obenem s POLŠAKOVIMI (1981b) podatki podobne razmere v času nastajanja rudistnih apnencev na območju Hrvaške, v Bosni in v Srbiji, DERCOURTOVA karta pa tedanje razmere skoraj celotnega Sredozemlja, naj dopolnimo v tem prispevku še podrobnejše razmere prehodne rudistne podprovincine na slovenskem ozemlju v sedimentoloških formacijah, konglomeratnih apnencih in apnenčevih brečah, ki so nastale deloma že pred odložitvijo ali med odložitvijo kredno – paleocenskega fliša, in so najbolj razširjene zlasti v jugozahodnem delu Slovenije (sl. 2).

Prehodna podprovinca, ki obsega ozemlje osrednje Slovenije, sega od zahoda pri Robidišču ob italijanski meji preko Mije, Matajurja, Livka, Kolovrata, Volč, Volčanskih Rutov, Mosta na Soči, Kanala, severnega dela Banjšic, šentviške planote in Avč, odkoder se proti vzhodu prekinja in se pojavi zopet pri Kališah blizu Logatca, na Rašici in v okolici Domžal, dalje pri Karteljevem in Trški gori ter v Krškem hribovju, na Gorjancih in v Beli Krajini vzhodno od Metlike. V tej podprovinci ne dobimo primarnih biolilitnih rudistnih grebenov, ampak so vsi rudisti v njej v alohtonem položaju, oziroma na drugotnem mestu. Rudiste dobimo kot odlomke loput in v velikih olistoliti, poredko tudi kot posamezne primerke. Rudisti so primarno živeli na severnem robu Dinarske karbonatne plošče Zunanjih Dinaridov. Presedimentirani primerki so v apnečevih brečah pod in nad plastmi maastrichtijskega fliša in v olistostromnih brečah paleocenskega in eocenskega fliša. V starejšem maastrichtiju se je Dinarska karbonatna plošča začela zaradi intenzivnega tektonskega delovanja naglo rušiti. Rudistni grebeni so se z vsem fosilnim inventarjem nabirali v velikih količinah na pobočju platforme in so občasno spolzeli kot olistostrome v flišni bazen. Ta se je začel pomikati na karbonatno platformo proti jugu (BUSER, 1987). Ker se je rušenje platforme nadaljevalo še iz krede v paleocen, je razumljivo da dobimo breče tudi v flišu teh plasti.

Ker je bil razrušen večinoma le severni rob Dinarske karbonatne plošče, na katerem so živele nekatere rudistne vrste, ki v notranjosti karbonatne plošče niso uspevale, dobimo presedimentirane v brečah predvsem te vrste. Kot značilni primer lahko navedemo alohtoni vrsti *Pironaea buseri* Pejović in *Pironaea machnitschi* Wiontzek, ki sta bili najdeni samo v flišu na sekundarnem mestu. Poleg teh dveh je tudi vrsta *Vaccinites giordanii* (Pirona), ki je bila najdena v breči pod flišem na območju hriba Sovič pri Postojni in v srednjepaleocenskem flišu pri Anhovem. Edino na sekundarnem mestu je bila najdena severno od Livka tudi vrsta *Pseudopolyconites hirsutus* (Patrullius) (BUSER et al., 2002). Na severnem robu karbonatne plošče je bil pri Banjšicah poleg rudistnega grebena najden tudi pravi koralni greben, ki je bil docela razrušen in presedimentiran v brečo pod flišem (TURNŠEK & BUSER, 1976).

V Posočju je razmere preučeval že WIONTZEK (1934). Opisal in obdelal je fosilno rudistno favno, ki jo je v veliki meri našel v KOSSMATOVI paleontološki zbirki na Dunaju. Ta favna je v bistvu preložena s karbonatne plošče s Tržaškega Krasa, Tržaško Komenske planote ter visokih kraških planot Nanosa, Hrušice, Javornikov, Banjšic in Trnovskega gozda, skratka s kredne karbonatne plošče, ki je bila tudi nosilec hipuritnih in radiolitnih rodov zgornjega dela krednih plasti. To so rodovi *Hippurites*, *Hippuritella*, *Vaccinites*, *Orbignya*, *Eoradiolites*, *Praeradiolites*, *Bournonia*, *Biradiolites*, *Distefanella*, *Radiolites*, *Sauvagesia*, *Lapeirouseia*, *Praelapeirouseia* in *Paronella*, ki so značilne za stratigrafske horizonte Dinarske karbonatne plošče od cenomanija do maastrichtija.

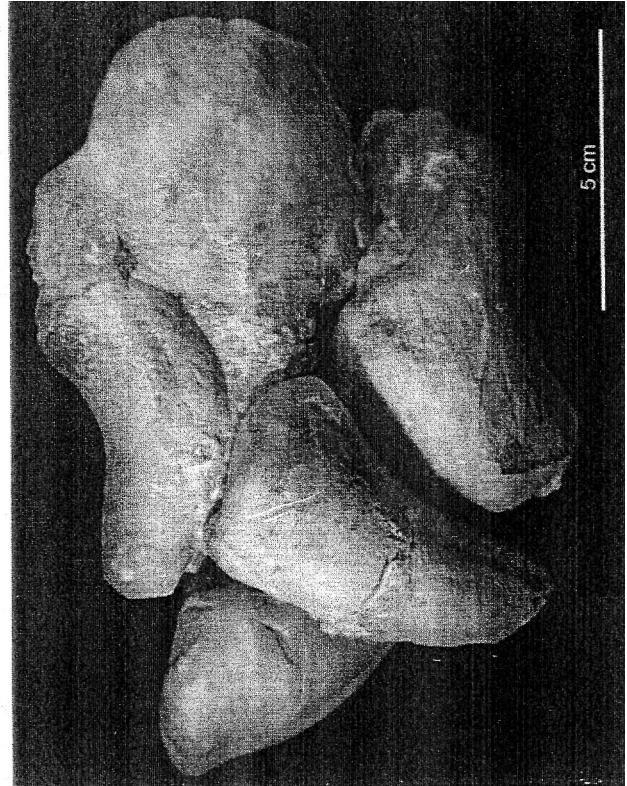
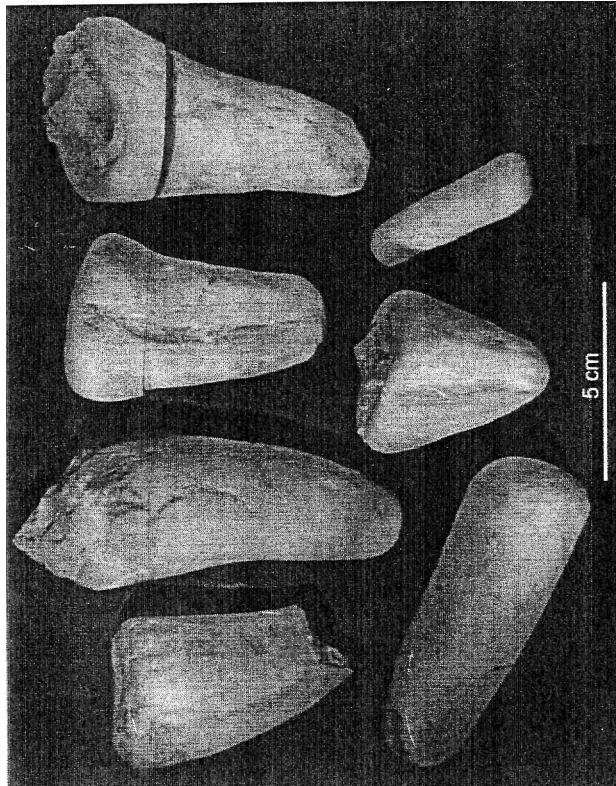
BUSER je raziskoval v letih 1986 in 1987 pri izdelavi osnovne geološke karte lista Tolmin presedimentirane rudiste v zgornjekrednem in paleocenskem flišu širšega območja Posočja (BUSER et al., 2002). Naštete so vrste rodov *Sabinia*, *Caprina*, *Sphaerucaprina*, *Hippurites*, *Hippuritella*, *Pironaea*, *Vaccinites*, *Gorjanovicia*, *Durania*, *Bournonia*, *Plagyoptichus*, *Pseudopolyconites* in druge. Favno iz olistostrom v kamnolomu pri Anhovem so leta 2001 obdelali PLENIČAR in sodelavci. Olistostrome spodnjepaleocenskega fliša vključujejo tu poleg rudistov in kosov rudistnega apnenca tudi kosi triasnih, jurskih ter krednih koralnih apnencev (PLENIČAR et al., 2001).

Posebno zanimivost predstavljajo nevezane lopute kaprinid in sabinij, nanesenih z biolilitnih grebenov na podmorska pobočja ali na obrobja kredne karbonatne platforme, ki so jih prej obrusili morski valovi. To so nahajališča pri Lokvici blizu Opatjega sela, pri Koprivi, Medvedjaku, Grgarju, Črnem vrhu nad Idrijo, pri izviru Lijaka pod Trnovskim gozdom ter na Hrušici (JURKOVŠEK et al., 1996; PLENIČAR & JURKOVŠEK, 2000). Razmera na malo poškodovane in samo površinsko zaobljene ter uglajene lopute kaprinid pričajo o njihovi odporni strukturi proti udarcem in brušenju morskih valov. S svojimi zaobljenimi oblikami predstavljajo skoraj posebno formacijo, zelo razširjeno na območju jugozahodne Slovenije (sl. 3).

Tretja podprovinca Centralne Tetide je »**Intraoceanska Apulijsko-Tauridska podprovinca**«, v katero je SLADIĆ-TRIFUNOVIĆEVA (1998) uvrstila nahajališča v Črni Gori in na otoku Braču. V Sloveniji je razvita na območju Visokega Krasa, to je na Nanosu, Hrušici, Javornikih, na Tržaško Komenski planoti, na Trnovskem gozdu, Banjšici, na Dolenjskem krasu, na Kočevskem, v Beli Krajini in v severnem delu Istre. To podprovincico bi lahko imenovali tudi Podprovincico Zunanjih Dinaridov (sl. 2).

Na ozemlju nekdanje Jugoslavije obsega ta podprovinca po PETKOVIĆU (1958) geotektonska območja v Istri in Dalmaciji, ali tudi Avtohton ter nariv Visokega krasa. Po HERAKU (1986, 1991) obsega ta podprovinca Adriatik in Dinarik ali strukturni kompleks Jadranske karbonatne platforme z vmesnim Epiadriatikom. Vse te HERAKOVE enote segajo na območje jugozahodne Slovenije. Po PREMURJU (2005) pripada jugozahodna Slovenija in s tem tudi Intraoceanska Apulijsko-Tauridska podprovinca Tetide narivni zgradbi Zunanjih Dinaridov, ki jih avtor deli na 11 narivov oziroma prišteva k banjaloški luskasti zgradbi. Po PLACERJU (1999) pripadajo Zunanji Dinaridi, oziroma tretja podprovinca Centralne Tetide v Sloveniji avtohtonu Istre, to je Jadranskemu in Apulijskemu predgorju, Hruševskemu in Trnovskemu pokrovu ter prehodnemu območju zgornjetriasnih, jurskih in krednih pelagičnih sedimentov med Notranjimi in Zunanji Dinaridi.

Intraoceanska Apulijsko-Tauridska podprovinca je značilna v Sloveniji po rudistni favni, ki je podobna v nahajališčih pri Fundini v Črni Gori, na otoku Braču pri Povljah, v Risanu, Luštici, Grbalju, v Boki Kotorski, v okolici Nikšiča



Sl. 3. Zaobljene lopute kaprinid in sabinij, prinesene z biolititnih grebenov v fliš pri Lokvici, Idriji in Anhovem. (Zbral in fotografiral dr. Bogdan Jurkovšek).

Fig. 3. The rounding shells of the Caprinids and Sabinias, transported into Fliisch from biolitids ridges near Lokvica, Idria and Anhovo. (The collector and the photographer dr. Bogdan Jurkovšek)

in drugod v skrajnem delu jugovzhodnih Dinaridov (SLADIĆ-TRIFUNOVIĆ, 2002). Fosilna favna v Črni Gori je sicer značilna tudi po endemičnih oblikah, ki pa niso najdene v Sloveniji. Zlasti je tu treba omeniti rod *Fundinia*, najden v zgornji kredi Fundine in Luštica. Sicer pa so tu še vrste, pogoste tako v črnogorskih kot tudi v slovenskih nahajališčih: *Joufia reticulata* Boehm, *Lapeirouseia crateriformis* (des Moulins), *Rajka spinosa* Milovanović, *Katzeria hercegovinaensis* Slišković, *Gorjanovicia acuticostata zidakensis* Slišković, *Bournonia* aff. *bournoni* (Des Moulins), *B. adriatica angeiodes* (Lapeirouse), *Radiolitella maastrichtiana* Pejović, *Praeradiolites* af. *cylindraceus* (Des Moulins), *Hippuritella lapeirousei* (Goldfuß) in *Sabinia aniensis* Parona.

V Sloveniji so poleg že omenjenih vrst iz Črne Gore in otoka Brača še najpogostejše vrste: *Hippurites nabresinensis* Futterer, *Vaccinites sulcatus* Defrance, *V. vredenburgi* Kühn, *V. archiaci* Munier-Chalmas, *V. chaperi* Douvillé, *V. cornuaccinum* Bronn, *V. vesiculosus* Woodward, *V. sulcatus* Defrance, *V. oppeli* Douvillé, *V. braciensis* Sladić-Trifunović in *V. ultimatus* Milovanović.

Značilnost te cone je večkratno pogrezanje, zato so tudi v njej debele plasti mezozojskih karbonatnih sedimentnih kamnin. Najpogosteje je tu ugotovljena menjava plitvomorskega režima, ki se odraža v plimski, medplimski in kontinentalni sedimentaciji ter pogostnih pojavih boksitnih ležišč. Na plitvomorskih platformah so bili ugodni življenjski pogoji za razvoj rudistnih biostrom, oziroma biolititnih grebenov. V času grezanj kar-

bonatnih platform so tudi na samih platformah nastajali apnenčevi konglomerati, ki jih gradijo od morskih valov obrušene lopute školjk, največ rudistov. Kakor v predhodni podprovinci so tudi tukaj najboljše ohranjeni vezani in nevezani primerki kaprinid. Med njimi prevladujejo sabinije s svojimi trdnimi loputami, odpornimi proti udarcem morskih valov (sl. 3).

Sklep

Na ozemlju Slovenije, ki v paleogeografskem smislu predstavlja po DERCOURTU in sodelavcih (1985) osrednji del Tetidine rudistne province v zgornji kredi, smo lahko ugotovili nadaljevanje treh glavnih rudistnih podprovinc in sicer **Karpatško-Balkansko-Pondska, prehodno in Apulijško-Tauridsko intraoceansko** podprovincino z vso značilno rudistno favno.

Zahvala

Zahvaljujem se dr. Bogdanu Jurkovšku za nabrane in fotografirane vzorce rudistov, ki gradijo biolitite, dalje mag. prof. Ireni Jeločnik za prevod angleškega teksta ter višjemu tehničnemu sodelavcu Marjanu Grmu za risarska in fotografska dela.

Literatura

- BENESCH, F. 1917: Beiträge zur Gesteinskunde des Östlichen Bacher Gebirges (Südsteiermark). Mitt. d. Geol. Gesell., Wien.
- BUSER, S. 1986: Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine), osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni Geol. zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1987: Development of the Dinaric and the Julian Carbonate Platforms and of the Intermediate Slovenian Basin (NW Yugoslavia). *Memorie della Società Geologica Italiana* (Roma) 40: 313–320.
- BUSER, S., PLENIČAR, M., & GRAD, K. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ, list Postojna 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S., PEJOVIĆ, D. & RADOJČIĆ, R. 2002: Redeposited Rudists in Senonian and Palaeogene Flysch Beds in the wider Region of the Soča Valley. First International Conference on Rudists, oct. 1988 (Beograd): 3.
- COATES, A. G. 1973: Cretaceous Tethyan coral-rudists Biogeography related to the evolution of the Atlantic Ocean. *Spec. Pap., Paleont.* (London) 12.
- DERCOURT, J., ZONENSHAIN, L., RICOU, L. E., KAZMIN, V., PICHON, X. L., KNIPPER, A., GRANDJACQUET, C., SBORSHCHIKOV, I., BOULIN, J., SOROKHTIN, O., GEYSSANT, J., LEPVRIER, C., BIJU-DUVAL, B. & SIBUET, J. 1985: Présentation de 9 cartes paléogéographiques au 1/20.000.000 s'étendant de l'Atlantique au Pamir pour la période du Lias à l'Actuel. *Bulletin de la Société géologique de France* (Paris) 8, 1(5): 637–652.
- DUNHAM, R. J. 1970: Stratigraphic reefs versus ecologic reefs. *Mer. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, 54: 1931–1932.
- HAMRLA, M. 1988: Prispevek h geologiji premogišč reškega okoliša in uvrstitev njegovih premogov po odsevnosti. *Geologija* (Ljubljana) 30 (1978): 343–390.
- HERAK, M. 1986: A new concept of geotectonics of the Dinarides. *Acta geol., JAZU* (Zagreb) 16/1: 1–42.
- HERAK, M. 1991: Mobilistic view of the genesis and structure. *Acta geol., JAZU* (Zagreb) 21/2: 35–117.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, LJ., 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine, 1:50.000. Geološki zavod Ljubljana: 1–143.
- KAUFFMAN, E. G. 1973: Cretaceous Bivalvia. In Hallam, A. (ed.). *Atlas of palaeobiogeography*, Elsevier, (Amsterdam): 353–383.
- KIESLINGER, A. 1935: *Geologie und Petrografie des Bachern*. Verh. Geol. R.A., Wien.
- KOSSMAT, F. 1907: Über die geologischen Aufnahmen im Tarnowanerwalde. Verh. k.k. Geol. R.A. (Wien) 6: 144–145.
- PEJOVIĆ, D. 1997 (1996): *Pironaea buseri* n.sp. from olistomal breccia of Paleocene by Anhovo. *Geologija* (Ljubljana) 39 (1996): 91–55.
- PETKOVIĆ, K. 1958: Neue Erkenntnisse über den Bau der Dinarides. *Jahrb. d. Geol. Bundesanst.* (Wien) Bd. 101, H. 1: 1–24.
- PHILIP, J. 1982: Paleocologie des formations à Rudistes du Crétacé supérieur l'exemple du Sud-Est de France. *Palaeogeograf. Palaeoclim., Palaeocol.* (Amsterdam) 12: 205–222.
- PLACER, L. 1999: Prispevek k makrotektonski razionizaciji mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. *Geologija* (Ljubljana) 41: 223–255.
- PLENIČAR, M. 1961: The stratigraphic development of Cretaceous beds in Southern Primorska (Slovene Littoral) and Notranjska (Inner Carniola). *Geologija* (Ljubljana), 6 (1960):1–145.
- PLENIČAR, M. 1971: Hipuritna favna iz Stranic pri Konjicah. *Razprave SAZU* (Ljubljana) XIV/8: 241–263.
- PLENIČAR, M. 1973: Radiolites from the Cretaceous beds of Slovenia, Part I. *Geologija* (Ljubljana) 16: 187–226.
- PLENIČAR, M. 1975: Hipuriti Nanosa in Tržaško-Komenske planote. *Razprave IV. razr. SAZU* (Ljubljana) XVIII/4: 1–35.
- PLENIČAR, M. 1993: Radiolites from the Cretaceous beds of Stranice near Slovenske Konjice (Slovenia). *Razprave IV. razr. SAZU* (Ljubljana) XXXV/3: 45–103.
- PLENIČAR, M. 1999: *Hippurites conicus adriaticus* Sladić-Trifunović of the Upper Cretaceous calcareous breccia near Rašica (Slovenia). *Razprave IV. razr. SAZU* (Ljubljana) XL/5: 67–75.
- PLENIČAR, M. 2005: Zgornjekredni rudisti v Sloveniji. *SAZU* (Ljubljana): 1–255.
- PLENIČAR, M. & JURKOVŠEK, B. 1999: Stop 2: The Lipica Formation in the Lipica quarry. In HÖFLING, R., & STEUBER, T. (Eds.): *Fifth international Congress on Rudists, Abstracts and field guides*, (Erlanger geologische Abhandlungen, Sonderband) 3: 122–126.
- PLENIČAR, M. & JURKOVŠEK, B. 2000: Rudists from the Cenomanian bioherms of Hrušica and Nanos, Slovenia. *Geologija*, (Ljubljana) 42(1999): 69–116.
- PLENIČAR, M., JURKOVŠEK, B. & BUSER, S. 2001: Redeposited Rudists in Paleocene Flysch near Anhovo (Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 44/1: 115–136.
- PLENIČAR, M. & ŠRIBAR, LJ. 1992: Le récif de rudistes près de Stranice (N.O. de la Yougoslavie). *Geologica Romana* (Roma) 28: 305–317.
- POLŠAK, A. 1979: Stratigrafija i Paleogeografija Biolititnog Kompleksa Senona kod Donjeg Orešja (Medvednica, Sjev. Hrvatska). *Acta Geol. JAZU* (Zagreb) IX/6: 1–37.
- POLŠAK, A. 1981a: Tektonska dinamika i sedimentacijska diversifikacija u Dinaridima u prelaznom razdoblju kreda-paleogen i njihov odraz na stratigrafsku problematiku danskog kata. Simpozij o problematiki danija v Jugosl., Ljubljana.
- POLŠAK, A. 1981b: European fossil reef models. *Society of economic, paleontologists and mineralogists, Spec. publ.* (Tulsa, Oclahoma, USA) 30: 447–472.

- POLŠAK, A. 1985: Granica između krede i tercijsara u svijetlu stratigrafije i sedimentologije biolitnog kompleksa u Medvednici (Sjeverna Hrvatska). *Prir. istr., Acta Geol. JAZU (Zagreb)* 151: 1–23.
- PREMRU, U. 2005: Tektonika in tektogeneza Slovenije. Geološka zgradba in geološki razvoj Slovenije. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana): 1–518.
- SLADIĆ-TRIFUNOVIĆ, M. 1991: Paleogeography of the Late Senonian Rudists in the Thetys. Rudists. Proceeding of I. International Conference on Rudists (Beograd 1988): 245–259.
- SLADIĆ-TRIFUNOVIĆ, M. 1998: On the Senonian Rudist – Bearing Sediments in Yugoslavia. *Quatrième Congrès International sur les Rudistes. Geobios Mémoire spécial n' 22 (Marseille 1996)*: 371–384.
- SLADIĆ-TRIFUNOVIĆ, M. 2002: Paleobiogeography of the Central Tethian Late Senonian Rudists. *Pric. Ist Intern. Conf. on Rudists (Beograd 1988)*: 267–297.
- TURNŠEK, D. & BUSER, S. 1976: Knidarijska favna iz senonske breče na Banjški planoti. *Razprave IV. Razr. SAZU (Ljubljana)* 19/3: 37–88.
- TURNŠEK, D. 1978: Solitarne senonijske korale iz Stranic in z Medvednice. *Razprave IV. Razr. SAZU (Ljubljana)* 26: 305–312, pls. 1–3.
- WIONTZEK, F. 1934: Rudisten aus der oberen Kreide des mittleren Isonzogebietes. *Palaeontographica (Stuttgart)* 80 (1933): 1–38.

Serpulidni črv *Rotularia spirulaea* iz eocenskih plasti pri Gračišću v Istri, Hrvaška

The serpulid worm *Rotularia spirulaea* from Eocene beds near Gračišće in Istria, Croatia

Vasja MIKUŽ

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: vasja.mikuz@ntf.uni-lj.si

Ključne besede: serpulidi, *Rotularia*, Polychaeta, fliš, eocen, Gračišće, Istra, Hrvaška

Key words: serpulid worms, *Rotularia*, Polychaetes, flysch, Eocene, Gračišće, Istria, Croatia

Izvleček

V prispevku so predstavljeni nekateri izbrani primerki sedentarnih polihetov vrste *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818), ki so najdeni v srednjeeocenskih – lutetijskih apnenčevih brečah in konglomeratih oziroma olistostromi, v profilu pod zaselkom Gračišće blizu Pazina v Istri na Hrvaškem. Primerki so redki, različnih oblik in velikosti ter nastopajo skupaj s številnimi numulitinami, koralami, mehkužci, iglokožci, mahovnjaki, litotamnijami in drugimi fosilnimi ostanki. Omenjene kamnine in njihova vsebina so sestavni deli istrskih paleogenskih bazenov oziroma Pazinskega flišnega bazena.

Abstract

In paper several selected specimens of sedentary Polychaetes of species *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818) are presented. They were found in Middel Eocene – Lutetian calcareous breccias and conglomerates, respectively olistostromes, below the village of Gračišće near Pazin in Istria (Croatia). The rare individuals are of various shapes and sizes, and they occur among numerous nummulitines, corals, molluscs, echinoderms, bryozoans, lithothamnias and other fossil remains. The mentioned rocks and their contents are constituting parts of the Istrian Paleogene basins, in this instance of the Pazin flysch basin.

Uvod

V Istri poteka v smeri od severozahoda proti jugovzhodu dobrih 20 km širok pas paleogenskih skladov, ki sestojijo pretežno iz flišnih kamnin, laporastih apnencev in apnencev. Znotraj obsežnih in debelih profilov fliša so eocenski – lutetijski apnenčevi bazalni debeložrnati klastiti, breče in konglomerati, v katerih je veliko ostankov numulitin in drugih zelo različnih fosilnih organizmov. Večji izdanki teh breč in konglomeratov so v profilih v bližnji in širši okolici Gračišća (slika 1). Raziskovani profili so tudi ob cesti nekako na sredini poti med Pazinom in Pičnom v Istri. To območje obiskujemo in pregledujemo že štiri desetletja. V tem času smo zbrali tudi zadovoljivo število hišic polihetov za primerno raziskavo in določitev njihove taksonomske pripadnosti. Našli smo le planispiralno zavite hišice, ki pripadajo polihetu ene vrste *Rotularia spirulaea*, ki je najdena v številnih deželah Mediterana ter severno in vzhodno od tod, torej na območju nekdanjega Tetidinega sedimentacijskega prostora.

Paleontološki del

Sistematika po: ANDERSON (1998), MÜLLER (1980) in SCHMIDT (1955)

Phylum Annelida
Classis Polychaeta
»Cladus« Palpata
»Cladus« Canalipalpata
»Cladus« Sabellida

Familia Serpulidae Burmeister, 1837
Subfamilia Spirorbinae Chamberlin, 1919

Genus *Rotularia* DeFrance, 1827

MÜLLER (1980, 442) piše, da je rod *Rotularia* živel od zgornje krede do eocena. V eocenu je dosegel svojo največjo razširjenost. Hišice rotularij lahko zamenjamo s hišicami nekaterih polžev in skafo podov. Prav to so storili raziskovalci KARAGJULEVA (1964, 143), ZELINSKAJA et al. (1968, 32) in KECSKEMÉTI-KÖRMENDY (1980, 46), ki so hišice polihetov uvrstili med polže k družini Vermetidae.



Slika 1. Geografski položaj najdišča Gračišće pri Pazinu v Istri, Hrvaška

Figure 1. Geographical position of find place Gračišće near Pazin in Istria, Croatia

Zelo opazna je razlika v strukturi njihovih sten, ki se lepo vidi v prečnih in vzdolžnih prerezihihišic. Pri serpulah je v ekvatorialnem prerezu vidna parabolična do poševna tekstura (sl. 2), pri polžih vzporedna v notranjem in prečna na zunanjem delu stene. V prečnem prerezu imajo hišice serpul na zunanji in notranji strani koncentrično prirast, pri polžih je na notranji strani koncentrična prirast, na zunanji pa radialna. Razlika je tudi v debelinah notranjih strani stene hišic, pri serpulah je notranji del stene tanek, pri polžih je debelejši. Tudi premer oziroma volumen cevi je pri serpulah nekoliko večji kot pri polžih. Vse omenjene razlike v strukturi stene hišic serpul, polžev in skafopodov so lepo prikazane v delu SCHMIDTA (1955, Taf. 1, Figs. 1–14) in MÜLLERJA (1980, 436, Tab. 6). Nekateri novejši taksonomske enote so povzete po ANDERSON (1998).

Polihetna rodova, fosilni *Rotularia* in recentni *Spirorbis* sta iz iste družine – Serpulidae. Hišice rodu *Spirorbis* so v marsičem podobne hišicam fosilnega rodu. Po podatkih, ki jih najdemo v delu RUPERT & BARNES (1994, 526) živijo primerki rodu *Spirorbis* pritrjeni na različne podlage. WALKER & WARD (1995, 40) predstavljata iz »londonskih glin« spodnjeocensko vrsto *Rotularia bognoriensis* (Mantell), ki je prav tako podobna vrsti *Rotularia spirulaea*. Nadalje navajata, da primerki omenjene angleške vrste niso bili pritrjeni, temveč prosto ležeči na peščenem in plitvem morskem dnu.

Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818)
Tab. 1, sl. 1–12; sl. 2

- 1820 *Serpulites nummularius* – SCHLOTHEIM, 97, Taf. 29, Fig. 11
1848 *Serpula spirulaea* Lam. – D'ARCHIAC, 452
1863 *Serpula spirulaea* Lmk. – SCHAFFHÄUTL, Taf. 53, Figs. 1a–c, 2a–c
1895 *S. (Rotularia) spirulaea* Lam. – ZITTEL, 205, Fig. 404 h
1901 *Serpula (Rotularia) spirulaea* Lam. – OPPENHEIM, 277, Taf. 18, Fig. 15
1906 *Serpula spirulaea* Lam. – FELIX, 96, Fig. 250
1909 *Serpula (Rotularia) spirulaea* Lamarck – TONIOLO, 256
1918 *Serpula spirulaea* Lam. – TOULA, 426, Taf. 25, Fig. 32
1949 *Serpula spirulea* – PETKOVIĆ, 156, Tab. 26b, sl. 1
1952 *Serpula spirulaea* Lamarck – ROGER, 184, Fig. 21
1955 *Rotularia spirulaea* (Lamarck) – SCHMIDT, 75, Taf. 8, Figs. 15–19
1957 *Serpula spirulaea* Lam. – PETKOVIĆ, 237, Tab. 42, sl. 2
1964 *Burtinella spirulaea* (Lamarck) – KARAGJULEVA, 143, Tabl. 41, Figs. 11a–11b
1964 *Serpula (Rotularia) spirulaea* – KOCHANSKY-DEVIDÉ, 198, Fig. 261
1968 *Vermetus spiruleus* (Lamarck, 1802) – ZELINSKAJA, KULIČENKO, MAKARENKO & SOROČAN, 32
1980 *Tubulostium spirulaeum* (Lamarck), 1818 – KECSKEMÉTI-KÖRMENDY, 46, 155, Táb. 13, Figs. 1–11
1988 *Rotularia spirulaea* (Lamarck) – HAGN & SCHMID, 62, Taf. 9
1990 *Tubulostium spirulaeum* (Lam.) – MALARODA, 219, Fig. 248 a₁–a₂
1992 *Rotularia spirulaea* (Lam.) – HAGN, DARGA & SCHMID, 144, Taf. 33
1996 *Rotularia spirulae* (Lamarck) – MOOSLEITNER, Tafel Paz 2, Fig. 9
1998 *Rotularia spirulea* (Lamarck) – SCHULTZ, 24, Taf. 4, Fig. 1
2000 *Serpula spirulaea* Lamarck – KLEPAČ, 257–258
2003 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818) – KLEPAČ, 504–505, Figs. 146 A–C

Material: Primerki v profilih pri Gračišču niso pogostni in večinoma so poškodovani. Zelo poredkoma najdemo boljše ohranjene primerke, v celoti ohranjenih in nepoškodovanih ni. V raziskavo je vključenih in izmerjenih 30 primerkov.

Opis: Njihova hišica je planispiralno zavita cev, ki sestoji iz karbonatov, kalcita in aragonita. Mlajši deli cevi v veliki meri prekrivajo starejše odelce cevi. Cev je v sredini oziroma preseku okrogla (tab. 1, sl. 12), na zunanji strani ovalna do sploščena. Najmlajši del hišice z ustjem se odvijev kratko in ravno cev (tab. 1, sl. 1–3). Ta izravnani del cevi je običajno odlomljen, zato izgleda, da je njihova hišica v celoti zavita (tab. 1, sl. 4–6).

Zunanji rob hišice ima zašiljen spiralni greben. Osrednji del hišice je poglobljen z obeh strani, vendar je zgornji konkavni bolj, spodnji konveksni manj. Na površini hišice so opazne tanke prirastnice, ozki zažetki in manjše ali večje odebelitve. Osrednji del konveksne strani je ponavadi poškodovan oziroma odlomljen. Najverjetneje so bile hišice s konveksno stranjo pritrjene na podlago, zato so osrednji deli praviloma poškodovani, ker so bile hišice kasneje odtrgane od podlage (tab. 1, sl. 1b-8b). V ekvatorialnem prerezu se lepo vidi za polihete značilna parabolična ali poševna tekstura stene njihovih hišic (sl. 2).

Dimenzije (Sizes):

Premer hišic (Diameter of shells) = 12–18 mm

Višina ali debelina hišic (Height or thickness of shells) = 4–5 mm



Slika 2. Ekvatorialni prerez hišice oziroma vzdolžni prerez spiralno zavite cevi eocenskega poliheta vrste *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818) s parabolično in poševno teksturo. Gračišće pri Pazinu v Istri, x 5,7

Figure 2. Equatorial section of test or longitudinal section of spiral coiled tube of the Eocene polychaetes *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818) with parabolic and oblique texture. Gračišće near Pazin in Istria, x 5,7

Fotografije (Photos): Marijan Grm

Najdišča rotularij v Istri

Primerki vrste *Rotularia spirulaea* so v Istri najdeni na številnih krajih. O razširjenosti vrste in o njenih najdiščih poročajo predvsem naslednji avtorji. STACHE (1864, 87–89) omenja ostanke vrste *Serpula spirulaea* Leym. iz istrskih najdišč Nugla, Gračišće in Grdoselo. STACHE (1864, 109) piše, da so jih našli tudi na območju, ki leži južno od Labina. Najdbe serpul povezuje z najdbami

numulitin, morskih ježkov in mehkužcev. TARAMELLI (1874, 5) omenja srednjeeocenske numulitne konglomerate v okolici Buzeta, Grdosela, Pićna, Labina in Plomina. V teh konglomeratnih horizontih je veliko morskih ježkov in ostankov anelidov vrste *Rotularia spirulaea*. SCHUBERT (1905, 179) v seznamu istrskih fosilnih ostankov omenja tudi najdbe vrste *Serpula spirulaea* Leym. iz Nugle, Grdosela in Gračišća. MANEK (1905 a, 218) poroča o najdbah serpul in bolj konkretno (1905 b, 352), da so v konglomeratih ob cesti Roč – Buzet našli tudi primerke vrste *Serpula spirulaea*. TONIOLO (1909, 256) piše, da je ta vrsta v Istri zelo pogostna v okolici Roča in da jo najdemo v številnih najdiščih: Žulici, Kotli, Glistonija, Buljavci, največ pa v okolici krajev Brul, Osoj, Staraj in drugod. SACCO (1924, 20–23) naštevata številne fosilne ostanke iz okolice Roča, Pazina, Gračišća in Labina. SCHMIDT (1955, 78) jo omenja iz srednjeeocenskih skladov v okolici Labina, Krapnja in Buzeta. ŠIKIĆ (1963, 331) navaja ostanke vrste *Serpula spirulaea* Lamarck iz eocenskih skladov najdišč Lindar in Bertetići v okolici Pazina. KOC-HANSKY-DEVIDÉ (1964, 198) predstavlja primerke serpule iz eocenskih skladov v okolici Raše. Nadalje piše, da je med »črvi« pogostna in značilna *Rotularia spirulaea*. POLŠAK & ŠIKIĆ (1973, 26) naštevata makrofavno iz Pazinskega območja, med njo omenjata tudi vrsto *Serpula spirulaea*. Iz okolice Gračišća omenjajo ostanke serpulid HAGN et al. (1979, G187). MOOSLEITNER (1996, Taf. Paz 2) iz najdišča Paz predstavlja primerke vrste *Rotularia spirulaea*, katerega hišica ima premer 24 mm in sodi med večje primerke. KLEPAČ (2003, 504) piše, da je vrsta *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818) zelo pogostna v eocenskih sedimentih Istre, najdena pa je tudi na Krku in Hrvaškem primorju.

Stratigrafska in geografska razširjenost rotularij zunaj Istre

TARAMELLI (1869, 11–12) omenja laporaste apnenice z vrsto *Rotularia spirulaea*, v katerih je največ eocenskih morskih ježkov tako v Benečiji (Veneto) kot tudi v Furlaniji (Friuli). Isti avtor nadaljuje, da so podobne razmere tudi pri Biarritzju v Franciji in Ybergu v švici ter Kressenbergu na Bavarskem. ZITTEL (1895, 205) omenja ostanke te vrste iz eocenskih skladov Monte Berici pri Vicenzi. OPPENHEIM (1901, 277) piše, da so jo našli v eocenskih skladih Veneta, kjer je več najdišč. Iz istega območja jo omenja tudi FELIX (1906, 96). TONIOLO (1909, 256) omenja številna najdišča iz Istre in še poroča (1909, 244), da je vrsta registrirana v skladih od spodnjega do zgornjega eocena, predvsem pa je pogostna v lutetijskih plasteh. REMEŠ (1912, 215) omenja vrsto *Serpula (Rotularia) spirulaea* Lam. iz okolice Nove Baške na Krku. VOGL (1912, 89) omenja primerke vrste *Serpula spirulaea* Leym. iz Drvenika na Hrvaškem. Zanimivo in prav neverjetno je, da DAINELLI (1915) iz eocenskih skladov Furlanije ne omenja nobenih najdb vrste *Rotularia spirulaea*, čeprav opisuje kar deset različnih serpulidnih oblik. TOULA (1918, 419) jo omenja iz zgornjeocenskih skladov najdišč

Priabona in Grancona v Italiji. MATOUŠEK (1925/26, 94–95) vrsto *Serpula spirulea* Lam omenja v seznamu najdenih fosilnih ostankov iz Jurandvora na Krku. CUVILLIER (1930, 277) poroča o najdbah primerkov vrste *Serpula spirulaea* Lamarck iz srednjeeocenskih skladov Mokattam v Egiptu. ROGER (1952, 184) jo navaja iz zgornjeeocenskih plasti najdišča Dax v Franciji. PETKOVIĆ (1957, 243) iz zgornjeeocenskih skladov Makedonije tudi omenja vrsto *Serpula spirulaea*. ŠIKIĆ (1963, 331) navaja ostanke vrste *Serpula spirulaea* Lamarck iz eocenskih skladov Istre ter iz Murvenice na otoku Krku. KARAGJULEVA (1964, 143) jo opisuje iz spodnje do zgornjeeocenskih skladov Bolgarije, omenja pa še najdbe s Krima v Ukrajini in Armenije. ZELINSKAJA et al. (1968, 32) jo omenjajo iz srednje in zgornjeeocenskih skladov Ukrajine. KECSKEMÉTI-KÖRMENDY (1980, 46) piše, da so ostanke serpul našli v eocenskih skladih Madžarske. SCHULTZ (1998, 24) vrsto omenja iz bartonijskih skladov iz najdišča Bruderndorf v Avstriji. HAGN & SCHMID (1988, 62) jo predstavljata iz eocenskih lutetijskih skladov severnega helvetika oziroma iz srednjega dela »Adelholzener Schichten« najdišča Kirchberg na Bavarskem. HAGN et al. (1992, 144) predstavljajo primerek anelida, ki je iz lutetijskih skladov oziroma »Obere Adelholzener Schichten« najdišča Höllgraben bei Adelholzen na Bavarskem. Iz spodnjeeocenskih skladov južnega dela Pirenejev v španiji omenja ostanke serpul MARTINIUS (1995, 8, 12).

Najbolj popolno študijo o terciarnih polihetih, podprto z zelo številnimi referencami je napisal SCHMIDT (1955), ki med obsežno vsebino omenja tudi stratigrafsko in geografsko razširjenost vrste *Rotularia spirulaea*. Primerki opisane vrste so bili ugotovljeni v srednje in zgornjeeocenskih skladih Avstrije, v spodnje do zgornjeeocenskih skladih Nemčije, Francije, Italije, v srednjeeocenskih plasteh Istre in v zgornjeeocenskih v najdiščih Baška na Krku, Bribir, Vinodol in Drvenik na Hrvaškem. Našli so jo tudi v srednjeeocenskih skladih Romunije. MALARODA (1990, 219) piše, da je *Rotularia spirulaea* značilna za ves mediteranski eocen, posebej pogostna je v priabonijskih plasteh v okolici Verone. Je tudi lahko razpoznavna celo v prerezih. KLEPAČ (2000, 257) omenja anelide vrste *Serpula spirulaea* Lamarck iz eocenskih skladov otoka Krka. KLEPAČ (2003, 504) navaja, da je ta vrsta zelo pogostna v eocenskih skladih Istre in Hrvaškega primorja, sicer pa je ugotovljena v Italiji, Franciji, švici in na Madžarskem. Na otoku Krku je najdena v številnih najdiščih v horizontu od zgornjega cuisija do spodnjega lutetija. FÖZY & SZENTE (2007, 234) predstavljata več primerkov rodu *Rotularia* iz eocenskih skladov Madžarske.

Prof. Rajko Pavlovec mi je posredoval primerke anelida vrste *Rotularia spirulaea* iz najdišča Gibret pri kraju Montfort v južni Franciji in osem zelo majhnih iregularnih morskih ježkov. Starost plasti iz omenjenega najdišča je srednelutetijska do priabonijska. Posredoval mi je še osem polihetov vrste *Rotularia spirulaea* iz spodnelutetijskih skladov profila Haymana – Cayraz z oznako (18). Omenjeno najdišče je okrog 70 km južno od

Ankare, v pokrajini Anatolija v Turčiji (SCHAUB; 1981, 68).

Ostanki eocenskih polihetov v Sloveniji

STACHE (1859, 318) omenja iz širše okolice Vremščice in Ilirske Bistrice tudi cevaste ostanke rodu *Serpula*. RAMOVŠ (1974, 137) piše tudi o vrsti *Serpula spirulaea* in še navaja, da je vodilna za zgornji eocen. Iz naših krajev je ne omenja. PAVŠIČ (2003, tab. G) predstavlja primerke eocenskih mnogoščetincev iz Slovenije, in sicer cevke iz okolice Strunjana (sl. 1) ter ekvatorialni in prečni presek hišice rodu *Spirorbis* iz območja med zaselkoma Uhanje in Ključ (sl. 2). Gospod Stanislav Bačar iz Ajdovščine, mi je pred nekaj leti prinesel primerke serpul, ki jih je našel na območju med Lokavcem in Brodom, severno od Ajdovščine v Vipavski dolini. Nekateri primerki nedvomno pripadajo vrsti *Rotularia spirulaea* le, da so primerki nekoliko manjši od istrskih. Material še ni zadovoljivo raziskan, prevladujejo planispiralno zavite rotularije, opazili smo tudi primerke s trohospiralno zavito cevjo, ki najverjetneje pripada rodu *Spirorbis*? MIKUŽ & ČVOROVIĆ (2004, 125), ki sta raziskovala makrofavno v okolici Kuteževega in Trpčan omenjata tudi ostanke mnogoščetincev, ki najverjetneje pripadajo družini Serpulidae.

Zaključki

V eocenskih skladih v okolici Gračišča blizu Pazina v Istri so ostanke polihetov vrste *Rotularia spirulaea* razmeroma redki. Večina primerkov je bolj ali manj poškodovanih (tab. 1, sl. 3–8), le redki so bolj ohranjeni (tab. 1, sl. 1–2), celotnih hišic ni. Ostanke rotularij so najdeni večinoma v flišnem konglomeratu z apnenčevimi prodniki, v katerih so številne numulitine, korale, kamena jedra mehkužcev, bodice in korone morskih ježkov, hišice polihetov in drugi ostanke najrazličnejših morskih organizmov. Pri večini primerkov rotularij je osrednji del konveksne strani hišice poškodovan oziroma odlomljen (tab. 1, sl. 1b–8b). Mislimo, da so bili primerki vrste *Rotularia spirulaea* pritrjeni na določeno bolj trdo podlago, od katere so bili kasneje odtrgani, na kar kažejo prav poškodbe hišic v osrednjih konveksnih delih tako, da začetni najstarejši deli cevi manjkajo. Ponavadi je odlomljen tudi najmlajši izravnani del cevi, ki je najbolj dovzeten za poškodbe.

Oblikovanost in površina spiralno zavite hišice je različna, nekateri primerki imajo bolj gladko površino in so bolj nabrekli videza (tab. 1, sl. 1–3), drugi so bolj ploščati in imajo na sredini zavoja dodano plitvo ali globoko spiralno brazdo (tab. 1, sl. 4, 6, 8). Takšna morfološka raznolikost skeletov je v veliki meri značilna za večino pritrjenih organizmov.

Vrsta *Rotularia spirulaea* je značilna za srednje-paleogenske medsebojno povezane sedimentacijske prostore takratnega ostanka Tetide. Primerki omenjene vrste so ugotovljeni v eocenskih skladih, od spodnjega do zgornjega eocena. Najdemo jih v

mediteranskih deželah v Turčiji, Egiptu, Italiji, Franciji, Hrvaški, Sloveniji in zunaj imenovane-ga območja v Avstriji, Nemčiji, švici, na Madžarskem, Romuniji, Bolgariji, Makedoniji, Ukrajini in Armeniji. V največjem številu navedenih držav so primerki vrste *Rotularia spirulaea* najdeni pre-težno v srednjeocenskih – lutetijskih plasteh.

The serpulid worm *Rotularia spirulaea* from Eocene beds near Gračišće in Istria, Croatia

Conclusions

In Eocene beds in the surroundings of Gračišće near Pazin in Istria the remains of Polychaetes of species *Rotularia spirulaea* are relatively rare. Most of the specimens are more or less damaged (pl. 1, fig. 3–8), only a few of them are better preserved (pl. 1, fig. 1–2), although complete tests are absent. Rotularian remains have been found mainly in flysch conglomerate with limestone pebbles in which occur numerous nummulitines, corals, stone cores of molluscs, spines and coronas of sea urchins, tests of Polychaetes and other remains of the most diverse marine organisms. In most specimens of rotularias the central part of convex face of the test is damaged or broken off (pl. 1, fig. 1b–8b). We presume that the individuals of species *Rotularia spirulaea* were fixed on some hard ground from which they became later broken off. This is indicated especially by the damage of tests in their central convex parts where the initial oldest parts of the tube are missing. As a rule is missing also the youngest straight part of tube that is the most sensitive to damage.

Morphology and surface of the spirally coiled tube of tests vary, in some specimens the surface is smoother and the shape of tests somewhat swelled up, (pl. 1, fig. 1–3), others are more flat with an added shallow or deeper spiral furrow in center of the whorl (pl. 1, fig. 4, 6, 8). Such morphologic diversity of skeletons is to a high degree typical for the majority of fixed organisms.

The species *Rotularia spirulaea* is characteristic for the Middle Paleogene interconnected sedimentation areas of remainder of the Tethys of that time. Specimens of the mentioned species have been recorded in the Eocene beds from the Lower to Upper Eocene. They are found in the Mediterranean countries in Turkey, Egypt, Italy, France, Croatia, Slovenia, and beyond the mentioned region in Austria, Germany, Switzerland, Hungary, Romania, Bulgaria, Macedonia, Ukraine and in Armenia. In most of the listed countries the individuals of species *Rotularia spirulaea* have been found prevalingly in the Middle Eocene – Lutetian beds.

Zahvale

Za prevode v angleščino se zahvaljujemo zaslužnemu profesorju dr. Simonu Pirceu, za fotografsko in ostalo tehniško dokumentacijo pa sodelavcu Marijanu Grmu.

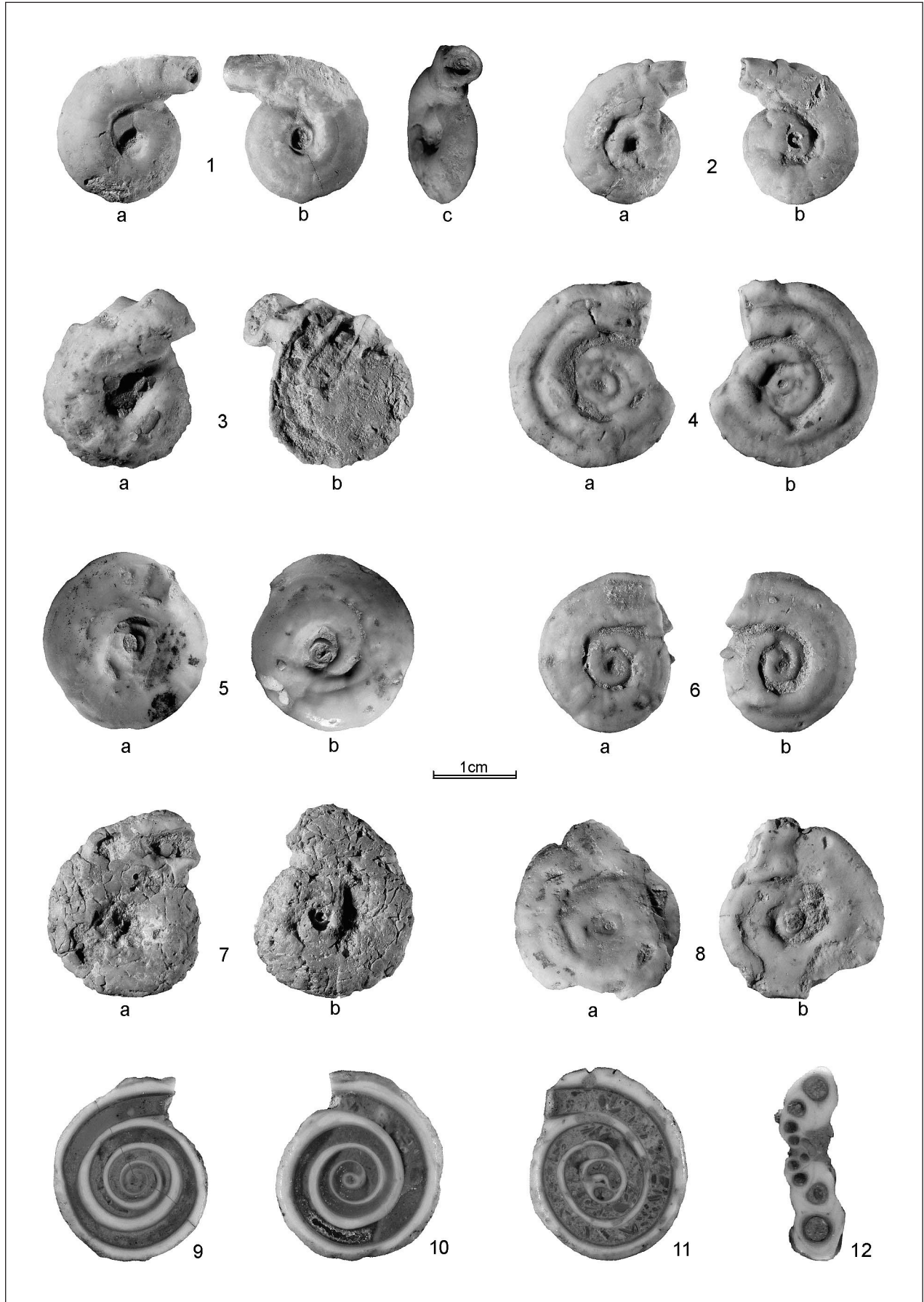
Literatura – References

- ANDERSON, T. D. (Editor) 1998: Invertebrate Zoology. Oxford University Press, (Melbourne, Oxford, Auckland, New York): XII+1–467.
- D'ARCHIAC, A. 1848: Description des fossiles du groupe nummulitique recueillis par M. S. P. Pratt et M. J. Delbos aux environs de Bayonne et de Dax. Mém. Soc. Géol., 2^e sér., Tome 3, Mém. (Paris) 6: 397–456, Pl. 8–13.
- CUVILLIER, J. 1930: Révision du Nummulitique Égyptien. Mém. Inst. Égypte (Cairo) 16: 1–371, Pl. 1–25.
- DAINELLI, G. 1915: L'Eocene friulano. Monografia geologica e paleontologica. Editrici le »Memorie geografiche« (Firenze): V+1–721, Tav. 1–56.
- FELIX, J. 1906: Die Leitfossilien aus dem Pflanzen und Tierreich in systematische anordnung. Verlag von Veit & Comp. (Leipzig): X+1–240.
- FÓZYS, I. & SZENTE, I. 2007: A Kárpát – medence ősmaradványai. Gondolat Kiadó (Budapest): 1–456.
- HAGN, H., DARGA, R. & SCHMID, R. 1992: Erdgeschichte und Umwelt im Raum Siegsdorf. Fossilien als Zeugen der geologischen Vergangenheit. Gemeinde Siegsdorf (München): 1–241, (Taf. 1–80).
- HAGN, H., PAVLOVEC, R. & PAVŠIČ, J. 1979: Excursion G, Gračišće near Pićan, Istria – Eocene. 16th European Micropaleontological Colloquium (Ljubljana): G185–G189.
- HAGN, H. & SCHMID, R. 1988: Fossilien von Neubeuern. Neubeuern am Inn. Bilder aus der geologischen Vergangenheit. Institut für Paläontologie und historische Geologie (München): 1–109, (Taf. 1–30).
- KARAGJULEVA, JU. D. 1964: Iskopaemaja fauna Bolgarii, VI a, Paleogen Molljuski. In: V. Cankov (edit.), Fosilite na B'lgarija, VI a, Paleogen. Izdanie na B'lgarskata Akademija na naukite (Sofija): 1–279, Tabl. 1–57.
- KECSKEMÉTI-KÖRMENDY, A. 1980: Az Északkeleti-Bakony eocén medence fáciesének puhatestű faunája. (La faune des Mollusques du facies de bassin éocène du Bakony nord-oriental). Annales Inst. Geol. Publ. Hungarici (Budapest) 63/3: 1–227, (Tábl. 1–23).
- KLEPAČ, K. 2000: Eocenska makrofauna otoka Krka. In: Vlahović, I. & R. Biondić (urednici), 2. Hrvatski geološki kongres Cavtat-Dubrovnik. Institut za geološka istraživanja, Zbornik radova (Zagreb): 255–260.
- KLEPAČ, K. 2003: Mnogočetinaši – Polychaeta. In: K. Klepač (edit.), Fosilna fauna otoka Krka (Fossil fauna of the island Krk). Prirodoslovni muzej Rijeka (Rijeka): 503–505. (Prirodoslovna biblioteka 5).
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1964: Paleozoologija. »školska knjiga« (Zagreb): XI+1–451.
- MALARODA, R. 1990: Paleontologia. Nuova edizione, rifatta ed ampliata, delle Lezioni di Paleontologia di Giorgio Dal Piaz. Vol. secondo, Paleontologia sistematica, Parte I: Invertebrati. Cedam – Casa Editrice dott. Antonio Milani (Padova): 1–635.

TABLA 1 – PLATE 1

- 1 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 13 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 13 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran istega primerka (the same specimen, lower view)
c. isti primerek s strani (the same specimen, lateral view)
- 2 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 12,5 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 12,5 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 3 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 15 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 15 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 4 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 17 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 17 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 5 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 16,5 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 16,5 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 6 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 14,5 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 14,5 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 7 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 16,8 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 16,8 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 8 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, premer 16,1 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, diameter 16,1 mm
a. zgornja stran (upper view)
b. spodnja stran (lower view)
- 9 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, ekvatorijalni prerez, premer 16 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, equatorial section, diameter 16 mm
- 10 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, ekvatorijalni prerez, premer 17,5 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, equatorial section, diameter 17,5 mm
- 11 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, ekvatorijalni prerez, premer 18 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, equatorial section, diameter 18 mm
- 12 *Rotularia spirulaea* (Lamarck, 1818); Gračišće pri Pazinu v Istri, prečni prerez, premer 18 mm
Rotularia spirulaea (Lamarck, 1818); Gračišće at Pazin in Istria, transverse section, diameter 18 mm

TABLA 1 – PLATE 1



- MANEK, F. 1905a: Die Fundorte von Eocänfossilien bei Rozzo, unweit Pingvente (Istrien). Verh. Geol. R. A. (Wien): 218–221.
- MANEK, F. 1905b: Neue Fundorte von Eocänfossilien bei Rozzo (Istrien). Verh. Geol. R. A. (Wien): 351–352.
- MARTINIUS, A. W. 1995: Macrofauna associations and formation of shell concentrations in the Early Eocene Roda Formation (southern Pyrenees, Spain). *Nation. Naturhist. Mus.*, 175, *Scripta Geologica* (Leiden) 108: 1–39, (Pl. 1–5).
- MATOUŠEK, O. 1925–1926: Príspevek ke stratigrafii kenozoika na kvarnerských ostrovech. *Glasnik hrvat. prirodosl. društva*, 37/38, Spomenica u počast gospodinu profesoru D^{ru} Dragutinu Grojanović-Krambergeru (Zagreb): 88–100.
- MIKUŽ, V. & B. ČVOROVIĆ, B. 2004: Mehkužci in ostali makrofosili iz eocenskih flišnih plasti v okolici Kuteževega in Trpčan. (The molluscs and other macrofossils from Eocene flysch beds in neighbourhood of Kuteževo and Trpčane, SW-Slovenia). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 45 (3): 91–143, (Tab. 1–6).
- MOOSLEITNER, G. 1996: Fossilien aus dem Mittel-Eozän von Istrien. *Fossilien* (Korb): 1996 (2): 105–110, (Tafel Paz 1–6).
- MÜLLER, A. H. 1980: Lehrbuch der Paläozoologie. Band II, Invertebraten, Teil 1, Protozoa – Mollusca 1. VEB Gustav Fischer Verlag (Jena): 1–628.
- OPPENHEIM, P. 1901: Die Priabonasschichten und ihre Fauna im Zusammenhange mit gleichalterigen und analogen Ablagerungen. *Palaeontographica* (Stuttgart) 47: 1–348, Taf. 1–21.
- PAVŠIČ, J. 2003: Paleontologija. I. del, Paleobotanika in nevretenčarji. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo (Ljubljana): 1–451, Tab. A–K.
- PETKOVIĆ, K. V. 1949: Kratak kurs istoriske geologije. Naučna knjiga (Beograd): 1–212.
- PETKOVIĆ, K. V. 1957: Istoriska geologija (skračen kurs). Izdavačko preduzeće »Veselin Masleša« (Sarajevo): 1–314.
- POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. 1973: Tumač za list Rovinj. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000. Savezni geološki zavod Beograd (Beograd): 1–51.
- RAMOVŠ, A. 1974: Paleontologija. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo (Ljubljana): XIII+1–304, ilustr. 1–155.
- REMEŠ, M. 1912: Ein Beitrag zur Kenntnis des Eocäns bei Besca nuova auf der Insel Veglia. Verh. Geol. R. A. (Wien): 212–215.
- ROGER, J. 1952: Classe des Chaetopodes (Chaetopoda Blainville 1815). – In: J. Piveteau (editor), *Traité de Paleontologie*, Tome II. Brachiopodes, Chétognathes, Annélides, Géphyriens, Mollusques. Masson et C^{ie} (Paris): 167–202.
- RUPERT, E. E. & BARNES, R. D. 1994: *Invertebrate Zoology*. Sixth Edition. Saunders College Publishing (Fort Worth, Philadelphia, San Diego, New York, Orlando, San Antonio, Toronto, Montreal, London, Sydney, Tokyo): XII+1–1056, G1–G16, I1–I30.
- SACCO, F. 1924: L'Istria. Cenni geologici generali. *Memorie descrittive della Carta geologica d'Italia* (Mondovi) 19: 1–105.
- SCHAFHÄUTL, K., 1863: Süd-Bayerns Lethaea Geognostica. Der Kressenberg und die südlich von ihm gelegenen Hochalpen geognostisch betrachtet in ihren Petrefacten. (Leipzig): XVII+1–487, Taf. 1–86.
- SCHAUB, H. 1981: Nummulites et Assilines de la Téthys paléogène. Taxinomie, phylogénese et biostratigraphie. *Schweiz. Paläont. Abh., Mém. suis. Paléont. (Bâle)* 104: 1–238, Tab. 1–18.
- SCHLOTHEIM, E. F. B. 1820: Die Petrefactenkunde auf ihrem jetzigen Standpunkte durch die Beschreibung seiner Sammlung versteinerter und fossiler Überreste des Their- und Pflanzenreichs der Vorwelt erläutert. Becker'sche Buchhandlung (Gotha): XII+1–437, Tab. 15–29.
- SCHMIDT, W. J. 1955: Die Tertiären Würmer Österreichs. *Denkschriften Akad. Wiss. (Wien)* 109/7: 1–121, Taf. 1–8.
- SCHUBERT, R. J. 1905: Zur Stratigraphie des istrisch-norddalmatinischen Mitteleocäns. *Jb. Geol. R. A. (Wien)* 55: 153–188.
- SCHULTZ, O. 1998: Tertiärfossilien Österreichs. Wirbellose, niedere Wirbeltiere und marine Säugetiere. Goldschneck-Verlag (Korb): 1–159, (Taf. 1–65).
- STACHE, G. 1859: Die Eocengebiete in Inner-Krain und Istrien. *Jb. Geol. R. A. (Wien)* 10: 272–331, Taf. 8.
- STACHE, G. 1864: Die Eocengebiete in Inner-Krain und Istrien. *Jb. Geol. R. A. (Wien)* 14: 11–115, Taf. 1.
- ŠIKIĆ, D. 1963: Eine Vergleichende Darstellung der Entwicklung des jüngeren klastischen Paläogens in Istrien, dem Kroatischen Küstenland und Dalmatien. *Geol. vjesnik* (1961) (Zagreb) 15/2: 329–336.
- TARAMELLI, T. 1869: Sopra alcuni Echinidi cretacei e terziarii del Friuli. *Atti R. Ist. Veneto Sci., Lett. ed Arti, Ser. III* (Venezia) 14: 1–39, Tav. 1–2.
- TARAMELLI, T. 1874: Di alcuni Echinidi eocenici dell'Istria. *Atti Adun. Istit. Veneto, Sci., Lett. ed Arti, Ser. IV* (Venezia) 3: 1–28, Tav. 3–4.
- TONIOLO, F. 1909: L'Eocene dei dintorni di Rozzo in Istria e la sua fauna. *Palaeontographia Italica* (Bologna) 15: 237–295, Tav. 24–26 (1–3).
- TOULA, F. 1918: Lehrbuch der Geologie. Ein Leitfaden für Studierende. Alfred Hölder (Wien und Leipzig): XI+1–556, Taf. 1–30.
- VOGL, V. 1912: Die Fauna der eozänen Mergel im Vinodol in Kroatien. *Mitt. Jahrb. ungar. Geol. R. A. (Budapest)* 20/2: 79–114, Taf. 4.
- WALKER, C. & WARD, D. 1995: *Fossils. The visual guide to over 500 fossil genera from around the world*. A Dorling Kindersley Book (London): 1–320.
- ZELINSKAJA, V. A., KULIČENKO, V. G., MAKARENKO, D. E. & E. A. SOROČAN, 1968: Paleontologičeskij spravočnik. Tom 2, Brjuhonomie i lopatonogie molljuski paleogena i miocena Ukraini. Izdatelstvo »Naukova dumka« (Kiev): 1–280, Tabl. 1–54.
- ZITTEL, K. A. 1895: Grundzüge der Palaeontologie (Palaeozoologie). Druck und Verlag von R. Oldenbourg (München und Leipzig): VIII+1–971.

Isotopic composition of precipitation in Ljubljana (Slovenia)

Izotopska sestava padavin v Ljubljani

Polona VREČA¹, Ines KRAJCAR BRONIČ², Albrecht LEIS³ & Mihael BRENČIČ⁴

¹ Department of Environmental Sciences, Jožef Stefan Institute, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenia

² Rudjer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia

³ Institute of Water Resources Management, JOANNEUM RESEARCH, Elisabethstrasse 16/II, 8010 Graz, Austria

⁴ University of Ljubljana, NTF, Department of Geology, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenia

Key words: precipitation, isotopes, oxygen, hydrogen, tritium, Slovenia

Ključne besede: padavine, izotopi, kisik, vodik, tricij, Slovenija

Abstract

The stable isotopic composition of hydrogen and oxygen ($\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$) and tritium activity (^3H) are monitored in monthly precipitation at Ljubljana since 1981. Here we present complete set of numerical data and the statistical analysis for period 1981–2006. Seasonal variations of $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ are observed and are typical for continental stations of the Northern Hemisphere. The weighted mean $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values are -59‰ and -8.6‰ , respectively. The orthogonal Local Meteoric Water Line is $\delta^2\text{H} = (8.06 \pm 0.08)\delta^{18}\text{O} + (9.84 \pm 0.71)$, and the temperature coefficient of $\delta^{18}\text{O}$ is $0.29\text{‰}/^\circ\text{C}$. Deuterium excess weighted mean value is 9.5‰ and indicates the prevailing influence of the Atlantic air masses. Tritium activity in monthly precipitation shows also seasonal variations which are superposed to the decreasing trend of mean annual activity.

Izvešček

Spremljanje izotopske sestave kisika in vodika ($\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$) ter aktivnosti tricija (^3H) v mesečnih vzorcih padavin poteka v Ljubljani od leta 1981. V prispevku predstavljamo celoten niz pridobljenih podatkov in osnovne statistične obdelave za obdobje 1981–2006. Opažene sezonske spremembe $\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ so značilne za kontinentalne postaje severne poloble. Srednje tehtane $\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ vrednosti znašajo -59‰ oziroma -8.6‰ . Ortogonalno lokalno padavinsko premico (LMWL) lahko zapišemo kot $\delta^2\text{H} = (8.06 \pm 0.08)\delta^{18}\text{O} + (9.84 \pm 0.71)$, temperaturni koeficient za $\delta^{18}\text{O}$ pa znaša $0.29\text{‰}/^\circ\text{C}$. Srednja tehtana vrednost devterijevega presežka (deuterium excess) znaša 9.5‰ in nakazuje prevladujoči vpliv zračnih mas iz Atlantika. Tudi podatki o aktivnosti tricija v mesečnih padavinah kažejo sezonske spremembe, ki nakazujejo hkrati padajoči trend srednje letne aktivnosti.

Introduction

The stable isotope ratios of oxygen ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) and hydrogen ($^2\text{H}/^1\text{H}$) and the radioactive isotope tritium (^3H) offer a broad range of possibilities for studying processes within the water cycle and thus became an important tool not only in isotope hydrology, routinely applied in studies of the origin and dynamics of surface and groundwaters, but also in studies related to atmospheric circulation and paleoclimatic investigations (ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000). Understanding the formation of precipitation and its isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and ^3H activity), as well as a knowledge of temporal and spatial variations in the amount and mode of precipitation and in its isotopic composition, are important for basin-wide balance studies (e.g. GAT, 1996).

Most European countries have established networks of stations where isotopic composition of

precipitation is regularly determined on monthly basis. In Slovenia, the precipitation monitoring programme is performed in the framework of the regular activities of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. However, monitoring of isotopic composition of precipitation is not included into the regular national programme but has been performed at Ljubljana by the Jožef Stefan Institute since 1981. The data obtained are part of the worldwide monitoring of isotopes in precipitation and are included into Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) organised jointly by the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the World Meteorological Organization (WMO) (IAEA 1986, 1990, 1994; PEZDIČ, 2003). The GNIP database contains data on isotopic composition of hydrogen and oxygen, and relevant meteorological data on a monthly basis, and is thus extremely valuable for modelling climatic changes, as well as in hydrological and hy-

drogeological investigations (IAEA/WMO, 2008). However, GNIP data are collected and published slowly. Therefore, the main purposes of this paper are to 1) report on history of monitoring of isotopic composition of precipitation at Ljubljana, 2) to present the long-term monthly record, and 3) to present basic statistical evaluation of available data for period 1981–2006.

Basic definitions

There are three naturally occurring isotopes of hydrogen (^1H – protium, ^2H – deuterium and ^3H – tritium) and three isotopes of oxygen (^{16}O , ^{17}O and ^{18}O) that are also constituents of the water molecule. Among water isotopes only ^3H is radioactive and decays spontaneously over time while the other water isotopes are stable.

Stable isotopes of hydrogen and oxygen

Stable isotopic compositions of hydrogen and oxygen are normally reported as δ values in units of parts per thousand (‰) relative to a standard V-SMOW (Vienna-SMOW). δ values are calculated by:

$$\delta^{\text{Y}Z} = (R_x / R_s - 1) \cdot 1000 \quad (1)$$

where $^{\text{Y}Z}$ is ^{18}O or ^2H , R denotes the ratio of the heavy (less abundant) to light (more abundant) isotope (e.g., $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), and R_x and R_s are the ratios in the sample (x) and standard (s), respectively. A positive δ value means that the isotopic ratio R of the sample is higher than that of the standard, and the sample is “heavier” or enriched relative to the standard; a negative δ value means that the isotopic ratio of the sample is lower than that of the standard; the sample is “lighter” or depleted.

The observed variations of stable isotopic composition of hydrogen and oxygen in natural waters are closely related to isotopic fractionation occurring during the evaporation and condensation of water, when the heavy water molecules preferentially remain in or pass into the liquid (solid) phase, respectively (ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000). When water evaporates from the surface of the ocean the water vapour is enriched in ^1H and ^{16}O because $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ has a higher vapour pressure than a water molecule containing deuterium or ^{18}O . Water vapour living the surface of the ocean cools as it rises and precipitation forms when the dew point is reached. Consequently, during removal of precipitation from a moist air mass, the residual vapour is continuously depleted in the heavy isotopes, because the water leaving the system is enriched in deuterium and ^{18}O (CRAIG & GORDON, 1965, SCHOTTERER et al., 1996). The theoretical approach to explain isotope variations in meteoric waters evolved from the models that are based on Rayleigh condensation, with immediate removal of precipitation or with a part of the condensate

being kept in the cloud during the precipitation process (DANSGAARD, 1964; ROZANSKI et al., 1993).

In all processes concerning evaporation and condensation, hydrogen isotopes are fractionated in proportion to oxygen isotopes. Therefore, hydrogen and oxygen isotope distributions are correlated in meteoric waters. CRAIG (1961) first defined the relation generally known as the “Global Meteoric Water Line” (GMWL):

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (2)$$

Craig’s GMWL is only global in application, and is actually an average of many local or regional meteoric water lines that differ from the global line due to varying climatic and geographic parameters. A key observation made by Craig was that isotopically depleted waters are associated with cold regions and enriched waters are found in warm regions. This partitioning was soon recognized as a tool for characterizing groundwater recharge, and is now the basis of groundwater provenance studies (CLARK & FRITZ, 1997).

Craig’s GMWL was later refined from a worldwide monitoring of the stable isotopic composition of precipitation (ROZANSKI et al., 1993, GOURCY et al., 2005). The regression line for the long-term averages (1961–2000) of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ in precipitation from nearly 410 stations in the IAEA/WMO network added some precision to Craig’s GMWL (GOURCY et al., 2005):

$$\delta^2\text{H} = (8.07 \pm 0.02) \delta^{18}\text{O} + (9.9 \pm 0.01) \quad (3)$$

Furthermore, DANSGAARD (1964) proposed the use of the value, d – deuterium excess, to characterize the deviation of isotopic composition of precipitation from GMWL. The value d is defined for a slope of 8, and is calculated for any precipitation sample as:

$$d = \delta^2\text{H} - 8 \delta^{18}\text{O} \quad (4)$$

Neither the numerical coefficient, 8 (Eq. 2), nor the d value (Eq. 4), are really constant, but depend on local climate.

The first detailed evaluation of the equilibrium and nonequilibrium factors that determine the isotopic composition of precipitation was published by DANSGAARD (1964). He demonstrated that the observed geographic distribution in isotopic composition of precipitation is related to many environmental parameters, such as latitude (latitude effect), altitude (altitude effect), distance from the coast (continental effect), amount of precipitation (amount effect), and surface air temperature.

The two main factors that control the isotopic character of precipitation at a given location are the temperature of condensation of the precipitation and the degree of rainout of the air mass (the ratio of water vapour that has already condensed into precipitation to the initial amount of water vapour in the air mass). Most water vapour in the atmosphere is derived from evaporation of low-latitude oceans. Precipitation derived from this

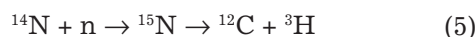
vapour is always enriched in deuterium and ^{18}O relative to the vapour, with the fractionation between the rain and vapour as a function of condensation temperature. Therefore, progressive rain out as clouds move across the continent causes successive rainstorms to become increasingly lighter. For example, non-equilibrium evaporation from the ocean with a $\delta^{18}\text{O} = 0$ ‰ produces vapour of -12 ‰. Later equilibrium condensation of precipitation from this vapour results in water with a $\delta^{18}\text{O} = -3$ ‰ and residual vapour with a $\delta^{18}\text{O} = -21$ ‰ (INGRAHAM, 1998).

The correlation between local surface air temperature and the isotopic composition of precipitation is of special interest mainly because of the potential importance of stable isotopes as paleoclimatic indicators. However, this correlation is typical for mid and high latitudes where seasonally changing temperatures lead to variations in the total precipitable water, due to the varying degrees of rain out from air masses as they are transported polewards. Contrary, low latitudes show different response. Isotopic content is modulated by the seasonal variations in the amount of precipitation (SCHOTTERER et al., 1996).

At a given location, the seasonal variations in $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values of precipitation and the weighted average annual $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values of precipitation remain fairly constant from year to year. This happens because the annual range and sequence of climatic conditions (temperatures, vapour source, direction of air mass movement, etc.) do not change significantly from year to year. In general, precipitation in the summer is isotopically heavier than precipitation in the winter. This change in average isotopic composition is principally caused by seasonal temperature differences but is also affected by seasonal changes in moisture sources and storm tracks. In the case of snow, various post-depositional processes, such as melting and subsequent infiltration of surface layers and evaporation, may alter the isotopic content of the snow pack, often leading to melt water δ values that become progressively enriched (INGRAHAM, 1998).

Tritium

Tritium is the radioactive isotope of hydrogen, ^3H , which is naturally produced in the upper atmospheric strata by the reaction of cosmic radiation (thermal neutrons) with nitrogen atoms:



Tritium combines/reacts in the atmosphere with oxygen to form water and may precipitate on earth as rain and thus reach the groundwater. Tritium is usually symbolised as T. Its concentration in water is commonly expressed in Tritium Units (TU): 1 TU corresponds to 1 atom ^3H per 10^{18} atoms ^1H . Tritium may also be reported in terms of activity concentration in BqL^{-1} , which is related to the commonly used TU as $1 \text{ TU} = 0.118 \text{ BqL}^{-1}$ (INGRAHAM, 1998; GAT et al., 2001).

Tritium decays by β -decay with a half-life of 12.32 years (LUCAS & UNTERWEGER, 2000). The atmospheric concentration of tritium prior to 1953 was about 3–5 TU. Due to nuclear weapon tests the concentrations in precipitation up to 1963 reached several thousand TU (INGRAHAM, 1998). Part of the tritium was flushed out rapidly from the troposphere, but most reached the stratosphere where its residence time is of the order of years. Since the early 1960s, the concentration of tritium in precipitation and meteoric waters has significantly dropped. This reduction in concentration is due in part to radioactive decay; however, a large factor is that the tritium is being lost to the oceans that are naturally tritium-free due to the mass of the oceans and long residence time of water in the oceans (INGRAHAM, 1998; GAT et al., 2001).

The seasonality of the stratosphere-to-troposphere transport results in the marked seasonal cycle of the tritium content in precipitation, opposite in phase between the Northern and Southern Hemisphere (GAT et al., 2001). Maximal concentrations are observed in early summer, and the minimal winter concentrations already approach the pre-bomb levels.

Basic climatic characteristics

The characteristic geographic diversity influences the climate in Slovenia considerably (PUČNIK, 1980). Consequently, there is a mixture of (1) a continental climate that influences the major part of Slovenia, (2) an Alpine climate that influences the NW part of Slovenia, and (3) along the N Adriatic coast the sub-Mediterranean climate prevails. Furthermore, there are four major air masses influencing the weather in Slovenia: (1) maritime polar air masses, which originate in the Northern Atlantic and North Sea; (2) maritime tropical air masses, which originate predominantly in the Azores; (3) continental tropical air masses, originating from northern Africa and Asia Minor; (4) continental polar air masses, which originate in Scandinavia, Finland, Russia, and the Pannonian Plain. Both maritime air masses are generally moist, containing considerable amounts of water vapour, while continental air masses are usually drier. Ljubljana is located in central Slovenia and is consequently under the influence of different climate regimes described above.

History of sampling

Monitoring of isotopes in precipitation started in Ljubljana in 1981 (PEZDIČ, 1999). Samples were collected at meteorological station Ljubljana – Bežigrad at former Hydrometeorological Survey of Slovenia (today Environmental Agency of the Republic of Slovenia; $46^{\circ}03'\text{N}$, $14^{\circ}31'\text{E}$; 299 m a.s.l.). In 1993 collection of precipitation was moved to the Jožef Stefan Institute ($46^{\circ}03'\text{N}$, $14^{\circ}29'\text{E}$; 292 m a.s.l.). Finally, the station was moved to the Reactor Centre of the Jožef Stefan Institute ($46^{\circ}06'\text{N}$,

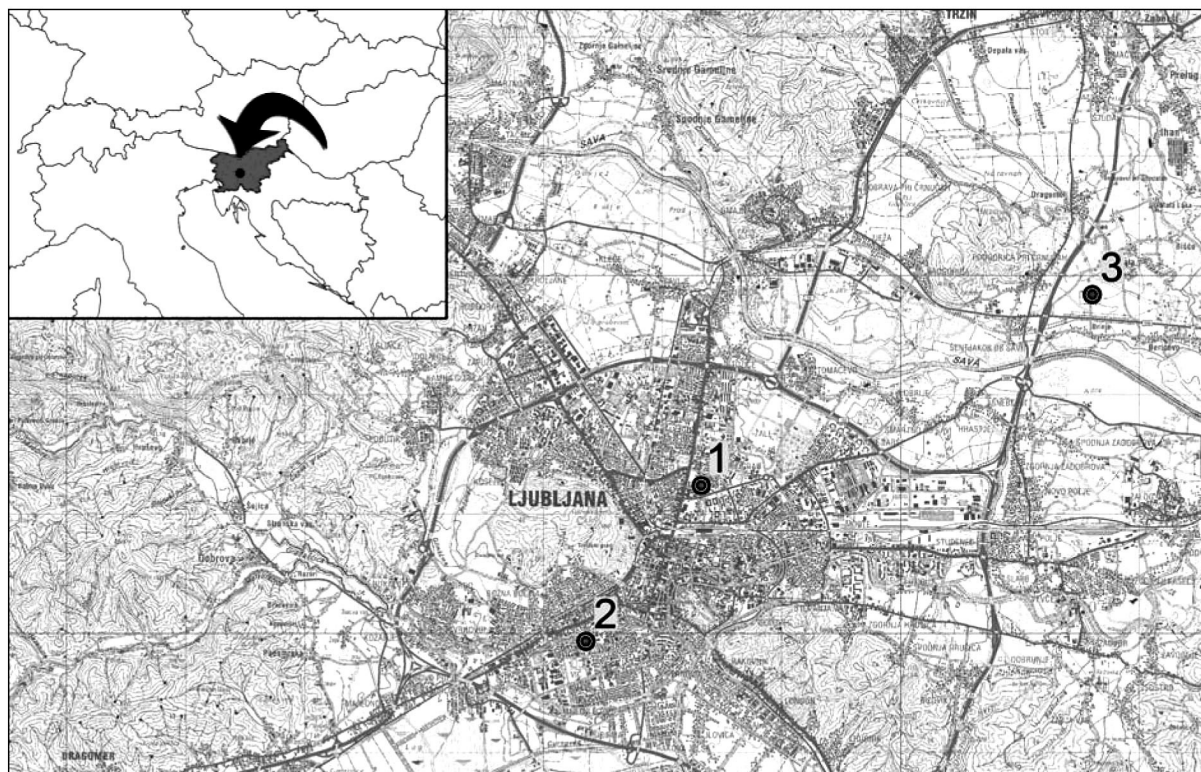


Figure 1. Location map. Stations: 1 – Ljubljana – Bežigrad, 2 – Jožef Stefan Institute, 3 – Reactor Centre of the Jožef Stefan Institute.

14°36'E; 282 m a.s.l.) in the vicinity of Ljubljana in September 2000. Location of sampling stations is presented in Figure 1. Meteorological data (precipitation amount, temperature and vapour pressure) are obtained from Ljubljana – Bežigrad meteorological station (46°03'N, 14°31'E; 299 m a.s.l.). Precipitation amount is recorded also at the Reactor Centre since October 2002. Data have been regularly published until 1994 in IAEA Technical Reports Series (1986-1994), and are now available on internet (<http://nds121.iaea.org/wiser/>). Some previous analyses of isotopic composition of precipitation in Ljubljana have been published by KRAJCAR BRONIĆ et al. (1998), PEZDIČ (1999, 2003), VREČA et al. (2005, 2006, 2007), and OGRINC et al. (2008).

Isotope analyses

The stable isotopic composition of water samples was measured on a Varian MAT 250 mass spectrometer at the Jožef Stefan Institute till the end of 2003. The oxygen isotopic composition ($\delta^{18}\text{O}$) was measured by means of the water- CO_2 equilibration technique (EPSTEIN & MAYEDA, 1953). The isotopic composition of hydrogen ($\delta^2\text{H}$) was determined by means of the H_2 generated by reduction of water over hot zinc. In the beginning a dynamic method was used and after 1988 a static method was applied (PEZDIČ, 1999). Latter, in 1998, the reduction of water over hot chromium as proposed by GEHRE et al. (1996) was applied. Since 2004 stable isotopic composition of water samples is determined at Joanneum Research. The oxygen isotopic composition is determined on a dual inlet Finnigan DELTA^{plus} by means of the fully automated equi-

libration technique and the isotopic composition of hydrogen is determined on a continuous flow Finnigan DELTA^{plus} XP mass spectrometer with an HEKATEch high-temperature oven by reduction of water over hot chromium (MORRISON et al., 2001). All measurements were carried out against laboratory standards that were periodically calibrated against international standards recommended by the IAEA. Measurement precision was better than $\pm 0.1\%$ for $\delta^{18}\text{O}$ and $\pm 1\%$ for $\delta^2\text{H}$.

Tritium activity (A) in monthly samples has been determined at the Rudjer Bošković Institute in Zagreb by the gas proportional counting technique. Methane obtained in the reaction of water with Al_4C_3 at 150°C has been used as the counting gas (HORVATINČIĆ, 1980). Gas quality control has been performed by simultaneous monitoring of the count rate above the tritium channel, i.e., above 20 keV (KRAJCAR BRONIĆ et al, 1986). Results are expressed in Tritium Units (TU), where 1 TU = 0.118 Bq/L, and the limit of detection is 1.5 TU. Tritium in some samples (second half of 2003) was determined at the Isotope Hydrology Section Laboratory at the IAEA by the liquid scintillation counting technique.

Data reduction

Basic descriptive statistics, i.e. mean, minimum value and maximum value, were calculated to describe variation of the data. Deuterium excess (d) was also determined. Furthermore, mean $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and d values weighted by the amount of precipitation were calculated from the monthly data as follows:

$$X = \frac{\sum_i P_i X_i}{\sum_i P_i} \quad (6)$$

where X denotes the $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ or d , P the precipitation amount and i the individual monthly precipitation sample. The summations are over all collected samples per year and per month over the period. The minimum required number of data

was eight monthly measured samples per year and more than 70 % of total precipitation collected per year.

The two methods of linear correlation between $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ usually applied in stable isotope studies have been calculated: the least squares fit (LSF) and the orthogonal regression, known as the reduced major axis (RMA) line (IAEA, 2002). The lines are defined as local meteoric water lines – LMWL.

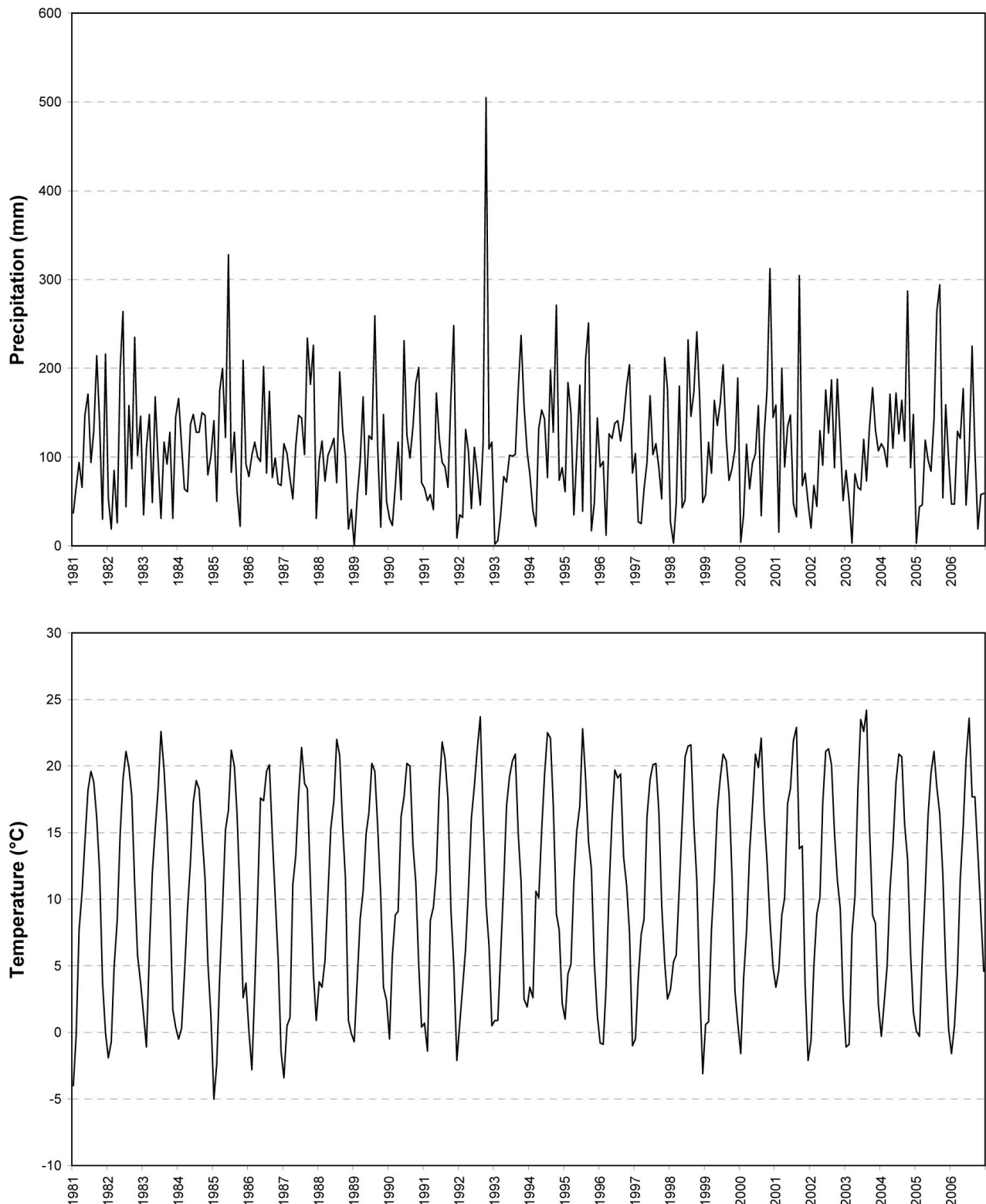


Figure 2. Monthly precipitation amount and mean monthly temperature at station Ljubljana - Bežigrad for period 1981–2006.

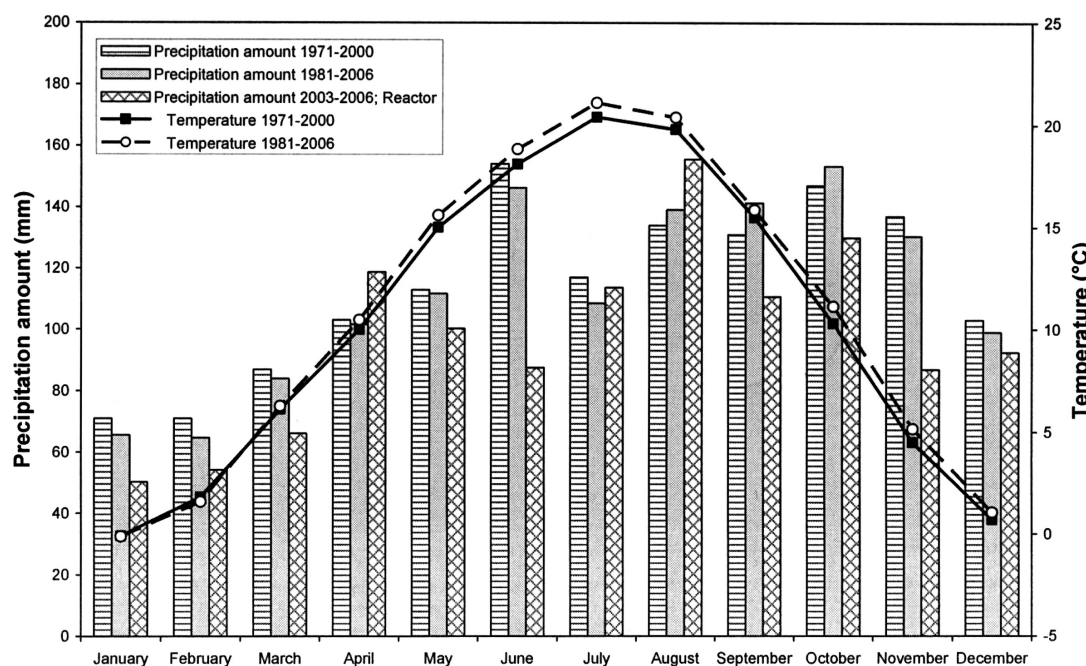


Figure 3. Mean monthly precipitation amount and mean monthly temperature at station Ljubljana - Bežigrad for periods 1971-2000 and 1981-2006. Mean monthly precipitation amount at sampling station Reactor Centre for period 2003-2006 is shown for comparison.

Results and discussion

Precipitation amount and temperature data for Ljubljana - Bežigrad station for the period 1981-2006 are presented graphically in Figure 2. Long-term climatic data show typical continental climate distribution with higher precipitation amounts in summer months with a maximum usually in June and minimum during winter, usually in January. The only month without precipitation in the data set was January 1989. The maximum monthly amount in the data set was recorded in October 1992 (505 mm). The mean precipitation amount for Ljubljana - Bežigrad station in the period 1971-2000 was 1368 mm and during the isotope monitoring period 1981-2006 was 1346 mm. Figure 3 shows mean monthly precipitation amount and temperatures for the period 1981-2006 compared with the 30-yr-long meteorological period 1971-2000. In addition, mean monthly precipitation amount recorded in the 2003-2006 period at the Reactor Centre is also presented in Figure 3. The observed annual pattern shows generally lower precipitation amount with mean value of 1126 mm at the Reactor Centre then at meteorological station at Ljubljana - Bežigrad.

The long-term temperature maximum is observed in July and the minima in January (Figure 3). During the observation period the maximum monthly temperature was recorded in August 2003 (24.2 °C) and the minimum in January 1985 (-5.0 °C) (Figure 2). The mean temperature for Ljubljana - Bežigrad station in the period 1971-2000 was 10.2 °C and during the isotope monitoring period 1981-2006 the mean temperature was 10.6 °C.

All results of monthly isotopic composition of precipitation obtained from May 1981 to December 2006 are summarized in Table 1 and shown in Figures 4 and 5. Distinctive seasonal variations of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ characteristic for continental stations are observed (ROZANSKI et al., 1993). The minimum $\delta^{18}\text{O}$ value was observed in January 1992

(-19.4 ‰) and the maximum in June 2000 (-2.1 ‰). Variations in $\delta^2\text{H}$ follow the $\delta^{18}\text{O}$ variations. The minimum $\delta^2\text{H}$ value was also observed in January 1992 (-148 ‰) while the maximum was recorded in May 1990 (-18 ‰). The mean calculated $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values for observed period are -8.7 ‰ and -60 ‰ ($n = 290$). Furthermore, deuterium excess variations are presented in Figure 4. The lowest d value for individual month was observed in December 1997 (-20 ‰) and the highest in November 2003 (19 ‰). The mean d value is 9.4 ‰ but most data vary between 5 and 15 ‰. The lower d values probably indicate secondary evaporation processes (e.g. evaporation of falling raindrops in dry atmosphere) (ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000; PENG et al., 2004). Higher values are characteristic of the autumn rainy period and can be attributed to the influence of Mediterranean cyclogenesis that often prevails in the south-western Slovenia during October-December (VREČA et al., 2007) and also in Ljubljana. Values around 10 ‰ can be attributed to air masses from the Atlantic (GAT & DANSGAARD, 1972; ROZANSKI et al., 1993).

The least squares fit (LSF) regression equation between the isotopic values of individual monthly samples representing $\text{LMWL}_{(\text{LSF})}$ for Ljubljana is:

$$\delta^2\text{H} = (7.95 \pm 0.08)\delta^{18}\text{O} + (8.90 \pm 0.71); \quad (7)$$

$$r = 0.99, n = 290$$

The orthogonal (RMA) regression equation between the isotopic values of individual monthly samples representing $\text{LMWL}_{(\text{RMA})}$ for Ljubljana is:

$$\delta^2\text{H} = (8.06 \pm 0.08)\delta^{18}\text{O} + (9.84 \pm 0.71); \quad (8)$$

$$r = 0.99, n = 290$$

The LMWLs obtained are close to the Global Meteoric Water Line (GOURCY et al., 2005).

Annual weighted mean $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and d excess values are summarized in Table 2. For comparison, annual means weighted by precipitation

Table 1. Isotopic composition of precipitation in Ljubljana.

Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d (‰)	A (TU)	Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d (‰)	A (TU)	Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d (‰)	A (TU)
05/81	-54.7	-8.15	10.5	70.0	09/85	-33.0	-4.95	6.6	-	01/90	-30.0	-5.32	12.6	11.5
06/81	-64.0	-9.39	11.1	83.0	10/85	-49.0	-7.63	12.0	-	02/90	-98.0	-13.14	7.1	13.7
07/81	-47.5	-7.19	10.0	54.0	11/85	-70.0	-10.29	12.3	-	03/90	-71.0	-9.86	7.9	21.8
08/81	-30.0	-5.30	12.4	55.0	12/85	-76.0	-10.33	6.6	-	04/90	-42.0	-6.53	10.2	16.3
09/81	-46.3	-7.33	12.3	26.0	01/86	-91.0	-12.17	6.4	-	05/90	-18.0	-2.50	2.0	16.4
10/81	-54.0	-7.66	7.3	18.0	02/86	-141.0	-18.42	6.4	-	06/90	-36.0	-5.87	11.0	11.5
11/81	-86.7	-11.59	6.0	16.0	03/86	-84.0	-11.12	5.0	-	07/90	-52.0	-7.32	6.6	25.4
12/81	-49.7	-7.20	7.9	15.0	04/86	-64.0	-9.57	12.6	-	08/90	-48.0	-7.29	10.3	24.8
01/82	-63.4	-8.83	7.2	14.4	05/86	-46.0	-7.06	10.5	36.0	09/90	-45.0	-7.13	12.0	25.6
02/82	-105.0	-14.44	10.5	18.7	06/86	-66.0	-9.85	12.8	38.7	10/90	-56.0	-8.45	11.6	10.5
03/82	-70.3	-9.70	7.3	19.0	07/86	-29.0	-5.23	12.8	25.7	11/90	-79.0	-11.88	16.0	12.8
04/82	-55.2	-8.33	11.4	32.0	08/86	-38.0	-5.83	8.6	17.3	12/90	-89.0	-12.64	12.1	7.9
05/82	-54.5	-7.62	6.5	25.0	09/86	-44.0	-6.21	5.7	17.7	01/91	-85.0	-11.60	7.8	7.7
06/82	-47.0	-6.53	5.2	31.0	10/86	-82.0	-11.32	8.6	14.1	02/91	-106.0	-14.40	9.2	8.4
07/82	-34.7	-5.11	6.2	51.0	11/86	-94.0	-12.12	3.0	8.8	03/91	-65.0	-9.10	7.8	11.6
08/82	-49.1	-7.21	8.6	32.0	12/86	-101.0	-14.03	11.2	20.6	04/91	-66.0	-10.00	14.0	8.6
09/82	-31.0	-5.47	12.8	24.0	01/87	-99.0	-13.46	8.7	25.4	05/91	-73.0	-9.90	6.2	11.9
10/82	-57.1	-8.43	10.3	20.0	02/87	-95.0	-12.74	6.9	22.8	06/91	-46.0	-6.50	6.0	15.3
11/82	-101.9	-13.22	3.9	14.0	03/87	-72.0	-10.10	8.8	23.1	07/91	-37.0	-5.50	7.0	13.9
12/82	-113.2	-14.33	1.4	17.0	04/87	-53.0	-7.59	7.7	30.7	08/91	-41.0	-6.10	7.8	17.5
01/83	-68.8	-9.68	8.6	27.6	05/87	-41.0	-6.27	9.2	36.0	09/91	-32.0	-4.90	7.2	7.2
02/83	-104.2	-14.06	8.3	16.2	06/87	-52.0	-7.98	11.8	19.3	10/91	-47.0	-7.40	12.2	9.9
03/83	-87.6	-11.63	5.4	23.5	07/87	-45.0	-7.27	13.2	36.3	11/91	-88.0	-11.86	6.9	3.6
04/83	-42.7	-6.47	9.1	20.2	08/87	-53.0	-7.99	10.9	25.0	12/91	-63.0	-8.76	7.1	8.6
05/83	-60.3	-8.45	7.3	22.9	09/87	-46.0	-7.14	11.1	16.5	01/92	-147.8	-19.40	7.4	-
06/83	-49.8	-7.51	10.3	36.4	10/87	-46.0	-7.08	10.6	11.6	02/92	-	-	-	-
07/83	-22.5	-4.17	10.9	61.6	11/87	-76.0	-10.88	11.0	12.0	03/92	-87.7	-10.70	-2.1	14.1
08/83	-34.0	-5.35	8.8	32.9	12/87	-91.0	-12.35	7.8	18.3	04/92	-41.9	-7.10	14.9	20.4
09/83	-52.7	-7.69	8.8	20.8	01/88	-68.0	-9.43	7.4	10.4	05/92	-22.9	-4.80	15.5	-
10/83	-70.1	-9.81	8.4	20.2	02/88	-75.0	-10.84	11.7	10.4	06/92	-51.2	-7.50	8.8	20.3
11/83	-40.2	-6.19	9.3	11.7	03/88	-70.0	-9.83	8.6	13.5	07/92	-	-	-	-
12/83	-71.7	-10.00	8.3	30.7	04/88	-45.0	-7.23	12.8	14.6	08/92	-24.5	-4.40	10.7	31.0
01/84	-96.0	-13.11	8.9	21.7	05/88	-45.0	-6.79	9.3	24.0	09/92	-54.2	-8.00	9.8	8.7
02/84	-104.0	-14.12	9.0	30.9	06/88	-45.0	-7.09	11.7	19.8	10/92	-67.1	-9.50	8.9	9.0
03/84	-85.0	-11.83	9.6	18.7	07/88	-28.0	-5.52	16.2	24.1	11/92	-	-8.10	-	14.4
04/84	-74.0	-10.67	11.4	30.3	08/88	-32.0	-6.19	17.5	18.7	12/92	-	-	-	22.0
05/84	-52.0	-7.27	6.2	30.7	09/88	-45.0	-7.30	13.4	19.8	01/93	-	-	-	-
06/84	-68.0	-9.94	11.5	29.4	10/88	-43.0	-7.07	13.6	17.2	02/93	-	-	-	-
07/84	-37.0	-5.73	8.8	41.3	11/88	-82.0	-11.74	11.9	22.4	03/93	-84.1	-11.80	10.3	-
08/84	-40.0	-6.34	10.7	31.9	12/88	-90.0	-12.20	7.6	23.8	04/93	-60.0	-8.50	8.0	-
09/84	-39.0	-6.21	10.7	27.8	01/89	-	-	-	-	05/93	-44.0	-6.40	7.2	22.0
10/84	-44.0	-7.06	12.5	39.7	02/89	-73.0	-10.34	9.7	19.4	06/93	-26.8	-4.60	10.0	24.2
11/84	-66.0	-9.35	8.8	19.0	03/89	-65.0	-8.98	6.8	16.5	07/93	-37.7	-5.80	8.7	20.7
12/84	-41.0	-6.39	10.1	19.0	04/89	-62.0	-8.58	6.6	15.5	08/93	-36.6	-5.70	9.0	15.7
01/85	-110.0	-13.78	0.2	-	05/89	-35.0	-5.65	10.2	17.6	09/93	-54.5	-8.10	10.3	21.4
02/85	-94.0	-12.78	8.2	-	06/89	-41.0	-5.72	4.8	25.8	10/93	-50.2	-7.50	9.8	8.7
03/85	-104.0	-14.12	9.0	-	07/89	-48.0	-7.57	12.6	23.6	11/93	-86.2	-11.80	8.2	18.1
04/85	-63.0	-9.03	9.2	-	08/89	-55.0	-8.33	11.6	23.6	12/93	-86.8	-11.80	7.6	14.5
05/85	-62.0	-8.76	8.1	-	09/89	-63.0	-8.89	8.1	-	01/94	-70.0	-9.60	6.8	4.4
06/85	-54.0	-7.71	7.7	-	10/89	-68.0	-9.72	9.8	-	02/94	-58.1	-8.40	9.1	10.1
07/85	-35.0	-6.09	13.7	-	11/89	-64.0	-9.65	13.2	8.3	03/94	-63.0	-8.70	6.6	8.0
08/85	-40.0	-6.63	13.0	-	12/89	-43.0	-6.02	5.2	12.4	04/94	-79.6	-11.10	9.2	12.2

Table 1. Isotopic composition of precipitation in Ljubljana (continuation).

Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d (‰)	A (TU)	Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d (‰)	A (TU)	Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d (‰)	A (TU)
05/94	-52.9	-7.50	7.1	12.8	08/98	-49.7	-7.46	10.0	11.4	11/02	-54.3	-8.15	11.0	0.6
06/94	-53.3	-7.80	9.1	18.2	09/98	-47.5	-7.28	10.7	5.9	12/02	-95.1	-12.75	6.9	5.7
07/94	-24.8	-4.20	8.8	28.7	10/98	-	-	-	-	01/03	-120.1	-15.71	5.6	4.3
08/94	-38.4	-6.30	12.0	13.0	11/98	-	-	-	-	02/03	-127.3	-16.33	3.3	12.8
09/94	-39.8	-6.40	11.4	11.5	12/98	-53.3	-8.07	11.3	5.8	03/03	-70.7	-8.93	0.8	-
10/94	-63.8	-9.30	10.6	14.7	01/99	-	-	-	-	04/03	-76.1	-10.72	9.7	9.1
11/94	-83.0	-11.60	9.8	12.2	02/99	-	-	-	8.7	05/03	-42.8	-6.23	7.0	9.3
12/94	-85.1	-11.50	6.9	21.3	03/99	-60.7	-8.82	9.9	8.9	06/03	-22.3	-3.61	6.6	13.6
01/95	-65.2	-9.70	12.4	10.7	04/99	-56.0	-8.25	10.0	8.3	07/03	-31.2	-5.05	9.3	11.0
02/95	-72.5	-10.40	10.7	12.5	05/99	-36.4	-5.41	6.9	8.9	08/03	-23.1	-3.96	8.6	11.9
03/95	-90.3	-12.70	11.3	14.6	06/99	-36.9	-5.40	6.3	15.0	09/03	-62.5	-9.25	11.5	9.2
04/95	-46.6	-7.80	15.8	23.2	07/99	-55.1	-7.78	7.1	12.6	10/03	-61.3	-9.74	16.6	7.6
05/95	-56.6	-8.30	9.8	11.9	08/99	-	-	-	28.9	11/03	-49.5	-8.61	19.4	5.5
06/95	-45.5	-6.80	8.9	9.0	09/99	-31.1	-4.35	3.7	4.9	12/03	-62.0	-9.93	17.5	5.7
07/95	-26.6	-4.30	7.8	19.2	10/99	-43.5	-6.80	10.9	4.8	01/04	-100.0	-14.00	12.0	6.1
08/95	-52.8	-8.10	12.0	17.4	11/99	-92.9	-13.34	13.8	6.5	02/04	-91.2	-13.30	15.2	14.8
09/95	-43.1	-7.00	12.9	16.7	12/99	-78.1	-10.81	8.4	4.2	03/04	-92.8	-12.86	10.1	7.2
10/95	-65.4	-9.20	8.2	23.4	01/00	-	-	-	-	04/04	-69.0	-10.06	11.5	14.2
11/95	-73.1	-10.70	12.5	22.2	02/00	-100.4	-12.84	2.3	-	05/04	-62.7	-9.16	10.6	14.6
12/95	-87.0	-12.30	11.4	10.6	03/00	-65.6	-8.75	4.5	11.2	06/04	-50.9	-7.79	11.4	17.0
01/96	-124.4	-16.70	9.2	-	04/00	-	-	-	-	07/04	-32.0	-5.42	11.4	12.5
02/96	-90.0	-12.83	12.6	-	05/00	-33.0	-4.72	4.8	-	08/04	-27.1	-4.91	12.2	17.0
03/96	-89.6	-12.41	9.7	-	06/00	-26.4	-2.12	-9.4	15.3	09/04	-56.0	-8.51	12.1	4.4
04/96	-89.4	-12.46	10.3	-	07/00	-59.5	-7.12	-2.5	-	10/04	-44.6	-6.89	10.6	6.5
05/96	-41.3	-6.49	10.6	-	08/00	-37.9	-5.48	6.0	5.8	11/04	-78.4	-11.69	15.1	6.5
06/96	-	-	-	-	09/00	-48.3	-6.86	6.5	-	12/04	-78.3	-11.48	13.6	7.1
07/96	-32.4	-5.07	8.2	-	10/00	-63.1	-9.21	10.6	12.3	01/05	-94.3	-13.33	12.4	-
08/96	-37.1	-5.95	14.9	-	11/00	-45.4	-7.10	11.5	5.7	02/05	-132.5	-18.34	14.2	8.9
09/96	-77.7	-10.70	7.9	-	12/00	-90.3	-12.34	8.4	1.4	03/05	-61.6	-9.16	11.7	13.4
10/96	-52.9	-8.30	13.5	-	01/01	-51.0	-7.51	9.0	3.9	04/05	-58.2	-8.38	8.8	9.1
11/96	-77.8	-11.62	15.2	-	02/01	-47.7	-6.80	6.6	8.8	05/05	-46.9	-6.86	8.0	12.7
12/96	-72.7	-10.86	14.2	-	03/01	-51.5	-7.63	9.6	7.9	06/05	-32.2	-4.94	7.3	12.4
01/97	-79.7	-10.79	6.6	-	04/01	-56.2	-8.24	9.7	8.4	07/05	-45.7	-7.09	11.0	13.7
02/97	-34.0	-4.75	4.0	-	05/01	-26.6	-4.24	7.3	16.6	08/05	-52.0	-7.82	10.5	12.7
03/97	-57.3	-8.03	6.9	-	06/01	-51.0	-6.93	4.5	14.1	09/05	-62.4	-8.70	7.2	12.8
04/97	-79.5	-11.00	8.5	-	07/01	-37.5	-5.35	5.3	8.5	10/05	-59.7	-8.73	10.2	10.8
05/97	-55.0	-7.62	6.0	-	08/01	-40.8	-5.77	5.3	9.6	11/05	-93.4	-14.07	19.1	9.1
06/97	-44.1	-6.18	5.3	14.7	09/01	-62.4	-9.22	11.4	9.4	12/05	-76.6	-11.32	14.0	9.7
07/97	-43.7	-6.37	7.3	26.4	10/01	-40.5	-6.46	11.2	8.8	01/06	-	-	-	-
08/97	-57.1	-7.90	6.1	29.2	11/01	-60.9	-9.39	14.3	10.1	02/06	-28.9	-5.05	11.5	6.8
09/97	-	-	-	-	12/01	-89.3	-13.04	15.1	10.1	03/06	-105.3	-14.13	7.7	7.3
10/97	-46.4	-7.29	11.9	-	01/02	-86.1	-11.80	8.3	4.1	04/06	-52.1	-7.61	8.8	8.0
11/97	-71.7	-10.46	12.0	9.2	02/02	-53.4	-7.76	8.6	4.1	05/06	-65.1	-9.51	11.0	11.8
12/97	-98.4	-9.81	-19.9	6.8	03/02	-35.3	-5.37	7.7	3.8	06/06	-35.3	-5.21	6.4	11.5
01/98	-61.1	-8.75	8.9	-	04/02	-61.5	-8.86	9.4	9.1	07/06	-	-	-	-
02/98	-51.5	-7.60	9.3	19.4	05/02	-38.2	-5.98	9.6	6.4	08/06	-57.6	-8.75	12.4	11.2
03/98	-49.2	-7.60	11.6	-	06/02	-28.6	-4.66	8.7	3.7	09/06	-24.1	-4.96	15.6	6.6
04/98	-53.9	-7.95	9.7	8.5	07/02	-36.2	-5.65	9.0	11.4	10/06	-34.6	-6.24	15.3	5.4
05/98	-44.1	-5.97	3.7	16.8	08/02	-54.0	-7.91	9.3	6.8	11/06	-68.7	-10.00	11.3	7.5
06/98	-40.9	-6.52	11.3	5.7	09/02	-73.9	-10.60	10.8	6.8	12/06	-67.7	-10.51	16.4	6.9
07/98	-40.9	-6.53	11.3	-	10/02	-58.9	-8.86	11.9	4.1					

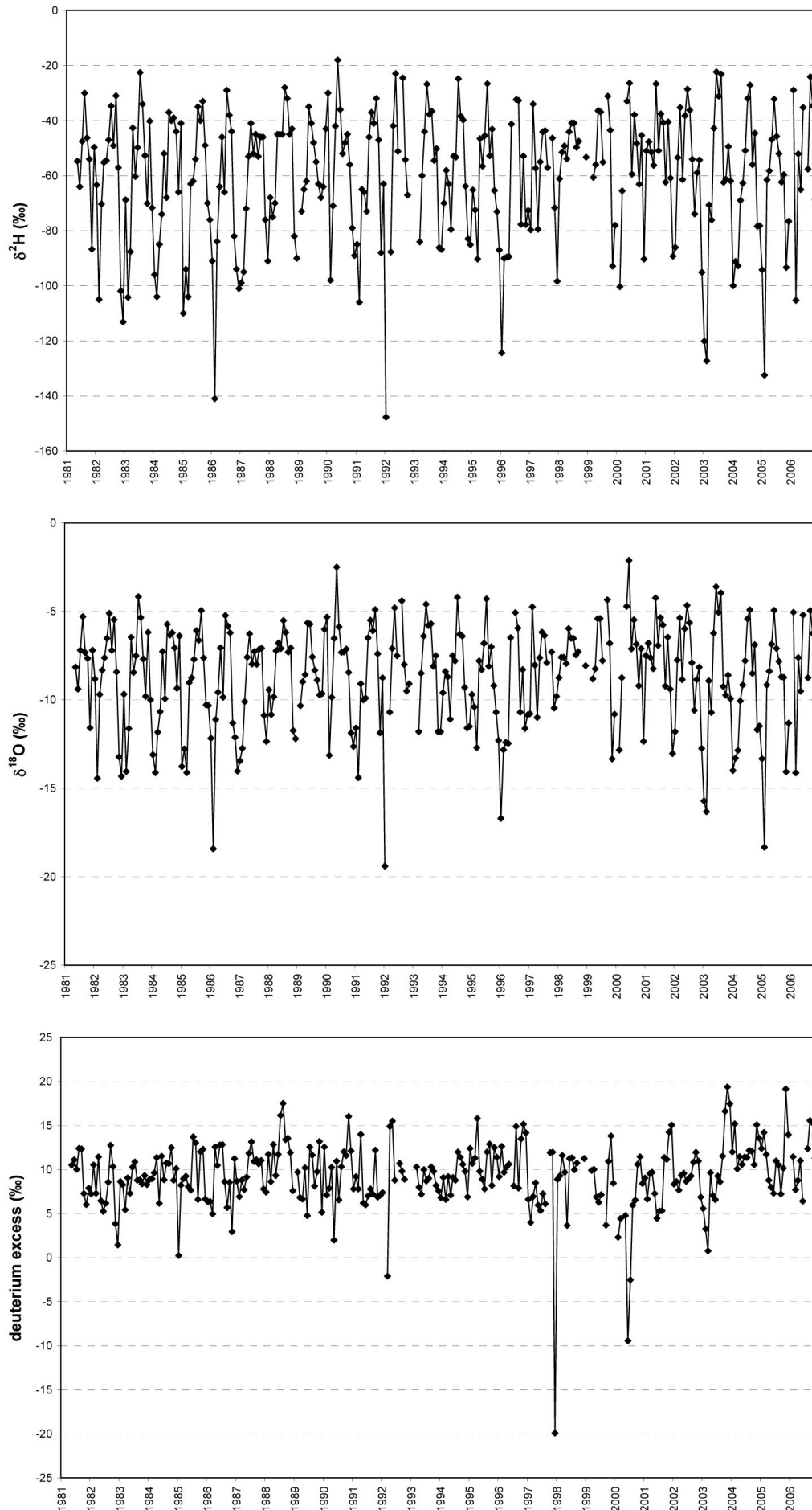


Figure 4. Monthly variations of isotopic composition of a) $\delta^2\text{H}$, b) $\delta^{18}\text{O}$ and c) deuterium excess, 1981-2006.

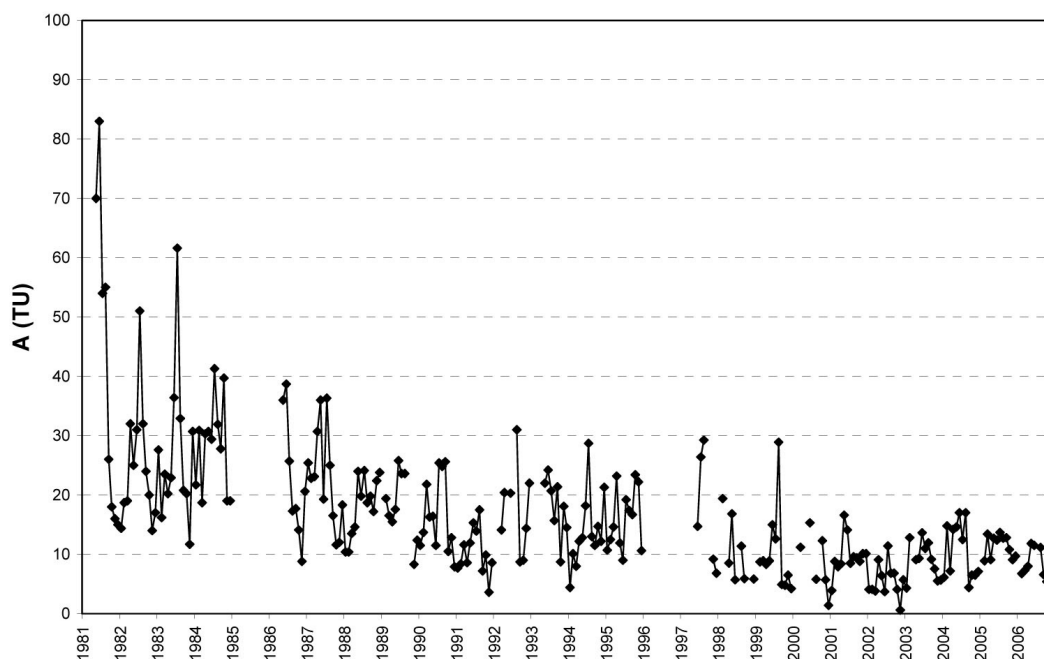


Figure 5. Monthly variations of tritium activity A (in TU), 1981–2006.

amount recorded in the 2003–2006 period at the Reactor Centre are also presented. The difference between weighted annual means of $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ at Ljubljana - Bežigrad and Reactor Centre are in the range of analytical error. The minimum annual weighted mean $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$ values were observed in 1986 and the maximum in 1998. The lowest annual weighted mean d excess value was observed 1997 and is due to extremely low d value recorded for December. The highest annual weighted mean d excess value was observed in 1988. Annual weighted mean $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and d values for the whole period 1981–2006 are -8.6‰ , -59‰ and 9.5‰ , respectively.

Monthly weighted mean $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and d values are summarized in Table 3 and presented in Figure 6. The long-term monthly means show a distinctive seasonal variation with highest $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$

values in July, when the highest mean temperature is recorded. The lowest values are observed in February when snow is the prevailing type of precipitation. The d value varies around 9.3‰ with the lowest values in December and the highest in November. The observed pattern (Figure 6) shows generally higher d values in autumn precipitation with means above 10‰ and can be attributed to the influence of Mediterranean air masses over the region during this period. Previous investigations showed that Mediterranean air masses probably contribute up to 26% of precipitation in Ljubljana (VREČA et al., 2006).

The correlation between $\delta^{18}\text{O}$ in collected monthly samples and mean monthly temperature at Ljubljana - Bežigrad ($T_{\text{Bežigrad}}$) is:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.29 T_{\text{Bežigrad}} - 11.86 \quad (n = 290, r = 0.75) \quad (9)$$

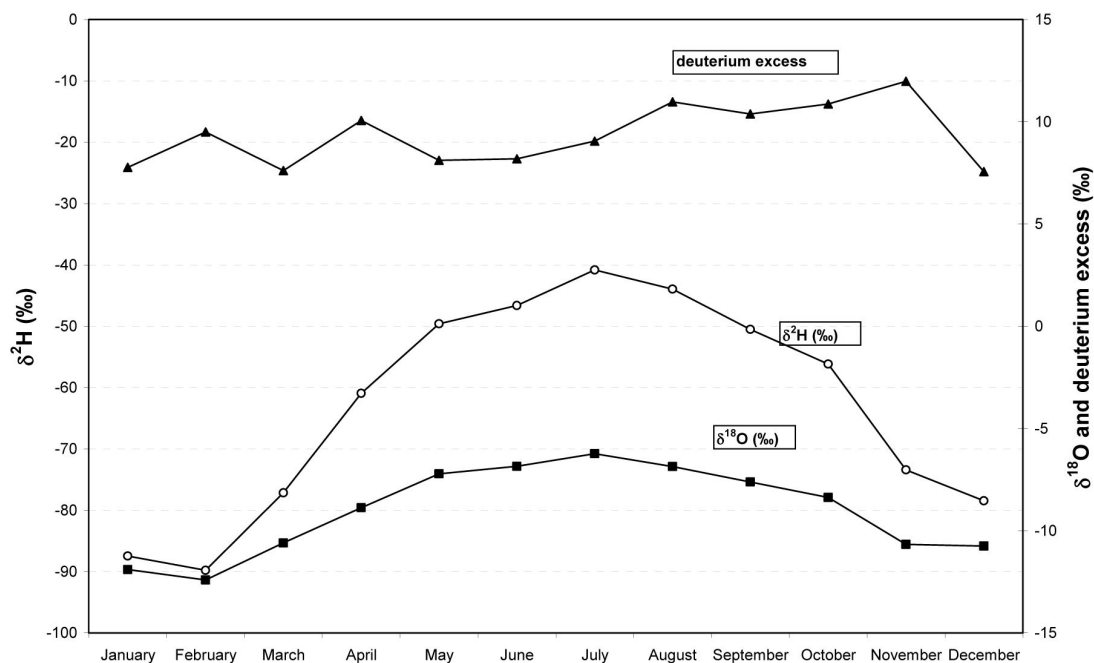


Figure 6. Monthly weighted mean $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and deuterium excess values.

Table 2. Annual weighted mean $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and deuterium excess (d) values (in ‰). Re denotes annual mean weighted by precipitation amount at Reactor Centre.

Year	n	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	d	$\delta^2\text{H}_{\text{Re}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Re}}$	d_{Re}
1981	8	-50.9	-7.63	10.1			
1982	12	-62.3	-8.66	7.0			
1983	12	-64.4	-9.07	8.2			
1984	12	-60.7	-8.82	9.8			
1985	12	-67.7	-9.55	8.7			
1986	12	-70.7	-9.96	9.0			
1987	12	-60.8	-8.90	10.4			
1988	12	-50.2	-7.84	12.5			
1989	11	-56.1	-8.18	9.4			
1990	12	-53.8	-8.10	10.9			
1991	12	-63.5	-8.94	8.0			
1992	8	-63.2	-8.97	8.5			
1993	10	-56.0	-8.13	9.0			
1994	12	-57.7	-8.40	9.5			
1995	12	-60.9	-9.02	11.3			
1996	11	-67.0	-9.85	11.8			
1997	11	-65.2	-8.59	3.6			
1998	10	-47.7	-7.25	10.3			
1999	9	-55.7	-8.02	8.4			
2000	10	-55.4	-7.64	5.7			
2001	12	-52.3	-7.71	9.4			
2002	12	-52.0	-7.70	9.6			
2003	12	-59.6	-8.93	11.9	-59.7	-8.99	12.2
2004	12	-61.0	-9.12	11.9	-60.0	-8.97	11.8
2005	12	-62.1	-9.11	10.7	-61.2	-8.99	10.7
2006	10	-59.2	-8.82	11.3	-61.2	-9.01	10.9
	min	-70.7	-9.96	3.6			
	mean	-59.1	-8.57	9.5			
	max	-47.7	-7.25	12.5			

Table 3. Monthly weighted mean $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ and deuterium excess (d) values (in ‰).

Month	n	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	d
January	20	-87.4	-11.90	7.8
February	22	-89.8	-12.41	9.5
March	25	-77.2	-10.60	7.6
April	24	-60.9	-8.88	10.1
May	26	-49.6	-7.22	8.1
June	25	-46.6	-6.85	8.2
July	24	-40.8	-6.23	9.1
August	25	-44.0	-6.87	11.0
September	25	-50.5	-7.61	10.4
October	25	-56.2	-8.38	10.9
November	24	-73.4	-10.67	12.0
December	25	-78.5	-10.75	7.6
	min	-89.8	-12.41	7.6
	mean	-62.9	-9.03	9.3
	max	-40.8	-6.23	12.0

Tritium activity in monthly precipitation (Figure 5) shows seasonal variation typical for the continental station of the Northern Hemisphere. Maximum activity is observed usually in early summer, mostly in June or July, and minima in winter, mostly in January. The seasonal variations are superposed to the general decreasing trend of the mean annual tritium activities. The mean annual tritium activities decrease between 1981 and 1995 with a half-life of about 6 years (which is in accordance with the half-life of tritium in the stratosphere, as explained in the Introduction), and varies slightly around 9.3 TU after 1998.

Conclusions

The results of isotopic composition of oxygen and hydrogen ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and ^3H) are presented and evaluated for monthly precipitation collected in the 25-year period at Ljubljana. The presented results are important for further scientific and practical applications in hydrology and hydrogeology, and climatology. Observed seasonal fluctuations are significant and typical for continental stations. The Local Meteoric Water Line is close to Global Meteoric Water Line and the deuterium excess shows the predominant influence of Atlantic air masses in Ljubljana. However, higher d values are observed in autumn and indicate the influence of Mediterranean air masses. Observed tritium activity distribution is typical for the Northern Hemisphere.

Acknowledgement

The work of J. Pezdič who initiated monitoring of isotopic composition of precipitation in Ljubljana and of all colleagues who helped during last 27 years with sampling and analyses is greatly acknowledged. Special thanks are due to S. Žigon, Z. Trkov, S. Lindbichler, B. Obelić, N. Horvatinčić, J. Barešić and A. Rajtarić for their valuable help. The project was financially supported predominantly by the Ministry of Higher Education, Science and Technology and Slovenian Research Agency (P0-0531-0106, P1-0143, BI-HR/01-03-11) during the last eight years. We are grateful also to L. Gourcy and staff of the Isotope Hydrology Section Laboratory of IAEA for performing some tritium activity measurements and for all valuable information provided during the IAEA CRP F31002 (RC 11267).

References

- ARAGUAS-ARAGUAS, L., FRÖHLICH, K. & ROZANSKI, K. 2000: Deuterium and oxygen-18 isotope composition of precipitation and atmospheric moisture. *Hydrological Processes* 14: 1341–1355.
- CLARK, I. & FRITZ, P. 1997: *Environmental isotopes in hydrology*, CRC Press, 328p.
- CRAIG, H. 1961: Isotope variations in meteoric waters. *Science* 133: 1702–1703.
- CRAIG, H. & GORDON, L. 1965: Deuterium and oxygen-18 in the ocean and the marine atmosphere. In *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. Tongiorgi E. (Ed.), Spoleto, 9–130.

- DANSGAARD, W. 1964: Stable isotopes in precipitation. *Tellus* 16: 436–468.
- EPSTEIN, S. & MAYEDA, T.K. 1953: Variations of ^{18}O content of waters from natural sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 4: 213–224.
- GAT, J.R. & DANSGAARD, W. 1972: Stable isotope survey of the freshwater occurrences in Israel and the Jordan Rift Valley. *Journal of Hydrology* 16: 177–211.
- GAT J.R. 1996: Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 24: 225–262.
- GAT, J.R., MOOK, W.G. & MELJER, H.A.J. 2001: Atmospheric water. In: *Environmental Isotopes in the Hydrological cycle*, Vol. II. Edited by W.G. Mook, IAEA and UNESCO, Technical documents in Hydrology, No. 39, Vol. II, UNESCO Paris, p. 63–74.
- GEHRE, M., HOEFLING, R., KOWSKI, P., STRAUCH, G. 1996: Sample preparation device for quantitative hydrogen isotope analysis using chromium metal. *Analytical Chemistry* 68: 4414–4417.
- GOURCY, L.L., GROENING, P.K. & AGGARWAL, P.K. 2005: Stable oxygen and hydrogen isotopes in precipitation. In: AGGARWAL, P.K., GAT, J.R., FROELICH, K. (Eds.) *Isotopes in the water cycle: past, present and future of a developing science*. Dordrecht: Springer, 39–51.
- IAEA 1986, 1990, 1994: Environmental Isotope Data Nos. 1–10: World Survey of Isotope Concentration in Precipitation, Technical Reports Series Nos. 264, 311, 371.
- IAEA 2002: Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitations. IAEA, Vienna.
- IAEA/WMO 2008: Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database, Accessible at: <http://nds121.iaea.org/wiser/>
- HORVATINČIĆ, N. 1980: Radiocarbon and tritium measurements in water samples and application of isotopic analyses in hydrology. *Fizika* 12 (S2), pp. 201–218.
- INGRAHAM, N.L. 1998: Isotopic variations in precipitation. In *Isotope tracers in catchment hydrology*. Kendall C., McDonnell J.J. (Eds.), Elsevier, 87–118.
- KRAJCAR BRONIĆ, I., OBELIĆ, B., SRDOČ, D. 1986: The simultaneous measurement of tritium activity and the background count rate in a proportional counter by the Povinec method: Three years experience at the Ruđer Bošković Institute. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 17, 498–500.
- KRAJCAR BRONIĆ, I., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B. 1998: Two decades of environmental isotope records in Croatia: Reconstruction of the past and prediction of the future levels, *Radiocarbon* 40: 399–416.
- LUCAS, L.L. & UNTERWEGER, M.P. 2000: Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium. *J. Res. Natl. Stand. Technol.* 105: 541–549.
- MORRISON, J., BROCKWELL, T., MERREN, T., FOUREL, F. & PHILLIPS A.M. 2001: On-line high-precision stable hydrogen isotopic analyses on nanoliter water samples. *Analytical Chemistry* 73: 3570–3575.
- OGRINC, N., KANDUČ, T., STICHLER, W. & VREČA, P. 2008: Spatial and seasonal variations in $\delta^{18}\text{O}$ and δD values in the river Sava in Slovenia. *Journal of Hydrology* 359: 303–312.
- PENG, H., MAYER, B., HARRIS, S. & KROUSE, H. R. 2004: A 10-yr record of stable isotope ratios of hydrogen and oxygen in precipitation at Calgary, Alberta, Canada. *Tellus* 56B: 147–159.
- PEZDIČ, J. 1999: Izotopi in geokemijski procesi. Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 269 pp.
- PEZDIČ, J. 2003: Isotope fractionation of long term precipitation averages in Ljubljana (Slovenia). *RMZ – Materials and Geoenvironment (Ljubljana)* 50: 641–650.
- PUČNIK, R. 1980: Velika knjiga o vremenu. Cankarjeva založba, Ljubljana, 368 pp.
- ROZANSKI, K., ARAGUAS-ARAGUAS, L. & GONFIANTINI, R. 1993: Isotopic patterns in modern global precipitation. *Geophys. Monogr.* 78: 1–36.
- SCHOTTERER, U., OLDFIELD, U. & FROELICH, K. 1996: GNIP – Global Network for Isotopes in Precipitation, IAEA, 48p.
- VREČA, P., KANDUČ, T., ŽIGON, S. & TRKOV, Z. 2005: Isotopic composition of precipitation in Slovenia. In *Isotopic composition of precipitation in the Mediterranean basin in relation to air circulation patterns and climate*, L. GOURCY (Ed.), pp. 157–172, IAEA-TECDOC-1453, IAEA, Vienna.
- VREČA, P., KRAJCAR BRONIĆ, I., HORVATINČIĆ, N. & BAREŠIĆ, J. 2006: Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations. *Journal of Hydrology* 330: 457–469.
- VREČA, P., BRENIČIČ, M. & LEIS, A. 2007: Comparison of monthly and daily isotopic composition of precipitation in the coastal area of Slovenia. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 43: 307–321.

Globljevodne triasne in jurske plasti na Kobli

Deep-water Triassic and Jurassic beds from Mt. Kobra (W Slovenia)

† Stanko BUSER¹ & Bojan OGORELEC²

¹Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: bojan.ogorelec@geo-zs.si

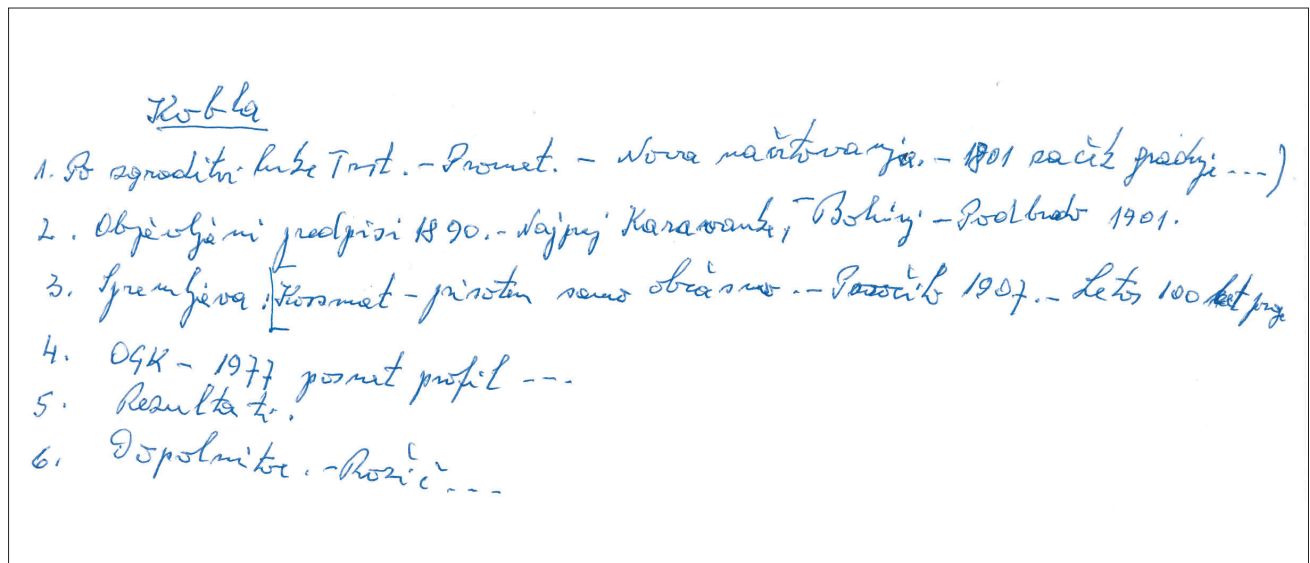
Ključne besede: Slovenski bazen, zgornji trias, jura, mikrofacies, bohinjski železniški predor, Kobra, Slovenija
Key words: Slovenian Basin, Upper Triassic, Jurassic, microfacies, Bohinj railway tunnel, Mt. Kobra, Slovenia

Izvleček

Prispevek prikazuje geološke razmere na Kobli v osrednjem delu Bohinjskega grebena ter zgoščen zgodovinski pregled raziskav.

Prve podrobnejše raziskave tega prostora so povezane z izgradnjo 6334 m dolgega železniškega predora med Bohinjsko Bistrico in Podbrdom, odprtega v letu 1906. Ta predor poteka prav pod vrhom Koble in zajema 8 litoloških členov. Drugo obdobje raziskav v letih 1969–1987 predstavlja izdelavo Osnovne geološke karte lista Tolmin v merilu 1 : 100.000, v okviru katere je bil ugotovljen obstoj Slovenskega bazena in dveh platform v času od srednjeja triasa do konca krede v zahodni Sloveniji. V zadnjem obdobju pa so bile geološke raziskave na prostoru Koble osredotočene na podrobno stratigrafijo in litologijo. Analize konodontnih združb in foraminifer kažejo, da pripada del apnencev, ki so bili v okviru OGK uvrščeni v spodnjo juro, še zgornjemu triasu.

Jurski sedimenti na Kobli so se odlagali v globljevodnem okolju Slovenskega bazena, apnenčeve breče in kalkareniti pa z gravitacijskimi tokovi v pregibni coni in v robnem delu bazena. V kalkarenitnem paketu liasne starosti so številni naplavljeni ooidi in krinoidi.



Zadnji rokopis prof. Stanka Buserja pred njegovo smrtjo (oktober 2006)

Pričujoči prispevek je bil za publikacijo planiran že kar nekaj časa, več kot 20 let. Intenzivneje pa je pokojni prof. Stanko Buser pričel o tej objavi razmišljati po svoji vrnitvi z mesta veleposlanika v Švici pred nekaj leti. V okviru predvidene širše študije o Slovenskem bazenu, ki tudi ni bila realizirana, je bila geologija profila Kobra predstavljena na 2. slovenskem geološkem kongresu v Idriji (BUSER & OGORELEC, 2006). Pričujoča publikacija predstavlja zadnje strokovno delo prof. Buserja, ki ga je imel v zaključni pripravi na mizi ob njegovi smrti. Nekateri stavki in misli v objavi sicer niso dokončno oblikovani in izpiljeni, kljub temu pa čutim do pokojnika dolžnost, da sem zbrano gradivo pripravil za objavo.

Bojan Ogorelec

Abstract

This contribution deals with geological setting of Mt. Kobra which is situated in the central part of the Bohinj ridge, and brings a review of the previous geological studies in the area.

The first detailed studies are closely related to a 6334 m long Bohinjska Bistrica–Podbrdo railway tunnel which was opened in 1906. The tunnel is constructed just under the peak of Mt. Kobra and encompasses 8 lithological members. The second period of intensive geological studies is related to elaboration of the Basic Geological Map, scale 1:100.000, Sheet Tolmin that were carried out from 1969–1987. During this time, Middle Triassic to Late Cretaceous existence of Slovenian Basin and two platforms in western Slovenia was established. In the past decade geological studies in the area have been focused on detailed stratigraphy and lithology. The analysis of conodont assemblages and foraminifers indicates that a part of limestone classified in Basic Geological Map as Lower Jurassic are actually of the Upper Triassic age.

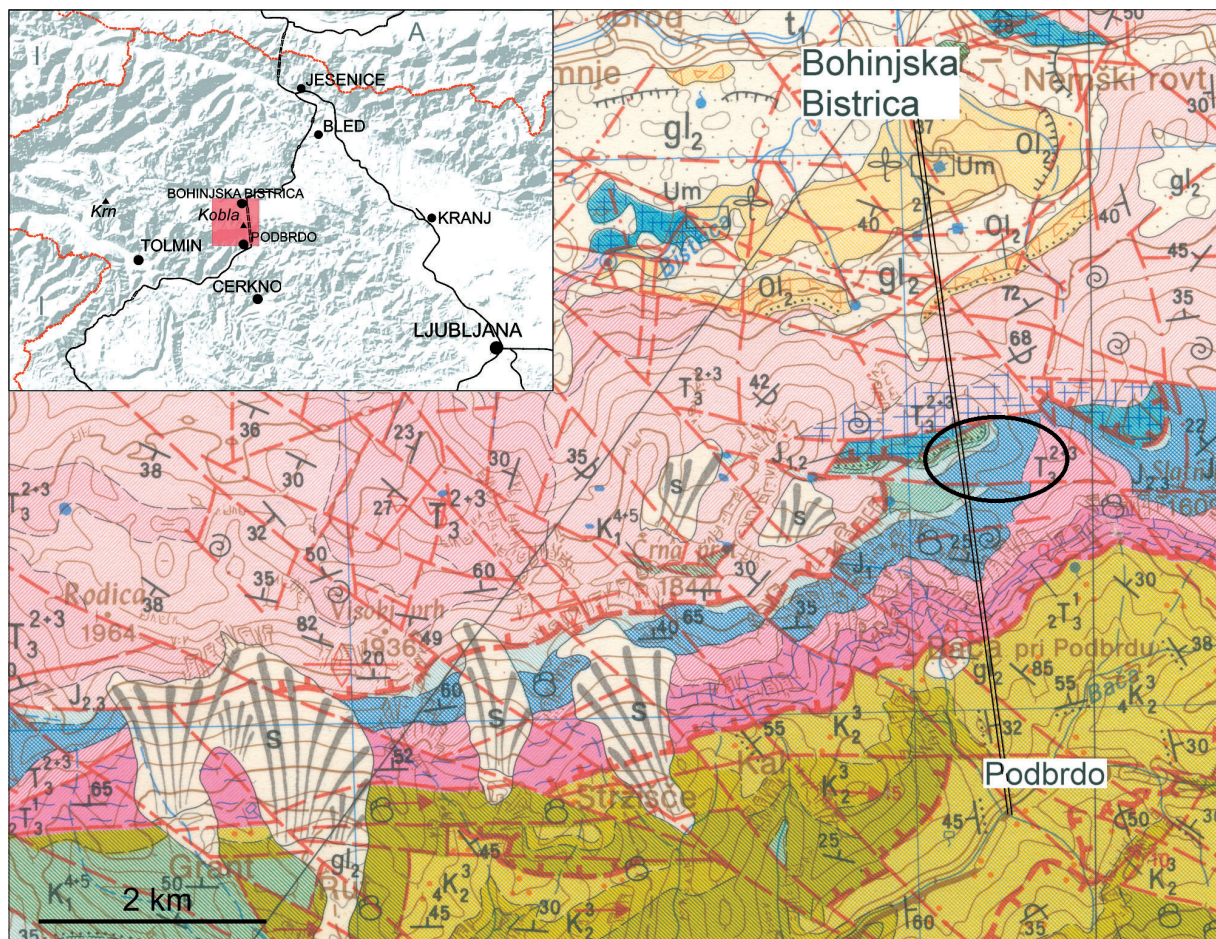
Jurassic sediments in Mt. Kobra were settled in deep-marine environment of the Slovenian Basin. Limestone breccias and calcarenites were transported by gravitational currents from the shelf edge to the slope and to the basin. In Lower Jurassic calcarenite with abundant reworked ooids and crinoids occur.

Uvod

Geološko kartiranje lista Tolmin v okviru Osnovne geološke karte (OGK) v merilu 1 : 100.000 (BUSER, 1987) je pripomoglo, da smo uspeli razvozlati mnoga nerešena vprašanja o paleogeografskem razvoju zahodnega dela Slovenije. Prve ideje o Slovenskem bazenu (»Sillon slovène«) je že leta 1973 postavil C. COUSIN v okviru širše geotektonske študije Sredozemlja in Tetide. Njegove ugotovitve so temeljile na osnovi takrat novega

koncepta o tektoniki plošč. Terenski pregled v okviru izdelave lista Tolmin v letih 1969 do 1984 pa je omogočil natančneje definirati prostorske odnose in petrografsko sestavo kamnin ter okolje njihovega nastanka v obdobju mezozoika na širšem Tolminskem.

Tolminski prostor s Kobo leži v osrčju Slovenskega bazena (sl. 1). Ta se je razprostiral na prostoru Slovenije od Tolmina preko ljubljanskega prostora in Dolenjske na Hrvaško, na razdalji preko 170 km in v širini do 40 km. Formiral se



Sl. 1. Geološka karta širšega območja Koble in položaj železniškega predora Bohinjska Bistrica–Podbrdo. Iz: OGK Tolmin 1 : 100.000 (BUSER, 1987). Opis litoloških enot je na sl. 3.

Fig. 1. Geological map of the wider area of Mt. Kobra and the position of the Bohinjska Bistrica–Podbrdo railway tunnel. From: OGK Tolmin 1 : 100.000 (BUSER, 1987). The description of lithological units is on Fig. 3.



Sl. 2. Narivna zgradba Bohinjskega grebena. Krnski pokrov dachsteinskega apnenca je narinjen na triasne in jurske plasti Koblanskega pokrova, ta pa na kredne plasti Rutarskega pokrova. Pogled iz Kala pri Podbrdu proti severu na ostenje Črne prsti. Kobla je desno (tik izven slike).

Fig. 2. Nappe structure of the Bohinj ridge. Krn nappe of the Dachstein Limestone is thrust over Triassic and Jurassic beds of the Kobla nappe, and the later are thrust over Cretaceous beds of Rutar nappe. The view from Kal at Podbrdo towards north at the rock-wall of Črna prst. Mt. Kobla is to the right (just out of the picture).

je koncem anizijskega obdobja (BUSER, 1989) in je razdeljeval južno ležečo Dinarsko karbonatno platformo od severne, Julijske platforme. Danes se kamnine Slovenskega bazena razprostirajo preko več listov OGK (Tolmin, Kranj, Ljubljana, Celje, Rogatec, Novo mesto).

V zahodni Sloveniji dobimo kamnine Slovenskega bazena v Tolminskem pokrovu (PLACER, 1999), katerega sestavljajo trije manjši pokrovi (BUSER, 1986, 1987). Globlevodne kamnine na Kobli pripadajo najvišjemu, Koblanskemu pokrovu, preko tega pa je narinjen še dachsteinski apnenec Krnskega oz. Julijskega pokrova (sl. 2).

Medtem ko so pretežno karbonatne kamnine na obeh platformah dokaj dobro raziskane in stratigrafsko umeščene, predvsem zaradi obilice fosilov, je to precej težje s sedimenti Slovenskega bazena. Ti so namreč razviti dokaj monotono, z redkimi stratigrafsko značilnimi fosili. Na sl. 3 je shematsko prikazan geološki stolpec ozemlja doline Bače in širše okolice Koble za obdobje od zgornjega triasa do krede, kot je podan na geološki karti lista Tolmin (BUSER, 1987) in opisan v tolmaču k tej karti (BUSER, 1986).

Dosedanje raziskave

Med starejše geološke študije koblanskega prostora moramo šteti spremljavo ob izgradnji 6334 metrov dolgega bohinjskega železniškega predora med Bohinjsko Bistrico in Podbrdom, ki je leta 2006 praznoval stoletnico svojega odprtja. Predor, ki poteka prav pod grebenom Koble, je bil v

času gradnje montangeološko eden najbolj težavnih objektov na celotni bohinjski železniški trasi. Ta je bila zgrajena z namenom, da poveže Trst z notranjostjo avstro-ogrske monarhije po drugi, vzporedni trasi, ki bi šla mimo Ljubljane. Sam predor so pričeli graditi leta 1900 in ga prebili maja 1904, eno leto pred prebitjem karavanškega predora med Jesenicami in Področco, ki je bil tudi sestavni del te železniške povezave z Beljakom. Geološko spremljavo v bohinjskem predoru je prevzel F. KOSSMAT, ki je leta 1907 o tem pripravil obsežno publikacijo, ki pa je bila tiskana šele leta 1914. Samo geološko kartiranje v predoru je v merilu 1:500 opravil slovenski montanist inž. Maks V. KLODIČ (priložena karta KOSSMATOVI študiji, 1914).

KOSSMAT (1914) je za takratno poznavanje geologije dobro razčlenil posamezne litostratigrafske enote, tako v samem predoru kot na površini. Na profilu, ki poteka po trasi predora (sl. 4), je podana geološka primerjava med njegovo interpretacijo iz leta 1907 ter med interpretacijo, ki je bila izdelana v okviru geološke karte lista Tolmin (BUSER, neobjavljeno arhivsko poročilo).

Glavne razlike med obema interpretacijama se nanašajo na tiste litoške člene, ki so zelo revni s fosili, ali pa so ti mikroskopske velikosti in v času izgradnje predora niso bili poznani. Tako je del senonskega fliša Kossmat prepoznal kot paleozojske skrilavce, del karnijskih skrilavcev in Baški dolomit pa je prištel k spodnji juri. Kot posebna enota tudi niso bili izdvojeni beli mikritni apnenci berriasijske starosti s kalpionelami, ki izdajajo na sedlu pod vrhom Koble.

V zadnjih letih so bile v jurskih zaporedjih severozahodne Slovenije izdelane obsežne detajlne raziskave. Sedimentološko in stratigrafsko so bile preučene jurske kamnine zahodnega dela Slovenskega bazena (ROŽIČ, 2005, v tisku; GORIČAN et al., 2006; ROŽIČ & POPIT, 2006) in Julijske karbonatne platforme ter Bovškega jarka (GORIČAN et al., 2003; ŠMUC, 2005; ŠMUC & GORIČAN, 2005; ČRNE et al., 2007; ŠMUC & ROŽIČ, 2008, v tisku). V sklopu teh raziskav so bile preučene tudi triasne in jurske plasti na Kobli (ROŽIČ & KOLAR-JURKOVŠEK, 2007; ROŽIČ, 2008; ROŽIČ et al., v tisku).

Profil Kobla

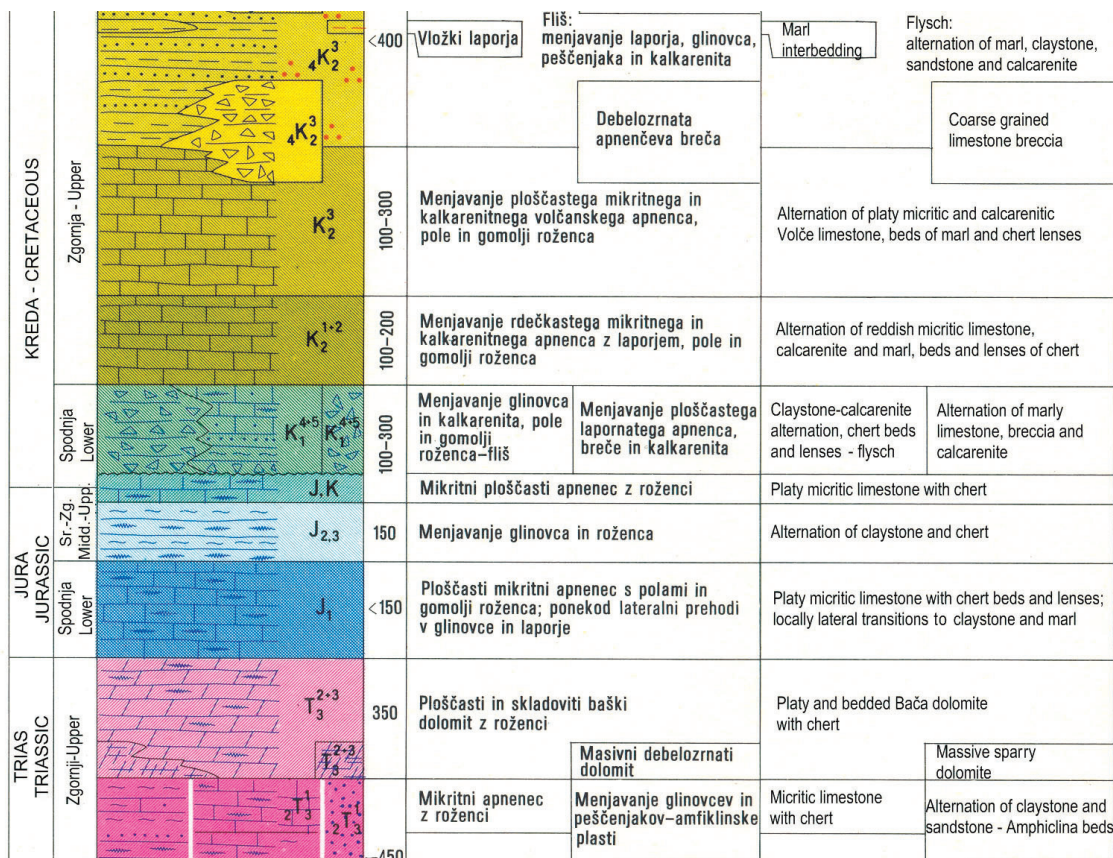
Leta 1977 sta S. Buser in R. Radoičičeva v okviru raziskav za list Tolmin v 220 metrov debelem profilu na Kobli za mikropaleontološke analize odvzela 64 vzorcev, za sedimentološke preiskave pa sta v istem letu S. Buser in B. Ogorelec na profilu odvzela še 42 vzorcev, iz katerih so bili pripravljene mikroskopski preparati. Opis tega profila predstavlja večji del te objave.

Profil (sl. 5) poteka po vzhodnem pobočju Koble ob italijanski vojaški stezi iz časa rapallske meje do vrha Koble in po grebenu do travnika na Kalu. Celoten profil je dobro razgaljen, razen na nekaterih mestih v zgornjem delu, kjer je paket radiolaritov in skrilavcev ponekod prekrit s plastjo

gručca in preperine. Snemati smo ga pričeli takoj nad Baškim dolomitom, ki je v času profiliranja predstavljal litološko mejo med zgornjetriasnimi plastmi ter jurskimi apnenci in brečami. Sam profil lahko razdelimo v pet paketov. Bazo profila predstavlja Baški dolomit, ki pa ni bil predmet raziskave.

Mikritni apnenec, podrejeno kalkarenit ter apnenčeve breče

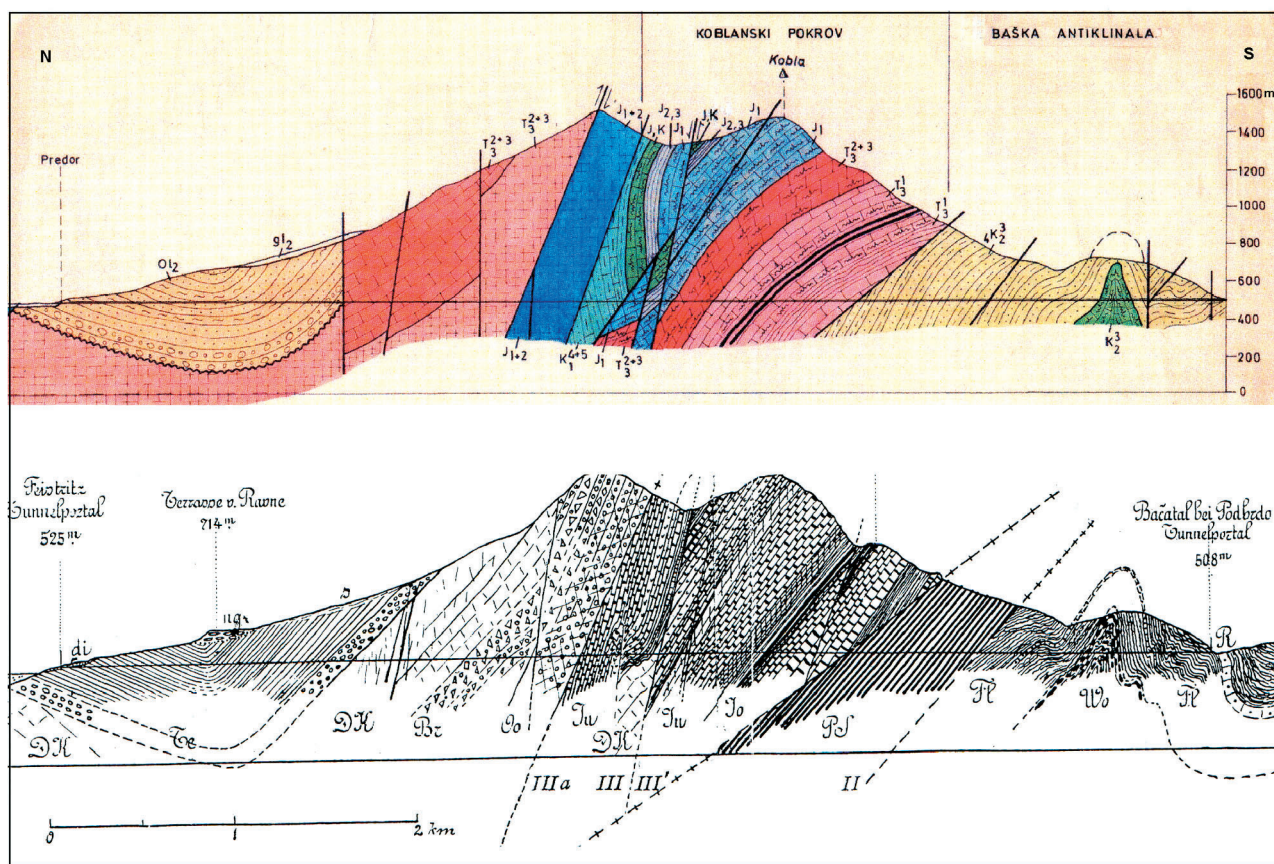
Za spodnjih 50 m profila jo značilen **mikritni in biomikritni apnenec** srednje sive barve, ki vsebuje precej pogostno leče in pole **roženca**. Apnenec je tanko- do srednje plastovit, posamezne plasti so debele med 5 in 50 cm, večji del okrog 20 cm. Po strukturni klasifikaciji ga uvrščamo v tip mudstone. Fosili so radiolariji, spikule spongij, odlomki tankih školjčnih lupin, ploščice in iglice ehinodermov, v sledovih pa še foraminifere in ostrakodi. Intraklasti in plastiklasti so po strukturi mikritni in merijo manj kot en mm. Mikritna osnova je večkrat prekrystaljena v moten mikrosparit ali pa izprana in nadomeščena z drobnozrnatim sparitom. Apnenec vsebuje do 5 % netopnega ostanka. Občasno kažejo posamezni vzorci slabo izraženo laminacijo mm dimenzij. Radiolariji in spikule spongij so večkrat kalcitizirani, prepoznamo jih po značilnih



Sl. 3. Stratigrafski in litološki stolpec ozemlja doline Bače oziroma zahodnega dela Slovenskega bazena.

Iz: OGK Tolmin 1 : 100.000 (BUSER, 1987). Po novih podatkih (ROŽIČ & KOLAR-JURKOVŠEK, 2007; ROŽIČ, 2008) pripada del spodnjejurskih plasti na Kobli še v zgornji trias.

Fig. 3. Stratigraphic and lithologic column of the Bača valley area, respectively the western part of the Slovenian Basin. From: OGK Tolmin 1 : 100.000 (BUSER, 1987). According to new data (ROŽIČ & KOLAR-JURKOVŠEK, 2007; ROŽIČ, 2008) belongs a part of Lower Jurassic beds on Mt. Koble still to Upper Triassic.



Sl. 4. Originalni geološki presek skozi bohinjski železniški predor iz časa njegove izgradnje (spodaj; KOSMAT, 1914) ter interpretacija istega profila v okviru OGK Tolmin (zgoraj; BUSER, arhivski podatki).
 Legenda Kossmatovega profila: PS – paleozojski skrilavci, DK – dachsteinski apnec (Br – breče, Oo – ooliti v dachsteinskem apnecu), Ju – spodnji del liasne serije (skrilavci in apnenici), Jo – zgornji del liasne serije (skrilavci in apnenici), Wo – Volčanski apnec, spodnja kreda, Fl – flišu podoben razvoj zgornje krede, plasti z inoceramusi s Podbrda, R – radiolaritna breča, Te – zgornjeoligocenske Bohinjske plasti (sladkovodni razvoj).
 Legenda profila po BUSERJU je enaka kot na sl.3.

Fig. 4. Original geological cross-section through the Bohinj railway tunnel from the times of its construction (below; Kosmat, 1914) and the interpretation of the same cross-section within the framework of the OGK Tolmin (above; Buser, archives).
 Legend to Kosmat's cross-section: PS – Paleozoic clayshales, DK – Dachstein Limestone (Br – breccias, Oo – oolites within Dachstein Limestone), Ju – the lower part of Lias series (clayshale and limestone), Jo – the upper part of Lias series (clayshale and limestone), Wo – Volče Limestone, Lower Cretaceous, Fl – flyschlike development of the Upper Cretaceous (Inoceramus beds from Podbrdo), R – radiolarite breccia, Te – Upper Oligocene Bohinj beds (fresh water development).
 The legend to BUSER's cross-section is evident from Fig. 3.

konturah, nekateri pa imajo še prvotno sestavo kalcedona s sferulitsko strukturo.

Roženec je temno sive barve in nastopa v do nekaj cm debelih polah ali pa v manjših, neenakomerno velikih lečah decimetrskve velikosti. Po strukturi je mikrokristalen in zaradi pogostnih vključkov karbonatnih zrn in glinenih mineralov moten. Prvotna struktura kamnine je delno še ohranjena. Tako so v preparatih večkrat prepoznavni radiolariji in spikule. Kontakti roženca s prikamnino so večji del jasni in ostri, ponekod pa gre le za močno okremenjena polja apnenca. Mestoma so med apnenčevimi polami tanki filmi trtega laporja.

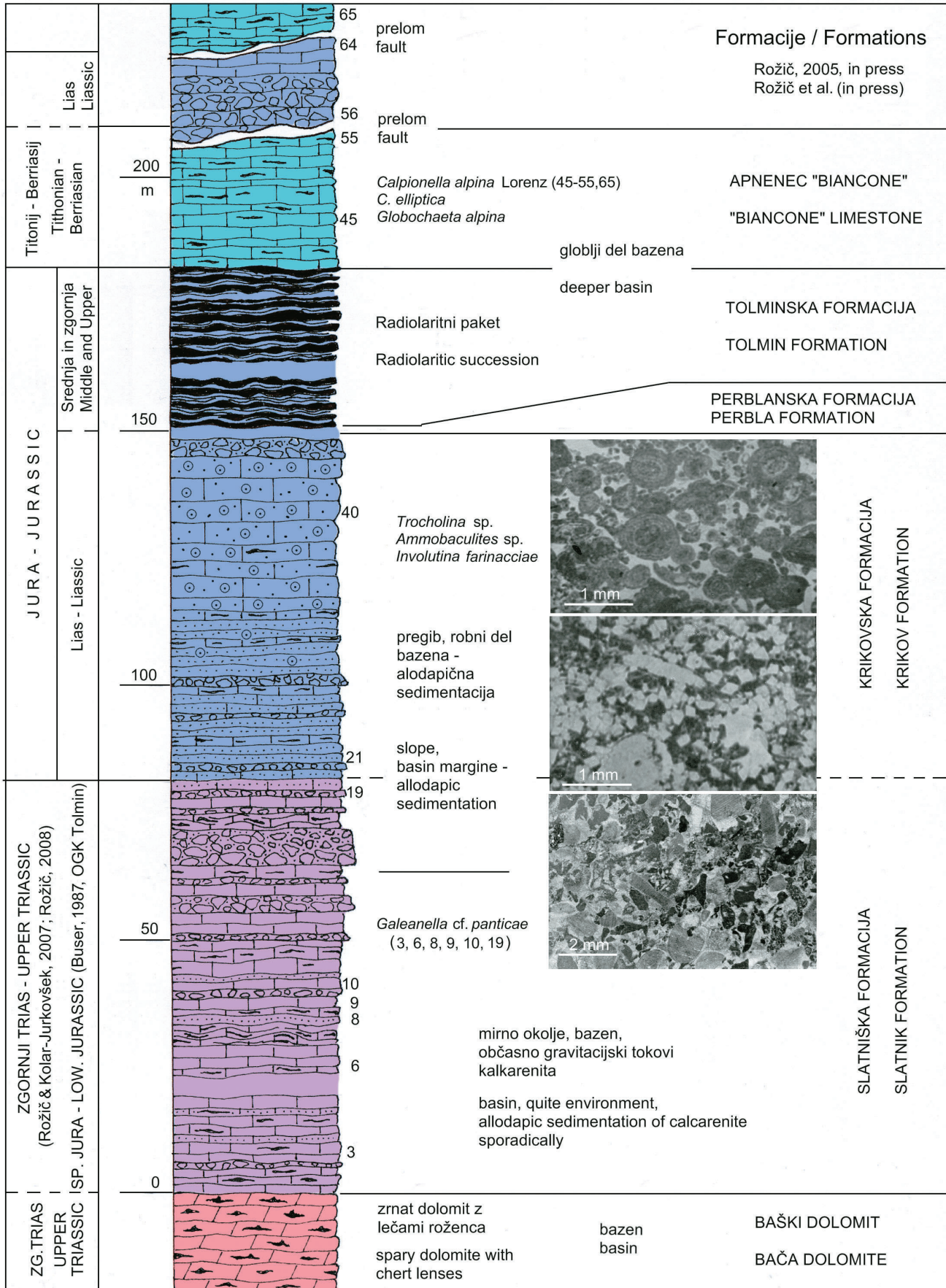
Med apnencem z gomolji roženca se večkrat pojavljajo plasti **kalkarenita** in **intraformacijske apnenčeve breče**. Kalkarenit je večji del precej enakomerno zrnat in ga sestavljajo do 2 mm veliki zaobljeni mikritni intraklasti ter plastiklasti, med katere so pomešani številni odlomki krinoidnih ploščic. Redkeje so prisotni še odlomki školjčnih lupin, skeletnih alg, briozojev, foraminifere, peleti in posamezni naplavljeni ooliti. Po struk-

turni klasifikaciji uvrščamo kalkarenit v packstone. Mikrit je v precejšnjem delu še ohranjen in ni bil popolnoma izpran. Preostali del medprostorov med alokemi zapolnjuje drobnozrnat sparitni cement in lahko strukturo opredelimo kot grainstone. Ob robovih krinoidnih ploščic je zelo pogost sintaksialni sparit.

Kalkarenit in apnenčeve breče ter podrejeno mikritni apnec

Plasti kalkarenita in apnenčeve breče so v osrednjem delu profila, posebno med 60. in 80. metrom, čedalje bolj pogostne, dokler nad mikritnim apnencem popolnoma ne prevladajo. Najbolj pogostne so prav na grebenu pod vrhom Koble. Strukturne značilnosti kalkarenita so enake kot v plasteh spodnjega dela profila.

Klasti v apnenčevi breči so različno veliki, največji merijo do 10 cm. Dve plasti breče sta debeli do 3 metre, večji del pa so te debele do 0,5 metra. Mestoma opazujemo v breči postopno zrnavost s pozitivno gradacijo, tako da breča pogosto pre-



Sl. 5. Litološki stolpec triasnih in jurskih plasti na Koblji ter korelacija z novo stratigrafsko razdelitvijo Slovenskega bazena (po Rožiču, v tisku in Rožič et al., v tisku).

Fig. 5. Lithologic column of Triassic and Jurassic beds on Mt. Koba and correlation with recent subdivision of the Slovenian Basin (after Rožič, in press and Rožič et al., in press).

ide v kalkarenit. Bočno se debelina plasti breče in kalkarenita spreminja. Nekatere plasti se na razdalji nekaj metrov do nekaj deset metrov lahko izklinijo. Tudi v breči opazujemo številne odlomke krinoidov. Njihov delež je do 25 %. V eni plasti so številni še skeleti brahiopodov, medtem ko je drugih fosilov (alge, polži, školjke) precej manj. Sortiranost breče je slaba, zaobljenost klastov pa srednja. Večji klasti so z daljšo osjo orientirani vzporedno s plastovitostjo kamnine. Okremenitev kalkarenita in breče ima drugačen značaj kot v mikritnen apnencu. V bolj debelozrnatem kalkarenitu je okremenjen predvsem cement med alokemi, ki se pojavlja v obliki mikrokristalnega kremenca. Delež kremenca v teh vzorcih cenimo med 5 in 10, izjemoma do 50%. Vzrok za različno pojavljanje kremenca v mikritnem apnencu (pole in gomolji) in v kalkarenitu (okremenitev medprostorov) je vezana na različno primarno prepuštnost za porne raztopine v času diagenoze.

Nekatere plasti, tako kalkarenitni kot mikritni različki, so bili dolomitizirani v pozni diagenezi. V večjem delu plasti opazujemo 2 do 10 % dolomitnih romboedrov, ki merijo med 50 in 200 μm in pogosto kažejo lepo conarno rast. V nekajmetrski plasti pod vrhom Koble pa je delež dolomitnih zrn tolikšen (ca 80%), da kamnino lahko opredelimo že kot zrnat dolomit.

Opisano zaporedje mikritnega apnenca z rožencem, kalkarenita in apnenčevih breč je bilo na geološki karti Tolmin po analogiji z razmerami na ožjem Tolminskem stratigrafsko uvrščeno v spodnjo juro (BUSER, 1987), čeprav je RADOIČIČEVA (1977, arhivsko poročilo za OGK Tolmin, profil Kobla) že predvidevala, da pripadajo te plasti zgornjetriasnemu mikrofaciesu. To je utemeljevala s foraminifero vrste *Galeanella* cf. *panticae* Zanninetti & Brönnimann, ki jo je določila v več vzorcih, do številke 10 (glej stolpec, sl. 5), z verjetnostjo tudi do številke 19, kjer pa se ta pojavlja v mikritnem klastu. Razen omenjene foraminifere so od določljivih fosilov prisotni še redki fragmenti dazikladacej, brahiopodi, oftalmidiji, lagenide ter alga *Thaumatoporella parvovesiculifera* (Raineri). Stratigrafsko sta na osnovi konodontne združbe Rožič in KOLAR-JURKOVŠKOVA uvrstila celoten paket apnenecv z roženci, kalkarenit in apnenčeve breče v skupni debelini ca 100 metrov v zgornji trias oziroma v norij, glede na značilne sevatske elemente z rodovi *Epigondolella*, *Norigondolella* in *Misikella* (Rožič & KOLAR-JURKOVŠEK, 2007). Z dodatnim vzorčevanjem je bilo ugotovljeno, da opisano zaporedje pripada zgornjemu noriju (sevatu) in retiju. Zaporedje, ki je na Kobli verjetno ponovljeno ob manjšem narivu, je bilo opisano kot Slatniška formacija (Rožič, 2008; Rožič et al., v tisku). S tem je bilo ovrženo dosedanje mnenje, da se z Baškim dolomitom v Slovenskem bazenu zaključuje triasno obdobje.

Oolitni in krinoidni kalkarenit

Nad paketom kalkarenita sledi med 120. in 150. metrom okrog 30 m debeloplastovitega apnenca,

ki po strukturi prav tako pripada kalkarenitu, vsebuje pa številne ootide. Ti so v posameznih plasteh tako številni in značilni, da ima kamnina že makroskopsko izgled **oolitnega apnenca**. Debelina posameznih »oolitnih« plastí znaša med 0,5 in 1,5 metra. Ootidi so relativno veliki, merijo 0,2 do 1 mm in kažejo koncentrične ovoje z radialno rastjo kalcitnih zrn. V kalkarenit so bili naplavljeni skupaj s številnimi ploščicami ehinodermov, mikritnimi intraklasti ter redkimi odlomki alg. Mestoma so tudi krinoidi tako številni, da kamnino lahko poimenujemo **krinoidni apnenec**. Cement med ootidi, krinoidi in intraklasti je večji del mikrospariten, ponekod pa drobnozrnat sparit s ksenotopično strukturo. Med oolitnim in krinoidnim apnencem so redke plasti pelbiosparita in pelbiomikrita, ki kažejo na nižji energijski indekes. Delež alokemov v teh vzorcih cenimo nad 30 %, tako da ta apnenec po strukturi uvrščamo v packstone. Nekatere plasti kažejo slabo izraženo laminacijo.

»Oolitni« in »krinoidni« apnenec oziroma kalkarenit je liasne starosti. Med foraminiferami je RADOIČIČEVA (1977) prepoznala foraminifere *Ammobaculites* sp., *Trocholina* sp., *Involutina fari-nacciae* in laganide, sicer pa še fragmente dazikladacej, kodiacej in alga *Thaumatoporella parvovesiculifera* (Raineri), posamezne spikule spongij, radiolarije ter lupinice moluskov.

Zaporedje apnenčevih plasti nad Baškim dolomitom je debelo 150 metrov. Zgornjo mejo predstavlja paket radiolarijskih rožencev. Tolmač lista Tolmin (BUSER, 1986) pripisuje omenjenim sedimentom liasno starost. Tako bi se to zaporedje v celoti koreliralo s spodnje jursko **Krikovsko formacijo** po COUSINU (1973) iz zahodnega dela Slovenskega bazena. Nove raziskave ROŽIČA in KOLAR-JURKOVŠKOVE (2007) pa kažejo, da pripada spodnji del apnenčevega zaporedja še zgornjemu triasu. Zato so Rožič in sodelavci (v tisku) spodnji, triasni del kamnin na Kobli, ki ga sestavljajo apneneci z roženci, kalkareniti in apnenčeve breče, opisali kot **Slatniško formacijo**. Tako Krikovsko formacijo na Kobli zagotovo predstavlja le »oolitni« apnenec med 120. in 150. metrom v osrednjem delu profila, verjetno pa ji pripadajo tudi del kalkarenitnih plasti pod njim. S tem se spremeni tudi dosedanje tolmačenje paleogeografskih razmer v Slovenskem bazenu v času zgornjega triasa in spodnje jure.

Radiolarijski roženec

Nad oolitnim in krinoidnim kalkarenitom sledi paket temnega plastovitega **radiolarijskega roženca** s polami skrivilavih glinavcev. Sam kontakt s kalkarenitom je prekrit. Debelina paketa radiolarijskega roženca znaša okrog 50 metrov. Posamezne plasti so debele 5 do 30 cm, vmesne pole glinavca pa do 2 cm. Roženec je temen, rjavkasto zelene barve in homogen. Po strukturi pripada mikrokristalnemu kremenu, ki vsebuje okrog 10, mestoma celo 20% radiolarijskih skeletov.

Redko, predvsem v vrhnjem delu radiolaritnega paketa, nastopajo posamezne tanke plasti močno

okremenjenega, lapornega, rdečkastega apnenca z radiolariji. Glinavec, ki nastopa med rožencem, vsebuje poleg kremenca in glincev še minerale glin (illit prevladuje nad kloritom) ter kalcit, v enem vzorcu tudi sledove siderita (*rentgenske analize Miha Mišič, GeoZS*).

Radiolarijski roženec pripada zgornjemu členu Tolminske formacije (ROŽIČ & POPIT, 2006; ROŽIČ, v tisku), medtem ko spodnji člen Tolminske formacije (kremenasti apneneci in roženci) ter Perblanska formacija (laporovci) na sami Kobli nista razgaljena. Ta del zaporedja izdanja in je bil nedavno preučen približno kilometer zahodnejše, na južnih pobočjih Bohinjskega grebena med Črno prstjo in Koblo (ROŽIČ, v tisku).

Apnenec tipa »biancone«

Vrhnjih 30 metrov profila pripada zelo svetlemu, rumenkasto sivemu apnencu z gomolji roženca tipa »biancone«. Apnenec je po strukturi zelo gost mikrit s porcelanskim izgledom in školjkastim lomom. Razen posameznih radiolarijev in kalpionel (*Calpionella alpina* Lorenzi, *C. elliptica* Cadisch), ki kažejo na zaključni del jure in prehod v kreda (titonij do berriasij), ostalih fosilov v njem skoraj ni. Količina roženčevih gomoljev je v posameznih plasteh spremenljiva.

Debelina apnencev tipa »biancone« s profilom na Kobli sicer ni zajeta v celoti, vendar pa tudi na celotnem Tolminskem ni dosti večja. Na sedlu na Kalu, kjer se profil konča, namreč poteka več vzporednih prelomov, kjer izdanjajo zopet liasni apneneci in breče (vzorci št. 56 – 64), nad njimi plasti »biancone«, nato pa spodnjekredni fliš.

Sedimentacijsko okolje

Mikrofacialne analize plasti na Kobli kažejo na sedimentacijo v relativno globljem okolju. Makroskopsko lahko razdelimo celotni profil v šest paketov. Apnenec spodnjih treh enot, le tem pripada 150 metrov profila, se je odlagal v obrobem delu jarka in na pregibu med šelfom in jarkom.

Apnenec spodnjega paketa kaže na mirno okolje sedimentacije z nizkim do zelo nizkim energijskim indeksom in vsebuje redko pelagično mikrofavno, predvsem radiolarije in spikule spongij. V tem delu so pogostne roženčeve leče in pole. Mirno sedimentacijo prekinjajo tanjše plasti kalkarenita in intraformacijske breče, ki postajajo v drugi enoti profila, med 60. in 80. metrom, precej številnejše. Po gradaciji in laminaciji v plasteh lahko sklepamo, da sta se kalkarenit in breča sedimentirala z gravitacijskimi, večinoma turbiditnimi tokovi in kažeta znake alodapičnega razvoja, kakršen je značilen za pregibno cono. Kalkarenit vsebuje precej krinoidnih ploščic, pogostni pa so tudi drobni mikritni plastiklasti, ki so nastali ob trganju nekonsolidiranega karbonatnega sedimenta med drsenjem gravitacijskih tokov.

V osrednjem delu profila plasti kalkarenita skoraj popolnoma prevladujejo. Značilni zanj so

v tem delu ooidi, ki so številni. V globlje okolje so bili naplavljeni iz karbonatnega šelfa, kar domnevamo tudi za ehinoderme. Pri ocenah debeline posamezne litološke ali biostratigrafske enote moramo upoštevati, da je sedimentacija z gravitacijskimi tokovi zelo hitra, tako da se je v zelo kratkem času na pregibu lahko odložila mnogo večja količina sedimenta v primerjavi z mirno, pelagično sedimentacijo karbonatnega blata v bazenu. Zato je 30 metrov kalkarenita z ooidi lahko časovni ekvivalent le eni ali nekaj plastem mikritnega apnenca, kakršnega opazujemo pod »oolitnim« apnencem.

Vrhnjih 50 metrov profila kaže na zelo mirno sedimentacijo v bolj osrednjem in globljem delu Slovenskega bazena, ki ga gravitacijski tokovi niso več dosegli. Spodnjemu delu te enote pripada 30 metrov tanko do srednje plastovitega radiolarijskega roženca z vmesnimi polami skrilačevga glinavca. Nad plastmi roženca pa se pojavlja svetel apnenec z gomolji roženca tipa »biancone«. Fosili v tem apnencu so zelo redki; opazujemo le radiolarije in posamezne kalpionele, ki so značilne za globlje morsko okolje.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeva Tomažu Budkoviču za geološke podatke o bohinjskem železniškem predoru, posebej pa Boštjanu Rožiču za recenzijo članka in diskusije, ki so privedle do izboljšave in bistvene posodobitve prispevka. Zahvala velja tudi Stanetu Zakrajšku za računalniško pomoč pri pripravi slik.

Literatura

- BUSER, S. 1986: Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine), OGK SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd, 103 pp.
- BUSER, S. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian Carbonate Platforms and of the intermediate Slovenian Basin (NW Yugoslavia). Mem. Soc. Geol. It., (Roma) 40 (1987): 313–320.
- BUSER, S. & OGORELEC, B. 2006: Pelagične jurske plasti na Kobli. In: REŽUN, B., ERŽEN, U., PETRIČ, M. & GANTAR, I. (eds): Zbornik povzetkov, 2. Slovenski geološki kongres (Idrija): 42.
- COUSIN, M. 1973 : Le sillon slovene: les formations triasiques, jurassiques et néocomiennes au Nord-Est de Tolmin (Slovénie occidentale, Alpes méridionales) et leurs affinités dinariques. B.S.G.F., (Paris) 7/15, 3–4: 327–339.
- ČRNE, A. E., ŠMUC, A. & SKABERNE, D. 2007: Jurassic neptunian dikes at Mt Mangart (Julian Alps, NW Slovenia). Facies 53: 249–265.
- GORIČAN, Š., ŠMUC, A. & BAUMGARTNER, P.O. 2003: Toarcian Radiolaria from Mt. Mangart (Slovenian-Italian border) and their paleoecological implications. Marine Micropaleontology 932: 1–27.

- GORIČAN, Š., ROŽIČ, B. & PAVŠIČ, J. 2006: Datacije jurskih radiolarijskih rožencev Tolminskega pokrova. In: REŽUN, B., ERŽEN, U., PETRIČ, M. & GANTAR, I. (eds): Zbornik povzetkov (book of abstracts). 2. Slovenian Geological Congress (Idrija): 46–47.
- KOSSMAT, F. 1914: Geologie des Wocheiner Tunnels und der südlichen Anschlusslinie. Denkschriften d. k. Akademie der Wissenschaften, Bd. (Wien) 82: 41–142, 8 Taf.
- RADOIČIĆ, R. 1977: Tolmin, Profil Kobla – Paleontološki sadržaj i starost. Poročilo za OGK, list Tolmin 1 : 100.000, 6 p., Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- PLACER, L. 1999: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija* (Ljubljana) 41: 223–255.
- ROŽIČ, B. 2005: Stratigrafski razvoj jure v zahodnem delu Slovenskega bazena. *Geološki zbornik* (Ljubljana) 18: 107–111.
- ROŽIČ, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2007: Zgornjetriasni apnenčevi razvoji Slovenskega bazena na Kobli in Slatniku. *Geološki zbornik* (Ljubljana) 19: 96–99.
- ROŽIČ, B. 2008: Upper Triassic and Lower Jurassic limestones from Mt Kobla in the northern Tolmin Basin: tectonically repeated or continuous succession? [Zgornje triasni in spodnje jurski apneneci na Kobli v severnem Tolminskem bazenu: tektonsko ponovljeno ali zvezno zaporedje] RMZ-mater. geoviron. (Ljubljana) 55/ 3: 345–362.
- ROŽIČ, B. (v tisku): Perbla and Tolmin formations: revised Toarcian to Tithonian stratigraphy of the Tolmin Basin (NW Slovenia) and regional correlations. *Bull. Soc. Géol. France*.
- ROŽIČ, B. & POPIT, T. 2006: Resedimented Limestones in Middle and Upper Jurassic Succession of the Slovenian Basin. *Geologija* (Ljubljana) 49/2: 219–234.
- ROŽIČ, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & ŠMUC, A. (v tisku): Late Triassic sedimentary evolution of Slovenian Basin (eastern Southern Alps): description and correlation of the Slatnik Formation. *Facies*.
- ŠMUC, A. 2005: Jurassic and Cretaceous Stratigraphy and Sedimentary Evolution of the Julian Alps, NW Slovenia. Založba ZRC (Ljubljana), 98 pp.
- ŠMUC, A. & GORIČAN, Š. 2005: Jurassic sedimentary evolution of a carbonate platform into a deep-water basin, Mt. Mangart (Slovenian-Italian border). *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 111: 45–70.
- ŠMUC, A. & ROŽIČ, B. (v tisku): Tectonic geomorphology of the Triglav Lakes Valley (easternmost Southern Alps, NW Slovenia). *Geomorphology* (Amsterdam).

Lower Oligocene non-geniculate coralline red algal (Corallinales, Rhodophyta) assemblage from Poljšica pri Podnartu (Upper Carniola, Slovenia)

Spodnjeoligocenska združba nečlenjenih koralinej (Corallinales, Rhodophyta) iz Poljšice pri Podnartu

Luka GALE

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana, luka.gale@geo-zs.si

Key words: coralline red algae, Lower Oligocene, Gornji Grad beds, palaeoecology, Podnart, Slovenia
Ključne besede: koralineje, spodnji oligocen, gornjegrajske plasti, paleoekologija, Podnart, Slovenija

Abstract

The Lower Oligocene Gornji Grad beds from Poljšica pri Podnartu consist of marly limestone, mudstone, several layers of limestones and two layers of sandstones, and were deposited on a mixed carbonate-siliciclastic ramp. Especially the limestones contain rich fossil fauna and non-geniculate coralline red algae. These were systematically collected from four horizons and researched in thin sections under an optical microscope. Genera *Lithoporella*, *Neogoniolithon*, *Spongites*, *Lithothamnion*, *Mesophyllum* and *Spongites* were recognized. Surface area for each genus was calculated and the differences in the coralline assemblages in the four horizons were analysed. The corallines originate from two source areas: sandy-muddy bottom of a shallow marine environment, and small coral bioherms with its encrusters.

Izvleček

Gornjegrajske plasti pri Poljšici pri Podnartu so se odlagale tekom spodnjega oligocena na karbonatno-siliciklastični rampi. Sestavlja jih zaporedje laporastega apnenca, muljevca, apnenca in peščenjaka. Posebno plasti apnenca so izredno bogate s fosili, med katerimi so tudi nečlenjene rdeče alge reda Corallinales (koralineje). Te so bile sistematično vzorčevane v štirih horizontih. S pomočjo optičnega mikroskopa je bilo določenih šest rodov: *Lithoporella*, *Neogoniolithon*, *Spongites*, *Lithothamnion*, *Mesophyllum* in *Spongites*. Razmerje med posameznimi rodovi se v profilu spreminja. Prepoznani sta bili dve izvorni območji koralinej: peščeno-muljasto plitvo morsko dno in manjše koralne bioherme, kjer koralineje nastopajo kot epifitski organizmi.

Introduction

The westernmost outcrops of the Lower Oligocene Gornji Grad beds (informal lithostratigraphic unit) in Slovenia can be found near Bohinj (HERLEC, 1985), from where minor bodies of limited size extend further to the east (GRAD & FERJANČIČ, 1976; MIOČ, 1978, 1983; BUSER, 1979; PREMUR, 1983; BUSER, 1986; JURKOVŠEK, 1987). Especially known for its rich fossil content are beds at Poljšica pri Podnartu (Upper Carniola) and in the Gornji Grad area (Styria). Deposition of the Gornji Grad beds corresponds to a gradual tectonic subsidence of the area, as well as to a long term eustatic sea-level rise (RÖGL, 1998; JELEN et al., 1998; NEBELSICK et al., 2000; SCHMIEDL et al., 2002).

HEMLEBEN (1964) divided Oligocene beds in the Gornji Grad area into four units:

Basal unit (1) consists of conglomerates, mudstones and sandstones, deposited in the braided

river (BRUCH, 1998) or in the deltaic environment (SCHMIEDL et al., 2002). Scherbacher (NEBELSICK et al., 2000) determined Late Eocene to Early Oligocene age of these strata. The thickness of the Basal unit is between few to 400 m (HEMLEBEN, 1964; NEBELSICK et al., 2000). They discordantly overlie rocks of Triassic age (HEMLEBEN, 1964).

Upon Basal unit or directly upon Eocene or Triassic basement transgressively lie the Gornji Grad beds (2), a variable stack of marly and sandy limestones, limestones, marlstones and mudstones. The whole succession is 5-30 m thick (HEMLEBEN, 1964). DROBNE et al. (1985) have proven basal Oligocene age of these beds. Detailed microfacies analysis and palaeoenvironmental researches for these beds have recently been made for the Gornji Grad area by NEBELSICK et al. (2000), SCHMIEDL et al. (2002) and NEBELSICK et al. (2005). BASSI and NEBELSICK (2000) and BASSI et al. (2000) have described several genera and species of red and green algae.

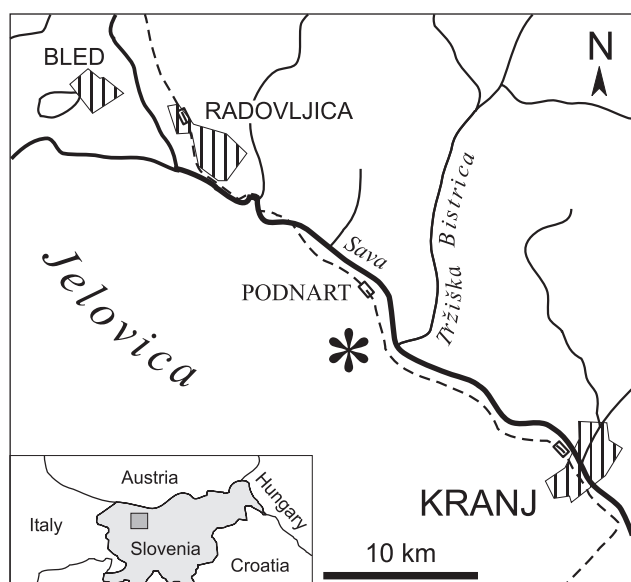


Fig. 1. Location of investigated area. Asterisk marks the position of Poljšica pri Podnartu.

Sl. 1. Položaj obravnavanega ozemlja. Lega Poljšice pri Podnartu je označena z zvezdico.

The Gornji Grad beds are followed by a 170–270 m (HEMLEBEN, 1964) thick unit of marine clay (Tegel unit) (3) of the Oligocene age (CIMERMAN, 1967; PAVŠIČ, 1983, 1985; Herlec, 1985; BRICL & PAVŠIČ, 1991). Transition between the Gornji Grad beds and the Tegel unit is gradual or sudden (NEBELSICK et al., 2000).

Finally, 800–1000 m thick sequence, consisting of silty marls and tuffites of the Late Oligocene to Early Miocene age of the vulcanoclastic Tuffite unit (4) follows (NEBELSICK et al., 2000).

The succession of just described units, with the exception of the Tuffite unit, can also be recognized at Poljšica pri Podnartu (Fig. 1). First scientific researches of these beds were carried out in the 19th century (MORLOT, 1850; LIPOLD, 1857; FUCHS, 1874; KINKELIN, 1890; OPPENHEIM, 1896). These early researches focused on macrofossils and the question of the strata's age. Micropaleontological researches have later been made (among others) by PAPP (1959), PAVLOVEC (1961), CIMERMAN (1967, 1969), PAVŠIČ (1983, 1985) and BRICL and PAVŠIČ (1991). Some of the corals from this locality were also mentioned by BARTA-CALMUS (1973) and some recent reports on macrofossils have been made especially by MIKUŽ (1999, 2002, 2006a, 2006b).

During the years 2006 and 2008, research on non-geniculate coralline red algae (Rhodophyta, Corallinales) from the Gornji Grad beds from Poljšica pri Podnartu was done by the author. Corallines are quite abundant at this locality, but until now more attention was being paid to the fossil algal assemblage from the Gornji Grad area (BASSI & NEBELSICK, 2000; BASSI et al., 2000).

This paper summarizes the author's research from Poljšica and deals with: (1) the systematic description and identification of non-geniculate coralline red algae from Poljšica pri Podnartu and (2) the analysis of the coralline red algal as-

semblage in the section, with focus on the palaeoenvironmental implications.

Material and methods

Preliminary research of the profile has shown that the corallines are notably present in five layers. Patchy outcrops allow limited sampling area, so the term "horizon" is used here rather than layer. Thus, four horizons (namely A, B, C and D) were sampled. Horizons A and C comprise practically the whole thickness of their layer, whereas the horizon B is limited to the lowermost meter, and the horizon D to the lower and middle part of its layer. The fifth layer with corallines lies immediately below the horizon C and is lithologically indistinguishable from it. Out of several kg of rock samples, 142 thin sections (59 for horizon A, 19 for B, 40 for C and 24 for D) of size 48x28 mm were made and investigated using optical microscope Jenapol Amplival pol U (Carl Zeiss). Photographs were taken with an Axiocam HRc digital camera mounted on an Axioplan 2 optical microscope. Coralline genera were determined according to BRAGA et al. (1993), BRAGA and AGUIRRE (1995), BASSI (1995) and RASSER and PILLER (1999). Dunham's textural classification was used for the general description of limestones (DUNHAM, 1962). Each thallus was measured and surface area for every genus was calculated, rather than using point counter, as it was necessary to distinguish between algal genera in order to determine the composition of algal assemblage for each horizon. Indeterminable thalli were also recorded.

In data interpretation, relative proportions for each horizon were used, in order to avoid differences in investigated surface areas. Biasing, that could result from the differences in thalli forms, as well as from the differences in number of thin sections, has been checked for by calculating probability of presence in thin section for each genus (number of thin sections of a certain horizon with genus X, divided by a total number of thin sections of the same horizon).

All the thin sections, along with rock samples, are stored at the Department for Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, under inventory number 6987.

Lithostratigraphic column

Composite lithostratigraphic column of the Paleogene beds from Poljšica pri Podnartu was constructed from five partly uncovered profiles. These could be linked laterally with the use of morphologically more pronounced and marker layers.

Five main microfacies types can be recognized within the limestones:

Coral fragments – miliolid microfacies is characterized by the dominance of coral fragments (up to 50 %), which are most often heavily encrusted by coralline algae, and large number of miliolids,

though these contribute little to the whole rock (up to 10 %), because of their relatively small size. Coralline algal debris, other foraminifera (especially textulariids and encrusting foraminifera), ostracods, mollusc, rare echinoderm and serpulid fragments are subordinate components. Other fossils (sponge spicules, bryozoans, genicula of green and red algae) are rare. Texture is rudstone/floatstone with packstone matrix.

Coral fragments – miliolid – coralline algal microfacies is similar, except that the coralline algae join the main constituents. They are present as smaller branched forms or fragments of variable sizes.

Coral fragments – coralline algal microfacies is characterized by coral fragments, often encrusted with coralline algae, and whole or fragmented thalli of coralline red algae. Other fossils are rare (1-2 miliolids per thin section, foraminifera, serpulid, echinoderm and mollusc fragments, fish teeth, ostracods, bryozoans). Texture is rudstone/floatstone, with wackestone matrix.

Coralline algal microfacies is dominated by planar, several cm² large non-geniculate coralline red algae. This microfacies is quite rare, very limited in range and found next to the coral fragments – coralline algal microfacies (though the opposite is not true). Texture is bindstone. Other fossils are present as debris.

Coral fragments microfacies is floatstone/rudstone with wackestone or mudstone matrix. Almost solely coral fragments are present, encrusted by coralline red algae or rarely by bryozoans. Other fossils (miliolids, ostracods, coralline algal,

mollusc and serpulid fragments, sponge spicules) are very rare.

Lithostratigraphic column (Fig. 2) begins with weakly lithified mud-supported conglomerates and pebbly-sandy mud of the so-called Basal unit (HEMLEBEN, 1964; BRUCH, 1998; NEBELSICK et al., 2000; SCHMIEDL et al., 2002). Pebbles are well rounded and well sorted. They mostly derive from the Middle Triassic (Ladinian) basement. Some meters wide scours are common, some with graded bedding. No fossils were found at Poljšica. The thickness of the Basal unit at Poljšica can be estimated to over 200 m. It lies discordantly over the Ladinian basement (GRAD & FERJANČIČ, 1976; RAMOVŠ, 1983).

The Basal unit is overlain by an 18 m thick complex of shallow marine sedimentary rocks, named the Gornji Grad beds (HEMLEBEN, 1964; BRUCH, 1998; NEBELSICK et al., 2000; SCHMIEDL et al., 2002). Their slow transgression is marked by a pebbly floatstone/rudstone. Several cm long fragments of a coral *Stylophora cf. conferta* (BARTA-CALMUS, 1973) parallel to the bedding are characteristic. Many fossil molluscs are present.

Sandy mud and mudstone follow, with gradual bedding from pebbly silt to clay, and then several layers of limestones, which are especially rich in fossils. The first is marly limestone, floatstone/rudstone with molluscs, fragmented plant remains, nummulitids and ichnofossils (mostly vertical burrowing and ichnogenus *Teredo*). Some rare corallines were found in the uppermost part of this layer. Floatstone/rudstone with packstone matrix that follows contains 10.1 % of corallines.

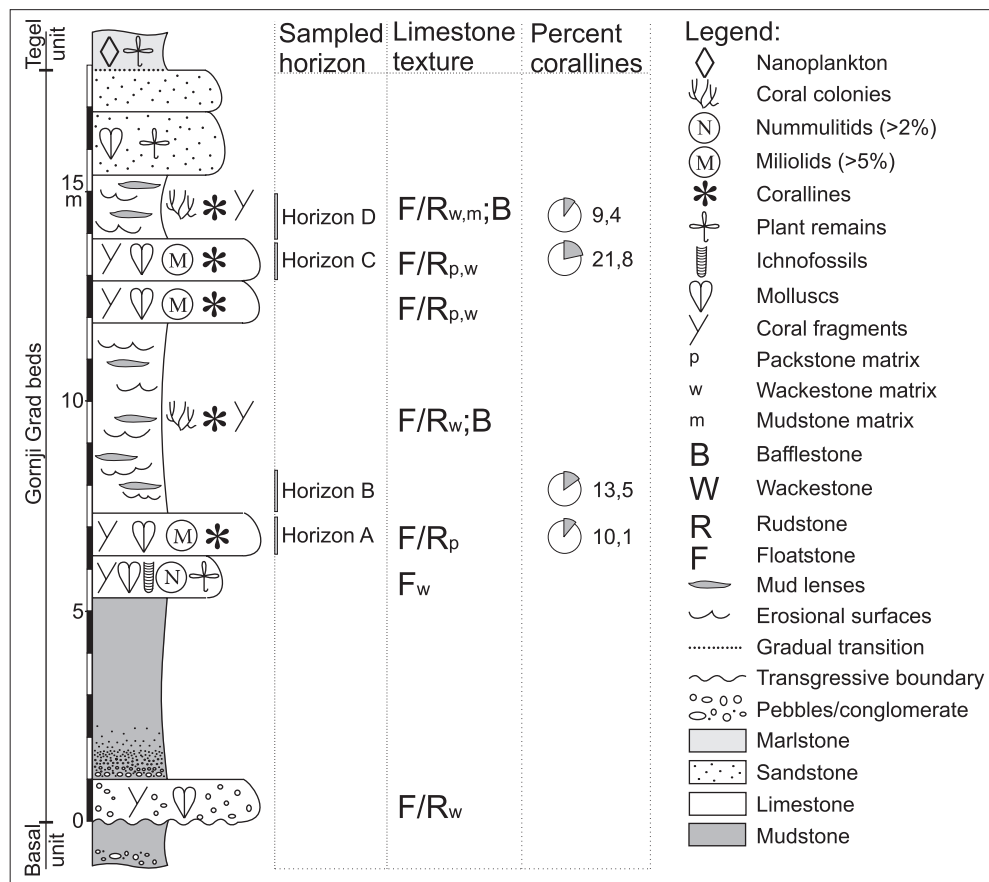


Fig. 2. Composite lithostratigraphic column of the Oligocene beds of Poljšica pri Podnartu.
Sl. 2. Kompozitni litostratigrafski stolpec oligocenskih plasti V Poljšici pri Podnartu.

Grains of quartz are abundant. They are fine grained, very well sorted but angular in shape.

Coral fragments – miliolid and coral fragments – miliolid – coralline algal microfacies are present. This layer was sampled as horizon A (Fig. 2).

Horizon B comprises the lower part of the next layer- floatstone/rudstone with wackestone matrix with many irregular internal erosional surfaces and lenses of sandy silt. Corals are very common in the lower part of this bed and bafflestone is somewhere present. Coralline algae (13.5 %) mostly encrust redeposited coral fragments (coral fragments – coralline algal microfacies) or are themselves fragmented. Number of quartz grains drops significantly.

Next two layers (the upper one sampled as horizon C) contain 21.8 % of non-geniculate corallines, which are apparently preserved in situ. Floatstone/rudstone with packstone and wackestone matrix is again rich in quartz grains, miliolids and molluscs. Ostracods, encrusting foraminifera and echinoderms are also present. Coral fragments – miliolids - coralline algal (though with somewhat less miliolids than in the horizon A) and coralline algal microfacies prevail.

The last carbonate layer (horizon D) in the Gornji Grad beds is similar in appearance to horizon B (Pl. 1, Fig. 1), but has even less fossils. Corallines represent 9.4 % of the rock. Only coral fragments microfacies is present.

Gornji Grad beds end with fine grained muddy quartzly-lithic sandstone with plant fragments and poorly preserved bivalves, and middle grained quartzly-lithic sandstone without macro fossils. This sandstone gradually passes into marine marlstone or the Tegel unit (HEMLEBEN, 1964; BRUCH, 1998; NEBELSICK et al., 2000; SCHMIEDL et al., 2002). The Tegel unit here contains nanoplankton of the Lower Oligocene NP 23 biozone (PAVŠIČ, 1983, 1985; BRICL & PAVŠIČ, 1991). Foraminifera are also very common (CIMERMAN, 1967) and some plant remains can be found (CIMERMAN, pers. com.).

Non-geniculate coralline red algae

Non-geniculate coralline red algae in the sampled horizons (Fig. 2) vary in size and form, as well as in proportions of the genera. Corallines of the horizon A are the smallest, measuring typically less than 100 μm . They are present as fragments, small arborescent forms, encrusters or rarely as free growing planar plants. In the horizon B they mostly encrust coral fragments or are themselves fragmented. Non-geniculate corallines of the horizon C are preserved as several cm^2 large, free growing crusts parallel to the bedding plane. They are also accompanied by fragments, arborescent thalli and warty to lumpy overgrowths of coral fragments. Corallines of the horizon D are present only as thin encrusters of fragmented corals and clearly redeposited thalli (Pl. 1, Fig. 4). Thalli in all horizons are best ascribed to maërl – “small thalli, especially those that are twig-like” (FOSTER, 2001, 659).

Genera *Lithoporella* and *Neogoniolithon* are present in encrusting, layered or foliose forms. *Spongites*, *Lithothamnion* and *Mesophyllum* are encrusting to fruticose, and *Sporolithon* warty to fruticose. It should be noted here that fruticose forms are in thin sections indistinguishable from arborescent, so the latter are certainly also present.

Encrustations of coral fragments are monospecific (*Lithothamnion* and *Spongites* in the horizon D) or multispecific (*Lithoporella*, *Spongites*, *Lithothamnion* and *Mesophyllum* in horizons A, C and to some extent in B). Competition with encrusting foraminifera for space/substrate is common. *Mesophyllum* and *Neogoniolithon* often form planar thalli, which were growing attached to the sea floor with cell adhesion (Pl. 1, Fig. 2) (WOELKERLING, 1988). *Lithothamnion* and *Spongites* are also common in free growing, unattached arborescent forms.

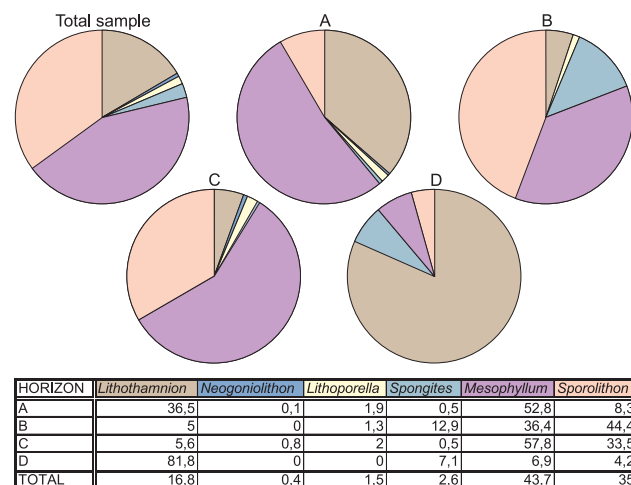


Fig. 3. Ratios of the non-geniculate coralline red algal genera in the sampled horizons and in the total sample.

Sl. 3. Razmerja med rodovi nečlenjenih koralinej v vzorčevanih horizontih in skupnem vzorcu.

Coralline assemblage markedly differs among the horizons, as is shown in Fig. 3. The most common genus is *Mesophyllum*, followed by *Sporolithon* and *Lithothamnion*. *Spongites*, *Lithoporella* and *Neogoniolithon* represent minor part in the assemblage. As these proportions are based on measurements of the surface area, they must be considered with great caution, because great differences may arise solely because of the different morphologies of the thalli – most evident example is genus *Lithoporella*, which has thin, often monolayered thallus. Thus it was necessary to calculate the probability for each genus to appear in a thin section of a certain horizon. It turns out that *Lithoporella* is indeed very common (43, 47 and 41 % probability), but the differences in probabilities are insignificant enough and its share is approximated to be constant and thus not important in later interpretation. Probabilities of the other genera match very well with the surface proportions, which prove the validity of this data.

Proportions of the indeterminable thalli (thalli which do not contain characteristic structures –

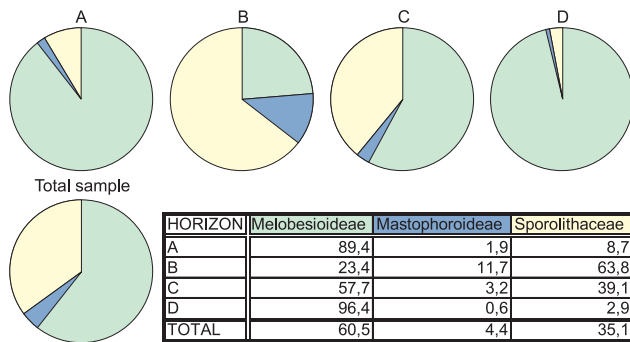


Fig. 4. Ratios of present subfamilies of the non-geniculate corallines in the sampled horizons and in the total sample.

Sl. 4. Razmerja med poddružinami nečlenjenih koralinej v vzorčevanih horizontih in v skupnem vzorcu.

mostly sterile ones, or which are too fragmented) also vary: 43.7 % of the thalli in the horizon A, 22.3 % in B, 22.3 % in C and 30.9 % in the horizon D. Proportions of fragmented thalli are believed to be some sort of auxiliary indicator for the degree of redeposition, which is also connected to the water energy and the distance of the transport.

Differences between the horizons can be also seen on the subfamily level (Fig. 4). *Lithoporella*, *Neogoniolithon* and *Spongites* are assigned to the subfamily Mastophoroideae (family Corallinaceae), *Lithothamnion* and *Mesophyllum* to the subfamily Melobesioideae (family Hapalidiaceae) and *Spongites* to the family Sporolithaceae (WOELKERLING, 1988; VERHEIJ, 1993; HARVEY et al., 2003). The similarity of the horizon C to the total sample should be noted.

Discussion

The Paleogene beds from Poljšica pri Podnartu were deposited during a long term eustatic sea level rise, accompanied with a tectonic subsidence of the area, which resulted in the formation of the Slovenian Paleogene Basin, which is a part of the Central Paratethys (RÖGL, 1998; NEBELSICK et al., 2000; SCHMIEDL et al., 2002). This is why we can observe transition from the proximal (Basal unit) to more and more distal environment (Tegel unit) (SCHMIEDL et al., 2002). Similar development can be found in the Northern Slovenia to the west as far as Bohinj (HERLEC, 1985) and to the east (e.g. HEMLEBEN, 1964; BASSI & NEBELSICK, 2000).

The Gornji Grad beds with its diverse and abundant marine fossil fauna in sandy and marly limestones indicate mesotrophic environment with enough oxygen in the water column and large terrigenous input. The later probably hindered the growth of a larger and uniform coral ridge (SCHMIEDL et al., 2002) and only small coral bioherms can thus be found. Large terrigenous input and large amount of organic matter were also the cause for reducing oxygen level below the sediment-water interface. Coralline red algae, molluscs, benthic foraminifera and corals were the main carbonate producers.

The Gornji Grad beds are a heterogenous unit and the lithological changes through the lithos-

trigraphic column are here interpreted as facies changes, which could be caused by several reasons (changes in sea currents, sea-bottom configuration, amount of terrigenous input, shifting of a river mouth etc.) and not necessarily by the deepening of the sea.

Coral fragments – miliolids and coral fragments – miliolids – coralline algal microfacies of the horizon A probably correspond to the foraminiferal – coralline algal facies of BASSI and NEBELSICK (2000) and coralline algal debris facies (NEBELSICK et al., 2005) from the Gornji Grad area. NEBELSICK et al. (2005) assigned this facies to the inner to middle shelf environment. Nearshore environment is also championed by very well sorted, but angular grains of quartz, the highest percentage of fragmented corallines and the packstone matrix.

Layer with the horizon C has somewhat less miliolids and quartz grains. Wackestone matrix is also common, which indicates quieter environment. This is also supported by the lowest degree of fragmentation and corallines preserved in situ. Coralline red algae are also the most abundant in this horizon. This layer was deposited offshore, where normal marine conditions prevailed, though the influence of the hinterland was still strong. The presence of coralline algal microfacies (coralline algal facies *confer* BASSI and NEBELSICK (2000) and crustose coralline algal facies *confer* NEBELSICK et al. (2005)) also points to the middle shelf environment (NEBELSICK et al., 2005).

Layers with the horizons B and D were deposited under strong influence of storm waves, in the middle part of the mixed carbonate-siliciclastic ramp. Coral facies was also recognized by BASSI and NEBELSICK (2000) and NEBELSICK et al. (2005). The latter assign it to the middle shelf, but direct comparisons must not be made, because here observed corals obviously underwent some transport.

Coralline red algae were mostly redeposited and their assemblages must be regarded cautiously. In situ corallines of the horizon C represent one source area from which thalli were shed into other parts of the ramp. Corallines of the horizons A, B and D are not preserved in situ, yet they give some information about the second source area. This is best viewed in the horizon D, where almost solely coral fragments overgrown with corallines can be found. The second source areas were small coral bioherms, where fragile ramiform corals were being destroyed during periods of agitated water (storms) and their fragments redeposited, along with all the epiphytic organisms they hosted. Out of 12-16 kg of isolated, several cm large coral fragments collected from the weathered horizon B, nearly half were encrusted, and never on the surface of breakage, which proves that corals were encrusted already during their growth.

Coralline red algae assemblage in the first source area consists of all six genera and the diversity is the highest. This can be explained by various types of substrate available (NEBELSICK et al., 2000). *Mesophyllum* and *Neogoniolithon* were

able to attach on the sandy-muddy bottom and develop extensive thalli. *Sporolithon* is also often present in free growing arborescent forms, while *Lithothamnion* is quite rare (it also has low probability for this horizon). The second source area (coral bioherms) contains less diverse assemblage, where *Lithothamnion* prevails. *Mesophyllum* is rare and *Neogoniolithon* even absent, because of the lack of appropriate substrate. Interestingly, *Lithoporella* is altogether absent here. Possible explanation could be the intraspecific competition with *Lithothamnion*, which was evidently more successful as the first encruster. Coral particles in other horizons contain richer assemblages, probably due to several years of growth and more mature community, as several generations of the same genus, as well as several other genera are usually present (*Lithoporella* being among them). Coralline assemblages in the horizons A and B are a result of mixing of thalli from both (possibly even more) source areas. A small proportion of thalli probably grew in situ.

Non-geniculate corallines have, as most other groups of organisms, undergone notable changes in their development (AGUIRRE et al., 2000) and we must be careful in interpreting palaeoenvironment using observations of the modern flora. However, some implications will be given. In the Lower Oligocene melobesioids and lithophylloids/mastophoroids were prevailing over sporolithaceans (AGUIRRE et al., 2000) and their relationships are markedly different from the ones observed in the Gornji Grad beds, so some environmental control was evidently present. Melobesioids and sporolithaceans prevail in the horizon C and in the total sample. This situation can be seen in recent environments in deeper waters in lower altitudes. Mastophoroids are also present in the Gornji Grad beds and they tend to occupy shallower waters of lower altitudes (ADEY & MACINTYRE, 1973; AGUIRRE et al., 1993). However, deeper water genera can also occur in cryptic environment, such as shallow muddy water because of the large terrigenous input certainly was. Melobesioids are more abundant on the coral bioherms, which could be because of the clearer water further away from the shore. Warm subtropical or tropical waters were also championed by HERLEC (1989) and SCHMIEDL et al. (2002).

Conclusions

The Lower Oligocene Gornji Grad beds from Poljšica pri Podnartu were deposited in the inner and middle part of a carbonate-siliciclastic ramp in a mesotrophic marine environment with well-oxygenated water and substantial terrigenous input.

Limestones with non-geniculate coralline red algae were deposited in a high-energy nearshore environment, in a more distal and quieter normal marine environment, or under strong influence of storm waves.

Two source areas from which corallines were shed into other parts of the ramp are sandy-mud-

dy bottom and small coral bioherms with its epiphytic organisms. The first has higher coralline diversity and corallines were able to grow on a variety of substrates, forming also planar crusts on the sea floor. *Mesophyllum* and *Sporolithon* are the most prominent genera here. *Neogoniolithon* and *Lithoporella* are here more abundant than elsewhere. *Lithothamnion* and *Spongites* are rare. *Lithothamnion* prevails in the second source area, where limited diversity was observed. Lack of appropriate substrate strongly hindered the growth of the genus *Mesophyllum* and *Neogoniolithon* - the later is even totally absent, as well as *Lithoporella*, whose non-appearance could be related with *Lithothamnion* being a more successful primary encruster. *Spongites* is also quite abundant, while *Sporolithon* is rare.

Coralline assemblage on a subfamily level corresponds to the tropical or subtropical conditions in somewhat cryptic environment because of the large terrigenous input. In more distal environment with clearer water, melobesioids strongly prevail over sporolithaceans.

Systematic palaeontology

Research of coralline red algae in Slovenia scarcely has any history, and though many authors (for example KINKELIN, 1890; GRAD & FERJANČIĆ, 1976) mention them in their work, few have given them more consideration (ANIČIĆ & OGORELEC, 1996; GALE, 2006; OTONIČAR & CIMERMAN, 2006). Likewise, the potential of this group in palaeoenvironmental and sedimentological studies has been largely ignored. It has been only recently that BASSI et al. (2000) and BASSI and NEBELSICK (2000) have done some thorough study on the systematic palaeontology of corallines from the Gornji Grad area, where abundant corallines can be found in the Gornji Grad beds, where somewhat different sedimentological succession from the one at Poljšica is encountered.

Recent studies on fossil coralline red algae are focused on features that were believed for a long time to be too obscured by fossilization to be of any use (WRAY, 1977). Determination of fossil genera was thus based on the: (1) type and location of reproductive structures, (2) character of the hypothallium (part of the thallus where cell filaments are oriented more or less parallel to the substrate), (3) character of the perithallium (where cell filaments are perpendicular to the substrate), and (4) presence or absence of trichocytes (specialized, hair-producing cells, usually larger than adjacent vegetative cells and with thicker cell walls (WOELKERLING, 1988)) and their character (WRAY, 1977).

With improvements in the analytical techniques it became clear that, despite fossilization processes, it is sometimes still possible to observe many features that are used by biologists in distinguishing between recent species (BOSENCE, 1991; BRAGA et al., 1993), and type material of the fossil corallines is thus still under revision (BRAGA et al., 1993; BRAGA & AGUIRRE, 1995; AGUIRRE & BRAGA,

1998; RASSER & PILLER, 1999; BASSI et al., 2000; VANNUCCI et al., 2000; QUARANTA et al., 2007).

Modern descriptions emphasise filamentous construction of the thallus, so the terms hypothallium and perithallium are no longer used. Thallus can have dorsiventrally (dorsal and ventral side are distinct from each other) or radially arranged filaments. Genus *Tenarea* can be isobilateral. In dorsiventral arrangement monomerous and dimerous constructions are further distinguished. Monomerous thalli consist of one group of filaments (Fig. 5 A, B). The lower part is subparallel to the thallus surface and is called the core. The core can be coaxial (cells of adjacent filaments are arranged in tyres) or non-coaxial (plumose). Filaments of the core region curve outwards to form the periphery, where the filaments are more or less perpendicular to the thallus surface. Dimerous thalli are constructed from two groups of filaments that are perpendicular to each other (Fig. 5 C). The ventral group is called the primigenous layer, whilst the dorsal filaments form the postigenous layer (WOELKERLING, 1988). Successive cells of the same filament are connected by primary pores and the cells of adjacent filaments can be linked by secondary pores or by more extensive

cell fusion (Fig. 5 D) (WRAY, 1977; WOELKERLING, 1988). Epithallial layer covers the surface of the thallus (Fig. 5 D, E) (WRAY, 1977; WOELKERLING, 1988).

Very important for the coralline genera determination are their reproductive structures (sporangia), developed inside sporangial chambers, which are most often grouped in one larger chamber, called conceptacle. Corallines can reproduce sexually or asexually. Sexual conceptacles are always uniporate (i.e. they have only one pore in the conceptacle roof) (Fig. 5 I). Asexual (tetra/bisporangial) conceptacles can be uniporate (Fig. 5 F) or multiporate (Fig. 5 G), and are considered more common in fossil forms. Sporangial chambers of the family Sporolithaceae remained calcified and separated from each other, and are grouped in *sorus* (plural *sori*) (Fig. 5 H). They are separated by calcified filaments termed paraphyses (WOELKERLING, 1988; RASSER & PILLER, 1999; VANNUCCI et al. 2000).

Coralline red algae from the limestones of the Gornji Grad beds from Poljšica pri Podnartu have been assigned to six genera, which were also recognized in the Gornji Grad area (BASSI & NEBELSICK, 2000). These are: *Lithoporella* (Foslie) Foslie

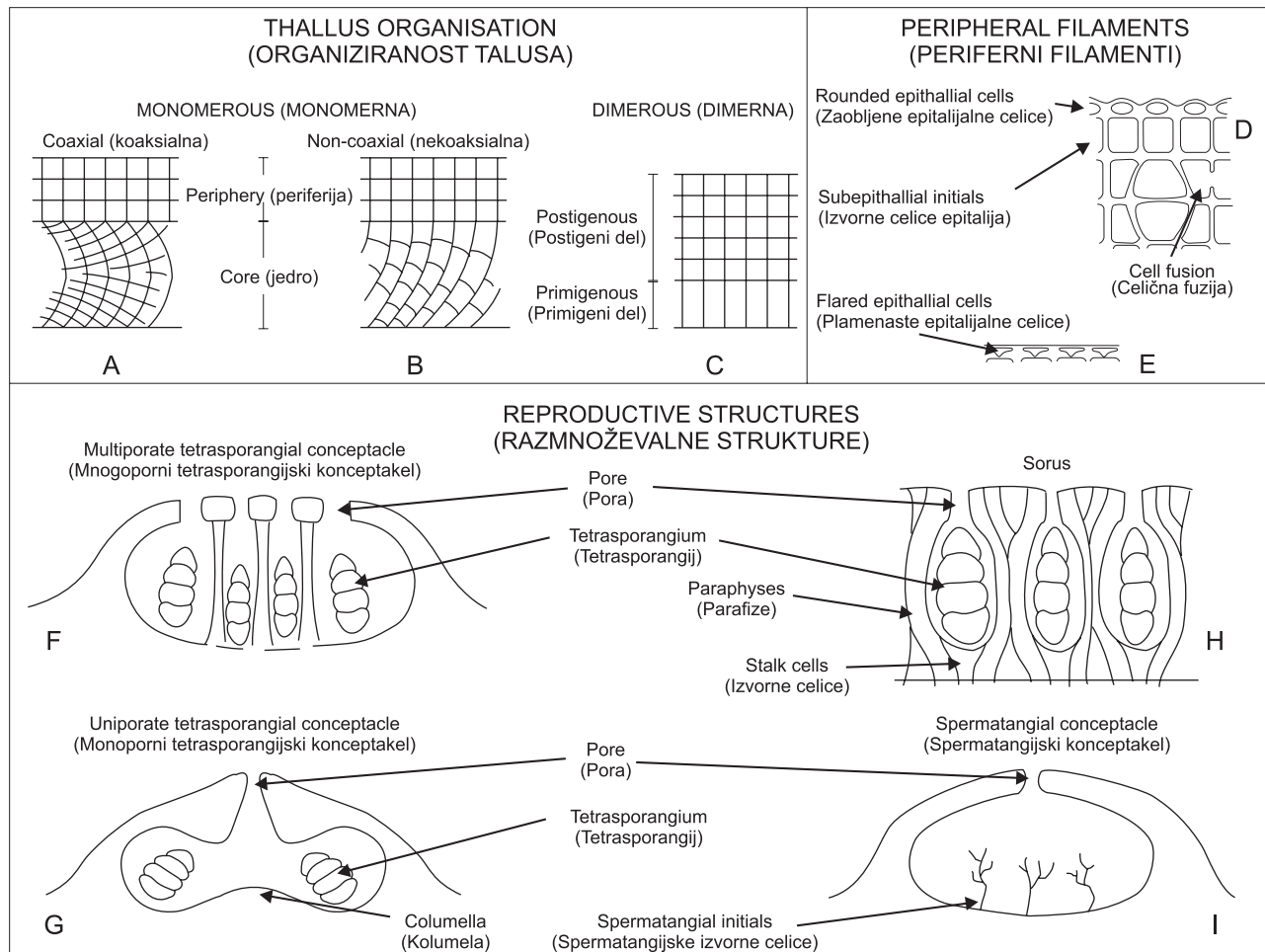


Fig. 5. Some vegetative and reproductive structures of the coralline red algae. A–C: organization of the thallus filaments and the subdivisions of the thallus; D: details of the peripheral part of the monomerous thallus; E: flared epithallial cells; F–I asexual and sexual reproductive structures. Modified after RASSER and PILLER (1999).

Sl. 5. Nekatere vegetativne in razmnoževalne strukture koralinej. A–C: organizacija celičnih filamentov in poimenovanje različnih delov talusa; D: detajli perifernega dela monomernih talusov; E: plamenaste epitalijalne celice; F–I: nespolne in spolne razmnoževalne strukture. Prirejeno po RASSER in PILLER (1999).

1909, *Neogoniolithon* Setchell & Mason 1943, *Spongites* Kützing 1841, *Lithothamnion* Heydrich 1897 nom. cons., *Mesophyllum* Lemoine 1928 and *Sporolithon* Heydrich 1897. Some differences from the two locations have been observed on the species level (GALE, in preparation).

Genera can be distinguished on the basis of observations of the above mentioned vegetative and reproductive structures. Only brief descriptions of these genera are given here, as the determination on the species level exceeds the scope of this paper. Taxonomic subdivision of the order Corallinales follows AGUIRRE et al. (2000) and HARVEY et al. (2003). Because of the ongoing revision of the type material for many coralline species, open nomenclature had to be adopted for some.

Division **Rhodophyta** Wettstein, 1901
 Class **Rhodophyceae** Rabenhorst, 1863
 Order **Corallinales** Silva & Johansen, 1986
 Family **Corallinaceae** Lamouroux, 1812
 Subfamily **Mastophoroideae** Setchell, 1943

Description: Thallus is non-geniculate; some cells of adjacent filaments are connected by cell fusion. Sporangia develop in uniporate conceptacles (WOELKERLING, 1988).

Genus *Lithoporella* (Foslie) Foslie, 1909
 Pl. 1, Fig. 7; Pl. 2, Fig. 3

Description: Plants are non-geniculate and grow freely or attached to the surface. Thallus can be encrusting to foliose, usually without vertical protuberances. Construction of the thallus is dorsiventral and dimerous. Primigenous filaments consist of palisade cells. Postigenous filaments are rarely developed, usually only around conceptacles, which are uniporate and without columella. Conceptacle roof is several cell layers thick. Cell fusion is common and clearly visible (WOELKERLING, 1988).

Remarks: One species (*Lithoporella melobesoides* (Foslie) Foslie 1909) of this genus was recognized from Poljšica pri Podnartu. *L. melobesoides* is a well known fossil and recent species with global distribution (WOELKERLING, 1988; STUDENCKI, 1988; BASSI, 1995, 1998; RASSER & PILLER, 1999; AGUIRRE et al., 2000; BASSI & NEBELSICK, 2000; RASSER & NEBELSICK, 2003; PAYRI & CABIOCH, 2004).

Genus *Neogoniolithon* Setchell & Mason, 1943
 Pl. 1, Fig. 2

Description: Plants are non-geniculate, epigenous or growing freely. Thallus is encrusting to fruticose, organization of cell filaments dorsiventral and monomerous. Core is coaxial. Epithallial cells are rounded or flattened, but not flared. Asexual conceptacles are uniporate, with roof several cell layers thick. Cells are connected by cell fusion. Columella is sometimes present (WOELKERLING, 1988).

Remarks: Species *Neogoniolithon contii* (Mastorilli) Quaranta et al. 2007 is known from the

Upper Eocene of Austria (RASSER & PILLER, 1999) and Italy (BASSI, 1998), and from the Lower Oligocene of Slovenia (BASSI & NEBELSICK, 2000) and Italy (FRAVEGA & VANNUCCI, 1987).

Genus *Spongites* Kützing, 1841
 Pl. 1, Fig. 6

Description: Plants are non-geniculate, epigenous or unattached. Thalli are encrusting to fruticose, filaments dorsiventral and dimerous or monomerous. Cells of the primigenous layer are not palisade. Core is non-coaxial. Epithallial cells are rounded or flattened, but not flared. Some cells of adjacent filaments are connected by cell fusion. Asexual conceptacles are uniporate. Conceptacle roof is several cell layers thick. Columella can be present (WOELKERLING, 1988).

Remarks: *Spongites* sp., which was found at Poljšica, is also known from the Upper Eocene of Austria (RASSER & PILLER, 1999) and Lower Oligocene of Slovenia (BASSI & NEBELSICK, 2000).

Family **Hapalidiaceae** Harvey et al., 2003
 Subfamily **Melobesioideae** Bizzozero, 1885

Description: Thallus is non-geniculate. Some cells of adjacent filaments are connected by cell fusion. Asexual conceptacles are multiporate (WOELKERLING, 1988).

Genus *Lithothamnion* Heydrich, 1897 nom. cons.
 Pl. 1, Fig. 7; Pl. 2, Fig. 1

Description: Plants are non-geniculate, epigenous or unattached. They vary in shape from encrusting to fruticose. Thallus is dorsiventrally organized and monomerous, with non-coaxial core. Epithallial cells are flattened and flared. Cell fusion is present. Asexual conceptacles are multiporate and lack columella. Conceptacle roof is thick (WOELKERLING, 1988).

Remarks: Three species of this genus were found, known also from the Upper Eocene to Lower Miocene beds of Southern and Middle Europe, as well as from the Middle East (STUDENCKI, 1988; BASSI, 1995; BASSI & NEBELSICK, 2000).

Genus *Mesophyllum* Lemoine, 1928
 Pl. 1, Fig. 7; Pl. 2, Fig. 2, 4, 5

Description: Plants of this genus are non-geniculate, epigenous or unattached. Thallus is encrusting to fruticose. Organization of filaments is dorsiventral and monomerous, with coaxial core. Some conceptacles are connected by cell fusion. Asexual conceptacles are multiporate, with thick roof. Columella is absent (WOELKERLING, 1988).

Remarks: Three species of this genus were found at Poljšica. Two of them are already known from the Paleogene beds (both also from the Gornji Grad area (BASSI & NEBELSICK, 2000)), whilst the third could not be ascribed to any known species of this genus.

Family **Sporolithaceae** Verheij, 1993
(Subfamily **Sporolithoideae** Setchell, 1943)

Description: Non-geniculate, almost completely calcified thallus. Cells of adjacent filaments are connected also by cell fusion (RASSER & PILLER, 1999). Sporangia are grouped in sori (VANNUCCI et al., 2000).

Genus *Sporolithon* Heydrich, 1897
Pl. 1, Fig. 5, 6; Pl. 2, Fig. 7

Description: Plants are non-geniculate, epigenous or grow unattached. Thallus is encrusting to fruticose. Filaments are organized dorsiventrally and monomerous, with non-coaxial core. Epithallial cells are flattened and flared. Cell fusion is present. Sporangia are separated by calcified filaments – paraphyses (WOELKERLING, 1988). Sporangial chambers are grouped in sori (VANNUCCI et al., 2000).

Remarks: *Sporolithon* cf. *statiellense* (Airol-di) Vannucci et al. 2000 is also known from the Oligocene of Italy and Germany (VANNUCCI et al., 2000; RASSER & NEBELSICK, 2003). *Sporolithon* sp. 1 from the Upper Eocene of Austria (RASSER & PILLER, 1999) is now known also from Poljšica pri Podnartu.

Acknowledgements

Sincere thanks go to prof. Dr. Jernej Pavšič from the University of Ljubljana, whose mentorship guided me through this research. Miran Udovč (University of Ljubljana) provided me with great technical support and mag. Franc Cimerman was more than willing to share his knowledge and experiences with me. I also thank the latter for his careful revision, which has significantly improved this paper.

References

- ADEY, W. H. & MACINTYRE, I. G. 1973: Crustose Coralline Algae: A Re-evaluation in the Geological Sciences. *Geol. Soc. Am. Bull.* (Boulder) 84: 883–904.
- AGUIRRE, J. & BRAGA, J. C. 1998: Redescription of Lemoine's (1939) types of coralline algal species from Algeria. *Palaeontology* (London) 41/3: 489–507.
- AGUIRRE, J., RIDING, R. & BRAGA, J. C. 2000: Diversity of coralline red algae: origination and extinction patterns from the Early Cretaceous to the Pleistocene. *Paleobiology* (Washington) 26/4: 651–667.
- ANIČIĆ, B. & OGORELEC, B. 1996: Badenijski rodolit na Kozjanskem. [Badenian rhodolith in Kozjansko]. *Geologija* (Ljubljana) 37–38: 225–249.
- BARTA-CALMUS, S. 1973: Revision de collections de madreporaires du Nummulitique du sud-est de la France, de l'Italie et de la Yougoslavie septentrionales. Unpublished Ph.D. Thesis (Paris): 1–694.
- BASSI, D. 1995: Crustose coralline algal pavements from Late Eocene Colli Berici of northern Italy. *Riv. It. Paleont. Strat.* (Milano) 101/1: 81–92.
- BASSI, D. 1998: Coralline Red Algae (Corallinales, Rhodophyta) from the Upper Eocene Calcare di Nago (Lake Garda, Northern Italy). *Ann. Univ. Ferrara, Sci. Terra* (Ferrara) 7: 5–51.
- BASSI, D. & NEBELSICK, J. H. 2000: Calcareous algae from the Lower Oligocene Gornji Grad Beds of northern Slovenia. *Riv. It. Paleont. Strat.* (Milano) 106/1: 99–122.
- BASSI, D., WOELKERLING, W. J. & NEBELSICK, J. H. 2000: Taxonomic and biostratigraphical reassessments of *Subterraneanophyllum* Elliott (Corallinales, Rhodophyta). *Palaeontology* (London) 43/3: 405–425.
- BOSENCE, D. W. J. 1991: Coralline Algae: Mineralization, Taxonomy, and Palaeoecology. In: Riding, R. (ed.) *Calcareous Algae and Stromatolites*. Springer Verlag (Berlin): 98–113.
- BRAGA, J. C. & AGUIRRE, J. 1995: Taxonomy of fossil coralline algal species: Neogene Lithophylloideae (Rhodophyta, Corallinales) from the southern Spain. *Rev. Palaeobot. Palynol.* (Amsterdam) 86: 265–285.
- BRAGA, J. C., BOSENCE, D. W. J. & STENECK, R. S. 1993: New anatomical characters in fossil coralline algae and their taxonomic implications. *Palaeontology* (London) 36/3: 535–547.
- BRICL, B. & PAVŠIČ, J. 1991: Pogostnost nanoplanktona v oligocenski morski glini v Sloveniji. *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 32: 154–173.
- BRUCH, A. A. 1998: Palynologische Untersuchungen in Oligocän Sloweniens – Paläo-Umwelt und Paläoklima in Ostalpenraum. *Tübinger Mikropaläontol. Mitt.* (Tübingen) 18: 1–193.
- BUSER, S. 1979: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Celje. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–72.
- BUSER, S. 1986: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač listov Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–103.
- CIMERMAN, F. 1967: Oligocene beds in upper Carniola (Slovenia, NW Yugoslavia) and their foraminiferal fauna. *Bull. Sci., Sect. A, Sc. Nat., Tech. Med.* (Zagreb) 9–10: 251–253.
- CIMERMAN, F. 1969: *Halkyardia maxima* n. sp. (Middle Oligocene) and *Halkyardia minima* (Liebus) (Middle Eocene). *Rocz. Pol. Tow. Geol. Ann. Soc. Geol. Pol.* (Krakow) 39/1–3: 295–305.
- DROBNE, K., PAVLOVEC, R., DROBNE, F., CIMERMAN, F. & ŠIKIČ, L. 1985: Nekateri velike foraminifere iz zgornjeeocenskih in bazalnih oligocenskih skladov v severni Sloveniji. *Geol. glasnik* (Sarajevo) 28: 77–86.
- DUNHAM, R. J. 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Han, W. E. (ed.) *Classification of carbonate rocks. A symposium*. Amer. Ass. Petrol. Geol. Mem. (Tulsa) 1: 108–171.
- FOSTER, M. S. 2001: Rhodoliths: between rocks and soft places. *J. Phycol.* (California) 37: 659–667.
- FRAVEGA, P. & VANNUCCI, G. 1987: *Lithophyllum gammarrinoi* sinonimo piu recente di *Lithophyl-*

Plate 1 – Tabla 1

- 1 Limestone with numerous internal erosional surfaces of the horizon D. Apnenec horizonta D s številnimi notranjimi erozijskimi površinami.
- 2 Genus *Neogoniolithon* (horizon A) in life position. Scale bar 400 µm. Rod *Neogoniolithon* v življenjskem položaju. Merilo 400 µm.
- 3 Unidentifiable unattached melobesiod in overgrowth with an encrusting foraminifera (A). Seasonal growth is clearly visible. Small borings are present (arrow). Horizon A; scale bar 600 µm. Nedoločljiva nepritrjena koralineja podružine Melobesioideae v preraščanju s skorjasto foraminifero (A). Sezonska rast je jasno vidna. Puščica kaže na manjše izvrtine v talusu. Horizont A; merilo 600 µm.
- 4 Redeposited thallus of an unidentifiable coralline red alga. Geopetal structure was formed prior to redeposition. Horizon D; scale bar 200 µm. Preložen talus nedoločljive koralineje z geopetalno teksturo, ki je nastala še pred preložitvijo. Horizont D; merilo 200 µm.
- 5 *Sporolithon* is growing on a coral (C) fragment and is itself eroded (arrow) and overgrown by a melobesiod. Horizon B; scale bar 450 µm. *Sporolithon* raste na koralni (C). Talus je delno erodiran (puščica) in prerasel s koralinejo podružine Melobesioideae. Horizont B; merilo 450 µm.
- 6 The same thallus as in figure 5, with large borehole. Small ovoid structures (arrow) are sporangial compartments. Horizon B; scale bar 450 µm. Isti talus kot na sliki 5 z veliko izvrtino. Drobne jajčaste strukture (puščica) so sporangijski prostori. Horizont B; merilo 450 µm.
- 7 Coral fragment (C) overgrown by several different non-geniculate coralline red algae (possible even more generations of the same species are present). From bottom to top: ?*Lithothamnion* sp. (L), *Lithoporella* sp. (P) and *Mesophyllum* sp. (M). Arrow points at the tetra/bosporangial conceptacle of *Lithoporella*. *Mesophyllum* partly grows on a sediment, which indicates that the coral fragment was already lying on a sea floor, when *Mesophyllum* started to grow over it. Horizon A; scale bar 300 µm. Koralni fragment (C) prerašča več rodov nečlenjenih koralinej (verjetno je prisotnih celo več generacij iste vrste). Od spodaj navzgor: ?*Lithothamnion* sp. (L), *Lithoporella* sp. (P) in *Mesophyllum* sp. (M). Puščica kaže na tetra/bisporangijski nespolni konceptakel roda *Lithoporella*. *Mesophyllum* delno raste preko sedimenta, iz česar lahko sklepamo, da je koralni fragment že ležal na dnu, ko ga je začela obraščati omenjena alga. Horizont A; merilo 300 µm.

-
- lum contii* dell' Oligocene Ligure-Piemontese. Riv. It. Paleont. Strat. (Milano) 93/2: 225–236.
- FUCHS, T. 1874: Versteinerungen aus den oligocänen von Polschitz in Krain. Verh. K. K. Geol. Reichsanst. (Wien): 129–130.
- GALE, L. 2006: Opis in paleoekologija miocenskih rodoidov Kozjanskega. 2. Slovenski geološki kongres, Idrija, 26.–28. september 2006, Zbornik povzetkov (Idrija): 46.
- GRAD, K. & FERJANČIČ, L. 1976: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Kranj. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–61.
- HARVEY, A. S., BROADWATER, S. T., WOELKERLING, W. J. & MITROVSKI, P. J. 2003: *Choreonema* (Corallinales, Rhodophyta): 18S rDNA phylogeny and resurrection of the Hapalidiaceae for the subfamilies Choreonematoideae, Austrolithoideae, and Melobesioideae. J. Phycol. (California) 39: 988–998.
- HEMLEBEN, C. 1964: Geologisch-paläontologische Untersuchungen im Gebiet zwischen Gornji Grad (Oberburg) und Nova Stifta (Neustift) in Nordslowenien (Jugoslawien). Unpublished Diploma Work (Munich): 1–109.
- HERLEC, U. 1985: Oligocenske plasti v Bohinju. Geološki glasnik (Sarajevo) 28: 185–190.
- HERLEC, U. 1989: Izotopske paleoekološke raziskave oligocenskih plasti iz Bohinja. Unpublished Thesis (Ljubljana): 1–214.
- JURKOVŠEK, B. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač listov Beljak in Ponteba. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–58.
- JELEN, B., MÁRTON, E., FODOR, L., BÁLDI, M., ČAR, J., RIFELJ, H., SKABERNE, D. & VRABEC, M. 1998: Paleomagnetic, Tectonic and Stratigraphic Correlation of Tertiary Formations in Slovenia and Hungary along the Periadriatic and Mid-Hungarian Tectonic Zone (Preliminary Communication). Geologija (Ljubljana) 40: 325–331.
- KINKELIN, F. 1890: Eine geologische Studienreise durch Österreich-Ungarn. Ber. Senckenb. naturf. Ges. (Frankfurt am Main): 49–108.

Plate 1 – Tabla 1

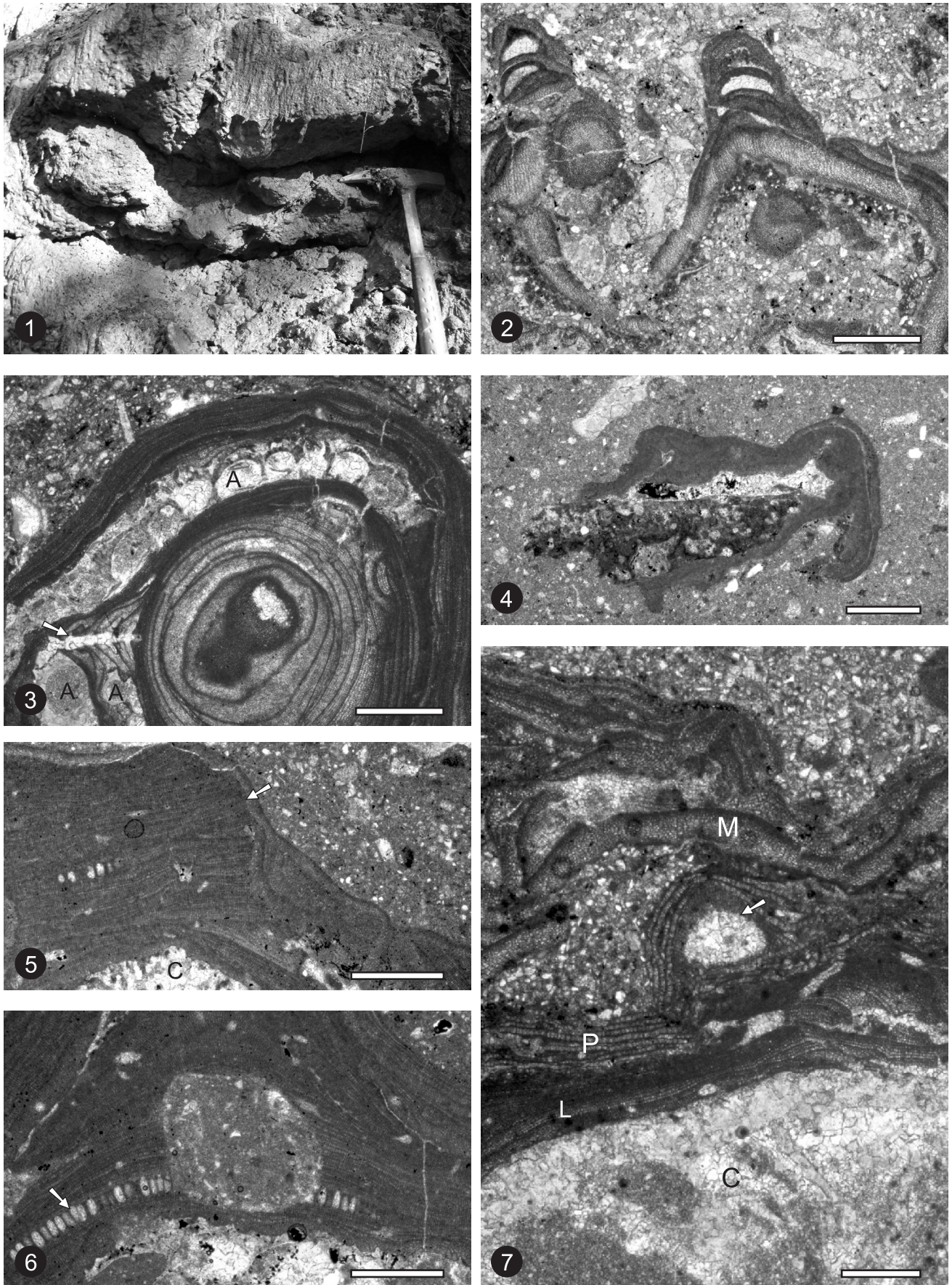


Plate 2 – Tabla 2

- 1 *Lithothamnion* sp. is growing on a coral (C). Geopetal structure (G) points towards upper right of the picture. Multiporate conceptacles and seasonal growth (banding) are clearly visible. Horizon A; scale bar 650 μm .
Lithothamnion sp. raste na korali (C). Geopetalna tekstura (G) kaže proti desnemu zgornjemu kotu slike. Dobro so vidni mnogoporni konceptakli in sezonska rast talusa (pasnat periferni del). Horizont A; merilo 650 μm .
- 2 *Mesophyllum* sp. with multiporate conceptacle. Pores are visible in the conceptacle roof (arrow). Slightly oblique section; horizon A; scale bar 250 μm .
Mesophyllum sp. z mnogopornim konceptaklom. V strehi konceptakla so vidne pore (puščica). Rahlo poševen presek; horizont A; merilo 250 μm .
- 3 *Lithoporella melobesioides* (Foslie) Foslie 1909 with foliose thallus, growing on a coral. Arrow points at the cell fusion. Postigenous filaments are developed around uniporate conceptacles. Horizon A; scale bar 400 μm .
Lithoporella melobesioides (Foslie) Foslie 1909 z listnatim talusom raste na korali. Puščica kaže na celično fuzijo. Okrog monopornih konceptaklov so razviti postigeni filamenti. Horizont A; merilo 400 μm .
- 4 Foliose *Mesophyllum* with umbrella type porosity. Cavity beneath the thallus is filled with calcite cement and pelloids. Horizon A; scale bar 400 μm .
Listnat *Mesophyllum* z dežnikasto poroznostjo. Prostor pod talusom je zapolnjen s kalcitnim cementom in peloidi. Horizont A; merilo 400 μm .
- 5 *Mesophyllum* sp. growing partly on a coral and partly on substrate. Coaxial core is visible. Horizon A; scale bar 500 μm .
Mesophyllum sp. raste delno na korali in delno na sedimentu. Koaksialno jedro je lepo vidno. Horizont A; merilo 500 μm .
- 6 *Spongites* sp. with non-coaxial core and uniporate conceptacle with columella. Horizon D; scale bar 100 μm .
Spongites sp. z nekoaksialnim jedrom in monopornim konceptaklom s kolumelo. Horizont D; merilo 100 μm .
- 7 *Sporolithon* sp. in transverse section. Arrow points at sporangial chamber. Horizon A; scale bar 300 μm .
Sporolithon sp. v prečnem preseku. Puščica kaže na sporangijske prostore. Horizont A; merilo 300 μm .

LIPOLD, M. V. 1857: Bericht über die geologischen Aufnahmen in Ober-Krain im Jahre 1856. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst. (Wien) 8: 205–234.

MIKUŽ, V. 1999: Morska ježka iz oligocenskih plasti pri češnjici blizu Poljšice. [Sea-urchins from Oligocene beds at Češnjica near Poljšica, W Slovenia]. *Geologija* (Ljubljana) 42: 117–122.

MIKUŽ, V. 2002: Oligocenski polži slovenskega dela Paratetide. Razprave IV. razreda SAZU (Ljubljana) 43/1: 43–79.

MIKUŽ, V. 2006a: Oligocenski morski datelj iz potoka Plaznica pri Poljšici. [Oligocene marine Date Mussel from Plaznica brook near Poljšica, West Slovenia]. *Geologija* (Ljubljana) 49/1: 61–67.

MIKUŽ, V. 2006b: Oligocenska ksenofora iz okolice Poljšice v zahodni Sloveniji. [Oligocene *Xenophora* from surroundings of Poljšica in West Slovenia]. *Geologija* (Ljubljana) 49/2: 235–241.

MIOČ, P. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Slovenj Gradec. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–74.

MIOČ, P. 1983: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Ravne na Koroškem. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–69.

MORLOT, A. 1850: Ueber die geologischen Verhältnisse von Oberkrain. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst. (Wien) 1: 389–411.

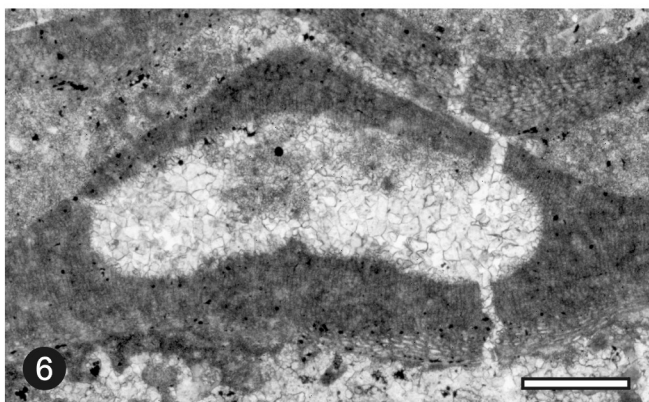
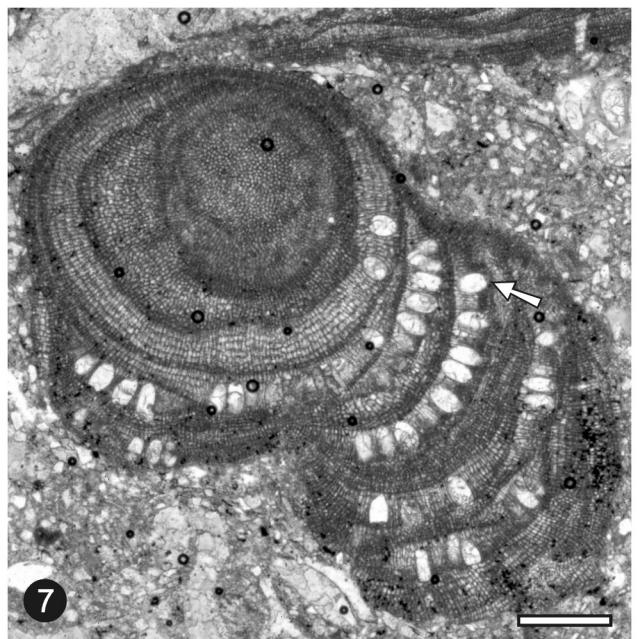
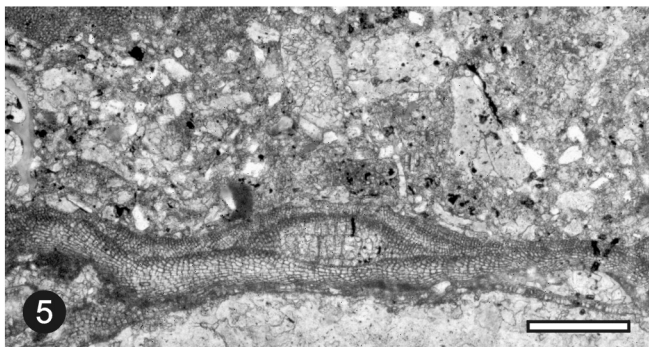
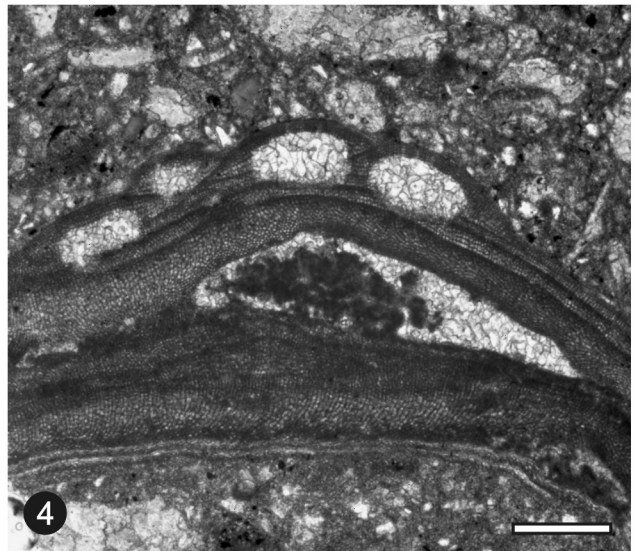
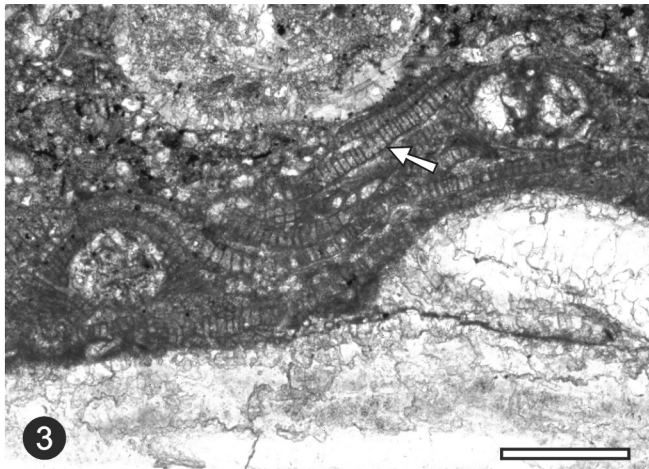
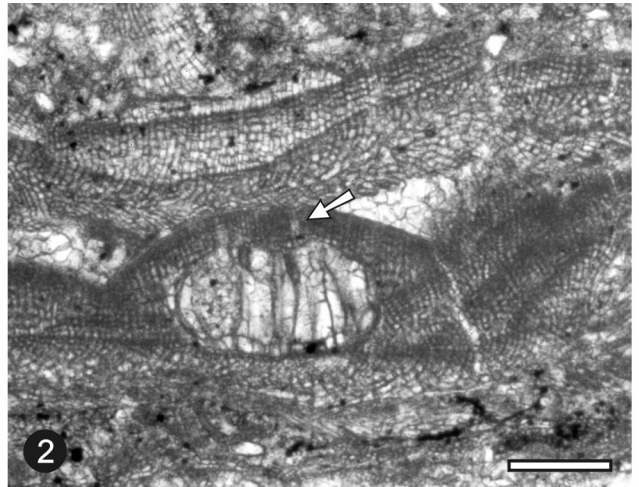
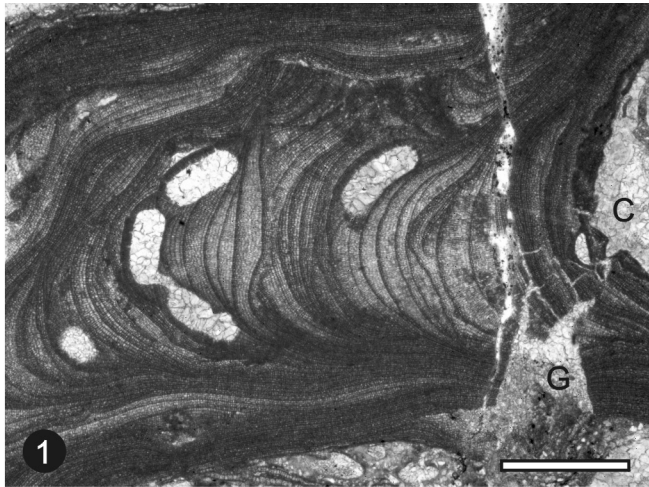
NEBELSICK, J. H., BASSI, D. & DROBNE, K. 2000: Microfacies Analysis and palaeoenvironmental Interpretation of Lower Oligocene Shallow-water Carbonates (Gornji Grad Beds, Slovenia). *Facies* (Erlangen) 43: 157–176.

NEBELSICK, J. H., RASSER, M. W. & BASSI, D. 2005: Facies dynamics in Eocene to Oligocene circumalpine carbonates. *Facies* (Erlangen) 51: 197–216.

OPPENHEIM, P. 1896: Die Oligocäne Fauna von Polschitz in Krain. *Ber. Senckenb. Naturf. Ges. (Frankfurt am Main)*: 259–283.

OTONIČAR, B. & CIMERMAN, F. 2006: Facialna analiza, biostratigrafija in depozicijski model srednjemiocenskih karbonatnih kamnin med Krško

Plate 2 – Tabla 2



- vasjo in Obrežjem. 2. Slovenski geološki kongres, Idrija, 26.–28. september 2006, Zbornik povzetkov (Idrija): 71.
- PAPP, A. 1959: Nummuliten aus Poljšica (Slowenien). *Geologija* (Ljubljana) 5: 31–36.
- PAVLOVEC, R. 1961: K poznavanju eocenskih in oligocenskih numulitov Jugoslavije. *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 6: 367–416.
- PAVŠIČ, J. 1983: O starosti bazalnih plasti oligocenske morske gline na Poljšici. *Geol. zbornik* (Ljubljana) 4: 93–99.
- PAVŠIČ, J. 1985: Nanoplankton iz spodnjih delov oligocenske morske gline v Sloveniji. *Geol. glasnik* (Sarajevo) 28: 171–176.
- PAYRI, E. & CABIOCH, G. 2004: The systematics and significance of coralline red algae in the rhodolith sequence of the Amédée 4 drill core (Southwest New Caledonia). *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* (Amsterdam) 204: 187–208.
- PREMRU, U. 1983: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Ljubljana. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–75.
- QUARANTA, F., VANNUCCI, G. & BASSO, D. 2007: *Neogonolithon contii* comb. nov. based on the taxonomic re-assessment of Mastrorili's original collections from the Oligocene of NW Italy (Tertiary Piedmont Basin). *Riv. It. Paleont. Strat.* (Milano) 113/1: 43–55.
- RAMOVŠ, A. 1983: Slapovi v Sloveniji. *Slovenska matica* (Ljubljana): 1–292.
- RASSER, M. W. & NEBELSICK, J. H. 2003: Provenance analysis of Oligocene autochthonous and allochthonous coralline algae: a quantitative approach towards reconstructing transported assemblages. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* (Amsterdam) 201: 89–111.
- RASSER, M. W. & PILLER, W. E. 1999: Application of neontological taxonomic concepts to Late Eocene coralline algae (Rhodophyta) of the Austrian Molasse Zone. *J. Micropalaeont.* (London) 18/1: 67–80.
- RÖGL, F. 1998: Palaeogeographic Considerations for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene). *Ann. Naturhist. Mus. Wien* (Wien) 99A: 279–310.
- SCHMIEDL, G., HEMLEBEN, C., MOSBRUEGER, V., JELLEN, B. & RIFELJ, H. 2002: Palaeoenvironmental evolution of the Paratethys in the Slovenian Basin during the Late Paleogene. *Int. J. Earth Sciences* (Heidelberg) 91: 123–132.
- STUDENCKI, W. 1988: Red algae from the Pinczow limestones (Middle Miocene, Swietokrzyskie mountains, Poland). *Palaeontol. Polonica* (Warszawa) 33/1: 3–57.
- VANNUCCI, G., PIAZZA, M., FRAVEGA, P. & BASSO, D. 2000: Revision and re-documentation of M. Airoldi's species of *Archaeolithothamnion* from the Tertiary Piedmont Basin (NW Italy). *Riv. It. Paleont. Strat.* (Milano) 106/2: 191–202.
- VERHELJ, E. 1993: The genus *Sporolithon* (Sporolithaceae fam. nov., Corallinales, Rhodophyta) from the Spermonde Archipelago, Indonesia. *Phycologia* (Oxford) 32/3: 184–196.
- WOELKERLING, W. J. 1988: The Coralline Red Algae: An Analysis of the Genera and Subfamilies of Nongeniculate Corallinaceae. British Museum (Natural History) and Oxford University Press (London and Oxford): 1–268.
- WRAY, J. L. 1977: Calcareous algae: Developments in palaeontology and stratigraphy, 4. Elsevier scientific publishing company (Amsterdam, Oxford, New York): 1–185.

Principles of the tectonic subdivision of Slovenia

Osnove tektonske razčlenitve Slovenije

Ladislav PLACER

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana; mail: lplacer@geo-zs.si

Key words: Northwestern Dinarides, Southern Alps, Eastern Alps, Pannonian basin, Adria-Apulia foreland, Adria microplate, tectonical subdivision

Ključne besede: Severozahodni Dinaridi, Južne Alpe, Vzhodne Alpe, Panonski bazen, Jadransko-Apulijsko predgorje, Jadranska mikroplošča, tektonska razčlenitev

Abstract

New tectonic subdivision of the junction region between Alps and Dinarides which incorporates Eastern Alps, Southern Alps, Dinarides, Pannonian basin and Adriatic-Apulia foreland is described in this article. The course of the boundary between Southern Alps and Dinarides is updated. Dinarides are subdivided into the Internal and External Dinarides. Internal Dinarides comprise only the areas with deep water sedimentary successions and ophiolites. External Dinarides are composed for the most part of the Adriatic-Dinaric carbonate platform and of transitional area to the Internal Dinarides.

Herak's subdivision of the External Dinarides into Adriatic, Epiadriatic and Dinaric is not accepted, because he assumes two separate Mesozoic carbonate platforms (Adriatic and Dinaric). In Slovenia, however, existed only one Mesozoic carbonate platform, so it is justified to use the term Adriatic-Dinaric carbonate platform. It started to disintegrate in the Paleocene.

The position of the Adriatic microplate is also included in this subdivision.

Izvleček

V članku je podana dopolnjena tektonska razčlenitev stičnega ozemlja med Alpami in Dinaridi, ki vključuje Vzhodne Alpe, Južne Alpe, Dinaride, Panonski bazen in Jadransko-Apulijsko predgorje. Dopolnjen je potek meje med Južnimi Alpami in Dinaridi. Dinaridi so razčlenjeni na Notranje in Zunanje Dinaride, pri čemer je k Notranjim prišteto le območje z globokomorskimi sedimenti in ofioliti, k Zunanjim pa pretežni del Jadransko-Dinarske mezozojske karbonatne platforme in prehodno območje nasproti Notranjim Dinaridom.

V razčlenitvi ni sprejeta Herakova delitev Zunanjih Dinaridov na Adriatik, Epiadriatik in Dinarik, ker predpostavlja dve ločeni mezozojski karbonatni platformi, Jadransko in Dinarsko, vendar na območju Slovenije obstaja le ena mezozojska karbonatna platforma, zato je upravičeno uporabljati termin Jadransko-Dinarska karbonatna platforma. Ta se je pričela členiti šele v paleocenu.

V prikazano razčlenitev je vključena tudi lega Jadranske mikroplošče.

Introduction

The present tectonic structure of the Slovenian territory originated during the Tertiary orogeny following the collision of Apulian lithospheric plate (Apulia sensu SCHMID et al., 2004) with Eurasian lithospheric plate on which the Apulian plate was overthrust. The presented subdivision of structure is schematic, and it reposes on second and third order terranes that were formed from Apulia and its marginal regions. In this way in the formal structural sense 1. Adriatic-Apulia foreland, 2. Dinarides, 3. Southern Alps, 4. Eastern Alps, and 5. Pannonian basin are distinguished. Boundaries between units in the tectonic sense or in the sense of regional subdivision are presented by important dislocations: the Periadriatic fault,

Labot (Lavanttal) fault, Ljutomer fault, Sava fault, South-Alpine thrust border and the external front of External Dinarides thrust area. The Pannonian basin is determined by the depressions filled with Tertiary sediments of Paratethys.

For the presented tectonic division of Slovenia the following references were used: Basic geologic map of Yugoslavia 1 : 100.000 (1967–1986) the last mapped sheet of which was issued as Basic geologic map of Republic Slovenia and Republic Croatia (1998), in short OGK, Structural-tectonic map of Slovenia (POLJAK, 2007) that summarizes the structural data of OGK, and Geologic map of Slovenia 1 : 250.000 (BUSER, in preparation for print) on which stratigraphic data of all OGK sheets are compiled. The present division reposes on recent (PLACER, 1999b; MIOČ, 2003; PREMUR,

2005) and older attempts (RAKOVEC, 1956) of tectonic division of Slovenia, and on recent publications that contributed to a contemporary view on the matter (e.g. JELEN & RIFELJ, 2002).

Subdivision

Figure represents the proposed new tectonic division of Slovenia, as modified after PLACER (1999b).

1. The Adriatic-Apulia foreland represents a relatively solid core of the Adria microplate. It comprises the larger part of Istria consisting of rocks of the Adriatic segment of the Adriatic-Dinaric Mesozoic carbonate platform, and the flysch rocks resulting from its degradation. The boundary of the foreland is the external limit of the thrust area of the External Dinarides. Actually it became deformed by later separate underthrusting of Istria, the central structural element of it being the Palmanova thrust fault, named in Slovenia the Črni Kal thrust fault.

The Adriatic-Apulia foreland represents the foreland of Dinarides, Southern Alps and Apennines. The term Dinaric foreland used by OTONIČAR (2007) is correct, but devoid of the structural unit significance, as it comprises only the northeastern and eastern parts of the Adriatic-Apulia foreland.

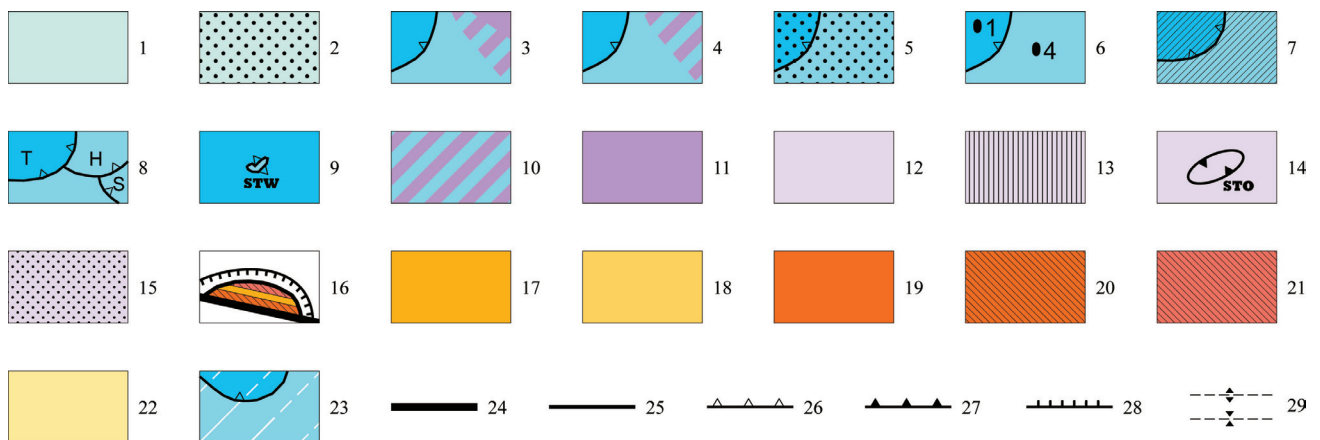
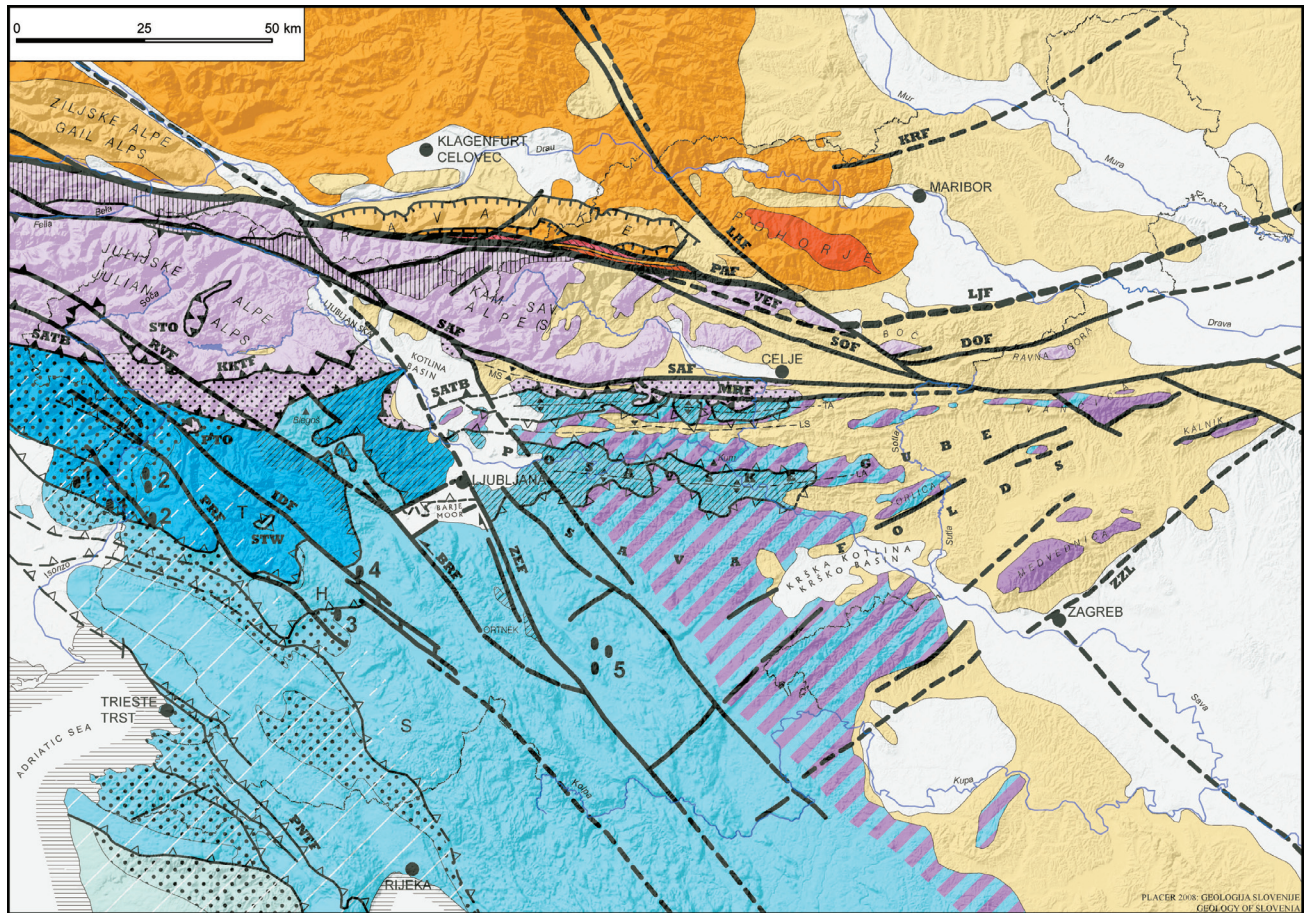
2. The Dinarides consist, following the standard structural-paleogeographic model, of the External and Internal Dinarides, and of the transition region between the two that is attributed in the present text to the External Dinarides. The same subdivision is used e.g. also by GRANDIĆ et al. (2004). On Slovenia's territory only the External Dinarides are exposed, comprising also the transition belt. The boundary of Dinarides with Southern Alps is represented by the South-Alpine thrust border which merges further to the east with Marija Reka fault. External Dinarides comprise the prevailing part of Dinaric segment of the Adriatic-Dinaric Mesozoic carbonate platform, and most part of its Adriatic segment. Characteristic for them is the thrust and nappe structure that became accomplished in External Dinarides in the Upper Eocene-Posteocene times, whereas the nappe structure of Dinarides started to take shape with the convergence between Apulia and Dacia with Tisia in the Upper Jurassic time. In the External Dinarides on our territory only the Trnovo and Hrušica nappes and also the Snežnik thrust block can be recognized with more certainty. PREMRU (2005) subdivided in detail the Dinarides east from there, but we consider, however, that there the level of current research is not sufficient to recognize individual units. On the basis of recent data the Sava folds are attributed to Dinarides, since no clear structural boundary to Southern Alps is visible. With respect to their position within the External Dinarides the Sava folds represent a transition zone to the Slovenian basin in

Figure

1. **Adria-Apulia foreland**; 2. Sediments resulting from disintegration of the Adria-Dinaric carbonate platform: Eocene flysch; 3. **Dinarides**; 4. External Dinarides; 5. Sediments resulting from disintegration of the Adria-Dinaric carbonate platform: Upper Cretaceous carbonatic turbidites, Cretaceous-Paleocene and Eocene flysch; 6. Cretaceous-Paleocene scaglia: Trnovo nappe (**1** – Goriška Brda, **2** – Banjščice), Hrušica nappe (**3** – Predjama, **4** – Kališče), **5** Kočevje area; 7. Paleozoic (Carboniferous, Permian); 8. **T** – Trnovo nappe, **H** – front of the Hrušica nappe, **S** – front of the Snežnik thrust unit; 9. **STW** – Strug tectonic window; 10. Transition area between External and Internal Dinarides; 11. Internal Dinarides; 12. **Southern Alps**; 13. Paleozoic (Devonian, Carboniferous, Permian); 14. **STO** – Slatna tectonic outlier (»Slatna plate«), **PTO** – Ponikva tectonic outlier; 15. Slovenian basin; 16. **Eastern Alps**; 17. Austroalpine nappes: metamorphic rocks; 17. Austroalpine nappes: Permotrias and sedimentary carbonate overcrop (Gail Alps, Northern Karavanke); 19. Pluton of tonalite/granodiorite (Miocene), Pohorje; 20. Magmatic zone of the Železna Kapla (Eisenkappel): Periadriatic intrusive, tonalite (Oligocene); 21. Magmatic zone of the Železna Kapla (Eisenkappel): granite (Trias); 22. **Pannonian basin and marginal basins**; 23. **Adria microplate**; full lines – Neogene condition, full and interrupted lines – present condition; 24. **Faults**: **PAF** – Periadriatic fault; 25. **KRF** – Kungota – Raab fault; **LAF** – Lavanttal fault; **VEF** – Velenje fault; **SOF** – Šoštanj fault; **LJF** – Ljutomer fault; **DOF** – Donat fault; **SAF** – Sava fault; **MRF** – Marija Reka fault; **ZEF** – Želimlje fault; **IDF** – Idrija fault; **RVF** – Ravne and Sovodenj fault; **BRF** – Borovnica and Ravnik fault; **PRF** – Predjama fault; **ZZL** – Zagreb–Zemplin lineament; 26. Thrust and overthrust faults in the Dinarides: **PNTF** – Palmanova thrust fault; 27. Thrust and overthrust faults in Southern Alps: **SATB** – Southern Alps thrust border; **KKTF** – Krn-Kobla thrust fault; 28. North Karavanke thrust fault in Eastern Alps; 29. **Sava folds**: **MS** – Motnik syncline, **TA** – Trojane anticline, **LS** – Laško syncline, **LA** – Litija anticline

Slika

1. **Jadransko-Apulijsko predgorje**; 2. Sedimenti degradacije Jadransko-Dinarske karbonatne platforme: eocenski fliš; 3. **Dinaridi**; 4. Zunanji Dinaridi; 5. Sedimenti degradacije Jadransko-Dinarske karbonatne platforme: zgornje kredni karbonatni turbiditi, kredno-paleocenski in eocenski fliš; 6. Kredno-paleocenska scaglia: Trnovski pokrov (**1** – Goriška Brda, **2** – Banjščice), Hrušiški pokrov (**3** – Predjama, **4** – Kališče), **5** Kočevsko; 7. Paleozoik (karbon, perm); 8. **T** – Trnovski pokrov, **H** – čelo Hrušiškega pokrova, **S** – čelo Snežniške narivne grude; 9. **STW** – Tektonsko okno Strug; 10. Prehodno območje med Zunanji in Notranji Dinaridi; 11. Notranji Dinaridi; 12. **Južne Alpe**; 13. Paleozoik (devon, karbon, perm); 14. **STO** – Slatenska tektonska krpa (»Slatenska ploščica«), **PTO** – Ponikvanska tektonska krpa; 15. Slovenski bazen; 16. **Vzhodne Alpe**; 17. Avstroalpinski pokrovi: metamorfne kamnine; 18. Avstroalpinski pokrovi: permotrias in karbonatni sedimentni pokrov (Ziljske Alpe in Severne Karavanke); 19. Pluton tonalita/granodiorita (mioceni), Pohorje; 20. Železnokapelska magmatska cona: periadriatski intruziv tonalita (oligocen); 21. Železnokapelska magmatska cona: granit (trias); 22. **Panonski bazen in marginalni bazeni**; 23. **Jadranska mikroplošča**: polne črte – neogenska zasnova, polne in prekinjene črte – recentni obseg; 24. **Prelomi**: **PAF** – Periadriatski prelom; 25. **KRF** – Prelom Kungora – Raba, **LAF** – Labotski prelom, **VEF** – Velenjski prelom, **SOF** – Šoštanjki prelom, **LJF** – Ljutomerski prelom, **DOF** – Donački prelom, **SAF** – Savski prelom, **MRF** – Marijareški prelom, **ZEF** – Želimeljski prelom, **IDF** – Idrijski prelom, **RVF** – Ravenski in Sovodenjski prelom, **BRF** – Borovniški in Ravniški prelom, **PRF** – Predjamski prelom, **ZZL** – lineament Zagreb–Zemplin; 26. Narivni in krovni prelomi v Dinaridih: **PNTF** – Palmanovski narivni prelom; 27. Narivni in krovno prelomi v Južnih Alpah: **SATB** – Južnoalpska narivna meja, **KKTF** – Krnsko-Koblanski narivni prelom; 28. Severnokaravanški narivni prelom v Vzhodnih Alpah; 29. **Posavske gube**: **MS** – Motniška sinklinala, **TA** – Trojanska antiklinala, **LS** – Laška sinklinala, **LA** – Litijska antiklinala



the north that occurs prevalingly in the Southern Alps, and to the Bosnian basin in the east.

3. The Southern Alps are paleogeographically a part of Dinarides, but became separated from them in Miocene. Formally they are situated between the Periadriatic fault, Labot (Lavantal) fault and Ljutomer fault, which are in the broader sense a part of the Balaton fault zone in the north, and South-Alpine thrust border and Sava fault in the south. Mesozoic rocks of the Slovenian basin and Upper Triassic rocks of the Julian carbonate platform are exposed within them. South of the Periadriatic fault in the Carnian Alps and Southern Karavanke also Paleozoic rocks are exposed (Mioč, 1997). Such conditions are associated with the synform structure of Ju-

lian and Kamnik-Savinja Alps in west-east direction and with transpressive extrusion along the Periadriatic fault zone. The South-Alpine thrust border is represented by a thrust faults zone that extends eastward to the Sava fault. Its northern edge represents the Krn-Kobla thrust fault. East of Želimlje fault, the South-Alpine thrust border merges with Marija Reka fault, which is an element of the Sava fault zone. In an earlier interpretation (PLACER, 1999b), the Krn-Kobla thrust fault was understood on the basis of OGK data (GRAD & FERJANČIČ, 1974, 1976; BUSER, 1986, 1987) as the boundary of the Julian nappe. The new concept is based on data supporting the normal position of Upper Triassic carbonates on Middle Triassic clastics in the Julian Alps (SKABERNE et al., 2003), and the equivalent conditions in the

Kamnik-Savinja Alps (CELARC, 2003). Therefore the concept of the Julian nappe should be abandoned, and the Julian Alps should be considered as a thrust block. The nature of the South-Alpine fault border also makes unnecessary the introduction of a Tolmin nappe (KRYSTYN et al., 1994). The Slatna plate is a tectonic outlier (SEIDL, 1929; JURKOVŠEK, 1987a, 1987b; CELARC & HERLEC, 2007) that is probably a remnant of the extreme uplift of northern block of the Julian synform during underthrusting of the External Dinarides.

4. The Eastern Alps are a geologic-orphographic term comprising the complex of Precambrian and Old Paleozoic high and low grade metamorphic rocks, and of Permian and Mesozoic sedimentary rocks north of the Periadriatic fault that is called Ljutomer fault in the area east of the Labot fault. In structural sense, the Eastern Alps consist of a system of large nappes called the Austroalpine nappes (in short Austroalpine), that represent compressed and elongated remnants of marginal regions of the intermediate sea that existed between the European (Eurasian) and Apulian lithospheric plates. They originated during Cretaceous and Tertiary orogenies, and are, owing to their close connection with the overthrust Apulian plate, attributed to the latter. TOLLMANN (1977) distinguished in the Austroalpine nappes the Lower, Middle and Upper Austroalpine nappes, and recent researchers, like SCHMID et al. (2004), the Lower Austroalpine nappes, Upper Austroalpine basement nappes, and the Upper Austroalpine nappes. In Slovenia, the Kobansko region, Pohorje, Strojna and North Karavanke belong to Eastern Alps. MIOČ (2003), using the older terminology, attributed Pohorje and part of Kobansko region to the Upper Austroalpine, and the other part of Kobansko, Strojna and North Karavanke to the Middle Austroalpine. The latter belongs according to the more recent terminology to Upper Austroalpine basement nappes that comprise also Paleozoic and Mesozoic rocks not affected by metamorphism. In Slovenia, the Northern Karavanke form the characteristic transpressive zone along the Periadriatic fault along which were the highest uplifted the Paleozoic phyllitoid schists in the basement of Permian clastites. Northern Karavanke are attributed in the structural sense to the Southern Alps, but they have a similar lithologic development of basement and of sedimentary Mesozoic cover as the Upper Austroalpine basement nappes south of the Northern Calcareous Alps. Therefore it is reasonable to consider them a part of the Eastern Alps.

An important characteristic of Eastern Alps is, in addition to the nappe structure, the tonalite plutonism that consists of the Periadriatic intrusions, in Slovenia the southern belt of Železna kapla (Eisenkappel) magmatic zone, and of the Pohorje tonalite/granodiorite pluton with dacitic sills and dykes. According to data by TRAJANOVA et al. (2008), the Periadriatic intrusion is of Oligocene age, around 32 Ma old, and the Pohorje pluton with dacite is Miocene age, between 19

and 18 Ma old; the age of somewhat younger rhyodacitic and lamprophyric dykes is between 17 and 16 Ma. Owing to the difference in age and in position, the Pohorje tonalite is not considered a part of the Periadriatic intrusions.

5. The Pannonian basin, Pannonian basins system respectively, consists of individual depressions that originated during Paleogene and Neogene. They are filled with sediments of the Paratethys deposited on subsided continuations of the Eastern and Southern Alps and Dinarides. The region of the Pannonian basin started its distinct structural evolution at the beginning of Miocene with the post-collision tectonic escape of the Eastern Alps whose southern border was the Periadriatic fault zone (RATSCHBACHER et al., 1991). According to surmise of FODOR et al. (2002), we suppose that escape in the starting stage could have taken place along the Ljutomer fault. The lateral extrusion affected also the region of Dinarides north of the Zagreb lineament (HAAS & KOVACS, 2001; JELEN et al., 2001). Development of the basin was polyphase due to the interchanging of extensional and compressional regimes. The result of these processes is the actual structure characterized in northeast Slovenia by subbasins derived from the Lower Miocene Mura-Zala and Styrian basins, e.g. the Haloze-Ljutomer subbasin, and in the western rim the isolated basins in Eastern and Southern Alps and Dinarides. Of more importance are the Smrekovec, Celje, Tunjice-Motnik, Laško, Planina, Senovo and Krško basins. Situated the farthest west is the Bohinj basin (JELEN et al., 2008).

Problems of tectonic division

In updating the scheme of tectonic subdivision of Slovenia, two important questions must be considered, both not appropriately solved yet: firstly, the course of the boundary between Southern Alps and Dinarides, associated with the question of extension of the Trnovo nappe, and secondly, the question of internal subdivision of the Dinarides. The boundary between Southern and Eastern Alps passes formally along the Periadriatic and Balaton fault zones. The question of genesis of the Pannonian basin and of isolated basins along its western rim in Eastern and Southern Alps and Dinarides has been the object of numerous studies in the last two decades.

Boundary between Southern Alps and Dinarides. Data of OGK mapping supported the opinion that Blegoš is a part of External Dinarides (GRAD & FERJANČIČ, 1974, 1976; PREMUR, 1980). This was confirmed by kinematic analysis of evolution of the Blegoš structure (PLACER & ČAR, 1997) from which it follows that the Blegoš structure emerged first because of the thrusting in Dinaric direction (from northeast toward southwest), and afterwards, because of underthrusting of External Dinarides under Southern Alps (south-southeast toward north-northwest). Therefore it is possible

to determine in the Blegoš area the unequivocal structural boundary, which is a thrust plane, between the External Dinarides and Southern Alps. Its continuation west of Blegoš to the Idrija fault is relatively clear, as on the northern side deeper sea originated rocks of the Slovenian basin crop out, and on the southern side carbonate rocks of the Trnovo nappe are exposed. At the Idrija fault, the boundary is displaced toward northwest for a few kilometers. A special role in defining its character has the Ponikve tectonic klippe, situated east of the Idrija fault, which is an isolated part of the overthrust of the Slovenian basin onto the Trnovo nappe. The considered boundary can be traced east of Blegoš as far as to the Ljubljana depression and along its western rim.

In discussing the passage of boundary between Southern Alps and External Dinarides east of the Ljubljana depression it is useful to compare the development of rocks of the Slovenian basin east of Ljubljana depression in the frame of Southern Alps, with its development east of Ljubljana depression in the western part of the Sava folds, and verify the existence of Dinaric nappe structures in the Sava folds. For the rocks of the Slovenian basin west of Ljubljana depression, Mesozoic deeper sea sediments are characteristic, whereas in the eastern borders of Ljubljana depression the aforementioned sediments exist only in the northern belt of the Sava folds north of Trojane anticline. In central and southern parts of Sava folds, Triassic-Jurassic platform carbonates prevail on which the Upper Cretaceous flysch is deposited (PREMRU, 1980, 1983a, 1983b, 2005). Such development is found also in certain isolated hills in the Ljubljana field. In association with the nappe structure we recognized that in Sava folds the Mesozoic rocks form one or several large nappe units that became overthrust before the deposition of Middle to Upper Oligocene beds (PLACER, 1999a), as deduced from details of mapping the Basic Geologic Map, sheets Celje (BUSER, 1978) and Novo mesto (PLENIČAR & PREMRU, 1976). The nappe units of Sava folds can be chronologically compared only with the Dinaric nappes of southwest Slovenia; consequently, the cycle of overthrusting was mostly achieved at the end of Eocene or in the beginning of Oligocene time, which allows the conclusion about the Dinaric provenience of the Sava folds nappes. The central and southern part of Sava folds belongs in the facial sense to rocks of the border belt of the Adriatic-Dinaric carbonate platform and the Slovenian basin. The Dinaric provenience is supported also by internal structure of the nappe units. Their boundaries pass east of Ljubljana depression in the west-east direction, which can be formally compared with the Alpine W-E direction. This direction is of multiphase origin under various dynamic conditions.

The Sava folds consist of nappe overthrusts of Dinaric provenience that are folded in the Alpine W-E direction. A part of this system is also the Kum thrust which was considered in the former interpretation (PLACER, 1999b) owing to morphological reasons as a continuation of the South-

Alpine thrust front east of the Ljubljana depression. The former argument for attribution to the Southern Alps was supported also by similar conditions west of the Julian Alps (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987; DOGLIONI & SORPAES, 1990).

In Sava folds, the structural boundary between the Southern Alps and Dinarides can be positioned only along northern boundary of the Trojane anticline where are, according to the Geological map of Slovenia 1: 250.000 (BUSER, in press), deeper water successions of the Slovenian basin thrust toward south. In the macrotectonic subdivision of Slovenia (PLACER, 1999b, fig. 8, variant a), this variant was characterized as possible, but considered as less probable due to a different stratigraphical attribution of lithological units. The South-Alpine thrust front merges to the east with Marija Reka fault (GRAD, 1969) considered as an element within the Sava fault zone (VRABEC, 2001). Such a solution makes sense, since the Kamnik-Savinja Alps are a cut off part of the Julian Alps displaced along the Sava fault.

The Trnovo nappe sensu MLAKAR (1969) and PLACER (1998b) is structurally the highest nappe element of the External Dinarides of western Slovenia. The Carboniferous-Permian clastics in the northeastern root part of nappe west of Ljubljana depression undoubtedly lie on Mesozoic carbonate beds of the lower nappe unit. On the contrary, however, the Carboniferous-Permian clastics of the Litija anticline east of Ljubljana depression occur consistently below the Mesozoic beds, and there is no direct or indirect argument to prove the contrary (PLACER, 1998b). The Carboniferous-Permian clastics of the Trnovo nappe and Litija anticline come then in contact in the area of Ljubljana depression, although they belong to different structural units. This problem, seen from a different angle, has been solved from various aspects by a number of geologists (KOSMAT, 1913; WINKLER, 1923; RAKOVEC, 1956; BUSER, 1978, 1979; MLAKAR, 1987; PLACER, 1999b; MIOČ, 1976, 1981, 2003; PREMRU, 1980, 1983a, 1983b, 2005).

Important for interpretation of continuation of the Trnovo nappe east of Ljubljana depression, and of different development of Mesozoic beds in eastern and western rim of the Ljubljana depression, and in northern and eastern border of the Ljubljana moor, is the existence of the vast Miocene wrenching zone (TARI, 2002) that is supposed to pass from the Ljubljana depression to Imotski in Herzegovina, and farther. Let us call it, for easier communication, the Ljubljana-Imotski fault zone. It has a special position among the longitudinal faults of Dinarides. The most important in the array of faults of this zone is in Slovenia the Želimlje fault that passes over the central part of the External Dinarides along the eastern rim of Ljubljana moor and western rim of Ljubljana depression, where it joins the Sava fault. From the incompatibility of western and eastern rims of Ljubljana depression and of Ljubljana moor, we conclude that the boundary of the Trnovo nappe continues to the Želimlje fault. Its position in the

northeastern block must consequently be sought southeast from there. In the Sava folds occur nappe units that lie structurally above the Trnovo nappe. The Carboniferous-Permian beds of Sava folds served as a soft basement for the Dinaric nappe and thrust structure. The importance of the Želimplje fault is indicated also by erosional windows of Permian beds at Ortnek, where they are exposed in the highly uplifted southwestern block of the fault.

The Želimplje fault separates two distinct zones of tectonized rocks on the southern side of the South-Alpine border. In the west, the tectonized zone is narrow and more pronounced and in the east it consists of a broad, multiphase transformed folded zone with subordinate symmetrically arranged thrust faults.

Significant displacement of the Trnovo nappe boundary and insignificant displacement of the South-Alpine thrust boundary are connected with pre-Middle Oligocene age of the Trnovo nappe, which is older than the fault zone Ljubljana-Imotski, and Miocene and post-Miocene underthrusting of the Dinarides under Southern Alps. The last mentioned event is younger than the peak movements along Želimplje fault. According to differences in the tectonic structure of the Ljubljana moor and Ljubljana depression, it is probably still active. Ljubljana moor occupies a transverse position between Želimplje fault and an array of faults on its SW edge. These faults are part of the fault series from Ravne fault to the Sovodenj fault (MLAKAR & PLACER, 2000) and Borovnica fault to Ravnik fault (BUSER, 1976). The latter is connected with the Želimplje fault near Ribnica. On figure, the Ravne and Sovodenj fault are marked RVE, and the Borovnica fault zone and Ravnik fault are marked BRF. These faults, together with the Želimplje fault, form a laterally pushed wedge whose dynamics has not been investigated yet. According to the regional conditions, the wedge could be in the extensional regime, but in the case that Julian Alps prevented its movement and the South Alpine thrust border between aforementioned faults is not active, then the wedge is in the compressional regime.

The question of division of Dinarides is many-sided, and several models have been proposed. They are based on the existence of either one, or of two Mesozoic carbonate platforms which influenced the subsequent structural development, and also the division. A single platform is advocated e.g. by VLAHOVIĆ et al. (2005) (Adriatic carbonate platform), for which certain authors use the term Adriatic-Dinaric carbonate platform (PAMIĆ & HRVATOVIĆ, 2003). According to the classical model based on a single Mesozoic carbonate platform the Dinarides consist in the structural sense of Internal and External Dinarides, but the extents of units and concepts of their kinematic evolution have changed in the historical periods. However, the region of Mesozoic carbonate rocks has been attributed to the external part of Dinarides by all, e.g. V. PETKOVIĆ, 1931 and K. PETKOVIĆ, 1957, and by some among them decidedly to the External

Dinarides, e.g. B. ČIRIĆ, 1960; J. AUBOUIN, 1974 and M. ANDELKOVIĆ, 1978 (ANDELKOVIĆ, 1978). The Dinarides are built of nappe units that were thrust southwestward, that had a paleogeographic origin, and that were formed in the time from Upper Jurassic to Upper Eocene, and even to Lower Oligocene. External Dinarides comprise the larger part of the Adriatic-Dinaric carbonate platform with the exception of its southwestern part, which belongs to the Adriatic-Apulian foreland and the marginal basins. The Inner Dinarides comprise parts of the oceanic crust. Boundary between the External Dinarides and the Adriatic-Apulian foreland is structural, and it passes along the external border of Adriatic islands and across the northeastern part of Istria. The boundary to Internal Dinarides is a wide transition area with marginal deeper water basins.

Based on model of two Mesozoic carbonate platforms, Adriatic and Dinaric, interesting interpretations of the Dinarides were proposed among others by HERAK (1986, 1989, 1991, 1999) and TARI (2002). Herak's interpretation assumes large intersequence nappe thrusts. He distinguished the Adriatic comprising the Adriatic carbonate platform, the Epiadriatic encompassing the intermediate basin, the Dinaric comprising the Dinaric carbonate platform, and the Supradinaric consisting of rocks of the transition region. Mioč (2003) used Herak's model in his tectonic division of Slovenia. Tari's interpretation distinguishes Adria in the sense of Adria microplate which comprises Adriatic Mesozoic carbonate platform and Dinarides, with Dinaric Mesozoic carbonate platform as their constitutive part. Dinarides are overthrust on the Adria. Adria consists of a relatively weakly tectonized core in which participate a part of the Adriatic carbonate platform (Istria), Adriatic basin and a part of the Apulian carbonate platform, and the imbricated borderland to which belong in eastern part of Adriatic Sea the islands and the Ravni Kotari area. The Dinarides comprise the entire Dinaric Mesozoic carbonate platform with marginal basins (Western thrust belt) and the overthrust oceanic crust (Eastern thrust belt). The sediments of the Budva basin are covered with the overthrust Dinarides. In Slovenia, the imbricated belt of Čičarija is attributed to the Adria imbricated zone by Tari, and Čičarija itself with the Kras plateau to the Dinarides. VRABEC & FODOR (2006) attributed to the Adria imbricated belt also the belt between Čičarija and Mt. Snežnik thrust. Herak and Tari supposed in Slovenia the existence of large nappe structures.

DROBNE & OGORELEC (2008) describe in the northeastern border of Vipava and Brkini flysch syncline elements of deeper water development and Paleocene scaglia, which allowed them to assume the existence of Adriatic in Istria, Čičarija and on Kras plateau, and of Epiadriatic in the northeastern borders of Vipava and Brkini flysch syncline. The Epidinaric unit is believed to be covered by the Dinaric overthrust (sensu HERAK, 1999). In this connection they used the model of the struc-

tural map of Italy (BIGI et al., 1990–1992), where the Snežnik thrust fault as well as the Hrušica and Trnovo nappe faults are merged into a single nappe thrust plane. By doing so they did not open the question of existence of a Mesozoic basin between the two platforms, which is an essential element of Herak's model.

On the basis of results of structural mapping of southwestern Slovenia (PLACER, 2002, 2005, 2007; PLACER et al., 2004), investigations in Friuli (PERUZZA et al., 2002; CARULLI, 2006), the explicit out-of-sequence position of the Snežnik thrust fault, and of Hrušica and Trnovo overthrust fault, sufficiently precise analysis of the Trnovo nappe displacement (PLACER, 1973, 1981), and results of drilling within the Trnovo nappe (PLACER et al., 2000) it is possible to assume in the northwestern part of Dinarides a deepening between the Adriatic and Dinaric segments of Mesozoic carbonate platform only from the Paleocene on. Therefore it is justified to consider the Adriatic-Dinaric carbonate platform with shallower intraplate trenches in the sense of VLAHOVIĆ et al. (2005). Such a conclusion is meaningful also because the Paleocene scaglia occurs also on Sabotin and Banjščice in the Trnovo nappe, on Kalič in the Hrušica nappe, and in the Kočevje region, which all can be interpreted as shallower deepening. The area of outcropping scaglia on Banjščice is separated from the older basin sedimentary beds of Trnovski gozd by the Predjama fault that covers a stronger thrust fault within the Trnovo nappe. This interpretation of the territory has been proposed by BIGI et al. (1989–2000) and PREMUR (2005), and is confirmed also by the new geologic map of Friuli-Venezia Giulia (CARULLI, 2006). Such a structure confirms the out-of-sequence passage of thrust planes of this part of Dinarides, and with it the justification of a uniform concept of the Adriatic-Dinaric carbonate platform. Conditions in the central and southeast parts of Dinarides are different.

It follows from the partly published fragmentary materials on structure of the border belt between the Adriatic-Apulian foreland and the region in its hinterland – Kras edge (PLACER, 2002, 2005, 2007; PLACER et al., 2004) that the Trnovo and Hrušica nappe, Snežnik overthrust and the very origin of the Kras edge were formed in the overthrusting phase of the External Dinarides at the end of Eocene and at beginning of Oligocene, whereas the underthrusting of Adria microplate (TARI, 2002) and separately, of Istria, took place in Middle Miocene and later. At that time only developed the actual underthrusting belt in Istria with its central element, the Črni Kal thrust fault, respectively the Palmanova thrust fault. Therefore the formal boundary of the External Dinarides is represented by the border of the external front of the thrust area.

Figure shows also the Adriatic microplate. There is an important question concerning the course of its northeastern border. In the middle and southeastern parts of the External Dinarides it separates the Adriatic and Dinaric segments

of the Adriatic-Dinaridic Mesozoic carbonate platform in structural and paleogeographical sense. Relations are more complicated in the northeastern part of the External Dinarides, where both segments of Mesozoic carbonate platform are merged. In the first phase of its forming, in Miocene, the boundary was identical with Snežnik thrust-fault front, and Hrušica and Trnovo nappe thrust-fault front. Recent course of boundary extends from the Snežnik thrust-fault front toward Idrija fault in Upper Soča Valley and along South-Alpine thrust border west of Idrija fault. A similar assumption about recent position of the boundary was proposed already by CARULLI et al. (1990).

Osnove tektonske razčlenitve Slovenije

Uvod

Današnja tektonska zgradba ozemlja, na katerem leži Slovenija, je nastala med terciarno orogenezo po koliziji Apulijske litosferske plošče (Apulija sensu SCHMID et al., 2004) in Evrazijske litosferske plošče, na katero se je Apulijska narinila. Predstavljena razčlenitev je shematska in sloni na teranih drugega in tretjega reda, ki so se izoblikovali iz Apulije in njenih marginalnih območij. Tako ločimo v formalno-strukturnem smislu: 1. Jadransko-Apulijsko predgorje, 2. Dinaride, 3. Južne Alpe, 4. Vzhodne Alpe in 5. Panonski bazen. Meje med enotami so v tektonskem pomenu ali v smislu rajonizacije pomembni prelomi: Periadriatski prelom, Labotski prelom, Ljutomerski prelom, Savski prelom, Južnoalpska narivna meja in zunanja meja narivnega območja Zunanjih Dinaridov. Panonski bazen določajo depresije, zapolnjene s terciarnimi sedimenti Paratetide.

Za predstavljeno tektonsko razčlenitev Slovenije so bile uporabljene naslednje podlage: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000 (1967–1986), katere zadnji list je izšel kot Osnovna geološka karta Republike Slovenije in Republike Hrvaške (1998), skrajšano OGK, Strukturno-tektonska karta Slovenije (POLJAK, 2007), ki povzema strukturne podatke iz OGK in Geološka karta Slovenije 1 : 250.000 (BUSER, v pripravi za tisk), na kateri so usklajeni stratigrafski podatki z OGK. Sedanja razčlenitev sloni na novejših (PLACER, 1999b; MIOČ, 2003; PREMUR, 2005) in starejših (RAKOVEC, 1956) poizkusih tektonske razčlenitve Slovenije ter novejših objavah, ki so prispevale k sodobnem pogledu na to vprašanje (npr. JELEN & RIFELJ, 2002).

Razčlenitev

Na sliki je podan predlog nove tektonske razčlenitve Slovenije, ki je dopolnjena po PLACERJU (1999b).

1. Jadransko-Apulijsko predgorje predstavlja relativno trdno jedro Jadranske mikroplošče. Pripada mu večji del Istre, ki je zgrajena iz kamnin

Jadransko-Dinarske mezozojske karbonatne platforme in flišnih kamnin, nastalih pri njeni degradaciji. Meja predgorja je zunanja meja naluskanega pasu Zunanjih Dinaridov. Danes je deformirana s poznejšim separatnim podrivanjem Istre, katerega osrednji strukturni element je Palmanovski narivni prelom, pri nas imenovan Črnokalski narivni prelom.

Jadransko-Apulijsko predgorje leži v vzhodni Dinaridov, Južnih Alp in Apeninov. Zato je termin Dinarsko predgorje, ki ga je uporabil OTONIČAR (2007) pravilen, vendar nima pomena strukturne enote, saj označuje le severovzhodni in vzhodni del Jadransko-Apulijskega predgorja.

2. Dinaridi so razdeljeni po standardnem strukturno-paleogeografskem modelu na Zunanje in Notranje Dinaride ter prehodno območje med njima, ki ga v prispevku prištevamo k Zunanjim Dinaridom. Enako razčlenitev uporabljajo tudi GRANDIĆ in sodelavci (2004). Na našem ozemlju izdajajo le Zunanji Dinaridi s prehodnim območjem. Meja Dinaridov nasproti Južnim Alpam poteka po Južnoalpski narivni meji, ki se proti vzhodu naslanja na Marijareški prelom. Zunanji Dinaridi zajemajo pretežni del dinarskega segmenta Jadransko-Dinarske mezozojske karbonatne platforme in del njenega Jadranskega segmenta. Značilna zanje je narivna in krovna zgradba, ki se je v Zunanjih Dinaridih zaključila v zgornjeeocenskem-posteocenskem obdobju, medtem ko se je krovna zgradba Dinaridov začela oblikovati s konvergenco med Apulijo ter Dacijo in Tiso na drugi strani v zgornjejurskem obdobju. V Zunanjih Dinaridih našega ozemlja je mogoče natančneje določiti le Trnovski in Hrušiški pokrov ter Snežniško narivno grudo. PREMUR (2005) je Dinaride vzhodno od tod podrobno razčlenil, vendar menimo, da je stopnja raziskanosti tod premajhna, da bi lahko izločili posamezne enote. Na podlagi novih podatkov prištevamo Posavske gube k Dinaridom, ker v njih ne moremo določiti jasne strukturne meje nasproti Južnim Alpam. Glede na lego znotraj Zunanjih Dinaridov predstavljajo Posavske gube prehodno območje proti Slovenskemu bazenu na severu, ki leži pretežno v Južnih Alpah in Bosanskemu bazenu na vzhodu.

3. Južne Alpe so paleogeografsko del Dinaridov, vendar so se od njih ločile v miocenu. Formalno ležijo med Periadriatskim, Labotskim in Ljutomerskim prelomom, ki je v širšem smislu del Balatonske prelomne cone, na severu ter Južnoalpsko narivno mejo in Savskim prelomom na jugu. V Južnih Alpah izdajajo kamnine Slovenskega bazena mezozojske starosti in zgornjetriasne kamnine Julijske karbonatne platforme. Južno od Periadriatskega preloma v Karnijskih Alpah in Južnih Karavankah izdajajo tudi paleozojske kamnine (MIOČ, 1997). Taka zgradba je povezana s sinformno strukturo Julijskih in Kamniško-Savinjskih Alp v smeri zahod-vzhod in s transpresijskim izrivanjem ob Periadriatski prelomni coni. Južnoalpska narivna meja predstavlja južni rob cone narivnih prelomov, ki segajo

na vzhodu do Savskega preloma. Njen severni rob je Krnsko-Koblanski narivni prelom. Vzhodno od Želimejskega preloma se Južnoalpska narivna meja naslanja na Savski prelom, natančneje na Marijareški prelom, ki je element prelomne cone Savskega preloma. V prejšnji interpretaciji (PLACER, 1999b) je bil Krnsko-Koblanski narivni prelom na podlagi podatkov OGK (GRAD & FERJANČIČ 1974, 1976; BUSER, 1986, 1987) interpretiran kot meja Julijskega pokrova. Novi sklep izhaja iz podatkov o normalni legi zgornjetriasnih karbonatov na srednjetrojskih klastitih v Julijskih Alpah (SKABERNE et al., 2003) in enakih razmerah v Kamniško-Savinjskih Alpah (CELARC, 2003). Zaradi tega moramo opustiti idejo o Julijskem pokrovu in obravnavati Julijske Alpe kot narivno grudo. Iz narave Južnoalpske narivne meje je nepotrebno tudi uvajanje Tolminskega pokrova (KRYSŤYN et al., 1994). Slatenska plošča je tektonska krpa (SEIDL, 1929; JURKOVŠEK, 1987a, 1987b; CELARC & HERLEC, 2007), ki je verjetno ostanek ekstremnega dviga severnega krila Julijske sinforme pri podrivanju Zunanjih Dinaridov.

4. Vzhodne Alpe so geološko-orografski termin, ki zajema kompleks predkambrijskih in staropaleozojskih metamorforiziranih kamnin ter permskih in mezozojskih sedimentnih kamnin severno od Periadriatskega preloma, ki se vzhodno od Labotskega preloma imenuje Ljutomerski prelom. V strukturnem smislu so Vzhodne Alpe zgrajene iz sistema obsežnih pokrovov, imenovanih Avstroalpski pokrovi, skrajšano Avstroalpin, ki predstavljajo stisnjene in razpotegnjene ostanke marginalnih območij vmesnega morja med Evropsko (Evrazijsko) in Apulijsko litosfersko ploščo. Ti pokrovi so nastali v teku kredne in terciarne orogeneze in jih zaradi tesne povezave z narinjeno Apulijsko ploščo prištevamo k slednji. TOLLMAN (1977) je Avstroalpske pokrove razdelil na spodnji, srednji in zgornji Avstroalpin, mlajši raziskovalci kot SCHMID in sodelavci, (2004) pa v spodnji, spodnji del zgornjega Avstroalpina in zgornji Avstroalpin. Pri nas pripadajo Vzhodnim Alpam Kobansko, Pohorje, Strojna in Severne Karavanke. MIOČ (2003) je uporabil Tollmanovo razčlenitev ter Pohorje in del Kobanskega uvrstil v zgornji Avstroalpin, del Kobanskega, Strojno in Severne Karavanke pa v srednji Avstroalpin. Ta po novejši terminologiji pripada spodnjemu delu zgornjega Avstroalpina, ki vključuje tudi nemetamorforizirane paleozojske in mezozojske kamnine, pri nas Severne Karavanke. Te tvorijo značilno izrivno transpresijsko strukturo ob Periadriatski prelomni coni, ob kateri so najvišje dvignjeni paleozojski filitoidni skrilavci v podlagi permotriasnih klastitov. Severne Karavanke uvrščajo v strukturnem smislu v Južne Alpe, vendar imajo podoben litološki razvoj podlage in sedimentnega mezozojskega pokrova kot spodnji del zgornjega Avstroalpina južno od Severnoapneniških Alp. Zato je smiselno, da jih obravnavamo kot del Vzhodnih Alp.

Poleg krovne zgradbe je pomembna značilnost Vzhodnih Alp tonaltni plutonizem, ki ga de-

limo na periadriatske intruzije (pri nas južni pas Železnokapelske magmatske cone) in na pluton tonalita/granodiorita na Pohorju s sili in dajki dacita. Po podatkih TRAJANOVE et al. (2008) je periadriatska intruzija oligocenska, stara okoli 32 Ma, pohorski pluton skupaj z dacitom pa miocenski, star med 19 in 18 Ma. Nekoliko mlajši so dajki riodacita in lamporfirja, med 17 in 16 Ma. Zaradi razlike v starosti in drugačne lege pohorskega tonalita ne uvrščamo med Periadriatske intruzije.

5. Panonski bazen, oziroma sistem bazenov, sestavljajo posamezne depresije, ki so nastajale in se spreminjale tekom paleogena in neogena. Izpolnjene so s sedimenti Paratetide, ki so odloženi na pogreznjenih vzhodnih podaljskih Vzhodnih Alp, Južnih Alp in Dinaridov. Prostor Panonskega bazena se je pričel dejavneje strukturno oblikovati s postkolizijskim tektonskim pobegom Vzhodnih Alp proti vzhodu v začetku miocena, katerega južna meja je bila Periadriatska prelomna cona (RATSCHBACHER et al., 1991). Po podatkih FODORJA in sodelavcev (2002) o vlogi Ljutomerskega preloma, domnevamo, da bi se pobeg v začetnem stadiju lahko dogajal ob Ljutomerskem prelomu. Lateralna ekstruzija je zajela tudi območje Dinaridov severno od Zagrebškega lineamenta (HAAS & KOVÁCS, 2001; JELEN et al., 2001). Razvoj bazena je bil ob menjavanju ekstenzijskih in kompresijskih pogojev večstopenjski. Rezultat teh procesov je današnja zgradba kjer v severovzhodni Sloveniji nastopajo podbazeni, ki so nastali iz spodnjemiocenskega Mura-Zala in Štajerskega bazena, npr. Haloško-Ljutomerski podbazen, na zahodnem obrobju pa izolirani bazeni v Vzhodnih in Južnih Alpah ter Dinaridih. Pomembnejši so Smrekovski, Celjski, Tunjiško-Motniški, Laški, Planinski, Senovski in Krški bazen. Najdlje na zahodu je Bohinjski bazen (JELEN et al., 2008).

Problematika tektonske razčlenitve

Pri posodobitvi sheme tektonske razčlenitve Slovenije je potrebno izpostaviti dve pomembni vprašanji, ki se še vedno intenzivno raziskujeta: Prvič, potek meje med Južnimi Alpami in Dinaridi skupaj z vprašanjem razprostranjenosti Trnovskega pokrova in drugič, vprašanje razčlenitve Dinaridov. Meja med Južnimi in Vzhodnimi Alpami poteka formalno po Periadriatski in Balatonski prelomni coni, vprašanje geneze Panonskega bazena in izoliranih bazenov ob njegovem zahodnem obrobju v Vzhodnih in Južnih Alpah ter Dinaridih je rezultat številnih raziskav zadnjih dveh desetletij.

Meja med Južnimi Alpami in Dinaridi. Podatki kartiranja za OGK so utrdili mnenje, da je Blegoš del Zunanjih Dinaridov (GRAD & FERJANČIČ, 1974, 1976; PREMUR, 1980). To je bilo potrjeno s kinematsko analizo geneze blegoške strukture (PLACER & ČAR, 1997), iz katere je razvidno, da je zgradba Blegoša nastala najprej zaradi dinarsko usmerjenega narivanja od severovzhoda proti jugozahodu in nato zaradi podpiranja Zunanjih Dinaridov

pod Južne Alpe od juga do jugovzhoda proti severu do severozahoda. Na območju Blegoša je zato mogoče nedvoumno določiti strukturno mejo med Zunanji Dinaridi in Južnimi Alpami, ki je narivna ploskev. Njen potek zahodno od Blegoša je do Idrijskega preloma sorazmerno jasen, saj se na severni strani nahajajo globljemorske kamnine Slovenskega bazena, na južni strani pa karbonatne kamnine Trnovskega pokrova. Ob Idrijskem prelomu je meja zamaknjena proti severozahodu za nekaj kilometrov. Poseben pomen pri dokazovanju njenega značaja ima vzhodno od Idrijskega preloma ležeča Ponikvanska tektonska krpa, ki predstavlja ostanek nariva kamnin Slovenskega bazena na Trnovski pokrov. Obravnavano mejo je mogoče vzhodno od Blegoša slediti do Ljubljanske kotline in ob njenem zahodnem robu.

Pri razpravi o poteku meje med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi vzhodno od Ljubljanske kotline je pomembno primerjati razvoj kamnin Slovenskega bazena zahodno od Ljubljanske kotline v okviru Južnih Alp z razvojem vzhodno od Ljubljanske kotline v zahodnem delu Posavskih gub in ugotoviti, če obstajajo v Posavskih gubah dinarske krovne strukture. Za kamnine Slovenskega bazena zahodno od Ljubljanske kotline so značilni globljemorski jurski in kredni sedimenti, medtem ko na vzhodnem obrobju Ljubljanske kotline nastopajo ti le v severnem pasu Posavskih gub severno od jedra Trojanske antiklinale. V osrednjem in južnem delu Posavskih gub pa prevladujejo plitvovodne triasno-jurske karbonatne kamnine, na katerih je odložen zgornjekredni fliš (PREMUR, 1980, 1983a, 1983b, 2005). Tak razvoj najdemo tudi na nekaterih osamelcih Ljubljanskega polja. V zvezi z narivno zgradbo je pomembno, da tvorijo v Posavskih gubah mezozojske kamnine eno ali več obsežnih krovnih enot, ki so bile narijene pred odložitvijo srednje do zgornjeoligocenskih plasti (PLACER, 1999a), kar je razvidno iz detajlov kartiranja za OGK, lista Celje (BUSER, 1978) in Novo mesto (PLENIČAR & PREMUR, 1976). Krovne enote Posavskih gub lahko časovno vzporejamo le z dinarskimi pokrovi v jugozahodni Sloveniji, torej se je cikel narivanja zaključil konec eocenske ali na začetku oligocenske dobe, iz česar sklepamo, da so pokrovi Posavskih gub dinarske provenience. Osrednji in južni del Posavskih gub pripada v facialnem smislu kamninam mejnega pasu Jadransko-Dinarske karbonatne platforme in kamninam Slovenskega bazena.

Dinarski izvor potrjuje tudi notranja zgradba krovnih enot. Meje le teh potekajo vzhodno od Ljubljanske kotline v smeri zahod-vzhod, ki jo formalno vzporejamo z alpsko smerjo. Ta je nastala v več fazah pri različnih dinamskih pogojih.

Posavske gube so zgrajene iz krovnih narivov dinarskega izvora, ki so nagubani v alpski smeri. V ta sistem spada tudi Kumski nariv, ki je bil v prejšnji interpretaciji (PLACER, 1999b, sl. 8, varianta b) zaradi morfološke izrazitosti obravnavan kot Južnoalpska narivna meja. Tedanjo odločitev za uvrstitev v Južne Alpe so podpirale tudi podobne razmere zahodno od Julijskih Alp (DOGLIONI & BOSELLINI, 1987; DOGLIONI & SIORPAES, 1990).

V Posavskih gubah lahko potegnemo ozko strukturno mejo med Južnimi Alpami in Dinaridi le ob severnem robu Trojanske antiklinale, kjer so po podatkih Geološke karte Slovenije 1 : 250.000 (BUSER, v tisku) globljevodne plasti Slovenskega bazena narinjene proti jugu. V makrotektonski razčlenitvi Slovenije (PLACER, 1999b, sl. 8, varianta a) je bila ta varianta omenjena kot možna, vendar obravnavana kot manj verjetna zaradi drugačne stratigrafske uvrstitve kamnin tega območja. Južnoalpska narivna meja se proti vzhodu naslanja na Marijareški prelom (GRAD, 1969), ki ga obravnavamo kot element znotraj cone Savskega preloma (VRABEC, 2001). Taka rešitev je smiselna, ker so Savinjske Alpe ob Savskem prelomu odrezan in premaknjen del Julijskih Alp.

Trnovski pokrov sensu MLAKAR (1969) in PLACER (1999b) je najvišja krovna enota Zunanjih Dinaridov zahodne Slovenije. Karbonskopermski klastiti v severovzhodnem korenskem delu pokrova zahodno od Ljubljanske kotline ležijo nedvomno na mezozojskih karbonatih spodnje krovne enote. Nasprotno pa ležijo karbonskopermski klastiti Litijske antiklinale vzhodno od Ljubljanske kotline dosledno pod mezozojskimi kamninami in ni nobenega posrednega ali neposrednega dokaza, da bi bilo kako drugače (PLACER, 1999b). Karbonskopermski klastiti Trnovskega pokrova in Litijske antiklinale se torej stikajo na območju Ljubljanske kotline, vendar pripadajo različnim strukturnim enotama. Ta, sicer drugače viden problem, so z različnih gledišč reševali številni geologi (KOSSMAT, 1913; WINKLER, 1923; RAKOVEC, 1956; MLAKAR, 1987; PLACER, 1999b; MIOČ, 1976, 1981, 2003; PREMUR, 1980, 1983a, 1983b, 2005).

Za razlago razprostranjenosti Trnovskega pokrova vzhodno od Ljubljanske kotline in različnega razvoja mezozojskih kamnin vzhodnega in zahodnega obrobja Ljubljanske kotline in severnega ter vzhodnega obrobja Ljubljanskega barja je pomemben obstoj velike miocenske strižne cone (TARI, 2002), ki naj bi potekala zvezno od Ljubljanske kotline do Imotskega v Hercegovini in naprej. Zaradi lažje orientacije jo imenujmo prelomna cona Ljubljana-Imotski, ki ima med longitudinalnimi prelomi v Dinaridih posebej pomembno mesto. Najpomembnejši v snopu prelomov te cone je v Sloveniji Želimejski prelom, ki poteka preko osrednjega dela Zunanjih Dinaridov, ob vzhodnem robu Ljubljanskega barja in zahodnem robu Ljubljanske kotline ter se severno od Radovljice nasloni na Savski prelom. Iz nekompatibilnosti zahodnega in vzhodnega obrobja Ljubljanske kotline ter Ljubljanskega barja sklepamo, da se meja Trnovskega pokrova naslanja na Želimejski prelom. Njeno izdanjanje v severovzhodnem krilu Želimejskega preloma moramo potemtakem iskati jugovzhodno od tod. V Posavskih gubah nastopajo krovne enote, ki ležijo strukturno nad Trnovskim pokrovom. Karbonskopermske plasti Posavskih gub tvorijo »mehko posteljico«² dinarske krovne in narivne zgradbe. O pomenu Želimejskega preloma govorijo tudi erozijska okna permskih plasti pri Ortneku, ki izdanjajo v močno dvignjenem jugovzhodnem krilu preloma.

Želimejski prelom razmejuje dva različna tipa prehodne cone ob južni strani Južnoalpske narivne meje. Na zahodu je ta ožja in izrazita, na vzhodu pa široka nagubana cona s podrejenimi simetrično razporejenimi narivnimi prelomi, ki je doživela več transformacij.

Znaten zamik meje Trnovskega pokrova in neznoten premik Južnoalpske narivne meje ob Želimejskem prelomu je povezan s pedsrednjeoligocensko starostjo Trnovskega pokrova, ki je starejši od prelomne cone Ljubljana-Imotski in miocenskim ter postmiocenskim podirvanjem Dinaridov pod Južne Alpe, ki je mlajše od viška premikov ob Želimejskem prelomu. Glede na razlike v zgradbi Ljubljanskega barja in Ljubljanske kotline pa je verjetno aktiven še danes. Ljubljansko barje je prečno vmeščeno med Želimejski prelom in snopom prelomov ob njegovem jugovzhodnem robu. Ti prelomi so del niza prelomov od Ravenskega preko Sovodenejskega (MLAKAR & PLACER, 2000), Borovniškega do Ravniškega preloma (BUSER, 1976), ki se pri Ribnici naslanja na Želimejski prelom. Na sliki sta Ravenski in Sovodenijski prelom označena z RVF, cona Borovniškega in Ravniški prelom pa z BRF. Obravnavani niz prelomov tvori z Želimejskim prelomom bočni izrivni klin katerega dinamika še ni raziskana. Glede na regionalne razmere bi se lahko nahajal v stanju ekstenzije ali kompresije, če Julijske Alpe preprečujejo izrivanje in je Južnoalpska narivna meja med obravnavanimi prelomoma neaktivna.

Vprašanje razčlenitve Dinaridov je večplastno, saj se ponuja več modelov, ki izhajajo iz obstoja ene ali dveh mezozojskih karbonatnih platform, iz česar izhaja njihov poznejši strukturni razvoj in zazčlenitev. Eno platformo zagovarjajo npr. VLAHOVIĆ in sodelavci (2005), ki jo imenujejo Jadranska karbonatna platforma, za katero nekateri uporabljajo termin Jadransko-Dinarska karbonatna platforma (PAMIĆ & HRVATOVIĆ, 2003). Po klasičnem modelu, ki izhaja iz ene mezozojske karbonatne platforme, so Dinaridi v strukturnem smislu razdeljeni na Notranje in Zunanje Dinaride, pri čemer pa se je obseg enot in predstava o njihovem kinematskem razvoju v zgodovinskih razdobjih spreminjala. Vendar so območje mezozojskih karbonatnih kamnin vsi uvrščali v zunanji del Dinaridov, npr. V. PETKOVIĆ, 1931 in K. PETKOVIĆ, 1957, nekateri določneje v Zunanje Dinaride, npr. B. ĆIRIĆ, 1960; J. AUBOUIN, 1974 in M. ANĐELKOVIĆ, 1978 (ANĐELKOVIĆ, 1978). Dinaridi so zgrajeni iz krovnih enot, narinjenih proti jugovzhodu, ki so nastajale od zgornje jure do zgornjega eocena in še v spodnjem oligocenu. Zunanji Dinaridi zajemajo večji del Jadransko-Dinarske karbonatne platforme, razen njenega jugovzhodnega dela, ki je sestavni del Jadransko-Apulijskega predgorja in marginalne bazene na severovzhodu. Notranji Dinaridi zajemajo dele oceanske skorje. Meja med Zunanji Dinaridi in Jadransko-Apulijskim predgorjem je strukturna in poteka po zunanjem robu jadranskih otokov in preko severovzhodnega dela Istre, nasproti Notranjim Dinaridom pa nastopa obsežno prehodno območje z obrobnimi globljevodnimi bazeni.

Po modelu dveh mezozojskih karbonatnih platform, Jadranske in Dinarske, sta med drugimi zanimivi interpretaciji Dinaridov predložila HERAK (1986, 1989, 1991, 1999) in TARIJEVA (2002). HERAK zagovarja velike krovne medsekvenčne narive. Ločil je Adriatik, ki obsega Jadransko karbonatno platformo, nanj narinjeni Epiadriatik, ki zajema vmesni bazen, na Epiadriatik narinjeni Dinarik, ki zajema Dinarsko karbonatno platformo in najvišje v krovni zgradbi Supradinarik iz kamnin prehodnega območja. MIOČ (2003) je v tektonski razčlenitvi Slovenije uporabil Herakov model. TARIJEVA ločuje Adrio v smislu Jadranske mikroplošče, ki zajema Jadransko mezozojsko karbonatno platformo in Dinaride, ki zajemajo Dinarsko mezozojsko karbonatno platformo. Dinaridi so narinjeni na Adrio. Adrio sestavljajo sorazmerno šibko tektonizirano jedro, kamor sodi del Jadranske karbonatne platforme (Istra), Jadranski bazen in del Apulijske karbonatne platforme ter naluskano obrobje, kamor spadajo jadranski otoki in Ravni Kotari. Dinaridi zajemajo celotno Dinarsko karbonatno platformo z marginalnimi bazeni (Zahodni narivni pas) in nanje narinjeno oceansko skorjo (Vzhodni narivni pas). Narinjeni Dinaridi prekrivajo sedimente Budvanskega bazena. V Sloveniji je v naluskani rob Adrie TARIJEVA uvrstila naluskani pas Čičarije, samo Čičarijo in Kraško planoto pa v Dinaride. VRABEC in FODOR (2006) sta v naluskani pas Adrie uvrstila tudi pas med Čičarijo in Snežniškim narivom. HERAK in TARIJEVA predvidevata v Sloveniji veliko krovno strukturo, Herak med Epiadriatikom in Dinarikom, Tarijeva pa med naluskanim robom Adrie in Dinaridi.

DROBNETOVA in OGORELEC (2006, 2008) omenjata na severovzhodnem obrobju Vipavske in Brkinske flišne sinklinale elemente globljevodnega razvoja in paleocensko scaglio, iz česar v smislu Herakovega modela sklepata na obstoj Adriatika v Istri, Čičariji in na Krasu ter na obstoj Epiadriatika na severovzhodnem obrobju Vipavske in Brkinske flišne sinklinale. Epidinarik naj bi bil prekrit z narinjenim Dinarikom (sensu HERAK, 1999). S tem v zvezi uporabita model strukturne karte Italije (BIGI et al., 1990–1992), kjer so Snežniški narivni prelom ter Hruški in Trnovski krovni prelom združeni v enotno krovno narivno ploskev. Pri tem se ne dotakneta vprašanja obsega prvotnega bazena med Jadransko in Dinarsko karbonatno platformo, ki je bistveni element Herakovega modela.

Na podlagi podatkov strukturnega kartiranja jugozahodne Slovenije (PLACER, 2002, 2005, 2007; PLACER et al., 2004), raziskav v Furlaniji (PERUZZA et al., 2002; CARULLI, 2006), izrazite izvensekvenčne lege Snežniškega narivnega preloma ter Hruškiškega in Trnovskega krovnega preloma, dovolj natančne analize premika Trnovskega pokrova (PLACER, 1973, 1981) in rezultatov vrtnanja znotraj Trnovskega pokrova (PLACER et al., 2000) je mogoče sklepati, da je v severozahodnem delu Dinaridov obstajala poglobitev med Jadranskim in Dinarskim segmentom Jadransko-Dinarske mezozojske karbonatne platforme le od paleo-

cena naprej. Zaradi tega je upravičeno govoriti o enotni Jadransko-Dinarski karbonatni platformi s plitvejšimi intraplatformskimi jarki v smislu VLAHOVIČA in sodelavcev (2005). Tak zaključek je smiseln tudi zato, ker nastopa paleocenska scaglia tudi na Sabotinu in Banjščicah v Trnovskem pokrovu, na Kaliču v Hruškiškem pokrovu in na Kočevskem, kar vse je mogoče interpretirati kot plitvejše poglobitve. Območje izdankov scaglie na Banjščicah je nasproti starejšim bazenskim sedimentom Trnovskega gozda ločeno s Predjamskim prelomom, ki prekriva močnejši narivni prelom znotraj Trnovskega pokrova. Tako razlagajo zgradbo tega ozemlja BIGI et al. (1989–2000) in PREMUR (2005), potrjuje pa jo tudi nova karta Furlanije Julijske krajine (CARULLI, 2006). Taka struktura potrjuje izvensekvenčni potek narivnih ploskev tega dela Dinaridov in s tem upravičenost enotnega obravnavanja Jadransko-Dinarske karbonatne platforme. Razmere v osrednjem in jugovzhodnem delu Dinaridov so drugačne.

Po sicer delno objavljenih fragmentih o zgradbi mejnega pasu med Jadransko-Apulijskim predgorjem in območjem v njegoven zaledju – Kraški rob (PLACER, 2002, 2005, 2007; PLACER et al., 2004) izhaja, da so Trnovski in Hruškiški pokrov, Snežniška narivna gruda in zasnova Kraškega roba nastali v fazi narivanja Zunanjih Dinaridov konec eocena in v začetku oligocena, medtem ko je podiranje Jadranske mikroplošče (TARI, 2002) in separatno Istre nastopilo v srednjem miocenu in pozneje. Tedaj se je razvil današnji podrivni pas v Istri, katerega osrednji element je Črnokalski narivni prelom, oziroma Palmanovski narivni prelom. Zato predstavlja formalno mejo Zunanjih Dinaridov meja zunanjega naluskanega pasu.

Na sliki je označena tudi Jadranska mikroplošča. Pomemben problem predstavlja vprašanje poteka njene severovzhodne meje. Ta v srednjem in jugovzhodnem delu Zunanjih Dinaridov ločuje jadranski in dinarski segment Jadransko-Dinarske mezozojske karbonatne platforme v strukturnem in paleogeografskem smislu. V severozahodnem delu Zunanjih Dinaridov v Sloveniji, kjer sta oba segmenta mezozojske karbonatne platforme spojena, pa razmere niso enostavne. V prvi fazi njenega nastajanja v miocenu je bila meja identična s celom snežniškega narivnega preloma ter celom Hruškiškega in Trnovskega krovnega narivnega preloma, v recentnem obdobju pa poteka od čela Snežniškega narivnega preloma proti Idrijskemu prelomu v zgornjem Posočju in po Južnoalpski narivni meji zahodno od Idrijskega preloma. Podobno so o tej meji v recentnem obdobju domnevali že CARULLI et al. (1990).

Reference – References

- ANĐELKOVIĆ, M. 1982: Geologija Jugoslavije. Rudarsko-geološki fakultet (Beograd): 1–692.
- BIGI, G., COSENTINO, D., PAROTTO, M., SARTORI, R. & SCANDONE, P. 1990–1992: Structural model of Italy and gravity map 1 : 500.000, sheet 2, Quaderni Ricerca Scientifica n. 114. Consiglio

- nazionale delle ricerche. Progetto Finalizzato Geodinamica. CNR Roma.
- BIGI, G., CASTELLARINI, A., CATALANO, R., COLI, M., COSENTINO, D., DAL PIAZ, G. V., LENTINI, F., PAROTTO, M., PATACCA, E., PRATURLON, A., SALVINI, F., SARTORI, R., SCANDONE, P. & VAI, G. B. 1989–2000: Synthetic structural-kinematic map of Italy 1 : 2,000,000. – Consiglio nazionale delle ricerche. Progetto Finalizzato Geodinamica. PFG-CNR, Roma.
- BUSER, S. 1976: Tektonska zgradba južnozahodne Slovenije. 8. jug. geol. kongres (Ljubljana) 3: 45–58.
- BUSER, S. 1978: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Celje. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- BUSER, S. 1986: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, Tolmač lista Tolmin in Videm / Udine/. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–103.
- BUSER, S. 1987: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Tolmin in Videm / Udine/. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian basin (NW Yugoslavia). Mem. Soc. Geol. It. (Roma) 40 (1987): 313–320.
- BUSER, S.: Geološka karta Slovenije 1 : 250.000. – Geološki zavod Slovenije (Ljubljana). In print.
- CARULLI, G. B., NICOLICH, R., REBEZ, A. & SLEJKO, D. 1990: Seismotectonics of the Northwest External Dinarides. Tectonophysics (Amsterdam) 179: 11–25.
- CARULLI, G. B. 2006: Carta Geologica del Friuli Venezia Giulia, Scala 1:150.000. S.E.L.C.A. (Firenze).
- CELARC, B. 2003: Preliminarni rezultati geološkega kartiranja severovzhodnega dela Kamniško – Savinjskih Alp. Geološki zbornik (Ljubljana) 17: 25–27.
- CELARC, B. & HERLEC, U. 2007: Nariv Slatenske plošče na jurske apnenice v Kanjavcu. Geološki zbornik (Ljubljana) 19: 9–11.
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A., HORVÁTH, F. & KOVÁČ, M. 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. Tectonophysics (Amsterdam) 199: 73–91.
- DOGLIONI, C. & BOSELLINI, A. 1987: Eoalpine and mesoalpine tectonics in the Southern Alps. Geologische Rundschau (Stuttgart) 76/3: 735–754.
- DOGLIONI, C. & SORPAES, C. 1990: Polyphase deformation in the Col Bechei area (Dolomites – Northern Italy). Eclogae geol. Helv. (Basel) 83/3: 701–710.
- DROBNE, K. & OGORELEC, B. 2006: Inquadramento geologico del Paleogene nel SO della Slovenia. V: Melis, R., Romano, R. & Fonda G. (eds.): Società Paleontologica Italiana: Giornate di paleontologia 2006, Trieste 8–11 giugno 2006, Guida alle escursioni (Excursions guide). Università di Trieste.
- DROBNE, K., OGORELEC, B., PAVŠIČ, J. & PAVLOVEC, R. 2008: Slovenian Tethys basins. In: Mc Cann, T. (ed.): The Geology of Central Europe, Vol. 2. Mesozoic and Cenozoic, Part 17 Paleogene and Neogene. (RASSER, M. W. & HAURZHAUSER, M., coord.), Geological Society, Spec. Publ., (London) 1093–1098, ref. partly 1114–1139.
- FODOR, L., JELEN, M., MARTON, E., SKABERNE, D., ČAR, J. & VRABEC, M. 1998: Miocene – Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic fault. Implications for Alpine-Carpathian extrusion models. Tectonics (AGU) 17/5: 690–709.
- FODOR, L., JELEN, B., MARTON, E., RIFELJ, H., KRALJIĆ, M., KEVRIĆ, R., MARTON, P., KOROKNAI, B., & BALDI – BEKE, M. 2002: Miocene to Quaternary deformation, stratigraphy and paleogeography in Northeastern Slovenia and Southwestern Hungary. Geologija (Ljubljana) 45/1: 103–114.
- GRAD, K. 1969: Psevdoziljski skladi med Celjem in Vranskim. Geologija (Ljubljana) 12: 91–105.
- GRAD, K. & FERJANČIČ, L. 1974: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Kranj. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- GRAD, K. & FERJANČIČ, L. 1974: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, Tolmač lista Kranj. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–70.
- GRANDIĆ, S., KRATKOVIĆ, I., KOLBAH, S., & SAMARŽIJA, J. 2004: Hydrocarbon potential of stratigraphic and structural traps of the Ravni Kotari area – Croatia. Nafta (Zagreb) 55/7–8: 311–327.
- HAAS, J. & KOVÁCS, S. 2001: The Dinaric-Alpine connection – as seen from Hungary. Acta Geologica Hungarica (Budapest) 44/2–3: 345–362.
- HERAK, M. 1986: A new concept of geotectonics of the Dinarides. Acta geologica 16/1, Prirodoslovna istraživanja (Zagreb) 51: 1–42.
- HERAK, M. 1989: Relationship between Adriatic and Dinaric carbonate platforms. Mem. Soc. Geol. It. (Roma) 40 (1987): 289–293.
- HERAK, M. 1991: Dinarides, mobilistic view of the genesis and structure. Acta geologica (Zagreb) 21/2: 35–117.
- HERAK, M. 1999: Tectonic Interrelation of the Dinarides and the Southern Alps. Geol. Croat. (Zagreb) 52/1: 83–98.
- JELEN, B., BÁLDI – BEKE, M. & RIFELJ, H. 2001: Oligocenske klastične kamnine v tektonostratigrafskem modelu terciarja vzhodne Slovenije. Geološki zbornik (Ljubljana) 16: 34–37.
- JELEN, B. & RIFELJ, H. 2002: Stratigraphic structure of the B1 Tertiary tectonostratigraphic unit in eastern Slovenia. Geologija (Ljubljana) 45/1: 115–138.
- JELEN, B., RIFELJ, H., SKABERNE, D., M. POLJAK & KRALJ, P. 2008: Slovenian Paratethys basins. In: McCann, T. (ed.): Geology of Central Europe; Paleogene and Neogene of Central Europe. Geological Society of London (London). In print.
- JURKOVŠEK, B. 1987a: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Beljak in Ponteba. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- JURKOVŠEK, B. 1987b: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, Tolmač lista Beljak in Ponteba. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–58.
- KOSSMAT, F. 1913: Die adriatische Umrandung in der alpinen Faltenregion. Mitt. Geol. Gesell. (Wien) VI: 61–165.
- KRYSTYN, L., LEIN, R., SCHLAF, J. & BAUER, F. 1994: Über ein neues obertriadisch -jurasches Intraplattformbecken in den Südkarawanken.

- Jubileumsschrift 20 Jahre Geol. Zusammenarbeit Österreich – Ungarn GBA (Wien) 2: 409–416.
- MIOČ, P. 1976: Prilog poznavanju tektonskih odnosa granične zone istočnih Posavskih bora i dinarskog šelfa. Sekc. za prim. geol. geof. i geok. JAZU, II, Znanst. skup 1975 (Zagreb) Ser. A, 5: 223–228.
- MIOČ, P. 1981: Tektonski odnosi savske navlake prema susjednim jedinicama u Sloveniji te njena veza sa širim jugoslovenskim područjem. Nafta (Zagreb) 32: 543–548.
- MIOČ, P. 1997: Tectonic Structure Along the Periadriatic Lineament in Slovenia. Geol. Croat. (Zagreb) 50/2: 251–260.
- MIOČ, P. 2003: Outline of the geology of Slovenia. Acta Geologica Hungarica (Budapest) 46/1: 3–27.
- MLAKAR, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja. Geologija (Ljubljana) 12: 5–72.
- MLAKAR, I. 1987: Prispevek k poznavanju geološke zgradbe Posavskih gub in njihovega južnega obrobja. Geologija (Ljubljana) 28/29: 157–182.
- MLAKAR, I. & PLACER, L. 2000: Geološka zgradba Žirovskega vrha in okolice. In: Florjančič, A. P (ed.): Rudnik urana Žirovski vrh (Didakta, Radovljica): 34–45.
- OTONIČAR, B. 2007: Upper Cretaceous to Paleogene Forebulge Unconformity Associated with Foreland Basin Evolution (Kras, Matarsko podolje and Istria; SW Slovenia and NW Croatia). Acta carsologica (Ljubljana) 36/1: 101–120.
- PAMIČ, J. & HRVATOVIĆ, H. 2003: Main large thrust structures in the Dinarides – a proposal for their classification. Nafta (Zagreb) 54 (12): 443–456.
- PERUZZA, L., RENNER, G. & SLEJKO, D. 2002: Stress field along the eastern Adriatic coast from earthquake fault plane solutions. Mem. Soc. Geol. It. (Roma) 57: 409–418.
- PLENIČAR, M. & PREMUR, U. 1976: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Novo mesto. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- PLACER, L. 1973: Rekonstrukcija krovne zgradbe idrijsko-žirovskega ozemlja. Geologija (Ljubljana) 16: 317–334.
- PLACER, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. Geologija (Ljubljana) 24/1: 27–60.
- PLACER, L. 1999a: Structural meaning of the Sava folds. Geologija (Ljubljana) 41 (1998): 191–221.
- PLACER, L. 1999b: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. Geologija (Ljubljana) 41 (1998): 223–255.
- PLACER, L. 2002: Predhodna objava rezultatov strukturnega profiliranja Kraškega roba in Istre, AC Kozina–Srmin, Sečovelje. Geologija (Ljubljana) 45/1: 277–280.
- PLACER, L. 2005: Strukturne posebnosti severne Istre. Geologija (Ljubljana) 48/2: 245–251.
- PLACER, L. 2007: Kraški rob: Geološki prerez vzdolž AC Kozina–Koper. Geologija (Ljubljana) 50/1: 29–44.
- PLACER, L. 2008: Nov pogled na tektonsko razonizacijo Slovenije. Geologija (Ljubljana) 51/2: In print.
- PLACER, L. & ČAR, J. 1997: Structure of Mt. Blegoš between the Inner and Outer Dinarides. Geologija (Ljubljana) 40: 305–323.
- PLACER, L., RAJVER, D., TRAJANOVA, M., OGORELEC, B., SKABERNE, D. & MLAKAR, I. 2000: Vrtina Ce2/95 v Cerknem na meji med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. Geologija (Ljubljana) 43/2: 251–266.
- PLACER, L., KOŠIR, A., POPIT, T., ŠMUC, A. & JUVAN, G. 2004: The Buzet thrust fault in Istria and overturned carbonate megabeds in the Eocene flysch of the Dragonja Valley (Slovenia). Geologija (Ljubljana) 47/2: 193–198.
- POLJAK, M., 2007: Strukturno-tektonska karta Slovenije 1 : 250.000. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana): 1–52.
- PREMRU, U. 1980: Geološka zgradba osrednje Slovenije. Geologija (Ljubljana) 23/2: 227–278.
- PREMRU, U. 1983a: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, List Ljubljana. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- PREMRU, U. 1983b: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, Tolmač lista Ljubljana. Zvezni geološki zavod (Beograd): 1–75.
- PREMRU, U. 2005: Tektonika in tektogeneza Slovenije. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana): 1–518.
- RAKOVEC, I. 1956: Pregled tektonske zgradbe Slovenije. In: Prvi jugoslovanski geološki kongres, Bled 1954 (Ljubljana): 73–83.
- SKABERNE, D., GORIČAN, Š. & ČAR, J. 2003: Kamnine in fosili (radiolariji) iz kamniloma Kamna Gorica. Vigenje (Radovljica) III: 85–99.
- SCHMID, M. S., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. 2004: Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. Eclogae geol. Helv. (Basel) 97: 93–117.
- SEIDL, F. 1929: Zlatenska ploča v osrednjih Julijskih Alpah. Glasnik Muz. društva za Slovenijo (Ljubljana) 10.
- TARI, V. 2002: Evolution of the northern and western Dinarides: a tectonostratigraphic approach. EGU Stephan Müller Spec. Publi. (European Geosciences Union) Ser. 1: 223–236.
- TOLLMAN, A. 1977: Geologie von Österreich, Band 1. Die Zentralalpen. (Wien) 1–766.
- TRAJANOVA, M., PÉCSKAY, Z. & ITAYA, T. 2008: K-Ar geochronology and petrography of the Miocene Pohorje Mountains batholith (Slovenia). Geologica Carpathica (Bratislava) 59/3: 247–260.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. 2005: Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Amsterdam) 220: 333–336.
- VRABEC, M. 2001: Strukturna analiza cone Savskega preloma med Trstenikom in Stahovico. Doktorska disertacija (Ljubljana): 1–94.
- VRABEC, M. & FODOR, L. 2006: Late Cenozoic Tectonics of Slovenia: Structural styles at the Northeastern Corner of the Adriatic Microplate. In: Pinter et al. (eds.): The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazards. Springer: 151–168.
- WINKLER, A. 1923: Über den Bau der östlichen Südalpen. Mitt. Geol. Gesell. (Wien) XVI 1–272.

Vršaj Koroška Bela – Rezultat katastrofičnih pobočnih dogodkov

Koroška Bela alluvial fan – The result of the catastrophic slope events; (Karavanke Mountains, NW Slovenia)

Jernej JEŽ¹, Matjaž MIKOŠ², Mirka TRAJANOVA¹, Špela KUMELJ¹, Tomaž BUDKOVIČ¹ & Miloš BAVEC¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

²Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: drobirski tok, vršaj, zemeljski plaz, izvorno območje, sedimentacijski dogodek, geohazard, Koroška Bela, Karavanke, Slovenija

Key words: debris flow, alluvial fan, landslide, source area, depositional event, geohazard, Koroška Bela, Karavanke, Slovenia

Izvleček

Na vršaju Koroška Bela smo v dveh raziskovalnih izkopih opravili popise sedimentov in litološke analize klastov z namenom študija geneze vršaja in ugotavljanja izvora materiala. Vršaj sestavlja več zaporednih plasti diamiktov in sorodnih subaerskih sedimentov, ki so posledica masnih tokov, v nekaterih primerih zagotovo drobirskih tokov. Material v glavnem izvira iz karbonskih in permskih klastičnih in deloma karbonatnih kamnin, ki so na primarnih mestih tektonsko porušene. V diamiktih plasteh se pojavljajo tudi prodniki drugih kamnin iz zaledja vršaja, ki so jih drobirski tokovi na svoji poti erodirali. Potok Bela s svojim zaledjem tudi v prihodnje predstavlja potencialno nevarnost za nastanek drobirskih tokov.

Abstract

The Koroška Bela alluvial fan deposits were investigated to determine the genesis of the fan and the source area of sediments. The alluvial fan is composed of a sequence of diamicton layers, and related subaeric sediments that were deposited by multiple mass flow events, in some cases certainly by debris flows. The predominant sources of sediments are tectonically deformed clastic and partly carbonate Carboniferous and Permian rocks. In diamictons also pebbles of other rocks from the hinterland are present. These were eroded from the channel of Bela during the mass flow events. We estimate the future debris flow hazard along Bela stream as high.

Uvod

Potreba po razumevanju narave in njenih zakonitosti, med katere spadata tudi dinamika in kinematika težnostnih pobočnih premikov, je v zadnjem času vse večja. Študij le-teh je namenjen predvsem zavarovanju prebivalcev in lastnine pred katastrofalnimi pobočnimi dogodki. Neposredna povezava med spreminjajočo se klimo in pobočnimi procesi se odraža v pogostejših naravnih nesrečah, kar nakazuje potrebo po večji previdnosti pri poseganju človeka v občutljivo naravno okolje.

Drobirski tokovi so le ena oblika gravitacijskih pobočnih premikanj. V svetu so pogost pojav in nemalokrat povzročajo tudi nesreče s človeškimi žrtvami (NAKAGAWA et al., 2001). V Sloveniji tem pojavom namenjamo nekoliko večjo pozornost od leta 2000 dalje, ko se je po močnejšem deževju nad vasjo Log pod Mangartom sprožil večji drobirski tok (MAJES, 2000/2001; PETKOVŠEK A., 2000/2001; PETKOVŠEK B., 2000/2001; SKABERNE, 2001a; MAJES et al., 2002; MIKOŠ et al., 2007).

V okviru ciljnega raziskovalnega projekta »Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov« so bili na območju Karavank v letih 2006 in 2007 raziskani sedimenti štirih vršajev ter njihova zaledja, med njimi tudi vršaj potoka Bela, na katerem smo izkopali dva raziskovalna izkopa. Sedimenti v izkopih so bili podrobno sedimentološko popisani, vzorci sedimentov litološko analizirani, zaledje potoka Bela pa je bilo geološko pregledano.

Ugotovili smo, da vršaj potoka Bela kot sedimentno telo ni samo posledica kontinuirane fluvialne sedimentacije, pač pa tudi in predvsem posledica nenadnih katastrofičnih tokov pobočnih sedimentov. Izvor materiala za posamezne gravitacijske dogodke je vezan predvsem na mesta z manj odpornimi kamninami oziroma na mesta, kjer so kamnine tektonsko porušene. Heterogena geološka zgradba zaledja dopušča tudi možnost različnih izvornih območij. Sedimenti vršaja so lahko tudi presedimentirani, kar v primeru potoka Bele pomeni, da je izvorni material ledeni-

škega nastanka. Na podlagi popisov sedimentov v izkopih, litoloških analiz posameznih klastov in geološke karte zaledja smo ugotavljali predvsem izvorna območja materiala, obenem pa smo ocenjevali še potencialno ogroženost Koroške Bele zaradi drobirskih tokov.

Zgodovinski podatki kažejo (ZUPAN, 1937, LAVTIŽAR, 1897), da je del vasi Koroška Bela v preteklosti že zasul drobirski tok. Nastal naj bi ob povodnji 13. novembra 1789. Poškodoval je 40 hiš, zasul veliko obdelovalnih površin in porušil več mlinov. Pisni viri (LAVTIŽAR, 1897) navajajo, da se je ob tem dogodku porušil del hriba Čikla, vendar so podatki o izvoru toka precej nezanesljivi. Dokaz za drobirski tok so v debelini več metrov zasuti ostanki starih zgradb v Koroški Beli.

Opredelitev drobirskega toka

Osnovne značilnosti drobirskih tokov povzemamo po Predlogu slovenskega izrazoslovja pomočnih premikanj (SKABERNE, 2001b). Drobirski tok je oblika viskozne in vztrajnostnega blatnega toka (*slurry flow*). Blatni tokovi so plastični tokovi v katerih so prevladujoče Binghamove sile. To so sile drobnozrnate osnove, ki s pomočjo pornege tlaka vode, vzgona, velikih hitrosti tokov, trkov med zrnji in turbulence, uspejo prenašati tudi večje skalne bloke. Tokovi se pojavljajo tako v kopenskih kot v vodnih sedimentacijskih okoljih. Nastanek kopenskih (subaerskih) tokov je pogojen s hipnim povečanjem deleža porne vode v materialu ter predhodnim premikanjem zemeljskih mas, plazenjem. K sprožitvi toka velikokrat pripomore določen sunek, ki ga lahko povzroči tudi potres ali vulkanska dejavnost.

Bistvenega pomena je kohezija materiala, iz katerega tok nastane. Brez potrebne kohezije bi se kljub veliki količini vode tok obnašal kot zrnski tok, za katerega je značilno, da material teče zaradi medzrnskih kontaktov in/ali trkov. V primeru obilnega dotoka vode v koheziven material je lahko dosežena kritična strižna trdnost materiala (meja židkosti) in plastični tok preide v tekočinskega. Količina vode, ki je za to potrebna, je odvisna od porazdelitve velikosti zrn v materialu in njegove mineralne sestave. V slabše sortiranem in drobnozrnatem materialu je potrebna večja količina vode.

Osnovni reološki parametri drobirskega toka so torej odvisni od štirih faktorjev (PETKOVŠEK A., 2002): viskoznosti, turbulence, drsenja delcev med seboj in medsebojnih trkov delcev. Drobirski tokovi so trifazni sistem, sestavljen iz plinaste, tekoče in trdne faze. V primeru, da predstavlja plinasto fazo zrak in tekočo voda ter predpostavimo, da so njune lastnosti konstantne, je značaj toka odvisen predvsem od lastnosti trdne faze ter relativnega razmerja med trdno fazo (sedimentom), vodo in zrakom. Spremenljive so količina trdne faze, zrnavostna in mineralna sestava ter od njih odvisne lastnosti zmesi, med katerimi je pomembna predvsem plastičnost (PETKOVŠEK A., 2002). Čeprav je obnašanje drobirskega toka v glavnem od-

visno od drobnih delcev, ki dajejo masi sedimenta plastične lastnosti, imajo vpliv tudi večja zrna. Ta običajno predstavljajo več kot polovico utežnega deleža vseh trdnih delcev in odločilno vplivajo na način gibanja toka.

Na svoji poti drobirski tok lahko erodira podlago ter erodirani material vključuje v svojo maso. Tok teče dokler gravitacijska sila še premaguje kohezijsko strižno trdnost materiala (SKABERNE 2001b). Material se po ustavitvi konsolidira v odvisnosti od hitrosti dreniranja pornih vod. Porne vode lahko izpirajo drobnozrnat material tudi v že odloženem sedimentu.

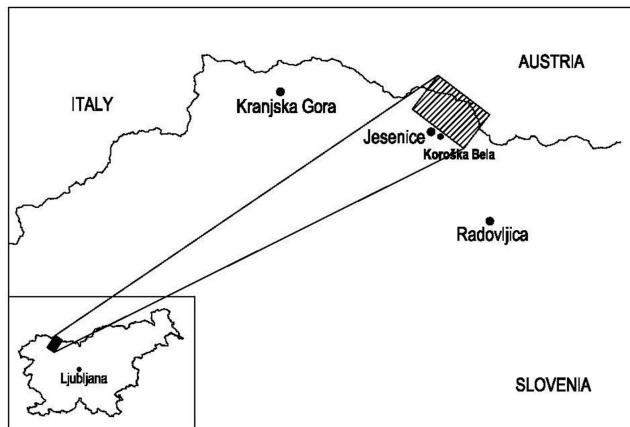
Sediment drobirskega toka imenujemo debrit. Zanj je značilna slaba sortiranost. Količina osnove je lahko od primera do primera precej različna. V sedimentu se lahko pojavlja inverzna gradacija zrnivosti v spodnjih ali proksimalnih delih oziroma normalna gradacija v zgornjih ali distalnih delih plasti. Klasti so kljub slabi sortiranosti sedimenta načeloma usmerjeni (BAVEC, 2000), kar lahko uporabimo pri študiju mehanizma drobirskih tokov (SKABERNE, 2001b).

Subaerski drobirski tokovi se pojavljajo po celem svetu v goratih in vulkanskih območjih. Vezani so predvsem na ekstremne padavinske dogodke. Za človeka lahko predstavljajo hude posledice, predvsem zaradi nepredvidljivosti časa sprožitve, velikih hitrosti (do 10 m/s) ter učinkov daleč od mesta sprožitve (RIBIČIČ, 2000/2001). Zelo težko preprečimo njihov nastanek, zato se je potrebno izogibati gradnji objektov na ogroženih območjih ali pa izvesti ukrepe, ki bi ublažili njihove posledice.

Možnosti za nastanek drobirskih tokov in oceno možnih magnitud drobirskih tokov v izbranih hudourniških območjih Slovenije sta podala SODNIK in MIKOŠ (2006). Obravnava je temeljila na uporabi empiričnih metod, ki pogosto upoštevajo predvsem morfometrične parametre hudourniškega območja in hudourniškega vršaja ter hidrološke značilnosti, geološki parametri pa so upoštevani neposredno le v nekaterih modelih. Kljub vsemu je kraj nastanka drobirskega toka in ocena njegove magnitude izhodišče za modeliranje toka ter oceno dosega in tako možnih posledic v okolju, kar je sestavni del izdelave ocen nevarnosti in ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov. Na tem področju smo v Sloveniji pridobili prve izkušnje z modeliranjem in izdelavo ocen ogroženosti za primer drobirskega toka v Logu pod Mangartom (ČETINA et al., 2006) in v vasi Koseč nad Kobaridom (MIKOŠ et al., 2006).

Geografska umestitev

Obravnavano območje se nahaja v zahodnih Karavankah v severozahodni Sloveniji (slika 1). Potok Bela izvira kot izvir Urbas na Potoški planini na nadmorski višini 1275 m. Potoška planina je del ozemlja Belščice, ki se na jugozahodni strani grebena Karavank razprostira med Stolom (2236 m) in Vajnežem (2099 m). Potok teče proti jugozahodu in se približno po 3 km pri Jesenicah



Slika 1. Lega preiskanega območja
Figure 1. Location of the investigated area

na nadmorski višini 540 m izliva v Savo Dolinko. Sedimente je potok v obliki vršaja odložil na prehodu iz ozke grape v bolj odprt in ravnejši teren na severovzhodnem robu Savske doline. Skupna površina vršaja od reke Save navzgor je okoli 1,02 km².

Zgornji izkop se nahaja na desnem bregu potoka Bela v proksimalnem delu vršaja, kjer se struga potoka prvič nekoliko razširi. Nadmorska višina izkopa je 651 m, globok je 4 m. Spodnji izkop

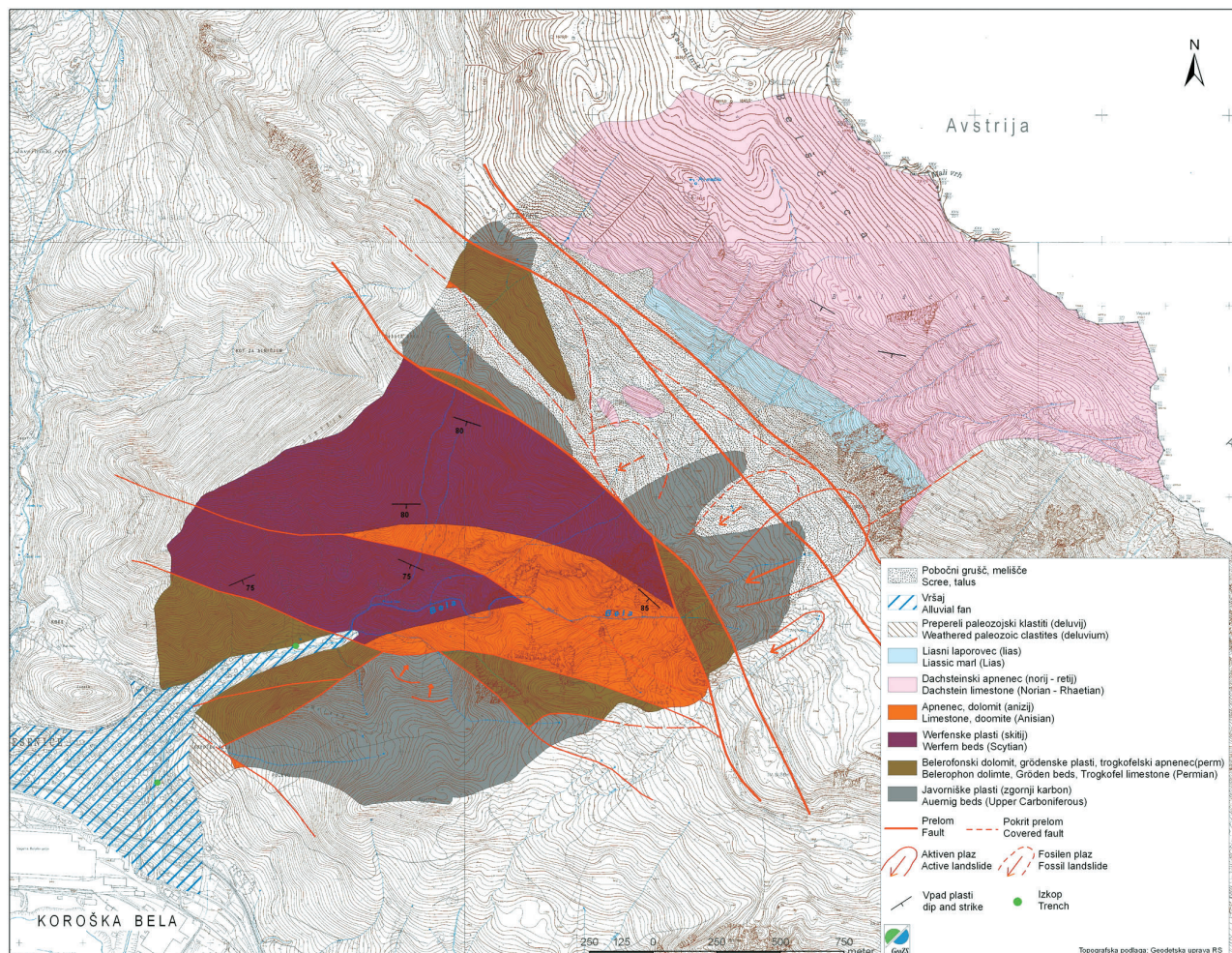
je na levem bregu potoka v srednjem delu vršaja. Nadmorska višina izkopa je 573 m, globok pa je 3,90 m.

Metode raziskav

V sklopu raziskav sedimentov vršaja potoka Bela smo izvedli popis sedimentov v izkopih, vzorčenje, litološke analize materiala ter geološko kartiranje zaledja vršaja.

Položaj obeh raziskovalnih izkopov na vršaju je prikazan na sliki 2. V zgornjem izkopu so bili odvzeti trije vzorci za litološke analize v domnevno treh dogodkovno ločenih plasteh. V spodnjem izkopu smo odvzeli štiri vzorce za litološke analize, v dveh plasteh profila pa so bila opravljena merjenja usmerjenosti daljših osi klastov. Meritve so bile obdelane s programom StereoNet (DUYSTER, 2002) po metodi tridimenzionalne vektorske analize orientacij daljših osi klastov, ki jo je uvedel MARK (1971, 1973).

Za analizo litološke sestave smo odvzeli debeleznate prodnate dele materiala. V laboratoriju smo prodnike oprali in odmuljili na situ kvadratne odprtine 10 mm, nadalje smo določili makroskopsko litološko sestavo prodnikov velikosti nad 10 mm ter vizualno ocenili količino posameznih



Slika 2. Geološka karta zaledja potoka Bela (dopolnjeno po BUSERJU, 1978)
Figure 2. Geological map of the Bela stream hinterland (adopted after BUSER, 1978)

vrst. Nazadnje smo naredili primerjavo litologije klastov s sestavo kamninskega zaledja.

Geološko kartiranje je bilo usmerjeno predvsem v natančnejšo določitev mej med posameznimi litostratigrafskimi enotami ter lociranje prelomov in prelomnih con. Posebno pozornost smo namenili inženirskogeološkemu znakom, ki kažejo na nestabilnost pobočij. Pregledali smo strugo potoka in ocenili količino materiala, ki bi ga morebitni drobirski tok lahko erodiral in vključil v svojo maso.

Geološka zgradba zaledja vršaja

Litološko zgradbo zaledja potoka Bela smo povzeli po Osnovni geološki karti SFRJ, list Celovec (Klagenfurt) (BUSER, 1978). Geološko smo pregledali in kartirali ozemlje na levem in desnem bregu potoka Bela od meje z Avstrijo (grebena Karavank), do naselja Koroška Bela ter med Potoško planino na jugovzhodu in Olipovo planino na severozahodu (slika 2).

Najstarejše kamnine na obravnavanem ozemlju so zgornjekarbonske starosti. Zastopajo jih temno sivi do črni skrilavi glinavci in meljevci, kremenovi konglomerati in peščenjaki. Sestavljajo večji del severnega pobočja Hrastnika, vzhodno od Koroške Bele (slika 2) in večji del Potoške in Olipove planine. Tu so večinoma pokriti z apnenčevim pobočnim gruščem. Po starosti sledijo permske kamnine. Spodnjepermske kamnine so v karbonatnem razvoju, kot rdeč masiven apnenec ter črn apnenec s kalcitnimi žilami. Kamnine iz srednjega perma so v klastičnem razvoju, zastopane s t.i. trbiško brečo in grödenskimi plastmi, med katerimi prevladujejo rdečkasti peščenjaki. Edina zgornjepermska kamnina na obravnavanem ozemlju je belerofonski dolomit. Najstarejše triasne kamnine pripadajo werfenskim plastem. Znotraj teh se menjavajo apnenci, laporovci, meljevci in podrejeno dolomit. Apnenci običajno prevladujejo in so pogosto oolitni. Mlajše od njih so kamnine anizijske stopnje, ki jih v neposrednem zaledju vršaja zastopa le plastnati dolomit. Vršnji del grebena Karavank gradi dachsteinski apnenec norijsko-retijske starosti, nad njim pa leži liasni lapornati apnenec, ki izdanja v spodnjem delu pobočja Belščice. V izkopih na vršaju so bili tudi prodniki eocenskih laporovcev, katerih primarnih izdankov v zaledju vršaja nismo opazili.

V regionalnem strukturnem smislu pripada celotno območje Periadriatski tektonski coni (JELEN et al., 1997, PLACER, 1998), ki je pomembna strukturna enota med Savskim prelomom in Periadriatskim lineamentom. Tektonsko cono gradijo številni SZ–JV usmerjeni prelomi ter nekateri močni vezni prelomi. Košutin prelom je eden večjih znotraj omenjene cone in prečka tudi obravnavano področje. Njegova smer je SSZ–JJV in proti severu postopoma povija na severno stran grebena Karavank ter se priključi Periadriatskemu lineamentu. Prelomna cona Košutinega preloma je na Potoški in Olipovi planini široka tudi do 500 m. Znotraj cone so predvsem karbonske in permske

kamnine tektonsko močno porušene. Trasa preloma je opazna že v morfologiji terena, saj je v pobočju nastala izrazita terasa oziroma izravnava.

Med Košutinim in Savskim prelomom sta dva vezna preloma, ki imata smer približno Z–V. Eden od njiju ločuje paleozojske kamnine od spodnje triasnih (slika 2).

Večina kontaktov med litostratigrafskimi enotami v zaledju vršaja je prelomnih. Številne konjugirane prelome obdajajo razpoklinske, zdrobljene in porušene cone kamnin. Drobnozrnate klastične kamnine so običajno intenzivne zdrobljene.

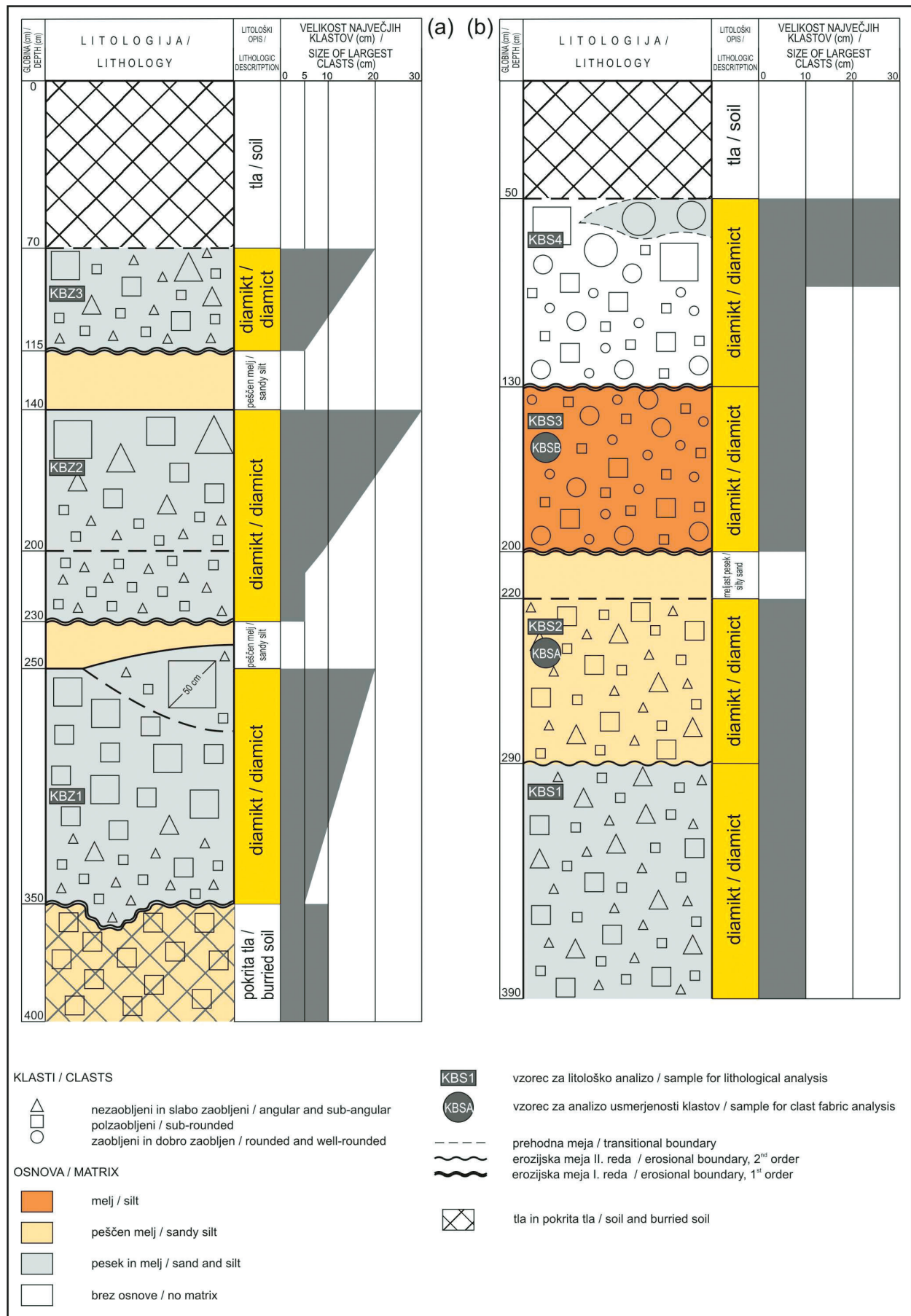
Opis sedimentov v izkopih

Profil v zgornjem izkopu (slika 3) se v spodnjem delu začne z do 50 cm debelim pedogeniziranim diamiktom. Navzgor sledi erozijska meja nad katero je do 100 cm debela plast diamikta. Diamikt je inverzno gradiran in z ostro mejo ločen od zgoraj ležeče plasti peščenega melja debeline 20 cm. Enako zaporedje se navzgor ponovi še enkrat, le da je plast diamikta debela do 90 cm, plast peščenega melja pa 25 cm. Največji klasti v diamiktne plasti so debeli do 30 cm. Profil zaključuje 45 cm debela plast inverzno gradiranega diamikta.

Zaporedje sedimentov zgornjega izkopa kaže na tri zelo podobne dogodke drobirskih tokov. Dva sedimentacijska dogodka sta se končala z odlaganjem melja v manjših zaježitvah, ki so nastale po ustavitvi masnega toka. Med sedimenti opisanih treh dogodkov ni znakov pedogeneze, zato sklepamo, da so si časovno sledili precej hitro. Dobro razvita tla oziroma pedogenizirana plast pa se nahaja v starejšem dogodku v podlagi opisanih sedimentov (slika 3). Za nastanek takega pedogeniziranega horizonta je potreben znaten čas, ki ga ocenjujemo na nekaj 10.000, morda celo nekaj 100.000 let. Seveda se v tem času na tem mestu sedimenti niso odlagali. Ker je dolina tu sorazmerno ozka in bi se morebitni večji drobirski tok zagotovo razlil po vsej širini, ocenjujemo, da se v tem časovnem obdobju drobirski tokovi v povodju Bele niso prožili.

Profil v spodnjem izkopu (slika 3) je v celoti sestavljen iz diamikta, izjema je plast meljastega peska na globini med 200 in 220 cm, ki kaže na manjšo zaježitev Bele. V diamiktu pod plastjo meljastega peska je slabo vidna erozijska meja, ki horizont deli na dva dela. Lahko gre za dva sedimentacijska dogodka ali pa je ves diamikt rezultat enega večjega sedimentacijskega dogodka in je meja posledica nehomogenosti odloženega materiala. Diamikt nad plastjo meljastega peska je zanesljivo nastal ob dveh različnih dogodkih, kar dokazuje jasna erozijska meja. Tudi zgornja meja meljastega peska je erozijska. V nobeni od diamiktne plasti ni opazna gradacija. Osnova se v posameznih diamiktne plasti spreminja od glinasto meljaste, preko peščeno meljaste, do peščene.

Vzporejanje sedimentacijskih dogodkov med obema profiloma je precej zapleteno in nezanesljivo. Nezanesljivost izhaja iz lastnosti drobirskih



Slika 3. Profil zgornjega (a) in spodnjega (b) izkopa na vršaju Bele v Koroški Beli z označenimi mesti vzorčenja za litološke analize in analize usmerjenosti klastov.

Figure 3. Profile of the upper (a) and lower (b) trench on Bela alluvial fan in Koroška Bela with marked sampling positions for lithological and clast fabric analysis.

tokov, da se značaj sedimenta istega toka vzdolž vršaja spreminja. V diamiktu se spreminjajo zrnovitost in sedimentacijske teksture.

Prvi izkop je lociran na proksimalnem delu vršaja, kjer se običajno zaradi večje energije toka odlaga večinoma debelejši material. Struga Bele je na tem delu razmeroma ozka, zato lahko že sediment manjšega drobirskega toka prekrije vršaj po celotni širini. Večji drobirski tokovi pa bi lahko na tem mestu material celo erodirali. Spodnji izkop je v osrednjem delu vršaja, ki ga verjetno manjši drobirski tokovi niso dosegli. Sedimenti večjih drobirskih tokov pa so se zaradi velike širine v tem delu pahljačasto usmerili v različne dele vršaja.

V zgornjem profilu lahko zanesljivo ločimo sedimente štirih sedimentacijskih dogodkov, medtem ko v spodnjem profilu najmanj treh oziroma štirih. Iz tega sklepamo, da smo z izkopoma zajeli sedimente najmanj štirih in največ osmih ločenih sedimentacijskih dogodkov, ki so posledica drobirskih tokov. Zaradi zgoraj omenjenih sedimentacijskih značilnosti drobirskih tokov, kot so napipavanje v različnih smereh in možnosti erodiranja, pa to ni ocena dejanskega števila dogodkov.

Izvor sedimentov v vršaju

Rezultati litološkega pregleda prodnikov in klastov so prikazani na grafu (slika 4). Posamezne klaste vsake vzorčne plasti diamikta (slika 3) smo razvrstili v enake litostratigrafske enote (karbon, perm, skit, anizij, karnij, norij-retij, eocen), kot se pojavljajo v zaledju potoka Bela in so prikazane na geološki karti (slika 2).

Pregledani so bili trije vzorci iz zgornjega izkopa (KBZ-1, KBZ-2, KBZ-3) in štirje vzorci iz spodnjega izkopa (KBS-1, KBS-2, KBS-3, KBS-4).

Iz grafa (slika 4) je razvidno, da v štirih vzorcih (KBZ-2, KBZ-3, KBS-1, KBS-2) močno prevladujejo klasti karbonskih in permskih kamnin. Teh je v omenjenih vzorcih po vizualni oceni nad 60 %, v nekaterih celo nad 80 %. Poleg njih vzorci vsebujejo manjši delež prodnikov skitskih in norijsko-retijskih kamnin. Karbonske in permske kamnine se v zaledju Bele pojavljajo skupaj in sicer v širši okolici Potoške planine ter na pobočju Hrastnika

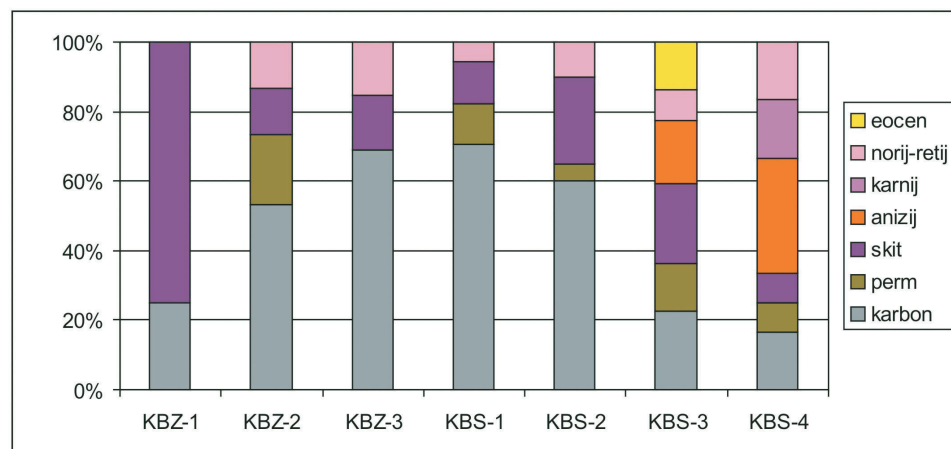
(slika 2). To bi lahko bila tudi izvorna območja drobirskih tokov, ki so odložili štiri opisane diamiktne plasti. Vendar pa se v vzorcih pojavlja tudi 10 – 20 % klastov dachsteinskega apnenca, ki se je v karbonske kamnine pomešal kot pobočni grušč, zato predvidevamo, da je verjetnejše izvorno območje za te štiri drobirske tokove okolica Potoške planine.

V ostalih treh vzorcih je delež karbonskih in permskih kamnin le nekaj nad 20 %. Poleg njih so prisotne še vse ostale triasne kamnine ter v enem od vzorcev celo klasti eocenskih kamnin, ki pa jih na primarnem mestu v zaledju vršaja nismo našli. Glede na zelo heterogeno litološko sestavo teh treh diamiktne plasti težko sklepamo na izvorno območje materiala.

Treba je poudariti, da so bile pri oceni količine klastov in prodnikov upošteevane samo frakcije nad 10 mm in se je zato pretežni mehki del karbona, ki ga zastopata glinavec in meljevec, izgubil. Upoštevati moramo tudi, da se je drobnozrnat material prerazporedil med transportom in bil na vršaju odložen v distalnih delih, ki z izkopi niso bili zajeti. Večino karbonskih kamnin v zaledju Bele sestavljajo skrilavi glinavci in meljevci, zato glavnina karbonskega materiala v vzorcih ni bila zajeta in je realni delež teh kamnin v diamiktne plasti še bistveno večji. Poleg tega so omenjene kamnine tektonsko močno deformirane, zato je primarna zrnovitost zaradi geomehanske neodpornosti materiala zelo zreducirana.

Iz naštetega lahko sklepamo, da je bil delež karbonskih kamnin v vsaki od izdvojenih diamiktne plasti precej višji, kot je razvidno iz grafa. Dopuščamo možnost, da so vsi drobirski tokovi nastali v vodonepropustnih karbonskih in permskih kamninah ter so na svoji poti v maso toka vključili še večji ali manjši delež ostalih kamnin, ki se pojavljajo vzdolž struge Bele.

Analiza usmerjenosti daljših osi klastov, ki smo jih merili v diamiktih nad in pod plastjo meljastega peska v spodnjem profilu (slika 3), je v obeh primerih pokazala na smer transporta približno od severa proti jugu. Potok priteče na vršaj v smeri SSV-JJZ, kar v splošnem ustreza izračunani vrednosti. Masni tokovi se običajno po vršaju razlijejo v različnih smereh, zato so lahko osi klastov nekoliko odklonjene od današnje vzdolžne osi vršaja. Rezultati analize usmerjenosti klastov so



Slika 4. Grafični prikaz razporeditve količine prodnikov in/ali klastov v posameznih vzorcih zgornjega (KBZ) in spodnjega (KBS) profila glede na starost kamnin.

Figure 4. Distribution of pebble and/or clast quantity in samples of the upper (KBZ) and lower (KBS) profile according to age.

eliminirali možnost drugih smeri transporta, kot je na primer ledeniški transport po dolini Save.

Diskusija in zaključki

Razkopa in opisi sedimentov v njih so pokazali, da vršaj Koroška Bela sestavlja več zaporednih plasti diamikta in njemu sorodnih subaerskih sedimentov, ki nedvoumno potrjujejo nasipavanje z masnimi, po vsej verjetnosti drobirskimi tokovi. Na podlagi litoloških analiz je mogoče razmeroma zanesljivo sklepati o izvoru materiala. Večina tokov ima svoj izvor v karbonskih in permških klastičnih in karbonatnih kamninah, ki so v zgornjem delu pokrite s prepustnim apnenčevim gruščem, s tem da je tok na svoji poti do vršaja erodiral še večjo ali manjšo količino ostalih kamnin, ki so prisotne v zaledju. Analize sestave prodnikov v posameznih diamiktih plasteh so bile opravljene z namenom informativnega ugotavljanja provenience materiala. Z zajetjem večje količine vzorca bi dobili natančnejše podatke o izvoru materiala, vendar smo bili pri odvzemu večjih količin vzorcev v razmeroma ozkih izkopih tehnično omejeni.

Raziskave so dale uporabne in razmeroma zanesljive rezultate, zato ocenjujemo, da je bil pristop k raziskavam pravilen. Z vključitvijo laboratorijskih analiz geomehanskih lastnosti materialov, bi lahko pridobili številne podatke o značilnostih vršajev in posredno drobirskih tokov v širšem alpskem in predalpskem prostoru.

Kot kaže so na območju Karavank predvsem tektonsko porušene klastične in podrejeno karbonatne kamnine karbonske starosti najbolj nestabilne in z vidika ogroženosti zaradi procesov pobočnega premikanja najbolj nevarne. Prav v teh kamninah je na Potoški planini nastal obsežen zemeljski plaz (slika 5), ki je del zaledja vršaja Koroška Bela. Pobočni material je v premikanju že več let, kar dokazujejo deformacije na gozdni cesti, ki poteka preko plazu ter ukrivljena starejša drevesa na plazu. Dolžina plazu je približno 550 m, širina pa do 250 m. Globino ocenjujemo na 5 do 10 m. Ocenjena količina premikajočih zemeljskih mas je tako med 700.000 in 1.400.000 m³. Plaz sestavljajo v coni Košutinega preloma deformirani črni skrilavi glinavci in meljevci, kremenovi konglomerati in peščenjaki, črni masivni apnenci s kalcitnimi žilami ter apnenčev pobočni grušč, ki prekriva prej omenjene kamnine. Odlomni rob plazu se je oblikoval v meliščih pod strmo skalno steno iz dachsteinskega apnenca. Vznožje plazu se nahaja nad več deset metrov visoko strmo skalno stopnjo, preko katere pada kamenje in posamezna drevesa. V zgornjem delu plazu je izvir Urbas, poleg njega se na robovih plazu pojavljajo še manjši izviri in solzila. Vode tečejo vzdolž plazu in razmakajo plazino. Znaki fosilnega plazenja v neposredni povezavi s karbonskimi kamninami so opazni tudi na drugih lokacijah v okolici Potoške planine (slika 2).

Plaz na Potoški planini ima nekaj podobnih lastnosti kot plazovi Stože, Slano Blato in Strug



Slika 5. Lega vršaja Koroška Bela (rumeno) ter plazu na Potoški planini (rdeče).

Figure 5. Location of the Koroška Bela alluvial fan (yellow) and landslide on Potoška planina (red).

(MAJES et al., 2002) tako v obsegu, hidrogeološkem smislu, verjetno pa tudi v smislu materialnih karakteristik. Za vse štiri plazove je značilno, da so v zaledju ali neposredni okolici karbonatne kamnine iz katerih se drenirajo vode, ki razmakajo plazino. Podlaga vseh omenjenih plazov je slabo prepustna. Glede na to, da telo plazu na Potoški planini sestavljajo pretežno skrilavi glinavci ter meljevci, pričakujemo visok delež drobnih frakcij (pod 63 μm) v plazečem materialu, kar je značilno tudi za ostale tri plazove (MAJES et al., 2002). Podobno kot plaz Stože nad Logom pod Mangartom ima tudi plaz na Potoški planini na drobnozrnatih klastičnih kamninah odloženo precejšnjo količino pobočnega grušča.

Za natančnejšo opredelitev nevarnosti plazu za naselje Koroška Bela bi bilo v nadaljevanju treba izvesti podrobno geološko kartiranje plazu in njegove okolice ter raziskati geotehnične lastnosti plazečih zemljin. Na podlagi teh podatkov in ob upoštevanju morebitne večje količine padavin in/ali seizmične aktivnosti bi lahko s precejšnjo zanesljivostjo ocenili možnost nastanka drobirskega toka. Po do sedaj zbranih podatkih ocenjujemo, da predstavlja plaz na Potoški planini ob neugodnih vremenskih razmerah potencialno nevarnost za nastanek drobirskega toka.

Naselje Koroška Bela je eden od številnih primerov, kjer pri načrtovanju gradnje novejših stanovanjskih objektov ni bila upoštevana geološko pogojena nevarnost zaradi procesov pobočnega premikanja (BAVEC et al., 2005). V prihodnje bi morali v alpskem delu Slovenije geohazardu nameniti več pozornosti. Strokovnjaki bi morali načrtno pristopiti k izdelavi kart geološko pogojenih nevarnosti (v skladu z Zakonom o vodah iz leta 2002), predstavniki lokalnih skupnosti pa te podatke skrbno in obvezujoče upoštevati pri prostorskemu planiranju.

Zahvala

Raziskave opisane v tem prispevku (članku) so potekale v okviru dela na ciljnem raziskovalnem projektu z naslovom Ocena ogroženosti zaradi delovanja drobirskih tokov. Terenski del projekta je potekal v Zgornjesavski dolini in med izbranimi hudourniški vršaji je bil tudi vršaj Koroška Bela. Projekt sta v celoti podprli in financirali Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije.

Zahvaljujemo se tudi g. Alešu Klabusu, ki nas je opozoril na zemeljski plaz na Potoški planini.

Literatura

BAVEC, M. 2000: Analiza usmerjenosti klastov kot pomoč pri določanju in primerjavi geneze diamiktov in diamiktov v Bovški kotlini, Logu pod Mangartom in na Stožah = Clast fabric analyses; an additional tool used for genetic interpretation of diamictos in Bovec Basin, Log pod Mangartom and Stože, NW Slovenia. RMZ-mater. geoenviron. (Ljubljana) 47/3-4, 235-243.

BAVEC, M., BUDKOVIČ, T. & KOMAC, M. 2005: Geohazard – geološko pogojena navarnost zaradi

procesov pobočnega premikanja. Primer občine Bovec = Estimation of geohazard included by mass movement processes. The Bovec municipality case study. Geologija (Ljubljana) 48/2: 303-310.

BUSER, S. 1978: List Celovec (Klagenfurt) Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.

BUSER, S. 1980: Tolmač lista Celovec (Klagenfurt) Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod. Beograd.

ČETINA, M., RAJAR, R., HOJNIK, T., ZAKRAJŠEK, M., KRZYK, M. & MIKOŠ, M. 2006: Case study: Numerical simulations of debris flow below Stože, Slovenia. Journal of hydraulic engineering (New York, NY) 132/2: 121-130.

DUYSTER, J. 2002: StereoNet: software for displaying and analyzing orientational data. University of Bochum.

JELEN, B., MARTON, E., FODOR, L., BALDI, M., ČAR, J., RIFELJ, H., SKABERNE, D. & VRABEC, M. 1997: Paleomagnetic, Tectonic and Stratigraphic Correlation of Tertiary Formations in Slovenia and Hungary along the Periadriatic and Mid-Hungarian Tectonic Zone (Preliminary Communication). Geologija (Ljubljana) 40: 325-331.

LAVTIŽAR, J. 1897: Zgodovina župnij in zvonovi v dekaniji Radolice. Ljubljana, str.36.

MAJES, B. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom – Analiza plazu in možnosti njegove sanacije. Ujma (Ljubljana) 14/15: 80-92.

MAJES, B., PETKOVŠEK, A. & LOGAR, J. 2002: Primerjava materialnih karakteristik drobirskih in blatnih tokov iz plazov Stože, Slano blato in Strug = The comparisson of material characteristics of debris and mud flows from Stože, Slano blato and Strug landslides. Geologija (Ljubljana) 45/2: 457-463.

MARK, D.M. 1971: Rotational vector procedure for the analysis of till fabrics. Geol. Soc. America Bulletin (Boulder, CO) 82: 2661-2666.

MARK, D.M. 1973: Analysis of axial orientation data, including till fabrics. Geol. Soc. America Bulletin (Boulder, CO) 84: 1369-1374.

MIKOŠ, M., FAZARINC, R., MAJES, B., RAJAR, R., ŽAGAR, D., KRZYK, M. HOJNIK, T. & ČETINA, M. 2006: Numerical Simulation of Debris Flows Triggered from the Strug Rock Fall Source Area, W Slovenia. Natural hazards and earth system sciences (Katlenburg-Lindau) 6/2: 261-270.

MIKOŠ, M., FAZARINC, R. & MAJES, B. 2007: Delineation of risk area in Log pod Mangartom due to debris flows from the Stože landslide = Določitev ogroženega območja v Logu pod Mangartom zaradi drobirskih tokov s plazu Stože. Acta geographica Slovenica (Ljubljana) 47/2: 171-198.

NAGAWA, H., TAKAHASHI, T. & SATOFUKA, Y. 2001: An analysis of the debris flow disaster in the Harihara River basin. In: Particulate Gravity Currents. Spec. Publs. Int. Ass. Sediment. 31: 45-64.

PETKOVŠEK, A. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom. Geološko geotehnične raziskave plazu. Ujma (Ljubljana) 14/15: 109-118.

- PETKOVŠEK, A. 2002: Pomen geotehničnih raziskav pri preučevanju drobirskih tokov in prve slovenske izkušnje = The importance of geotechnical research in studying debris flows and the first Slovenian experiences. *Gradbeni vestnik* (Ljubljana) 51: 346–361.
- PETKOVŠEK, B. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom – Geološke značilnosti plazua. *Ujma* (Ljubljana) 14/15: 98–102.
- PLACER, L. 1998: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides = Prispevek k makrotektonski rajonizaciji majnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. *Geologija* (Ljubljana) 41, 223–255.
- RIBIČIČ, M. 2000/2001: Zemeljski plaz Stože pod Mangartom – Značilnosti drobirskega toka Stože pod Mangartom. *Ujma* (Ljubljana) 14/15: 102–109.
- SKABERNE, D. 2001a: The catastrophic debris flow in Slovenia. *European Geologist*. 1: 26–28.
- SKABERNE, D. 2001b: Predlog slovenskega izrazoslovja pobočnih premikanj – pobočnega transporta = Proposal of the Slovene terminology on slope movements – slope transport. *Geologija* (Ljubljana) 44/1: 89–100.
- SODNIK, J. & MIKOŠ, M. 2006: Estimation of magnitudes of debris flows in selected torrential watersheds in Slovenia = Ocena magnitud drobirskih tokov v izbranih hudourniških območjih v Sloveniji. *Acta geographica Slovenica* (Ljubljana), 46/1: 93–123.
- ZUPAN, G. 1937: Krajevni leksikon Dravske banovine. Ljubljana, 539–540.

Strukturni pogled na plaz Slano blato

Structural aspect on the Slano blato landslide (Slovenia)

Ladislav PLACER, Jernej JEŽ & Jure ATANACKOV

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: lplacer@geo-zs.si; jjez@geo-zs.si; jatanackov@geo-zs.si

Ključne besede: Gravitacijski zdrs, strukturno-tektonska zasnova, mehanizem obnavljanja, Vipavska dolina, jugozahodna Slovenija

Key words: Gravity slump, structural-tectonical predisposition, mechanism of regeneration, Vipava valley, SW Slovenia

Izvleček

Aktivni preperinski plaz Slano blato nad Lokavcem v Vipavski dolini v Sloveniji predstavlja kompleksen pojav. Zaledje plazu tvori velik fosilni splazeli blok Male Gore, ki je zdrsnil s pobočja Čavna za okoli 300 m navzdol in se pri tem nagnil proti pobočju. Zato domnevamo, da je njegova plazina konkavne oblike. Ker je blok zgrajen v spodnjem delu iz eocenskih flišnih kamnin v zgornjem pa iz triasnih karbonatnih kamnin, ki so narinjene na fliš, obstaja verjetnost, da je flišna podlaga zaradi gravitacijskega zdrsa dobila obliko konkavno usločene zaporne kotanje, ki predstavlja lovilno strukturo za zadrževanje podzemne vode, ki počasi izteka skozi pretrte kalkarenitne plasti v flišu. Po dostopnih podatkih se je plaz Slano Blato sprožil leta 1887 zaradi umetnega spodkopavanja, leta 2000 pa zaradi erozijskih procesov. Glede na strukturne razmere domnevamo, da se generira v pretrtih in preperelih flišnih kamninah, ki so prepojene s stalno ali občasno dotekajočo vodo iz podzemnega strukturnega zajetja v fosilnem splazelem bloku Male Gore. Sobivanje starejšega strukturnega in mlajšega aktivnega preperinskega plazu opazujemo tudi drugod ob naravnem čelu Trnovskega in Hrušiškega pokrova (Nanosa), posebej zanimiva sta v tem smislu plazova Razdrto in Strane.

Abstract

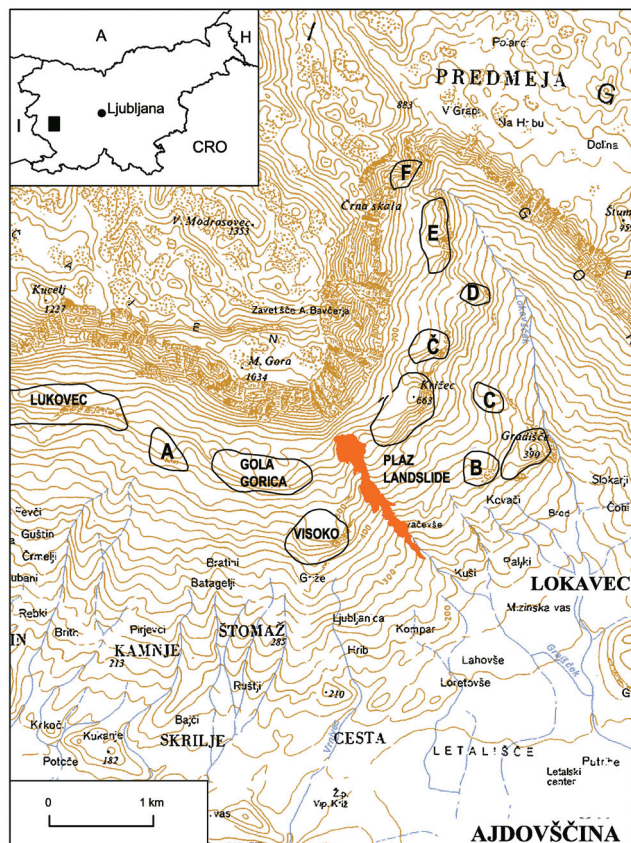
The active landslide Slano blato above Lokavec in the Vipava valley, Slovenia, is a complex phenomenon. The hinterland of the landslide consists of the large fossil block of Mala Gora that slid about 300 m down the slope of Mt. Čaven, and was tilted with respect to the slope. We presume that the corresponding failure surface is concavely shaped. The block consist in its lower part of Eocene flysch beds and in its upper part of Triassic carbonate rocks that are thrust over the flysch. It is probable that due to gravitational slumping the flysch basement obtained a concave shape, that serves as a catchment structure for retaining the ground water. It slowly percolates through the crushed calcarenitic layers in flysch. According to available data the Slano blato was triggered in 1887 by earthworks, and in 2000 by natural erosion processes. The structural characteristics allow the assumption that movement occurs in crushed and weathered flysch beds that are percolated by a steady or periodical supply of groundwater from the structural reservoir in the Mala Gora fossil slumped block. Coexistence of the older structural and the younger active weathered material landslides can be observed also at other localities along the thrust front of the Trnovo and Hrušica (Nanos) nappe. Especially interesting in this respect are the Razdrto and Strane landslides.

Uvod

Plaz Slano blato nad Lokavcem pri Ajdovščini v Vipavski dolini (sl. 1) se je prvič sprožil leta 1887 pri sanaciji stare ceste od naselja Cesta, mimo Stomaža na Predmejo, ki je vodila preko zgornjega dela današnjega plazu (KOVAČ & KOČEVAR, 2000/2001). Pobočje je bilo tedaj sanirano. Ponovnega zanimanja strokovne javnosti je bil deležen po mesecu novembru leta 2000, ko je prišlo do premikov, ki so znašali tudi do 100 m na dan (FIFER-BIZJAK & ZUPANČIČ-VALANT, 2007). Kljub številnim sanacijskim ukrepom, plazenje do danes še ni popolnoma zaustavljeno. Plaz Slano blato je dolg več kot 1300 m

in širok od 70 do 150 m (LOGAR et. al., 2004). Debelina splazele mase se giba od 3 do 11 m. Volumen je ocenjen na okoli 1.000.000 m³ (sl. 2).

Splošne geološke, hidrogeološke in inženirsko-geološke raziskave plazu sta opravila KOČEVAR & RIBIČIČ (2001, 2002). Z geotehničnimi raziskavami na plazu sta se ukvarjala FIFER-BIZJAK & RIBIČIČ (2004). Ribičič in Kočevar (RIBIČIČ, 2002; RIBIČIČ & KOČEVAR, 2002; RIBIČIČ, 2003) sta podala predloge sanacije, ZUPANČIČ-VALANT in sod. (2005) so opisali premike plazu. RIBIČIČ (2006) je prikazal spremljanje sprememb na plazu z uporabo novjših tehnologij, LOGAR in sod. (2005) so primerjali današnje stanje z zgodovinskimi podatki. Geome-



Slika 1. Topografska karta širše okolice plazu Slano blato
Figure 1. Map of wider area around of the Slano blato landslide

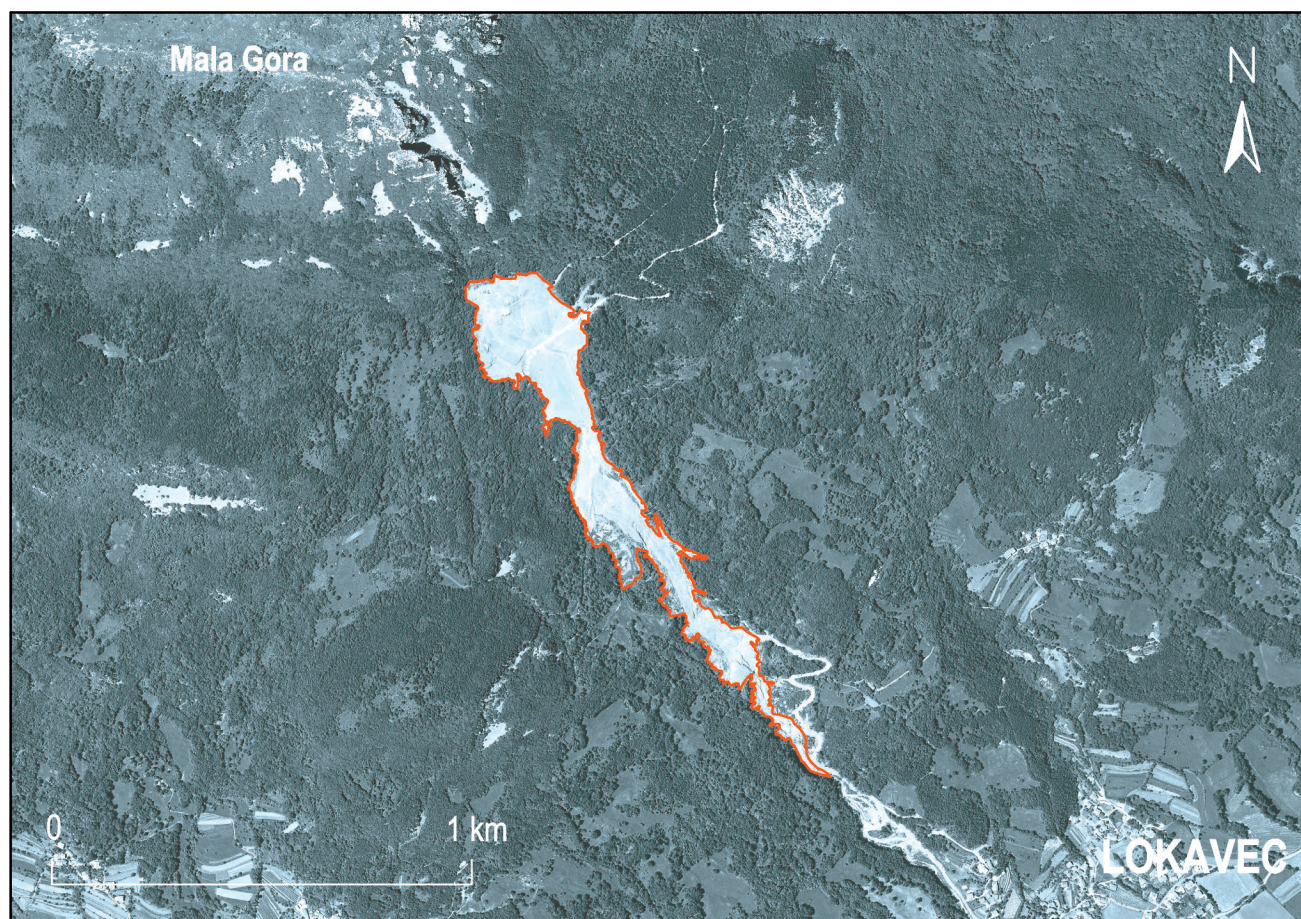
hanske lastnosti materialov iz plazu Slano blato so MAJES in sod. (2002) primerjali z materiali iz plazov Stože in Strug. MIKOŠ in sod. (2005) so Slano blato predstavili kot tipičen primer obnašanja plazu v kraških hidroloških razmerah.

Poleg omenjenih, so bile opravljene še mnoge druge študije in elaborati, ki zajemajo: meritve padavin v okolici plazu, meritve pretokov vode, izotopske analize, sondažne raziskave, inklinometrične meritve, geodetsko opazovanje premikov in geostatične izračune.

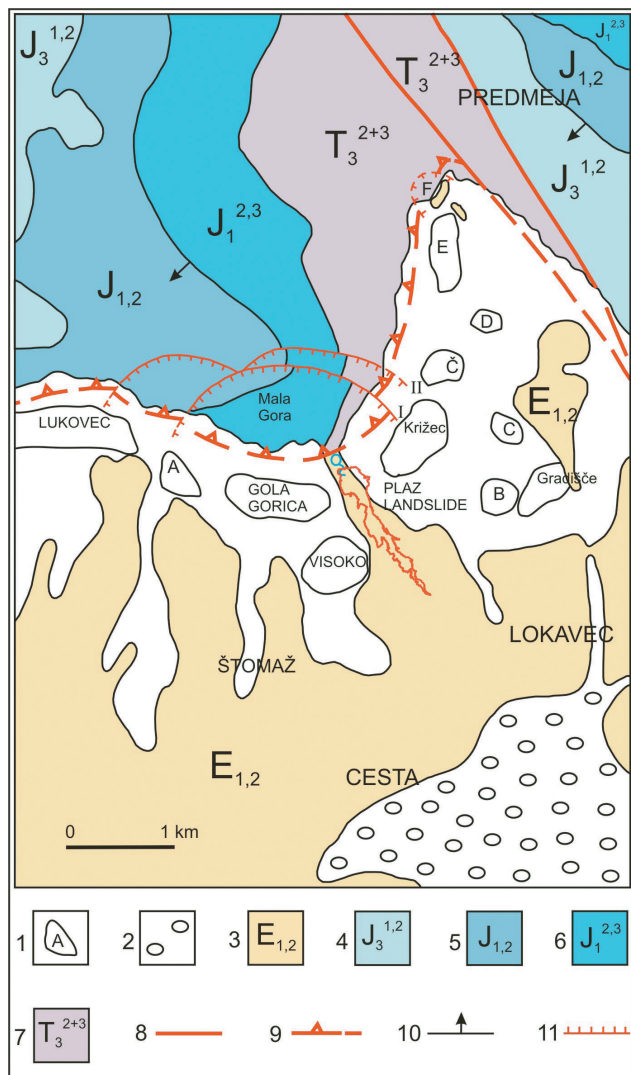
Kljub številnim laboratorijskim in terenskim raziskavam, ki so bile opravljene na plazu predvsem z namenom učinkovite sanacije, strukturno geološki vidik plazu še ni bil raziskan, čeprav predstavlja pomemben generator njegovega obnavljanja. V tem članku je prikazan hipotetični strukturno-hidrogeološki model recentnega plazu, dejanske razmere pa bi lahko ugotovili le s strukturnim vrtnjem.

Geološka zgradba

Plaz Slano blato se je sprožil v preperini eocenskih flišnih kamnin, ki jih prekrivajo narinjeni zgornjetriasni in jurski karbonati Trnovskega pokrova (BUSER, 1968). Opisane razmere so poenostavljeno prikazane na geološki skici (sl. 3). Skladno z visoko duktilnostjo flišnih kamnin so te intenzivno nagubane in prelomljene, medtem ko



Slika 2. Ortofotografski posnetek plazu Slano blato
Figure 2. Orthophotographic image of the Slano blato landslide



Slika 3. Poenostavljena geološka karta, dopolnjena po OGK, list Gorica (BUSER, 1968), 1. kolvij, večji gravitacijski bloki: Mala Gora, Lukovec, Gola gorica, Visoko, Križec, Gradišče, A, B, C, Č, D, E, F; 2. aluvij; 3. eocenski fliš; 4. malmski apnenec; 5. liasni in dogerski apnenec; 6. liasni apnenec; 7. norijski in retijski apnenec in dolomit; 8. prelom; 9. meja Trnovskega pokrova; 10. vpad plasti; 11. plazina (zdrsna ploskev)

Figure 3. Simplified geologic map, modified after the Basic geologic map, sheet Gorica (BUSER, 1968), 1. Colluvium, the biggest gravity blocks: Mala Gora, Lukovec, Gola gorica, Visoko, Križec, Gradišče, A, B, C, Č, D, E, F; 2. Alluvium; 3. Eocene flysch; 4. Limestone – Malm; 5. Limestone – Lias and Doger; 6. Limestone – Lias; 7. Limestone and Dolomite – Norian and Rhaetian; 8. Fault; 9. Boundary of Trnovo nappe; 10. Dip of beds; 11. Curved shear surface

so mezozojske kamnine debeloplastnate in položno vpadajo proti jugozahodu do zahodu-jugozahodu. Pobočja so prekrita z melišči in podornimi bloki, zaradi česar je narivna ploskev Trnovskega pokrova vidna le visoko nad Lokavcem v pobočju Male Gore, tik nad zgornjo mejo plazu Slano blato. Golice flišnih kamnin so pogostejše v izteklih melišč in podorov, najviše pa sega flišna podlaga ravno v profilu plazu in pod Predmejo.

Geološka skica je glede na OGK dopolnjena v tem, da je na njej blok E (sl. 3) obravnavan kot gravitacijski pojav. Preloma, ki potekata v smeri NW–SE mimo Predmeje sta del prelomne cone Predjamskega preloma.

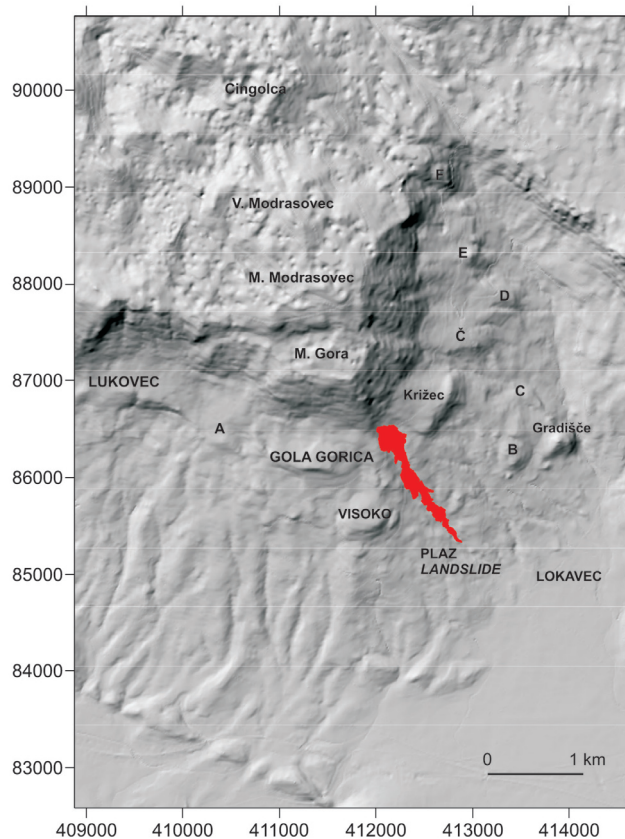
Geomorfologija

Iz topografske karte obravnavanega območja na sl. 1 je razvidno, da je Mala Gora pod Malim Modrasovcem gravitacijsko spolzeli blok velikih razsežnosti. Dve pomembnejši zdrsni ploskvi sta na geološki karti označeni z I in II (sl. 3). Pod njim ležijo manjši karbonatni bloki, ki so spolzeli z roba Trnovske planote in malogorskega bloka in se nahajajo na različnih višinah (sl. 1, sl. 3). Tako je Mali Modrasovec na robu Trnovske planote na višini 1300 m, gravitacijsko spolzeli bloki pa so: Mala Gora na 1034 m in manjši karbonatni bloki na različnih nivojih. Prvi med 650 in 700 m (Lukovec, blok A, Gola Gorica, Križec, blok Č), nato bloki okoli 500 m (Visoko, blok D) in bloki okoli 400 m (Gradišče, bloki, B, C). Izven tega prostora ležita bloka E (700 m) in F (880 m). Prvi je zagotovo gravitacijsko premaknjen saj najdemo flišne golice tudi nad samim blokom, na premik drugega pa domnevamo po geomorfoloških značilnostih.

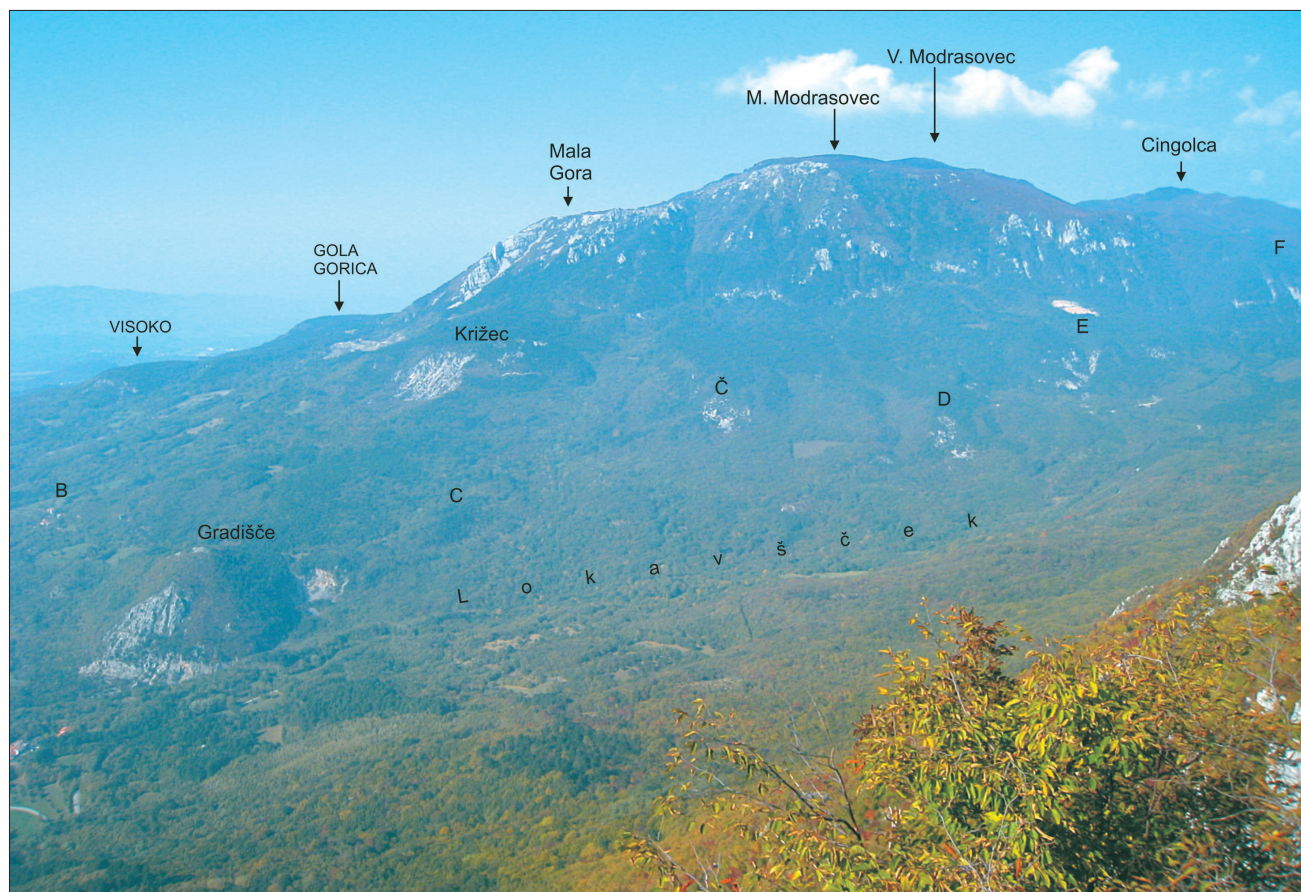
Gravitacijski zdrs Male Gore in ostalih blokov, razen bloka F, je še izraziteje viden na digitalnem modelu reliefa (sl. 4).

Povezava med geološko zgradbo in geomorfološko sliko

Zgradba zaledja plazu Slano blato je ilustrirana s fotografijo vzhodnega pobočja Modrasovca, ki je bila posneta z Otliskega maja (sl. 5). Tu so izpisana imena vrhov in gravitacijskih blokov, tako kot na topografski karti (sl. 1), na sl. 6 pa so izri-



Slika 4. Digitalni model reliefa
Figure 4. Digital elevation model



Slika 5. Fotografija Velikega Modrasovca, Male Gore in pobočja nad Štomažem. Posneto z Otliškega maja na vzhodu
Figure 5. View of Veliki Modrasovec, Mala Gora (Mt. Čaven) and slope above Štomaž. View from Otliški maj on east

sane strukturne meje in zgornja meja pokritosti z melišči. Vidni sta zdrsní ploskvi gravitacijskega bloka Male Gore, ki imata v vidnem območju videz normalnih prelomov (I, II). Krovna narivna ploskev Trnovskega pokrova je vidna le nad izvornim območjem plazu, drugod pa je prekrita z melišči. Geološki profil na sl. 7A je orientacijski in izhaja iz fotografije na sl. 6, zato je čelni del nariva prikazan kot kombinacija preseka in fotografije. Prostorski odnosi v tem delu so prikazani na sl. 7B. V profilu je prikazana vloga »normalnih prelomov« I in II, ki predstavljata vidni del konkavno usločene drsne ploskve fosilnega plazu Male Gore, katerega učinek je viden v posedku zatrepne ravnice. Celo fosilnega plazu iz flišnih kamnin je že erodirano, saj ni nikjer opaziti izbokline v pobočju pod Malo Goro. Manjši satelitski bloki so domnevno nastali po zdrsu Male Gore in po eroziji čelne izbokline, saj ležijo na že erodiranem in uravnoteženem pobočju.

Na sl. 7 je razvidno, da je zdrseli blok Male Gore ustvaril strukturno kadunjo v katere podlagi so slabo propustne flišne kamnine, zapolnjujejo pa jo prepustni karbonati. Strukturna kadunja predstavlja potencialno hidrogeološko past, ki je sposobna za krajši ali daljši čas zadrževati podzemno vodo.

Plaz Slano blato

Masa plazu Slano blato se napaja z vodo na izvornem območju plazu nekaj deset metrov pod

narivno ploskvijo Trnovskega pokrova, kjer se nahaja niz solzil (sl. 7B). Pred nastankom plazu je tu obstajala zamočvirjena izravnava. Voda izteka iz strukturne kadunje skozi pretrti in prepustni flišni peščenjak ter napaja različne razrahljane flišne plasti po lezikah in razpokah, ki potem v obliki blatnega toka polzijo po pobočju. Zanimiva je prostorska lega strukturne kadunje nad območjem solzenja. Na sl. 8 je podana skica morfologije narivne ploskve Trnovskega pokrova, ki je v generalnem pogledu posneta in dopolnjena po strukturni karti flišne podlage Trnovskega gozda (PLACER & ČAR, 1974). Tej je dodan detajl deformacije zaradi zdrsa Male Gore. Strukturna kadunja, ki je v preseku vidna na sl. 7 se razteza v smeri W-E. Solzila na izvornem območju plazu se nahajajo pod vzhodnim delom strukturne kadunje.

Legi solzil in prisotnost strukturne kadunje ter odnos med njima navajata na domnevo, da podzemna voda ne izteka iz kotanje po njenem dnu, temveč bistveno počasneje skozi flišne plasti. To povzroča razmakanje in rahljanje tektoniziranih flišnih plasti. Zato je možno, da je strukturna kotanja konkavno usločena tudi v vzdolžni smeri. Po generalni legi narivne ploskve Trnovskega pokrova odteka večina podzemne vode proti Lijaku in Mrzleku. K solzilom nad Slanim blatom pripada le malo napajalnega območja, zato je podzemno zajetje v strukturni kadunji ena od možnih in verjetnih razlag za počasno in dolgotrajno namakanje plazu.

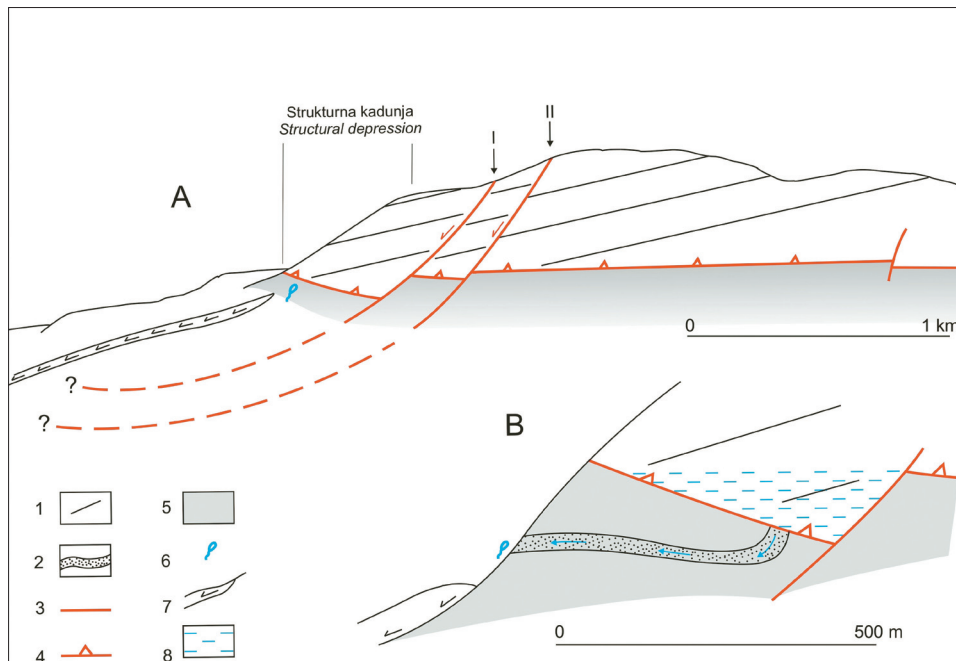


Slika 6. Vidne geološke strukture na sl. 5
 Figure 6. Geological structures visible on fig. 5.

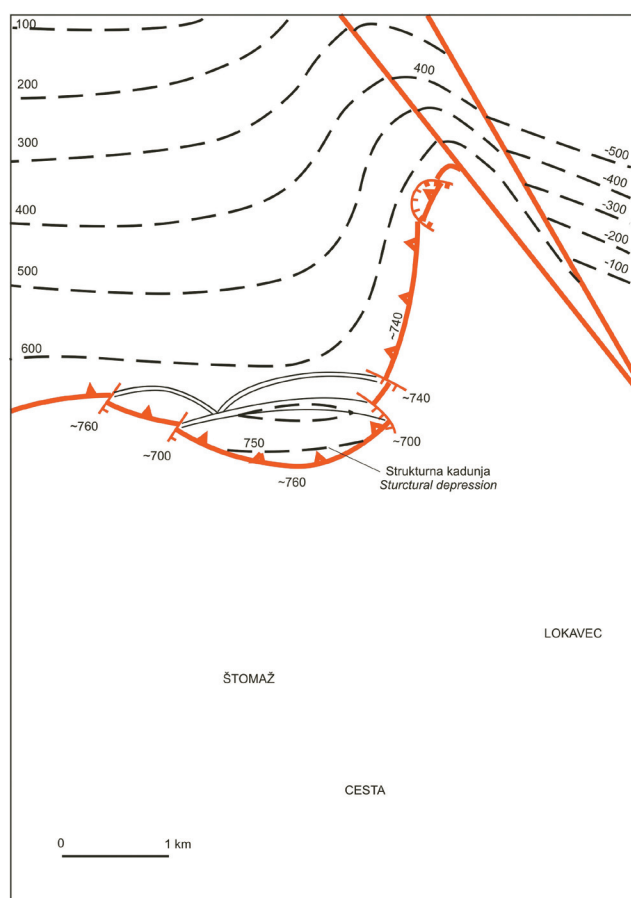
Sklep

Pogled na strukturni okvir plazu Slano blato odkriva zanimivo prekrivanje starejših in mlajših gravitacijskih pojavov, kar je značilno za celotno naravno čelo Trnovskega in Hrušiškega pokrova nad Vipavsko dolino in Postojnsko kotlino. Sožitje starejšega fosilnega in aktivnega plazu je zna-

čilno tudi za plazova na Razdrtem in v Stranah. Vzrok za take razmere je aktivna subrecentna in recentna tektonika. Zato je za racionalno sanacijo večjih plazov potrebno poznati poleg geoloških razmer neposredno na plazu, tudi širšo okolico in regionalno tektonsko problematiko. Tej zahtevi bi najboljše ustregli s predpisi in ustreznimi denarnimi sredstvi že v fazi primarnih raziskav.



Slika 7. **A** Shematski geološki profil preko Velikega Modrasovca in Male Gore po fotografiji na sl. 6. **B** Detajl strukturne kadunje, 1. lezika v mezozojskih karbonatih; 2. eocenski apneni peščenjak; 3. plazina (zdrsna ploskev); 4. meja Trnovskega pokrova; 5. eocenski fliš; 6. solzila; 7. plaz; 8. strukturno zajetje
 Figure 7. **A** Schematic geologic section across Veliki Modrasovec and Mala Gora on photo fig. 6. **B** Detail from structural depression, 1. Bedding planes in Mesozoic carbonate rocks; 2. Eocene calcarenite; 3. Curved shear surface; 4. Trnovo nappe boundary; 5. Eocene flysch; 6. Seepage areas; 7. Landslide; 8. Structural reservoir



1 ————— 2 —▲— 3 —||||— 4 ———— 5 ————
 Slika 8. Strukturna karta narivne ploskve mezozojskih karbonatnih kamnin Trnovskega pokrova na eocenski fliš. Lega strukturne kadunje. Dopolnjeno po PLACER & ČAR (1974, sl. 2) 1. prelom; 2. meja Trnovskega pokrova; 3. plazina (zdrsna ploskev); 4. izohipsa flišne podlage; 5. presečnica flišne podlage in plazine (zdrsne ploskve)

Figure 8. Structural map of the thrust surface of Mesozoic carbonate rocks of the Trnovo nappe on the Eocene flysch. Position of the structural basin. Modified after PLACER & ČAR (1974, fig. 2), 1. Fault; 2. Boundary of Trnovo nappe; 3. Curved shear surface; 4. Contour line of flysch basement and shear surface

Reference

BUSER, S. 1968: Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000, list Gorica. Zvezni geološki zavod, Beograd.
 FIFER-BIZJAK K. & RIBIČIČ, M. 2004: Geotehnične raziskave za plaz Slano Blato = Geotechnical research work for the landslide Slano Blato. Razprave četrtega posvetovanja slovenskih geoteknikov, Rogaška Slatina, 297–304, Slovensko geotehniško društvo (Maribor).
 FIFER-BIZJAK, K. & ZUPANČIČ-VALANT, A. 2007: Rheological investigation for the landslide Slano Blato near Ajdovščina (Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 50/1: 121–129.

KOČEVAR M. & RIBIČIČ M. 2001: Plaz Slano blato nad Lokavcem pri Ajdovščini. *Gradbenik* (Ljubljana) 5/3: 40.
 KOČEVAR M. & RIBIČIČ M. 2002: Geološke, hidrogeološke in geomehanske raziskave plazu Slano blato = Geological, hydrogeological and geomechanical investigation of Slano blato landslide. *Geologija* (Ljubljana) 45/2: 427–432.
 KOVAČ, M. & KOČEVAR, M. 2000/2001: Plaz Slano blato nad Lokavcem pri Ajdovščini. *Ujma* (Ljubljana) 14–15: 122–129.
 LOGAR, J., BENKO I., FIFER-BIZJAK K., KOČEVAR, M., MIKOŠ, M., RIBIČIČ, M. & MAJES, B. 2004: The history of Slano Blato landslide through four states. Abstracts of the Contributions of the European Geosciences Union General Assembly, 6, (Katlenburg-Lindau).
 LOGAR, J., FIFER-BIZJAK K., KOČEVAR, M., MIKOŠ, M., RIBIČIČ, M. & MAJES, B. 2005: History and present state of the Slano Blato landslide. *Natural hazards and earth system sciences*. 5: 447–457.
 MAJES, B., PETKOVŠEK, A. & LOGAR, J. 2002: Primerjava materialnih lastnosti drobirskih tokov in plazov Stože, Slano blato in Strug = The comparison of material properties of debris flows from Stože, Slano blato and Strug landslides. *Geologija* (Ljubljana) 45/2: 457–463.
 MIKOŠ, M., MAJES, B., BRILLY, M. & RIBIČIČ, M. 2005: Activity of the Slano Blato landslide as an example of a landslide behaviour in karstic hydrological conditions. Abstracts of the Contributions of the EGU, 7, (Katlenburg-Lindau).
 PLACER, L. & ČAR, J. 1974: Problem podzemeljske razvodnice Trnovskega gozda, Križne gore in Črnovrške planote = Hydrological problematic of the High karst between Idrija and Vipava rivers (Trnovski gozd, Križna gora and the plateau of Črni vrh). *Acta carsologica* (Ljubljana) VI/5: 81–93.
 RIBIČIČ, M. 2002: Izračun volumnov in sanacija plazu Slano blato nad Lokavcem pri Ajdovščini = Volume analysis and rehabilitation of the Slano Blato landslide. *Ujma* (Ljubljana) 16: 335–345.
 RIBIČIČ, M. 2003: Calculation of the moving landslide masses volume from air images. *Geologija* (Ljubljana) 6/2:413–418.
 RIBIČIČ, M. 2006: Prikaz novejših tehnologij spremljanja sprememb na plazovih na primeru plazu Slano blato. 2. Slovenski geološki kongres, Zbornik povzetkov (Idrija):128–129.
 RIBIČIČ, M. & KOČEVAR, M. 2002: Končna sanacija plazu Slano blato nad Lokavcem pri Ajdovščini = The final remediation of the landslide Slano blato above settlement Lokavec at Ajdovščina. *Geologija* (Ljubljana) 45/2: 525–530.
 ZUPANČIČ-VALANT A., ŽUMER M., FIFER-BIZJAK K. 2005: Movement description of landslide Slano Blato. The Society of Rheology 77th Annual Meeting, Program and abstracts (Vancouver): 16–20.

Pobočni masni premiki na satelitskih posnetkih SPOT: Primer območja Železnikov po vodni ujmi septembra 2007

Slope mass movements on SPOT satellite images: A case of the Železniki area (W Slovenia) after flash floods in September 2007

Mateja JEMEC¹ & Matjaž MIKOŠ²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana; e-mail: mateja.jemec@geo-zs.si

²Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana; e-mail: matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

Ključne besede: hudourniška poplava, plazovi, satelitski posnetki, SPOT, daljinsko zaznavanje, Železniki, Slovenija

Key words: flash floods, landslides, satellite images, SPOT, remote sensing, Železniki, Slovenia

Izvleček

V prispevku smo se osredotočili na prizadeto ozemlje zahodne in severno zahodne Slovenije, po hudourniških poplavah septembra 2007. Cilj naše raziskave je bil v prvi fazi prikaz metodologije dela določevanja verjetnosti pojavljanja plazov iz satelitskih posnetkov pred in po ujmi na območju Železnikov. V drugi fazi pa primerjava dobljenih rezultatov že z obstoječimi modeli napovedi pobočnih masnih premikanj in določiti prepoznavnost tipov plazov na satelitskem posnetku. Rezultati so pokazali, da se velik del plazovite površine, določene iz nadzorovane in nenadzorovane klasifikacije satelitskih posnetkov ujema z razredi, kjer je verjetnost pojavljanja plazov največja.

Abstract

Flash floods in Slovenia, which was exposed on September 18th 2007, demanded 6 lives, several thousand houses and over one thousand kilometres of roads were damaged and more also than 50 bridges. The highest amount of rain fell at west and north-west parts of Slovenia (northern Primorska region and southern Gorenjska region), from where heavy rain spread eastwards over the central Slovenia and in east part of Slovenia. In the article we focused on area of western and north-western part of Slovenia. The aim of present research was in the first phase to describe methodology to determine landslide occurrences from satellite images before and after natural disaster on Železniki region. Second phase was based on comparison of obtained results with the existing models for prediction of slope mass movements, and finally also to determine identificability of landslide types on a satellite image. Results have shown, that the highest part of obtaining area from supervised and unsupervised classification of satellite images, are comparable with classes of landslide susceptibility, where occurrences of landslide are largest.

Uvod

Slovenija leži na stičišču Alp, Panonske nižine, dinarsko-kraškega sveta in Sredozemlja, kar znanuje naš življenjski prostor z izjemno pokrajinsko pestrostjo in naravnimi lepotami, obenem pa tudi s številnimi naravnimi nesrečami. Vsakih nekaj let Slovenijo prizadenejo hude naravne nesreče (poplave, plazovi, potresi itd.), ki povzročijo veliko materialno škodo in stiske prizadetih ljudi, včasih pa terjajo tudi človeške žrtve. Ob vsakem takšnem dogodku se potem nekaj časa sprašujemo, zakaj se je to zgodilo, zakaj je narava tako kruta in kaj so pglavitni vzroki za nesrečo. V nekaj letih po ujmi počasi zopet pozabimo, da so naravne nesreče sestavni del narave, in se niti ne vprašamo več, ali nismo morda tudi sami odgo-

vorni za nesrečo. Davek, ki ga vsako leto poberejo poletna neurja, vodne ujme, zemeljski plazovi in druge naravne nesreče, v povprečju presega 2 % bruto domačega proizvoda. V posameznih letih je škoda, ki jo povzročijo naravne nesreče, tudi višja (Mikoš et al., 2004).

Vremenska ujma, ki je 18. 9. 2007 zajela Slovenijo, je terjala 6 življenj, poškodovanih je bilo nekaj tisoč hiš, stotine kilometrov cest in več kot 50 mostov. Največ dežja je padlo v zahodnem in severno zahodnem delu države (severna Primorska in južna Gorenjska), od koder se je deževje nadaljevalo v osrednjo Slovenijo in vzhodni del države. Največ posledic so povzročile naraščajoče reke, ki so presegle meje svoje struge in začele poplavljati (Sava, Sora, Paka, Bolska, spodnja Savinja). Vodna ujma je imela tako dva glavna »epi-

centra« zahodni in vzhodni del s skupno površino okoli 150 km x 170 km (slika 1). Na zahodu države so bila zelo močno prizadeta mesta Železniki, Cerknó, Škofja Loka, Bohinjska Bistrica, Kropa, Davča ter soteska Baška grapa. Na vzhodu pa so največ posledic utrpeli občine Celje, Vojnik, Žalec, Velenje in Laško. V tem delu Slovenije so se sprožili tudi številni plazovi, največji se je zgodil v kraju Letuš (občina Braslovče), kjer sta bili 2 smrtni žrtvi. Uničenih ali poškodovanih je bilo na tisoče domov in avtomobilov, pod vodo je bilo tudi več uspešnih slovenskih podjetij, ogromna škoda je bila tudi na infrastrukturi.

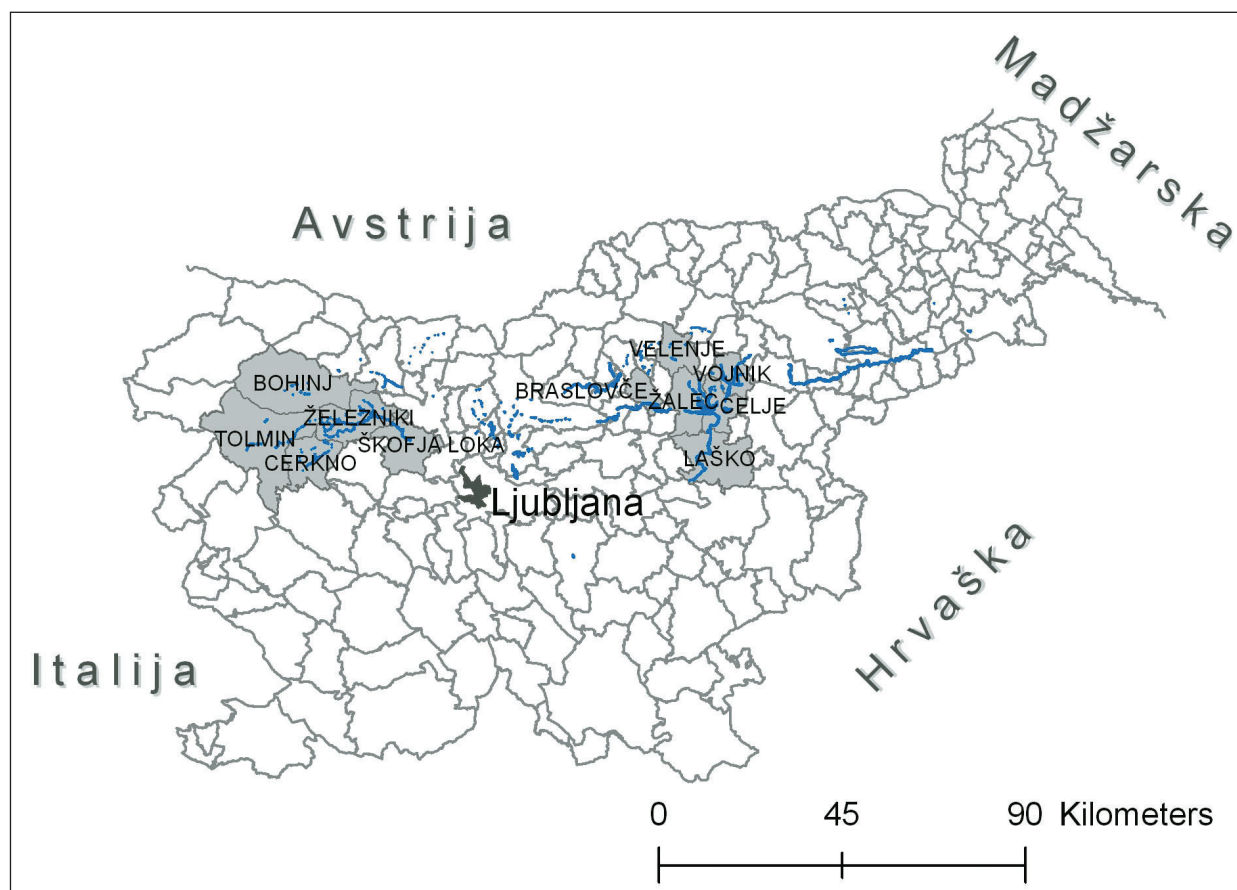
V pričujoči raziskavi smo se osredotočili na ozemlje zahodne in severno zahodne Slovenije. Cilj naše raziskave je bil v prvi fazi prikaz metodologije dela določevanja verjetnosti pojavljanja plazov iz satelitskih posnetkov pred in po ujmi na območju Železnikov. V drugi fazi pa primerjava dobljenih rezultatov že z obstoječimi modeli napovedi pobočnih masnih premikanj in določiti prepoznavnost tipov plazov na satelitskem posnetku.

Pretekle raziskave

V Sloveniji je bila izdelana študija o uporabi satelitskih posnetkov ob poplavih septembra 2007 (OŠTIR et al., 2007). Po vodni ujmi so aktivi-

rali Space and Major Disasters Charter. Posnetih in posredovanih je bilo več satelitskih posnetkov sistemov SPOT, Envisat, Radarsat, IRS in Formosat. Za najbolj uporabnega se je izkazal posnetek zahodne Slovenije sistema SPOT, posnet tri dni po neurju. Izdelali so več preglednih in podrobnih satelitskih kart prizadetih občin. Satelitski posnetki SPOT se uporabljajo na tem področju tudi v svetu, npr. za izdelavo kart dovzetnosti za plazenje tal (WEIRICH & BLESIIJS, 2007).

KOMAC & RIBIČIČ (2006) sta izdelala karto verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000. Model temelji na prostorsko časovnih faktorjih (litologija, naklon, ukrivljenost in usmerjenost pobočja, oddaljenost od geoloških mej, oddaljenost od strukturnih elementov, oddaljenost od površinskih vod, dolžina toka površinske vode ter tip rabe tal) in vplivu sprožilnih dejavnikov (maksimalne 24-urne padavine s 100-letno povratno dobo, objektni talni pospešek s 475-letno povratno dobo (LAPANJE et al., 2001) in količina povprečnih letnih padavin). Osnovo karte predstavlja baza GIS_ujme (KOMAC et al., 2005; RIBIČIČ et al., 2006), v kateri je zabeleženih 6.602 plazov, od tega jih ima 3257 znano geografsko lokacijo. Analize so bile izdelane z GIS orodjem na rastrskih podatkih s prostorsko ločljivostjo 25 x 25 metrov. Karta verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji, je bila izdelana v merilu 1 : 250.000 kot končni produkt matematičnega modeliranja pro-



Slika 1. Naraščajoče reke so za seboj pustile največ škode v občinah Železniki, Škofja Loka, Cerknó, Tolmin in Bohinj v zahodnem delu Slovenije ter na vzhodu v občinah Laško, Celje, Žalec, Braslovče, Vojnik in Velenje.

Figure 1. Swelling rivers caused a lot of damages in the municipalities of Železniki, Škofja Loka, Cerknó, Tolmin, and Bohinj on the west part of Slovenia and on the east in the municipalities of Laško, Celje, Žalec, Braslovče, Vojnik, and Velenje.

storsko časovnih faktorjev, ki vplivajo na pojavljanje plazov. Izdelan model temelji tudi na predhodni študiji KOMAC (2005), kjer avtor ugotavlja možnost napovedovanja plazov s pomočjo podatkov daljinskega zaznavanja z večspektralnimi satelitskimi podobami Landsat-5 TM in visokoločljivimi podobami Resurs-F2 MK-4. Prvi so bili uporabljeni v sled njihove dokazane uporabnosti pri ugotavljanju plazovitih območij, drugi pa zaradi njihove visoke ločljivosti, ki znaša od 6 do 8 oz. od 8 do 12 metrov.

Uprava za zaščito in reševanje Republike Slovenije in Podjetje za urejanje hudournikov (PUH d.d.) sta izdelala obširno študijo »Analiza upravljanja in vodenja v primeru neurja septembra 2007 na najbolj prizadetih območjih v Sloveniji« (PUH, 2008). Analiza tega poplavnega dogodka je postala tudi sestavni del evropskega projekta HYDRATE (Hydrometeorological data resources and technologies for effective flash flood forecasting), v katerem sicer Slovenija neposredno ni sodelovala. Projektna skupina je ob pomoči Agencije Republike Slovenije za okolje teden dni v okolici Železnikov izvajala popis poškodb, opravila posnetke profilov, določila mesta odnašanja in mesta odlaganja plavin ter intervjuvala domačine. S pridobljenim gradivom so potem poskušali razumeti dejansko poplavno dogajanje na terenu.

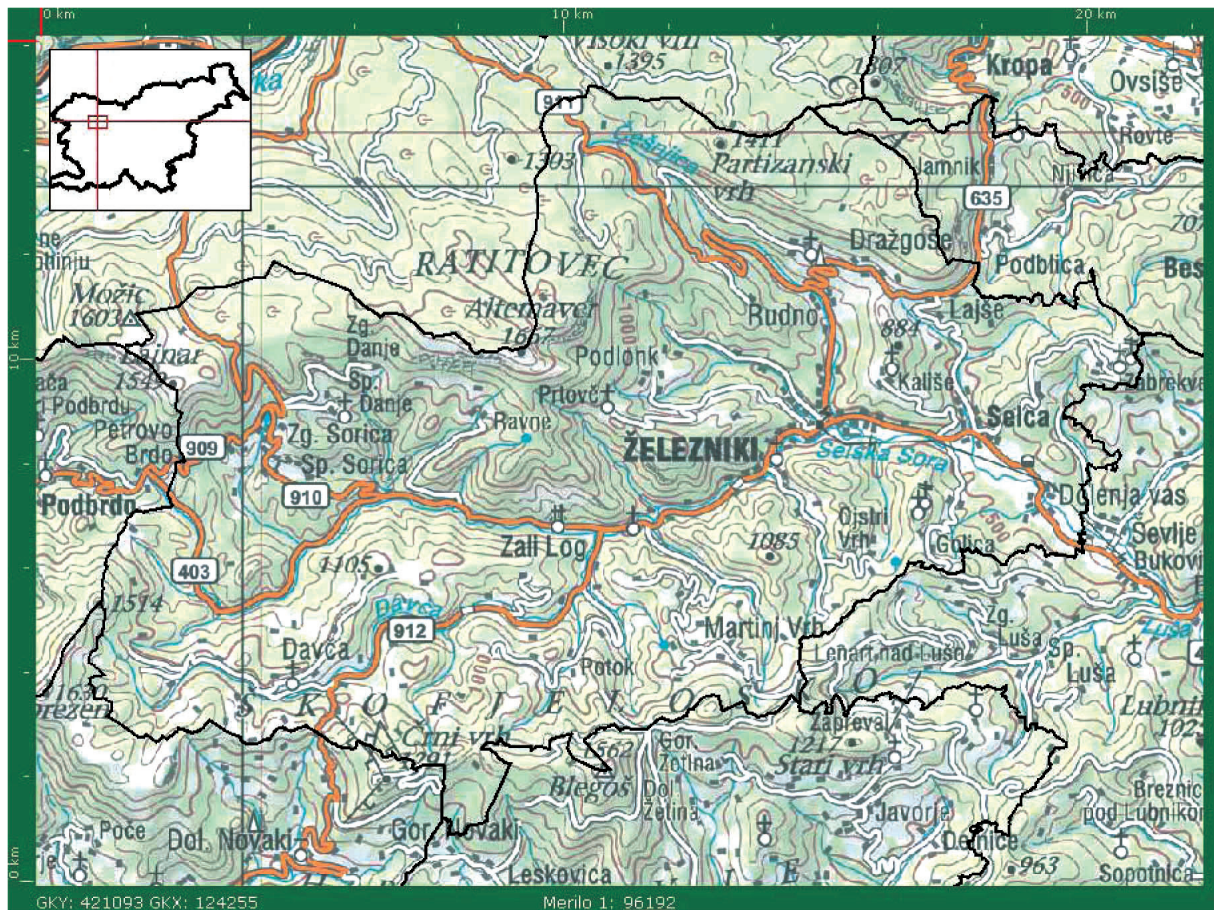
Tudi številni tuji avtorji so v svojih raziskavah uporabljali prostorske faktorje pri izdelavi mode-

lov verjetnosti pojavljanja plazov (CARRARA, 1983; CARRARA et al., 1991; KOJIMA et al., 2000; FABBRI et al., 2003; CROZIER & GLADE, 2005).

Geološki opis ozemlja

Obraavnano območje leži v zahodnem delu Slovenije v velikosti približno 27 km x 15 km in obsega občino Železniki (slika 2).

Glavni vir geoloških podatkov na območju Slovenije predstavlja Osnovna geološka karta SFR Jugoslavije v merilu 1 : 100.000. Obravnano ozemlje leži na listu Kranj OGK. Podatki o geološki zgradbi so bili povzeti po GRAD & FERJANČIČ (1974 in 1976). Na raziskovanem območju imamo zastopane karbonske in permske sklade meljevca, peščenjaka, konglomerata, sljudnatega meljevca in kremenovega peščenjaka; triasne sklade v obliki amfiklinskih plasti (skrilavi glinavec, droba, peščenjak, apnenec, vložki konglomerata in breče), baški dolomit, ki ga sestavlja plastnat dolomit s polami in gomolji roženca, rabeljske plasti (vložki apnenca, glinavca, meljevca, tufa, peščenjaka, konglomerata), psevdoziljske plasti (različno zrnat droba, tuf, skrilavci, glinavci), žažarske plasti (plastnat apnenec z vložki lapornatega glinavca); ter glinavce, lapornate glinavce, kalkarenit, breče, fliš ter ploščasti apnenec kredne starosti. Ponekod na pobočjih se nahaja tudi pobočni grušč.



Slika 2. Raziskovano območje, občina Železniki.

(http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso)

Figure 2. Research area, the municipality of Železniki.

Metodologija dela in uporabljeni podatki

GIS in podatki

Za osnovni podatek smo uporabili karto poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 (IzVRS, 2007) v digitalni vektorski obliki, sestavljeno iz grafičnih objektov (točke, poligoni ali črte), ki so preko enotnih identifikacij povezani s podatki v tabelah. Šifrant vsebuje 4 kategorije podatkov (poplavne linije, erozija poškodbe, erozija poškodbe usad, erozija poškodbe nanosi). Pri naši analizi ugotavljanja pobočnih premikanj, sta bila za nas najpomembnejša podatka »erozija poškodbe usad« in »erozija poškodbe«. V karti so zajeta le območja, ki so jih prizadele poplavljajoče reke.

Satelitske posnetke tipa SPOT, ki sta jih posnela CNES (2007) in Spot Image (2007), smo dobili v georeferencirani in ortoklasificirani obliki (Ic, 2007), vpete v državni koordinatni sistem D48 z 10 m ločljivosti in 3,2 m natančnostjo iz Inštituta za antropološke in prostorske študije, ZRC SAZU (OŠTIR et al., 2007).

Satelit	Vrsta posnetka	Datum posnetka
SPOT	SPOT 10m colour (srednja ločljivost MS)	12. 03. 2007
	SPOT 10m colour (srednja ločljivost MS)	21. 09. 2007

Uporabljeni so bili tudi naslednji informacijski sloji: naklon pobočij $> 5^\circ$, velikost celice 10 x 10 m (DMV 12,5 m), digitalni podatki osnovne geološke karte v merilu 1 : 25000, vektorski poligonski sloj o plazovih v zahodnem delu Slovenije (FAJFAR et al., 2005; RIBIČIČ et al., 2006), digitalni model višin (DMV) z velikostjo celice 12,5 m, digitalni ortofoto posnetki (DOF5).

Klasifikacijska shema

Glavni namen klasifikacije satelitskih in drugih posnetkov je prepoznavanje predmetov na zemeljski površini in njihovo upodabljanje v obliki tematskih kart. Glede na metodo dela, delimo klasifikacijo satelitskih posnetkov na nadzorovano (*ang. supervised classification*) in nenadzorovano (*ang. unsupervised*). Glavna razlika med obema je način, kako ustvarimo spektralne podpise. Pri nadzorovani klasifikaciji operater določi manjša območja, kjer je razpoznaven določen tip rabe tal, računalnik pa iz njih izračuna spektralne podpise. Pri nenadzorovani klasifikaciji podpise ustvari računalnik sam, z matematičnim združevanjem podatkov v n-razsežnem spektralnem prostoru (OŠTIR, 2006). Najpomembnejši dejavnik, ki omogoča klasifikacijo posnetkov, je tako imenovani spektralni podpis ali spektralni odziv. Omenjeni izraz uporabljamo za opis načina odboja elektromagnetnega valovanja na zemeljski površini. Spektralni odziv določenega predmeta je merilo za intenziteto odbitega elektromagnetnega valovanja v odvisnosti od valovne dolžine (CAMPBELL, 1996). Odbojnost se močno spreminja z valovno

dolžino. Z uporabo posnetkov večje prostorske (in spektralne) ločljivosti pridejo na dan prednosti in tudi slabosti njihove obdelave. Najbolj očitna prednost je dostop do več podrobnosti, kar pomeni večjo ločljivost manjših objektov na posnetku. Druga prednost je večja homogenost posamezne celice na posnetku. To pomeni, da ena celica predstavlja enega ali nekaj različnih tipov površja, vsekakor pa manj kot celica pri slabši prostorski ločljivosti. Ovira, ki se pojavi ob večanju prostorske ločljivosti, je posledično povečanje števila tipov površja in s tem razredov, ki jih opisujejo pri klasifikaciji posnetka (CAMPBELL, 1996).

Pri nenadzorovani klasifikaciji piksle razporedimo v razrede glede na njihovo naravno združevanje v spektralnem prostoru. Osnovna ideja, ki jo uporabljamo je, da so vrednosti enake pokrovnosti (ali podobni predmeti) blizu skupaj v spektralnem prostoru, vrednosti različnih tipov pokrovnosti pa so daleč narazen. To je sicer nekoliko idealizirano, saj vedno pride do določenega prekrivanja razredov in je zato ločevanje precej težavno, poleg tega pa je posamezni informacijski razred pogosto sestavljen iz več spektralnih informacijskih razredov. Za nenadzorovano klasifikacijo lahko torej rečemo, da najprej z upoštevanjem številčnih vrednosti podatkov določimo spektralne razrede, ki jim v nadaljevanju priredimo informacijske razrede (OŠTIR, 2006).

Pri nadzorovani klasifikaciji za ustvarjanje spektralnih vzorcev uporabimo svoje poznavanje zemeljskega površja. Na nek način računalnik »naučimo«, kaj je recimo voda in kaj trava, nato pa svoje znanje prenese na celoten posnetek. Postopek nadzorovane klasifikacije v grobem razdelimo na tri dele: ustvarjanje in urejanje vzorcev, razvrstitev v razrede ter analiza natančnosti in predstavitve rezultatov. Prvi in najpomembnejši korak pri nadzorovani klasifikaciji je izbira vzorcev. Operater praviloma na računalniškem zaslonu označi območja, kjer ve, da se nahaja določen tip površja. Program za obdelavo posnetkov nato izračuna spektralni podpis tipa pokrovnosti. Ta ponavadi obsega povprečne, največje in najmanjše vrednosti, standardne odklone in podobno v vseh kanalih, ki jih imamo na razpolago. Za vsakega izmed razredov je potrebno izbrati dobre, to je homogene in dovolj velike učne vzorce. Slednje ponavadi določamo glede na poznavanje površja, pa tudi s primerjavo topografskih in različnih tematskih kart. Posebno pozornost je treba posvetiti njihovi homogenosti, zato je smiselno postopek iterativno ponavljati in neprimerne vzorce izločevati. Pomembno je tudi, da so vzorci reprezentativni, torej da dobro predstavljajo iskane kategorije (OŠTIR, 2006).

Metodologija

Satelitske podobe so bile obdelane in analizirane v programskem orodju ERDAS Imagine 9.1.

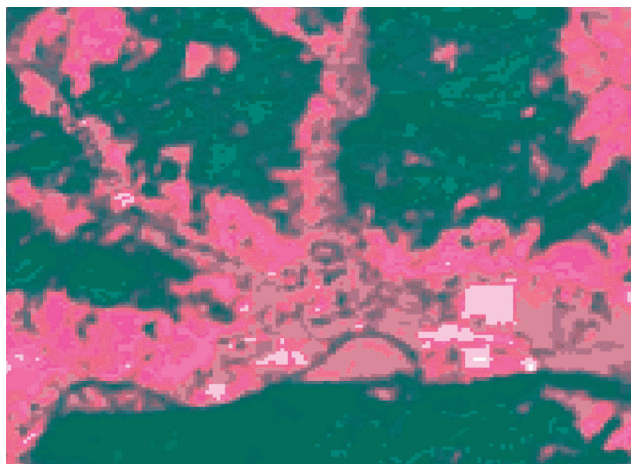
Za boljšo ponazoritev rezultatov smo uporabili 2 satelitski podobi, in sicer prvo, ki je bila posneta pred ujmo in drugo, ki je bila posneta 3 dni po intenzivnih padavinah. Pojavi plazov so povezani z različnimi dejavniki in podatki daljinskega

zaznavanja upoštevajo nekatere od motečih ali manj pomembnih dejavnikov. Za določevanje in prepoznavanje plazov na satelitskih posnetkih so najboljši tisti, ki so posneti pozimi (brez snežne odeje) ali pa zgodaj pomladi, ko še ni vegetacije. Prvi posnetek pred ujmo (12. 03. 2007) je bil narejen na začetku pomladi, to je v začetni rastni dobi vegetacije (v našem primeru ne moremo reči, da je bilo ravno brez vegetacije, ker so bile relativno visoke temperature v času pred snemanjem posnetka). Drugi je bil posnet v začetku jeseni, v pozni rastni dobi. Tu so veliko večji odkloni pri spektralnih značilnostih, ki se pojavijo zaradi senc krošenj dreves, pašnikov, poljskih pridelkov itd. Interpretacija v pozni rastni dobi tako lahko zahteva precej natančno lokalno poznavanje kmetijskih navad (WRIGHT & MORRICE, 1997).

Pred ujmo

Nenadzorovano klasifikacijo, satelitskega posnetka SPOT MS posnetega 12. 03. 2007 (slika 3), smo uporabili za začetno pridobivanje osnovnega znanja o »obnašanju« t.j. naravni razporeditvi vzorcev. Posamezna testna območja smo klasificirali na 35 razredov.

35 spektralnim razredom smo določili informacijske razrede. Na sliki smo s pomočjo ortofoto posnetkov (DOF 5) prepoznali mesta, reke, gozd, kmetijske površine in tudi že znane plazove in pobočne premike. Klasificiran satelitski posne-



Slika 3. Prikaz satelitskega posnetka SPOT pred ujmo, dne 12. 03. 2007, RGB kanali 432.

Figure 3. SPOT satellite image before disaster, on March 12th 2007, RGB channels 432.

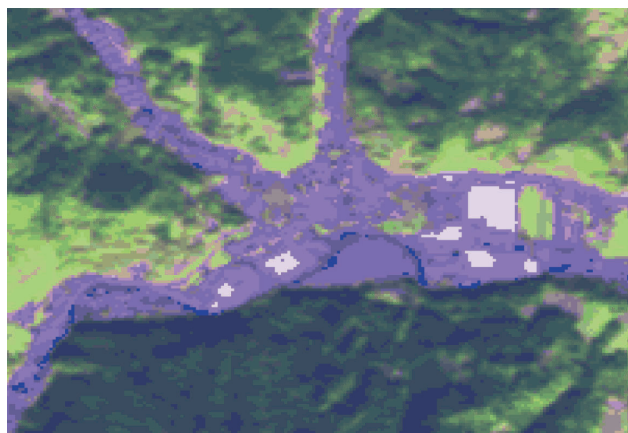
tek smo prekrili z vektorskim slojem poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 ter s plazovi iz baze GIS_ujme. Pri naši raziskavi smo se osredotočili le na plazove in pobočne masne premike, zato smo izdvojili 4 informacijske razrede, ki pripadajo slednjim. Nadalje je obdelava potekala v programu ESRI ArcMap 9.2, kjer smo dobljene informacijske razrede prekrili z rastrom *naklon pobočij* $>5^\circ$, ter tako izločili vsa območja, ki imajo naklon manjši od 5° (ni verjetnosti pojavljanja plazov). Ker je podatek o vrsti kamnine zelo pomemben podatek o stabilnosti tal in tudi o možnosti nastanka kakršnih kolih po-

dorov, plazov ter usadov, smo za to potrebo izbrali geološko karto lista Kranj, v merilu 1 : 25.000. Glavni namen je bil izločiti relativno trde kamnine (apnenec, dolomit, apnenec in dolomit), za katere velja, da na pojavljanje plazov vplivajo redkeje kot ostale kamnine.

Po ujmi

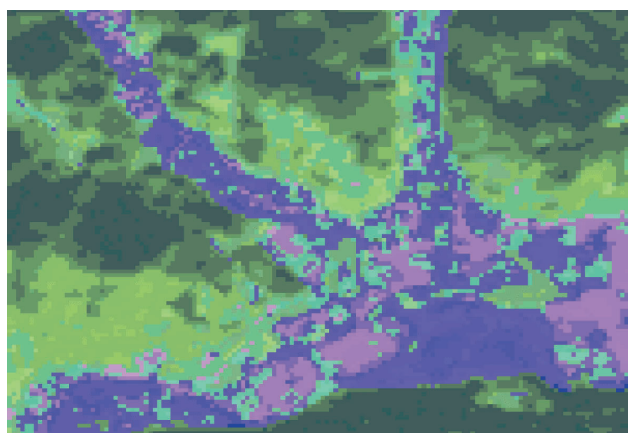
Za prikaz razmer po ujmi smo naredili primerjavo med nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo satelitskega posnetka SPOT MS, posnetega 21. 09. 2007 (slika 4). Nenadzorovana klasifikacija je potekala na enak način kot klasifikacija pred ujmo. Prav tako smo 35 spektralnim razredom določili njihove informacijske razrede, še posebno smo se osredotočili na razrede, ki pripadajo plazovom in pobočnim masnim premikom. Na posnetku smo določili 5 informacijskih razredov, ki so si v spektralnem prostoru zelo blizu in označujejo plazovita območja.

Pri nadzorovani klasifikaciji (slika 5) smo za vsako kategorijo ali informacijski razred izbrali več učinkov vzorcev. Pri omejevanju vzorcev smo se naslonili predvsem na digitalne ortofoto posnetke, v veliko pomoč pa nam je bil še vektorski sloj rabe



Slika 4. Prikaz satelitskega posnetka SPOT po ujmi, dne 21. 09. 2007, kanali 413.

Figure 4. SPOT satellite image after disaster, on September 21st 2007, channels 413.



Slika 5. Prikaz nadzorovane klasifikacije satelitskega posnetka SPOT po ujmi, dne 21. 09. 2007, kanali 413.

Figure 5. Supervised classification of satellite image SPOT after disaster, on September 21st 2007, channels 413.

tal, izdelan na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (GERK, 2008). Vzorce gozda smo zaradi zelo različnega spektralnega podpisa omejevali posebej le glede na barvo, saj namen ni bil podrobno ločevanje gozda. Pri določevanju plazov smo za osnovo vzeli ortofoto posnetke in že znane lokacije plazov, npr. plaz Slano blato pod Lokavcem ter tako določili tri informacijske razrede, ki označuje plazove. Nadaljnji postopek analize je enak predhodno opisanim postopkom.

Rezultati in razprava

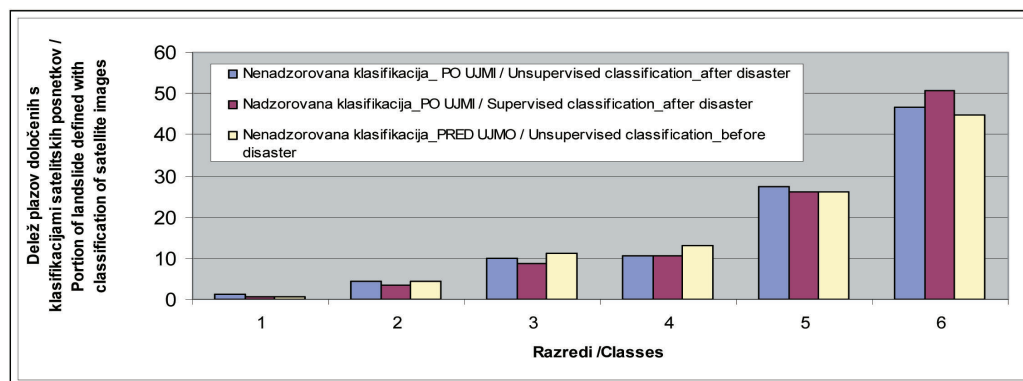
Obravnavana posnetka pred in po ujmi sta bila posneta z istim satelitom in oba imata 4 spektralne kanale. Med seboj se razlikujeta potem, da sta bila posneta z različno kamero (HRG1 in HRG2) ter imata različne kalibracijske parametre (Ic, 2007). Slednji se močno razlikujejo med seboj na obeh posnetkih in za neposredno primerjavo, bi bilo potrebno narediti radiometrično kalibracijo. Zaradi tega v nadaljnji analizi rezultatov ni obravnavane neposredne primerjave med posnetkoma, temveč smo se osredotočili na primerjavo med nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo pred in po ujmi ter ostalimi že izdelanimi modeli napovedi oz. prostorskimi pojavljanji plazov. Odstopanja se pokažejo tudi pri primerjavah med posameznima klasifikacijama (nadzorovana in nenadzorovana) pred in po ujmi, ko gre razliko pripisati načinu postopka klasifikacije in času nastanka posnetka. Nenadzorovana klasifikacija je v nekaterih primerih bolj smotrna za določevanje plazovitih območij, ker se pri tem izognemo subjektivnemu vplivu na razdelitev. Pri primerjavi porazdelitve območji pojavljanja plazov, dobljenih iz satelitskih posnetkov, z verjetnostnim modelom, ki sta ga izdelala KOMAC & RIBIČIČ (2006), gre raz-

liko pripisati različnim izhodiščnim parametrom, uporabi različnih tipov satelitskih posnetkov ter metodologiji izdelave modela napovedi. Prav tako podatki poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 zajemajo le ožje območje reke Sore in Davče, to je neposredno ob strugi in na površinah, ki sta ju reki poplavlili. Primanjkujejo podatki iz višjih ležečih predelov, kjer je voda drla in odnašala seboj material, posledično pa so nastali udori, podori in pobočni masni premiki, ki bi nam pomagali pri ovrednotenju posnetkov.

Pri primerjavi deležev plazov, ki smo jih določili s klasifikacijami satelitskih posnetkov (slika 6) z razredi, ki označujejo verjetnost pojavljanja plazov (KOMAC & RIBIČIČ, 2006) je razvidno, da največji delež plazov, ki smo jih določili z dvema različnima postopkoma klasifikacije (nadzorovano in nenadzorovano klasifikacijo), pade v razred 5 in 6. Rezultati nenadzorovane in nadzorovane klasifikacije pred in po ujmi znotraj posameznih razredov, so med seboj primerljivi. Nekoliko večje odstopanje imamo pri nadzorovani klasifikaciji po ujmi, kjer se več kot 50 % površine uvršča v šesti razred, kjer je verjetnost pojavljanja plazov največja (tabela 1).

Pri razmerju površin dobljenih s klasifikacijo satelitskih posnetkov (slika 7), najbolj izstopa površina pojavljanja plazov iz nenadzorovane klasifikacije pred ujmo, kjer je največji delež površine zastopan v šestem razredu. To lahko pripišemo času nastanka posnetka (začetek rastne dobe), saj so piksli pri klasifikaciji lahko zavzeli večjo površino, ki je označevala pobočne procese. Medtem ko v jesenskem času, veliko površine zakrivajo gozdovi.

Na sliki 8 imamo prikazano porazdelitev površine plazov iz baze GIS_ujme (KOMAC et al., 2005) po verjetnostnih razredih pojavljanja plazov (KOMAC & RIBIČIČ, 2006). Največ plazov iz omenjene



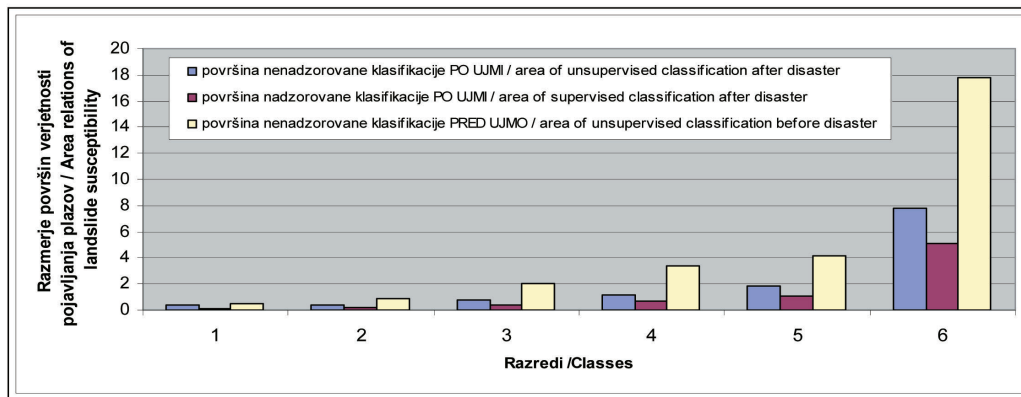
Slika 6: Delež plazov določenih s klasifikacijami satelitskih posnetkov po verjetnostnih razredih pojavljanja.

Figure 6: Portion of landslides defined with classifications of satellite images according to landslide susceptibility.

Razred / Class	Verjetnost pojavljanja plazov / Landslide susceptibility	Pred ujmo nenadzorovana / Before disaster unsupervised	Po ujmi nadzorovana / After disaster supervised	Po ujmi nenadzorovana / After disaster unsupervised
1	Ni je / None	0,7	0,7	1,3
2	Zelo majhna / Very low	4,2	3,3	4,3
3	Majhna / Low	11,2	8,7	9,8
4	Srednja / Medium	13	10,5	10,5
5	Velika / High	26,1	26,2	27,5
6	Zelo velika / Very high	44,9	50,6	46,7

Tabela 1. Porazdelitev površin pojavljanja plazov po verjetnostnih razredih (KOMAC & RIBIČIČ, 2006).

Table 1. Distribution of landslide occurrences according to landslide susceptibility classes (KOMAC & RIBIČIČ, 2006).

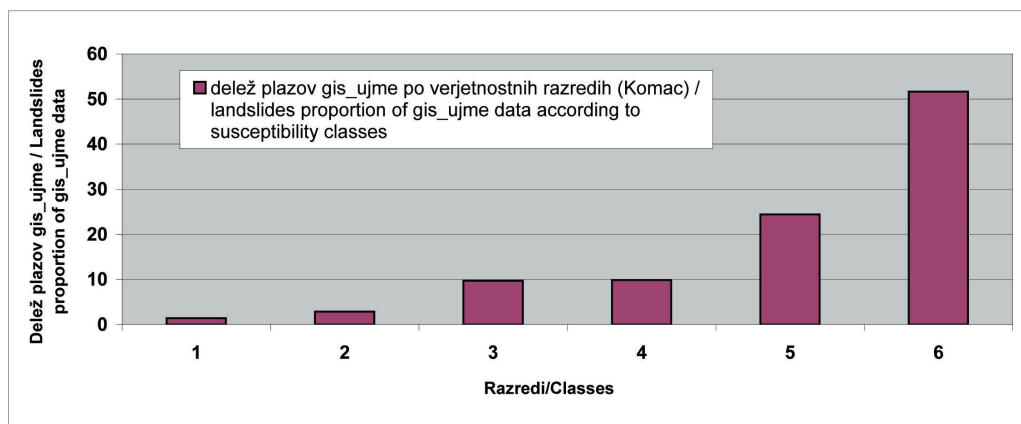


Slika 7: Razmerje površin dobljenih s klasifikacijo satelitskih posnetkov po verjetnostnih razredih pojavljanja. Figure 7: Relation between areas obtained with classifications of satellite images and landslides susceptibility.

baze je zastopanih v 6 razredu, v katerem je malo več kot 51 % vseh plazov iz baze.

Na sliki 9 je prikazana površina plazov določena s klasifikacijami, ki prekriva določen delež plazov iz baze GIS_ujme. Upoštevali smo število posameznih območji (rastrskih celic), ki se nahajajo znotraj površin plazov iz baze GIS_ujme na raziskovalnem območju, za vse tri načine klasifikacije posebej. Največ verjetne površine za plazove določene s klasifikacijami prekriva od 10 do

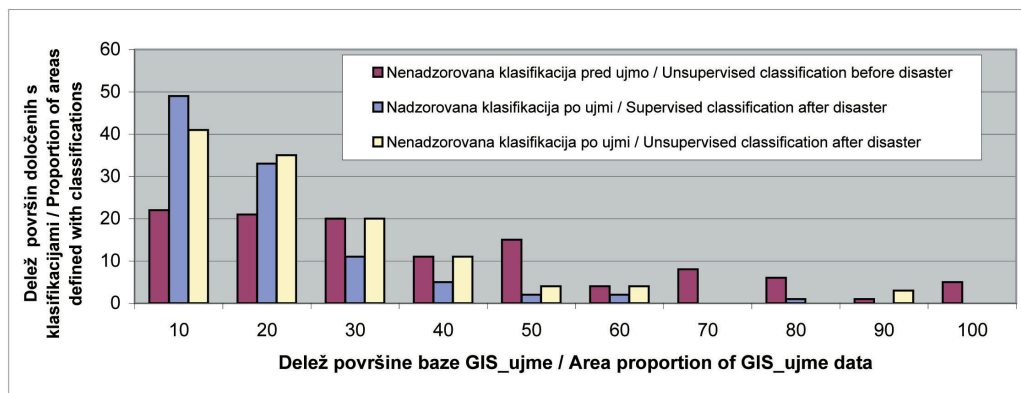
Ker je za določevanje plazov iz satelitskih posnetkov veliko odvisno od samega posnetka (dobra prostorska ločljivost, vremenske razmere v času nastanka posnetka, pred obdelava podob itd.) se nemalokrat zgodi, da dobljeni rezultati niso povsem v skladu s pričakovanimi. V našem primeru smo želeli tudi pogledati katere tipe plazov se da določiti oz. se jih vidi direktno na satelitskem posnetku še pred klasifikacijo. Uporabili smo visokoločljivi satelitski posnetek SPOT



Slika 8: Porazdelitev površine plazov iz baze GIS_ujme po verjetnostnih razredih pojavljanja. Figure 8: Distribution area of landslides from GIS_ujme data according to landslide susceptibility classes.

20 % površine plazov iz GIS_ujme, medtem ko smo dobili zelo malo površin, ki 100 % prekrivajo določeno površino plazov iz baze GIS_ujme. Iz tega lahko zaključimo, da večina dobljenih površin, ki naj bi določale ploskve večje nestabilnosti oz. zemeljskih premikov, sovpadajo že z ugotovljenimi lokacijami plazov. Plazovi iz baze GIS_ujme so v nekaterih primerih zabeleženi v prevelikem obsegu, kar pomeni, da se tudi v njihovem primeru ne ve natančnega mesta porušitve.

s pankromatskim kanalom in prostorsko ločljivostjo 2,5 m. Najbolje in najlepše se na posnetku da določiti »tip plazov«, ki označuje gibanje plazine s prekinitvami. Ti plazovi so številčno najbolj zastopani na raziskanem območju (tabela 2) in tudi v največjem obsegu. Na satelitskem posnetku, je njihova struktura pojavljanja v večini primeri jasno nakazana, ponavadi se nahajajo nad cestami, v grapah ali pa v bližini objektov (slika 10).



Slika 9: Delež površine, ki prekriva plazove iz baze GIS_ujme. Figure 9: Proportion of area, which cover landslides from GIS_ujme data.



Slika 10. Na izostrenem (pansharpened) satelitskem posnetku SPOT, je označen tip plazov 2, ki predstavlja gibanje plazine s prekinitvami.

Figure 10. On pansharpened SPOT satellite image we indicate type of landslide 2, which represent landslide movement with interruption.

Tabela 2. Razdelitev tipov plazov v odvisnosti od hitrosti gibanja mase oz. zdrsna na raziskanem območju (po KOMAC, 2005).
Table 2. Distribution of type of landslide in dependence from velocity of mass movements or slide on research area (after KOMAC, 2005).

Oznaka / Label	Tip plazanja / Type of landslide	Pojavlanje / Occurrences
1	Umirjen ali fosilni plaz / Ancient mass movements	16
2	Gibanje plazine s prekinitvami / Mass movement with interruptions	197
3	Počasno plazenje / Slow mass movements	26
4	Hitro plazenje / Rapid mass movements	/
5	Trenutni zdrs plazeče mase (usad, podor) / Slip mass movements	28
6	Neznana hitrost gibanja plazine / Unknown velocity of mass movements	/

Zaključek

V predstavljeni študiji smo prikazali metodologijo določevanja verjetnosti pojavljanja plazov iz satelitskih posnetkov pred in po ujmi na območju Železnikov. Ugotavljamo, da so naši rezultati pokazali enega izmed načinov določevanja plazovitih območij iz satelitskih posnetkov. Ker zaradi omejitvenih dejavnikov (kalibracijski parametri, način klasifikacije, čas nastanka posnetka) neposredna primerjava med posnetkoma ni bila mogoča, smo se osredotočili na primerjavo z ostalimi obstoječimi modeli napovedi pomožnih masnih premikanj. Rezultati so pokazali, da se največji deleži dobljene površine iz nadzorovane in nenadzorovane klasifikacije satelitskih posnetkov ujemajo z razredi, kjer je verjetnost pojavljanja plazov največja. Zato lahko uporabljeno metodologijo smatramo za dobro tehniko določevanja pojavov plazovitosti, ki pa bi z uporabo satelitskih posnetkov boljše prostorske ločljivosti in terenskega preverjanja lokacij ter uporabo ostalih sodobnih orodij za napovedovanje plazovitosti terena, podala še bolj natančne lokacije sprožitve zemeljskih plazov. Tako bi pripomogli prostorskim planerjem ter ustanovam, ki se ukvarjajo z varovanjem civilnega prebivalstva in dobrin, da strateško pristopijo k reševanju problematike oziroma, da se temeljito pripravijo na potencialne posledice ter na njihovo odpravljanje.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta Znanstveno raziskovalnemu centru, in sicer Inštitutu za antropološke in prostorske študije (dr. Krištof Oštir, Peter Pehani in Aleš Marsetič) za podatke o satelitskih posnetkih ter pri njihovi interpretaciji in dr. Marku Komacu za posredovane podatke. Satelitski posnetki so bili dobljeni v okviru programa Space and Major Disasters (aktivacija št. 179).

Literatura

- CAMPBELL, J.B. 1996. Introduction to remote sensing. New York, Taylor and Francis, 622pp .
CARRARA, A. 1983: Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Mathematical Geology*, 15: 403–426.
CARRARA, A., CARDINALI, M., DETTI, R., GUZZETTI, F., PASQUI, V. & REICHENBACH, P. 1991: GIS techniques and statistical models in evaluating

landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 427–445.

- CNES 2007: Centre National d'Etudes Spatiales, Paris. <http://www.cnes.fr/> (20. 9. 2007)
CROZIER, M.J. & GLADE, T. 2005: Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach. In Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J., eds., *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley & Sons, (New York):1–40.
FABBRI, A.G., CHUNG, C.F., CENDREO, A. & REMONDO, J. 2003: Is Prediction of Future Landslides Possible with a GIS? *Natural Hazards*, 30: 287–499.
FAJFAR, D., RAVNIK, D., RIBIČIČ, M., KOMAC, M. 2005: Slovenian National Landslide DataBase as a solid foundation for the landslide hazard analysis. – V: Abstracts of the Contributions of the EGU General Assembly 2005: Vienna, Austria, 24–29 April 2005, (Geophysical Research Abstracts, Vol. 7). Katlenburg-Lindau: EGU, 4 str.
GERK 2008: Raba kmetijskih zemljišč Republike Slovenije. Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano. Ljubljana. <http://rkg.gov.si/GERK/> (20.9.2008)
GRAD, K. IN FERJANČIČ, L. 1974: Osnovna geološka karta SFRJ, list Kranj, 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
GRAD, K. IN FERJANČIČ, L. 1976: Tolmač za list Kranj L 33–65. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.

- Ic 2007: International Charter »Space and Major Disasters«. http://www.disasterscharter.org/main_e.html (20.9.2007)
- IzVRS = Inštitut za vode Republike Slovenije, 2007: Karta poplavnih linij, erozije in poškodb ob neurju 18. septembra 2007 (stanje 28. 9. 2007). Ljubljana.
- KOJIMA, H., CHUNG, C.F. & VAN WESTEN, C.J. 2000: Strategy on the landslide type analysis based on the expert knowledge and the quantitative prediction model. *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, 33/Part-B7: 701–708.
- KOMAC, M., ŠINIGOJ, J., KRIVIC, M., KUMELJ, Š., HRIBERNIK, K. 2005: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: fazno poročilo za leto 2004. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 50 str.
- KOMAC, M. 2005: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov = Landslide occurrence probability prediction with analysis of satellite images and other spatial data. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana) 284 str.
- KOMAC, M. & RIBIČIČ, M. 2006: Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1 : 250.000. *Geologija* (Ljubljana) 49/2: 295–309.
- LAPANJE, J., ŠKET MOTNIKAR, B. & ZUPANČIČ, P. 2001: Potresna nevarnost Slovenije – Projektni pospešek tal. Agencija Republike Slovenije za okolje, Uprava RS za geofiziko, Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana. (http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki/projektني_pospesek_tal.html)
- MIKOŠ, M., BRILLY, M. & RIBIČIČ, M. 2004: Poplave in zemeljski plazovi v Sloveniji = Floods and landslides in Slovenia. *Acta hydrotechnica* (Ljubljana) 22/37: 113–133.
- OŠTIR, K. 2006: Daljinsko zaznavanje. Založba ZRC (Ljubljana), 250 str.
- OŠTIR, K., KOKALJ, Ž., MARSETIČ, A., PEHANI, P. & SCHNEIDERHAN, T. 2007: Floods and landslides in Slovenia, Space and major disasters – activation No. 179. Strokovno poročilo, Inštitut za antropološke in prostorske študije ZRC SAZU, German Aerospace Center (DLR). Ljubljana, München.
- PROSTORSKI PODATKI DOF 5. Listi C25, D25, D24 (2000) in C24 (2005). Geodetska uprava Republike Slovenije.
- PUH, 2008: Analiza upravljanja in vodenja v primeru neurja septembra 2007 na najbolj prizadetih območjih v Sloveniji. Poročilo, št. Proj. IV – 06/2008. Ljubljana, PUH/Podjetje za urejanje hudournikov: 87 str., http://www.sos112.si/slo/tdocs/naloga_88.pdf
- RIBIČIČ, M., KOMAC, M., MIKOŠ, M., FAJFAR, D., RAVNIK, D., GVOZDANOVIČ, T., KOMEL, P., MIKLAVČIČ, L., KOSMATIN FRAS, M. 2006: Novelacija in nadgradnja informacijskega sistema o zemeljskih plazovih in vključitev v bazo GIS_UJME: končno poročilo. Ljubljana: UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 1 zv. (loč. pag.), ilustr. http://www.sos112.si/slo/tdocs/zem_plaz_gis_ujme.pdf
- SPOT IMAGE 2007: Toulouse. <http://www.spotimage.fr/> (20.9.2007)
- WEIRICH, F. & BLESIVUS, L. 2007: Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. *Geomorphology* (Amsterdam) 87/4: 352–364.
- WRIGHT, G. G. & MORRICE, J. G. 1997. Landsat TM spectral information to enhance the land cover of Scotland 1988 dataset. *International journal of remote sensing*, 18: 3811 – 3834.
- Spletne strani MINISTRSTVA ZA OBRAMBO- URSZR <http://www.sos112.si/slo/index.php> (20.9.2008)
- Spletne strani: HYDRATE PROJECT: <http://www.hydrate.tesaf.unipd.it/> (15.10.2008)

Koeficienti prepustnosti razpok in matriksa v slovenskih karbonatnih vodonosnikih

Hydraulic conductivities of fractures and matrix in Slovenian carbonate aquifers

Timotej VERBOVŠEK

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva c. 12, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si

Ključne besede: karbonatne kamnine, vodonosniki, prepustnost, razpoke, matriks, črpalni poizkusi, Slovenija
Keywords: carbonate rocks, yield, hydraulic conductivity, fractures, matrix, aquifer test, Slovenia

Izvleček

V prispevku so s fraktalno Barkerjevo metodo analize črpalnih poizkusov določene vrednosti koeficientov prepustnosti in koeficientov elastičnega uskladiščenja tako za razpoke in za matriks v slovenskih karbonatnih vodonosnikih, predvsem v dolomitih. Vrednosti so podane za dolomite in apence skupaj, kot tudi za posamezne vodonosnike, ločene po starostih kamnin in po litoloških značilnostih. Podatki so zbrani iz poročil o 397-ih vrtnah in vodnjakih, z omenjeno metodo pa je reinterpreteranih 79 črpalnih poizkusov. Koeficienti prepustnosti razpok so bistveno višji od koeficientov prepustnosti matriksa, statistične razlike med njimi pa so visoko značilne. Podobno so značilne tudi razlike med koeficienti elastičnega uskladiščenja v razpokah in v matriksu, pri čemer so vrednosti v slednjem večje. Vrednosti vseh koeficientov se razlikujejo v posameznih vodonosnikih, razlike pa se da razložiti z diagenetskimi značilnostmi, velikostjo zrn, stopnjo razpokanosti in čistostjo kamnin. Primerjava med metodami, uporabljenimi v poročilih, in Barkerjevo metodo, kaže, da se podatki bolje prilegajo slednji metodi, ki je za kraško-razpoklinski tip kamnin tudi bolj ustrezna.

Abstract

Hydraulic conductivities and specific storage coefficients of fractures and matrix in Slovenian carbonate aquifers were determined by Barker's method for pumping test analysis, based on fractional flow dimension. Values are presented for limestones and mainly for dolomites, and additionally for separate aquifers, divided by age and lithology in several groups. Data was obtained from hydrogeological reports for 397 water wells, and among these, 79 pumping tests were reinterpreted. Hydraulic conductivities of fractures are higher than the hydraulic conductivities of matrix, and the differences are highly statistically significant. Likewise, differences are significant for specific storage, and the values of these coefficients are higher in the matrix. Values of all coefficients vary in separate aquifers, and the differences can be explained by diagenetic effects, crystal size, degree of fracturing, and carbonate purity. Comparison of the methods, used in the reports, and the Barker's method (being more suitable for karstic and fractured aquifers), shows that the latter fits real data better.

Uvod

V Sloveniji je delež odzema podzemne vode proti razpoložljivi količini v vodnih telesih podzemne vode s prevladujočimi vodonosniki kraškega, razpoklinskega in mešanega tipa poroznosti še vedno majhen (povprečno 12 %; ANDJELOV et al., 2006). Kljub dokaj majhnem deležu postajajo ti vodonosniki čedalje pomembnejši vir pitne vode. V primerjavi z medzrnskimi so še vedno manj raziskani, predvsem zaradi svoje heterogenosti in posledično zahtevnejših analiz, zato je o njih znanih manj podatkov, med katere npr. sodijo podatki o prepustnosti oz. izdatnosti. V Sloveniji se veliko raziskovalcev ukvarja z različnimi lastnostmi karbonatnih kamnin, toda sistemati-

čnih analiz parametrov in predvsem analiz, ki bi povezovala vrednosti parametrov z dejanskimi lastnostmi kamnin, ni opravil nihče. Namen prispevka je zato preučiti prepustnosti karbonatnih vodonosnikov v Sloveniji, pridobljene iz podatkov o črpalnih poizkusih. Za obravnavo teh poizkusov v kraško-razpoklinskih vodonosnikih še vedno uporabljajo pristope in metode, ki veljajo za kamnine z medzrnsko poroznostjo (npr. za črpalne poizkuse Theisova metoda in njena Cooper-Jacobova poenostavitve). Ker so slednje kamnine ponavadi bolj homogene, so tudi metode za njihovo obravnavo enostavnejše in uporabnejše, čeprav za kraško-razpoklinske vodonosnike njihove predpostavke večinoma ne veljajo (VERBOVŠEK, 2005). Zato so lahko z omenjenimi izračuni

nekateri parametri vodonosnikov določeni napačno oz. so precenjeni ali podcenjeni, kar lahko posledično vodi do nepravilno določenih hitrosti toka in s tem tudi onesnaževal.

Temeljna razlika pri analiziranju medzrnskih in kraško-razpoklinskih vodonosnikov je ta, da lahko slednje obravnavamo kot vodonosnike z dvojno poroznostjo (BARENBLATT et al., 1960; WARREN & ROOT, 1963), če je poroznost matriksa dovolj velika, ali celo s trojno, če so v kamnini prisotni dovolj prevodni kraški kanali (WORTHINGTON, 1999). Metode črpalnih poizkusov v razpoklinskih in kraško-razpoklinskih kamninah slonijo na različnih modelih, ki se v glavnem ločijo na tiste z enojno ter na tiste z dvojno poroznostjo, pri katerih ločeno upoštevamo hidravlične lastnosti matriksa in razpok. Za matriks je značilno, da ima veliko primarno poroznost in majhno prepustnost, razpoke pa imajo obratno veliko prepustnost in majhno sposobnost uskladiščenja vode. Poseben pristop, ki še ni širše uveljavljen, so metode, ki temeljijo na fraktalnih lastnostih prevodnih razpok (VERBOVŠEK, 2008b). V tem prispevku je bil za izračun parametrov vodonosnikov (koeficientov prepustnosti in specifičnih koeficientov elastičnega uskladiščenja) uporabljen BARKERJEV (1988) posplošeni model radialnega toka GRF (*Generalized Radial Flow*, enačba 1), nadgrajen z modelom dvojne poroznosti (Lods in Gouze, 2004, enačba 2). Fraktalne metode temeljijo na dejstvu, da se lahko nek objekt (v tem primeru razpoke) pojavlja v enaki obliki v različnih merilih. Te metode so še posebej ustrezne za kraško-razpoklinske vodonosnike, zahtevajo pa uvedbo dodatnega parametra, dimenzije toka. GRF model namreč predpostavlja, da so mreže razpok fraktalne in da je geometrija toka odvisna od prostorske razporeditve in povezave razpok. Difuzijska enačba je v tem primeru razširjena na dimenzije toka n , ki niso cela ali naravna števila:

$$\frac{K_R}{r^{n-1}} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^{n-1} \frac{\partial h}{\partial r} \right) = S_{S_R} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

K_R = koeficient prepustnosti razpok

S_{S_R} = koeficient elastičnega uskladiščenja v razpokah

r = radialna razdalja od centra vrtine oz. vodnjaka

h = nivo podzemne vode v vodonosniku

t = čas

n = dimenzija toka (realno število med 0 in 3).

Za $n = 2$ se zgornja enačba poenostavi v navadno difuzijsko enačbo oz. v Theisovo enačbo za nestacionaren tok.

Rešitev enačbe je podana analitično (BARKER, 1988; ACUNA & YORTSOS, 1995) in ni nadalje obravnavana v tem prispevku. BARKERJEVO (1988) enačbo so dopolnili za model dvojne poroznosti (Lods & GOUZE, 2004):

$$\frac{K_R}{r^{n-1}} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^{n-1} \frac{\partial h}{\partial r} \right) = S_{S_R} \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{K_M}{b_M} \left(\frac{\partial h_M}{\partial z} \right)_{z=0} \quad (2a)$$

$$K_M \frac{\partial^2 h_M}{\partial z^2} = S_{S_M} \frac{\partial h_M}{\partial t} \quad (2b)$$

K_M = koeficient prepustnosti matriksa

S_{S_M} = koeficient elastičnega uskladiščenja v matriksu

b_M = povprečna debelina blokov matriksa

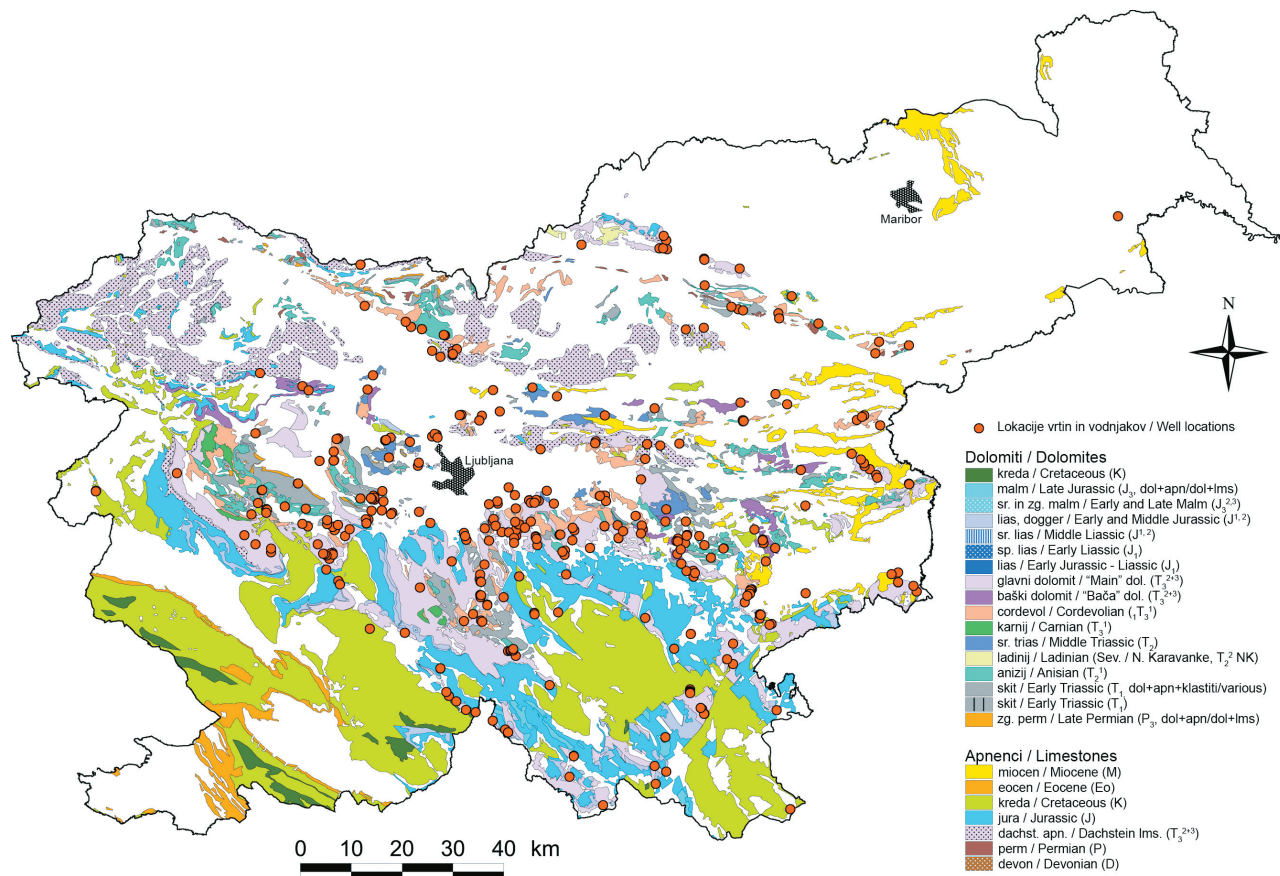
(ostale oznake so enake kot pri enačbi 1)

V prispevku so podane in komentirane vrednosti koeficientov prepustnosti K in koeficientov elastičnega uskladiščenja S za različne dolomitne in apnenčaste vodonosnike v Sloveniji. Vrednosti, prvotno pridobljene iz hidrogeoloških poročil, so bile izračunane z metodami, ustreznimi za kraško-razpoklinske vodonosnike. Podane so tudi primerjavo rezultatov po različnih metodah.

Metode in materiali

Podatki o hidrogeoloških parametrih iz črpalnih poizkusov o 397-ih vrtinah in vodnjakov v Sloveniji so zbrane iz poročil, dostopnih na številnih občinah, po komunalah in podjetjih. Vrtine so locirane večinoma v dolomitnih in manj v apnenčastih vodonosnikih (sl. 1). Karbonatne kamnine so v Sloveniji izredno razširjene in se pojavljajo v več obdobjih: kot redki apnenci v devonu in karbonu (BUSER & CAJHEN, 1980), kot dolomiti in apnenci v zgornjem permu in spodnjem triasu (GRAD & OGORELEC, 1980; DOLENEC et al., 1981), kot dolomiti v srednjem triasu oz. aniziju in cordevolu (BUSER, 1989; ŠMUC & ČAR, 2002), v noriju in retiju pa kot dachsteinski apnenci, glavni dolomiti (OGORELEC & ROTHE, 1993) in globljevodni baški dolomiti (BUSER et al., 2007; ROŽIČ, 2008). V spodnji juri so prisotni kot apnenci in dolomiti (DOZET & ŠRIBAR, 1998), v večjem delu jure in krede kot apnenci (JURKOVŠEK et al., 1996) ter kot terciarni apnenci in zelo redko kot dolomiti (KOŠIR & WRIGHT, 2002). Natančnejši pregled njihovih lastnosti, poroznosti in ostalih parametrov je podan v tabeli 1.

Kljub veliki razprostranjenosti karbonatnih kamnin (sl. 1), te ne tvorijo vedno ekonomsko zanimivih vodonosnikov. Razlogov je več, poleg hidroloških so poglobitni naslednji (tab. 1): litološke značilnosti kamnin, njihova tektonska pretrtost, plastnatost, geokemična sestava, stopnja zakrasedlosti, debelina vodonosnika, količina in tip poroznosti in velikost mineralnih zrn. Hidrogeološka vloga dolomitov je zelo odvisna od tega, ali nastanejo z zgodnjediagenetsko (nadomeščanjem Ca^{2+} ionov z Mg^{2+} ioni v nevezanem karbonatnem blatu) ali s poznodiagenetsko dolomitizacijo (spremembo v trdnih kamninah). V prispevku je posebna pozornost namenjena dolomitnim vodonosnikom, saj je podatkov za apnenice bistveno manj kot za dolomite, ker zaloge vode raje iščejo v dolomitih kot v apnencih, tako zaradi boljših filtracijskih sposobnosti dolomita kot zaradi njegove boljše razpokanosti in izdatnosti. V redkih primerih so vodo zajeli tako v apnencu kot tudi v dolomitu, kar je označeno kot skupina »apn/dol«.



Sl. 1. Lokacije vrtin in razprostranjenost karbonatnih kamnin v Sloveniji (VERBOVŠEK, 2008b). Območja izdanjanja apnencev in dolomitov so digitalizirana po listih Osnovne geološke karte v merilu 1 : 100.000.

Fig. 1. Locations of water wells and outcrops of carbonate rocks in Slovenia (VERBOVŠEK, 2008b). Outcrops are digitized after Basic Geological Map in scale 1 : 100,000.

ponekod pa podatka o starosti dolomitov ni bilo na voljo, kar je označeno kot skupina »dolomit«.

Pridobljeni podatki so bili vneseni v računalniško relacijsko bazo v programu MS Access (VERBOVŠEK, 2008b). Sprva so bili analizirani zabeleženi parametri iz poročil, ki so jih izračunali z različnimi metodami, opisanimi v nadaljevanju. Nato so bili z reinterpretacijo 79-ih črpalnih pozizkusov parametre ponovno izračunani z BARKERJEVO (1988) metodo. Določanje je potekalo v programu AQTESOLV (HYDROSOLVE, 2006) s prilagajanjem krivulj modelov dejanskim podatkom in njihovim odvodom, saj so slednji bolj občutljivi na kvaliteto podatkov.

Za testiranje razlik med analiziranimi skupinami so bili uporabljeni parametrični t-test na nivoju stopnje verjetnosti 95 % (DE SÁ, 2003). Vrednosti vseh hidravličnih parametrov so namreč porazdeljene po logaritemsko normalni distribuciji (VERBOVŠEK, 2003), kar velja za koeficient prepustnosti K , transmisivnost T , specifično izdatnost Q/s in za indeks specifične izdatnosti S_i (DAVIS & DEWEIST, 1966), imenovan tudi linijska specifična izdatnost. Podatki o ostalih parametrih, zabeleženih v hidrogeoloških poročilih (transmisivnosti, maksimalnih pretokih in specifični izdatnosti), so bili natančneje prikazani v posebni obravnavi (VERBOVŠEK & VESELIČ, 2008).

Lognormalno porazdelitev lahko pretvorimo v normalno z enostavno transformacijo. Izračunane vrednosti so zato podane kot geometrične

srednje vrednosti koeficientov prepustnosti (K) in kot geometrični standardni odkloni (s). Parametri, vezani na razpoke (K_R , s_R), so označeni z indeksom R , tisti vezani na matriks (K_M , s_M) pa z indeksom M . V prispevku so sprva sistematično podane analize zabeleženih koeficientov prepustnosti iz poročil, nato pa analize koeficientov prepustnosti in koeficientov specifičnega elastičnega uskladiščenja ločeno za matriks ter za razpoke v dolomitih in apnencih. Transmisivnost v tem prispevku ni analizirana, ker je odvisna od debeline vodonosnika in zato ni ena izmed njegovih osnovnih lastnosti.

Rezultati in diskusija

Koefficienti prepustnosti razpok in matriksa

Koefficienti prepustnosti so bili določeni z BARKERJEVO (1988) metodo, dopolnjeno z modelom dvojne poroznosti (HAMM & BIDAUX, 1996). Rezultati kažejo, da razlike med koeficientom prepustnosti razpok in matriksa obstajajo (tab. 2) in so tudi visoko značilne ($p < 0,001$). Razpoke in matriks imajo torej različne hidrogeološke značilnosti, tako da je tok v razpokah precej hitrejši kot v matriksu, obenem pa je uskladiščenje v matriksu ponavadi večje, kar potrjujejo tudi izračuni. Pri daljših časih črpanja so pomembni koeficienti prepustnosti razpok, saj razpoke prevajajo vodo

Tab. 1. Pregled dolomitnih plasti v Sloveniji in njihovih poglavitnih sedimentoloških in ostalih lastnosti (povzeto in delno spremenjeno po VERBOVŠEK, 2003). Podatki o apnencih v tabeli niso vključeni, ker zaradi majhnega števila podatkov niso primerljivi v primerjavi z dolomiti.

Tab. 1. Summary of dolomite rocks in Slovenia and their main sedimentological and other properties (modified after VERBOVŠEK, 2003). Data on limestones are not included, as available number of observations is too small to be comparable with dolomites.

starost/ age	stopnja diageneze/ diagenesis	plastnatost, debelina/ bedded or massive, thickness	vsebnost karbonata/ carbonate percent	primarna poroznost/ primary porosity % (min-max)	tip primarne poroznosti/ primary porosity type	velikost zrn sr. vrednost/ mean crystal size (µm), (min-max)	debelina plasti/ bed thickness (m)	vir/ references
eocen/ Eocene	pozna/ late	masiven/ massive	94–98 %	5–15			50–300	Košir & Wright, 2002
kreda/ Cretaceous (cenomanij/ Cenomanian, K)	zgodnja, redko tudi pozna/ early and rarely late	plastnat, redko masiven/ bedded, rarely massive	zelo velik/ very high	6–7	medzrnska/ intercrystalline	100–200	200–300	Ogorelec et al., 2000; Šikič & Pleničar, 1975
srednji in zgornji malm/ Middle and Late Malm (J ₃ ^{2,3})	pozna/ late	plastnat/ bedded	zelo velik/ very high				200–600	Dozet & Šribar, 1998
spodnji in srednji malm/ Early and Middle Malm (J ₃ ^{1,2})	pozna/ late	plastnat/ bedded, (0,4–0,6 m)	zelo velik/ very high				200–600	Bukovac et al., 1983
lias/ Liassic (J ₁)	pozna, tudi zgodnja/ early and late	plastnat/ bedded	zelo velik/ very high		medzrnska/ intercrystalline	velika	100–700	Dozet & Šribar, 1998
norij in retij, dolom. deli dachsteinskega apnenca/ Late Triassic (T ₃ ²⁺³ dach.)	zgodnja in pozna/ early and late	plastnat in masiven/ bedded and massive	zelo velik/ very high		medzrnska, izsušitvene pore/ intercrystalline, dessication pores		30–1000	Ogorelec & Rothe, 1993
norij in retij, »glavni dolomit« /Late Triassic, "Main" dolomite (T ₃ ²⁺³ glavni/ "Main")	zgodnja, delno tudi pozna/ early and rarely late	plastnat/ bedded, (0,3–2 m)	98,5–95,5 %	5 (2–10)	medzrnska, izsušitvene pore/ intercrystalline, dessication pores	150	500–1200	Ogorelec & Rothe 1993; Aničič & Juriša 1985
norij in retij, baški dolomit (T ₃ ²⁺³ baški)	pozna/ late	plastnat/ bedded	srednje do zelo velik/ middle to very high				40–350	Ogorelec et al. 2000; Rožič, 2008
cordevol/ Cordevolian (T ₃ ¹)	pozna/ late	masiven/ massive	zelo velik/ very high	0,33 (0–5)	medzrnska/ intercrystalline		50–500	Aničič & Juriša, 1985; Šmuc & Čar, 2002
ladinij/Ladinian (Sev.Karavanke/ N Karavanke, T ₂ ² NK)	pozna/ late	masiven in plastnat/ massive and bedded	zelo velik/ very high	0,03	izsušitvene pore/ dessication pores	(50–500)	500–1200	Ogorelec et al., 2000
anizij/Anisian (T ₂ ¹)	zgodnja in pozna/ early and late	masiven ali zelo debeloplastnat/ massive and thick-bedded	98 %	1 (0–5)	medzrnska, (izsušitvene pore) /intercrystalline, dessication pores	60 (15–200)	100–600	Grad & Ogorelec, 1980; Dolenec et al., 1981
zg. skitij/ Olenekian (zg. T ₁)	pozna/ late	masiven/ massive	96–99 %	2 (0–20)		40–80 (40–200)	40–200	Grad & Ogorelec, 1980; Ogorelec et al., 2000
sp. skitij/Induan (sp. T ₁)	zgodnja in pozna/ early and late	plastnat/ bedded	60–94 %	2–10	medzrnska/ intercrystalline	40 (20–300)	80–120	Grad & Ogorelec, 1980; Dolenec et al., 1981
skitij/Early Triassic (T ₁)	zgodnja in pozna/ early and late	plastnat/ bedded	54–89 %			(20–120)		Novak, 2001
zg. perm/ Late Permian (Karavanska formacija/ Karavanke Fm., P ₃)	zgodnja/ early	plastnat/ bedded, (15–30 cm)	94–96 %	7,3 (0–20)	medzrnska/ intercrystalline	(30–50)	150–300	Grad & Ogorelec, 1980; Dolenec et al., 1981
zg. perm/ Late Permian (Žažarska formacija/Žažar Fm., P ₃)	pozna, tudi zgodnja/early and rarely late	plastnat/ bedded, (5–30 cm)	94–98%	0–10		80 (30–400)	50–500	Grad & Ogorelec, 1980

v večji količini kot matriks, zato so vrednosti K_R tudi za nekaj redov velikosti višje. Matriks vpliva na krivulje črpalnih poizkusov pri krajših časih črpanja, kar se odraža kot efekti dvojne poroznosti. Vrednosti koeficienta prepustnosti matriksa pri analizi prenosa snovi v kraško-razpoklinskih vodonosnikih vselej niso zanemarljive, saj se npr. interpretacija sledilnih poizkusov bistveno razlikuje, če vanjo vključimo tudi lastnosti matriksa (MOTYKA et al., 1998).

Po razvrstitvi podatkov v starostno-litološke skupine (sl. 2) se pojavijo dodatne razlike. Če ne upoštevamo skupin z le enim opazovanjem, lahko med seboj primerjamo pet skupin. Pri teh je razvidno, da je koeficient prepustnosti matriksa K_M za tri do štiri rede velikosti manjši kot koeficient prepustnosti razpok K_R (tab. 3). Kljub majhnemu številu podatkov je največja razlika opazna pri baškem dolomitu, kjer ima matriks okoli 10.000-krat manjšo prepustnost kot razpoke. Najverjetneje je to posledica okremenjenega matriksa, saj je za ta dolomit značilna velika količina rožencev. Manjše razlike so pri glavnem (T_3^{2+3} glavni), anizijskem (T_2^1) ter spodnjetriasnem dolomitu (T_1), kjer znašajo malo nad tri rede velikosti. Najmanjša je razlika pri cordevolskem (T_3^1) dolomitu, manj kot 2,5 reda velikosti. Prepustnost matriksa je v teh dolomitih tolikšna, da v njih že opazimo efekte dvojne poroznosti. Je tudi za red velikosti večja od prepustnosti matriksa ostalih dolomitov. Cordevolski dolomiti se tudi edini značilno ločijo od ostalih (anizijskih, glavnih in spodnjetriasnih). Očitno je, da imajo ti dolomiti precej višjo prepustnost. To najlažje razlagamo z dejstvom, da so

ti dolomiti nastali izključno s pozno diagenozo, ki povzroči precejšnjo rast zrn in s tem tudi zveča poroznost. Poleg tega so debelo-zrnati dolomiti bolj dovzetni za razpokanje kot drobnozrnati, zato imajo posledično tudi večjo prepustnost razpok (GASWIRTH et al., 2006). Na razpokanje vpliva tudi količina in tip poroznosti (predvsem moldična in medzrnska), saj so manj porozne kamnine manj dovzetne za razpokanje. Glavni in anizijski dolomiti imajo manjše vrednosti K_R zaradi drugačnega tipa in manjše poroznosti (tab. 1), toda kljub vsemu visoke glede na ostale skupine, kar lahko razlagamo s tem, da imajo tudi ti dolomiti velik odstotek karbonata (so »čisti«) in so ponekod zaradi načina nastanka tudi bolj debelo-zrnati, zato se obnašajo podobno kot cordevolski. Za baške dolomite je podatkov seveda premalo za ustrezno komentiranje. Manjše število podatkov v večini skupin se pojavlja zaradi manjše razprostranjenosti nekaterih kamnin. Poleg tega se načrtovalci zavedajo njihovih slabših izdatnosti in zato vodnjakov ne izdelujejo na teh območjih.

Zaradi premajhnega števila vzorcev (povsod po $N = 1$) žal ni mogoče ustrezno komentirati podatkov v apnencih, v splošnem pa so manj prepustni kot dolomiti (tako K_R kot K_M). Za primerjavo lahko navedem le KRIVIČEVE (1984) rezultate, ki je ugotovil, da imajo drenažne prepustne cone v apnencih na Krasu transmisivnost $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$ ali več, in da je ta v vmesnih blokih tudi 100.000-krat manjša. V splošnem lahko te manjše vrednosti koeficientov prepustnosti razpok pojasnimo tako, da se v apnencih v primerjavi z dolomiti pojavlja precej manj razpok (PURSER et al., 1994), saj

Tab. 2. Vrednosti koeficientov prepustnosti razpok (K_R) in matriksa (K_M) za vse vodonosnike skupaj. Koeficient prepustnosti in standardni odklon sta podana kot geometrična srednja vrednost (K) in geometrični standardni odklon (s), kar velja tudi za ostale tabele. Zvezdica * označuje značilen t-test oz. značilne razlike med skupinama. p = dejanska statistična značilnost.

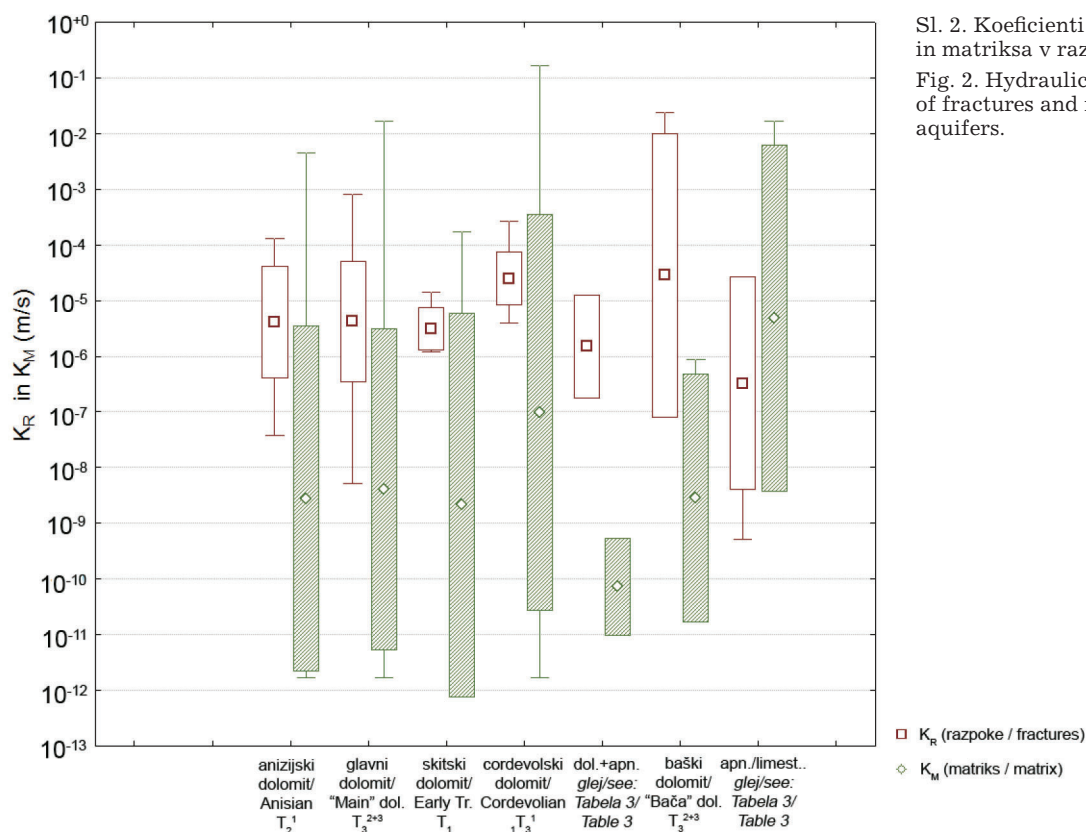
	N	K (m/s)	s (m/s)	min	max	t-test
razpoke/ fractures: K_R	79	$4,79 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-1}$	$5,13 \cdot 10^{-10}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$	DA/YES ($p < 0,001$ *)
matriks/ matrix: K_M	79	$9,11 \cdot 10^{-9}$	$1,21 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-12}$	$1,66 \cdot 10^{-1}$	

Tab. 2. Values of hydraulic conductivities of fractures (K_R) and matrix (K_M) for all aquifers. Hydraulic conductivity and standard deviation are given as geometric mean (K) and geometric standard deviation (s), as presented also in other tables. Asterisk marks a significant t-test and significant differences between groups. p = probability value of test statistics.

starost/age	kamnina/rock	razpoke/fractures			matriks/matrix	
		N	K_R (m/s)	s_R (m/s)	K_M (m/s)	s_M (m/s)
K_2	apn/lms	1	$5,13 \cdot 10^{-10}$	-	$5,25 \cdot 10^{-9}$	-
K_1^{4+5}	apn/lms	1	$6,17 \cdot 10^{-6}$	-	$3,55 \cdot 10^{-3}$	-
K_1^1	apn/lms	1	$3,16 \cdot 10^{-8}$	-	$1,82 \cdot 10^{-6}$	-
J_1	apn/lms	1	$1,45 \cdot 10^{-6}$	-	$4,68 \cdot 10^{-9}$	-
J, K?	dol+apn/lms	1	$3,31 \cdot 10^{-7}$	-	$1,78 \cdot 10^{-11}$	-
J_1, T_3^{2+3}	dol	1	$1,29 \cdot 10^{-7}$	-	$1,58 \cdot 10^{-8}$	-
T_3^{2+3} baški/"Bača"	apn/lms	1	$2,51 \cdot 10^{-5}$	-	$1,66 \cdot 10^{-2}$	-
T_3^{2+3} baški/"Bača"	dol	3	$2,82 \cdot 10^{-5}$	$3,55 \cdot 10^{-2}$	$2,82 \cdot 10^{-9}$	$1,70 \cdot 10^{-2}$
T_3^{2+3} glavni/"Main"	dol	37	$4,17 \cdot 10^{-6}$	$1,20 \cdot 10^{-1}$	$4,07 \cdot 10^{-9}$	$7,76 \cdot 10^{-2}$
T_3^1 cordevol	dol	14	$2,45 \cdot 10^{-5}$	$3,02 \cdot 10^{-0}$	$9,55 \cdot 10^{-8}$	$3,63 \cdot 10^{-3}$
T_2^2 (ladinij/Ladinian)	apn/lms	1	$6,76 \cdot 10^{-6}$	-	$3,02 \cdot 10^{-10}$	-
T_2^1 (anizij/Anisian)	dol	11	$4,17 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-1}$	$2,75 \cdot 10^{-9}$	$1,26 \cdot 10^{-3}$
T_1 (skit/Early Triassic)	dol	6	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$2,45 \cdot 10^{-0}$	$2,14 \cdot 10^{-9}$	$2,82 \cdot 10^{-3}$
<i>vs</i> vodonosniki/ <i>all aquifers</i>		79	$4,79 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{-1}$	$9,11 \cdot 10^{-9}$	$1,21 \cdot 10^{-3}$
<i>vs</i> dolomiti/dolomites		72	$5,96 \cdot 10^{-6}$	$1,14 \cdot 10^{-1}$	$6,74 \cdot 10^{-9}$	$1,09 \cdot 10^{-3}$
<i>vs</i> apnenci/limestones		5	$3,27 \cdot 10^{-7}$	$8,06 \cdot 10^{-1}$	$4,83 \cdot 10^{-6}$	$1,30 \cdot 10^{-3}$

Tab. 3. Vrednosti koeficientov prepustnosti razpok (K_R) in matriksa (K_M) v različnih vodonosnikih. Kratice za kamnine: apn = apnec, dol = dolomit.

Tab. 3. Hydraulic conductivities of fractures (K_R) and matrix (K_M) in different aquifers. Rock abbreviations: lms = limestone, dol = dolomite.



Sl. 2. Koeficienti prepustnosti razpok in matriksa v različnih vodonosnikih.

Fig. 2. Hydraulic conductivities of fractures and matrix in different aquifers.

je število razpok v kamninah najbolj odvisno od njihove sestave (STEARNS & FRIEDMAN, 1972).

Pri analizi prepustnosti v razpokah in v matriksu je potrebno omeniti pomembno glede na rezultate prejšnjih raziskav (VERBOVŠEK, 2008a), kjer so bili obravnavani vplivi diagenetskih faktorjev na izdatnost dolomitnih vodonosnikov, ločenih v dve skupini, na tiste, nastale izključno s pozno diagenozo, in na tiste, nastale tako z zgodnjo kot tudi s pozno diagenozo. V prejšnji raziskavi je bilo namreč na osnovi podatkov iz hidrogeoloških poročil (torej uporabljene metode Cooper-Jacoba in Theisa) ugotovljeno, da so dolomiti, nastali izključno s pozno diagenozo, bolj izdatni in imajo višje vrednosti parametrov (transmisivnosti, specifičnih izdatnosti, indeksov specifičnih izdatnosti ter maksimalnih pretokov), razen koeficienta prepustnosti. Odstopanja koeficienta prepustnosti od ostalih štirih parametrov so bila pripisana nepravilni uporabi metod določanja ter dejstvu, da je koeficient prepustnosti določen iz transmisivnosti

preko neznane debeline plasti. Novost predstavlja podatek, da vrednosti, določene po BARKERJEVI (1988) metodi, kažejo, da so tokrat tudi vrednosti koeficientov višje v tistih dolomitih, ki so nastali le s pozno diagenozo. Rezultati (tab. 4) so torej v skladu s teoretičnimi predpostavkami in z ostalimi parametri. Razlike med vrednostmi K_R v dveh skupinah dolomitov, nastalih le s pozno, in dolomitov, nastalih tako z zgodnjo kot tudi s pozno diagenozo, so značilne na več kot 99 % stopnji verjetnosti.

Koeficient specifičnega elastičnega uskladiščenja

Poleg koeficientov prepustnosti so bili z BARKERJEVO (1988) metodo določeni tudi koeficiente specifičnega elastičnega uskladiščenja vodonosnikov (KRUSEMAN & DE RIDDER, 1994), ločeno za matriks in razpoke. Pričakovano so uskladiščenja v matriksu bistveno večja kot v razpokah (tab. 5), skoraj za tri rede velikosti.

Tab. 4. Vrednosti koeficienta prepustnosti razpok (K_R) in matriksa (K_M) za različni diagenetski skupini v dolomitnih vodonosnikih.

		N	K (m/s)	s (m/s)	t-test
razpoke/fractures	K_R (zgodnja in pozna/early and late)	54	$4,07 \cdot 10^{-6}$	$9,77 \cdot 10^{+0}$	DA/YES (p = 0,00*)
	K_R (pozna/late)	16	$2,95 \cdot 10^{-5}$	$9,77 \cdot 10^{+0}$	
matriks/matrix	K_M (zgodnja in pozna/early and late)	54	$3,47 \cdot 10^{-9}$	$8,51 \cdot 10^{-2}$	NE/NO (p = 0,12)
	K_M (pozna/late)	16	$7,94 \cdot 10^{-8}$	$2,34 \cdot 10^{-3}$	

Tab. 4. Hydraulic conductivities of fractures (K_R) and matrix (K_M) for different diagenetic groups in dolomite aquifers.

Tab. 5. Vrednosti koeficientov specifičnega elastičnega uskladiščenja razpok (Ss_R) in matriksa (Ss_M) v vseh vodonosnikih skupaj.

	N	Ss (m ⁻¹)	s (m ⁻¹)	min	max	t-test
razpoke/fractures: Ss_R	79	$3,09 \cdot 10^{-6}$	$3,31 \cdot 10^{-3}$	$1,95 \cdot 10^{-17}$	$1,20 \cdot 10^{-1}$	DA/YES (p = 0,00*)
matriks/matrix: Ss_M	79	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$2,51 \cdot 10^{-3}$	$1,66 \cdot 10^{-13}$	$1,00 \cdot 10^{+0}$	

Tab. 5. Specific storage coefficients of fractures (Ss_R) and matrix (Ss_M) in all aquifers.

Razlika med skupinama razpok (Ss_R) in matriksa (Ss_M) je visoko značilna ($p < 0,001$). Drugače kot pri koefficientih prepustnosti so razponi vrednosti precej večji. Pav tako je bistveno večji tudi standardni odklon za oba koefficienta (tab. 5). Ugotovitve se skladajo s teoretičnimi predpostavkami (HAMM & BIDAUX, 1996). Geometrične povprečne vrednosti za matriks ($Ss_M = 1,29 \cdot 10^{-3} m^{-1}$) se z vrednostmi za dolomite izredno dobro ujema v raziskavi, namenjeni hidrogeološkim lastnostim matriksa v karbonatnih kamninah (MOTYKA et al., 1998), v kateri so določili geometrično povprečje $Ss_M = 1,3 \cdot 10^{-3} m^{-1}$.

V nadaljevanju so bili podobno kot za koefficiente prepustnosti določeni tudi koefficiente specifičnega elastičnega uskladičenja ločeno za razpoke in matriks, glede na starostno-litološke skupine (sl. 3).

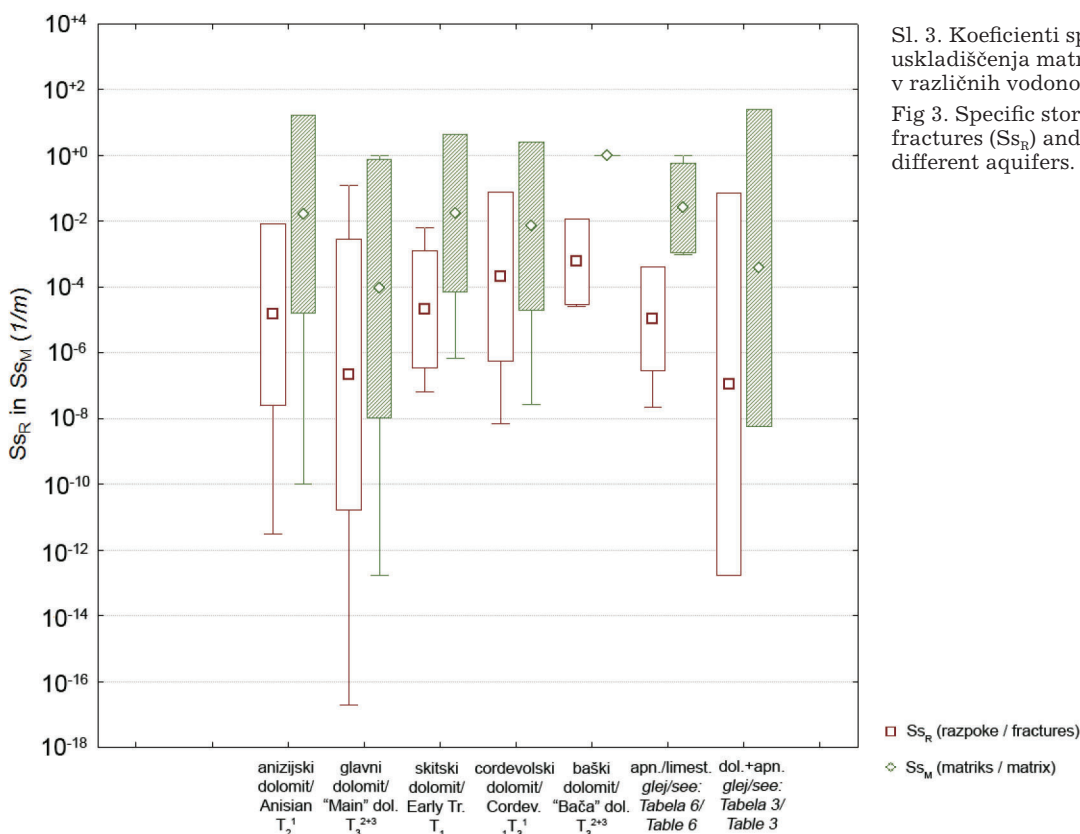
Rezultati kažejo, da so geometrične povprečne vrednosti koefficienta specifičnega elastičnega uskladičenja v vseh primerih višje v matriksu kot v razpokah (sl. 3; tab. 6). Največje razlike se pojavljajo pri apnencih, čeprav je za njih izredno malo podatkov in zato komentarji niso zanesljivi. Ta odkritja se skladajo z rezultati raziskav GASWIRTHOVE in sodelavcev (2006), ki kažejo, da je poroznost matriksa apnencev lahko desetkrat večja kot poroznost matriksa dolomitov. Pri skupinah dolomitnih vodonosnikov pri katerih je število opazovanj večje od ena, so rezultati nepričakovani. Spodnjetriasni dolomit (T_1) ima npr. višje vrednosti koefficienta specifičnega elastičnega uskladičenja kot cordevolski ali anizijski, čeprav je znano, da imata slednja višjo primarno poroznost. Od vseh skupin se značilno ločita med seboj le cordevolski in glavni dolomit. Verjetno na te re-

zultate vpliva tudi velik razpon podatkov. Standardni odkloni za nekatere skupine so namreč večji kot sama razlika med vrednostmi razpok in matriksa, kar prav gotovo vpliva, da so končni podatki manj zanesljivi. Preverili bi jih lahko s sedimentološkimi analizami, tako da bi primarno poroznost določili kvantitativno in jo nato uporabili kot oceno lastnosti matriksa.

Primerjava koefficientov prepustnosti, pridobljenih po različnih metodah

Primerjava uporabljenih metod, s katerimi so v poročilih določili hidrogeološke parametre, je pokazala, da v 72 % (526 od 726) zabeleženih parametrov ni zabeleženih informacij o uporabljeni metodi. Ostalih 200 primerov (28 %) so analizirali po različnih metodah (tab. 7), med katerimi so prevladovale tri (79 %), razvite za vodonosnike z medzrnsko poroznostjo; Cooper-Jacobova, Theisova za padanje in Theisova za dvig gladine podzemne vode po koncu črpanja (KRUSEMAN & DE RIDDER, 1994).

Le v treh primerih (tab. 7) oz. v 1,5 % vseh analiziranih metod so uporabili metodi, ki veljata za razpoklinske vodonosnike, v tabeli označeni s ležečo pisavo. V nadaljevanju so bili koefficienti prepustnosti iz poročil primerjani z novo izračunanimi vrednostmi po BARKERJEVI (1988) metodi. Za vse metode je bilo kvantitativno določeno, koliko se realni podatki o znižanju podzemne vode pri črpanju razlikujejo od modeliranih. Za oceno odstopanj so bile uporabljeni rezidualne vrednosti RSS (enačba 3; *Residual Sum of Squares*), ki jih izračunamo po enačbi: $e_i = y_i - \hat{y}_i$, kjer je e_i = rezidualna vrednost, y_i = realna vrednost in \hat{y}_i =



starost/age	kamnina/rock	N	razpoke/fractures		matriks/matrix	
			$Ss_R (m^{-1})$	$s_R (m^{-1})$	$Ss_M (m^{-1})$	$s_M (m^{-1})$
K_2	apn/lms	1	$1,07 \cdot 10^{-4}$	-	$5,25 \cdot 10^{-1}$	-
K_1^{4+5}	apn/lms	1	$2,24 \cdot 10^{-8}$	-	$9,55 \cdot 10^{-4}$	-
K_1^1	apn/lms	1	$1,95 \cdot 10^{-4}$	-	$7,94 \cdot 10^{-3}$	-
J_1	apn/lms	1	$1,51 \cdot 10^{-5}$	-	$1,00 \cdot 10^{+0}$	-
J, K?	dol+apn/lms	1	$8,51 \cdot 10^{-12}$	-	$1,48E \cdot 10^{-7}$	-
J_1, T_3^{2+3}	dol	1	$2,00 \cdot 10^{-8}$	-	$1,20 \cdot 10^{-4}$	-
T_3^{2+3} baški/"Bača"	apn/lms	1	$2,04 \cdot 10^{-5}$	-	$3,02 \cdot 10^{-3}$	-
T_3^{2+3} baški/"Bača"	dol	3	$6,03 \cdot 10^{-4}$	$2,00 \cdot 10^{+1}$	$1,00 \cdot 10^{+0}$	-
T_3^{2+3} glavni/"Main"	dol	37	$2,19 \cdot 10^{-7}$	$1,32 \cdot 10^{+4}$	$8,91 \cdot 10^{-5}$	$8,32 \cdot 10^{-3}$
T_3^1 cordevol	dol	14	$2,04 \cdot 10^{-4}$	$3,72 \cdot 10^{+2}$	$7,24 \cdot 10^{-3}$	$3,55 \cdot 10^{-2}$
T_2^2 (ladinij/Ladinian)	apn/lms	1	$1,45 \cdot 10^{-3}$	-	$1,00 \cdot 10^{+0}$	-
T_2^1 (anizij/Anisian)	dol	11	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$5,89 \cdot 10^{+2}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$
T_1 (skit/Early Triassic)	dol	6	$2,14 \cdot 10^{-5}$	$6,03 \cdot 10^{+1}$	$1,78 \cdot 10^{-2}$	$2,51 \cdot 10^{-2}$
<i>vsi vodonosniki/all aquifers</i>		79	$3,09 \cdot 10^{-6}$	$3,31 \cdot 10^{+3}$	$1,29 \cdot 10^{-3}$	$2,51 \cdot 10^{+3}$
<i>vsi dolomiti/dolomites</i>		72	$3,10 \cdot 10^{-6}$	$3,93 \cdot 10^{+3}$	$1,08 \cdot 10^{-3}$	$3,04 \cdot 10^{+3}$
<i>vsi apnenci/limestones</i>		5	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$3,70 \cdot 10^{+1}$	$2,61 \cdot 10^{-2}$	$2,30 \cdot 10^{+1}$

Tab. 6. Vrednosti koeficientov specifičnega elastičnega uskladičenja razpok in matriksa v posameznih vodonosnikih. Kratice za kamnine: apn = apnenec, dol = dolomit.

Tab. 6. Specific storage coefficients of fractures (Ss_R) and matrix (Ss_M) in different aquifers. Rock abbreviations: lms = limestone, dol = dolomite.

Uporabljena metoda/Used method	N	%
Cooper-Jacob	68	34,0 %
Theis – dvig/recovery	48	24,0 %
Theis	41	20,5 %
ostalo/other (Hantush-Jacob, Logan, Hvorslev, Dupuit, ...)	40	20,0 %
Kazemi	2	1,0 %
Moench fracture flow	1	0,5 %

Tab. 7. Uporabljene metode analize črpalnih poizkusov, zabeležene v poročilih.

Tab. 7. Aquifer test methods, used in hydrogeological reports.

modelirani približek. Odstopanja med metodami so podana tudi z izražanjem RSS v odstotkih (enačba 4) glede na Barkerjev model:

$$RSS = \sum_{i=1}^N e_i^2 \quad (3)$$

$$\% RSS_{Theis} = \frac{(RSS_{Theis} - RSS_{Barker})}{RSS_{Barker}} \quad (4)$$

Rezidualne vrednosti najenostavneje pokažejo, kako dobro se modelirani podatki ujema z realnimi, pri čemer manjše vrednosti RSS kažejo boljše ujemanja in boljši model. Za kvalitativno primerjavo vseh treh metod je bilo potrebno izločiti nekatere manjkajoče vrednosti, za katere ni bilo na voljo podatkov o rezidualnih vrednostih, zato je primerjava opravljena na manjšem številu vzorcev (46), kot je celotnih podatkov o črpalnih poizkusih. V tem primeru (tab. 8) vidimo, da sta tako vsota RSS kot tudi povprečna vrednost rezidualnih vrednosti za Barkerjev model manjši kot za Cooper-Jacobovo ter za Theisovo metodo. Razlike so podane na dva načina, kot absolutne vred-

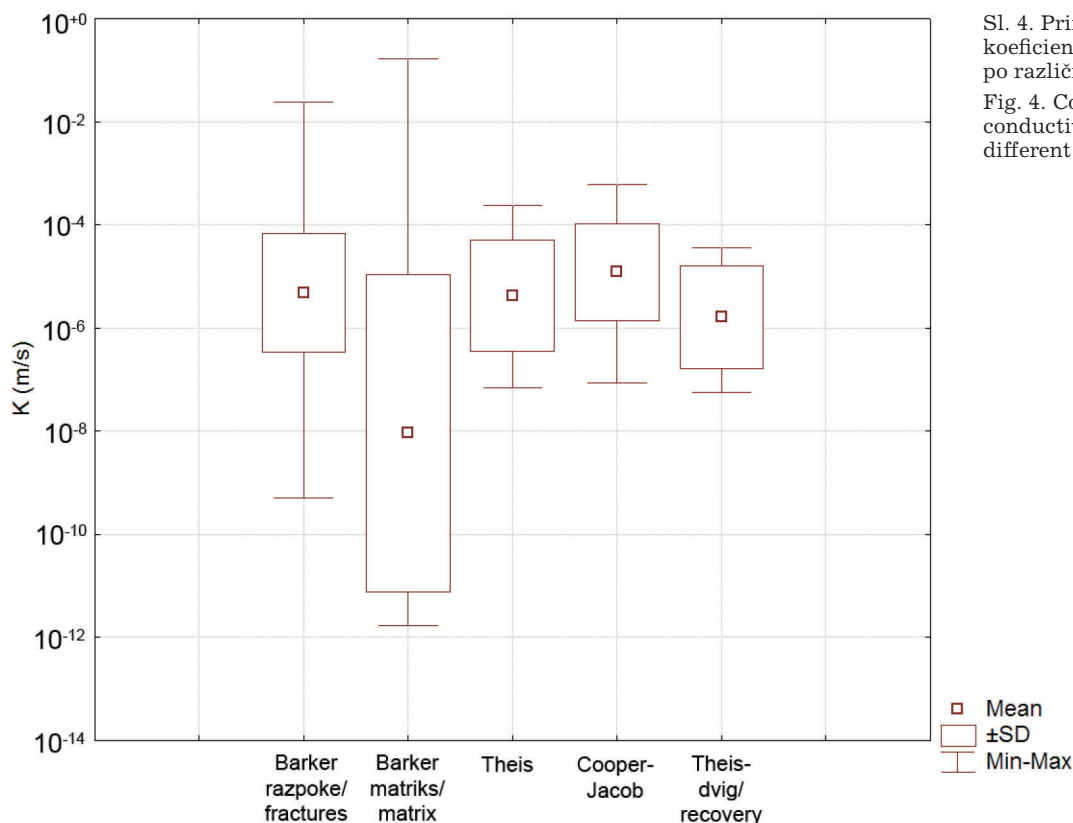
nosti RSS ter tudi kot razlike v odstotkih % RSS. Negativne vrednosti RSS v odstotkih ustrezajo situaciji, ko se Cooper-Jacobov ali Theisov model nekoliko bolje prilagaja podatkom kot Barkerjev, kar je bilo pri Cooper-Jacobovem modelu zabeleženo le v pet primerih, pri Theisovem pa v štirih. Iz primerjave rezidualnih vrednosti lahko torej sklepamo, da je uporaba slednjih dveh metod manj primerna za obdelavo, saj se podatki v večini primerov slabše ujemajo z modeliranimi vrednostmi. Hkrati je potrebno omeniti tudi, da Cooper-Jacobova metoda ne upošteva vseh podatkov, temveč le njihov linearni del, ki velja za kasnejše čase črpanja, zato je še dodatno vprašljiva.

Glede na rezultate primerjave je bila opravljena tudi primerjava koeficientov prepustnosti razpok K_R in matriksa K_M z vrednostmi \bar{K} , izračunanimi v hidrogeoloških poročilih. Primerjalne metode med različnimi koeficienti prepustnosti sta uporabila tudi RATEJ & BRENČIČ (2005); metode Cooper-Jacoba in Theisa za kratke črpalne in nalivalne poizkuse ter tri druge metode za impulzne oz. slug teste. Njune metode sicer niso namenjene kraško-razpoklinskih kamninam, vseeno pa je tudi v tem primeru možno opaziti velike razlike med koeficienti, tudi do več kot dva reda velikosti. Razlike sta

N = 46	RSS Barker (m ²)	RSS Cooper-Jacob (m ²)	RSS Theis (m ²)	% RSS Cooper-Jacob	% RSS Theis
vsota/sum	9774	14884	61021	585	1050
povprečna vrednost/mean	212,49	323,57	1326,53	12,71	22,84
minimum/minimum	0,00	0,00	0,00	-0,98	-0,92
maksimum/maximun	5472,80	6612,00	50680,00	225,24	332,74

Tab. 8. Rezidualne vrednosti (RSS) za različne metode črpalnih poizkusov.

Tab. 8. Residual values (RSS) for different aquifer test methods.



pripisala tehničnim lastnostim izvedbe vrtin, času črpanja in metodi preizkusov, saj so bili nekateri testi nalivalni, drugi pa črpalni. Končni rezultati so torej po njihovi ugotovitvah odvisni od izbire metode, razen tega pa na dobljene vrednosti deloma vplivata tudi izbira merila opazovanja in način izvedbe poizkusov (NASTEVA et al., 2004).

Rezultati primerjave koeficientov prepustnosti (tab. 9; sl. 4) sicer kažejo, da so vrednosti koeficienta razpok, določene po metodi BARKERJEVA (1988), primerljive z ostalimi vrednostmi, čeprav takšno vzporejanje ni popolnoma ustrezno, saj za omenjene tri metode ni določeno, kaj koeficient prepustnosti sploh predstavlja. Te metode so namreč namenjene kamninam z medzrnsko poroznostjo, kjer je prisoten le en tip poroznosti. V večini primerov gre za razpoke, ki so bolj prepustne. Iz rezultatov lahko torej sklepamo, da so glede na Barkerjev model rezultati iz poročil primerljivih vrednosti, ki jih dobimo po metodi Theisa za padanje podzemne vode, medtem ko so vrednosti po Theisu za dvig podzemne vode glede na Barkerjeve vrednosti podcenjene in vrednosti po Cooper-Jacobovi metodi precenjene. Dobljene vrednosti koeficientov prepustnosti so torej vsekakor odvisne od uporabe metode. Razlike K_R so glede na ostale tri metode v območju reda velikosti, najbolj pa se po vrednostih ujemajo s Theisovo metodo. Cooper-Jacobova metoda bolj odstopa, saj

predstavlja Theisovo poenostavitev in upošteva le podatke pri kasnejših časih črpanja. Theisova metoda za dvig pa ni popolnoma primerljiva zaradi drugačne metode izvedbe črpalnega poizkusa, saj gre v tem primeru za dvig vode po koncu črpanja in ne med črpanjem.

Zaključek

Poglavitne ugotovitve so podane v naslednjih točkah:

1. Geometrične srednje vrednosti koeficientov prepustnosti analiziranih karbonatnih vodonosnikov v Sloveniji, določene z BARKERJEVO (1988) metodo za črpalne poizkuse, znašajo za razpoke $K_R = 4,79 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ in za matriks $K_M = 9,11 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$. Vrednosti se gibljejo v razponu od $K_R = 5,13 \cdot 10^{-10}$ do $2,40 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}$ za razpoke in od $K_M = 1,66 \cdot 10^{-12}$ in $1,66 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}$ za matriks. Razlike med skupinama so visoko značilne. Koeficienti za razpoke veljajo kot ocena koeficientov prepustnosti vodonosnika pri daljših časih črpanja. Vrednosti koeficientov razpok za dolomitne vodonosnike znašajo $K_R = 5,96 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, za matriks pa $K_M = 9,11 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ in za apnenca $K_R = 3,27 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ in $K_M = 4,38 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, čeprav je potrebno opozoriti, da je podatkov za apnenca precej manj in da so zanje standardni odkloni precej večji.

	N	K (m/s)	s (m/s)	min	max
K_R (Barker)	79	$4,79 \cdot 10^{-6}$	$1,41 \cdot 10^{+1}$	$5,13 \cdot 10^{-10}$	$2,40 \cdot 10^{-2}$
K_M (Barker)	79	$9,12 \cdot 10^{-9}$	$1,20 \cdot 10^{+3}$	$1,66 \cdot 10^{-12}$	$1,66 \cdot 10^{-1}$
K (Theis)	11	$4,27 \cdot 10^{-6}$	$1,20 \cdot 10^{+1}$	$7,08 \cdot 10^{-8}$	$2,40 \cdot 10^{-4}$
K (Cooper-Jacob)	31	$1,23 \cdot 10^{-5}$	$8,71 \cdot 10^{+0}$	$8,51 \cdot 10^{-8}$	$6,03 \cdot 10^{-4}$
K (Theis – dvig/recovery)	11	$1,62 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{+1}$	$5,62 \cdot 10^{-8}$	$3,55 \cdot 10^{-5}$

Tab. 9. Vrednosti koeficientov prepustnosti, določenih po različnih metodah.

Tab. 9. Comparison of hydraulic conductivities obtained by different aquifer test methods.

2. Koeficienti prepustnosti se razlikujejo v posameznih starostno-litoloških skupinah. Če upoštevamo skupine z zadovoljivim številom podatkov, so najvišje vrednosti zabeležene v skupini cordevolskih dolomitov, ki imajo zaradi čistosti, poznodiagenetskega nastanka in posledično večjih zrn, poroznosti in razpokanosti tudi najmanjšo razliko med koeficienti prepustnosti razpok in matriksa.

3. Koeficient prepustnosti je v poznodiagenetskih skupinah dolomitov večji kot v tistih, nastalih tako z zgodnjo kot tudi s pozno diagenozo, česar pri koeficientih, določenih z metodami Theisa in Cooper-Jacoba ni opaziti.

4. Koeficienti specifičnega elastičnega uskladiščenja so značilno različni v razpokah ($Ss_R = 3,09 \cdot 10^{-6} m^{-1}$) in v matriksu ($Ss_M = 1,29 \cdot 10^{-3} m^{-1}$). Razlike so visoko značilne. V vseh vodonosnikih je uskladiščenje v matriksu večje kot v razpokah, kar se sklada s teoretičnimi predpostavkami. Vrednosti koeficientov za dolomitne vodonosnike znašajo $Ss_R = 3,10 \cdot 10^{-6} m^{-1}$ za razpoke in $Ss_M = 1,08 \cdot 10^{-3} m^{-1}$ za matriks, za apnenice pa $Ss_R = 1,08 \cdot 10^{-5} m^{-1}$ in $Ss_M = 2,61 \cdot 10^{-2} m^{-1}$, pri čemer je podobno kot pri koeficientih prepustnosti potrebno opozoriti na manjše število podatkov za apnenice.

5. Primerjava metod kaže, da so večinoma uporabljene metode Theisa in Cooper-Jacoba (v 79 % primerih), metode za kraško-razpoklinske vodonosnike pa le v 1,5 % primerih. Pri primerjavi modeliranih vrednosti z dejanskimi podatki je očitno, da so najboljša ujemanja zabeležena pri Barkerjevi metodi, najslabša pa pri Cooper-Jacobovi. Za analizo črpalnih poizkusov v kraško-razpoklinskih vodonosnikih je zato potrebno uporabljati ustrezne metode, saj dajo te bolj logične rezultate in ločene vrednosti koeficientov prepustnosti in koeficientov elastičnih specifičnih uskladiščenj za razpoke in za matriks.

Reference

- ANDJELOV, M., GALE, U., KUKAR, N., TRIŠIĆ, N. & UHAN, J. 2006: Ocena količinskega stanja podzemnih voda v Sloveniji (Groundwater quantitative status assessment in Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 49/2: 383–391.
- ANIČIČ, B. & JURIŠA, M. 1985: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Rogatec: L33-68. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- BARENBLATT, G. I., ZHELTOV, Iu. P. & KOCHINA, I. N. 1960: Concepts in the Theory of Seepage of Homogeneous Liquids in Fissured Rocks [Strata]. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics* 24(5): 1286–1303.
- BARKER, J. A. 1988: Generalized Radial Flow Model for Hydraulic Tests in Fractured Rock. *Water Resources Research* 24(10): 1796–1804.
- BUKOVAC, J., POLJAK, M., ŠUŠNJAR, M. & ČAKALO, M. 1983: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, List L33-68 Črnomelj. Geološki zavod Zagreb in Geološki zavod Ljubljana.
- BUSER, S. & CAJHEN, J. 1980: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Tolmač lista Celovec (Klagenfurt): L33-53. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and Julian carbonate platforms and the intermediate Slovenian basin (NW-Yugoslavia). V: Evolution of the Karstic carbonate platform: relation with other periadriatic carbonate platforms. Carulli, G. B., Cucchi, F. & Radrizzani, C. P. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 40: 313–320.
- BUSER, S., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2007: Triasni konodonti Slovenskega bazena. *Geologija* (Ljubljana) 50/1: 19–28.
- DAVIS, S. N. & de WIEST, R. J. M. 1966: *Hydrogeology*. John Wiley & Sons, Inc. de SÁ. M. 2003: *Applied statistics using SPSS, Mathematica and MATLAB*. Springer (Berlin).
- DOLENEC, T., OGORELEC, B. & PEZDIČ, J. 1981: Zgornjepermske in skitske plasti pri Trziču. (Upper Permian and Scythian beds in the Tržič area). *Geologija* (Ljubljana) 24/2: 217–238.
- DOZET, S. & ŠRIBAR, L. 1998: Biostratigraphy of Shallow Marine Jurassic beds in Southeastern Slovenia. *Geologija* (Ljubljana) 40: 187–221.
- GASWIRTH, S. B., BUDD, D. A. & CRAWFORD, B. R. 2006: Textural and stratigraphic controls on fractured dolomite in a carbonate aquifer system, Ocala limestone, west-central Florida. *Sedimentary Geology* 184: 241–254.
- GRAD, K. & OGORELEC, B. 1980: Zgornjepermske, skitske in anizične kamenine na žirovskem ozemlju. (Upper Permian, Scythian, and Anisian rocks in the Žiri area). *Geologija* (Ljubljana) 23/2: 189–220.
- HAMM, S.-Y. & BIDAUX, P. 1996: Dual-porosity fractal models for transient flow analysis in fissured rocks. *Water Resources Research* 32(9): 2733–2745.
- HYDROSOLVE Inc. AQTESOLV for Windows. Version 3.5. 2006. Dostopno na svetovnem spletu: <http://www.aqtesolv.com>.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana): 143 str.
- KOŠIR, A. & WRIGHT, P. 2002: Dolomitization and porosity pattern in Eocene hydrocarbon-stained limestones (alveolina-nummulites limestone, SW Slovenia). V: 1. Slovenski geološki kongres. (1st Slovenian Geological Congress, Book of abstracts). Horvat, A., Košir, A., Vreča, P., Brenčič, M. (ured.) Geološki zavod Slovenije (Ljubljana).
- KRIVIC, P. 1984: Interprétation des essais par pompage réalisés dans un aquifère karstique. Obdelava črpalnih poizkusov v kraškem vodonosniku. *Geologija* (Ljubljana) 26: 149–186.
- KRUSEMAN, G. P. & de RIDDER, N. A. 1994: Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, 2nd ed. ILRI Publication 47. International Institute for Land Reclamation and Improvement (Wageningen): 377 p.
- LODS, G. & GOUZE, P. 2004: WTFM, software for well test analysis in fractured media combining

- fractional flow with double porosity and leakage approaches. *Computers & Geosciences* 30: 937–947.
- MOTYKA, J., PULIDO-BOSCH, A., BORCZAK, S. & GIBBERT, J. 1998: Matrix hydrogeological properties of Devonian carbonate rocks of Olkusz (Southern Poland). *Journal of Hydrology* 211: 140–150.
- NASTEV, M., SAVARD, M. M., LAPCEVIC, P., LEFEBVRE, R. & MARTEL, R. 2004: Hydraulic properties and scale effects investigation in regional rock aquifers, south-western Quebec, Canada. *Hydrogeology Journal* 12: 257–269.
- NOVAK, M. 2001: Skitijske plasti Toškega Čela (Scythian beds in the Toško Čelo area (Slovenia)). *Geologija (Ljubljana)* 44/2: 295–303.
- OGORELEC, B., DOLENEC, T. & PEZDIČ, J. 2000: Izotopska sestava O in C v mezozojskih karbonatnih kamninah Slovenije – vpliv faciesa in diageneze. Isotope composition of O and C in Mesozoic carbonate rocks of Slovenia – effect of facies and diagenesis. *Geologija (Ljubljana)* 42: 171–205.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1993: Mikrofazies, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien. Mikrofazies, diagenesa in geokemija dachsteinskega apnenca in glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji. *Geologija (Ljubljana)* 35: 81–191.
- PURSER, B. H., BROWN, A. & AISSAOUI, D. M. 1994: Nature, origins and evolution of porosity in dolomites. V: *Dolomites. The International Association of Sedimentologists special publication*, vol. 21. Purser, B., Tucker, M. & Zenger, D. (eds.). The International Association of Sedimentologists (Cambridge): 283–308.
- RATEJ, J. & BRENČIČ, M. 2005: Comparative Analysis of Single Well Aquifer Test Methods on the Mill Taining Site of Boršt Žirovski vrh, Slovenia. Primerjalna analiza metod obdelave hidravličnih poizkusov v črpanem vodnjaku na odlagališču hidrometalurške jalovine Boršt, Žirovski vrh, Slovenija. *RMZ – Materials and Geoenvironment (Ljubljana)* 52(4): 669–684.
- Rožič, B. 2008: Upper Triassic–Lower Jurassic limestones from Mt. Kobra in the northern Tolmin Basin: tectonically repeated or continuous succession? *RMZ – Materials and Geoenvironment (Ljubljana)* 55/3: 345–362.
- STEARNS, D. W., & FRIEDMAN, M. 1972: Reservoirs in fractured rock. V: King, R. E. (ed.). *AAPG Memoir 16, Stratigraphic oil and gas fields*: 82–106.
- ŠIKIĆ, D. & PLENIČAR, M. 1975: Osnovna geološka karta SFRJ. 1 : 100.000 Tolmač lista Ilirska Bistrica : L33-89. Zvezni geološki zavod (Beograd).
- ŠMUC, A. & ČAR, J. 2002: Upper Ladinian to Lower Carnian Sedimentary Evolution in the Idrija-Cerkno Region, Western Slovenia. *Facies* 46: 205–216.
- VERBOVŠEK, T. 2008a: Diagenetic effects on well yield of dolomite aquifers in Slovenia. *Environmental Geology* 53(6): 1173–1182.
- VERBOVŠEK, T. 2003: Izdatnost vrtin in vodnjakov v Sloveniji: skupina dolomitnih vodonosnikov. Diplomsko naloga. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za geologijo (Ljubljana): 206 str.
- VERBOVŠEK, T. 2005: Ustrezne analize črpalnih poizkusov v razpoklinjskih vodonosnikih. Appropriate analysis methods of pumping tests in fractured aquifers. *RMZ – Materials and Geoenvironment (Ljubljana)* 52(4): 723–735.
- VERBOVŠEK, T. 2008b: Vpliv prevodnih struktur na tok in prenos snovi v kraško-razpoklinjskih vodonosnikih. Doktorska disertacija. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za geologijo (Ljubljana): 457 str.
- VERBOVŠEK, T. & VESELIČ, M. 2008: Factors influencing the hydraulic properties of wells in dolomite aquifers. *Hydrogeology Journal* 16(4): 779–795.
- WARREN, J. E. & ROOT, P. J. 1963: The Behavior of Naturally Fractured Reservoirs. *Soc. of Petrol. Engrs. J.* 3: 245–255.
- WORTHINGTON, S. R. H. 1999: A comprehensive strategy for understanding flow in carbonate aquifers. V *Karst Modeling: Special Publication 5*. Palmer, A. N. Palmer, M. V. & Sasowsky, I. D. (eds.). Karst Waters Institute, Inc. (Charles Town): 30–37.

Možnost zajema pitne vode za potrebe mesta Ljubljana z drenažnim rovom na območju Krima

The possibility of drinking water capture for the city of Ljubljana by means of a water tunnel in the area of Krim mountain

Janko URBANC, Joerg PRESTOR & Tomaž BUDKOVIČ
Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Ključne besede: Krim, podzemna voda, vodonosnik, dolomit, apnenec, kras, drenažni rov, Slovenija
Key words: Krim, groundwater, aquifer, dolomite, limestone, karst, water tunnel, Slovenia

Izvleček

Članek obravnava možnost zajema podzemne vode na območju Krimskega pogorja s podzemnim drenažnim rovom, ki bi pomenil dopolnilni vodni vir za vodooskrbo mesta Ljubljana. V okviru raziskave je potekalo podrobno geološko kartiranje območja ter hidrogeološke, geofizikalne ter inženirsko geološke raziskave. Izdelana je bila vodna bilanca napajalnega območja, katere rezultati kažejo, da se na obravnavanem območju nahajajo precejšnje količine podzemne vode, ki bi jo bilo možno zajeti s podzemnim drenažnim rovom. Predlagana je bila trasa podzemnega vodnega rova, katerega vhodni del bi bil lociran na južnem obrobju Ljubljanskega barja južno od vasi Strahomer. Rov bi potekal v jugozahodni smeri v zgornje triasnem dolomitu. Zaradi majhnih ekoloških obremenitev na območju napajanja rova ter dobrih čistilnih lastnosti dolomita predvidevamo, da bi bilo možno z drenažnim rovom zajeti zelo kvalitetno pitno vodo.

Abstract

The article deals with the possibility of groundwater capture by means of a groundwater drainage tunnel in the area of Krim mountain range for a supplementary water supply of the city of Ljubljana. Within the scope of the investigation, a detailed geological mapping of the area was carried out, and hydrogeological, geophysical and engineering-geological research was performed. A water balance of the recharge area was calculated, indicating considerable quantities of groundwater which could be captured with an underground drainage tunnel. A course of the tunnel was suggested, with its entrance part located on the southern fringes of Ljubljansko barje south of the village Strahomer. The tunnel would run in the south-west direction in the Upper Triassic dolomite. Because of low environmental burden in the recharge area of the tunnel and due to good cleaning properties of dolomite it is expected that drinking water of very good quality could be captured by means of the drainage tunnel.

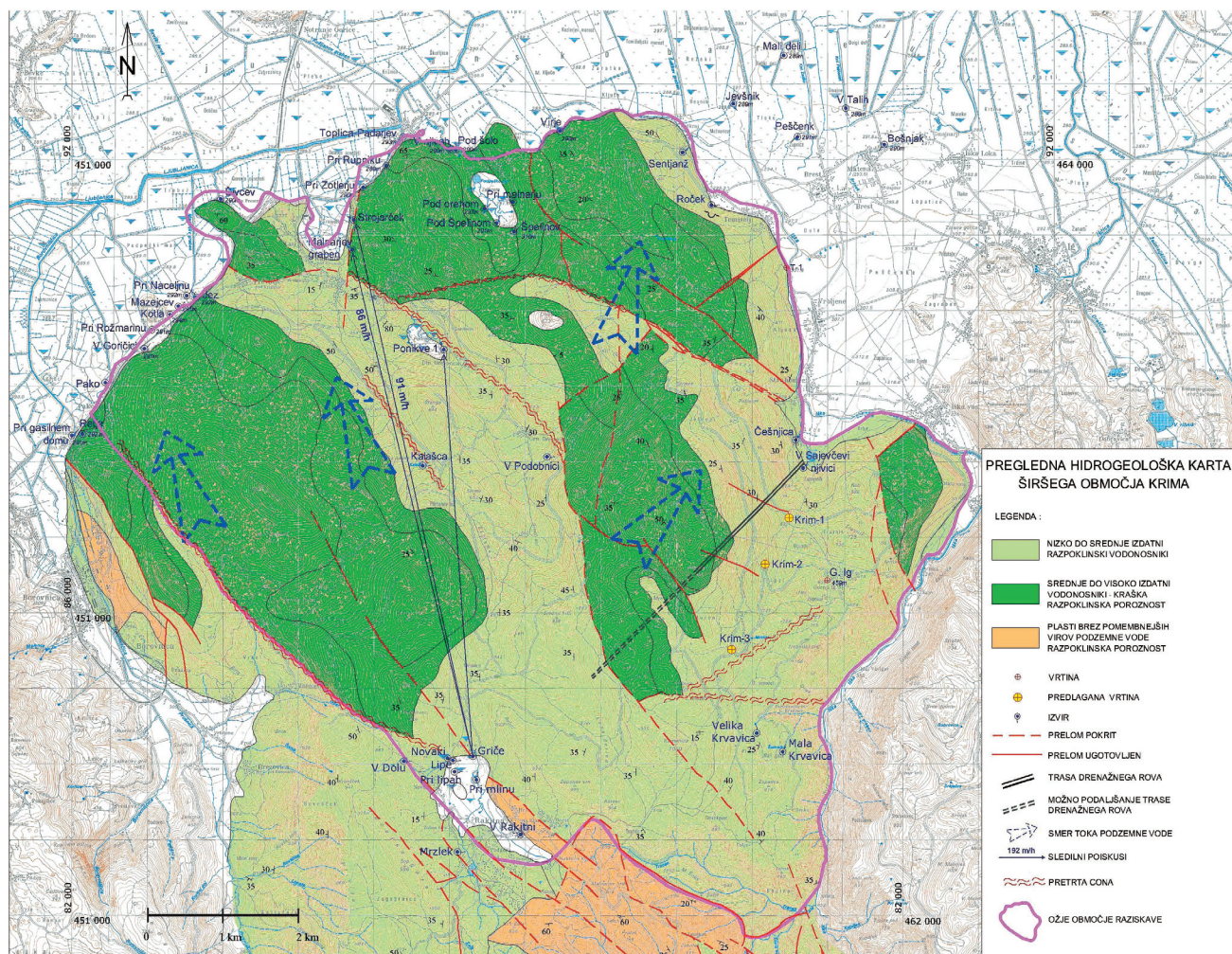
Uvod

Mestna občina Ljubljana se s pitno vodo v pretežni meri oskrbuje iz medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja in delno iz južnega dela vodonosnika Ljubljanskega barja. Oba vodonosnika sta zaradi intenzivne urbanizacije ter poljedelske rabe prostora izpostavljena zelo močnim ekološkim obremenitvam, ki poslabšujejo kvaliteto podzemne vode. Lahko pričakujemo, da se bodo pritiski na ta prostor v prihodnosti še stopnjevali, saj gre za območje glavnega mesta Slovenije, ki ima zaradi svoje funkcije tudi specifične prostorske potrebe.

Zaradi navedenih dejstev so se v preteklosti pričele pojavljati pobude za razvoj dopolnilnih vodnih virov za Mestno občino Ljubljana, ki bi po eni strani zagotavljali večjo varnost in zanesljivost vodooskrbe tudi v primeru večjih ekoloških

nesreč, dopolnilni vodni viri pa naj bi zagotavljali tudi dovolj kvalitetno pitno vodo, da ne bo potrebe po dragih in nepriljubljenih postopkih za čiščenje in pripravo pitne vode. V ta namen je bila v letu 2006 izdelana študija Potencialni novi viri pitne vode za Mestno občino Ljubljana (HIDROINŽENIRING, 2006). Med obravnavanimi možnostmi za pridobitev novih količin pitne vode sta bili z gledišča izvedljivosti, cenovne učinkovitosti ter kvalitete pitne vode kot posebej ugodni opredeljeni varianti zajema dodatnih količin podzemne vode z drenažnim rovom v Krmskem pogorju ter zajem dodatnih količin podzemne vode v osrednjem delu vodonosnika na desnem bregu reke Save.

V članku so prikazani rezultati obsežnejše študije, ki je poleg hidrogeoloških raziskav obsegala tudi podrobno geološko kartiranje ter geofizikalne in inženirsko-geološke raziskave (URBANC et al., 2008).



Slika 1. Pregledna hidrogeološka karta zaledja predvidenega vodnega rova

Geološka in hidrogeološka zgradba obravnavanega območja

Območje krimskega pogorja je v hidrogeološkem smislu karbonatni vodonosnik s kraško in razpoklinsko poroznostjo. Hidrogeološke značilnosti kamnin na območju raziskave so prikazane na pregledni hidrogeološki karti (slika 1).

Na obravnavanem območju se podzemna voda nahaja večinoma v zgornjetriasnih dolomitih in jurskih apnencih ter dolomitih.

Zgornjetriasni dolomit (glavni dolomit)

Zgornjetriasni dolomit se nahaja na velikih površinah na južnem obrobju Ljubljanskega Barja ter se nadaljuje preko Rakitniške na Bloško planoto (OGK lista Postojna in Ribnica, OGORELEC & ROTHE, 1992, MILER, 2007). Njegova debelina je ocenjena na 1200 do 1500 metrov. Je plastovit in skladovit. V kamnini se menjavajo nekaj centimetrov široki svetlejši in temnejši pasovi, ki imajo različno zrnavost. Svetlejši so zrnati, temnejši mikrokristalni. Na površini se kamnina kroji paralelepipedno. Kjer dolomit sekajo močnejše prelomne cone, se te manifestirajo kot nekaj sto metrov široke porušene cone, kjer pogosto kopljejo

dolomitni pesek za lokalne potrebe. V skladovnici glavnega dolomita se pojavljajo tudi več deset metrov debeli deli iz apnenca, ki so zakraseli.

V glavnem dolomitu prevladuje razpoklinska poroznost, ki mestoma lahko prehaja tudi v kraško. V primerjavi z jurskimi apnenci je v dolomitu kraških pojavov dokaj malo, zato se voda večinoma prevaja po številnih drobnih razpokah. Na osnovi podatkov meritev v podobnih kamninah ocenjujemo, da se hidravlična prepustnost dolomita na tem delu ozemlja večinoma giblje v območju 10^{-5} – 10^{-6} m/s (PRESTOR et al., 2003; PRESTOR et al., 2005).

Drobne razpoke v dolomitu, skozi katere se pretaka voda, predstavljajo zelo dober filter, tako da je voda v dolomitih v večini primerov zelo dobre kakovosti.

Jurski apnenci in dolomiti

Jurski apnenci so večinoma dobro zakraseli, zato imajo zaradi kraško-kanalne poroznosti veliko hidravlično prepustnost. Enotne ocene hidravlične prepustnosti zaradi velikih razlik med posameznimi območji ne moremo podati, bodisi zaradi razlik v zakraselosti ali stopnji tektonske pretrtosti. Tam, kjer apnenci tektonsko niso prizadeti so praktično neprepustni, ponekod pa je nji-

hova prepustnost za vodo zaradi kraških kanalov skoraj neomejena.

Čistilna sposobnost vodonosnih struktur v jurških apnencih je zaradi hitrega pretakanja vode po kraških kanalih majhna, zato lahko pričakujemo probleme tako glede kaljenja vode ob močnejših padavinah kakor tudi mikrobiološko oporečnost vode ter velik vpliv onesnaženj iz točkovnih ali razpršenih virov.

Sledilni poskusi na obravnavanem območju

Na obravnavanem območju so bili po literaturnih podatkih izvedeni trije sledilni poskusi, od tega o poskusih leta 1941 in v 50. letih prejšnjega stoletja ni nobenih pisnih dokumentov (NOVAK & ROGELJ, 1987). Zanesljiv podatek o smeri odtakanja z Rakitniške planote je dal sledilni poskus, ki ga je izvedel Geološki zavod Ljubljana v letu 1986 (NOVAK & ROGELJ, 1987). Sledilo je bilo injicirano v požiralnike severno od Rakitne.

Prvi pojav sledila je bil zaznan že po enem dnevu v Ponikvah, barvilo se je po treh dneh pojavilo v izviru Strojareček in po petih dnevih v Zotlerjevem studencu. V Podpeškem jezeru in Virju se barvilo ni pojavilo, kar avtorja pripisujeta vplivu slabo prepustne zdobljene cone vzhodno od Ponikev. Opisana zdobljena cona očitno deluje kot zapora in vode z območja Rakitne preusmerja v SZ smeri proti izvirov Strojareček in Malnarjev graben.

Ocena zalag podzemne vode

Razpoložljive količine podzemne vode na obravnavanem območju so ključni parameter za oceno upravičenosti projekta drenažnega rova v Krimskem pogorju. Vodni rov je zahteven objekt, ki ga prav gotovo ni smiselno izdelovati za majhne odvzeme pitne vode. Zaradi tega smo že v prvi fazi projekta skušali čim bolj verodostojno opredeliti potencial vodnega vira oziroma razpoložljive količine podzemne vode, ki so na voljo na tem območju.

O količini vode v razpoklinsko-kraškem vodonosniku lahko sklepamo bodisi iz ocene količine infiltriranih padavin v zaledju vodonosnika, iz ocene specifičnega odtoka z območja napajanja vodonosnika ali iz meritev pretokov izvirov, preko katerih se podzemni vodonosnik prazni.

V prvi fazi ocenjevanja zalag podzemne vode je bilo določeno potencialno vplivno območje vodnega rova, torej območje s katerega bi lahko teoretično še pritekala voda v podzemni rov. Velikost vplivnega območja je odvisna tudi od načina izvedbe drenažnega rova, zato smo izdelali dve oceni oziroma varianti (slika 1). Prva varianta (ožje območje) obsega območje od doline Iške na vzhodni strani do prelomne cone, ki se vleče proti NW od Rakitne do izvira Pako v dolini Borovniščiце na zahodni strani. Na severni strani je območje omejeno z Ljubljanskim barjem. Površina območja po prvi varianti znaša 74,9 km².

Druga varianta (širše območje) predvideva, da bi rov s svojim prečnim krakom posegel tudi proti vzhodu v zaledje Iščice. V tem primeru k prej navedeni površini lahko prištejemo še 74,8 km, tako da znaša skupna površina 149,7 km².

Ocena dinamičnih zalag podzemne vode na osnovi ocene specifičnega odtoka in ocene infiltracije padavin

Ob privzetem specifičnem odtoku pri nizkih vodah 5 l/s km² (ARSO, 1998) bi ob nizkovodnih hidroloških pogojih z ožjega območja otekalo 375 l/s podzemne vode, v kolikor pa bi z rovom posegli tudi na območje Iščice na vzhodni strani pa znaša ocenjena skupna količina 750 l/s. Ob srednjih vodah so ocenjeni iztoki iz sistema mnogo večji, in sicer 2,2 m³/s za ožje območje oziroma 4,5 m³ iz širšega območja. Seveda ne moremo pričakovati, da se bodo vse navedene količine tudi dejansko pojavile v drenažnem rovu, kljub temu pa je iz prikazanih izračunov možno oceniti, da na tem območju razpolagamo z velikim količinskim potencialom podzemne vode.

Za oceno koeficienta infiltracije smo uporabili Kennesyveo metodologijo (PRESTOR et al., 2005), obdelavo smo izvedli v GIS okolju s programskim paketom ArcView. Na osnovi dobljenega koeficienta infiltracije 0,53 smo izračunali, da se letno na kvadratnem kilometru območja v povprečju infiltrira 805.000 m³ padavinske vode, kar nam da povprečni iztok za ožje območje 1914 l/s in za širše območje 3800 l/s.

Ocena dinamičnih zalag podzemne vode na osnovi podatkov o pretokih izvirov

Voda iz kraško-razpoklinskega vodonosnika Krimskega pogorja večinoma prihaja na površje na kontaktu vodonosnika z Ljubljanskim barjem, del podzemne vode pa neposredno napaja medzrnski vodonosnik Ljubljanskega barja (MENCEJ, 1989). Ocenjujemo, da so količine podzemne vode, ki se pojavlja v izvirov na obrobju Ljubljanskega barja, dober pokazatelj razpoložljivih količin, ki bi jih bilo možno zajeti z drenažnim rovom. Večino podatkov o pretokih izvirov smo povzeli po Bazi izvirov GeoZS ter raziskovalni nalogi "Monitoring izvirov za spremljavo količinskega in kakovostnega stanja izvirov na območju Iškega vršaja in na izstopnem delu Ljubljanskega polja", ki jo za JP Vodovod-Kanalizacija d.o.o. izvaja Geološki zavod Slovenije (PRESTOR et al., 2005-2007).

Ocena pretokov izvirov je bila izdelana za ožje območje zaledja vodonosnika med Iško in linijo Rakitna - Pako, ter tudi za vzhodno območje, ki bi ga bilo možno izkoristiti s prečnikom drenažnega rova v smeri proti jugovzhodu v kraško zaledje Iščice.

Podatki o pretokih izvirov na obravnavanem območju kažejo, da ob srednjih hidroloških stajnih iz ožjega območja sistema preko izvirov iz-

teka okoli 2580 l/s, ob nizkih hidroloških stanjih pa lahko računamo na okoli 770 l/s. V kolikor bi v bodočnosti drenažni rov s prečnikom podaljševali tudi proti JV, bi ob srednjih vodah pridobili dodatnih 760 l/s, kar skupno zneso 3340 l/s. Ob nizkih vodnih stanjih iz ožjega in širšega območja skupno izteka preko izvirov okoli 1000 l/s.

Če upoštevamo, da se določen del podzemne vode sploh ne pojavi v izviroh, ampak neposredno napaja pleistocenski vodonosnik Ljubljanskega barja, iz podatkov o pretokih izvirov lahko zaključimo, da na obravnavanem območju obstajajo zadostne zaloge podzemne vode, ki bi jo bilo možno izkoristiti z drenažnim rovom.

Primerjava ocen razpoložljivih količin podzemne vode po različnih metodah

V preglednici 1 je prikazana primerjava ocen razpoložljivih količin podzemne vode, ocenjenih na osnovi treh različnih metod. Količine podzemne vode so izražene v litrih/sekundo.

Preglednica 1. Primerjava ocen razpoložljivih količin podzemne vode, izračunanih po treh različnih metodah

METODA	OŽJE OBMOČJE		OŽJE IN ŠIRŠE OBMOČJE	
	srednje vode	nizke vode	srednje vode	nizke vode
specifični odtok	2248	375	4491	748
infiltracija padavin	1914	638	3825	1275
iztok izvirov	2580	772	3341	1000

Iz preglednice je razvidno, da se ocene dinamičnih zalog vodonosnika dokaj dobro skladajo, čeprav so pridobljene s tremi različnimi pristopi. Ocenjujemo, da predstavljajo dovolj dobro osnovo za odločitev glede perspektivnosti nadaljevanja hidrogeoloških raziskav v pogorju Krma.

Ocena dotoka podzemne vode v drenažni rov

Za oceno dotoka v drenažni rov smo uporabili enačbo ustaljenega režima toka po Lembkeju.

$$Q = 2 \cdot H \cdot \sqrt{\frac{k \cdot W}{2}} \cdot R$$

H = višina vode v vodonosniku (m)

Q = iztekajoča količina (m³/s)

W = napajanje (m/s)

R = vplivni polmer (m)

k = prepustnost (m/s)

Za oceno prepustnosti smo uporabili primer iz masiva Pece in mežiškega Rudnika svinca in cinka, kjer je bilo pri zapolnjevanju jame možno izračunati precej natančen regionalni koeficient prepustnosti ($4,5 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} < k < 6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$) v podobnem apnenčastem in dolomitnem vodonosniku kot je Krimski (PRESTOR et al., 2003).

Izračuni dotokov so pokazali, da bi bil pričakovani stalni dotok iz 2000 m dolgega rova 270 l/s, iz 3.000 m dolgega rova 410 l/s, če pa bi rov podaljšali na 4000 m lahko pričakujemo dotoke podzemne vode okoli 550 l/s.



Slika 2. Območje predvidenega portala variante drenažnega rova pri Strahomerju

Hidrogeološka izhodišča za lociranje drenažnega rova

Po podrobni proučitvi hidrogeoloških razmer na območju Krimskega pogorja smo se odločili za varianto trase drenažnega rova pri Strahomerju (slika 1 in 3).

Na osnovi primerjave obeh variant ocenjujemo, da je varianta Strahomer ugodnejša vsaj iz treh razlogov:

- celotna dolžina rova poteka po dolomitu,
- manjši vpliv na obstoječe objekte za oskrbo s pitno vodo,
- rov posega v centralni del Krimsko-Rakitniškega pogorja, kar pomeni obširno zaledje, ki je zelo malo obremenjeno s človekovimi posegi v prostor.

Zaenkrat smo v študiji podrobneje obdelali varianto rova Strahomer v dolžini 2000 m (slika 3). Ocenjujemo, da bi bilo drenažni rov v isti smeri možno podaljšati preko 4000 m, s čimer bi z rovom presekali tudi prelomno cono JV–SZ, ki glede na rezultate sledilnih poizkusov ožje območje deli v dve ločeni hidrogeološki enoti. Na ta način bi bilo možno kljub slabše prepustni pretrti coni izkoristiti tudi podzemno vodo iz zahodnega dela napajalnega območja. Varianta Strahomer omogoča tudi izdelavo odcepa glavnega rova, ki bi se na približno 2000 m od vhoda usmeril proti jugovzhodu; odcep zaenkrat še ni bil podrobneje hidrogeološko obdelan.

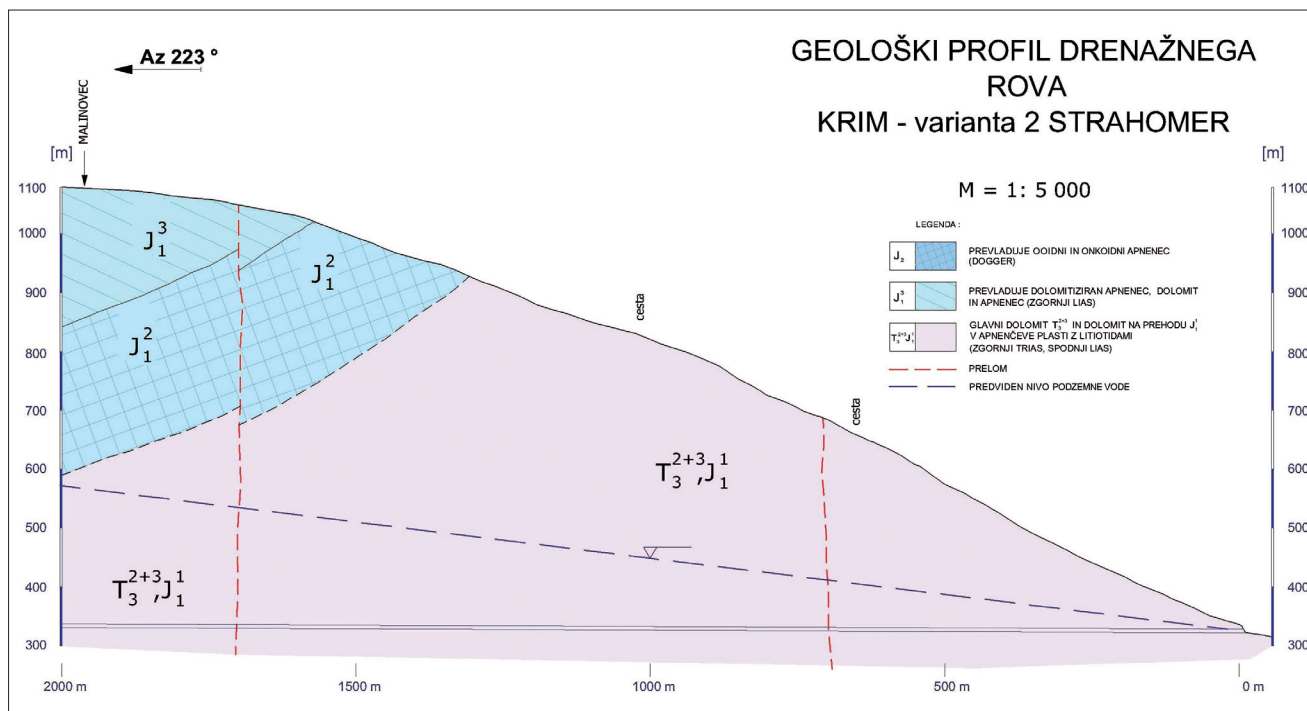
Zaključki

Dinamične zaloge vodonosnika Krimskega pogorja so bile ocenjene po treh različnih metodah: z

oceno učinkovite infiltracije podavin po Kenessyju, iz ocene specifičnega odtoka iz območja ter na osnovi podatkov o praznjenju vodonosnika preko izvirov na obrobju Ljubljanskega barja. Na osnovi izračunov razpoložljivih vodnih količin je bilo ocenjeno, da je vodni potencial napajalnega območja tudi ob nizkih vodah velik; v hidroloških pogojih nizkih vod znaša iztok podzemnih vod iz ožjega napajalnega območja vodnega vira od 370–770 l/s, iz širšega območja pa preko 1000 l/s. Ob srednji hidrološki situaciji so ocene iztočnih količin iz sistema še dosti večje: 1,9 m³/s do 2,5 m³/s za ožje območje in 3,3 m³/s do 4,5 m³/s za širše območje.

Izmed več možnih variant trase drenažnega rova je bila izbrana varianta Strahomer, ki ima več izrazitih prednosti:

- celotna dolžina rova poteka po dolomitu, ki je v primerjavi z apnencem ugodnejši zaradi enakomernjšega iztekanja podzemne vode ter boljših čistilnih sposobnosti, tako glede motnosti kot bakterioloških značilnosti,
- pri tej varianti se pričakuje manjši vpliv na obstoječe objekte za oskrbo s pitno vodo,
- pri varianti Strahomer podzemni rov sega bolj v notranjost masiva, zato lahko računamo z obširnejšim zaledjem in večjimi dotoki podzemne vode. V študiji smo zaenkrat podrobneje obdelali drenažni rov dolžine 2000 m, čeprav geološki in hidrogeološki pogoji na lokaciji omogočajo podaljšanje rova na preko 5900 m.
- v primeru izrazitega povečanja večjih potreb po pitni vodi za oskrbo Ljubljane in okolice varianta Strahomer omogoča tudi izdelavo prečnika v jugovzhodni smeri, ki bi omogočal zajem podzemne vode s širšega napajalnega zaledja vodonosnika.



Slika 3. Geološki profil preko drenažnega rova variante Strahomer

Preglednica 2. Izračunani dotoki v drenažni rov v odvisnosti od njegove dolžine

Dolžina drenažnega rova (m)	Dotok v rov (l/s)
2.000 m	274
3.000 m	411
4.000 m	548

Izdelan je bil tudi izračun dotokov v drenažni rov, ki je ob predpostavljeni prepustnosti kamnin v notranjosti Krimskega pogorja odvisen predvsem od dolžine rova.

Ob rekapitulaciji opravljenih raziskav in analiz ugotavljamo, da so možnosti za izvedbo podzemne drenaže pod Krimom ugodne in da je raziskave smiselno nadaljevati. Na osnovi izvedenih raziskav ocenjujemo, da se na obravnavanem območju nahajajo zadostne količine podzemne vode, ki bi prišle v poštev za izkoriščanje s podzemnim drenažnim rovom.

Literatura

- AGENCIJA RS ZA OKOLJE 1998: Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije, Ljubljana.
- BUSER, S., GRAD, K. & PLENIČAR, M. 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Postojna. Zvezni geološki zavod Beograd.
- BUSER, S. 1968: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Ribnica. Zvezni geološki zavod Beograd.
- HIDROINŽENIRING 2006: Potencialni novi viri pitne vode za Mestno občino Ljubljana. Naročnik študije Mestna občina Ljubljana.
- MENCEJ, Z. 1989: Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja. *Geologija* (Ljubljana) 31: 517–553.
- MILER, M. 2007: *Geologija Krma in okolice*. Diplomsko delo, Knjižnica NTF – Odseka za geologijo, 64 str., Ljubljana.
- NOVAK, D. & ROGELJ, J. 1987: Odtekanje vode z območja Rakitne. *Naše jame* (Ljubljana) 29: 17–21.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1992: Mikrofacies, diageneza in geokemija dachsteinskega apnenca ter glavnega dolomita v jugozahodni Sloveniji. *Geologija* (Ljubljana) 35: 81–181.
- PRESTOR, J., FAJMUT ŠTRUCL, S. & PUNGARTNIK, M. 2003: Mežica lead and zinc mine closure impact on hydrogeological conditions in upper Mežica valley. *RMZ-Materials and Geoenvironment* (Ljubljana) 50: 313–316.
- PRESTOR, J. et al. 2005: Nacionalna baza hidrogeoloških podatkov za opredelitev vodnih teles podzemne vode. Geološki zavod Slovenije, arh.št. K-II-30d/c-11/1113-j, Ljubljana.
- PRESTOR, J., STROJAN, M. & FEGUŠ, B. 2005–2007: Monitoring izvirov za spremljavo količinskega in kakovostnega stanja izvirov na območju Iškega vršaja in na izstopnem delu Ljubljanskega polja. Poročilo Geološkega zavoda Slovenije, arh.št.; K-II-30d/c-13/200, Ljubljana.
- URBANC, J., PRESTOR, J., CAR, M., STOPAR, R., KOČEVAR, M., BIZJAK, M., BENČINA, D., ŠTIGLIC, R. & MAJHEN, I. 2008: Izdelava projektne dokumentacije za vrtanje sondažnega in glavnega drenažnega rova kot vira čiste pitne vode ob vznožju Krimskega pogorja nad Tomišljem. Poročilo Geološki zavod Slovenije, arh.št. K-II-30d/c-1/1466, Ljubljana.

Nove knjige in karte

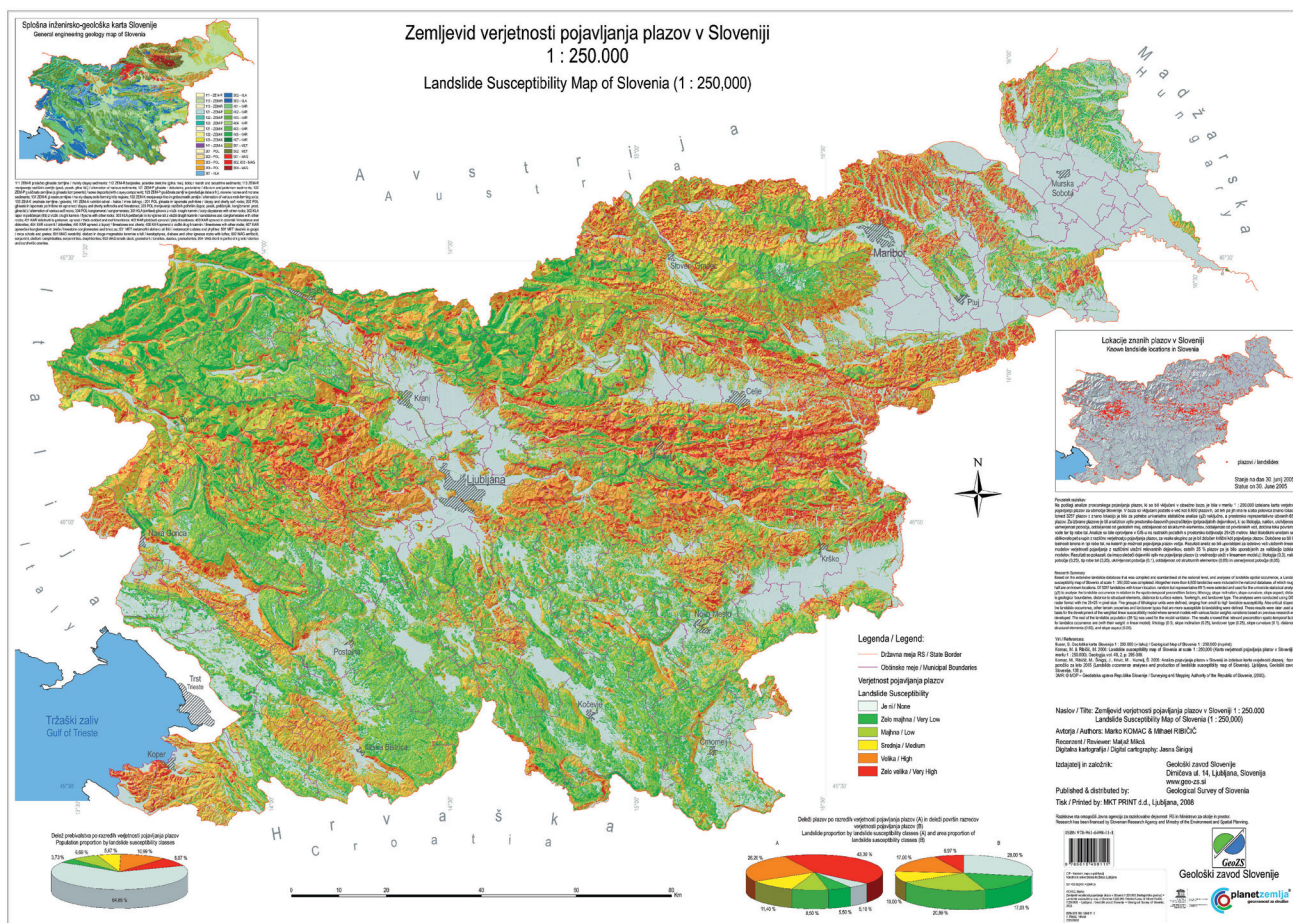
Marko KOMAC in Mihael RIBIČIČ 2008: **Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji 1 : 250.000.** (*Landslide Susceptibility Map of Slovenia 1 : 250.000*), Geološki zavod Slovenije.

Pri Geološkem zavodu Slovenije je septembra izšel Zemljevid verjetnosti pojavljanja plazov v Sloveniji v merilu 1 : 250.000, avtorjev dr. Marka Komaca in prof. dr. Mihaela Ribičiča. Gre za tipično tematsko geološko karto nove generacije, ki na enostaven in uporabnik prijazen način predstavlja kompleksno vsebino, v tem primeru verjetnost pojavljanja plazov. Na zemljevidu je ozemlje Slovenije glede na nevarnost za nastanek plazov kategorizirano v šest enot. Zemljevid je natisnjen na formatu 110 x 78 cm. Opremljen je z dodatnima zemljevidoma, ki sta bila osnova za to karto in sicer s »Splošno inženirsko geološko karto Slovenije« ter z »Lokacijami znanih plazov v Sloveniji«. K opremi v celoti dvojezičnega (slovensko-angleškega) izdelka spadajo še kratek opis metodologije izdelave zemljevida ter grafikoni razporeditve plazov ter prebivalstva po razredih verjetnosti pojavlja-

nja plazov. Geološki podatki so na zemljevidu povzeti po Pregledni geološki karti Slovenije v merilu 1 : 250.000 avtorja S. Buserja, ki bo pri Geološkem zavodu Slovenije izšla še letos.

Masni premiki zemljin in kamnin so nadvse pomembni dejavnik v našem življenjskem okolju. Jemljevo življenje, povzročajo materialno škodo, ob tem pa vzbujajo trajno nelagodje pri ljudeh. Plazovi so daleč najbolj razširjeni. Samo v Sloveniji jih je trenutno evidentiranih 6.600, ocenjujejo pa, da jih je med 7.000 in 10.000. Po zadnjih dosegljivih podatkih so v desetletju med 1993 in 2004 povzročili za nekaj manj kot 100 milijonov evrov škode, od tega samo v letu 1998 za skoraj 20 milijonov evrov.

Glavni, še zdaleč pa ne edini dejavniki nastanka plazov so brez dvoma geološka zgradba in današnja geodinamika določenega območja. Med pov-



zročitelje plazenj ali vzročne dejavnike, ki skozi daljše časovno obdobje pogojujejo razmere za nastanek plazov tako sodijo geomehanske lastnosti kamnin, naklon, ukrivljenost in orientacija terena, oddaljenost od geoloških strukturnih elementov ter tip rabe tal. Veljavna terminologija govori še o sprožiteljnih plazenj. To so trenutni dogodki, ki tako intenzivno vplivajo na razmere nekega območja, da za stalno spremenijo njegovo stanje in povzročijo splazitev mase. Lahko so posledica človekovega delovanja ali naravnih pojavov in se delijo na pripravljalne (sečnja gozda, vkopi, obremenitve brežin in razbremenitve vznožij) ter sprožilne dejavnike (intenzivne padavine, erozija in tresenje tal oziroma seizmična aktivnost območja).

Metodologija izdelave pričujočega zemljevida temelji na upoštevanju vseh zgoraj naštetih dejavnikov, razen tega pa je bila v model vključena tudi analiza prostorskega pojavljanja plazov oziroma dejansko stanje le teh v Sloveniji. Podatki o plazovih so vpisani v obsežni bazi, ki vključuje podatke o več kot 6.600 pojavih različnih dimenzij, žal pa le za slabo polovico poznamo njihovo natančno lokacijo. Izmed 3.257 plazov z znano lokacijo je bilo za potrebe univariatne statistične analize (χ^2) naključno, a prostorsko reprezentativno izbranih 65 % plazov. Za izbrane plazove je bil analiziran vpliv prostorsko-časovnih povzročiteljev ter vpliv sprožilnih dejavnikov (maksimalne 24-urne padavine s 100-letno povratno dobo, količina povprečnih letnih padavin in objektni talni pospešek s 475-letno povratno dobo). Analize so bile izdelane s pomočjo GIS orodij na rastrskih podatkih s prostorsko ločljivostjo 25 × 25 metrov. Med litološkimi enotami se je oblikovalo pet skupin z različno verjetnostjo pojavljanja plazov, za vsako skupino pa je bil določen kritični kot pojavljanja plazov. Določene so bile tudi lastnosti terena in tipi rabe tal, na katerih je možnost

pojavljanja plazov večja. Med sprožilnimi dejavniki so bile določene kritične vrednosti padavin in objektni talni pospešek, pri katerih se znatno poveča verjetnost pojavljanja plazov. Rezultati analiz so bili uporabljeni za izdelavo več uteženih linearnih modelov verjetnosti pojavljanja z različnimi utežmi relevantnih dejavnikov, ostalih 35 % plazov pa je bilo uporabljenih za validacijo modelov. Rezultati so pokazali, da imajo vpliv naslednji dejavniki na pojavljanje plazov (z vrednostjo uteži v linearnem modelu): litologija (0,3), naklon pobočja (0,25), tip rabe tal (0,25), ukrivljenost pobočja (0,1), oddaljenost od strukturnih elementov (0,05) in usmerjenost pobočja (0,05).

Za določitev plazovom izpostavljenih območij v vsej Sloveniji je bil uporabljen enostaven linearni verjetnostni model na podlagi grobih podatkov, ki ne upoštevajo lokalnih značilnosti (npr. smeri vpadanja geoloških plasti) in pri oceni detajlov ne vključuje terenske geološke ekspertne ocene. Zemljevid je torej predvsem pregledne narave, zaradi nadpovprečne natančnosti za svoje merilo pa omogoča nadaljnjo uporabo za bolj splošne prostorske analize, tako na državnem nivoju kot tudi na nivoju lokalnih skupnosti in zavarovalništva.

Kaj pa prostorsko načrtovanje na območju občin, kjer, neverjetno, geološke podlage še vedno niso običajna, kaj šele obvezna vsebina? Metodologija, ki je izrazito usmerjena k neposredni uporabnosti končnega izdelka pri prostorskem načrtovanju na nivoju lokalnih skupnosti, je bila razvita že leta 2003 na primeru občine Bovec. Pristop je podoben kot pri preglednem zemljevidu, zaradi natančnejših vhodnih podatkov (merilo 1 : 25.000) in dodatne faze terenskih pregledov pa rezultat omogoča neposredno uporabo pri prostorskem načrtovanju do nivoja posamezne parcele. Izdelava je hitra in stroškovno nezahtevna, učinek pa velik. Znanje, tehnologijo in voljo imamo...

Miloš Bavec

Poročila

Manuskriptne geološke karte slovenskega ozemlja iz obdobja avstrogrske monarhije, ki jih hranijo v znanstvenem arhivu *Zveznega geološkega zavoda Avstrije* na Dunaju – Obvestilo o njihovem skeniranju

Tomaž BUDKOVIČ

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Od 19. do 21. maja 2008 sva se s Stašo Čertalič mudila v znanstvenem arhivu *Zveznega geološkega zavoda Avstrije* na Dunaju (GBA). Tam sva skenirala okrog 200 geoloških manuskriptnih kart za območje sedanje Slovenije, nastale v obdobju avstrogrske monarhije:

- Karte prvega geološkega kartiranja v merilu 1 : 28.800 za območje bivših dežel Štajerske, Kranjske, Koroške ter Goriške (nastale v obdobju 1850–1860),
- Karte Ilirskega kraljestva in vojvodine Štajerske v merilu 1 : 144 000, narejene na podlagi kartiranja v merilu 1 : 28.800.

- Karte drugega geološkega kartiranja v merilu 1 : 25.000, nastale med leti 1881 in 1918, ki so služile kot podlaga za tiskanje geoloških kart merila 1 : 75.000.

Kratek pregled geološkega kartiranja našega ozemlja pod Avstro-Ogrsko povzemamo večji del po A. Ramovšu (1999) iz poglavja: Über die geologischen Untersuchungen im slowenischen Gebiet unter der Leitung der Geologischen Reichsanstalt in Wien von 1849 bis 1918. Abh. Geol. BA, 56/1, 69-94, ki ga je predstavil v Zborniku o zgodovini avstrijskega geološkega zavoda *Die geologische*



Rokopisna geološka karta okolice Idrije v merilu 1 : 28.800 (avtor M. V. Lipold)

Bundesanstalt in Wien – 150 Jahre Geologie im Dienste Österreichs (1849–1999), GBA, Wien 1999.

Prvo sistematično geološko kartiranje našega ozemlja je potekalo med leti 1850 in 1860. Kartirali so na topografsko osnovo druge (franciscejske) izmere Cesarsko-kraljevega vojnogeografskega inštituta. Topografska osnova merila 1 : 28.800 (400 klafter v naravi – 1 dunajska cola na karti) je bila takrat vojaška skrivnost in je obstajala v ročno risani obliki v enem samem izvodu. Geologi so morali pred odhodom na teren svoj izvod še prerisati. Terensko kartiranje je potekalo zelo hitro. V manj kot dvajsetletnem obdobju so uspeli zajeti celotno monarhijo. Slovensko ozemlje so kartirali F. Foetterle, M. V. Lipold, A. Morlot, K. Peters, F. Rolle, G. Stache, D. Stur in T. Zolliker. Rokopisne geološke karte niso bile namenjene javni uporabi. Vsebinsko so pomanjšali na vojaško topografsko osnovo merila 1 : 144.000 (*General – Quartiermeisterstabs-Karten*) in jo merilu primerne generalizirali. Tudi te karte so ostale v rokopisni obliki, čeprav so jih nameravali natisniti. Prvo obdobje sistematičnega geološkega kartiranja so v času od 1867 do 1871 zaključili z objavo geološke karte celotne monarhije merila 1 : 576.000 na 12 listih (*»Übersichtskarte der Österreichisch-Ungarischen Monarchie«*, avtor Franz von Hauer). Vsakemu listu je bil priložen poseben tolmač. Slo-

vensko ozemlje se nahaja na listu št. VI »Oestliche Alpenlander«.

Drugo sistematično geološko kartiranje našega ozemlja je leta 1880 začel A. Bittner v okolici Trbovelj. Izdaja novih, kvalitetnih topografskih kart tretje topografske izmere (francjožefinske) in četrte topografske izmere (precizne) je omogočila natančnejše geološko kartiranje v merilu 1 : 25.000, ki je bilo osnova za izdelavo tiskanih geoloških kart merila 1 : 75.000. Za večino tiskanih listov so izdali tudi tolmač. Faza drugega sistematičnega geološkega kartiranja ni bila zaključena zaradi razpada avstroogrškega cesarstva na narodne države. Nekatere karte so na Dunaju vseeno tiskali še po razpadu, čeprav so se nahajale izven meja nove države Nemške Avstrije.

Ozemlje današnje Slovenije se nahaja na 35 listih avstroogrške vojaške karte merila 1 : 75.000. Dunajski geološki zavod je izdal 12 tiskanih listov geološke karte, od tega ima sedem listov tudi tolmače. Te karte so kartirali geologi A. Bittner, J. Dreger, F. Kossmat, G. Stache in F. Teller. Nekateri listi so ostali v rokopisni obliki, za katero so uporabili poleg novih kart 1 : 25.000 tudi podatke iz obdobja prvega sistematičnega geološkega kartiranja.

Skenirane karte se nahajajo na DVD v knjižnici Geološkega zavoda Slovenije na Dimičevi ulici 14 v Ljubljani.

33. Mednarodni geološki kongres, Oslo (Norveška), 6–14. avgust 2008

Marko KOMAC

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail:marko.komac@geo-zs.si

Med 6. in 14. avgustom 2008 se je v Oslu na Norveškem odvijal 33. Mednarodni geološki kongres (*33rd International Geological Congress*), ki ga je pod okriljem IUGS organiziral Nordijski organizacijski odbor. Glavni cilj kongresa je spodbujanje napredka temeljnih in aplikativnih raziskav s področja ved o Zemlji. Kongres je podprl in odprl norveški kralj Harald V., slavnostne uvodne govore pa so imeli predstavniki Nordijskega ministrskega sveta, ki ga sestavljajo ministri petih skandinavskih držav – Danske, Finske, Islandije, Norveške in Švedske.

Kot se za tako pomembne dogodke za geološko stroko spodobi, so tudi udeleženci kongresa na Norveškem predstavili kar nekaj pomembnih in novih dognanj z različnih področij geologije. Znanstveni dosežki in rezultati 6.000 udeležencev iz 115 držav z vsega sveta so bili predstavljeni v okviru štirih programskih simpozijev s skupno sedemdesetimi sekcijami. Poleg teh je kongres ponujal tudi možnost izobraževanja na 17-ih delavnicah in 8-ih kratkih tečajih, vsak dan konference pa je bil posvečen svoji aktualni globalni problematiki in vlogi geologije v njej.

Celoten kongres je potekal tudi v navezavi na triletni projekt Mednarodno leto planeta Zemlja

(*International Year of Planet Earth, www.yearofplanetearth.org/* ali *www.planetzemlja.si/*), ki poteka od začetka leta 2007 pa do konca 2009, s podudarkom na letošnjem letu. Posebno mesto je na kongresu pripadlo projektu One Geology (*www.onegeology.org/*), ki je ponesel slavo geologije onkraj do sedaj poznanih širjav. Častni gost posebne slovesnosti ob uradnem začetku tega, za geologijo pomembnega projekta, je bil gospod Simon Winchester, pisec »bestsellerjev« v ZDA in Veliki Britaniji ter avtor biografije Williama Smitha, očeta moderne geološke kartografije.

Slovenskih udeležencev na kongresu je bilo okoli 20. Rezultate svojih raziskav pa smo predstavili tako v obliki predavanj kot tudi posterjev. Prispevki udeležencev kongresa so pokazali, da geološke vede uspešno sledijo trendom v znanosti, na nekaterih področjih pa jih celo narekujejo. To je še posebej opazno na področju soočanja z globalnimi spremembami kot so podnebne spremembe, problematika energentov, kakovost življenjskega okolja in zmanjševanja vpliva človeka na okolje. Opazna je tudi vedno večja vloga informacijskih tehnologij v geologiji, saj le te predstavljajo učinkovito orodje prenosa znanja od raziskovalcev k uporabnikom.



Predstavniki geoloških zavodov severne Amerike in Evrope, ki so sodelovali na novinarski konferenci ob pričetku projekta OneGeology, v katerem aktivno sodeluje tudi Geološki zavod Slovenije. Na fotografiji od leve proti desni: Harvey Thorleifson, Direktor Geološkega zavoda Minnesota, John Broome, vodja oddelka za upravljanje s podatki na Geološkem zavodu Kanade, Kristine Asch, vodja oddelka Nacionalne in mednarodne karte ter GIS na Geološkem zavodu ZR Nemčije, Ian Jackson, vodja aktivnosti na Britanskem geološkem zavodu ter koordinator projekta OneGeology, François Robida, namestnik vodje oddelka informacijski sistemi in tehnologije na Geološkem zavodu Francije, Marko Komac, direktor Geološkega zavoda Slovenije, Luca Demicheli, glavni tajnik italijanske komisije za Mednarodno leto planeta Zemlja in bodoči glavni tajnik združenja EuroGeoSurveys.

Organizatorji so poleg klasičnega kongresnega programa ponudili še 39 pred- in pokonferenčnih strokovnih ekskurzij, kulturne in družabne dogodke, vzporedno s kongresom pa so potekala še številna poslovna srečanja ter delovni sestanki.

Mednarodni geološki kongres so geološke olimpijske igre, a za razliko od pravih, smo tu vsi zmagovalci, kajti znanost je univerzalna in zato nikogaršnja in vsakogaršnja. Nasvidenje v Brisbanu, v Avstraliji, leta 2012!

2. Hidrogeološki kolokvij, Ljubljana 20.11.2008

Mihael BRENČIČ

Katedra za geologijo krasa in hidrogeologijo, Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana, mihael.brencic@ntf.uni-lj.si
Oddelek za hidrogeologijo, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Tako kot v preteklem letu je tudi v letu 2008 Katedra za geologijo krasa in hidrogeologijo Oddelka za geologijo na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani v sodelovanju s Slovenskim komitejem mednarodnega združenja hidrogeologov – SKIAH organizirala Hidrogeološki kolokvij na katerem so se zbrali številni udeleženci. Tudi tokrat je bil kolokvij namenjen izmenjavi informacij in pregledu aktualnih projektov na področju raziskav podzemne vode v Sloveniji. Kolokvij je zasnovan tako, da je del predavanj posvečen prikazu strokovnega in znanstveno raziskovalnega dela s področja hidrogeologije na Oddelku za geologijo, del predavanj pa izvedejo uveljavljeni strokovnjaki hidrogeologi. Želja organizatorjev kolokvija je, da bi kot gostje predavali tudi hidrogeologi in raziskovalci podzemne vode iz tujine. Tako je tokrat prvič kolokvij gostil goste iz tujine. Upajmo, da bomo s to prakso lahko nadaljevali tudi v prihodnje. V okviru kolokvija so bila predstavljena štiri predavanja.

V prvem predavanju z naslovom »Praktična uporaba fraktalnih metod pri analizi kraško-razpoklinskih vodonosnikov« je **Timotej Verbov-**

šek, z Oddelka za geologijo Univerze v Ljubljani predstavil rezultate svoje doktorske disertacije, v kateri je zbral podatke številnih hidravličnih testov v kraško razpoklinskih vodonosnikih po celi Sloveniji. Zbrane podatke je obdelal z metodami, ki temelje na rešitvi enačbe toka podzemne vode z racionalnimi koeficienti in modifikacijami te metode, ki uvajajo dvojno poroznost. Prišel je do sklepa, da dosedanja uporaba klasičnih rešitev difuzijske enačbe v primeru kraško razpoklinskih vodonosnikov ni ustrezna in da je tudi v vsakdanji praksi potrebno uveljaviti novejša metode. Le na takšen način bomo lahko naredili korak naprej v razumevanju kraško razpoklinskih vodonosnikov.

Jože Ratej, s podjetja IRGO in **Jure Krivic**, z Geološkega zavoda Slovenije sta v predavanju »Kvantitativna analiza tveganja onesnaženja podzemne vode zaradi posegov v okolje: Primer avtocest in odlagališč« predstavila teoretična izhodišča za izvedbo analize tveganja onesnaženja podzemne vode. Ta izhodišča sta podkrepila tudi s prikazom rezultatov analiz tveganja na obstoječih objektih, Jure Krivic s prikazom analize tveganja

in rezultatov na območju Dravskega polja v zaledju vodarne Skorba, ki s pitno vodo oskrbuje širšo okolico Ptuja, Jože Ratej pa s prikazom rezultatov analize tveganja za odlagališče komunalnih odpadkov na odlagališču Slovenske Konjice. Predavatelj sta v svojem delu podala kratek povzetek svojih doktorskih disertacij.

Numerično modeliranje toka podzemne vode in širjenja onesnaževal s pomočjo različnih računalniških programov predstavlja pomembno praktično orodje hidrogeologov. **Darko Petauer**, iz podjetja Georaz d.o.o., je v svojem predavanju z naslovom »*Matematično modeliranje podzemnih vod – primerjava matematičnih modelov Ljubljanskega polja*« predstavil rezultate numeričnega modeliranja toka podzemne vode. Ti rezultati so osnova za izvedbo zaščitnih ukrepov na urbanem območju Ljubljane, ki deloma pokriva obsežen in dobro prepusten vodonosnik Ljubljanskega polja, glavni vir pitne vode na širšem območju mesta. Predavanje je spodbudilo intenzivno razpravo, ki je pokazala, da je potrebno nadaljevati z razvojem modelov toka podzemne vode v vodonosni-

ku Ljubljanskega polja, tako zaradi učinkovitega upravljanja s podzemno vodo, kot tudi z namenom boljšega in zaneslivejšega projektiranja ukrepov za zaščito podzemne vode pred negativnimi vplivi.

Profesorica **Zvezdana Roller-Lutz** z Oddelka za fiziko Medicinske fakultete na Rijeki je v predavanju »*Uporaba stabilnih izotopov v hidrologiji na Hrvaškem – izkušnje z Rijeke*« predstavila začetke prvega laboratorija za stabilne izotope na Hrvaškem. Na kratko je podala pregled njihovih analitskih kapacitet in kvalitete rezultatov. V sklepnem delu predavanja pa je prikazala tudi rezultate prvih študij toka in napajanja podzemne vode s pomočjo izotopskih metod na širšem območju Gacke v Liki.

Tudi tokrat se je hidrogeološki kolokvij izkazal kot dogodek pomemben za izmenjavo informacij med strokovnjaki in raziskovalci, ki prihajajo iz različnih ustanov. Upajmo, da bo temu tako tudi v prihodnosti, organizatorica kolokvija Katedra za geologijo krasi in hidrogeologijo pa nekakšno stičišče in promotor hidrogeološke stroke v Sloveniji.

Posvetovanje »Graditev objektov na vodovarstvenih območjih«, Ljubljana, 21. 11. 2008

Mihael BRENČIČ

Katedra za geologija krasi in hidrogeologijo, Oddelek za geologijo, NTF, UL, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana; e-mail: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si
Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana

V letu 2004 je Ministrstvo za okolje in prostor Republike Slovenije izdalo *Pravilnik o kriterijih za določitev vodovarstvenega območja*, ki je v veliki meri posegel v dotedanjo prakso na področju zaščite virov pitne vode v Sloveniji. Poleg že uveljavljene prakse je pravilnik prinesel tudi nekatere novosti. Podzemna voda je v Sloveniji skorajda edini vir pitne vode, zaradi česar vodovarstvena območja pokrivajo velik del ozemlja države. Ta območja predstavljajo pomemben dejavnik v prostoru, ki v veliki meri vpliva na številne dejavnosti, od kmetijstva do poselitve in nenazadnje tudi na gradnje. V času od začetka izvajanja zahtev pravilnika se je nabralo veliko izkušenj in odprtih vprašanj, pa tudi problemov. To je kot nalašč, da je podjetje E-NET okolje d.o.o. iz Ljubljane v sodelovanju z društvom Slovenski komite mednarodnega združenja hidrogeologov (SKIAH) v hotelu Mons na Brdu organiziralo posvetovanje na temo gradenj na vodovarstvenih območjih. Posvetovanja se je udeležilo preko sto udeležencev iz cele Slovenije in najrazličnejših strokovnih področij, od gradbenih projektantov do strokovnjakov in uradnikov, zaposlenih v državnih organih.

Podzemna voda je naravni pojav, ki ga nestrokovnjaki pogosto težko razumejo. V uvodnem predavanju *Podzemna voda kot vir pitne vode* je **Mihael Brenčič** na pregleden način predstavil osnovne značilnosti pojavljanja podzemne vode in

značilnosti njenega toka skozi različne vrste vodonosnikov. Na kratko se je ustavil tudi pri širjenju onesnaževal ter pri opisu različnih hidrogeoloških metod. **Joerg Prestor**, z Geološkega zavoda Slovenije, eden od avtorjev pravilnika, je v predavanju *Vodovarstvena območja* ta predstavil na medzrnskih in kraških vodonosnikih. Hkrati s tem je prikazal metode za njihovo določitev in ukrepe, ki se jih pri tem izvaja. Pomemben del uveljavljanja vodovarstvenih območij in izvajanja ukrepov, prepovedi in omejitev so tudi *Pravne podlage za varovanje virov pitne vode*. **Helena Matoz** iz Ministrstva za okolje in prostor je predstavila pravna izhodišča, osredotočila pa se je predvsem na dosedanje prakso pri uvajanju novih vodovarstvenih območij. Ker gre za zelo zahteven postopek umeščanja ukrepov v prostor, je predstavila tudi nekatere probleme, ki se pri tem pojavljajo. **Stojan Kranjc** iz Agencije Republike Slovenije za okolje, je svoje strokovno področje predstavil v predavanju *Vodna dovoljenja in soglasja*. Ti dokumenti so pomemben del upravnih postopkov pri gradnjah na vodovarstvenih območjih, pogosto pa sprožajo številna vprašanja. Pravilnik o vodovarstvenih območjih je v prakso uvedel tudi analizo tveganja za onesnaženje podzemne vode, s pomočjo katere je pri določenih posegih v prostor potrebno dokazati, da zaradi posega ali gradnje ne bo prišlo do negativnih vplivov na podzemno vodo. V predava-

nju *Metodologija izvedbe analize tveganja za onesnaženje vodnega telesa* je **Mihael Brenčič** predstavil cilje in metodologijo tveganja, predvsem pa se je osredotočil na odprta vprašanja in probleme, ki se pojavljajo v vsakdanji praksi.

Drugi del posvetovanja se je pričel s predavanjem **Vanje Strle** iz podjetja E-NET okolje d.o.o. V svojem nastopu z naslovom *Onesnaževala in viri onesnaževanja voda v času gradnje* je na pregleden način predstavila izhodiščno zakonodajo, ki se nanaša na nevarne snovi ter različne klasifikacije nevarnosti, ki nastopajo med gradnjo in ki lahko na vodovarstvenih območjih vplivajo na kemijsko stanje vodnega telesa. **Goran Vižintin** iz Oddelka za rudarstvo in geotehnologijo Univerze v Ljubljani se je v svojem predavanju *Opazovalni objekti in izkoriščanje geotermije na vodovarstvenih območjih* v uvodnem delu osredotočil na izvedbo objektov za opazovanje in zajem podzemne vode, v drugem delu predavanja pa je prikazal izvajanja del na vodovarstvenih območjih v primerih izkoriščanja podzemne vode za izrabo toplote. **Darko Petauer** iz podjetja Georaz d.o.o. je v predavanju *Geotehnična dela na vodovarstvenih območjih* predstavil gradbeno tehnične posege, ki lahko vplivajo na kemijsko in količinsko stanje podzemne vode ter ukrepe za preprečitev teh vplivov. Predstavil je tudi nekatere svoje izkušnje na vodovarstvenem območju Ljubljanskega polja

in jih ilustriral z rezultati modelnih izračunov. V zadnjih dveh desetletjih je v Sloveniji potekala intenzivna gradnja avtocest in tudi nekaterih lokalnih cest. Zaradi številnih vodovarstvenih območij so se v prostoru pojavljali mnogi konflikti. **Mihael Brenčič** je v predavanju *Gradnja infrastrukture na vodovarstvenih območjih* predstavil nekatera teoretična izhodišča za zaščito vodnih teles pred negativnimi vplivi s cest in jih ilustriral s praktičnimi primeri. V predavanju *Ukrepi v primeru onesnaženja na vodovarstvenih območjih* je **Branka Bračič Železnik** iz javnega podjetja Vodovod Kanalizacija iz Ljubljane predstavila ukrepanje v primeru različnih nesreč, predvsem razlitij nevarnih snovi. Opisala je postopke obveščanja v takih primerih ter sanacijske ukrepe za odstranitev onesnaževal.

Posvetovanje *Graditev objektov na vodovarstvenih območjih* se je izkazalo za izredno koristno. Hidrogeološka stroka je predstavila svoje znanje in sposobnost reševanja kompleksnih problemov, ki se pojavljajo na vodovarstvenih območjih. Hkrati se je posvetovanje izkazalo za pomemben dogodek tudi zaradi živahnih diskusij, tako v okviru posameznih predavanj, kot tudi v času odmora. Organizatorje posvetovanja velja pohvaliti za odlično organizacijo in samo idejo. Upajmo, da bomo v prihodnje deležni še kakšnega podobnega dogodka.

Ocenjevanje znanstveno raziskovalnega dela na področju geologije v Sloveniji

Mihael BRENČIČ

Katedra za geologija krasa in hidrogeologijo, Oddelek za geologijo, NTF, UL, Aškerčeva cesta 12,
SI-1000 Ljubljana; email: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si
Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Uvod

V prvi polovici leta 2008 je v Sloveniji potekalo ocenjevanje programskih skupin, ki jih financira Agencija za raziskave Republike Slovenije – ARRS. V to ocenjevanje je bilo vključeno tudi pet programskih skupin s področja geologije, ki delujejo na treh znanstveno raziskovalnih ustanovah; tri programske skupine na Geološkem zavodu Slovenije, po ena programska skupina na Oddelku za geologijo Univerze v Ljubljani in na Znanstveno raziskovalnem centru Slovenske akademije znanosti in umetnosti. V nekaterih izmed programskih skupin sodelujejo raziskovalci različnih ustanov. Te programske skupine predstavljajo jedro znanstveno raziskovalnega dela na področju geologije v Sloveniji, financiranje, ki jim je dodeljeno s strani države preko ARRS, pa predstavlja najpomembnejši in pogosto tudi pretežni vir sredstev za geološko znanost na območju Slovenije. V manjši meri geologi delujejo tudi v programskih skupinah na drugih področjih sistematizacije ARRS, vendar pa sredstva za njihovo delo prihajajo iz »negeoloških« virov. Del znanstvenih

raziskav na področju geologije se financira tudi preko projektnega financiranja, ki ga prav tako izvaja ARRS, preostali del pa se financira iz drugih virov. To seveda ne pomeni, da je slovenska geologija neaktivna na drugih področjih raziskav in razvoja in da rezultati njenega dela ne prispevajo k družbeno ekonomskemu napredku Slovenije. Nasprotno, smelo lahko zapišemo, da tudi na teh področjih dosegamo dobre rezultate, morda celo boljše kot nekatere druge stroke in področja. Žal, današnji način dojemanja in vrednotenja znanosti v Sloveniji teh rezultatov ne razume kot dosežke na področju znanstveno raziskovalnega dela temveč kot nekakšen samoumeven rutinski servis za državo ali gospodarstvo.

Za raziskovalci v slovenski geologiji je v letu 2008 naporno ocenjevalno obdobje, katerega končni rezultati pa so pustili zelo grenak priokus. Pot, ki jo je prehodila stroka v preteklem letu dni, od druge polovice leta 2007 pa skoraj do konca leta 2008, terja temeljit premislek o razvoju, vlogi in položaju slovenske geologije, tako s stališča vrednotenja lastnih rezultatov, kot tudi in morda predvsem v odnosu do drugih znanstveno raziskoval-

nih področij in slovenske znanstveno raziskovalne sfere v celoti. Na področju geološke znanosti se v naslednjih dveh ali treh letih nahajamo pred pomembno prelomnico. Brez pretiravanja lahko zapišemo, da nam v geologiji v prihodnjih letih brez intenzivnega dela na vseh področjih dela grozi drastično zmanjšanje sredstev za znanstveno raziskovalno delo.

Avtor članka sem kot član Stalnega strokovnega telesa za področje naravoslovja in matematike ARRS, pred tem pa tudi kot član tako imenovanega ožjega personalnega jedra geologije, že dalj časa vpleten v znanstveno raziskovalno politiko na področju geologije. Pri ocenjevanju programskih skupin v letu 2008 sem vodil tudi dva ocenjevalna panela na drugih področjih naravoslovja in sodeloval pri javnem delu edinega panela za področje geologije. Tako je namen zapisa posredovati nekatere izkušnje iz preteklega ocenjevalnega obdobja, predvsem pa odpreti dialog in polemiko o vlogi in položaju geologije ter morda tudi o celotni znanstveni politiki v Sloveniji. Prispevek je v veliki meri subjektiven, saj je sem v postopek ocenjevanja vložil veliko osebne energije in želje po ustreznem vrednotenju, rezultati pa nikakor niso bili sorazmerni vloženemu trudu. Morda je zapisanih veliko pavšalnih trditvev, a te izhajajo iz številnih osebnih komunikacij z akterji ocenjevalnega postopka na različnih ravneh, hkrati pa so tudi rezultat dejstva, da v času pisanja prispevka rezultati ocenjevanja še vedno niso javni. Na razpolago so le posamezne okrnjene informacije, ki si jih lahko pridobiš le med razgovori.

Postopek ocenjevanja

V drugi polovici leta 2007 so javni raziskovalni zavodi s strani ARRS dobili zahtevo in navodila za pripravo samoevalvacijskih poročil. Navodila za pripravo tega dokumenta so bila zelo splošna in so odprla vrsto vprašanj, predvsem zaradi tega, ker ni bilo jasno, kakšno vlogo in pomen naj bi imelo to poročilo. V okviru teh poročil naj bi javni raziskovalni zavodi samostojno ovrednotili svoje delo, po metodologiji, ki bi jo predlagali in pripravili sami. S tem je prišlo do prvega pritiska na programske skupine, ki so morale pripraviti izhodišča za samoevalvacijska poročila zavodov na katerih delujejo. V ozadju tega samooценjevalnega procesa pa se je s strani nosilcev odločanja ves čas poudarjalo, da je ta samoevalvacija namenjena tudi samim programskim skupinam, saj naj bi bilo poročilo sestavni del dokumentov, ki bodo podlaga za ocenjevanje dosežkov programskih skupin v preteklem programskem obdobju.

Konec marca 2008 je bil objavljen »*Poziv za predložitev raziskovalnih in infrastrukturnih programov za naslednje obdobje financiranja in pripravo poročil o rezultatih raziskovalnih in infrastrukturnih programov v obdobju 2004–2008*«, ki je postavil zahtevo, da je vso dokumentacijo potrebno oddati do začetka maja 2008. Predmet

evalvacije je bilo obdobje od leta 2003 do 2007. Dokumentacija je bila vsebinsko sestavljena iz programa dela programske skupine za naslednje obdobje financiranja, poročila o rezultatih raziskovalnega programa v preteklem obdobju in že omenjenega samoevalvacijskega poročila. Vodje programskih skupin ter večina raziskovalcev, članov programskih skupin, so že pred objavo poziva intenzivno spremljali nastajanje »*Metodologije za ocenjevanje raziskovalnih programov za leto 2008*«, o kateri je pred tem tekla razprava v različnih organih ARRS. Tako je bila vzporedno s tem že odprta razprava o kvaliteti dosežkov programskih skupin na področju geologije v preteklem raziskovalnem obdobju. Zaznano je bilo, da med programskimi skupinami obstajajo razlike, da so bile nekatere programske skupine zelo uspešne, druge pa so pri svojem delu stagnirale. Tako je na podlagi tega nastala ideja o prerazporeditvi raziskovalnih ur, kar je bilo kasneje tudi predlagano in izvedeno.

K pripravi dokumentov, ki jih je zahteval poziv, se je pristopilo z vso resnostjo. Vodje programskih skupin so veliko svojega časa posvetili pripravi dokumentacije. Ker je večina skupin v geologiji zasnovana široko in zavzemajo zelo širok spekter geoloških raziskav, je bil pri tem procesu angažiran tudi velik del raziskovalcev, članov programskih skupin. Navkljub prizadevanju ARRS, da bi pravne dokumente, ki so bili osnova za izvedbo razpisa poenostavila, tako s stališča priprave dokumentacije, kot tudi s stališča razumevanja, so se med procesom priprave dokumentacije neprestano odpirala številna vprašanja. Tako se je zastavljajlo predvsem vprašanje o razmerju med programom za prihodnje obdobje financiranja in poročilom o preteklem obdobju; kakšen bo vpliv enega ali drugega na končno oceno programa, ali je s spremembo in izboljšanjem strukture raziskovalcev v bodoči programski skupini možno doseči boljši izhodiščni položaj. Prav tako so se odpirala tudi vprašanja o prihodnjem programu; ali ga zastaviti ozko, ali splošno in široko in s tem pustiti nekatera vprašanja nedorečena in odprta. Te dileme so se odpirale predvsem tam, kjer so programske skupine v preteklosti nastale iz različnih manjših programskih skupin.

Po oddaji zahtevane dokumentacije je sledilo ocenjevalno obdobje. Dokumentacijo so prejeli tuji in domači recenzenti, ki jih je že pred tem določilo stalno strokovno telo za področje naravoslovja in matematike. ARRS je na podlagi svojih mednarodnih povezav v ta namen pridobila seznam avstrijskih raziskovalcev. Člani stalnega strokovnega telesa smo nato pripravili ožji izbor in vrstni red recenzentov. Le izjemoma so se na ta seznam uvrstili tujci, ki ne prihajajo iz Avstrije. Do tega je prišlo predvsem v primerih, ko so v Sloveniji razvita znanstvena področja, ki jih predlagani seznam recenzentov ni pokrival. Pri sestavi liste domačih recenzentov, ki naj bi prihajali iz vrst uporabnikov raziskav, je nastopilo kar nekaj problemov. Neformalno priporočilo ARRS je bilo, da naj imajo domači recenzenti doktorat znanosti. Ker v Sloveniji na področju geologije večina dok-

torjev znanosti deluje v raziskovalni sferi, zaradi majhnosti pa prihaja tudi do številnih konfliktov interesov, je bil potencialni izbor domačih recenzentov relativno ozek.

Vsako programsko skupino sta ocenila domač in tuj recenzent. Sestavni del ocenjevalnega postopka je bilo tudi medsebojno ocenjevanje vodij programskih skupin. Ti so s strani ARRS prejeli celotno dokumentacijo ostalih programskih skupin v panelu, ki so jo morali tako kot domač in tuj recenzent oceniti. Ta del ocenjevalnega postopka se je izkazal za zelo problematičnega. Če si ocenjevalni postopek ogledamo širše in ne le zgolj s stališča geologije opazimo, da je bila kasnejša panelna razprava, predvsem ocenjevanje, neobjektivna. Pri ocenjevanju je pogosto prihajalo do taktiziranja vodij programskih skupin, ki so sebi konkurenčnim skupinam za katere so domnevali, da se lahko uvrstijo podobno kot njihova, nameroma dajali nižje ocene in jim tako zbijali povprečno oceno. Večina vodij programskih skupin, ki so sodelovali v panelih, pa je svoje ocenjevanje kolegov iz drugih programskih skupinah zavrčalo kot neprimerno in sporno s stališča znanstvene etike.

V mesecu juliju so sledile panelne razprave na katere so se vsi člani programskih skupin, predvsem pa vodje programskih skupin, zelo intenzivno pripravljali. Paneli so bili sestavljeni iz dveh delov. V prvem delu so potekale javne predstavitve, v drugem delu, zaprtem za širšo javnost, pa je potekalo ocenjevanje, ki je podalo končne ocene in vrstni red programskih skupin. Javni del panelnih predstavitev je potekal od panela do panela drugače. Na nekaterih panelih je bila prisotna širša raziskovalna javnost, predvsem pa člani programskih skupin. Med predstavitvami v teh panelih so potekale razprave, pogosto o povsem znanstvenih vprašanjih. Nekateri paneli pa so žal minili brez publike in širše razprave. Vse predstavitve, ki jih je avtor prispevka spremljal so bile odlične. Vsi predavatelji so se zelo potrudili, svoje delo so predstavili zelo pregledno in jedrnato, z obsežnim prikazom rezultatov dela programskih skupin. Predstavitve so bile zelo zanimive tudi za laika in so ponudile odličen vpogled v stanje in delovanje znanosti v Sloveniji. Hkrati s tem, pa tudi kasneje v delu panela, ki je bil namenjen ocenjevanju, se je razvila tudi vsebinska razprava, ki je pogosto šla v smeri predlogov; kam in kako se usmeriti, kaj so šibke točke in kaj pozitivni dosežki. Veliko je bilo tudi razprav o aktualnosti in vsebini raziskav. Žal je ta del razprave, ki bi moral predstavljati pomemben dosežek panelov, šel v nič. Vodje panelov, ki nismo bili strokovnjaki s področja na katerem je panel potekal, teh sporočil nismo uspeli zapisati, saj je pogosto šlo za povsem specifične predloge. Zapisniki teh razprav niso niti povzeli. Ostali člani ocenjevalnega panela, vodje programskih skupin, pa so bili povsem osredotočeni na ocenjevanje in rangiranje, ki sta se na koncu panela izkazala kot edini in dejanski cilj. Presenečala je tudi odsotnost predstavnikov ARRS, ki na panelih praviloma niso sodelovali.

Sestavni del dokumentacije za ocenjevanje programskih skupin so bile tudi kvantitativne ocene, ki jih je na podlagi metodologij in lastnih pravilnikov pripravila ARRS. Čeprav naj bi bile te ocene le pripomoček pri ocenjevanju in razpravi, se je izkazalo, da so bile te ocene ključne. Tako v fazi panela, kot tudi kasneje pri odločitvah znanstvenega sveta agencije. Zelo malo je bilo diskusije o vsebini preteklih dosežkov programskih skupin. Vse je potekalo bolj ali manj »scientometrično«. Presoje rezultatov programski vsebin, ki so bile predlagane na začetku predhodnega programskega obdobja in doseženih vsebinskih rezultatov skorajda ni bilo. Če je skupina dosegla dobre rezultate na območju objav, je dosegla cilje programa. Takšen odnos pa seveda privede do tega, da so tudi predlagani programi široko zastavljeni, tako, da vključijo »vse, kar bi lahko prišlo prav«.

Veliko dvoumnosti je sprožila tudi tako imenovana družbena relevantna ali delo na prostem trgu. Tu se področja (npr. geologija, biologija, kemija, ...) med seboj zelo razlikujejo, pa tudi rezultati med posameznimi programskimi skupinami znotraj področij. Skupine in raziskovalci, ki so usmerjeni izrazito teoretično vrednotenju tega parametra nasprotujejo. Velja pa seveda tudi obratno, aplikativno usmerjene programske skupine tak način ocenjevanja zelo podpirajo. Žal se zdi, da je bil v sklepnem delu ocenjevanja ta parameter v veliki meri prezrt in interpretiran pristransko. ARRS bi morala v svojih metodologijah ocenjevanju prenosa znanja v prakso nameniti še dodatno pozornost, programske skupine, ki jim to uspe pa podpreti. Nenazadnje, financiranje znanosti iz javnih sredstev slovenskega državnega proračuna je namenjeno družbenemu razvoju Slovenije in ne le preživetju v slonokoščenem stolpu znanosti. Prav pri družbeni relevantnosti trčimo na vprašanje različnega razumevanja družbene vloge znanosti.

Prisotnost tujih recenzentov se je izkazala za zelo pomemben in pozitiven prispevek k ocenjevanju dosežkov znanstveno raziskovalnega dela v predhodnem programskem obdobju. Tuji recenzenti so se svojega dela lotili natančno in odgovorno, ves čas panela so intenzivno sodelovali tako z vprašanji kot tudi s pobudami in kritikami. Izkušnja avtorja prispevka je, da je bilo njihovo sodelovanje ves čas zelo afirmativno in pozitivno naravnano. Njihove ocene so bile realne in so predstavljale pomembno korekcijo ocenam domačih članov panela. Moje osebno mnenje je, da bi morali biti na panelu za posamezno področje ocenjevalci vsaj trije tuji neodvisni recenzenti iz različnih držav, vodje programskih skupin pa bi bilo iz tega postopka potrebno izvzeti. Tako bi se lahko izognili marsikateri neobjektivnosti pogojeni z relativno zaprtim slovenskim raziskovalnim prostorom. Kljub temu pa bi morali tujim recenzentom posvetiti večjo pozornost in jih boljše informirati. Pogosto je bila izhodiščna nejasnost prav razumevanje narave programskega financiranja. Večina recenzentov je programe obravnavala kot projekte, zaradi česar so bile velike skupine sestavljene iz heterogenega spektra raziskovalcev ocenjene

nekoliko slabše kot manjše bolj usmerjene skupine. Šele pojasnilo, da gre za osnovno financiranje (ang. core funding) je razjasnilo nekatere dileme. Veliko vprašanj je bilo tudi v zvezi z odnosom med programi, projekti in sredstvi iz gospodarstva. Težave pri razumevanju slednjega so imeli tudi domači recenzenti. Izboljšati bi bilo potrebno tudi organizacijo, saj so bili za komunikacijo z recenzenti zadolženi predvsem vodje panelov, kar pa gotovo ni bila njihova naloga.

V zvezi z sodelovanjem tujih recenzentov velja omeniti problematiko jezika predstavitev in diskusij na panelu. Večina področij v naravoslovju in matematiki se je odločilo za angleščino, podobno je bilo tudi drugod. Žal se je področje geologije odločilo drugače. Z uporabo slovenščine se je tujega recenzenta izključilo iz razprave, prav tako ni mogel ustrezno slediti predstavitev. Ker je avtor prispevka na javnem delu panela za področje geologije odigral vlogo prevajalca, lahko le potrdim, da se je recenzent počutil zelo nelagodno. Če tujce zaprosimo za pomoč, je vsaj nekorektno, če ne kaj drugega, da jim onemogočimo enakopravno sodelovanje. Za prihodnje panele na katerih bodo sodelovali tuji recenzenti mora ARRS jasno določiti pravila in jezik panela ter za to poiskati tudi ustrezno pravno rešitev, da bi paneli lahko potekali v celoti v angleškem jeziku. Angleščina je danes »lingua franca« znanosti, orodje sporazumevanja, ki ga mora obvladati vsak znanstvenik.

Veliko nejasnosti je na panelu povzročala primerjava med predhodnimi ocenami, ki so jih ocenjevalci podali že pred začetkom panela ter končnimi ocenami, ki jih je bilo potrebno podati na koncu ocenjevalnega panela. Ocenjevalci so se ne-prestano spraševali zakaj morajo ponovno podati ocene, če so ocene predhodno že podali. Z razlago, da je pred tem šlo predvsem za orientacijske ocene, ki jih je potrebno natančneje definirati na podlagi panelne razprave, se niso strinjali. Zaradi narave panela je na koncu prišlo do pogajanj o ocenah, te pa so se razlikovale od predhodnih pisnih ocen.

Rezultati

V povezavi z rangiranjem in ocenjevanjem je bilo med ocenjevalnimi paneli, pa tudi pred tem in kasneje, veliko razprav in polemik. Metodologija za ocenjevanje in tudi navodila vodjem panelov s strani ARRS so zahtevale, da je rezultat panela poleg ocen tudi rangiranje programskih skupin v posameznem panelu, od najboljše do najslabše. Zaradi nejasnosti v zvezi s pomenom ocen, so se le te med posameznimi paneli zelo razlikovale. V nekaterih primerih med ocenami skorajda ni bilo razlik, v takšnih primerih je bila povprečna ocena panela visoka, pri drugih panelih pa so bile razlike v ocenah med posameznimi skupinami večje. Takšno ocenjevanje seveda ni omogočilo primerljivosti med paneli. Problemi so nastopili predvsem tam, kjer je bilo potrebno med seboj primerjati panele istih področij. Ker je bilo v tokratni metodologiji predvideno, da bo posa-

mezni programski skupini obdobje do naslednje evalvacije in s tem naslednje pogodbeno obdobje za financiranje programa dodeljeno predvsem na podlagi njene uvrstitve na rang lestvici v panelu, je bilo pričakovati, da bo dolžina evalvacijskega obdobja za posamezno programsko skupino določena le na podlagi rangov znotraj posameznih področij (npr. znotraj geologije), področno stalno strokovno telo pa bo tisto, ki bo predlagalo dolžino pogodbenega obdobja. To je strokovno telo za naravoslovje in matematiko tudi storilo, za vse programske skupine znotraj vede je predlagalo bodisi šestletno bodisi petletno financiranje, tako tudi za geologijo. Temu sklepu nihče od prisotnih članov sveta ni nasprotoval.

Žal so kasnejše odločitve znanstvenega sveta ARRS in upravnega odbora vse te predloge negirale in spremenile. Navkljub temu, da je v stalnem strokovnem svetu za naravoslovje in matematiko večina članov zastopala stališče, da so posamezna področja med seboj neprimerljiva, znanstveni svet ARRS tega stališča ni sprejel. Odločil se je drugače in programske skupine znotraj ved (npr. naravoslovja in matematike) primerjal med seboj in jih na podlagi teh primerjav tudi razvrstil in jim dodelil dolžino pogodbenega obdobja. Ker na podlagi rezultatov panelov primerjav ni bilo mogoče izvesti, je evalvacijo ponovno izvedel sam. Na tem mestu bi lahko navedli številne polemične članke iz najvišje rangiranih revij, kot sta Nature in Science, da je takšno primerjanje posameznih področij znanstvenih raziskav nedopustno, da za posamezna področja veljajo določene značilnosti, kar je potrebno upoštevati. Tako na nekaterih poročjih prevladujejo objave v knjigah, na drugih objave v kratkih znanstvenih člankih, drugod v daljših, odzivnosti na članke so krajše ali daljše in še bi lahko naštevali razlike in značilnosti. Žal pa prav objave v teh visokorangiranih revijah kažejo, da v ustvarjanju talilnega lonca znanosti, ko posamezna področja dominirajo nad drugimi, Slovenija ni nobena izjema in da prav pri tem uspešno sledi svetovnim trendom.

V trenutku pisanja prispevka v prvi polovici decembra 2008 uradni rezultati ocenjevalnega postopka še niso na voljo, kljub temu pa lahko ugotovimo, da se je področje geologije v primerjavi z ostalimi področji vede naravoslovja in matematike odrezalo zelo slabo, najslabše. Rezultati so porazni, dve programske skupini sta pridobili evalvacijsko obdobje štirih let in tri skupine treh let. Sprva pa je kazalo še slabše. Ocenjevalni panel za področje geologije, ki je potekal v skladu z vsemi pravnimi dokumenti, ki ta postopek ureja, jo in v skladu z internimi navodili ARRS, je podal ocene posameznih programskih skupin in jih rangiral. Za te ocene je podal tudi pisne utemeljitve in predloge. Znanstveni svet ARRS pa je vse te ocene in postopke negiral. Iz odločitve, ki jo je sprejel znanstveni svet ARRS lahko razberemo, da ocene in rangi panela niso bili upoštevani. Iz poteka dogodkov lahko vidimo, da je znanstveni svet izvedel svojo presojo in vrednotenje, pri čemer je upošteval le določene vidike kvantitativnih ocen. Vse programske skupine v geologiji

je zmetal v isti koš in celotno področje ovrednotil kot najslabše področje znotraj naravoslovja in matematike. V primerjavi z ostalimi, kjer so nekatera področja v celoti pridobila šestletno financiranje, lahko to razumemo kot izrazito in namerno depriviligiranje celotnega področja geologije. Na to ne moremo pristati. Argumenti za takšno odločitev znanstvenega sveta ARRS niso bili podani nikjer; brez analiz, brez primerjav in presoje, ki bi bile dostopne več kot zgolj peščici. Prepričani smo lahko, da bi drugačen vatel podal drugačne rezultate. Izid ocenjevalnega obdobja je tudi izrazil negativen signal raziskovalcem v boljših programskih skupinah znotraj geologije. Trendi objav in ostalih znanstveno raziskovalnih rezultatov na področju geologije so v zadnjih letih izrazito pozitivni in so na področju naravoslovja in matematike najvišji, to ugotavlja tudi ARRS v svojih dokumentih. Tudi parametri družbene relevance so med najvišjimi v vedi. In rezultat teh naporov? Takšen izid ocenjevanja je tudi v celoti negiral ves ocenjevalni postopek, ocene in rangi, ki so bili rezultat tega ocenjevalnega postopka, pa so se izkazali za povsem nerelevantne in nepotrebne. Zakaj so se raziskovalci ukvarjali z ocenjevanjem, zakaj smo predlagali dopolnitve metodologij za ocenjevanje, zakaj smo angažirali domače in tuje recenzente, zakaj smo organizirali panele? Kot član stalnega strokovnega telesa sem v vmesnem obdobju nekatera od teh vprašanj zastavljal članom različnih strokovnih teles, ki so odločala o dodelitvi dolžine pogodbenega obdobja. Odgovore, ki so bil vedno izrečeni neformalno, bom zamolčal. Ugotovim lahko le, da so področja slovenske znanosti podvržena medsebojni kompetitivnosti in ne le kompetitivnosti znotraj posameznega področja, kot bi bilo smiselno in spremenljivo, ter predvsem argumentom moči močnejših področij.

Sklep

Ocenjevalno obdobje je za nami. Rezultatov tega procesa verjetno ne moremo več spremeniti. Čeprav gre za zelo grenak priokus, se na tem mestu ne smemo ustaviti. V celoti je geologija vendarle zadržala enak obseg financiranja, kot v predhodnem obdobju. Z delom je potrebno nadaljevati, potrebno je izvesti resen razmislek, analizirati pretekle rezultate in postaviti jasno vizijo in načrte za delo v naprej. Zavedati se je potrebno, da so finančni viri za znanstvene raziskave na področju geologije v Sloveniji ogroženi. Slovenska geologija se mora še bolj kot doslej prilagoditi zahtevam, ki jih narokujejo svetovni trendi, žal prav tako tudi nekatera močnejša področja znanosti. Hkrati s tem pa je potreben tudi širši angažma raziskovalcev pri sprejemanju odločitev v znanstveni politiki. Zgolj sodelovanje dveh ali treh ljudi ni dovolj.

Slovenska geologija mora slediti trendom razvoja geološke znanosti, ki veljajo v svetu. Stremeti moramo k temu, da bomo vsaj primerljivi ali morda celo boljši od drugih geologov po svetu. Naši cilji morajo biti visoki. Danes se vsi zavedamo, da veljajo predvsem objave, ki imajo odmev v mednarodnem prostoru. Toda pri tem je vendarle potrebno upoštevati značilnosti posameznega znanstvenega področja vede in nesporno je, da se že področja znotraj geologije, kaj šele naravoslovja, med seboj zelo razlikujejo.

Programsko financiranje geoloških raziskav je za razvoj geologije ključno. Obseg tega financiranja je potrebno ohraniti. Da pa bi to dosegli se moramo bolj angažirati, poiskati notranje rezerve, če jih je sploh kaj, poiskati zunanje rezerve, predvsem pa moramo spremeniti in dopolniti nekatere vsebine programov. Svojo kvaliteto moramo dokazovati z rezultati, a tudi s stalno prisotnostjo na različnih družbenih ravneh.

Navodila avtorjem

GEOLOGIJA objavlja znanstvene in strokovne članke s področja geologije in sorodnih ved. Revija od leta 2000 izhaja dvakrat letno v obsegu 30 avtorskih pol. Vse prispevke recenzirajo domači ali tuji strokovnjaki s področja, ki ga prispevek obravnava. Avtorji so dolžni pisno mnenje recenzentov upoštevati, ter svoje prispevke po potrebi tudi dopolniti.

Avtorstvo: Za izvirnost podatkov, predvsem pa mnenj, idej, sklepov in za citirano literaturo so odgovorni avtorji. Z objavo v Geologiji se tudi obvežejo, da ne bodo drugje objavili istega prispevka.

Jezik: Članki so lahko napisani v slovenskem ali angleškem jeziku, vsi pa morajo imeti slovenski in angleški izvleček. Za prevod poskrbijo avtorji prispevkov sami.

Vrste prispevkov:

Izvirni znanstveni članek

Izvirni znanstveni članek je samo prva objava originalnih raziskovalnih rezultatov v takšni obliki, da se raziskava lahko ponovi, ugotovitve pa preverijo. Praviloma je organiziran po shemi IMRAD (Introduction, Methods, Results, And Discussion).

Pregledni znanstveni članek

Pregledni znanstveni članek je pregled najnovejših del o določenem predmetnem področju, del posameznega raziskovalca ali skupine raziskovalcev z namenom povzemanja, analiziranja, evalviranja ali sintetiziranja informacij, ki so že bile objavljene. Prinaša nove sinteze, ki vključujejo tudi rezultate lastnega raziskovanja avtorja.

Strokovni članek

Strokovni članek je predstavitev že znanega, s poudarkom na uporabnosti rezultatov izvirnih raziskav in širjenju znanja.

Diskusija in polemika

Prispevek, v katerem avtor ocenjuje ali dokazuje pravilnost nekega dela, objavljenega v Geologiji ali z avtorjem strokovno polemizira.

Recenzija, prikaz knjige

Prispevek, v katerem avtor predstavlja vsebino nove knjige s področja geologije.

Oblika prispevka: Besedilo naj bo napisano na listih formata A4 z dvojnimi presledki, da je dovolj prostora za popravke in pripombe recenzentov. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Prispevki naj praviloma ne bodo daljši od 25 strani formata A4, v kar so vštete tudi slike, tabele in table. Le v izjemnih primerih je možno, ob predhodnem dogovoru z uredništvom, tiskati tudi daljše prispevke.

Prispevke oddajte uredništvu v enem tiskanem izvodu, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki po naslednjem sistemu:

- *Naslov prispevka* (tudi v tujem jeziku)
- *Avtor /avtorji*
- *Ključne besede in Key words*
- *Izvleček in Abstract*
- *Tekst*
- *Reference*
- *slike, tabele in table*

Naslovi prispevkov naj bodo kratki in naj praviloma ne presegajo 12 besed. Poleg polnega imena in priimka naj podajo avtorji tudi svoj naslov in e-pošto. Vsebine oziroma kazala pri normalno dolgih prispevkih ne objavljamo, zaželeno pa niso niti opombe na dnu strani.

Citiranje: V literaturi naj avtorji prispevkov praviloma upoštevajo le tiskane vire. Rokopise naj navajajo le v izjemnih primerih z navedbo, kjer so shranjeni. V seznamu literature navajajte samo v prispevku omenjena dela. Med besedilom prispevka citirajte samo avtorjev priimek z inicialko njegovega imena, v oklepaju pa navajajte letnico izida navedenega dela in po potrebi tudi stran. Če navajate delo dveh avtorjev, izpišite med tekstom prispevka oba priimka (npr. PLENIČAR & BUSER, 1967), pri treh ali več avtorjih pa napišite samo prvo ime in dodajte et al. z letnico (npr. MLAKAR et al., 1992). Literaturo navajajte po abecednem redu avtorjev.

Imena fosilov (rod in vrsto) pišite poševno. Pri citiranju rodov in vrst oziroma višjih taksonomskih enotah se imena avtorjev le teh pišejo normalno, npr. *Apricardia pachiniana* Sirna.

Primeri citiranja članka:

- MALI, N., URBANC, J. & LEIS, A. 2007: Tracing of water movement through the unsaturated zone of a coarse gravel aquifer by means of dye and deuterated water. *Environ. Geol.*, (Berlin) 51/8: 1401–1412.
- PLENIČAR, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest–Komen Plateau). *Geologija* (Ljubljana) 35: 65–68.
- TURNŠEK, D. & DROBNE, K. 1998: Paleocene corals from the northern Adriatic platform. In: HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (eds.): *Paleogene Shallow Benthos of the Tethys*. Dela SAZU, IV. Raza (Ljubljana) 34 (2): 129–154, incl. 10 pls.

Primer citirane knjige:

- FLÜGEL, E. 2004: *Mikrofacies of Carbonate Rocks*. Springer Verlag (Berlin): 1–976, cd-rom.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, LJ. 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote – Kredne in paleogenske kamnine 1 : 50.000. [Geological map of the southern part of the Trieste–Komen plateau – Cretaceous and Paleogene carbonate rocks]. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana): 1–143, incl. 23 pls, 1 geol. map.

Slike, tabele in table: Slike (ilustracije in fotografije), tabele in table morajo biti zaporedno oštevilčene in označene kot sl. 1, sl. 2 itd., narejene v računalniškem programu (MS Excel, Word ali CorelDRAW), oddane v formatu TIFF, JPG ali EPS z ločljivostjo 300 dpi. Le izjemno je možno objaviti tudi barvne slike, vendar samo po predhodnem dogovoru z uredništvom. Obvezno je treba upoštevati zrcalo revije **172 x 259 mm**. Revija bo od leta 2008 po sklepu uredniškega odbora izhajala v A4 formatu z dvokolonskim tiskom. Večjih

formatov od omenjenega zrcala GEOLOGIJE ne tiskamo na zgib, je pa možno, da večje oziroma daljše slike natisnemo na dveh straneh (skupaj na levi in desni strani) z vmesnim »rezom«. Slike obeležite s številkami. V besedilu prispevka morate omeniti vsako sliko po številčnem vrstnem redu. Dovoljenja za objavo slikovnega gradiva iz drugih revij publikacij in knjig si pridobijo avtorji sami. Table pripravite v formatu zrcala naše revije.

Podnaslove k slikam, tabelam in tablam, ki morajo biti napisani v obeh jezikih, avtorji priložijo na posebnih listih enega pod drugim. Zato teh podnaslovov ne pišete med besedilom prispevka. Podnaslovi naj bodo po možnosti čim krajši.

Korekture: Te opravijo avtorji prispevkov, ki pa lahko popravijo samo tiskarske napake. Krajši dodatki ali spremembe pri korekturah so možne samo na avtorjeve stroške.

Pošiljanje prispevkov: Uredništvo sprejema prispevke do vključno 1. marca za prvo številko in najkasneje do 1. septembra za drugo številko v tekočem letu in se obveže, da bodo le-ti tiskani v tekočem letu, v kolikor bodo avtorji upoštevali pripombe recenzentov.

Avtorji prejmejo 25 separatov brezplačno, sicer pa so prispevki dostopni tudi na internetnih straneh <http://www.geologija-revija.si>.

Avtorje prosimo, da prispevke pošiljajo na naslov uredništva:

GEOLOGIJA
Geološki zavod Slovenije
Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana ali
urednik@geologija-revija.si

Uredništvo Geologije

Instructions for contributors

GEOLOGIJA publishes research and professional papers covering all aspects of geology and related sciences. The journal is issued from 2000 on twice a year in an extent of 30 authorial sheets (240 printed pages). All contributions are reviewed by Slovenian or foreign experts from the field treated by the paper. Authors are obliged to take into account their written reviews, and complete accordingly the contribution, if necessary.

Authorship: Authors are responsible for the originality of data, and especially for opinions, ideas, conclusions and the cited references. By publishing in *Geologija*, they are in addition obliged not to publish the same contribution elsewhere.

Language: Papers may be written in Slovenian or English, and all must contain an abstract in Slovenian and in English. The translation is at care of the authors.

Kinds of contributions:

Original scientific article

An original scientific article is only the first publication of original research results in such a form that the research could be repeated and the findings verified. As a rule it should be organized according to the IMRAD scheme (Introduction, Methods, Results, And Discussion).

Review scientific article

A review scientific article is a review of the latest works on a given field, of works of an individual researcher, or of a research group with the aim of summarizing, analyzing, evaluating or synthesizing the already published informations. It contains new syntheses that include also results of the author's own research.

Professional article

A professional article is a presentation of already known material with emphasis on the use of results of original research and on the propagation of knowledge.

Discussion and polemics

A contribution in which the author evaluates or demonstrates the correctness of a contribution that was published in *Geologija*, or in which he/she competently polemizes with the author.

Book review

A contribution in which the contents of a book from the field of geology are presented.

Format of contribution: The manuscript should be written on A4 size pages with double spacing to allow enough space for corrections and comments of reviewers. The contribution should be preferably edited on a Microsoft Word word processor. As a rule contributions should not be longer than 25 A4 size pages comprising also figures, tables and plates. Longer contributions can be submitted only exceptionally after a previous agreement with the Editor.

Contributions should be submitted to the Editorial Board in a hard copy including all figures and tables, and in an identical copy in electronic form according to the following system:

- *Title of contribution* (also in foreign language)
- *Author/s*
- *Key words*
- *Abstract*
- *Text*
- *References*
- *Figures, tables and plates*

Titles of contributions should be short, as a rule not longer than 12 words. In addition to their full given name and surname the authors should indicate also their address and electronic mail address. Tables of contents with normal sized contributions are not published, and also footnotes are discouraged.

Referencing: References should contain as a rule only printed sources. Manuscript sources could be cited only exceptionally with the information on where they are available. The references cited

in the text should be given in the reference list and vice versa. In the text only the surname of the author(s) with initial of the name should be cited, followed in parentheses by the year of publication and, if necessary, also the page. When citing a publication by two authors, in the text both authors' surnames should be given (e.g. PLENIČAR & BUSER, 1967), and in case of three and more authors only the first author's surname followed by et al. and the year (e.g. MLAKAR et al., 1992). The reference list should be arranged in alphabetical order of first authors. Names of fossils (genus and species) should be italicised. Authors' names in citing fossils should be written in normal type, e.g. *Apricardia pachiniana* Sirna.

References cited should follow the examples shown below:

- MALI, N., URBANC, J. & LEIS, A. 2007: Tracing of water movement through the unsaturated zone of a coarse gravel aquifer by means of dye and deuterated water. *Environ. Geol.*, (Berlin) 51/8: 1401–1412.
- PLENIČAR, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest–Komen Plateau). *Geologija* (Ljubljana) 35: 65–68.
- TURNŠEK, D. & DROBNE, K. 1998: Paleocene corals from the northern Adriatic platform. In: HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (eds.): *Paleogene Shallow Benthos of the Tethys*. Dela SAZU, IV. Razreda (Ljubljana) 34 (2): 129–154, incl. 10 pls.

Examples of book references:

- FLÜGEL, E. 2004: *Mikrofacies of Carbonate Rocks*. Springer Verlag (Berlin): 1–976, cd-rom.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, LJ. 1996: *Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote – Kredne in paleogenske kamnine 1 : 50.000*. [Geological map of the southern part of the Trieste–Komen plateau – Cretaceous and Paleogene carbonate rocks]. *Geološki zavod Slovenije* (Ljubljana): 1–143, incl. 23 pls, 1 geol. map.

Figures, Tables and Plates: Figures (illustrations and photographs), tables and plates should be numbered consecutively and marked as fig. 1, fig. 2. etc. They should be produced with a suitable

computer program (MS Excel, Word, CorelDraw the like), and submitted digitally in the TIFF, JPG or EPS format with 300 dpi resolution. Color figures could be published only exceptionally, and in prior arrangement with the Editor. The **172 x 259 mm** journal page format must be obligatorily considered. According to the decision of Editorial Board from 2008 on the journal is being printed in two columns on an A4 page size. Figures on folding leafs of sizes larger than the mentioned GEOLOGIJA page size will not be printed, but figures larger or longer than that may be printed on two pages (on left and on right page) with a cut inbetween. Figures shall be marked by numbers. In the text each figure should be mentioned in the proper numerical order. Permissions for publishing pictorial material from other journals, publications and books should be arranged by the authors. Plates should be prepared in the journal's page size format.

Captions to figures, tables and plates, written in both languages, are supplied by author on separate pages and listed one below the other. Please, do not write captions in the text of the contribution. If possible, captions should be concise.

Proofreading: Page proofs should be read by the authors, but they ought to correct only printing errors. Shorter additions or modifications are possible only at the author's expense.

Offprints: Authors will receive 25 offprints free. The contributions are accessible also on the website <http://www.geologija-revija.si>.

Submitting of contributions: Editorial board is accepting the contributions to 1st March for the first issue, and to 1st September for the second issue of the year, and guarantees to publish them in the given year, provided they consider the reviewers' observations.

Authors are asked to send their contributions to the mail address:

GEOLOGIJA
Geološki zavod Slovenije
Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana,
or to the electronic address:
urednik@geologija-revija.si

Editorial Board of Geologija

GEOLOGIJA

št.: 51/2, 2008

www.geologija-revija.si

- 141 Brenčič, M.
Zgodovina hidrogeologije – Kratek oris življenja in dela Oskarja Smrekerja (1854–1935)
- 147 Celarc, B.
Karnijski boksitni horizont na Kopitovem griču pri Borovnici – ali je v njegovi talnini »pozabljena« stratigrafska vrzel?
- 153 Pleničar, M.
Paleogeografske rudistne podprovince Tetide v zgornji kredi v Sloveniji
- 161 Mikuž, V.
Serpulidni črv *Rotularia spirulaea* iz eocenskih plasti pri Gračišču v Istri, Hrvaška
- 169 Vreča, P., Krajcar Broniš, I., Leis, A. & Brenčič, M.
Isotopic composition of precipitation in Ljubljana (Slovenia)
- 181 †Buser, S. & Ogorelec, B.
Globljevodne triasne in jurske plasti na Kobli
- 191 Gale, L.
Lower Oligocene non-geniculate coralline red algal (Corallinales, Rhodophyta) assemblage from Poljšica pri Podnartu (Upper Carniola, Slovenia)
- 205 Placer, L.
Principles of the tectonic subdivision of Slovenia
- 219 Jež, J., Mikoš, M., Trajanova, M., Kumelj, Š., Budkovič, T. & Bavec, M.
Vršaj Koroška Bela – Rezultat pobočnih katastrofičnih dogodkov
- 229 Placer, L., Jež, J. & Atanackov, J.
Strukturni pogled na plaz Slano blato
- 235 Jemec, M. & Mikoš, M.
Pobočni masni premiki na satelitskih posnetkih SPOT: Primer območja Železnikov po vodni ujmi septembra 2007
- 245 Verbovšek, T.
Koeficienti prepustnosti razpok in matriksa v slovenskih karbonatnih vodonosnikih
- 257 Urbanc, J., Prestor, J. & Budkovič, T.
Možnost zajema pitne vode za potrebe mesta Ljubljane z drenažnim rovom na območju Krma



Geološki zavod Slovenije
Geological Survey of Slovenia

www.geo-zs.si

ISSN 0016-7789

