

GEOLOGIJA

2013 | št.: **56/2**



Geološki zavod Slovenije
Geological Survey of Slovenia

ISSN

Tiskana izdaja / Print edition: 0016-7789

Spletna izdaja / Online edition: 1854-620X

GEOLOGIJA

56/2 – 2013



GEOLOGIJA	2013	56/2	145-276	Ljubljana
------------------	-------------	-------------	----------------	------------------

GEOLOGIJA

ISSN 0016-7789

© Geološki zavod Slovenije

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 56/2 je bila sprejeta na seji Uredniškega odbora, dne 17. 12. 2013.

Manuscripts of the Volume 56/1 accepted by Editorial and Scientific Advisory Board on December 17, 2013.

Glavna in odgovorna urednica / Editor-in-Chief: MATEJA GOSAR

Tehnična urednica / Technical Editor: BERNARDA BOLE

Uredniški odbor / Editorial Board

DUNJA ALJINOVIČ

Rudarsko-geološki naftni fakultet, Zagreb

MIHAEL BRENČIČ

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

GIOVANNI B. CARULLI

Dip. di Sci. Geol., Amb. e Marine, Università di Trieste

KATICA DROBNE

Znanstveno Raziskovalni Center SAZU, Ljubljana

JADRAN FAGANELI

Nacionalni inštitut za biologijo, MBP, Piran

JANOS HAAS

Etvös Lorand University, Budapest

BOGDAN JURKOVŠEK

Geološki zavod Slovenije, Ljubljana

ROMAN KOCH

Institut für Paläontologie, Universität Erlangen-Nürnberg

MARKO KOMAC

Geološki zavod Slovenije, Ljubljana

HARALD LOBITZER

Geologische Bundesanstalt, Wien

RINALDO NICOLICH

University of Trieste, Dip. di Ingegneria Civile, Italy

SIMON PIRC

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

MARIO PLENIČAR

Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana

MIHAEL RIBIČIČ,

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

MILAN SUDAR

Faculty of Mining and Geology, Belgrade

MARKO ŠPARICA

Institut za geološka istraživanja, Zagreb

SAŠO ŠTURM

Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana

DRAGICA TURNŠEK

Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana

MIRAN VESELIČ

FGG in geodezijo, Univerza v Ljubljani

Častni člani / Honorary Members

MATIJA DROVENIK

Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana

DANILO RAVNIK

Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Naslov uredništva / Editorial Office: GEOLOGIJA Geološki zavod Slovenije /

Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

Tel.: +386 (01) 2809-700, Fax: +386 (01) 2809-753, e-mail: urednik@geologija-revija.si

URL: <http://www.geologija-revija.si/>

GEOLOGIJA izhaja dvakrat letno / GEOLOGIJA is published two times a year

GEOLOGIJA je na voljo tudi preko medknjižnične izmenjave publikacij /

GEOLOGIJA is available also on exchange basis



Izjava o etičnosti

Izdajatelj revije Geologija se zavedamo dejstva, da so se z naglim naraščanjem števila objav v svetovni znanstveni literaturi razmahnili tudi poskusi plagiatorstva, zlorab in prevar. Menimo, da je naša naloga, da se po svojih močeh borimo proti tem pojavom, zato v celoti sledimo etičnim smernicam in standardom, ki jih je razvil odbor COPE (Committee for Publication Ethics).

Publication Ethics Statement

As the publisher of Geologija, we are aware of the fact that with growing number of published titles also the problem of plagiarism, fraud and misconduct is becoming more severe in scientific publishing. We have, therefore, committed to support ethical publication and have fully endorsed the guidelines and standards developed by COPE (Committee on Publication Ethics).

Baze, v katerih je Geologija indeksirana / Indexation bases of Geologija: Directory of Open Access Journals,

GeoRef, Zoological Record, Geoscience e- Journals, EBSCOhost

Cena / Price

Posamezni izvod / Single Issue

Posameznik / Individual: 15 €

Institucija / Institutional: 25 €

Letna naročnina / Annual Subscription

Posameznik / Individual: 25 €

Institucija / Institutional: 40 €

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

Slika na naslovni strani: S cinabaritom bogato prepojena lumakela iz lupin brahiopoda *Discina*. Rudarsko ime za tovrstne rude je 'koralna ruda'. (ČAR, članek v tej številki, foto: Jani Peternelj)

Cover page: Cinnabar-rich lumachella of the brachiopod *Discinea*. The mining name for these types of ores is 'coral ore'. (ČAR, paper in this issue, photo: Jani Peternelj)

VSEBINA - CONTENTS

<i>Komac, M.</i> Uvodnik ob 60. obletnici revije Geologija	149
<i>Čar, J.</i> Ladinijske plasti skonca idrijskega rudišča (Z Slovenija)	151
Ladinian skonca beds of the Idrija Ore Deposit (W Slovenia)	
<i>Rožič, B., Gale, L. & Kolar-Jurkovšek, T.</i> Extent of the Upper Norian - Rhaetian Slatnik Formation in the Tolmin Nappe, eastern Southern Alps	175
Razširjenost zgornjenorijske do retijske Slatniške formacije v Tolminskem pokrovu, vzhodne Južne Alpe	
<i>Kralj, Po.</i> Submarine pyroclastic deposits in Tertiary basins, NE Slovenia	187
Podmorski piroklastični sedimenti terciarnih bazenov severovzhodne Slovenije	
<i>Mikuž, V. & Šoster, A.</i> Spodnjemiocenske ribe in želva iz Žvarulj pri Mlinšah (Centralna Paratetida)	199
Lower Miocene fishes and turtle from Žvarulje near Mlinše, Slovenia (Central Paratethys)	209
<i>Koceli, A., Kanduč, T. & Verbovšek, T.</i> Anorganski ogljikov cikel v sistemu tla-kamnina-podzemna voda v kraško-razpoklinskih vodonosnikih	219
Inorganic carbon cycle in soil-rock-groundwater system in karst and fissured aquifers	
<i>Ferjan Stanič, T., Brenčič, M. & Zupančič, N.</i> Heavy metal concentrations in soil in the vicinity of former ironworks in Spodnja Radovna, Slovenia	229
Vsebnosti težkih kovin v tleh na območju nekdanjih fužin v Spodnji Radovni, Slovenija	
<i>Teršič, T. & Gosar, M.</i> Earthworm casts as a sampling medium – a case study from highly contaminated Hg roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia)	243
Deževnikov iztrebki kot vzorčno sredstvo – primer uporabe na močno onesnaženem območju Hg žgalnice Pšenk (Idrijsko, Slovenija)	
<i>Rman, N.</i> Uporabnost učnega modela medzrnskega vodonosnika za izboljšanje poznavanja dinamike podzemne vode	257
How to use an educational sand-box model to enhance the knowledge groundwater dynamics	
Nove knjige	
<i>Jurkovšek, B., Cvetko Tešović, B. & Kolar-Jurkovšek, T.:</i> Geologija Krasa = Geology of Kras	265
Poročila	
<i>Rman, N., Prestor, J., Lapanje, A. & Rajver, D.:</i> Evropski geotermalni kongres, Pisa (Italija), 3. – 7. junij 2013	267
<i>Senegačnik, A.:</i> Predstavitev biltena Mineralne surovine	268
<i>Mencin, E.:</i> Poročilo Društva študentov geologije za študijsko leto 2012/2013	270

<i>Rokavec, D. & Šinigoj, J.:</i> Evropski informacijski sistem za podporo politike trajnostne Oskrbe z energijo in mineralnimi surovinami - EuroGeoSource	271
<i>Rman, N., Bedjanič, M., Gorjup Kavčič, M., Križnar, M., Brajkovič, R. & Šmuc, A.:</i> Okrogla miza o geologiji v osnovnošolskem, srednješolskem in neformalnem izobraževanju, 6. 12. 2013, Oddelek za geologijo, NTF	272
Nekrolog	
<i>Brenčič, M.</i> V spomin prof. dr. Rajku Pavlovcu	273
Navodila avtorjem	275
Instructions for authors	276

Uvodnik ob 60. obletnici revije Geologija

Spoštovana bralka, cenjeni bralec.

V veliko zadovoljstvo in ponos mi je pisati ta uvodnik, ki ga pravkar berete. Periodična znanstvena revija Geologija, revija ki je več generacij slovenskih in jugoslovanskih geologov učila bogatih spoznanj stroke ter nam odkrivala skrivnosti naših kolegov, praznuje letos svoj šestdeseti (60.!) rojstni dan.

Tako kot vsaka revija, ki je doživela tako častitljivo starost, je tudi Geologija tekom svojega obstoja doživljala več evolucij, uredniško, avtorsko, vsebinsko, oblikovno in tudi jezikovno. Od začetka izhajanja revije, davnega leta 1953, so se zvrstili štirje glavni in odgovorni uredniki, prof. Štefan Kolenko (1953–1982), prof. dr. Stanko Buser (1983–1997), izr. prof. dr. Bojan Ogorelec (1998–2009) in doc. dr. Mateja Gosar (2010–danes). V veliko pomoč glavnemu uredniku je Uredniški odbor, ki so ga do leta 1994 sestavljali domači, po tem letu pa tudi številni ugledni tuji strokovnjaki s področja geologije. Istega leta je bil razširjen tudi nabor domačih recenzentov razširjen s tujimi in tako postal mednarodni recenzentski odbor. V starejših letnikih revije so prevladovali prispevki v slovenskem, občasno tudi v nemškem in hrvaškem jeziku, v zadnjih petih letih pa se je tehničnica prevesila v prid prispevkom v angleškem jeziku, kar je sicer približalo prispevke iz Geologije širši množici izven naših meja, obenem pa okrnilo tradicijo skrbi za slovensko geološko izrazoslovje in njegov razvoj. Pred petimi leti je revija spremenila tudi svoj format na A4, s čimer smo privzeli standardno obliko večine znanstvenih revij. V šestdesetih letih je revija izhajala z različno periodiko. Med leti 1953 in 1977 ter 1983 in 1999 je revija Geologija izhajala enkrat, v obdobjih med 1978 in 1982 ter od 2000 do danes pa dvakrat letno. Skupaj je tako izšlo šestinpetdeset števil v triinšestdesetih zvezkih. Ob štiriinpetdeseti številki je izšel dodatek avtorja izr. prof. dr. Bojana Ogorelca, Mikrofacies mezozojskih karbonatnih kamnin Slovenije, ob štirideseti in petdeseti obletnici revije pa smo izdali kazalo s celotnim pregledom do takrat objavljenih prispevkov, ki ponuja pregled v zgodovino, razvoj in trende raziskav in pisane geološke besede v zadnjih desetletjih.

Podatek, da je v triinšestdesetih zvezkih več kot 600 avtorjev, od tega dobra tretjina tujih, predstavlja blizu 900 znanstvenih in okoli 300 strokovnih prispevkov, govori o popularnosti revije Geologija v geološki stroki, o njenem pomenu za slovenski prostor ter pomenu za razvoj in ohranjanje slovenskega geološkega izrazoslovja. Kljub podatku, da ostaja večidel avtorjev prispevkov v Geologiji iz domačih logov, pa se iz leta v leto povečuje število prispevkov, ki predstavljajo rezultate in dognanja, pridobljene v okviru raziskav mednarodnih ekip. Ta trend kaže na uspešno (so)delovanje slovenskih geologov v mednarodnem prostoru in učinkovito obojestransko izmenjavo znanja.

Na podlagi izmenjave medknjižničnega gradiva pošiljamo revijo Geologija na 189 tujih in štiriindvajset domačih naslovov. Da bi zagotovili čim širši dostop do prispevkov, objavljenih v reviji, smo leta 2008 prost dostop do njih omogočili preko spletnega portala (www.geologija-revija.si/), obenem pa uredili indeksiranje prispevkov iz Geologije v številnih mednarodnih bazah – *Directory of Open Access Journals* (DOAJ), *GeoRef*, *Zoological Record*, *Geoscience e-Journal*, COBISS in EBSCO. Večjo prepoznavnost in odmevnost prispevkov smo v letu 2011 dosegli s članstvom v mednarodnem združenju PILA (*Publishers International Linking Association*). Kot člani sistema *CrossRef* smo pridobili DOI – identifikator digitalnega objekta, katerega smo pripisali vsem člankom revije Geologija do vključno leta 1990 (trideseta številka). V prihodnje nas čaka še en, verjetno najpomembnejši izziv – vključitev v skupino revij z znanstvenim indeksiranjem citiranosti prispevkov (*Science Citation Index* – SCI), torej pridobitev mednarodno priznane ocene znanstvene kakovosti revije – *Impact Factor* (IF).

Morda bo kdo zamahnil z roko rekoč, da šest desetletij res ni veliko. A vendar, če pomislimo, da je cilj Geologije vseskozi ostalo, poleg prenosa znanja v strokovno javnost, tudi bogatenje slovenskega jezika z geološkimi pojmi in izrazi, da je večina prispevkov usmerjena v razumevanje zgradbe in zgodovine slovenskega ozemlja, in da je kot taka revija Geologija preživela vse vzpone in padce, vse tegobe anglikacije in globalizacije ter vse prisiljene primerjave z (ne)sorodnimi slovenskimi revijami iz drugih, po raznovrstnosti in bogatosti slovenskega besedišča neprimerljivih znanstvenih ved ali področij, si lahko brez kančka strahu in sramu čestitamo. V rokah namreč držite popoln empiričen dokaz o preživetju revije, ki simbolizira preživetje nekega majhnega znanstvenega področja v darvinistični raziskovalni pokrajini današnje družbe. Vsi, ki kakor koli pomagamo pri njenem vsakoletnem porodu si srčno želimo, da bi tudi v prihodnje našla lahko pot do bralčevih polic in da bi šelest njenih listov ob prebiranju nadobudnih in zadovoljnih bralcev še naprej bogatil čedalje večjo tišino v slovenskem jeziku osmišljenega naravoslovnega raziskovalnega prostora.

SREČNO!

doc. dr. Marko Komac

Ladinijske plasti skonca idrijskega rudišča (Z Slovenija)

Ladinian skonca beds of the Idrija Ore Deposit (W Slovenia)

Jože ČAR

Beblerjeva 4, SI-5280 Idrija; e-mail: joze.car@siol.net

Prejeto / Received 28. 10. 2013; Sprejeto / Accepted 21. 11. 2013

Ključne besede: idrijsko rudišče, plasti skonca, litologija, sedimentne cinabaritne rude, močvirsko - jezersko okolje
Key words: Idrija ore deposit, Skonca beds, lithology, sedimentary cinnabar ores, marsh-lacustrine environment

Izvleček

Bogato orudene plasti skonca (der Lagerschiefer) so bile najpomembnejši rudni horizont idrijskega rudišča. V njih so se poleg epigenetskih nahajale izjemne količine različnih bogatih singenetskih cinabaritnih rud. Jeklenka, opekovka, jetrenka, koralna ruda in nekatere druge cinabaritne plastnate rude so vsebovale tudi do 78 % Hg. Odkopavali so jih bolj ali manj intenzivno od njihovega odkritja leta 1508 do prenehanja del v idrijski jami leta 1977.

Plasti skonca najdemo v obliki večjih ali manjših nepravilnih lečastih telesih ali plasteh v vseh delih idrijskega rudišča. V predelu rudišča, ki ga imenujemo 'Talnina', so plasti skonca debele v povprečju le 4 m, drugod v rudišču od 10 do največ 25 m, le v območju tektonske enote Karóli, torej v najglobljem delu nekdanjega idrijskega srednjetriasnega tektonskega jarka, so dosegle debelino okoli 40 m.

Kamnine se v plasteh skonca združujejo v značilna zaporedja, ki so ključ za rekonstrukcijo sedimentacijskih okolij. Zaporedja smo označili z A, B, C in D. Zaporedje C delimo še na podzaporedji C₁ s karbonatno in C₂ s silikatno sestavo. Litološki členi zaporedja A predstavljajo običajno najnižji del skonca plasti, lahko pa so bočni ekvivalenti kamnin nizov B in podzaporedja C₁. Zaporedje A sestavljajo tu in tam prodnati različni karbonatno litičnega peščenjaka, apnenčevo dolomitnega meljevca ter mestoma prodnati meljasti mikritni in mikritni apnenec. V okviru zaporedja B, ki ga sestavljajo značilne prehodne kamnine med zaporedji A in C₁ najdemo meljasti apnenec s prehodi v kalcitni laporovec in glinavec.

Zaporedje C sestavljajo 'klasične' kamnine plasti skonca. Čeprav ima spodnji del niza C karbonatno sestavo (podzaporedje C₁) zgornji pa silikatno (podzaporedje C₂), kamnin na pogled ne moremo ločiti med seboj. Vse so močno bituminozne in skrilave. Niz C sestavljajo sivi do črni bituminozni, s piritom in markazitom bogati, dolomitni in kremenov peščenjak, dolomitni ali kremenov meljavec ter skrilavi glinavec s premoškimi vložki. Zaporedje kamnin C se konča z glinenčevo-litičnim kremenovim peščenjakom z lupinami brahiopoda *Discina*. Sledijo različne piroklastične kamnine zaporedja D, debele do 80 m.

V kamninah skonca, kot tudi v bogatih plastnatih cinabaritnih rudah, najdemo različne sedimentne teksture, ki nam dobro opredeljujejo dogodke in okolja njihovega nastanka. Razen erozijskih žlebov, ki so zapolnjeni z dolomitnim prodrom, drugih predsedimentacijskih tekstur v plasteh skonca ni (podzaporedje C₁). Pač pa so plasti bogate s sinsedimentnimi fizikalnimi oblikami, predvsem različni plastnatosti, laminacij in različnih oblik postopne zrnatosti. Od postsedimentacijskih tekstur naj omenimo bogastvo pogreznitvenih in drsnih tekstur. Ponekod opazujemo še bioturbacijo in nadomeščanje rastlinskih delcev s piritom.

Plasti skonca so se odlagale v prostorsko zapletenem močvirsko-lagunskem okolju. Kamnine zaporedja A in delno B so nastajale v bazično-oksidacijskem, litološki členi podzaporedja C₁ v redukcijem okolju. Hitri prehodi med kamninami kažejo na bočno ostro omejene dotočne kanale, počasno dotokajoče sveže sladke vode v močvirsko okolje bogato z nižjim rastlinjem. Kamnine podzaporedja C₂ dokazujejo preplavitev sladkovodnega močvirja z morskovo vodo. V plitvi, prav tako z nižjim rastlinjem porasli zaprti laguni, so se odlagali različni bituminozni skrilavi muljevci in peščenjakovi s številnimi radiolariji, iglicami silicijskih spongij in premoškimi vložki. Sedimentacija plasti skonca se zaključuje s kremenovim peščenjakom z naplavljenimi lupinami brahiopodov iz vrste *Discina*.

Abstract

The richly mineralised Skonca beds (der Lagerschiefer) were the most important mining level of the Idrija ore deposit. In addition to epigenetic ores, exceptional quantities of various rich syngenetic cinnabar ores could be found in these layers. »Jeklenka« (steel ore), »opekovka« (brick ore), »jetrenka« (liver ore), coral ore, and some other bedded cinnabar ores contained up to as much as 78 % Hg. These ores were excavated more or less intensively from their discovery in 1508 until the cessation of works in the Idrija Mine in 1977.

The Skonca beds can be found in all parts of the Idrija ore deposit in the form of large or small, irregular, lense-shaped bodies or layers. In the section of the ore deposit known as 'Talnina', the Skonca beds are on average only 4 m thick, and from 10 to maximally 25 m in other parts of the ore deposit. The greatest thickness of these beds, i.e. around 40 m, can be found in the area of the Karóli tectonic unit, situated in the deepest part of the former Idrija Middle Triassic tectonic fault trough.

The rocks in the Skonca beds are grouped in typical sequences, which represent a key for the reconstruction of sedimentary environments. The sequences are designated with the letters A, B, C and D. Sequence C is further

divided into subsequences C_1 with a carbonate and C_2 with a siliceous structure. The lithological units of sequence A usually represent the lowest part of the Skonca beds, and may be the lateral equivalents of rocks of series B and subsequence C_1 . Sequence A is comprised of dispersed, gravelly varieties of carbonatic lythic sandstone, limestone and dolomite siltstone, as well as intercalations of gravelly silty micritic limestone and micritic limestone. Sequence B consists of typical transitional rocks between sequences A and C_1 , among which silty limestone with transitions to calcitic marlstone and claystone can be found.

Sequence C is formed of 'classic' Skonca rock beds. Although the bottom part of sequence C has a carbonate structure (subsequence C_1) and the top part has a siliceous structure (subsequence C_2), the rocks cannot be distinguished from one another by their appearance. All are strongly bituminous and shaly. Sequence C is comprised of grey to black bituminous dolomite and quartz sandstone rich in pyrite and marcasite, dolomite or quartz siltstone, and shaly claystone with coal inclusions. The sequence of C rocks ends with clayey-lythic quartz sandstone containing remains of the brachiopod *Discina*. These are followed by various pyroclastic rocks of sequence D.

The Skonca beds and the rich bedded cinnabar ores have various sedimentary structures which accurately define the events and environments of their origin. Except for the erosion channels, which are filled with dolomite gravel, there are no other presedimentary structures in the Skonca beds (subsequence C_1). However, the beds are rich in synsedimentary physical forms, particularly various stratifications, laminations and various forms of graded bedding. Among the postsedimentary structures, mention should be made of the abundant sinking and slump structures. In some places, bioturbation and the replacement of organic particles with pyrite can be observed.

The Skonca beds were deposited in a spatially complex, marsh-lacustrine-lagoonal environment. The rocks of sequence A and partly also of sequence B were formed in an alkaline, oxygen-rich environment, and the lithological units of subsequence C_1 in a reductive environment. The rapid transitions among rocks indicate strictly limited and slow lateral inflows of fresh water into the marshy environment overgrown with low vegetation. The rocks in subsequence C_2 prove that the freshwater marsh was flooded with sea water. Deposited in the shallow, closed lagoon overgrown with low vegetation were various bituminous shales, mudstones and sandstones filled with numerous radiolarians and needles of siliceous sponges and coal intercalations. The sedimentation of the Skonca beds ends with quartz sandstone containing deposited remains of the brachiopod *Discina*. The Skonca beds cover a layer of various pyroclastic rocks that is up to 80 m thick.

Uvod

Idrijsko rudišče je po količini živega srebra za španskim Almadenom drugo največje živorosrebrovo rudišče na svetu. Je hidrotermalno-sedimentnega nastanka in slovi predvsem po edinstvenih sedimentnih cinabaritnih rudah. Sedimentne rude so bile v splošnem bogate ali zelo bogate in so vsebovale v povprečju od 5 do 60 %, izjemoma celo do 78 % živega srebra. Glede na njihovo barvo in sestavo so jih po idrijski rudarski tradiciji imenovali *jeklenka*, *opekovka*, *jetrenka* in *koralna ruda*. V idrijskem rudišču je bilo v 500-letni zgodovini izkopano in pridobljeno 147.000 ton živega srebra. Od tega je bilo po oceni kar 30 do 40 % tekočega metala pridobljeno iz sedimentnih rud. Sedimentne rude se nahajajo v bituminoznih kamninah z lokalnim imenom *plasti skonca*, ki so ladinijske starosti.

Kljub skorajda neprekinjenemu, bolj ali manj intenzivnemu odkopavanju plasti skonca od leta 1508 dalje vse do prenehanja del v rudniku leta 1977, so količine živega srebra v plasteh skonca v primerjavi s preostalimi količinami živega srebra v drugih kamninah idrijskega rudišča, še vedno sorazmerno velike. Sklenemo lahko, da so bile plasti skonca zaradi izrednega bogastva in izjemnih količin živega srebra nedvomno najpomembnejši rudni horizont idrijskega rudišča.

Plasti skonca in različne sedimentne cinabaritne rude doslej še niso bile v celoti in podrobneje opisane.

Zgodovinski podatki

Prvi pisni dokument o rudarjenju v Idriji je nastal avgusta 1493 in se nahaja v čedadskem arhivu. Iz njegove vsebine posredno izhaja, da so začeli v idrijski kotlini rudariti že nekaj let prej (VERBIČ, 1965), zato je leto 1490 kot leto odkritja

živega srebra in pričetka rudarjenja zelo verjetno in danes tudi splošno priznано (ČAR, 1988).

V prvih letih rudarjenja so v plitvih jaških odkopavali predvsem orudene karbonske klastične kamnine, ki ležijo na površju v osrednjem delu mesta, na mestnem predelu Kurji Vrh in na spodnjem delu pobočja Pronta. V karbonskih skrilavih glinavcih in meljevcih z lečami kremenovega peščenjaka se nahaja živo srebro v obliki kapljic samorodnega živega srebra (HgS) in minerala cinabarita (Hg) v razmerju približno 50:50. Skupni odstotek vsebnosti je bil – po kasnejših izkušnjah – od 0,3 do 1,5 % Hg. Na dan sv. Ahaca, 22. junija 1508, so pri poglobljanju jaška ob potoku Nikovi – kasneje so ga, glede na dan odkritja, poimenovali Ahacijev jašek – na globini približno 42 m naleteli na bogato cinabaritno orudjenje v črnih bituminoznih skrilavih kamninah, ki so jih v 18. stoletju imenovali 'črni glinasti skrilavec' ali 'idrijski skrilavec' (Idrianische Schiefer - FERBER, 1774) oziroma 'skrilava rudna plast' (HACQUET, 1781). V prvi polovici devetnajstega stoletja so uporabljali ime 'rudni skrilavec', kasneje se je uveljavilo ime 'skonca plasti' (Skonca-Schichten - LIPOLD, 1874). Zaradi izrednih količin bogate živorosrebrove rude so imeli rudarji plasti skonca upravičeno vse skozi za vodilni rudosnosni horizont.

O kamninah iz plasti skonca se je v skoraj dvestopetdesetih letih nabralo precej različnih podatkov. V prvi vrsti se nanašajo na litologijo, njihovo prostorsko lego, ostanke flore in favne ter orudjenje (SCOPOLI, 1761; HACQUET, 1781; FERBER, 1774; LIPOLD, 1874; KOSSMAT, 1899, 1910, 1911; KROPÁČ, 1912; MĽAKAR, 1967). V starejši literaturi najdemo tudi nekaj opomb o kemični sestavi (SCHRAUF, 1891; MĽAKAR, 1975) in petrografiji (BERCE, 1953; COLBERTALDO & SLAVIK, 1961). Nove poglede na sestavo, razvoj in orudjenje v 'klasičnih' plasteh skonca v idrijskem rudišču sta prispevala predvsem MĽAKAR & DROVENIK (1971) ter MĽAKAR (1975) in ČAR (1975, 1985).

Prostorska lega plasti skonca v današnji zgradbi idrijskega rudišča je bila dobro znana že v 19. stoletju. 'Rudni skrilavec' so na območju Pronta in južnega rudiščnega bloka (sl. 1 in 2) označevali kot 'Lager A', plasti skonca v severnem rudiščnem bloku pa kot 'Lager B, C in D', pod imenom 'Maria – Geburts – baue' so označevali skonca plasti v severnem delu območja 'Talnine' (sl. 1 in 2), (KOSSMAT, 1899, 1911; KROPÁČ, 1912).

Nedvomno so bile plasti skonca v idrijski petstoletni rudarski zgodovini od vseh srednjetriasnih kamnin idrijskega rudišča največkrat presekanе z rovi v celotni debelini. V sedemdesetih letih preteklega stoletja smo popolne preseke opazovali v različnih delih rudišča od I. do IX. obzorja. Posebej naj omenimo profile skozi plasti skonca na številnih etažah rudnega telesa Kropáč – Ziljska med II. medobzorjem in 17. etažo nad I. obzorjem. Najznačilnejše preseke plasti skonca iz tektonske enote Pront smo zbrali na sliki 3.

V zadnjem obdobju rednega delovanja idrijskega rudnika do leta 1977, so bili za litološko-sedimentološke raziskave še vedno vsaj delno dostopni vsi deli rudišča, kjer se plasti skonca nahajajo (sl. 2). Podatke o tem lahko razberemo iz obsežne dokumentacije detajlnega kartiranja v merilu 1:500 številnih sledilnih prog in odkopnih etaž, ki jih najdemo v arhivu geološke službe idrijskega rudnika (ČAR, 1985).

Idrijski srednjetriasn timeronski sistem z živosrebrovim rudiščem

Enotna permsko-spodnjetriasn timeronska karbonatna plošča (platforma - BUSER, 1989) je v srednjem aniziju v okviru *idrijske timeronske faze* (BUSER, 1980; ČAR, 1985) razpadla na tri paleogeografske enote. Na severu je ležala *Julijska karbonatna plošča*, na jugu *Dinarska karbonatna plošča*, vmes je nastal globljevodni *Slovenski bazen*, (COUSIN, 1973; BUSER, 1989). Idrijsko-rovtarsko ozemlje se je nahajalo na južni - Dinarski karbonatni plošči. Na obrobju nastajajočega oceana Meliata, je v nateznih razmerah na Dinarski karbonatni plošči, nastalo v obdobju zgornji anizij - ladinij več znotrajploščnih (intraplatformnih) *normalnih prelomnih snopov* (ČAR, 2010). V današnjih strukturnih razmerah so se na idrijsko-rovtarskem območju ohranili štirje s smerjo vzhod – zahod. Od severa proti jugu si sledijo *masorski, ledinski, zavraški in rudiščni snop* normalnih prelomov (ČAR, 2010). V njihovih osrednjih delih so lahko nastali *brazdasti jarki* (ČAR, 2010). Iz rudiščnega snopa je znan dobro raziskani *idrijski srednjetriasn timeronski sistem* (PLACER & ČAR, 1975, 1977; ČAR, 1985). V njegovem osrednjem delu je ležal *idrijski timeronski jarek* brazdastega tipa z živosrebrovim rudiščem (sl. 1), (MLAKAR, 1967; MLAKAR & DROVENIK, 1971; PLACER & ČAR, 1975, 1977; ČAR, 1975, 2010).

Pri nastajanju idrijskega srednjetriasn timeronskega sistema so se ob normalnih prelomih v času idrijske timeronske faze posamezni bloki spuščali hitreje kot drugi. Na zaostalih, relativno dvignjenih blokih, je prišlo do erozije, na vmesnih

spuščenihih blokih se je v času po *prvem erozijskem obdobju* na različno stare litostratigrafske člene usedal zgornjeanizijski dolomit (ČAR, 1985, 1989). V *drugem erozijskem obdobju* je bil zgornjeanizijski dolomit skoraj v celoti erodiran in nastalo je pisano zaporedje, predvsem klastičnih kamnin ladinijske starosti (ČAR, 1985, 2010), (sl. 1), ki so bile v idrijskem rudišču odložene na erodirane karbonske, srednje permske, spodnje in srednjetriasne litološke člene (sl. 1), (ČAR, 1985, 1989, 2010). Zaradi razgibane morfologije idrijskega srednjetriasn timeronskega sistema se debeline ladinijskih kamnin v različnih delih rudišča hitro spreminjajo ali pa celo manjkajo (ČAR, 1985). Proti koncu timeronske aktivnosti v okviru idrijske timeronske faze so se razmere postopno umirile in v idrijskem timeronskem sistemu so nastali pogoji za odlaganje *plasti skonca* (sl. 1).

Pri kasnejšem staroterciarnem gubanju in narivanju je bil idrijski srednjetriasn timeronski sistem z rudiščem močno deformiran. Preoblikovan je bil v poleglo sinklinalo, pri narivanju porinjen za 36 km proti jugozahodu in z zgornje in spodnje strani omejen z narivnimi ploskvami (PLACER, 1982). Srednje in poznomiocenska normalna in zmična tektonika je dokončno preoblikovala srednjetriasn timeronsko strukturo s Hg rudiščem v današnjo zapleteno zgradbo (PLACER, 1982), (sl. 2). Idrijski srednjetriasn timeronski sistem z živosrebrovim rudiščem se nahaja danes v okviru Trnovskega pokrova v zgradbi Zunanjih Dinardov (PLACER, 1982).

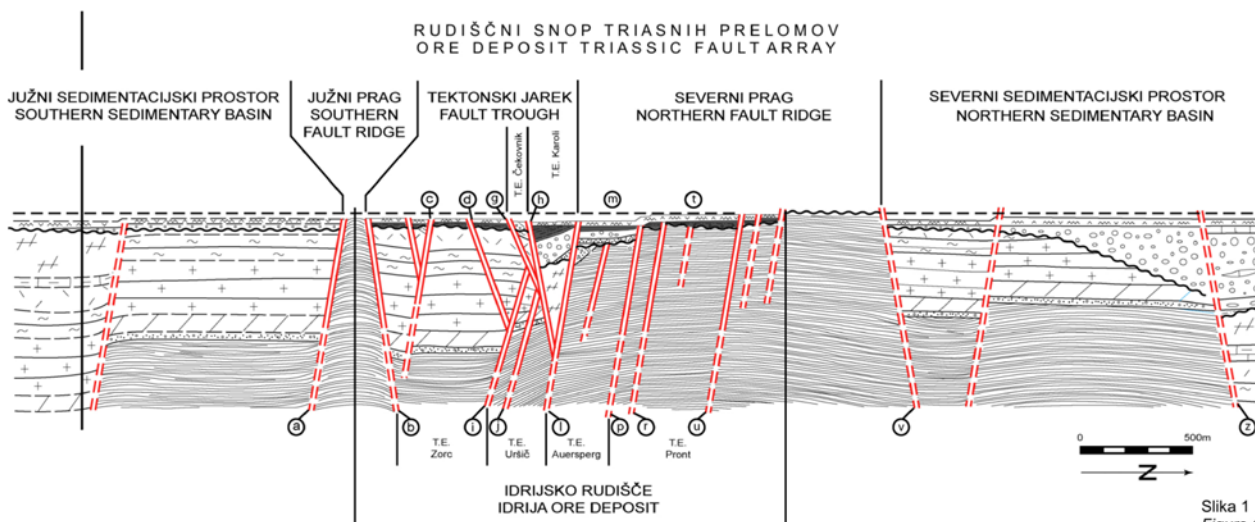
Prostorska lega in razčlenitev plasti skonca

Na Idrijskem imamo v okviru srednjetriasn timeronskih anizijsko-ladinijskih plasti razvita dva litološko zelo podobna horizonta. Tako imenovani 'spodnji horizont skonca' leži v podlagi več sto metrov debelega ladinijskega konglomerata, 'zgornji horizont skonca' pa konglomerate prekriva. V idrijskem rudišču je razvit samo zgornji horizont skonca, ki ga, ko govorimo o kamninah v rudišču, imenujemo krajše kar 'plasti skonca' in je bogato oruden (MLAKAR, 1967), (sl. 1).

V idrijskem srednjetriasn timeronskem sistemu so se plasti skonca odlagale na tektonski enoti Zorc in Čemernik v južnem delu rudiščne strukture, v tektonski enoti Karóli v osrednjem delu rudišča ter na tektonski enoti Auersperg in Pront na tako imenovanem severnem pragu (sl. 1), (PLACER & ČAR, 1975, 1977; ČAR, 1975, 1985). V današnji rudiščni zgradbi je prostorska lega plasti skonca zaradi postrudnih timeronskih dogajanj zelo zapletena (sl. 2), (PLACER, 1982). V 'Talnini', v nekdanji tektonski enoti Zorc (sl. 1 in 2), jih najdemo v obliki različno velikih in oblikovanihi leč, kot timeronsko večkrat prekinjen horizont se nahajajo v severnem in južnem bloku zgornje rudiščne zgradbe (timeronske enote Čemernik, Karóli, Auersperg in Pront - sl. 1 in 2). Plasti skonca so bile odložene na erodirane karbonske klastite, gródenski peščenjak, zgornjeskitske litološke člene, anizijski dolomit ali debeloklastične langobardske klastite.

Kot velja za vse ladinjske plasti v rudišču, se tudi debelina plasti skonca na različnih rudiščnih strukturnih blokkih zelo spreminja. Njihova debelina je v povprečju okoli 4 m, ponekod dosežejo debelino 10 m (MLAKAR, 1967). Na najsevernejšem delu T.E. Pronta plasti skonca niso bile odložene, v osrednjem in južnem delu ležijo na erodiranih karbonskih klastitih (sl. 1 in 3). V tistem delu

južnega rudiščnega bloka, ki je nekoč pripadal tektonski enoti Auersperg, ležijo plasti skonca na langobardskih klastitih in so debele od 15 do 25 m (sl. 1 in 2). Največjo debelino, okoli 40 m, dosežejo v severnem rudiščnem bloku in sicer v nekdanji tektonski enoti Karóli (MLAKAR, 1967; ČAR, 1985), (sl. 1 in 2). Debelina plasti skonca se torej giblje od 0 do 40 m (sl. 1 in 3), (ČAR, 1985,



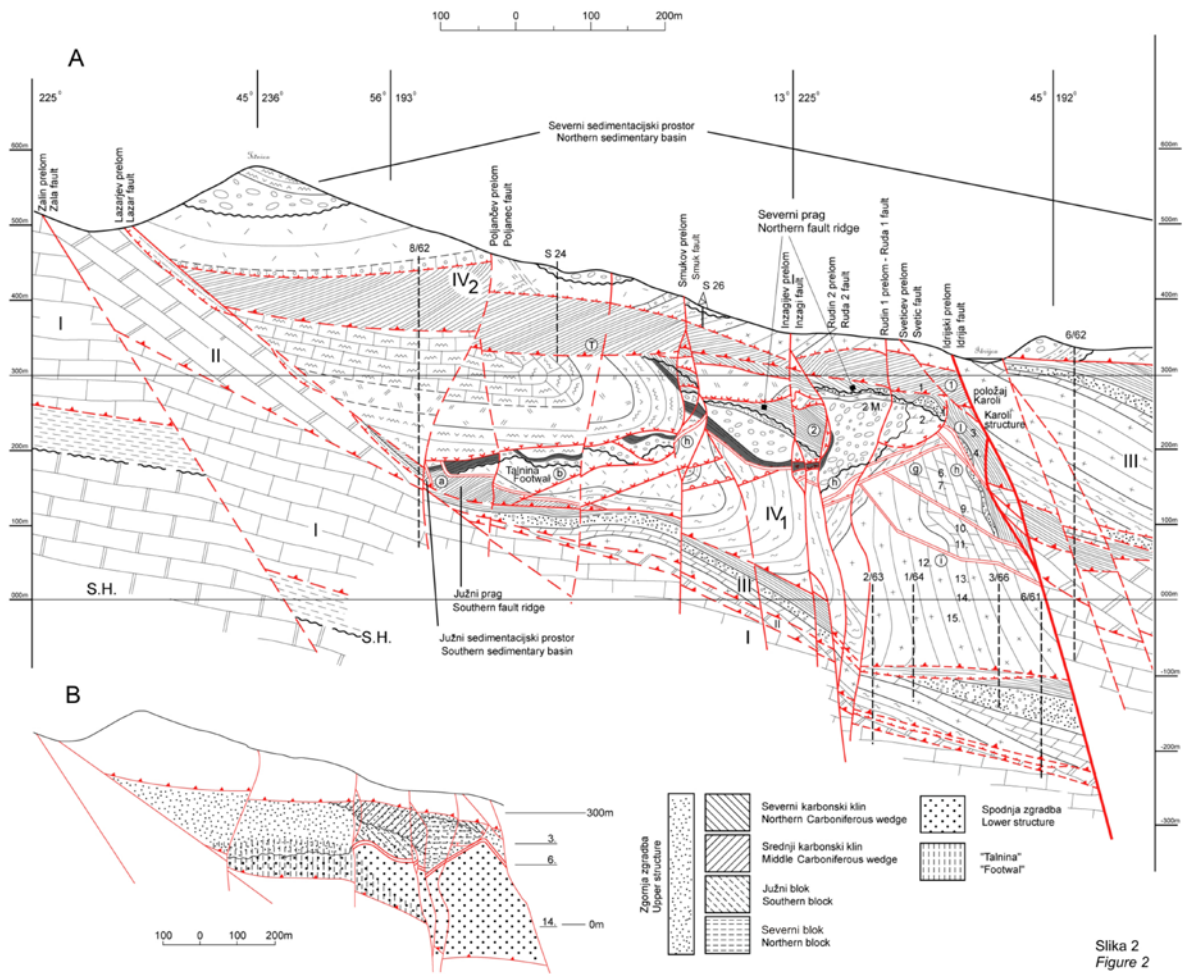
Slika 1
Figure 1

Legenda k sl. 1 in 2
Legend on Fig. 1 and 2

T T R I A S S I C	TERCIAR TERTIARY	Eocen Eocene	Fliš Flysch	T T R I A S S I C	SREDNJI MIDDLE	ANŽI ANSIVAN	Sivozelene kaolinine kamnine Greyish-green kaolinite rocks	
		Paleocen Paleocene					Sivi znatni dolomit Grey granular dolomite	
	KREDA CRETACEOUS	ZGORNJA UPPER	Svetlosivi do beli plastnati apnec Light-grey to white bedded or massive limestone			SREDNJI LOWER	OLENEKI OLENERIAN	Svetlosivi dolomit Light-grey dolomite
		SPODNJA LOWER	Temnosivi bituminozni tanko plastnati apnec Dark-grey bituminous thin bedded limestone					Temno sivi laporasti apnec Dark-grey marly limestone
	T T R I A S S I C	NORIJA NORIAN and RETIAN	Sivi plastnati dolomit Grey bedded dolomite			SKIT SCYTHIAN	INDU INDIAN	Sivi neplastnati znatni dolomit Greymassive granular dolomite
			Pisan kremenov konglomerat, peščenjak, meljevec in skrilavec Variegated quartz conglomerate, sandstone, siltstone and shaly claystone					Sivi oolitni apnec Grey oolitic limestone
		ZGORNJI UPPER	Črni do temnosivi plastnati apnec z roženci Black to dark-grey limestone with chert			ZGORNJI UPPER	Zelenkastosivi skrilavec, meljevec, peščenjak in leče sivoga oolitnega apnenca Greengreyish shale, siltstone, sandstone with lens of grey oolitic limestone	
		KARNI CARNIAN	Beli znatni neplastnati dolomit White crystalline massive dolomite				Sivi dolomit s stiloitskimi šivi, sivi znatni dolomit, sljudnati drobnoznatni peščenjak Grey dolomite with stylolites, greycrystalline dolomite, fine-grained micaceous sandstone	
		SPODNJI LOWER	Sivozelena tuf in tufit z roženci Greyish-green tuff and tuffite with chert			SPODNJI LOWER	Menjavanje temnosivega plastnatega dolomita s skrilavimi vložki Alternation of dark-grey bedded dolomite with shaly intercalation	
		LADNJI LADINIAN	Zgornji plasti skonca - črni bituminozni glinavec, meljevec in peščenjak Upper skonca beds - black bituminous shaly claystone, siltstone and sandstone				Gródenske plasti: sivi in rdeči kremenovi klastiti Val Gardena beds: grey and red clastic quartz rock	
SPODNJI LOWER	Sivi apnec z roženci Grey limestone with chert	KARBON CARBONIFEROUS	Temnosivi skrilavi glinavec, meljevec z lečami sivoga sljudnatega kremenovega peščenjaka Dark-grey shaly claystone, siltstone with lenses of grey micaceous quartz sandstone					
SPODNJI LOWER	Sivi debeloznatni do blokovni dolomitni konglomerat Grey coarse-granular to boulder dolomitic conglomerate							
SPODNJI LOWER	Spodnji plasti skonca - črni bituminozni skrilavi glinavec, meljevec in apnenčevo-dolomitni peščenjak Lower skonca beds: black bituminous shaly claystone, siltstone and calcareous-dolomitic sandstone							

Sl. 1. Zgradba idrijskega srednjetriasnega tektonskega sistema z vrisanimi plastmi skonca (temno sive). Prvi del legende k slikama 1 in 2

Fig. 1. Structure of the Idrija Middle Triassic tectonic system with designated Skonca beds (dark-grey). First part of legend to figures 1 and 2



Slika 2
Figure 2

Legenda k sl. 1 in 2
Legend on Fig. 1 and 2

**TRIASSNA TEKTONIKA
TRIASSIC TECTONICS**

- Vzdolžni prelom
Longitudinal fault
- ⓐ Zagodov prelom
Zagoda fault
- ⓑ Veharški prelom
Veharše fault
- ⓒ Talninski prelom
Talnina fault
- ⓓ Močnikov prelom
Močnik fault
- ⓖ Čemernikov prelom
Čemernik fault
- ⓗ Karoli prelom
Karoli fault
- ⓓ Grüberljev prelom
Grüberl fault
- ⓙ Bačnarjev prelom
Bačnar fault
- ⓞ Urbanec - Zovčanov prelom
Urbanec - Zovčan fault
- Ⓜ Guglerjev prelom
Gugler fault
- Ⓟ Auerspergov prelom
Auersperg fault
- Ⓡ Kropačev prelom
Kropač fault
- Ⓣ Zijski prelom
Zija fault
- Ⓤ Prontarski prelom
Pront fault
- Ⓥ Zajelški prelom
Zajele fault
- Ⓦ Ljubevški prelom
Ljubevc fault

**STAROTERCIARNA TEKTONIKA
EARLY TERTIARY TECTONICS**

- Meja pokrova in vmesne luske
Nappe and klippe boundary
- Ⓣ Meja tičenske narivne grude
Boundary of Tičnica sheet
- Narivna meja znotraj narivnih lusk
Thrust boundary in clippings
- Normalni prelom - 3. faza premikov
Normal fault - 3. phase of movement
- Normalni prelom - 2. faza premikov
Normal fault - 2. phase of movement
- Reverzni prelom - 1. faza premikov
Revers fault - 1. phase of movement
- Ⓣ Triasni prelomi, regenerirani
v različnih fazah gubarjanja rudišča
Triassic faults renewed during the phases
in the development of the ore deposit
- ① Ahacijev prelom
Ahaci fault
- ② Petrijev prelom
Petri fault
- IV₂ Tičenska notranja narivna gruda
Tičnica inner thrust sheet
- IV₁ Idrijska notranja narivna gruda
Idrija inner thrust sheet
- III Kanomeljska krovnna luska
Kanomija nappe slice
- II Čekovniška krovnna luska
Čekovnik nappe slice
- I Koševniška krovnna luska
Koševnik nappe slice
- S.H. Hrušiški pokrov
Hrušica nappe

**POSTMIOCENSKA TEKTONIKA
POST - MIOCENE TECTONICS**

- Idrijski prelom
Idrija fault
- Srednje močan do šibak desnozmčni prelom
Semistrong to weak dextral strike-slip fault
- Srednjetriasna erozijska diskordanca
Middle triassic erosional unconformity
- ▲ Vrtina
Borehole
- Obzorje
Level
- T.E. Tektonska enota
Tectonics unit
- Profil
Cross - sections

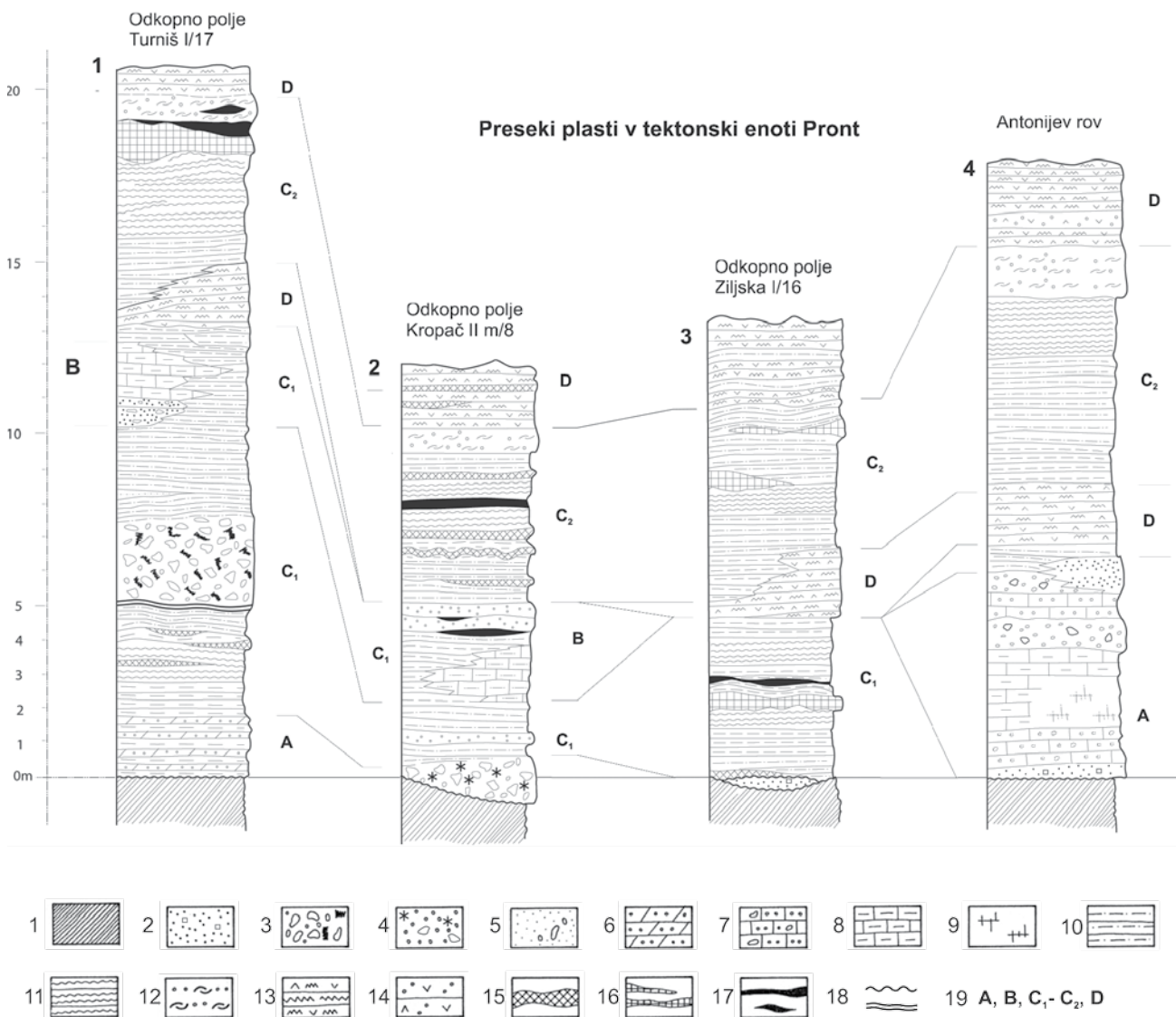
Sl. 2. Lega plasti skonca v današnjem preseku idrijskega rudišča. Drugi del legende k slikama 1 in 2

Fig. 2. Position of Skonca beds in a present-day section of the Idrija ore deposit. Second part of legend to figures 1 and 2

1989, 1990). V rudišču so nad skoncra plastmi odložene piroklastične kamnine ladinijske starosti (sl. 3 in 4).

Pri sedimentoloških raziskavah v sedemdesetih in osemdesetih letih preteklega stoletja smo ugotovili, da so plasti skoncra v idrijski jami mno-

go bolj pisano razvite, kot so menili starejši raziskovalci. Litološki členi se združujejo v značilna litološka zaporedja. Za lažje razpravljanje smo značilne litološko-sedimentološka zaporedja v plasteh skoncra označili s črkami A, B, C (C_1 - C_2) in D (sl. 3 in 4).



Sl. 3. Profili plasti skoncra v tektonski enoti Pront. 1. karbonski klastiti – skrilavi glinavci, meljevci in kremenovi peščenjaki; 2. kaolinitne kamnine bogate s piritom; 3. bituminozni dolomitni konglomerat in muljasti konglomerat; 4. dolomitni peščenjak, ponekod prodat; mestoma prepojen s samorodnim živim srebrom (zvezdice) 5. apnenčev dolomitni ali dolomitni apnenčev meljevec, ponekod prodat; 6. bituminozni dolomitni peščenjak in meljevec; 7. peščeni mikritni apnenec, ponekod prodat; 8. laporovec in laporasti apnenec; 9. meljasti mikritni apnenec in mikritni apnenec; 10. bituminozni dolomitni (C_1) ali kremenov (C_2) peščenjak; 11. skrilavi bituminozni dolomitni (C_1) ali kremenov (C_2) meljevec, skrilavi glinavec z vložki radiolarijskega roženca; 12. glinenčevo-litični kremenov peščenjak z ostanki lupin brahiopoda *Discina*; 13. piroklastiti z roženci; 14. tufski peščenjak; 15. plasti in leče pirita; 16. bogato orudenje – jeklenka; 17. leče premoga (antracita); 18. erozijska in drsna površina; 19. litološka zaporedja

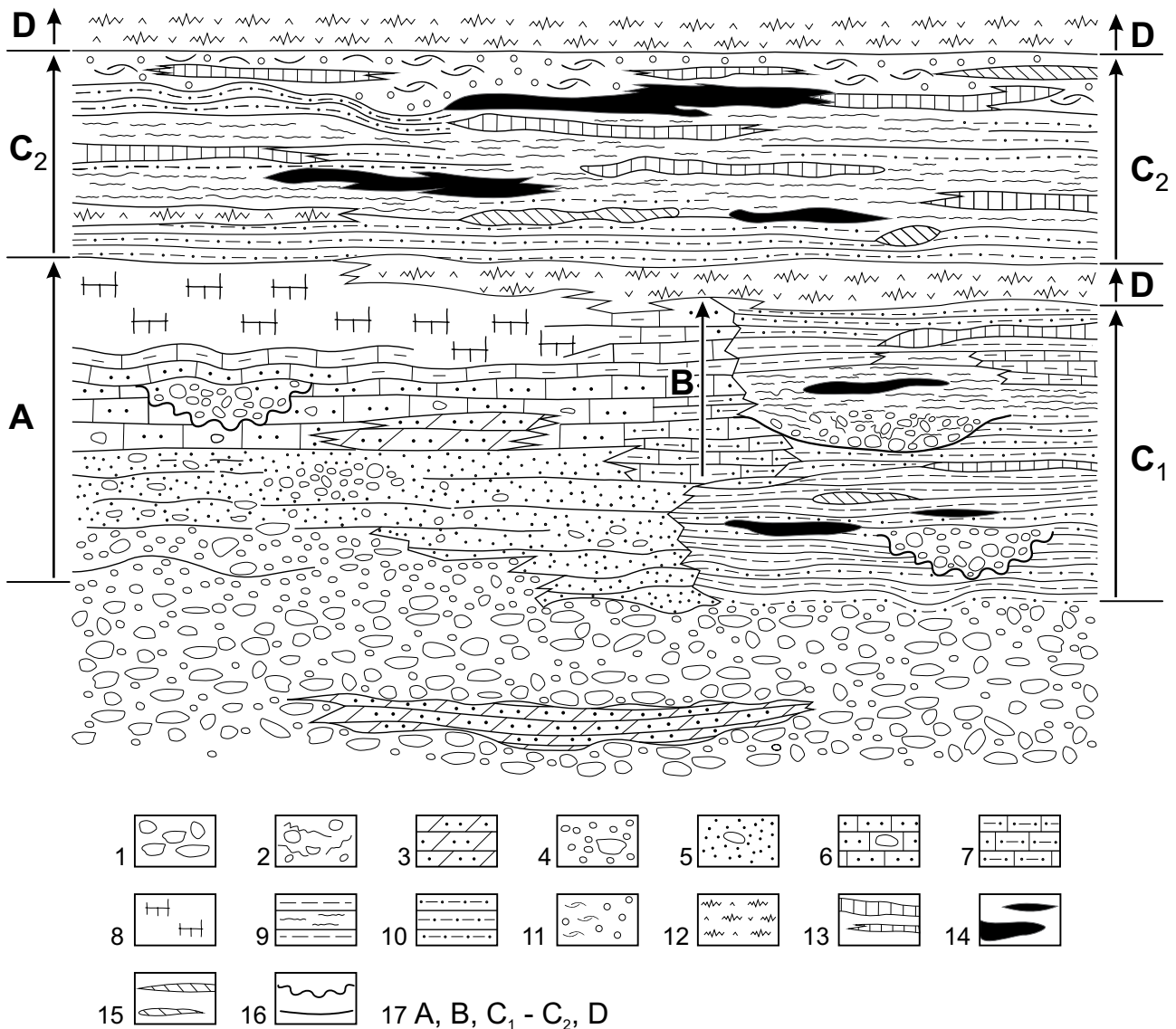
Fig. 3. Cross-sections of Skoncra beds in the Pront tectonic unit. 1. Carboniferous clastic rocks – shales, siltstones and quartz sandstones; 2. kaolinite rocks rich in pyrite; 3. bituminous dolomite conglomerate and paraconglomerate; 4. dolomite sandstone, pebbly in some parts; with of native mercury (stars) 5. calcareous dolomite or dolomitic calcareous siltstone, pebbly in some parts; 6. bituminous dolomitic sandstone and siltstone; 7. sandy micritic limestone, pebbly in some parts; 8. marlstone and marly limestone; 9. silty micritic limestone and micritic limestone; 10. bituminous dolomitic (C_1) or quartz (C_2) sandstone; 11. shaly bituminous dolomitic (C_1) or quartz (C_2) siltstone, clayey shale with inclusions of radiolarite; 12. feldspar-lythic quartz sandstone with remains of the brachiopod *Discina*; 13. pyroclastic rocks with chert; 14. tuffitic sandstone; 15. pyrite strata and lenses; 16. rich mineralisation – »jeklenka« or steel ore; 17. coal lenses (anthracite); 18. erosion and slide surface; 19. lithological sequences

Kamnine zaporedja A

K zaporedju A prištevamo različne pešcene in apnenčeve kamnine, ki jih starejši avtorji niso prištevali plastem skonca. Kot samostojno litostratigrafsko enoto jih je izločil MLAKAR (1967). Kamnine naj bi ležale na ladinijskem konglomeratu in predstavljale podlago plastem skonca. Na tabli 2 in 4A, ki sta jo objavila MLAKAR & DROVENIK (1971), naj bi apnenčev peščenjak in jednat

apnenec prehajala bočno v dolomitni konglomerat. Raziskave so pokazale, da ležijo različne kamnine niza A res največkrat v podlagi zaporedja C neposredno na dolomitnem konglomeratu. Lahko so tudi bočni ekvivalenti spodnjega karbonatnega dela zaporedja C, torej podzaporedja C₁, ali pa so vanj vključene. Na prehodu karbonatnih kamnin zaporedja A v podzaporedje C₁ so razviti členi zaporedja B (sl. 3 in 4).

Mlakar je leta 1967 podal kratek litološki



Sl. 4. Vertikalni in bočni prehodi med litološkimi zaporedji v plasteh skonca. 1. dolomitni konglomerat in gramozovec; 2. muljasti konglomerat ali muljasta breča; 3. bituminozni dolomitni peščenjak in meljevec; 4. dolomitni peščenjak, ponekod prodnat; 5. apnenčev dolomitni ali dolomitni apnenčev meljevec, ponekod prodnat; 6. peščeni in meljasti mikritni apnenec z redkimi prodniki; 7. meljasti in laporasti apnenec s prehodi v calcitni laporovec; 8. meljasti mikritni apnenec in mikritni apnenec; 9. skrilav bituminozni dolomitni (C₁) ali kremenov (C₂) meljevec in skrilavi glinavec; 10. bituminozni dolomitni (C₁) ali kremenov (C₂) peščenjak; 11. glinenčevo-litični kremenov peščenjak z ostanki lupin brahiopoda *Discina*; 12. piroklastiti z roženci; 13. plasti in leče zelo bogatih sedimentnih cinabaritnih rud; 14. leče premoga (antracit); 15. plasti in leče pirita; 16. erozijska in drsna površina; 17. litološka zaporedja

Fig. 4. Lithological sequences in the Skonca beds and their transitions. 1. dolomite conglomerate and gravel; 2. paraconglomerate or muddy breccia; 3. bituminous dolomite sandstone and siltstone; 4. dolomite sandstone, pebbly in some parts; 5. calcareous dolomitic or dolomitic calcareous siltstone, pebbly in some parts; 6. sandy and silty micritic limestone with rare pebbles; 7. silty and marly limestone with transitions to calcitic marlstone; 8. silty micritic limestone and micritic limestone; 9. shaly bituminous dolomitic (C₁) or quartz siltstone and clayey shale; 10. bituminous dolomitic (C₁) or quartz (C₂) sandstone; 11. feldspar-lythic quartz sandstone containing remains of the brachiopod *Discina*; 12. pyroclastic rocks with chert; 13. strata and lenses of very rich sedimentary cinnabar ores; 14. coal lenses (anthracite); 15. pyrite strata and lenses; 16. erosion and slide surface; 17. lithological sequences

opis kamnin zaporedja A, vendar petrografsko takrat niso bile raziskane. Podoben kratek opis istih kamnin najdemo tudi v razpravi MĹAKARJA in DROVENIKA (1971). Leta 1975 sta bili izdelani kemični analizi in mikroskopska pregleda dveh vzorcev apnenca iz plasti skonca (MĹAKAR, 1975). Prvi vzorec (št. 54) iz 'Talnine' IV. obzorja, je bil določen kot dismikritni apnenec, drugi (št. 42) nabran za slepim jaškom Logar na III. obzorju, kot peščeni apnenec z dolomitnimi ekstraklasti.

Kamnine zaporedja A so razvite na območju 'Talnine' (tektonaka enota Zorc in Čemernik) in južnem bloku rudišča (tektonska enota Auersperg in Pront), medtem ko jih v severnem bloku nismo našli (sl. 1 in 2). Odložene so bile v obliki različno velikih razpotegnjenih teles ali obsežnih leč. V južnem bloku rudišča (tektonska enota Auersperg) opazujemo do 8 m debela, približno 150 m dolga in do največ 70 m široka telesa (III. obzorje), (sl. 2). Na severni strani Auerspergovega preloma (sl. 1) so obravnavane kamnine razvite v nekoliko manjših lečastih telesih. Njihova največja dolžina je 80 m (17. etaža nad I. obzorjem), širina pa 50 m. Debelina običajno ne presega 4 m. Podobne dimenzije imajo tudi lečasto oblikovane kamnine zaporedja A v 'Talnini' (sl. 2).

Litološki različki peščeno-apnenčevih plasti zaporedja A so si po barvi med seboj zelo podobni. Največkrat jih lahko označimo kot srednje do temno sive včasih pa tudi temno zelenkasto sive.

Leta 1967 je MĹakar zapisal, da prehaja konglomerat postopno v drobnozrnat peščenjak z apnenčevim vezivom in sledovi rastlinskih ostankov (MĹAKAR, 1967). Z naraščanjem apnenčeve komponente prehaja peščenjak v peščeni apnenec, ki je v glavnem neplastnat in vsebuje tu in tam skrilave vložke. Pri kasnejših raziskavah smo k MĹakarjevemu litološkemu seznamu dodali še meljevec, laporovec, laporasti apnenec ter prehodne kamnine med naštetimi litološkimi različki (sl. 3 in 4). Prehodi med kamninami so ponavadi postopni in po sestavi zvezni. MĹAKAR (1967, 1969) omenja predvsem vertikalno zaporedje in sicer konglomerat, peščenjak z apnenčevim vezivom, apnenec s skrilavimi vložki. Vendar najdemo med peščenjakom in apnencem še bolj ali manj debele vložke meljevca in prehodnih kamnin. Bočni ekvivalent dolomitnega peščenjaka je običajno meljevec, ki prehaja v litološke različke zaporedja C (sl. 4). Apnenec prehaja bočno v gomoljasti apnenec in laporovec, sledijo pa meljevec in 'klasične' kamnine skonca spodnjega karbonatnega dela niza C.

Peščenjak. V peščenjaku zaporedja A je plastnatost slabo razvita. Tu in tam opazujemo prekinjene vložke sivega, temno zelenega ali skoraj črnega skrilavega glinavca, ki daje kamnini gomoljast videz. Prehodi med skrilavim glinavcem in peščenjakom so hitri, vendar postopni.

Peščena zrna so največkrat usmerjena v smeri plastnatosti. Ponekod opazujemo tudi slabše izraženo nepravilno valovito laminacijo. Včasih najdemo v njem razporejene različno velike nepravilne 'prodne koncentracije' dolomitnega ali

apnenčeve dolomitnega konglomerata s peščeno osnovo. Osnova je po sestavi enaka kamninam, v katere so konglomerati vloženi. Prehodi so v vseh smereh postopni (sl. 4).

V profilih, kjer so razviti vsi litološki različki zaporeja A, leži peščenjak vedno neposredno na temno sivem ali zelenkasto sivem nesortiranem polimiktnem konglomeratu. Prehodi med konglomeratom in peščenjakom so običajno postopni. V nižjem delu peščenih plasti opazujemo velik delež prodnikov (>30 %), ki se navzgor v splošnem postopno znižuje. V nekaterih profilih izginejo že po nekaj decimetrih, drugod pa so skoraj enakomerno (10-20 %) razporejeni po vsem preseku peščenih plasti in se v nekaj odstotkih pojavljajo še v meljevcu in celo apnencu (sl. 4). Velikost prodnikov je dokaj različna. Najpogostejši imajo premer 5 mm, medtem ko so oblice s premerom do 1,5 cm redke. Ponavadi so grupirani v 2 dm širokih in nekaj decimetrov visokih lečah. Prodники so pretežno dolomitni, le tu in tam najdemo nepravilne, običajno deformirane odlomke apnenca.

Med peščenimi zrnji so najpogostejši odlomki dolomita. Njihov delež dosega celo 75 %, nikjer pa ni nižji od 50 %. Prevladujejo klasti veliki od 50 do 700 μm . Opazujemo tudi kamnine v katerih velikostnega razreda dolomitnih zrn ne moremo omejiti, saj prehaja peščenjak zvezno v meljevec. Dolomitna zrna so dobro zaobljena, po obliki pa izometrična in podolgovata. Največkrat plavajo v vezivu, v nekaterih vzorcih se med seboj dotikajo z ravnimi ali stilolitskimi stiki in tvorijo gosti zlog.

Najpogostejši so delci algnega dolobiomikrita, dolopelmikrita, dolointrasparita, dolodismiktrita in delno ali povsem prekristaljeni odlomki. Nekateri dolomitni prodniki in peščena zrna so bila očitno močno spremenjena že pred presedimentacijo. Številne izsušitvene pore v njih so bile zapolnjene s kalcitom ali kaolinitom. Kamnino sekajo kalcitne in bituminozne žilice bogate s piritom in kaolinitom (DROVENIK, ČAR & STRMOLE, 1975).

Redkejša apnenčeva zrna so v splošnem manjša in ne presega 200 μm . Njihov delež je največ 10 do 15 %. Apnenčevi klasti so dosledno iz prekristaljenega mikrita. Ne glede na njihovo velikost so zelo nepravilnih oblik in se plastično prilegajo očitno tršim dolomitnim zrnom. Zato imajo konkavno-konveksne kontakte ali pa že toliko deformirana, da oblikujejo psevdosnovo.

Zrna kremenca so zastopana le z nekaj odstotki. Velika so do 100 μm , oglata in imajo enotno potemnitev. V obravnavanih kamninah najdemo še odlomke karbonatizirane predornine, sljudo in redke dobro zaobljene piritizirane klaste.

V peščenjaku zaporedja A klaste sestavlja le pet litoloških različkov, medtem ko so klasti nekoliko starejših konglomeratov in peščenjakov iz območja Karóli in Auersperg (sl. 1 in 2) sestavljeni iz 10 do 15 kamninskih različkov (ČAR, 1985).

V peščenjaku ločimo dve vrsti veziva – terigeno in kemično. Največkrat predstavlja osnovo dolomit v velikosti melja od 30 do 5 μm . Dolomitni drobir je razporejen značilno neenakomerno. Ponekod zelo prevladuje in je kamnina skoraj-

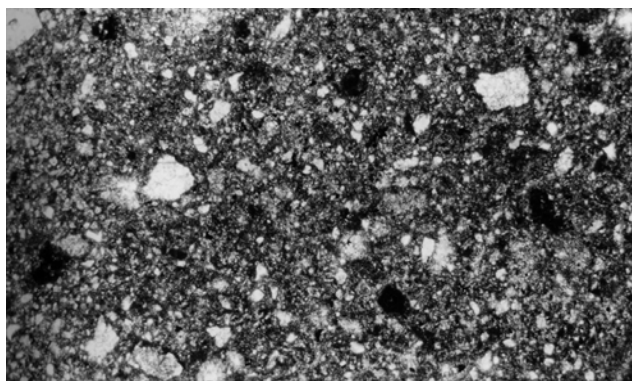
da brez cementa, drugod pa je dolomitni melj na redko posejan. Kot smo že omenili, opazujemo tu in tam močno deformirane apnenčeve mikritne klaste, ki prehajajo v psevdosnovo. Kot osnovno in porno vezivo nastopa zelo zaglinjeni mikrit.

Poznodiagenetski kalcitni cement je srednje do drobnozrnat, svetlejši in prozornejši. Kristali so euhedralni ali subhedralni. Poznodiagenetski kalcit je korozivnega tipa in nadomešča vse sestavine – klaste, dolomitno in mikritno osnovo.

Kot cement nastopa tudi pirit, ki je prav tako korozivnega značaja in lahko nadomešča vse ostale dele kamnine. Največkrat ga opazujemo v nepravilnih poljih v velikosti 20 do 60 μm . Tu in tam v poljih velikih do več milimetrov. V nekaterih vzorcih je dokaj enakomerno razporejen po kamnini v obliki framboidalnih zrn v velikostih do 5 μm .

Iz opisa vidimo, da poimenovanje karbonatno litičnega peščenjaka iz zaporedja A plasti skonca ni preprosto. V osnovi gre za slabo sortiran, srednjezrnat apnenčev dolomitni peščenjak z dolomitnim in kalcitnim vezivom. Zaradi večje ali manjše prisotnosti prodnikov (od 0 do 30 %) moramo nekatere različke imenovati prodnat ali maloprodnat peščenjak. Kamnino lahko v splošnem imenujemo sortirani, srednjezrnati, dolomitni, maloprodnat, muljasti peščenjak z dolomitnim in kalcitnim vezivom.

Meljevec (sl. 5). Meljevci so v zaporedju A plasti skonca značilne prehodne kamnine med peščenjaki in apnenci. So temno zelenkasto sive barve. V debelini do 4,5 m ležijo na apnenčevo dolomitnem peščenjaku ali redko neposredno na dolomitnem konglomeratu. Navzgor prehajajo v apnenec. Njihovi bočni ekvivalenti so že obravnavani peščenjaki ali bituminozne kamnine podzaporedja C_1 . Prehodi med naštetimi litološkimi členi so postopni (sl. 4).



Sl. 5. Peščeni apnenčev dolomitni meljevec z zaglinjenim mikritom (temnejši deli – obarvano). Vzorec L I/17 A-3, =N, 40x
Fig. 5. Sandy calcareous dolomite siltstone with clayey micrite (dark coloured). Sample L I/17 A-3, =N, 40x

Obravnavane kamnine so plastnate (sl. 3 in 4), le mestoma neplastnate. Decimetrske plasti so izrazite, po obliki valovite, gomoljaste, le redko ravne in neprekinjene. Litološke spremembe znotraj plasti povzročajo do en centimeter debeli vložki temno zelenega meljastega glinavca. V meljevcu opazujemo tudi laminacijo, ki je pogojena v večjo ali manjšo primesjo organske snovi.

Na številnih mestih je laminacija 'vijugava' zaradi sinsedimentacijskih deformacij.

Meljevci vsebujejo številne teksturne in strukturne posebnosti, ki so sicer bolj značilne za apnence. Kamnina je na svežem prelomu 'lisasta'. Svetlejša in temnejša nepravilne 'pege' so pogojene z več ali manj kalcitne komponente, oziroma z večjo ali manjšo prisotnostjo dolomitnega drobirja. Temnejši deli vsebujejo več kalcitne komponente, svetlejši so iz dolomitnega drobirja.

Naslednje 'razvitejše' strukturno-teksturine oblike v meljevcu so do več cm^2 veliki apnenčevi vključki z različnimi količinami kalcitne komponente. Lepo so vidni na svežih presekih meljevcev. Nekateri že lahko imenujemo intraklaste, saj so dobro definirani in kažejo na kratko preložitev. Večina apnenčevih vključkov so protointraklasti, saj so komaj izločeni iz svoje oklice in se ponavadi po obliki še prilegajo drug drugemu, ali pa jih že lahko opredelimo kot več centimetrov velike plastiklaste.

Meljaste kamnine vsebujejo številne, tudi več centimetrov dolge, različno oblikovane bioturbacijske oblike. Zapolnjene so s sedimentom, ki je bolj kalciten oziroma dolomiten, kot pa neposredna okolica. Pogostne so tudi okrogle in podolgovate votlinice zapolnjene s čistim euhedralnim in subhedralnim kalcitom in predstavljajo zapolnjene plinske mehurčke. Bioturbacija kot tudi plinski mehurčki so na nekaterih mestih močno deformirani. Tu in tam je bioturbacija tako močna, da razpada kamnina v večje ali manjše delce – psevdointraklaste.

Velikost klastov se hitro spreminja. Ponekod najdemo le delce med 5 in 50 μm , medtem ko opazujemo drugod odlomke do največ 120 μm . Meljevec je običajno dobro sortiran. Terigeni detritus je združen v velikostih od 20 do 60 μm in od 5 do 10 μm . V meljevcu najdemo ponekod tudi več centimetrov velike dolomitne prodnike ali dolomitna peščena zrna velika do 250 μm (sl. 4 in 5).

Med klastičnimi delci močno prevladujejo dolomitni odlomki. Predstavljajo vsaj 60 do 80 % terigene komponente. Sicer pa najdemo v meljevcu še nekaj odstotkov apnenčevega melja, 2 do 5 % oglatih kremenovih zrn v velikosti do 100 μm z enotno potemnitvijo, sericit, ki je pogostno skoncentriran v 'gnezdih' in redka kaolinitska zrna.

Terigeni delci so v kamnini neenakomerno razporejeni. Ponekod povsem prevladuje osnova, drugod grade odlomki zelo gost zlog. Nepravilna je tudi razporeditev delcev različnih kamnin. V nekaterih delih meljevcev prevladujejo dolomitni klasti, drugod je več kremenovih ali apnenčevih. Vse to povzroča značilen marogast izgled meljevca.

Vezivo je v splošnem enakega značaja kot v peščenjaku – terigeno in kemično. Pogosto veže meljaste delce zaglinjen mikrit osnovnega ali pornega tipa. Meljaste delce pod mikroskopom ne moremo ločiti in natančneje opredeliti.

Za obravnavane kamnine so zelo značilni različki, v katerih je kalcitno-dolomitno vezivo bolj opredeljivo. Razmerje med njima je

največkrat okrog 60:40 v korist kalcitne komponente, neredko približno 50:50. V peščenjaku kot tudi 'debelozrnatih' meljevcih (delci večji od 30 μm) predstavljajo dolomitni del veziva izključno terigeni detritus, ki leži v zaglinjenem mikritu. Menimo, da imamo enake razmere tudi v vezivu drobnozrnatih meljevcev.

V meljevcu opazujemo poznodiagenetski kalcitni cement, ki je največkrat korozivnega značaja. V obliki anhedralnih in subhedralnih kristalov nadomešča klaste kot tudi osnovo. Avtigenega piritu v obliki drobnih zrn v velikosti od 4 do 25 μm , od katerih imajo nekateri framboidalno zgradbo, je sorazmerno malo. V žilicah opazujemo vsaj dve generaciji piritu. Za meljevce značilna mineralna sestava je podana v tabeli 1.

V meljevcih opazujemo tudi 'prodne koncentracije', podobno kot v apnenčevem dolomitnem peščenjaku. Prodniki znotraj leč niso urejeni.

Opisane kamnine lahko v splošnem imenujemo apnenčev dolomitni meljavec z zaglinjenim mikritom ali dolomitni apnenčev meljavec. Za nekatere vzorce bi morali dodati še izraz peščen ali prodnat. Poskus natančnejše opredelitve pokaže, da lahko večino različkov združimo pod imenom temno sivozelen, ponekod laminiran, slabo sortirani, debelo do srednjezrnat apnenčev dolomitni ali dolomitni apnenčev, peščeni ali maloprodni meljavec.

Apnenec. Apnenec je razvit v obliki razpotegnjenih teles ali plošč. Njihova debelina je v južnem bloku rudišča (tektonska enota Auersperg) od 0,5 do 3 m. V območju »Talnine« do 4 m (sl. 1, 2, 3 in 4). Kamnine so zelenkasto sive, na svežem preseku marogaste. Na stiku z meljevci opazujemo tanke vložke laporastega apnenca in laporovca.

Plasti nakazujejo prekinjeni vložki sivega ali zelenkastega skrilavega muljevca v razdalji do največ 0,5 m. Apnenec ima zaradi tega pogostno gomoljast izgled, sicer pa je masiven. Ponekod nakazuje laminacijo vzporedno orientirani organski drobci.

Teksturno-strukturne oblike, ki jih opazujemo v apnencu, so povsem enake kot v meljevcu. V prvi vrsti moramo omeniti do 1 cm velika ostro omejena polja okroglih ali elipsastih oblik. Zapolnjena so s prozornim debelozrnatim sparitnim kalcitom in najverjetneje predstavljajo plinske mehurčke. Kjer so sparitna polja pogostejša, prehaja kamnina v značilen peščen ali meljast dismikrit. V »Talnini« opazujemo še do več centimetrov velike pore zapolnjene z debelozrnatim sparitnim kalcitom.

Tudi v apnencih opazujemo območja z različnimi količinami kalcitne komponente, ki dajejo kamnini marogast videz. Na številnih lokacijah najdemo različno oblikovane prototraklaste in plastiklaste, ki že lahko prehajajo v več centimetrov velike intraklaste.

Enako kot v karbonatnem meljevcu opazujemo tudi v apnencu različno oblikovane bioturbacijske oblike zapolnjene običajno s svetlejším, manj zaglinjenim mikritom do mikrosparitom. Prototraklasti in plastiklasti ter številne bioturbacijske oblike ustvarjajo zelo zapleteno notranjo zgradbo.

Vzorec apnenca iz »Talnine« je raziskala Orehkova (MLAKAR, 1975). Kamnino je poimenovala prekrystaljeni dismikritni apnenec (vzorec št. 54). Izdelana je bila tudi kemična analiza. Poleg kalcita vsebuje 9,48 % SiO_2 , 2,72 % Fe_2O_3 in 1,59 % Al_2O_3 .

Pri kasnejših raziskavah 'čistih' apnenecv v zaporedju A nismo našli. Vsi preiskani vzorci so vsebovali večje ali manjše količine terigenih primesi (sl. 6). Med litoklasti prevladujejo dolomitni in apnenčevi ekstraklasti. Razmerje med njimi je približno 70:30 oziroma 80:20 v korist dolomitnih delcev. Dolomitni klasti so sorazmerno lepo zaobljeni. Njihova velikost je 70 μm , najdemo pa tudi delce s premerom do 250 μm . Prevladujejo različki dolobiosparita, dolointrasparita in prekrystaljenih dolomikritov. Apnenčevi klasti so iz zaglinjenega mikrita ali prekrystaljenega mikrita. Običajno je glinasta snov koncentrirana v večjih ali manjših krpah. Opazujemo še sljudo in korodirana zrna kremenca z enotno potemnitvijo v velikosti do 50 μm .

Med alokemičnimi komponentami omenjamo slabo ohranjene intraklaste in redke, že delno prekrystaljene bioklaste (sl. 6). Alokemi so običajno skoncentrirani v manjših, na obrobju slabo izraženih poljih.

Vse omenjene komponente ležijo v mikritu, oziroma mikrosparitu v velikosti od 7 do 20 μm . Mikrita in mikrosparita ni mogoče ločiti po območjih, ampak povsem nepravilno prehajata med seboj. Vsebujeta veliko glinastih primesi, zato sta zelo motna. Mikrit je na številnih mestih popolnoma prekrystaljen in prehaja v čistejši anhedralni sparit s kristali velikimi do 100 μm . Čistejši kalcit obdaja tudi številne dolomitne in apnenčevi ekstraklaste.

V kamnini so dokaj enakomerno razporejena piritna zrna. Nekatera zrna imajo framboidalno zgradbo, ponekod pa se združujejo in dosežejo velikost do 400 μm . Apnenec sekajo kalcitne, kalcitne in piritne žilice.

Tabela 1. Mineralna sestava meljevca iz zaporedja A plasti skonca

vzorec	dolomit	kalcit	kremen	illit-muskovit	kaolinit	pirit	plagioklazi
L/R ₈	+++	+++	+++	++	-	+	+

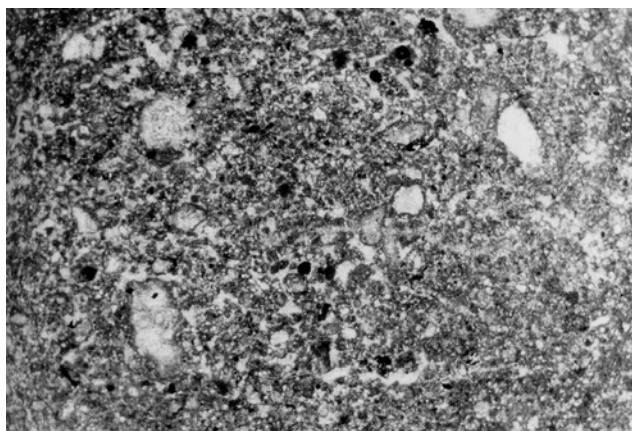
L/R₈ = meljavec iz sledilnega rova za sl. j. Bajt na II. medobzorju, vzorec L II m A-8;

+++ = 10 – 30 %

++ = 5 – 10 %

+ = do 5 %

Večina pregledanih apnenčevih različkov lahko poimenujemo peščeni ali meljasti mikritni do mikrosparitni apnenec, oziroma dismikrit. Le tu in tam najdemo polja delno prekrystaljenega intrabiomikrita (sl. 6).



Sl. 6. Prekrystaljeni meljasti intrabiomikrit. Vzorec L II m A-6, +N, 15x

Fig. 6. Recrystallised silty intrabiomicrite. Sample L II m A-6, +N, 15x

Kamnine zaporedja B

K zaporedju B plasti skonca prištevamo ozek pas prehodnih litoloških različkov. Najdemo jih na stiku zaporedij A in spodnjega karbonatnega (C_1) dela niza C, (sl. 4). Prehodi med petrografskimi različki so hitri, litološko zvezni, po sestavi pa postopni. Količina prehodnih kamnin zaporedja B je glede na kamnine zaporedij A, C in D zelo majhna. Iz navedenih razlogov jih ne bomo podrobno obravnavali.

V okviru zaporedja B smo na podlagi ocene sestave določili naslednje petrografske različke (sl. 3 in 4):

- meljasti apnenec (od 50 do 85 % karbonata),
- laporasti apnenec (65 do 85 % karbonata),
- laporovec (35 do 65 % karbonata),
- glinavec (0 do 15 % karbonata),

Vse našete kamnine so sicer dobro stratificirane, vendar pa so plasti nepravilne, lečaste ali gomoljaste. V laporovcu so plasti debele okrog enega centimetra in so prekinjene ali neprekinjene. Sedimentacijske teksture so enake kot v kamninah zaporedja A.

Kamnine zaporedja C

K zaporedju C prištevamo 'klasični' del plasti skonca in sicer litološke člene, ki jih rudarji že vse skozi prištevajo 'idrijskemu skrilavcu', oziroma od LIPOLDOVEGA (1874) poimenovanja, plastem skonca. Za kamnine zaporedja C je značilna izrazita dvojnost v sestavi. V spodnjem delu zaporedja C - podzaporedje C_1 - prevladuje karbonatna sestava, v zgornjem delu - podzaporedje C_2 - pa silikatne komponente. Prevladujoča karbonatna komponenta v podzaporedju C_1 je pogojena s karbonatnimi terigenimi delci in zaglinjenim mikritnim vezivom. Številni so nedoločljivi rastlinski delci, drugih fosilnih ostankov v podzaporedju C_1 ni. Približno na nivoju prvega močnejšega vložka piroklastičnih

kamnin (sl. 3 in 4) se sestava hitro, vendar postopno, spremeni. Kamnine sestavlja terigeni material v obliki drobirja meljevca in peščenjaka, limonitiziranega mono in polikristalnega kremenca, sljude in drobnega glinenega veziva, ki se meša s sekundarnimi preperinskimi minerali kot sta kaolinit in sericit. Glede na sestavo menimo, da našete komponente predstavljajo presedimentiran material karbonskih klastitov. Sočasni vulkanizem je skupaj s kasnejšimi spremembami prispeval odlomke čistega monokristalnega kremenca, spremenjenih kislih predornin, illitiziranih in kaoliniziranih glincev, kvarcita ter zrna cirkona, apatita, turmalina in epidota, delci terigenega kremenca in spremenjenih magmatskih kamnin. Pomembni komponenti v omenjenih kamninah podniza C_2 so številni radiolariji, ki lahko tvorijo radiolarite in iglice kremenovih spongij (MLAKAR & DROVENIK, 1971). V najvišjem delu plasti skonca so se odložili drobno do srednje zrnat kremenovolični peščenjaki z ostanki lupin brahiopoda *Discina* in glinastim vezivom. Najdemo tudi vložke orudenih radiolaritov (MLAKAR & DROVENIK, 1971).

Kamnine celotnega zaporedja C so v veliki večini močno skrilave, zaradi velikih količin bituminoznih snovi v celoti črne ali skoraj črne. Zaradi tega kamnin podzaporedij C_1 in C_2 brez natančnejšega pregleda makroskopsko ni mogoče ločiti med seboj (sl. 3 in 4). Pač pa jih po skrilačnosti in barvi dobro ločimo od sivo-zelenkastih kamnin nizov A in B.

Kamnine zaporedja C so nastajale v vseh tektonskih enotah rudiščnega dela idrijskega srednjetrojskega tektonskega sistema (PLACER & ČAR, 1975, 1977; ČAR, 1985) od območja 'Talnine' do Pronta (sl. 1). V današnji zgradbi najdemo kamnine zaporedja C v obliki različno velikih tektonsko omejenih telesih v vseh delih rudišča (ČAR, 1985, 1989).

Zaradi zapletenih morfoloških razmer v idrijskem srednjetrojskem tektonskem sistemu je debelina kamnin zaporedja C od profila do profila drugačna (sl. 1 in 3). O spremembah debeline v različnih delih rudišča (sl. 2) zaradi pomankanja podatkov iz starejših odkopnih polj, ni mogoče podati zadovoljive predstave. Pri nadaljnjem razpravljanju se bomo poslužili le povprečnih, že v začetnih poglavjih omenjenih števil.

Po podatkih starejših raziskovalcev sestavljajo 'klasične plasti skonca' - zaporedje C - v rudišču bituminozni skrilavec in meljevec, kremenov peščenjak, peščenjak z ostanki brahiopoda *Discina*, konglomerat, leče antracita, radiolarit in tuf (LIPOLD, 1874; KOSSMAT, 1899, 1911; KROPAČ, 1912; BERCE, 1958; MLAKAR, 1967; MLAKAR & DROVENIK, 1971). O morebitnih zakonitostih zaporedja usedanja in odnosih med posameznimi litološkimi členi znotraj plasti skonca starejši raziskovalci niso ničesar zapisali. Podatke o tem podajamo v nadaljevanju (ČAR, 1985).

Zaporedje C ima zapleteno notranjo zgradbo. Litološki različki prehajajo bočno drug v drugega, vertikalno se med seboj menjavajo. Peščene, meljaste, bituminozne glinaste ali skrilave muljaste kamnine prekinjajo v spod-

njem karbonatnem delu (C_1) vložki debelozrnatega dolomitnega konglomerata, dolomitnega parakonglomerata, laporovca, laporastega apnenca, leče antracita in sedimentnih cinabaritnih rud, v zgornjem silikatnem delu (C_2) tanke plasti piroklastitov, premoški vložki (antracit) in plasti ali leče izjemno bogatih sedimentnih cinabaritnih rud (sl. 3 in 4). Dimenzije naštetih vložkov so od nekaj decimetrov do več sto metrov. Za zaporedje C velja, da so posamezne kamnine v nekaterih delih rudišča pogostnejše kot v drugih, v nekaterih profilih celo manjkajo, kar je pogojeno z usedanjem na različnih strukturnih blokih (tektonskih enotah) idrijskega srednjetriasnega tektonskega sistema (sl. 1).

Na območju »Talnine« so bili odloženi predvsem bituminozni skrilavi muljevci C_2 . V rudarski praksi so jih imenovali 'skrilavec ali antracitni skrilavec'. Le redko so bile kamnine toliko kompaktne, da smo jih lahko brez zadržkov imenovali bituminozni meljevec ali glinavec. Podobno velja tudi za zaporedje C_2 v tektonski enoti Čemernik (sl. 1). V tektonski enoti Karóli (sl. 1) močno prevladuje peščenjak, ki prehaja navzgor v različne bituminozne skrilave muljevce. Najbolj menjajoče so kamnine zaporedja C razvite na severnem pragu srednjetriasnega tektonskega sistema (sl. 1). Do Auerspergovega preloma so dokaj enakomerno zastopane peščene in muljaste kamnine z vsemi prehodi. Na območju tektonske enote Pront (sl. 1) so pogostnejši bituminozni skrilavi meljevci in predvsem zelo bituminozni glinasti muljevci z antracitnim sijajem. Na severnem delu severnega praga (tektonska enota Pront) je bil odložen le zgornji silikatni del C_1 , še više na severnem pragu plasti skonca niso bile odložene (sl. 1).

Zunanja plastnatost je najlepše razvita v dolomitnih peščenjakih in meljvecih (C_1) ter kremenovih peščenjakih in meljvecih (C_2). To velja zlasti za zgornji del plasti skonca v tektonski enoti Karóli in tektonski enoti Auersperg (sl. 1). V splošnem si sledijo peščenjak-meljevec-skrilavec.

Postopna zrnavost skozi več plasti je bila lahko popolna ali nepopolna, saj je ta ali oni člen manjkal. V manj skrilavih delih presekov je razvita horizontalna ali valovita plastnatost. Plasti peščenjaka so debele od 5 do 7 cm, meljevca od 1 do 3 cm. Peščene in meljaste kamnine so laminirane. Kot posebnost omenjamo še 'piritni ritmit', ki ga najdemo v nekaterih profilih zaporedja C_2 . Menjavajo se do 1 cm debele plasti pirita in skrilavca, (sl. 3, presek 2; sl. 14).

O nekaterih najpogostnejših litoloških členih iz zaporedja C skonca plasti že obstajajo petrografske opise MLAKARJA in DROVENIKA (1971). Spremljajo jih kemične in rentgenske analize ter podatki o orudjenju. V nadaljevanju bomo obravnavali predvsem litološke različke, ki jim doslej niso posvečali posebne pozornosti.

Meljevec. Meljastih kamnin v nizu C dosedanji raziskovalci ne omenjajo. To je nenavadno, saj so meljevci pogostni in značilne kamnine tako za karbonatno C_1 kot tudi za silikatno C_2 podzaporedje. Ker so kamnine v glavnem močno skrilave so jih zagotovo uvrščali med 'glinaste skrilavce', v manj klivažiranih profilih pa k drobnozrnatimi peščenjakom. Bituminozni meljevec prehaja zvezno v skoraj črn, laminiran, močno bituminozen kremenov glinavec oziroma skrilavec. Omenjene kamnine sestavljajo dobršen del zaporedja C (sl. 4). Kamnine, ki smo jih raziskali, izhajajo iz obeh podzaporedij – C_1 in C_2 .

V meljvecih je bituminozna snov na gosto, vendar neenakomerno razporejena. Sredi glinaste osnove opazimo zrna kremenca, orudena zrna kalcedona, sericita (illit-muskovit), delno kaolinizirana in karbonatizirana zrna glinencev velika do 35 μm in redke apnenčeve klaste. V nekaterih območjih prevladujejo zrna, drugod vezivo. Laminacijo velikokrat ustvarja neenakomerne porazdelitve bituminozne snovi. Pirit v velikosti od 2 do 4 μm najdemo sicer povsod v kamnini, vendar je njegov delež v bituminoznejših delih precej večji.

Tabela 2. Mineralna sestava nekaterih meljvecov iz zaporedja C

Vzorec	dolomit	kremen	Illit- muskovit	kaolinit	pirit	markazit	glinenci	drugo
L/R ₃	++++	+++	+	++	+++	-	-	-
L/R ₆	-	+++	++	++	++++	++	-	-
L/R ₇	-	++++	+++	++	++	-	++	-
L/R ₁₄	++++	++++	++	++	+++	-	-	sadra

L/R₃ bituminozni kremenov dolomitni glinasti meljevec, III. obz., preboj sl.j. Leithner - Vsi Sveti; vložek v dolomitnem konglomeratu

L/R₆ piritizirani kremenov meljasti glinavec, etaža Ziljska I/17; podzaporedja C_2

L/R₇ kremenov glinasti meljevec, etaža Kropač I/19; podzaporedja C_2

L/R₁₄ skrilavi vložek v kremenovo-dolomitnem glinastem meljvecu, III. obz. pri slepem jašku št. 14.; podzaporedja C_1

++++ = 30 – 50 %

+++ = 10 – 30 %

++ = 5 – 10 %

+ = 5 %

Osnovne tipe meljastih kamnin lahko poimenujemo laminiran, bituminozni dolomitni meljevec (podzaporedja C₁). Kamnino iz etaže Ziljska I/17 smo označili kot piritiziran kremenov meljasti glinavec (vzorec iz podzaporedja C₂).

Skrilavi bituminozni muljevec. Črni bituminozni skrilavi muljevec z antracitnim sijajem je prav gotovo najznačilnejši litološki člen plasti skonca idrijskega rudišča. Prve petrografske preiskave črnega skrilavca z antracitnim sijajem sta opravila MLAKAR in DROVENIK (1971). Ugotovila sta, da so skrilave kamnine sestavljene večji del iz mineralov glin in organske snovi, zato jih uvrščata med bituminozne glinaste skrilavce. MLAKAR (1975) navaja tudi njegovo kemično sestavo. Kamnina vsebuje visok odstotek SiO₂ (48,5 %) in karbonata (36,30 %), 1,9 % C in le 7,22 % Al₂O₃ (MLAKAR, 1975).

Na III. obz. so bili v progji med sl.j. št. 14 in št. 1 odprti kremenovi dolomitni meljevci z vmesnimi centimetrskimi vložki črnega skrilavca. Rentgen-ski pregled (tabela 2, vzorec L/R₁₄) potrjuje, da je njegova mineralna sestava povsem v soglasju s sestavo meljevca, v katerem se nahaja (tabela 2, vzorec L/R₃). V skrilavih vložkih se pojavljajo tudi sledovi sadre, ki je pogosten sekundaren mineral idrijskega rudišča in nastaja pri oksidacijskih procesih.

Peščenjak z ostanki lupin brahiopoda Discina, zgornji del podzaporedja C₂, (sl. 3 in 4). V številnih profilih se sedimentacija podzaporedja C₂ zaključuje z največ 2,5 m debelo plastjo kremenovega peščenjaka, ki lahko prehaja lateralno in vertikalno v lumakelo iz lupin brahiopoda *Discina* (sl. 3 in 21). Peščenjak z lupinami *discin* je bil pogosto bogato oruden. V rudarski praksi so tovrstno rudo imenovali 'koralna ruda' (sl. 21).

Prvi podroben petrografski opis peščenjaka z ostanki *discin* sta podala MLAKAR in DROVENIK (1971). Podrobno sta obravnavala tudi način orudenja. Leta 1975 je MLAKAR (1975) dodal še kemično sestavo dveh vzorcev peščenjaka. Ugotavlja, da vsebujeta od 59,5 do 74,3 % SiO₂, okoli 7 % Al₂O₃, komaj 1 % karbonatov in precej žvepla. V nadaljevanju podajamo še petrografski opis peščenjaka z ostanki *discin*.

Peščenjak ima homogeno strukturo. Terigenih zrn je približno 80 %, ostalih 20 % zavzema vezivo. Zrna se večinoma dotikajo v točkah, ravnih in konkavno-konveksnih kontaktih, nekatera pa plavajo v osnovi. Zrna niso orientirana. Terigeni delci so veliki od 30 do 300 μm, v povprečju okoli 150 μm. So srednje dobro sortirani. Njihovi preseki so vmesnih oblik in so večinoma zelo oglati. Kamnina je strukturno nezrela.

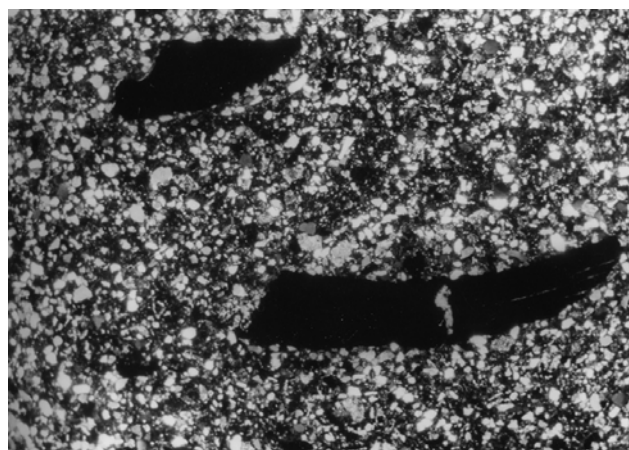
Med terigenimi delci prevladuje kremen. Zastopan je s prevladujočimi mono- in redkejšimi polikristalnimi zrnji velikimi do 30 do 300 μm. Tu in tam imajo kremenova zrna vključke, največkrat muskovita. Na robovih so nekatera redka zrna nadomeščena s sericitom. Avtogene rasti kremenova v zbrusku nismo opazili.

Po količini sledijo litična zrna v velikosti od

100 do 300 μm, povprečno 200 μm. Med njimi prevladujejo zrna kislil predornin. Njihova osnova je večinoma močno ali popolnoma spremenjena. Poleg tega najdemo še zrna polikristalnega kaolinita, roženca in kvarcita. Litična zrna so razvrščena slučajno in niso orientirana. Njihovo velikost in obliko je zaradi močnih sprememb težko določiti. Zrnca spremenjenih predornin, kaolinita in roženca vsebujejo ponekod vključke cinabarita.

Glinenci so zastopani z dvojčičnimi in nedvojčičnimi različki. Prvi prevladujejo. Razporeditev glincev, tako kot drugih zrn, je povsem slučajen. Tudi velikost je podobna kot pri kremenu. Vključki v glinencih so precej pogostni. Največkrat opazujemo illit (sericit), cinabarit, redkeje pa kalcit in neprozorne minerale. Avtigenih robov pri glinencih nismo opazili. Nekatera zrna glincev so močno spremenjena. Večinoma so sericitizirana, v manjši meri pa kaolinizirana in delno ali popolnoma kalcitizirana. Značilno je, da v najbolj spremenjenih, predvsem illitiziranih glinencih, opazujemo največje število cinabaritnih vključkov.

S približno dvema odstotkoma so v kamnini zastopani še muskovit, ki se delno prerašča s kloritom, in večji ali manjši odlomki lupin brahiopoda *Discina* (sl. 7 in 21).



Sl. 7. Glinenčevo-litični kremenov peščenjak z ostanki lupin brahiopoda *Discina*. Vzorec iz etaže Turniš I/5, =N, 15x

Fig. 7. Feldspar-lythic quartz sandstone containing remains of the brachiopod *Discina*. Sample from the Turniš level I/5, =N, 15x

Osnovo, ki jo je v povprečju 20 %, sestavljajo minerali glin. Prevladuje illit, ki je zaradi organskih primesi obarvan največkrat rjavkasto. Razvrščen je slučajno in je pornega, redkeje osnovnega tipa. Verjetno je del osnove primaren in pripada ortoosnovi, večji del pa predstavlja epiosnovo.

Cement nastopa le v sledovih. Največ je koroziivnega kalcitnega cementa. Najdemo še skupke pirta, v žilicah pa kremen in cinabarit.

Glede na zgornji opis lahko peščenjak, ki predstavlja matično kamnino koralne rude, poimenujemo temnosiv, srednje sortiran, drobnozrnat, sljudnat, glinenčevo litični kremenov peščenjak.

Apnenčeve in laporaste leče (podzaporedje C₁). V bituminoznem meljevku in skrilavcu najdemo

ponekod leče ali plasti temno sivega do črnega apnenca z laporovcem na obrobju (sl. 4). Leče ali lečaste plasti so lahko decimetrskih do največ metrskih debelin. V dolžino in širino segajo običajno le nekaj metrov.

Približno 75 % kamnine predstavlja močno zaglinjen in bituminozen mikrit in dolomikrit. Organska snov je neenakomerno porazdeljena. Razmerje med kalcitno in dolomitno komponento je približno 55:45. V mikritni osnovi opazujemo 15 do 20 % terigenih karbonatnih, kremenovih in kalcedonskih zrn velikih do 35 μm . Tu in tam najdemo še sericit. Pirita je približno 5 do 7 %. Framboidalni pirit v velikosti okoli 4 μm se ponekod združujejo v skupke velike do 70 μm .

V kamnini opazujemo do 1 cm velike različno dobro izoblikovane plastiklaste. Običajno so bolj zaglinjeni in bituminozni od okolice. Včasih prehajajo v velike intraklaste s prozornim karbonatnim robom.

Glede na odstotek dolomita v mikritni osnovi kamnino prištevamo dolomitnemu apnencu. Z upoštevanjem velikega odstotka glinenih mineralov (15 do 35 %) ga opredelimo kot laporasti dolomitni apnenec.

V neposredni okolici dolomitnega apnenca opazujemo zvezne prehode v skrilavi muljevce. Odstotek mineralov glin se postopno večja. Apnenec prehaja v laporovec (od 35 do 65 % glinaste komponente), ta pa v karbonatni skrilavi muljevce (65 % mineralov glin) in dalje v skrilavi glinavec.

Dolomitni konglomerat in muljasti konglomerat. Konglomerati in parakonglomerati so po sestavi dosledno monomiktni. Sestavljeni so samo iz prodnikov presedimentiranega zgornjejezijskega dolomita, ki je bil po prvem erozijskem obdobju odložen neposredno na karbonske kamnine (ČAR, 1985, 1989, 1990).

Dolomitne debeloklastične kamnine po nastanku niso enotne in se pojavljajo v obliki različno velikih lečastih vložkov. Največkrat je kamnina neplastnat, slabosortiran, drobnozrnat dolomitni konglomerat z gostim zlogom, muljasto osnovo in kalcitnim cementom. Na etažah Turniš in Kropač-Ziljska so konglomerati zapolnjevali do 3,5 m široke in okoli 1,5 m globoke erozijske kanale (sl. 3, 4 in 23). Drobni, slabo zaobljeni dolomitni prodniki so močno prevladovali, bituminozno-glinastega veziva in kalcitnega cementa je bilo malo. Dolomitni klasti so bili sekundarno razpokani, močno bituminizirani in največkrat bogato prepojeni s cinabaritom.

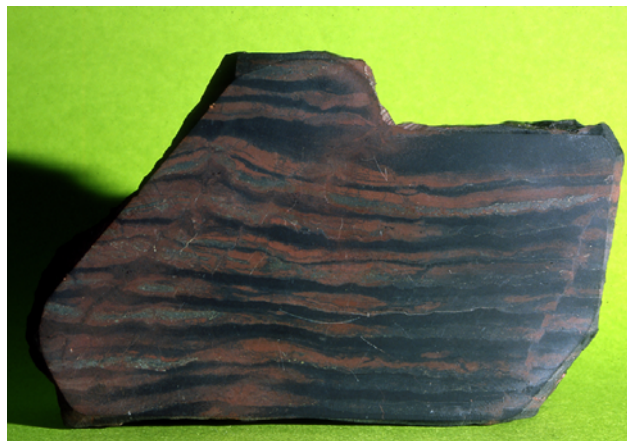
Na več lokacijah smo v bituminoznih muljevcih opazovali leče dolomitnega neurejenega, slabo sortiranega muljastega konglomerata z veliko muljaste osnove in ostro omejenimi diskontinuitetnimi obrobji. Dolomitni prodniki so bili slabo do zelo slabo zaobljeni, veliki od približno 1 cm pa do 20 cm in tudi več. Muljasti konglomerat je lahko bočno prehajal v območja 'prodnih koncentracij', kjer je močno prevladovala muljasta osnova. V muljastih konglomeratih so bili pogostni tudi nezaobljeni dolomitni odlomki.

Pirit in markazit. Pirit in markazit, ki ga je bistveno več v podzaporedju C_2 kot v podnizu C_1 , se pojavlja v obliki leč in plasti (sl. 3). Podroben opis in problematiko njunega nastanka najdemo v razpravi MLAKARJA in DROVENIKA (1971).

Premoški vložki (antracit) in druge organske snovi. Vložke premoških leč in rastlinskih ostankov je v zgornjih plasteh skonca ugotovil že LIPOLD (1874). JANDA (1892) je pripravil kemično analizo antracita, SCHRAUF (1891) pa 'antracitu podobnega' skrilavca skonca. Vsi kasnejši raziskovalci so antracit in organske ostanke omenjali, niso pa jim posvečali posebne pozornosti. Oruden 'antracit' sta raziskava šele MLAKAR in DROVENIK (1971).

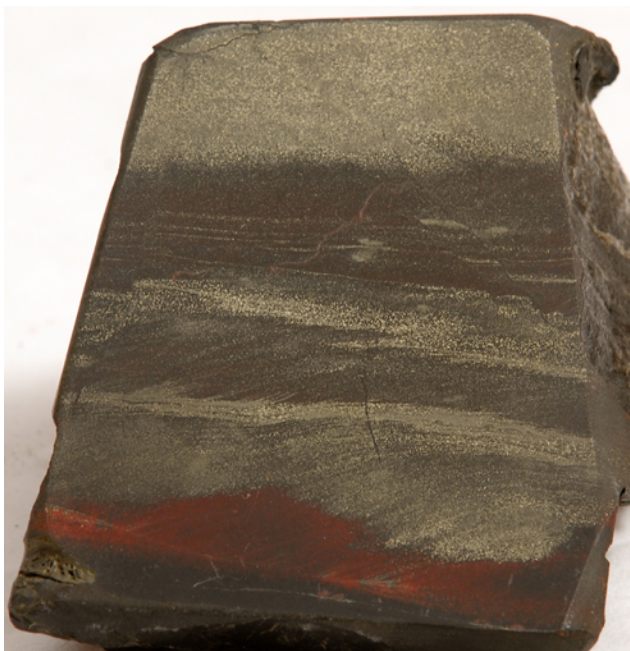
Premoške leče in luske brezstrukturnega sapropela najdemo v celotnem delu zaporedja C (sl. 3 in 4). Pojavljajo se največkrat v milimetrskih in centimetrskih debelinah, redkeje v decimetrskih. V sedemdesetih letih preteklega stoletja smo večje orudeno 'antracitno' lečo odkopavali na etaži Turniš I/4. Debela je bila 40 cm, dolga več kot 3 m. Manj pogostne so koncentracije nerazpoznavnega rastlinskega detritusa, ki je ohranjen predvsem v peščenih litoloških členih v zgornjem delu plasti skonca. Orudeni 'antracit' so v 18. stoletju rudarji slikovito imenovali 'gorljiva ruda' (sl. 3 in 4).

Cinabaritne sedimentne rude. Posebno vrsto sedimentnih kamnin predstavljajo različni sinsedimentnih cinabaritnih rud. Sem prištevamo rude z rudarskimi imeni *jeklenka*, *opekovka*, *jetrenka*, *korálna ruda* in različne druge *plastnate rude* (sl. od 8 do 12, od 15 do 17 in od 19 do 21). Nastanek sedimentnih rud in njihovo sestavo sta podrobno obravnavala MLAKAR in DROVENIK (1971). Na nekatere njihove posebnosti bomo opozorili pri obravnavi sedimentnih tekstur.



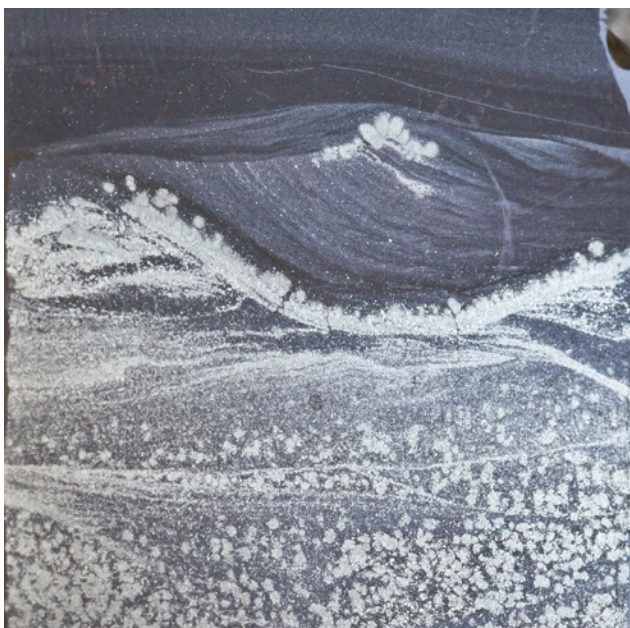
Sl. 8. Zaradi pogrezanja deformirane cinabaritne, piritne in piritno-cinabaritne lamine v menjavi z zaglinjenim meljevce. Bogata cinabaritna ruda imenovana tudi 'plastnata' ruda. Kropač IIm/8. Velikost vzorca: 15 x 10 cm. Foto: Rafael Podobnik

Fig. 8. Cinnabar, pyrite and pyrite-cinnabar laminates alternating with clayey siltstone, deformed due to sinking. Rich cinnabar ore is also called 'bedded' ore. Kropač IIm/8. Sample size: 15 x 10 cm. Photo: Rafael Podobnik



Sl. 9. Sedimentna ruda – opekovka. Navzkrižna laminacija, vzdolžni presek male koritaste plastnatosti. Zgoraj vodoravna laminacija. Kropač IIm/7. Velikost vzorca 7 x 8 cm. Foto: Jani Peternejl

Fig. 9. Sedimentary 'brick' ore – opekovka. Cross lamination - longitudinal section of minor trough bedding. In the upper part parallel lamination. Kropač IIm/7. Sample size 7 x 8 cm. Photo: Jani Peternejl



Sl. 10. V spodnjem delu slike vidimo plast s koritasto navzkrižno laminacijo, bogato s piritom. V zgornjem delu so sipinice erodirane in jih prekriva plast s skoraj vodoravno laminacijo. Lamine so sestavljene iz bituminoznega dolomitnega glinastega meljevca z različnimi količinami piritnih zrn. Sedimentne teksture so sekundarno deformirane zaradi kasnejše rasti pirita. Kropač IIm/ 7. Velikost vzorca 5 x 3 cm. Foto: David Tončič

Fig. 10. Visible in the lower part of the photo is a pyrite-rich layer with trough-cross lamination. In the upper part, the ripples are eroded and covered with a layer of almost horizontal lamination. The laminates are comprised of bituminous dolomitic clayey siltstone with varying quantities of pyritic grains. The sedimentary structures are secondarily deformed due to the subsequent growth of pyrite. Kropač IIm/ 7. Sample size 5 x 3 cm. Photo: David Tončič



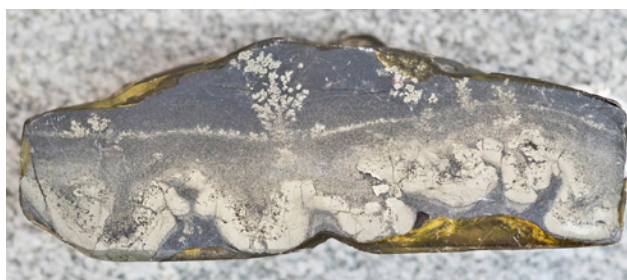
Sl. 11. Vzporedno laminiran langobardski tuft. Menjavajo se lamine in tanke plasti s postopno zrnastostjo orudenih kalcedonskih zrn in piroklastičnega materiala. Kropač IIm/8. Velikost vzorca 10 x 6,5 cm (levi rob vzorca). Foto: Rafael Podobnik

Fig. 11. Parallely laminated Langobardian tuffite. Alternations of laminate and thin-bedded, mineralised chalcedony grains and pyroclastic materials exhibiting graded bedding. Kropač IIm/8. Sample size 10 x 6,5 cm (left edge of sample). Photo: Rafael Podobnik



Sl. 12. Postopno zrnastost v tuftu gradijo s cinabaritom prepojena kalcedonska zrna. Iz etaže Kropač I/19. Velikost vzorca 4 x 8 cm. Foto: Jani Peternejl

Fig. 12. Graded bedding in tuffite built by cinnabar-bearing chalcedony grains. From the Kropač I/19 level. Sample size 4 x 8 cm. Photo: Jani Peternejl



Sl. 13. Zaradi zdrsa nagubana in razlomljena piritna plast. Odkopno polje Ziljska I/17. Velikost vzorca 9,5 x 3,5. Foto: David Tončič

Fig. 13. Pyrite bed, folded and crushed as the result of slump. Mine field Ziljska I/17. Sample size 9.5 x 3.5. Photo: David Tončič

Kamnine zaporedja D

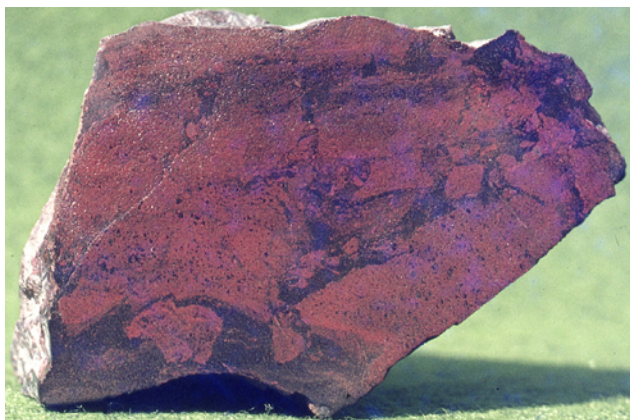
K zaporedju D prištevamo piroklastične kamnine - tuf, tufit in radiolariski roženec, ki jih najdemo na stiku podzaporedij C1 in C2, kot vložke v podzaporedju C2 ter najnižji del piroklastičnega horizonta, ki prekriva plasti skonca v rudišču v debelini do 80 m (MLAKAR, 1967).

Tufske vložke v plasteh skonca idrijskega rudišča je doslej omenil le BERCE (1958). Njihov delež se na območju severnega praga (sl. 1) od juga proti severu veča. V okviru tektonske enote Pront so vložki piroklastitov v zgornjem delu plasti skonca že sorazmerno pogostni (sl. 3). Opazili smo jih na številnih odkopnih poljih. Običajno se pojavljajo v obliki tankih vložkov ali leč, ki dosežejo maksimalno 40 m dolžine in okoli 25 m širine. Debelina ne presega 1,5 m. Prehod v sosednje litološke člene je postopen.

Ali se nahajajo vložki tufita in roženca tudi v tektonski enoti Karóli (sl. 1), zaradi nedostopnosti območij v zadnjem desetletju rudarjenja (1967 – 1977) nismo mogli preveriti, omenjamo pa, da smo našli v plasteh skonca pri sl.j. št. 4 na III. obz., tri 15 cm debele lečaste plasti orudene kremenove kamnine, verjetno radiolarita, vložene v ritmično menjavanje tufskega muljevca in peščenjaka s 5 mm debelimi laminami piritra.

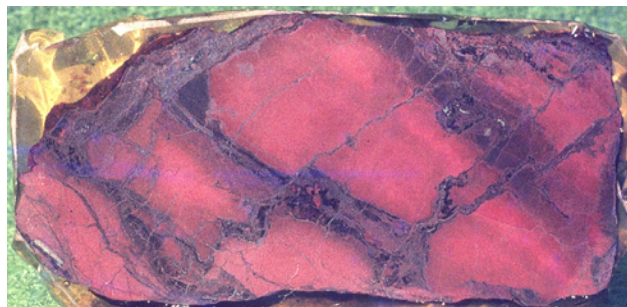
Orudenje s cinabaritom in samorodnim Hg ter številnimi bituminoznimi vključki, ki ga prištevamo zaporedju D, se pojavlja le še približno 2,5 metra nad postopnim kontaktom s plastmi zaporedja C.

Leta 2003 je Kadunec v okviru svoje seminarke naloge pregledal 4,34 m dolg profil piroklastitov nad plastmi skonca na odkopnem polju Kropáč I/20. Ugotovil je, da prevladuje od drobno do debelo zrnat tufski peščenjak, precej manj je tufskega meljevca, vložki okremenjenega pelitskega tufa so zelo redki. Neposredno nad plastmi skonca leži tudi več plasti radiolaritnega peščenjaka (KADUNEC, 2003).



Sl. 16. Brečasta cinabaritno-kalcedonska opekovka, nastala zaradi sinsedimentnega drsenja in lomljenja. Kropáč IIm/7. Velikost vzorca spodaj 8 cm, višina 11 cm. Foto: Rafael Podobnik

Fig. 16. Brecciated cinnabar-chalcedony »opekovka« (brick ore), formed as the result of synsedimentary sliding and fracturing. Kropáč IIm/7. Size of sample: bottom 8 cm, height 11 cm. Photo: Rafael Podobnik



Sl. 17. Cinabaritna intraformacijska breča (opekovka). Vezivo je cinabaritni gel. Velikost vzorca 13,5 x 6,5 cm. Foto: Rafael Podobnik

Fig. 17. Cinnabar intraformational breccia »opekovka« - brick ore). Cinnabar gel serves as cement. Sample size 13.5 x 6.5 cm. Photo: Rafael Podobnik



Sl. 18. Obremenitvene izbokline na spodnji strani piritne plasti. Kropáč IIm/7. Širina slike 12 cm. Foto: Rafael Podobnik

Fig. 18. Load-cast structure on lower part of pyrite bed. Kropáč IIm/7. Photo width 12 cm. Photo: Rafael Podobnik

Sedimentne teksture v plasteh skonca in orudenem delu piroklastičnega horizonta (singenetske cinabaritne rude)

Ideja o triasni starosti idrijskega živosrebrovega orudenja je stara že skoraj stoštirideset let (GRÖGER, 1876, 1879). Iz različnih gledišč so to misel dopolnili SCHRAUF (1891), KROPÁČ (1912), BERCE (1958) in MLAKAR (1967). Leta 1971 sta MLAKAR in DROVENIK opisala sedimentne cinabaritne rude v plasteh skonca in s tem potrdila srednetriasno starost orudenja. Najdba in opis singenetskih cinabaritnih rud vsekakor presega zgolj okvir genetskih posebnosti idrijskega rudišča. Iz drugih velikih živosrebrovih rudišč cinabaritnih rud sedimentnega nastanka ne poznamo. Pri tem preseneča, da je prišlo do »odkritja« sedimentnih rud – kljub skorajda petstoletnemu neprekinjenemu odkopavanju orudnih plasti skonca – tako pozno. V vseh starejših delno ohranjenih zbirkah idrijskih rud doma in po svetu najdemo tudi različne plastnate rude (REČNIK, 2012). Gotovo je odkritje dozorelo sočasno z napredkom nekaterih teoretičnih spoznanj o genezi rudišč.

Vse doslej opisane sedimentne teksture iz orudenega horizonta plasti skonca so bile opisane kot značilne teksture plastnatih cinabaritnih rud (MLAKAR & DROVENIK, 1971). Dejansko pa najdemo enake sedimentne teksture tudi v neorudenih

Tabela 3. Pregled sedimentnih tekstur v plasteh skonca in spodnjem delu piroklastičnega horizonta

ČAS NASTANKA	MESTO NASTOPANJA	NASTANEK	ZNAČAJ PROCESA NASTANKA			POJAVLJANJE V ZAPOREDIJH
			fizikalni		biogeni	
			Vrsta teksture in pojavljanje (Čar, 1985)	Mlakar & Drovenik, 1971		
predsedimentacijske teksture	med plastmi	erozijski	<ul style="list-style-type: none"> ▪ erozijski kanali ▪ medplastne erozijske površine (sl. 3, 4 in 23) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ medformacijske diskordance 		A, C1
sinsedimentacijske teksture	v plasti	pretežno sedimentacijski	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plastnatost: masivna, ravna, lečasta, nepravilna (sl. 3, 4 in 23) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ plastnata tekstura 		A, B, C1-C2, D
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ laminacija: vodoravna, navzkrižna, planarna, koritasta, krpasta, vijugava (sl. 11, 12, 13) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ prečna plastnatost 		B, C1-C2
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ postopna zrnavost: normalna, inverzna, nepopolna, pomnožena 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ postopna zrnavost 		C1-C2, D
posedimentacijske teksture	v plasti in med plastmi	pretežno deformacijski	<ul style="list-style-type: none"> ▪ drsnе teksture: drsnе gube, pretrgane plasti 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ drobna nabranost 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rastlinski delci nadomešeni s piritom ▪ lumakela iz ostankov lupin brahiopoda <i>Discine</i> (koralna ruda) ▪ bioturbacija 	A, B, C1-C2, D
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ medolastni zdrsi: intraklastična breča, intraformacijska breča (sl. 13, 14, 15, 16, 17) 			
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ obremenitvene teksture: obremenitvene izbokline, pogreznjeni delci, plamenasta tekstura (sl. 18 in 19) 			
			<ul style="list-style-type: none"> ▪ zapolnitev razpok s cinabaritom in piritom (sl. 20) 			
						A, B, C1-C2, D

kamninah, predvsem močno bituminoznih drobnozrnatih peščenih in muljastih kamninah.

MLAKAR in DROVENIK (1971) sta opisala le najizrazitejše teksture v sedimentnih cinabaritnih rudah. V naslednjih odstavkih podajamo pregled vseh ugotovljenih teksturnih oblik v orudnih in neorudnih plasteh skonca in najnižjem delu piroklastičnega horizonta s kratkim opisom (tabela 3).

Opis sedimentnih tekstur

K predsedimentacijskim teksturam v plasteh skonca štejemo sorazmerno redke erozijske kanale v podzaporedju C₁. Zapolnjeni so slabo zaobljenim dolomitnim konglomeratom z glinasto osnovo. Kanali so široki do 3,5 m, globoki največ 1,5 m (sl. 3, 4 in 23).

O zunanji plastnatosti plasti skonca idrijskega rudišča smo že poročali pri opisu posameznih litoloških različkov. Tu naj dodamo, da so plasti skonca skoraj v celoti tanko (3 do 7 cm) do zelo tanko plastnate (1 do 3 cm) ali pa so močno skrilave. Le lečasto ali nepravilno oblikovane plasti glinenčevo litičnega kremenovega peščenjaka s prehodi v lumakelo v najvišjem delu zaporedja C₂ so lahko debeli do 1,5 m (sl. 3 in 4). Glinavci, meljevci in drobni peščenjaki so največkrat ravno plastnati. V debeleje zrnatih kamninah, kot tudi v meljastih apnencih, laporovcih in prehodnih kamninah so plasti nepravilne ali lečaste. Na številnih lokacijah smo v bituminoznih meljevcih opazovali piritni 'ritmit', menjavanje meljevca in pirita v plasteh. Neplastnati so mikritni apnenci in dolomitni konglomerati v podlagi (sl. 3, 4 in 23).

Vodoravna in navzkrižna laminiranost v plasteh skonca ima različne vzroke (sl. 8, 9, 10 in 11). V več nivojih plasti skonca smo našli sedimentne cinabaritne rude v katerih smo opazovali ritmično

menjavanje treh lamin (sl. 8) in sicer muljevec-pirit-s cinabaritom prepojen kalcedon, včasih samo muljevec-pirit ali muljevec-kalcedon s cinabaritom. Debelejše lamine imajo ponavadi še bolj drobno notranjo zgradbo. Včasih tudi postopno zrnavost. Zaradi večje gostote sulfidnih mineralov so lamine pogosto deformirane (sl. 8). Primere ugrezanja piritnih lamin v mulj sta opisala že MLAKAR in DROVENIK (1971; tabela 9, sl. 1). V jalovih bituminoznih muljevcih so teksture v svežih presekih vidne le, če se menjavata muljevec in drobnozrnat peščenjak. V primeru menjavanja lamin glinavca in meljevca so teksture v naravnih presekih težko vidne. Lepo pa jih lahko opazujemo na poliranih prerezih. Različen odboj svetlobe nastopa zaradi neenakih količin organskih primesi in pirita (sl. 9 in 10). V glinavcu so lamine debele le od nekaj desetink milimetra do 1,5 mm, v meljevcu od 1 do 8 mm. V drobnozrnatih peščenjakih in meljevcih je laminacija opazna zaradi zelo drobne postopne zrnivosti v debelini do 1 cm. V orudnih laminiranih kamninah se menjavajo lamine glinavca ali meljevca, piritnih zrna in intraklastov (od 10 do 70 % FeS₂) in kalcedonsko-cinabaritnih zrn ali mešanice piritnih intraklastov in orudnih kalcedonskih zrn (sl. 9 in 10), (MLAKAR & DROVENIK, 1971). V piroklastitih opazujemo menjavanje lamin ali plasti piroklastičnega materiala in koncentracij kalcedonsko-cinabaritnih zrn s postopno zrnavostjo. Vodoravne lamine so ponavadi debele le nekaj milimetrov. Tu in tam najdemo tudi zelo tanke plasti debele do 1,3 cm z enako notranjo zgradbo (sl. 11 in 12).

Pri navzkrižni laminaciji so lamine debele od nekaj desetink do 1 mm (sl. 9 in 10). Zgrajene so iz melja in drobnozrnatega peščenjaka ali pa melja in mešanice kalcedonsko-cinabaritnih zrn in piritnih intraklastov. Podroben pregled lamin, sestavljenih iz sulfidnih mineralov, pokaže zanimivo posebnost. V vsaki lamini opazujemo vertikalno, ponekod tudi vzdolžno, separacijo zrn po njihovi masi (sl.

9). Najnižje dele grade zaobljena debelejša, nato drobnejša kalcedonsko-cinabaritna zrna, sledijo debelejša piritna in končno drobnejša piritna zrna. Nekatera večja piritna zrna so rasla tudi kasneje v času diageneze. Lamine se lahko zaključujejo planarno ali klinasto.

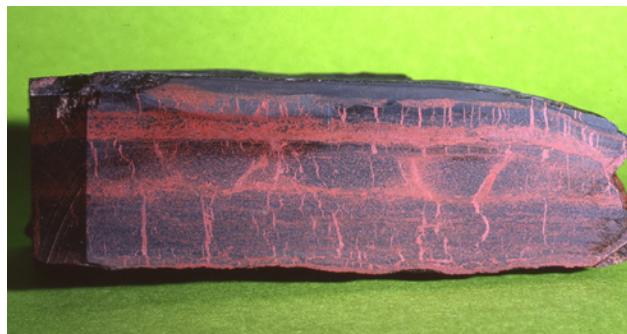
Tudi postopna zrnavost je v plasteh skonca zelo pogostna. Najdemo jo v peščenjakih, meljevcih, muljevcih in tufitih. Tako kot za vse doslej omenjene teksture velja tudi za postopno zrnavost, da je v nekontrastnih bituminoznih kamninah slabo opazna, pač pa je odlično vidna v tufitu (sl. 11 in 12). Najdemo jo v tufskih lečah zaporedja D znotraj bituminoznih skonca kamnin kot tudi v do 2,5 m debelem horizontu piroklastitov zaporedja D neposredno nad plastmi skonca (sl. 3 in 4), kjer sta razvita dva nivoja postopne zrnivosti. Postopna zrnavost ustvarjajo od 0,5 do 1 mm, izjemoma do 1,5 cm velika, delno zaobljena rdeča, s cinabaritom prepojena kalcedonska zrna, ki ležijo v zelenkastosivi tufitski osnovi (sl. 11 in 12). Glede na razpored zrn smo ločili normalno, inverzno, pomnoženo in nepopolno postopno zrnavost.

Zgornje plasti skonca so bogate tudi s postsedimentacijskimi deformacijskimi teksturami. Najprej naj omenimo lepe primere drsnih tekstur (sl. 13 in 14). Največkrat so zdrsele mm do cm debele cinabaritne in piritne plasti, ki so bile odložene v drobnozrnatih bituminoznih kamninah. Zdrsele plasti so se nagubale, nastale so lepe drsne gube, ali pa so se razlomile (sl. 13 in 14).



Sl. 19. Laminiran tufit. Zrna kalcedona prepojena s cinabaritom v tufitu. Zgoraj vidimo bolj ali manj razvito obremenitveno teksturo. Nekaj delcev se je že skoraj odvojilo od zgoraj ležeče plasti in gradijo teksturo 'pogreznjenih delcev'. V sredini in spodaj različno razvite postopne zrnivosti. Velikost vzorca 13 x 14 cm. Odkopno polje Kropač I/19. Foto: Jani Peternejl

Fig. 19. Laminated tuffite. Chalcedony grains interspersed with cinnabar in tuffite. A more or less developed load-cast structure can be seen above. Some particles have almost freed themselves and are building a structure of 'sunken particles'. Graded beddings are diversely developed in the middle and at the bottom. Sample size 13 x 14 cm. Mine field Kropač I/19. Photo: Jani Peternejl



Sl. 20. Bituminozni meljavec s številnimi orudenimi kalcedonskimi zrnji in lamine cinabarita sekajo postsedimentne razpoke zapolnjene s cinabaritnim gelom. Razpoke so nastale še v mehkem sedimentu. Odkopno polje Kropač IIm/7. Velikost vzorca 9 x 3,5 cm. Foto: Rafael Podobnik

Fig. 20. Bituminous siltstone with numerous mineralised chalcedony grains and cinnabar laminates cut by syndimentary fissures filled with cinnabar gel. Mine field Kropač IIm/7. Sample size 9 x 3.5 cm. Photo: Rafael Podobnik



Sl. 21. S cinabaritom bogato prepojena lumakela iz lupin brachiopoda *Discina*. Rudarsko ime za tovrstne rude je 'korálna ruda'. Foto: Jani Peternejl

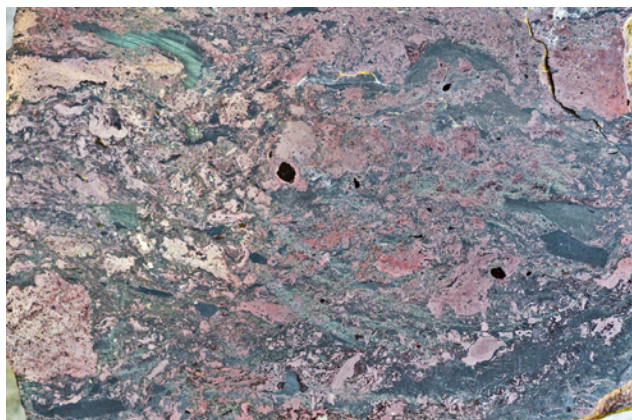
Fig. 21. Cinnabar-rich lumachella of the brachiopod *Discinea*. The mining name for these types of ores is 'coral ore'. Photo: Jani Peternejl



Sl. 14. Zaradi zdrsa nagubane, pretrgane in rahlo narinjene piritne plasti. Odkopno polje Kropač IIm/7. Debelina zgornje piritne plasti 1,2 cm. Foto: Jani Peternejl

Fig. 14. Pyrite bed, folded, crushed and slightly overthrust as the result of slump. Mine field Kropač IIm/7. Thickness of upper pyrite bed 1.2 cm. Photo: Jani Peternejl

V bituminoznih glinavcih in meljevcih litološkega zaporedja C, še posebej v zgornjem silikatnem delu, so bile odložene izjemno bogate gelaste *jeklenke* - do 78 % Hg - z ledvičasto teksturo. Jeklenke se pojavljajo v obliki bolj ali manj deformiranih leč ali lečastih plasti v debelini do 30 cm, izjemoma 60 cm (rudno telo Turniš). Zaradi medplastnih zdrsov prehajajo plasti jeklenk bočno v različno razvite intraformacijske breče. Najmanj 'razvite' breče so sestavljene iz plastiklastov in intraklastov z ledvičasto teksturo. Vezivo je največkrat glina ali melj, včasih pa tudi bituminizirani cinabaritni gel (sl. 15). Podobne teksture smo opazovali tudi v povprečju nekoliko manj bogatih *opekovkah* (sl. 16), ki so sestavljene iz bogato orudenih kalcedonskih zrn. Tudi v njih smo opazovali vse primere deformacij od začetnih medplastnih zdrsov do 'pravih' medplastnih breč (sl. 16 in 17).



Sl. 15. Jeklenka sestavljena iz plastiklastov in intraklastov ledvičastega cinabaritnega gela. Vezivo je močno bituminiziran cinabaritni gel. Širina posnetka 25 mm. Odkopno polje Turniš I/5. Foto: David Tončič

Fig. 15. »Jeklenka« (steel ore) comprised of the plasticlasts and intraclasts of a kidney-shaped cinnabar gel. Strongly bituminized cinnabar gel serves as cement. Photo width 25 mm. Mine field Turniš I/5. Photo: David Tončič

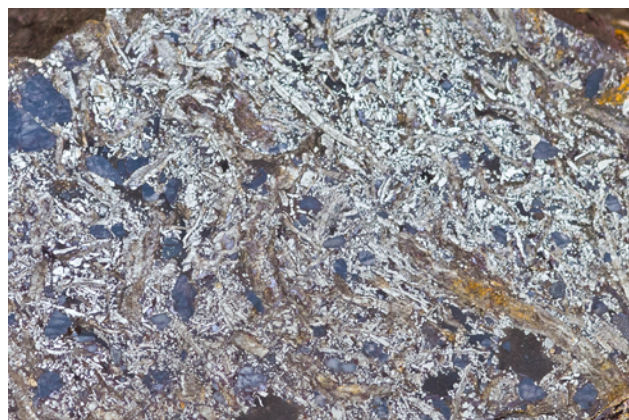
Izrazite obremenitvene teksture opazujemo največkrat na spodnjih piritnih, cinabaritno-piritnih ali cinabaritno-kalcedonskih plasteh ali laminah, ki so se nahajale sredi glinsto-meljastih kamnin, (sl. 18) ali tu in tam na kontaktu peščenjaka in drobnozrnatih meljastih kamnin. Teksture so se ohranile v različnih ravninskih stopnjah. V nekaterih primerih - predvsem v tufitu - so se že deli gostejših cinabaritno-kalcedonskih lamin pogreznili bolj ali manj gloko v mehak tufitski material. Posamezni deli plasti so se povsem oddvojili in 'plavajo' v sedimentu podlage. Nastala je tekstura 'peščenih žog', ki pa bi jo bilo v našem primeru bolje imenovati tekstura 'pogreznjenih delcev' (sl. 19).

V orudenih plasteh skonca smo opazovali tudi številne in najrazličnejše zgodnje postsedimentacijske 'razpoklinske' deformacije nastale še v mehkih sedimentih. Razpoke reverznega ali normalnega značaja običajno sekajo eno, le redko več plasti. Pogostnejše pa so bile odprte natezne razpoke, ki jih je nato zapolnil cinabaritni gel. Tudi v tem primeru so odprte s cinabaritom zapolnjene razpoke sekale

lahko le nekaj piritno-kalcedonsko-cinabaritnih lamin in drobnozrnatih lamin prikamnin ali pa več različno orudenih plasti in so dajale rudam poseben izgled (sl. 20). Poznodiagenetske razpoke v orudenih plasteh skonca, nastale že v strjeni sedimentni kamnini, zapolnjujejo poleg cinabarita še kremen, idrijalin, pirit in bitumen.

Naj na koncu pregleda sedimentnih tekstur v plasteh skonca omenimo še bogato do zelo bogato *koralno rudo*, ki prehaja v brahiopodno lumakelo s peščenim vezivom (sl. 21). Količine tovrstne rude so bile v rudišču velike in pogostne. Bistveno redkeje pa smo naleteli na piritne ali markazitne psevdomorfoze rastlinskih ostankov (sl. 22). Nadomeščeni rastlinski ostanki so se ohranili bodisi v tanjših plasteh ali lečah.

Opomba: Vsi obravnavani vzorci cinabaritnih rud se nahajajo v geološki zbirki Rudnika živega srebra v Idriji.



Sl. 22. Piritne psevdomorfoze po rastlinskih ostankih. Vmes različno veliki dolomitni odlomki (temnejši delci). Velikost fotografiranega dela vzorca je 4 cm. Odkopno polje Ziljska I/16. Foto: Rafael Podobnik

Fig. 22. Pyrite pseudomorphosis along plant remains. Intercalations of dolomite fragments of varying size (dark particles). Size of photographed part of sample 4 cm. Mine field Ziljska I/16. Photo: Rafael Podobnik

Sedimentacijsko okolje in nastanek plasti skonca

Rekonstrukcija okolja sloni na litoloških podatkih ter vertikalni in bočni povezavi kamnin.

Osrednji del idrijskega srednjetrijskega tektonskega jarka in južni del severnega praga do preloma Auersperg (sl. 1) ležijo plasti skonca normalno na ladinijskem nesortiranem dolomitnem konglomeratu in dolomitnem peščenjaku. Njihove sedimentološke značilnosti kažejo na odlaganje na umirjenih obpotočnih ravninah s prehodi v manjše potočne delte (ČAR, 1985).

V plasteh skonca si običajno v vertikalni smeri sledijo zaporedja A - B - C - D, lahko pa tudi neposredno A - C - D. V bočni smeri si vedno sledijo zaporedja A - B in karbonatno zaporedje C₁ (sl. 3 in 4). S silikatnim podzaporedjem C₂ se sedimentacija plasti skonca zaključuje. Sledijo še piroklastiti zaporedja D. Ponekod podniz C₁ manjka in je razvit samo zgornji silikatni del C₂. Tako

je naprimer ponekod v 'Talnini' (tektonska enota Zorc) ter na območju tektonske enote Pront, kjer neposredno na erodirane karbonske klastite nalegajo vedno mlajši nivoji ladinjskih plasti, na skrajnem severnem delu že piroklastiti zaporedja D.

Jezerska in močvirska sedimentacija sta, kljub nekaterim skupnim značilnostim, zelo raznoliki in notranje litološko zapleteni tako, da praktično ni mogoče podati enotnega splošnega sedimentacijskega modela (PICARD & HIGH, 1972; FREYTET, 1973; REINECK & SINGH, 1975; COLLINSON, 1978; MATTER & TUCKER, 1978; FOUCH & DEAN, 1992; DIESSEL, 1992; CHARMAN, 2002). Kot značilne klastične sedimente jezerskih in močvirskih okolij raziskovalci omenjajo različne glinavce, meljevce ali muljevce ter karbonatne in kremenove litične peščenjake. Med karbonatnimi petrografskimi različki najdemo največkrat detritične, meljaste ali peščene mikritne apnenca in med prehodnimi kamninami različne laminirane laporovce. Naštete kamnine iz močvirskih okoljih so običajno bogate z organskim materialom. Najdemo še piroklastite, v posebnih pogojih premog, oljne skrilavce ali evaporite (PICARD & HIGH, 1972; MATTER & TUCKER, 1978; DIESSEL, 1992; CHARMAN, 2002). Jezerske in močvirske sedimentne kamnine so lahko povezane z robnimi potočnimi in in rečnimi klastiti. Primerjava zgornjega seznama z litološkim razvojem plasti skonca v idrijskem rudišču pokaže visoko stopnjo soglasnosti (sl. 3 in 4). V plasteh skonca prevladujejo skrilavi glinavci in muljevci, plastnati meljevci, drobno zrnati peščenjaki, laporovci in zaglinjeni apnenca.

Količinsko je kamnin niza C bistveno več kot kamnin zaporedja A. Razmerje med njimi je približno 1:4. Litološki členi niza B se pojavljajo le v nekaj metrskih pasovih med zaporedjem A in podzaporedjem C₁ in so izrazito prehodne kamnine. Če ozek pas prehodnih kamnin zanemarimo vidimo, da je osnovna značilnost notranje zgradbe plasti skonca v makroskopski dvojnosti. Najbolj opazna je velika razlika v količini organskega materiala. Kamnine zaporedja C so v celoti, ne glede na sestavo, bogate z organskimi snovmi in zato skoraj črne ali črne. Velika količina organske snovi je razpršena v vseh litoloških različkih. Najdemo jo v obliki brezstrukturnega gela, slabo ohranjenih rastlinskih delcev in tudi kot premoške vložke debele do 40 cm. V kamninah zaporedja B je količina organskih primesi že bistveno manjša. Litološki različki zaporedja A organske snovi praktično ne vsebujejo, zato so temno sive ali zelenkasto sive barve. Slabo ohranjene rastlinske delce najdemo le v vmesnih laporastih in glinastih vložkih.

Podobno kot organska snov, sta razporejena tudi diagenetski pirit in markazit. Največjo količino železovih sulfidov najdemo v bituminiziranih kamninah celotnega niza C₂. Med piritnimi in markazitnimi različki najdemo singenetne idiomorfne kristale ter piritne plasti in leče, ki so sestavljene iz presedimentiranih piritnih kristalov (MLAKAR & DROVENIK, 1971). Poleg tega najdemo v zaporedju C zgodnjediagenetski pirit v obliki framboidalnih zrn, posameznih kristalov,

skupkov, do decimeter velikih konkrecij, pa tudi psevdomorfoz po rastlinskih ostankih (sl. 22). Podobno kot smo ugotovili že za organski material, je v zaporedju B tudi pirit bistveno manj kot v nizu C. V glavnem pripada framboidalnemu piritu ali pa je nastal pri hidrotermalni piritizaciji.

Pomemben podatek za rekonstrukcijo geokemičnih razmer v sedimentacijskem okolju so velike razlike v vezivu kamnin iz posameznih zaporedij. Vezivo peščenjaka in meljevca v zaporedju A je mikrit. Bočno in v vertikali prehajata peščenjak in meljevec v različke mikritnega apnenca. Omenjene kamnine so nastajale v bazičnem in bolj oksidacijskem okolju (pH večji od 7,8). Kamnine celotnega niza C z vsem svojim organskim in piritno-markazitnim bogastvom so produkt bolj redukcijskega okolja.

Kamnine zaporedja A imajo znotraj podzaporedja C₁ značilno razprostranjenost (sl.4). V eni smeri se lahko kamnine zaporedja A vlečejo neprekinjeno več deset metrov, pravokotno na to smer običajno niso širše od 6. metrov (sl. 23). Na več mestih se kamnine zaporedja A pojavljajo v tudi več deset metrov velikih in nekaj metrov debelih ploščah. To kaže, da so znotraj redukcijskega okolja (podzaporedje C₁) obstajala ožja in širša oksidacijska območja (zaporedje A).

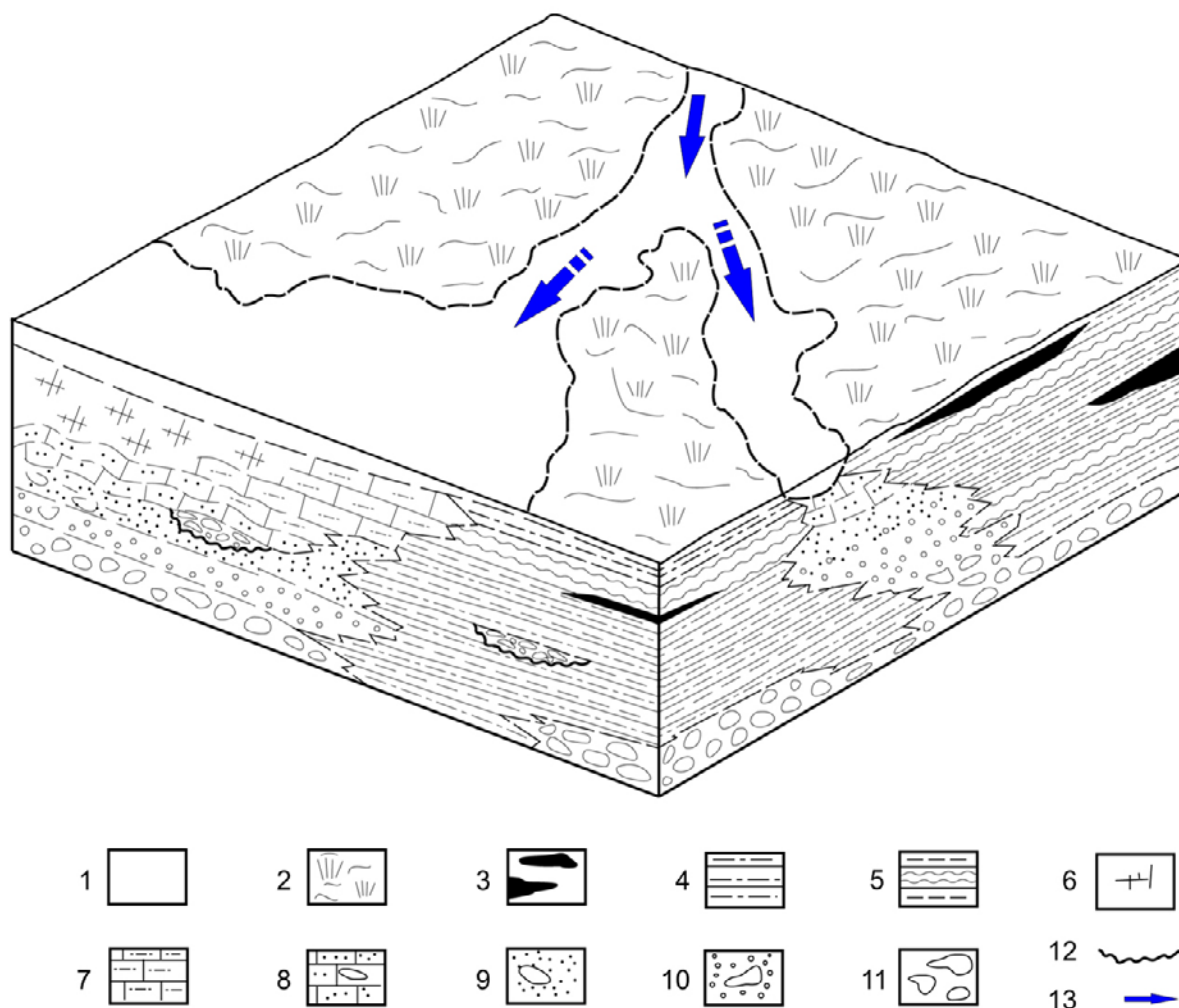
Opisane razmere razlagamo s sedimentacijo v močvirju, gosto poraslem verjetno z nižjim rastlinjem. V poraslih zamočvirjenih delih so se odlagali bituminozni drobnozrnati peščenjaki, bituminozni laminirani meljevci in glinavci z redkimi lečami premoga. Skozi močvirje so se po sorazmerno ozkih, plitvih in neizrazitih, neporaščenih ali slabo poraščenih kanalih, pretakale počasi tekoče 'sveže' hidrogenkarbonatne vode. (sl. 23 in 24). Vode so iz kopnega prinašala poleg melja in gline predvsem karbonatni drobir, poleg tega se je iz nje izločalo mikritno vezivo. V dotočnih kanalih so se usedali apnenčevo dolomitni peščenjaki in meljevci s kalcitnim vezivom. Po kanalih so se vode stekale v manjša plitva jezerca, kjer so nastajali predvsem različki karbonatnih kamnin in sicer peščeni in meljasti mikritni apnenec, ponekod tudi intrabiomikritni apnenec. Zaradi goste poraščenosti močvirja in majhne hitrosti dotekajočih vod so se vode mešale med seboj le v ozkem obdotočnem pasu. Tu so nastajale prehodne kamnine zaporedja B in sicer meljasti apnenca, kalcitni meljevci, laporasti apnenca, laporovci in kalcitni glinavci, ki so lahko tudi skrilavi (sl. 4 in 23). Po skromni razširjenosti in nepravilni oblikovanosti kamnin zaporedja B sklepamo, da je bila meja med redukcijskim in oksidacijskim okoljem na obrobju kanalov postopna, vendar hitra. Ob počasnem pogrezanju terena in v odvisnosti od vsakokratnih hidrodinamskih in morfoloških pogojev ob dokaj konstantnem dotoku vode, so dotočni kanali le počasi spreminjali svojo obliko in se postopno bočno premikali po močvirskem okolju. Bočni premiki niso bili večji od nekaj metrov (sl. 23). Ob nenadnem večjem dotoku vode, ob poplavnih razmerah, so vode hitro zarezale nove struge v močvirsko okolje in nanosile debelejši, slabo zaobljen, dolomitni prodnat material. Včasih je pridrsel v močvirsko okolje

tudi drobirski tok, ki je odložil leče neurejenega dolomitnega peščenjaka, konglomerata in muljastega konglomerata in (sl. 3, 4 in 24). Po takih, sorazmerno redkih dogodkih, so se pogoji sedimentacije ponovno hitro stabilizirali in nadaljevala se je umirjena sedimentacija (sl. 3, 4, 23 in 24).

Kamnine podzaporedje C_2 v celoti prekrivajo karbonatno podzaporedje C_1 in kamnine nizov A in B (sl. 3 in 4). Kamnine niza A in B se v zgornjem delu plasti skonca ne pojavlja več. Tudi silikatno podzaporedje C_2 je močno bituminozno z ostanki nedoločljivih rastlinskih ostankov, premoškimi vložki, lečami in plastmi piritita, markazita in sedimentnih rud (sl. 4). Največkrat se spodnji karbonatni del zaključuje približno v višini prvega močnejšega vložka piroklastičnih kamnin (zaporedje D). Vendar močnejšega vložka piroklastitov ne najdemo v vseh profilih

(sl. 3 in 4) tako, da se ne moremo vedno zanesti na ta kriterij. Zanesljivo jih lahko ločimo le po sestavi. V višini prehoda se namreč dokaj hitro, vendar postopno spremeni sestava kamnin. Karbonatni terigeni material izgine, nadomestijo ga različne, predvsem silikatne komponente in slabo predelani drobir starejših karbonskih klastičnih kamnin.

V kemičnem pogledu se razmere na meji med podnizoma C_1 in C_2 niso bitveno spremenile. Še vedno je sedimentacija potekala v močno redukcijskem, vendar verjetno v nekoliko bolj kislem okolju. Povečana vulkanska in tudi tektonska aktivnost sta odprli pot dotoku morske vode in morskim organizmom (radiolariji). Voda je počasi preplavila sladkovodno močvirje. Nastala je zaprta restriktivna, z nižjim rastlinstvom poraščena laguna (sl. 4).



Sl. 23. Prostorski prikaz sedimentacijskih razmer v času nastajanje spodnjega karbonatnega dela zaporedja C_1

1. voda; 2. močvirje; 3. premoški vložki; 4. bituminozni dolomitni peščenjak; 5. bituminozni dolomitni meljevec in skrilavi glinavec; 6. meljasti mikritni apnec in mikritni apnec; 7. meljasti apnec s prehodi v apnenčev laporovec; 8. peščen in meljasti mikritni apnec z redkimi prodniki; 9. kalcitno dolomitni ali dolomitno kalcitni meljevec, ponekod prodnat; 10. dolomitni peščenjak, ponekod prodnat; 11. dolomitni konglomerat; 12. erozijska površina; 13. smer dotokanja sveže vode v močvirje

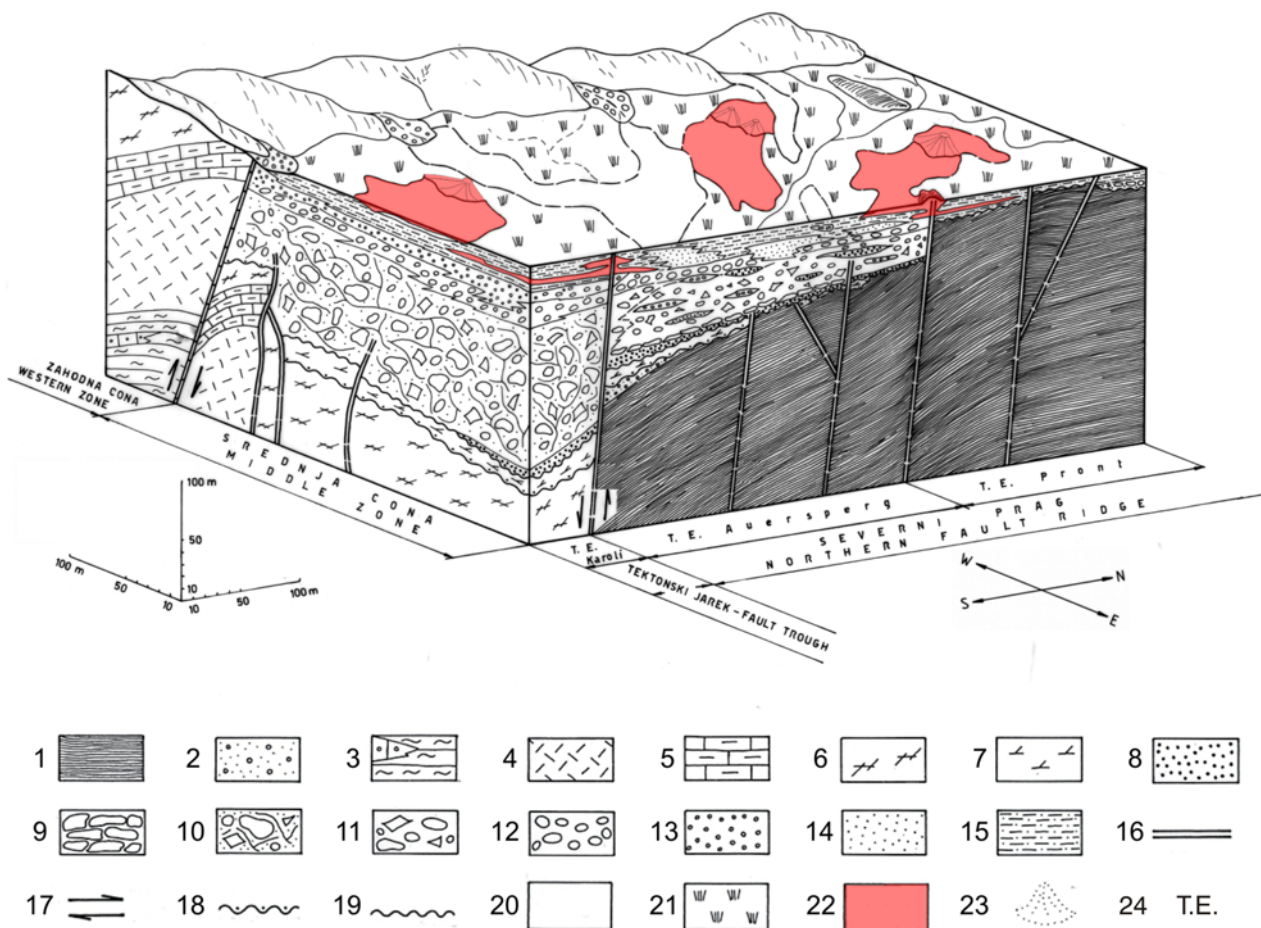
Fig. 23. Spatial presentation of sedimentary conditions during formation of the lower, carbonate part of sequence C (C_1)

1. water; 2. marsh; 3. coal intercalations; 4. bituminous dolomite sandstone; 5. bituminous dolomite siltstone and clayey shale; 6. silty micritic limestone and micritic limestone; 7. silty limestone passing into calcareous marlstone; 8. sandy and silty micritic limestone with rare pebbles; 9. calcitic dolomitic or dolomitic calcitic siltstone, pebbly in some parts; 10. dolomitic pebbly sandstone, pebbly in some parts; 11. dolomite conglomerate; 12. erosion surface; 13. direction of fresh water inflow into the marsh

O hidrodinamskih pogojih v močvirju (C1) in laguni (C2) pričajo sedimentne teksture. V karbonatnem podnizu C_1 prevladujejo različne plastnatosti, horizontalna laminacija in neizrazita postopna zrnastost, kar kaže na počasnejše tokove (sl. 9 in 10). V silikatnem podnizu C_2 so pogostne bolj ali manj izrazite laminacije in postopne zrnastosti. Zanimiva je mala koritasta plastnatost (navzkrižna laminacija), ki nastaja s talnim

transportom (sl. 9). Pogostna je tudi horizontalna laminacija (sl. 8). Nastaja večinoma iz suspenzije. Drobne erozijske površine so posledica erozije šibkih tokov v plitvi vodi.

S cinabaritom je lahko bolj ali manj rudnen celoten kamninski niz C, vendar se najbogatejše sedimentne rude nahajajo predvsem v zgornjem delu podzaporedja C_2 . Rudneni del plasti skonca, njihova sestava in teksture govore predvsem o



Sl. 24. Prostorski prikaz sedimentacijskih razmer idrijskem srednjetrasijskem tektonskem jarku v času nastajanja bogatih cinabaritnih sedimentnih rud

1. karbonske kamnine; temnosivi skrilavi glinavec in meljevec z lečami sivega sljudnatega kremenovega peščenjaka; 2. gródenske plasti; sivi in rdečkasti kremenovi klastiti; 3. spodnji skit; zelenkastosivi skrilavec, muljevec, peščenjak in leče sivega oolitnega apnenca; 4. zgornji skit; sivi neplastnati zrnati dolomit; 5. zgornji skit; temno sivi laporasti apnenec; 6. anizij; svetlosivi dolomit; 7. zgornji anizij; sivi zrnati dolomit; 8. ladinij; kaolinitne klastične kamnine; 9. ladinij; zdrsula blokovna breča; 10. ladinij; nesortirana muljasta blokovna breča; 11. ladinij; gramozovec (kamnina iz mešanice prodnikov in nezaobljenih klastov); 12. ladinij; dolomitni konglomerat; 13. ladinij; dolomitni peščenjak; 14. ladinij; meljevec in muljevec; 15. ladinij, langobard - plasti skonca; bituminozni skrilavec in meljevec; 16. srednjetrasijski normalni prelom; 17. smer premikanja blokov; 18. erozijska površina prve srednjetrasijske erozijske faze v idrijskem srednjetrasijskem tektonskem jarku; 19. erozijska površina druge srednjetrasijske erozijske faze v idrijskem srednjetrasijskem tektonskem jarku; 20. voda; 21. močvirje; 22. singenetske cinabaritne rude; 23. hidrotermalni izviri s kalcedonskimi skorjami; 24. tektonska enota

Fig. 24. Spatial presentation of sedimentary conditions in Idrija Middle Triassic tectonic fault trough during the formation of rich sedimentary cinnabar ores

1. Carboniferous rocks; dark grey clayey shale and siltstone with lenses of grey micaceous quartz sandstone; 2. Val Gardena beds; grey and reddish quartz clastic rocks; 3. Lower Scythian; greenish-grey shale, mudstone, sandstone and lenses of grey oolitic limestone; 4. Upper Scythian; grey unbedded grained dolomite; 5. Upper Scythian; dark grey marly limestone; 6. Anisian; light-grey dolomite; 7. Upper Anisian; grey grained dolomite; 8. Ladinian; kaolinitic clastic rocks; 9. Ladinian; boulder slump breccia; 10. Ladinian; unsorted muddy basal breccia; 11. Ladinian; gravel (rock comprising a mixture of pebbles and angular clasts); 12. Ladinian; dolomite conglomerate; 13. Ladinian; dolomite sandstone; 14. Ladinian; siltstone and mudstone; 15. Ladinian, Langobardian - Skonca beds; bituminous shale and siltstone; 16. Middle Triassic normal fault; 17. direction of block movement; 18. erosion surface of first Middle Triassic erosion phase in the Idrija Middle Triassic tectonic fault trough; 19. erosion surface of second Middle Triassic erosion phase in the Idrija Middle Triassic tectonic fault trough; 20. water; 21. marsh; 22. syngenetic cinnabar ores; 23. hydrothermal springs with chalcedony crusts; 24. tectonic unit

hidrotermalnem delovanju in drobnih premikih v bazenu. S hidrotermalnim delovanjem se je povečala tudi kislost sedimentacijskega okolja.

Sočasno z bituminoznimi meljevci in glinavci so se v močvirsko-lagunskem okolju odlagale bogate sedimentne cinabaritne rude. Nekateri dovodni prelomi in razpoke so namreč segali neposredno v dno močvirja, oziroma lagune (sl. 24). Iz dotekajočih hidrotermalnih raztopin se je zaradi spremenjenih fizikalno-kemičnih pogojev izločal živosrebrov sulfid v obliki zelo drobnih kosmičev in se usedal skupaj z organskimi snovmi in terigenimi delci (MLAKAR & DROVENIK, 1971) presedimentiranih erodiranih karbon-skih kamnin, ki so bile takrat na severnem delu Severnega praga (sl. 1) še vedno na kopnem. Iz cinabaritni kosmičev so nastajale izjemno bogate gelaste jeklenke z ledvičasto teksturo (do 78 % HgS), ki so kasneje marsikje kristalizirale (MLAKAR & DROVENIK, 1971), (sl. 15).

Pogosteje so se ob hidrotermalnih vrelih izločale opalne skorje in cinabaritni geli (sl. 24). Opal je kasneje prešel v bogato oruden stabilnejši kalcedon (MLAKAR & DROVENIK, 1971). Zaradi tektonske aktivnosti in s tem povezanih premikanj v sedimentacijskem bazenu so bile kalcedonske skorje zdobljene v različno velike klaste, ki jih je voda skupaj z drobnimi cinabaritnimi delci razpadlih gelastih in kristalastih jeklenk raznašala po bazenu (sl. 24) in oblikovala različne sedimentne rude in sicer jetrenke, opekovke in koralno rudo (sl. od 8 do 12 in 16, 17, 19 in 21). Številne plasti še ne strjenih gelastih jeklenk in ostalih sedimentnih rud so bile spremenjene v sinsedimentne znotrajplastne intraklastične cinabaritne breče (različne jeklenke in opekovke), (sl. 15, 16, 17). Največkrat imajo zapleteno sestavo. Poleg intraklastov gelastih rud (sl. 15) so se odlagali odlomki orudenih kislih predornin, kaolinita in roženca ter velikih količin s cinabaritom prepojenih kalcedonski zrn (MLAKAR & DROVENIK, 1971). Nekateri še nekonsolidirane sedimentne rude so bile razpokane in dodatno prepojene s cinabaritnim gelom (sl. 20). Sočasno so nastajali tudi s cinabaritom prepojeni muljevci in peščenjaki.

S postopnim zamiranjem hidrotermalne dejavnosti se je večala vulkanska aktivnost. Skonca plasti so prekrile do 80 metrov debele plasti piroklastitov (MLAKAR & DROVENIK, 1971). Sedimentne rude, sestavljene iz orudenih kalcedonskih zrn s postopno zrnastostjo, najdemo tudi v piroklastitih, vendar le še okrog 2,5 m nad kontaktom s plastmi skonca (ČAR, 1985), (sl. 11, 12 in 19).

Zahvala

Izkreno se zahvaljujem recenzentoma doc. dr. Dragotu Skabernetu in prof. dr. Andreju Šmucu za natančen pregled teksta, popravke in tehtne predloge, ki so pomembno izboljšali tekst. Hvala tudi Urošu Erženu, ki se je trudil z izdelavo grafičnih prilog.

Literatura

- BERCE, B. 1953: Jamsko kartiranje rudnika živega srebra Idrija. Arhiv rudnika Idrija in Geološkega zavoda Ljubljana, (neobjavljeno).
- BERCE, B. 1958: Geologija živosrebrnega rudišča Idrija. Geologija, 4: 5-49.
- BUSER, S. 1980: Stratigrafske vrzeli v paleozojskih in mezozojskih plasteh v Sloveniji. Simpozium iz regionalne geologije i paleontologije. Rud. Geol. fakultet, Beograd: 335-344.
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian Carbonate Platforms and of the intermediate Slovenian Basin (NW Yugoslavia). Mem. Soc. Geol. It., 40 (1987): 313-320.
- CHARMAN, D. 2002: Peatlands and Environmental Change. John Wiley & Sons Ltd, 289:1-38.
- CIGALE, M. 1983: Rezultati raziskav urana v skonca kamninah idrijskega rudišča. Geološki zbornik, 4: 205-212.
- COLBERTALDO, D. & SLAVIK, S. 1961: Il giacimento cinabrifero di Idria in Jugoslavia. Rend. Soc. Min. Italiane, 1-27.
- COLLINSON, J.D. 1978: Vertical sequences and sand body chapes in alluvial sequences, 577-586. In: MAILL (ed.): Fluvial Sedimentology, Can. Soc. Pet. Geol. Mem. 5.
- COUSIN, M. 1973: Le sillon slovène: les formations triasiques, jurassiques et néocomiennes au Nord-Est de Tolmin (Slovénie occidentale, Alpes méridionales) et leurs affinités dinariques. B.S.G.F., 7/15, 3-4:327-339.
- ČAR, J. 1975: Olistostrome v idrijskem srednjetriasmem tektonskem jarku = Olistostromes in the Idrija Middle Triassic Trough-Fault. Geologija, 18: 157-183.
- ČAR, J. 1985: Razvoj srednjetriasnih sedimentov v idrijskem tektonskem jarku. Doktorska disertacija, FNT VTOZD Montanistika, Odsek za geologijo, Ljubljana: 236 p.
- ČAR, J. 1988: Ali je cerkev sv. Trojice zgrajena na »živosrebrnem studencu«? Idrijski razgledi, 1: 41-42.
- ČAR, J. 1989: Okolje nastanka anizijskega dolomita nad srednjetriasno erozijsko diskordanco v Idrijskem rudišču = Depositional environment of the anisian dolomite above the middle triassic erosional diskonformity in the Idrija ore deposit. Rudarsko-metalurški zbornik, 36/2: 395-407.
- ČAR, J. 1990: Kotna tektonsko-erozijska diskordanca v rudiščnem delu idrijskege srednjetriasne tektonske zgradbe = Angular tectonic-erosional unconformity in the deposit's part of the Idrija Middle Triassic tectonic structure. Geologija, 31-32, (1988/89): 267-284.
- ČAR, J. 2010: Geološka zgradba idrijsko-cerkljanskega hribovja. Tolmač h geološki karti idrijsko – cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami 1:25 000 = Geological structure of the Idrija-Cerkno hills. Explanatory Book to the Geological map of the Idrija-Cerkljansko hills. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana:127 p.
- DIESSEL, C. F. K. 1992: Coal-Bearing Depositional Systems. Springer-Verlag, 721: 1-32.

- DROVENIK, M., ČAR, J. & STRMOLE, D. 1975: Langobardske kaolinitne usedline v idrijskem rudišču. *Geologija*, 18: 107-155.
- FERBER, J. J. 1774: Beschreibung des Quecksilber - Bergwerks zu Idria in Mittel - Kräyn. Berlin. Prevod: Jože Pfeifer, *Opis živosrebrovega rudnika v Idriji na srednjem Kranjskem*. Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike 11, Slovenska matica Ljubljana 1991, 173-207, Ljubljana.
- FOUCH, T. D. & DEAN, W. E. 1992: Lacustrine Environments. In: SCHOLLE & SPEARING (eds.): Sandstone Depositional Environments, 87-115. The American Association of Petroleum Geologists Tulsa, Oklahoma 74101, U.S.A.
- FREYDET, P. 1973: Petrography and paleo-environment of continental carbonate deposits with particular reference to the Upper Cretaceous and Lower Eocene of Languedoc (Southern France). *Sediment. Geol.*, 10: 25-60.
- GRÖGER, F. 1876: Zur Vorkommen des Quecksilbererzes. *Verh. Geol. R.A.*, 24: 60-70.
- GRÖGER, F. 1879: Der Idrianer "Silberschiefer". *Verh. Geol. R.A.*, 105-106.
- HACQUET, B. 1781: Oryctographia Carniolica oder Physikalische Erdbeschreibung des Herzogtums Krein, Istrien und zum Theil der benachbarten Länder. II Theil, 33-157.
- JANDA, F. 1892: Einige Idrianer Mineralien und Gesteine. *Oesterreichischen Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen*, 40/11: 483-485.
- KADUNEC, K. 2003: Tufski peščenjaki iz idrijskega rudišča. 2. seminarska naloga, NTF, Oddelek za geologijo, Univerza v Ljubljani: 30 p.
- KOSSMAT, F. 1899: Über die geologischen Verhältnisse des Bergbaugesbietes von Idria. *Jahrb. geol. R. A.*, 260-286.
- KOSSMAT, F. 1910: Erläuterungen zur geologischen Karte Bischoflack und Idria. 1-101.
- KOSSMAT, F. 1911: Geologie des Idrianer Quecksilbergergbaues. *Jahrb. Geol. R.A.* 15/ 2: 339-383.
- KROPÁČ, J. 1912: Die Lagerstättenverhältnisse des Bergbaugesbietes Idria. *Berg und Hüttenmännischen Jahrb.*, 60/2: 1-52.
- LIPOLD, M. V. 1874: Erläuterungen zur geologischen Karte der Umgebung von Idria in Krain. *Jahrb. Geol. R.A.*, 24/4: 425-456.
- MATTER, A. & TUCKER, M. (eds.) 1978: Modern and ancient lake sediments. *Internac. Assoc. of Sediment., Spec. Publ.* 2: 1-290.
- MLAKAR, I. 1967: Primerjava spodnje in zgornje zgradbe idrijskega rudišča = Relations Between the Lower and the Upper Structure of the Idrija Ore Deposit. *Geologija*, 10: 87-126.
- MLAKAR, I. 1969: Krovna zgradba idrijsko žirovskega ozemlja = Nappe Structure of the Idrija-Žiri Region. *Geologija*, 12: 5-72.
- MLAKAR, I. 1975: Mineraloške, petrografske in kemične značilnosti rude in prikamnine idrijskega rudišča. *Mezozoik v Sloveniji (tipkano poročilo)*, I., 143 in II., 331, arhiv RŽS Idrija.
- MLAKAR, I. & DROVENIK, M. 1971: Strukturne in genetske posebnosti idrijskega rudišča = Structural and Genetic Particularities of the Idrija Mercury Ore Deposit. *Geologija*, 14: 67-126.
- MLAKAR, I. & ČAR, J. 2009: Geološka karta idrijsko - cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami 1 : 25 000. Geološki zavod Ljubljana, 2009, Gorica (Italija).
- PICKARD, M.D. & HIGH, L.R. 1972: Criteria for recognizing lacustrine rocks. In: RIGBY, J.K. & HAMBLIN, W.K. (eds.): Recognition of ancient sedimentary environments. *Soc. Econ. Paleont. Min., Spec. Publ.* 16: 108-145.
- PLACER, L. 1982: Tektonski razvoj idrijskega rudišča = Structural history of the Idrija mercury deposit. *Geologija*, 25/1: 7-94.
- PLACER, L. & ČAR, J. 1975: Rekonstrukcija srednjetrijskih razmer na idrijskem prostoru = Rekonstruktion der mitteltriassischen Verhältnisse im Idrija-Gebiet. *Geologija*, 18: 197-209.
- PLACER, L. & ČAR, J. 1977: Srednjetrijska zgradba idrijskega ozemlja = The Middle Triassic Structure of the Idrija Region. *Geologija*, 20: 141-166.
- RAČNIK, A. 2012: Minerali živosrebrovega rudišča Idrija. Institut »Jožef Stefan« Ljubljana, Bode Verlag GmbH, 1-112, Ljubljana.
- REINECK, H.E. & SING, B. 1975: Depositional Sedimentary Environments. Springer-Verlag, Berlin: 434 p.
- SCHRAUF, A. 1891: Ueber Metacinabarit von Idria und dessen Paragenesis. *Jahrb. Geol. R. A.*, 349-399.
- SCOPOLI, G. A. 1761: De Hydrargyro Idriensi. *Tentamina physico-chemico-medica*. Venetiis, 761. Prevod v nemščino: M., Meidinger, 1786: 1-108.
- VERBIČ, M. 1965: Idrijski rudnik do konca 16. stoletja. Inavguralna disertacija, Ljubljana: 250 p.

Extent of the Upper Norian – Rhaetian Slatnik Formation in the Tolmin Nappe, eastern Southern Alps

Razširjenost zgornjenorijske do retijske Slatniške formacije v Tolminskem pokrovu, vzhodne Južne Alpe

Boštjan ROŽIČ¹, Luka GALE^{1,2} & Tea KOLAR-JURKOVŠEK²

¹Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: bostjan.rozic@ntf.uni-lj.si, luka.gale@ntf.uni-lj.si

²Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: tea.kolar@geo-zs.si, luka.gale@geo-zs.si

Prejeto / Received 7. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 18. 11. 2013

Key-words: Julian Alps, Late Triassic, Slovenian Basin, conodonts, foraminifera, Norian-Rhaetian boundary, Triassic-Jurassic boundary

Ključne besede: Julijske Alpe, zgornji trias, Slovenski bazen, konodonti, foraminifere, meja norij-retij, meja trias-jura

Abstract

In the Norian and Rhaetian the area of present-day Slovenia was divided into the Julian Carbonate Platform on present north, the Dinaric Carbonate Platform in the present south and the intermediate Slovenian Basin. Main Dolomite or the Dachstein Limestone were deposited, on the platforms whereas the basin was characterized by the Bača Dolomite. The Upper Norian-Rhaetian succession was recently recognized in the northern part of the basin. It was studied in two sections and defined as the Slatnik Formation. Rich conodont and foraminiferal assemblages were additionally studied. Two new sections of the Slatnik Formation are presented in this paper, proving the existence of the formation across the entire northern segment of the basin. The Povdnar section is located in the continuous facies belt westward from the type-locality on Mt. Kobra. When compared to the type-locality and the other previously studied section at Mt. Slatnik, the Povdnar section exhibits more distal basinal development, where hemipelagic limestone prevails, whereas resedimented limestones occur only sporadically. For this reason, a coarsening and thickening upward trend that was recognized in previously investigated sections is poorly expressed in the Povdnar section. The second newly studied section is located on Mt. Javor where the most northwestern succession of the basin is found. In this section, the Slatnik Formation is composed solely of hemipelagic limestone.

Izvleček

V noriju in retiju je bilo območje današnje Slovenije razdeljeno na Julijsko karbonatno platformo na severu, Dinarsko karbonatno platformo na jugu in vmesni Slovenski bazen. Na platformah sta se odlagala glavni dolomit in dachsteinski apnenec, medtem ko bazensko kamninsko zaporedje označuje baški dolomit. Nedavno je bilo v severnem delu bazena prepoznano zaporedje apnencev zgornjenorijske in retijske starosti, ki je bilo opisano pod imenom Slatniška formacija. V tej formaciji je bila raziskana združba konodontov in foraminifer. V pričujočem članku sta predstavljena dva nova stratigrafska profila, ki dokazujeta obstoj Slatniške formacije na celotnem severnem segmentu Slovenskega bazena. Profil Povdnar se nahaja pod previsnimi ostenji pod goro Šoštar v zveznem faciesnem pasu zahodno od tipske lokacije na Kobli. Če ga primerjamo s to lokacijo in z drugim predhodno raziskanim profilom na Slatniku, profil Povdnar razkriva bolj distalen bazenski razvoj, v katerem prevladujejo hemipelagični apnenci tipa mudstone do wackestone z radiolariji, spongijskimi spikulami in lagenidnimi foraminiferami. V teh apnencih so mestoma vidni sinsedimentni zdrsni. V profilu je nekaj kalciturbiditnih plasti tipa packstone ali grainstone s peloidi, intraklasti, redkimi radialnimi sferoidi (ooidi?) in bioklasti, med katerimi so bili prepoznani drobcni ehinodermov, brahiopodov in mehkužcev, foraminifere, ostrakodi, polži, drobcni koral, kalcimikrobov in redke zelene alge. Zaradi tovrstne faciesne združbe, kjer so presedimentirani apnenci zelo redki, je trend večanja zrnivosti in debeljenja plasti, ki je bil prepoznan v predhodno raziskanih profilih, v profilu Povdnar le slabo izražen. Drugi novo raziskani profil se nahaja na hribu Javor, kjer dobimo skrajno severozahodne razvoje Slovenskega bazena. V tem profilu je Slatniška formacija sestavljena izključno iz hemipelagičnih apnencev in tako kaže najbolj distalen značaj.

Introduction

In the Late Triassic, the present-day Slovenia was characterized by the south-lying Dinaric

Carbonate Platform, the intermediate Slovenian Basin, and the north-lying Julian Carbonate Platform with some small-scale intraplatform basins (BUSER, 1986, 1989, 1996; VRABEC et al., 2009).

Peritidal Main Dolomite and/or Dachstein Limestone were deposited on the platforms during the Norian and Rhaetian (BUSER, 1986, 1989; OGORELEC & ROTHE, 1993). The carbonate platforms were bordered by sponge-coral reefs (e.g., FLÜGEL & RAMOVŠ, 1961; BUSER et al., 1982; TURNŠEK & RAMOVŠ, 1987; RAMOVŠ & TURNŠEK, 1991; TURNŠEK & BUSER, 1991; TURNŠEK, 1997; GALE et al., in press).

Until recently, it was believed that in the Slovenian Basin the Norian and Rhaetian stages were marked solely by the Bača Dolomite; i.e. bedded dolomite with chert nodules (KOSSMAT, 1907; BUSER, 1986). The sedimentary and biostratigraphic knowledge of this unit was scarce and speculative due to pervasive late-diagenetic dolomitization. It later became evident that the Bača Dolomite in the northern part of the basin extends only to the Upper Norian and is then succeeded by the Upper Norian–end of Rhaetian Slatnik Formation. The Slatnik Formation consists of alternating hemipelagic and resedimented limestone, and was extensively studied on Mt. Slatnik and Mt. Kobla. (ROŽIČ, 2008; BUSER & OGORELEC, 2008; ROŽIČ et al., 2009; KOLAR-JURKOVŠEK, 2011; GALE et al., 2012). Such a facies association enabled an integration of conodont biostratigraphy with benthic foraminifera derived from the adjacent platform edge (GALE et al., 2012). Additionally, the facies associations of the two studied sections revealed an upwards coarsening and thickening trend that was interpreted as a result of Rhaetian progradation of the adjacent Julian Carbonate Platform, and deepening towards the west was suggested. To confirm such a sedimentary trend, two more sections located to the west were additionally studied, and results are presented herein with the aim to:

- confirm the existence of the Slatnik Formation across the entire northern segment of the Slovenian Basin;
- set a sound biostratigraphic frame, which would allow a correlation with the Mt. Slatnik and Mt. Kobla sections;
- describe sedimentary trends within the formation and to establish a spatial distribution of facies associations in combination with previously studied sections.

Geological setting

The Julian Alps of NW Slovenia are composed of Mesozoic rocks of the Slovenian Basin and Julian Carbonate Platform (BUSER, 1986, 1996; PLACER, 1998, 2008). The Slovenian Basin originated in the Middle Triassic due to the opening of the Meliata/Neotethys Ocean and retained a deeper-marine character until the end of the Mesozoic (BUSER, 1989, 1996; BUSER et al., 2007, 2008; VRABEC et al., 2009). It extended approximately in the E-W direction, wedging out towards the west. The continuation of the Slovenian Basin towards the east remains unresolved due to the thick cover of Tertiary Pannonian Basin deposits (BUSER, 2009). The area of the present-day Julian Alps was likewise disintegrated in the Middle Triassic (e.g., CELARC & GORIČAN, 2007; CELARC et al., 2013a), but topo-

graphic irregularities were sealed by the end of the Middle Triassic (BUSER, 1989; SKABERNE et al., 2003; CELARC et al., 2013a). Shallow-water carbonate sedimentation was re-established on the Julian Carbonate Platform during the Late Triassic and Early Jurassic (e.g., BUSER, 1986, 1989; CIARAPICA & PASSERI, 1990; OGORELEC & ROTHE, 1993; SATTLER & SCHLAF, 1999), except in the northern part, where transitions towards an open-marine environment were described (KOLAR-JURKOVŠEK, 1994; KRYSSTYN et al., 1994; LEIN et al., 1995; SCHLAF, 1996; CELARC et al., 2013b). A second period of intense subsidence occurred at the end of the Early Jurassic and the platform was differentiated into a central submarine plateau known as the Julian High (BUSER, 1986, 1989, 1996; ŠMUC, 2005, ŠMUC & ROŽIČ, 2010), and marginal basins known as the Bovec and Bled basins (COUSIN, 1981; JURKOVŠEK et al., 1990; ŠMUC, 2005; GORIČAN et al., 2012; KUKOČ et al., 2012).

The Julian Carbonate Platform succession nowadays forms the Julian Nappe, the higher of the two main thrust-units of the eastern Southern Alps in Slovenia (Fig. 1a). Simultaneously, the Slovenian Basin sediments outcrop in the Tolmin Nappe, which can be subdivided into three lower-order thrust-units (BUSER, 1986; PLACER, 1998): the lowermost Podmelec Nappe with successions from the southern part of the basin, the intermediate Rut Nappe with successions from the central basin, and the Kobla Nappe with successions from the northern part of the basin, which are most proximal with respect to the Julian Carbonate Platform (ROŽIČ, 2009).

All the studied sections of the Slatnik Formation (Fig. 1b) are located in the Kobla Nappe, which is seen as a continuous Upper Triassic and Jurassic basinal facies belt dominating southern slopes of the Bohinj Mountain Range. The newly studied Povdnar section is named after a nearby farm (Fig. 1d) and was studied in the deeply incised gorge below Mt. Šoštar (1643 m a.s.l.). The correlated, previously studied Kobla section is located 2 km eastward in the same facies belt on Mt. Kobla (1492 m a.s.l.) and the Slatnik section is still further east on Mt. Slatnik (1600 m a.s.l.).

The second newly studied Javor section is located in the southern slopes of Mt. Javor (1361 m a.s.l.), where the westernmost segment of the Kobla Nappe is situated (Fig. 1b,c). In the vicinity of the town of Tolmin, the Kobla Nappe becomes fragmented and is displaced by neotectonic strike-slip faults, and it eventually disappears west of the Tolminka River (BUSER, 1987).

Materials and methods

The described sections were investigated and first sampled in the year 2009. The Povdnar section was revisited in the following two years with an aim to improve conodont sampling. Altogether, 52 samples were collected for conodont studies, i.e., 45 samples in the Povdnar section, and 7 samples in the Javor section. The samples, which had an average weight of 2 kg, were treated in acetic acid followed by heavy liquid separa-

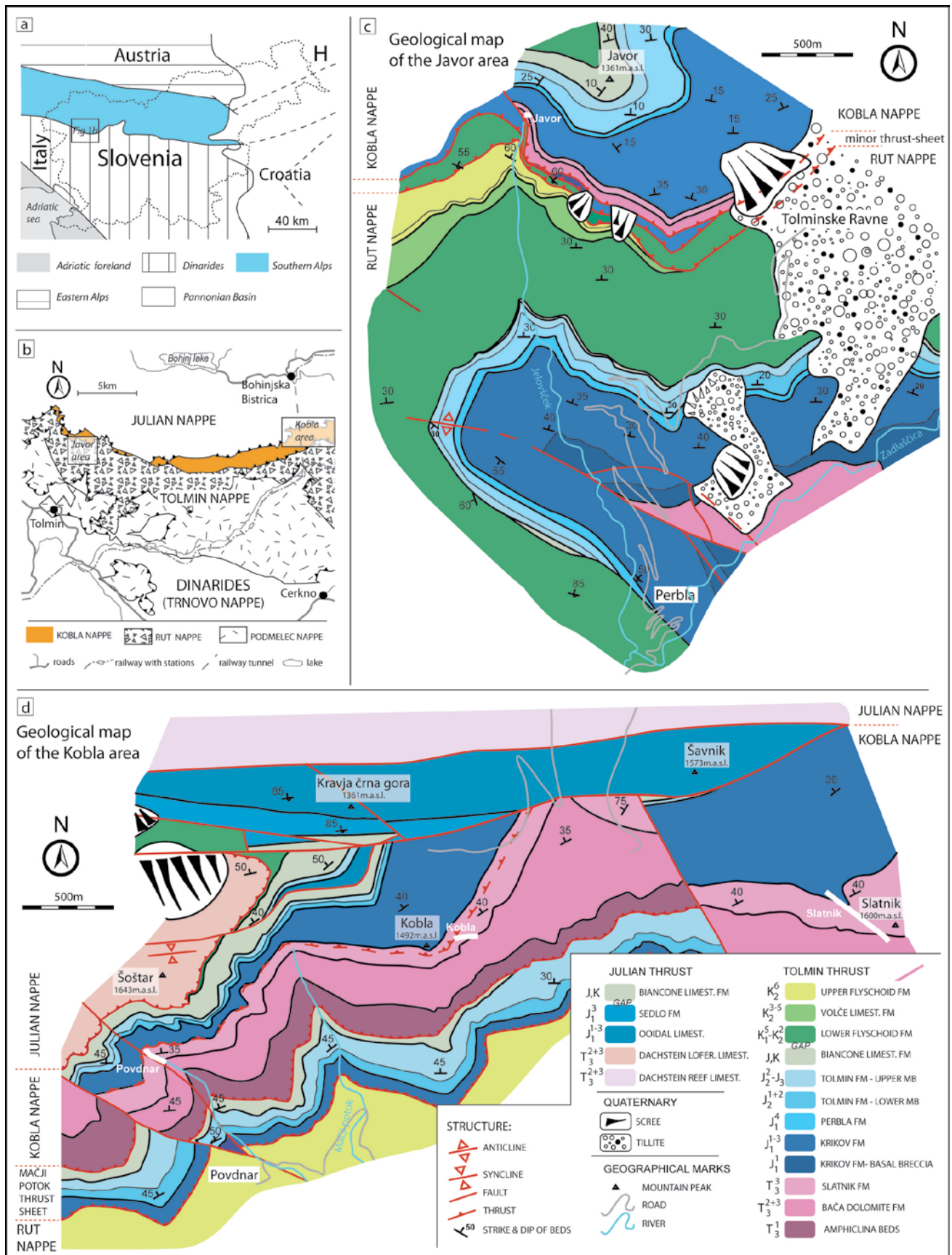


Figure 1. Location and geologic setting of the studied sections: a) General location with marked political boundaries and macro-tectonic units; the boxed area is enlarged in Fig. 1b, b) Structural subunits of the Southern Alps – Dinaric transect in NW Slovenia: succession of the Slovenian Basin composes the Tolmin Nappe, whereas the Slatnik Formation is so far known only from the highest sub-unit, i.e. the Kobla Nappe (modified from BUSER, 1987); boxed areas are enlarged in Figs. 1c and 1d, c) Geological map of the Javor area with location of the studied section, d) Geological map of the Kobla area with location of the Povdnar section and previously studied Kobla and Slatnik sections

tion. The recovered microfossil material is housed at the Geological Survey of Slovenia / Geološki zavod Slovenije under repository numbers 4798-4804, 5177-5193, 5199-5214 and 5217-5228.

Eight beds were sampled in the Povdnar section and thin sections 47×28 mm and 75×49 mm in size were prepared. They are stored at the Geological Survey of Slovenia.

The Povdnar section

The Povdnar section (Fig. 1d) is located on the southern slope of Mt. Šoštar (Pl. 1, fig. 1) and starts at an elevation of 1140 m (Fig. 1d; N 46°13'38", E 13°56'49"). The basic geological research of this area was carried out during the construction of the Podbrdo – Bohinjska Bistrica railway tunnel located 2 km east of the section (KOSSMAT, 1907). COUSIN (1981) presented a schematic geological cross-section of Mt Črna prst in the vicinity. BUSER (1986) described the Carnian Kobla Formation, which is composed of mudstone/siltstone and vari-coloured chert from the base of the investigated facies belt. A Jurassic age for a large part of this succession, which forms a small tectonic thrust-sheet between Kobla and Rut nappes, was recently established (SVETLIČIČ et al., 2011), whereas the uppermost part was mapped as the Amphiclina beds (Fig. 1d).

Description of the section

The Slatnik Formation in the Povdnar section (Fig. 2) starts with a few meters of dolomite, laterally passing into limestone. This transition marks an irregular boundary between the Bača Dolomite and the Slatnik Formation. The Slatnik Formation is completely exposed for 46 m. Medium-thick bedded micritic limestone (mudstone and wackestone with radiolarians, sponge spicules, and lagenide foraminifera) with chert nodules predominates (Pl. 1, figs. 2-4). Parallel lamination and bioturbation were rarely recognized. A good lateral exposure allows recognition of several slump structures. A few slumped intervals are internally disrupted and have a conglomeratic appearance due to rounded intraclasts floating in brownish matrix (Pl. 1, fig. 3).

A few coarser beds are distributed throughout the section. These beds consist of normally or inversely graded fine to very fine packstone and grainstone (Pl. 1, figs. 5, 6) with peloids and intraclasts, bioclasts, and radial spheroids (ooids?). Echinoderm plates, fragments of molluscs, foraminifera, fragments of brachiopods, ostracods, small gastropods, fragmented corals, calcimicrobes and rare green algae were recognized among the bioclasts.

The uppermost part of the Slatnik Formation consists of thin bedded to platy marly limestone with chert nodules, and marlstone. The contact with the overlying Krikov Formation is marked by a minor thrust-fault that was also recognized on the Mt. Kobla, where it was located several meters higher in the stratigraphic column, i.e. already within the Krikov Formation (ROŽIČ, 2008).

Biostratigraphy

The Slatnik Formation was extensively sampled for conodonts and their distribution is shown in detail in Figure 2. The Norian-Rhaetian boundary is set at the Lowest Occurrence of *Misikella posthernsteini* (Kozur & Mock) in the lowermost part of the formation, whereas the highest occurrence of conodonts represents a proxy of the Triassic-Jurassic boundary (see ROŽIČ et al., 2009; GALE et al., 2012). Conodont data are supported by determinations of foraminifera, found in a few packstone layers distributed throughout the formation (see Fig. 2). The complete list of conodont taxa recovered includes: *Epigondolella* ex gr. *E. postera* (Kozur & Mostler), *Misikella buseri* Kolar-Jurkovšek, *Misikella hernsteini* (Mostler), *Misikella posthernsteini* (Kozur & Mock), *Misikella* sp., *Norigondolella steinbergensis* (Mosher), *Oncodella paucidentata* Mostler, *Parvigondolella andrusovi* Kozur & Mock, and *Zieglarioconus rhaeticus* Kozur & Mock.

Among foraminifera, the following taxa were determined (Pl. 1, figs. 7-11): *Tolypammmina* sp., *Kaeveria fluegeli* (Zaninetti, Altiner, Dager & Ducret), *Duotaxis birmanica* Zaninetti & Brönnimann in Brönnimann, Whittaker & Zaninetti, *Reophax rudis* Kristan-Tollmann, *Reophax asperus* Cushman & Waters, »*Trochammmina*« *almtalensis* Koehn-Zaninetti, *Trocholina crassa* Kristan, *Aulotortus sinuosus* Weynschenk, *Ophthalmidium exiguum* Koehn-Zaninetti, *Ophthalmidium carinatum* (Leischner), *Galeanella tollmanni* (Kristan), *Bispiranella salaji* (Samuel & Borza), *Decapoolina schaeferae* (Zaninetti, Altiner, Dager & Ducret), *Agathammina austroalpina* Kristan-Tollmann & Tollmann, *Variostoma helicta* (Tappan), ?*Variostoma cochlea* Kristan-Tollmann, *Diplostromina subangulata* Kristan-Tollmann, *Austrocolomia canaliculata* (Kristan-Tollmann), *Frondicularia* sp., *Lenticulina* sp., and *Pseudonodosaria* sp.

Sedimentary environment

The Povdnar section is dominated by micritic limestone with typical pelagic elements (i.e., radiolarians). They are thus interpreted as hemipelagic limestone, or partly as distal turbidites with parallel lamination (see TUCKER, 2001). Rare graded packstone likewise accumulated from diluted turbidity flows, carrying material derived from the adjacent carbonate platform, as testified by fragments of corals, calcimicrobes, and green algae. Some foraminiferal species are also typical of the reef environment, for example *K. fluegeli*, *G. tollmanni*, *B. salaji*, and *D. schaeferae* (see GALE, 2012, and references therein). The interfingering of distal turbidite deposits and hemipelagites characterizes basin-plain depositional setting in the model of MULLINS and COOK (1986). Alternatively, due to the presence of slumps, the deposition could take place at the foot of a slightly inclined slope (on a distal outer apron *sensu* MULLINS & COOK, 1986). The slump trigger could be sediment overload or external mechanisms, such as seismic activity (e.g., HANFORD & LOUCKS, 1994).

The Javor section

The measured section (Fig. 2) is located west from Tolminske Ravne at an elevation of approximately 1000 m (N 46°13'58", E 13°45'17"). The first geological data from Mt. Javor are known from the previously mentioned publication of KOSSMAT (1907), where it is part of the geological cross section from Tolmin to the Mt. Grušnica on the Bohinj Range. Deep-water facies from this area were previously reported by COUSIN (1970, 1973, 1981) and BUSER (1987). According to the latter, Mt. Javor preserves the westernmost continuation of the Kobla Nappe. The Jurassic succession from this area was recently described by ROŽIČ (2009), whereas ROŽIČ and ŠMUC (2011) focused on resedimented limestones within the Toarcian Perbla Formation. The presence of the Slatnik Formation in this area was first assumed during geological mapping (ROŽIČ, 2006) and is confirmed by this study.

Description of the section

The section (Figs. 1c and 2) is in fault contact with the underlying strata. Although 20 m of the Bača Dolomite are exposed in the section, only the uppermost 5 m are presented in Figure 2. The transition from the Bača Dolomite to the Slatnik Formation is gradual. The Slatnik Formation is composed of thin- to thick-bedded limestone with chert nodules. Limestone is mudstone to wackestone in texture. Limestone beds are at first separated by thin layers of marlstone. Amalgamation of beds, parallel lamination, and slumps are present. The section ends with a minor steep fault (not presented in Fig. 1c due to small scale).

Biostratigraphy

Due to the sole presence of micritic limestone, this section was sampled only for conodonts. Within the Bača Dolomite Formation *Epigonolella* ex gr. *E. abneptis* (Huckriede), *Epigondolella* ex gr. *E. postera* (Kozur & Mostler), and *Norigondolella steinbergensis* (Mosher) conodont species were determined. Conodonts within the Slatnik Formation belong to: *Epigondolella* ex gr. *E. postera* and *N. steinbergensis*.

Sedimentary environment

The Slatnik Formation of the Javor section is composed solely of hemipelagic limestone, which indicates sedimentation on a basin plain (MULLINS & COOK, 1986). Syntectonic slumping, however, indicates minor inclination of the basin floor.

Correlation and comparison with Mt. Slatnik and Mt. Kobla sections

The conodont and, to a smaller extent, the foraminiferal data prove the Late Norian and Rhaetian age of the sampled beds, affirming their identification as the Slatnik Formation. Especially the Javor section, which is located in the westernmost

exposures of the Kobla Nappe, proves the existence of the Slatnik Formation in the entire extension of this thrust unit. The presence of the Slatnik Formation could thus prove itself a good marker for the possible extent of the Kobla Nappe east of the area covered by the Sheet Tolmin and Videm of the Basic Geological Map (BUSER, 1987), i.e. in the Sheet Kranj (GRAD & FERJANČIČ, 1974) where the structural subdivision is not so clear.

The good exposure of the Povdnar section and the detailed sampling carried out further enable a precise correlation of this section with the previously described Mt. Slatnik and Mt. Kobla sections (Fig. 2). The first correlative marker is the Lowest Occurrence of *M. posthernsteini*, which is currently considered the best criterion for the Norian-Rhaetian boundary (KRYSSTYN et al., 2007a; McROBERTS et al., 2008; ROŽIČ et al., 2009; GIOR-DANO et al., 2010; LUCAS, 2010; GALE et al., 2012). The second marker event is the Triassic-Jurassic boundary, which, however, is set at the highest occurrence of conodonts (and also, in the case of Mt. Kobla and Mt. Slatnik sections, the last Triassic foraminifera) and is thus not so reliably determined. Nevertheless, as discussed below, the boundary is additionally marked by the same change in lithology in all three sections.

Another biostratigraphic feature marking the Povdnar section is a notably long presence of *M. posthernsteini* and the lack of the uppermost Rhaetian *Misikella ultima* conodont zone (see KRYSSTYN, 2008). When the same feature was recorded in the Mt. Kobla section, H.-J. Gawlick and L. Krystyn (pers. comm.) assumed the presence of stratigraphic gaps in the latest Rhaetian. Their interpretation later found support in sedimentological data, when the by-pass of sediment was proposed (GALE et al., 2012). Described biostratigraphic markers define a narrow time frame, within which the closely situated Mt. Slatnik, Mt. Kobla, and Mt. Povdnar sections are sedimentologically correlated. The facies distribution is marked by a westward increase in the proportion of hemipelagic sedimentation (micritic limestone beds) on account of resedimented limestone, and with thinning and fining of the latter. The thickest bed in Mt. Slatnik section measures well over 3 m and contains boulders of coral limestone large enough to protrude over its upper surface, while rudstone beds of the Mt. Kobla section rarely exceed 1 m in thickness and contain clasts up to 10 cm in size (ROŽIČ et al., 2009). Caliturbidites in the Povdnar section are few, generally widely spaced, and not coarser than fine-grained sandstone. There is no rudstone with platform-derived clasts, only slumped beds containing intraclasts. Such a facies distribution places the Povdnar section among the three sections on the most distal part, the Mt. Kobla section in the more proximal part, and the Mt. Slatnik section in the most proximal part of the basin with respect to the source area of resedimented limestone, i.e. the Julian Carbonate Platform. A more distal position of the Povdnar section in relation to the Mt. Slatnik and Mt. Kobla sections is also responsible for a less clearly expressed thickening and coarsening up-

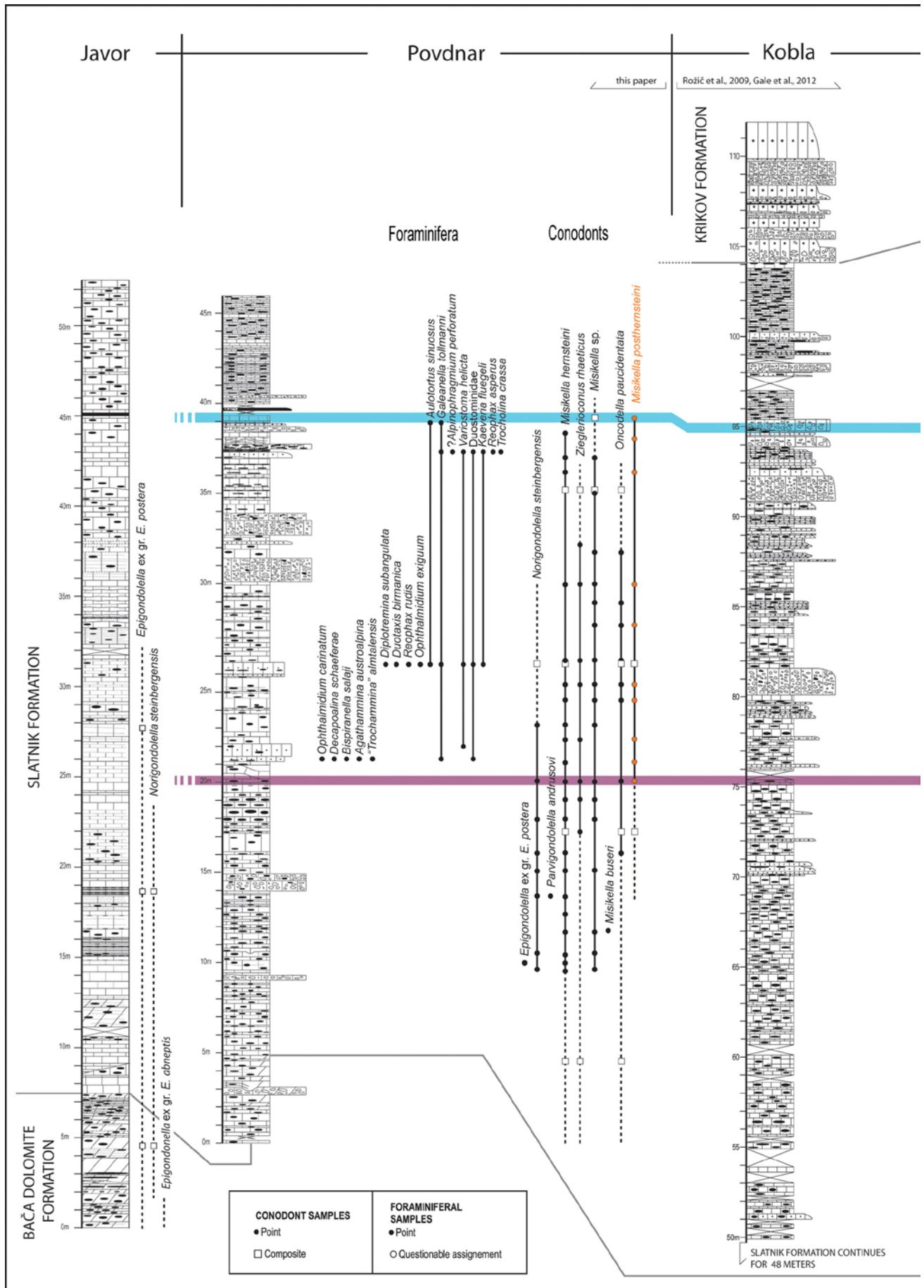
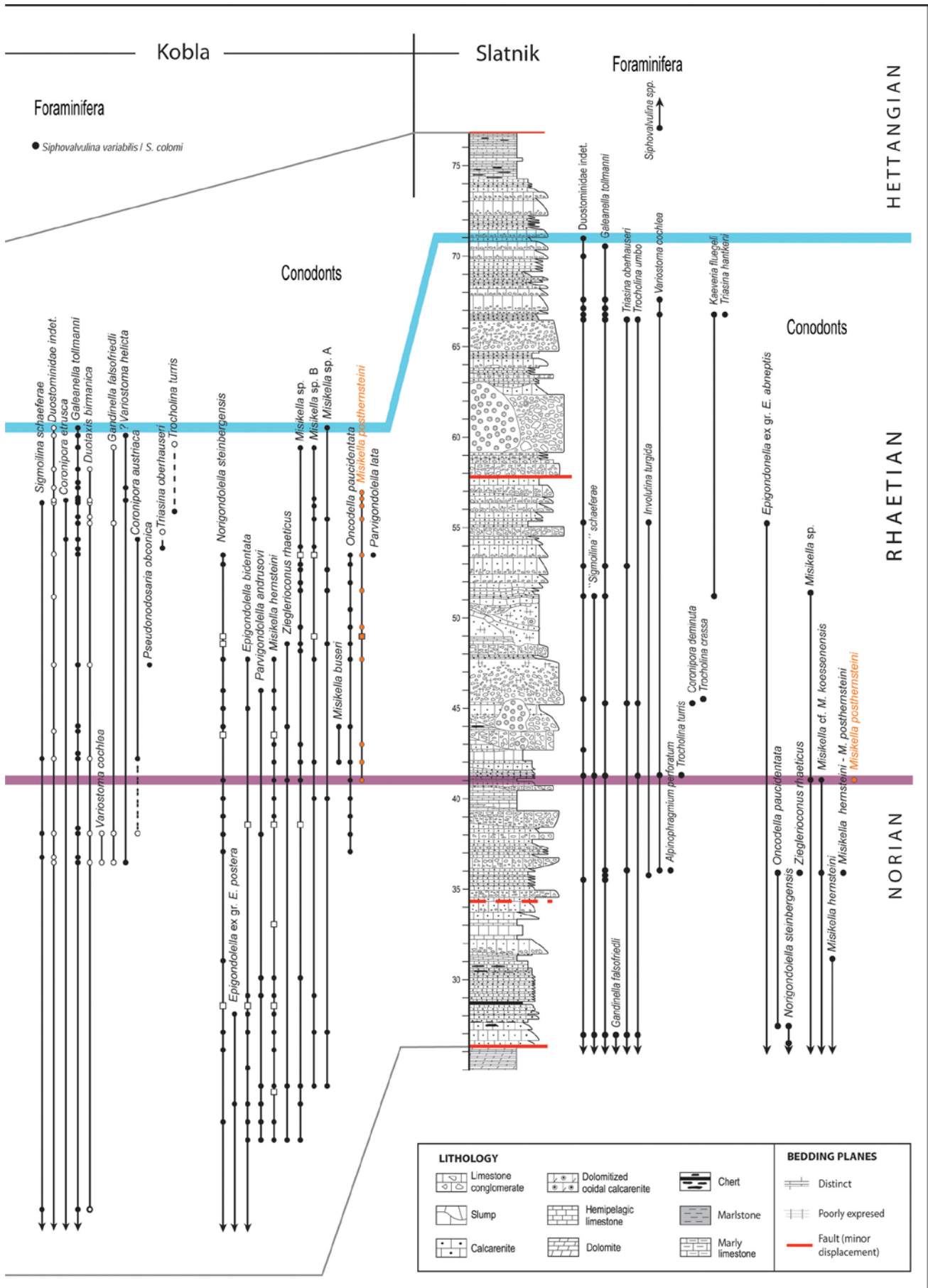


Figure 2. Javor and Povdnar sections with distribution of foraminifera and conodonts (Bača Dolomite was investigated in the Javor section for an additional 15 m and is composed of generally thicker beds - not presented in this figure) and correlation with previously studied Kobla and Slatnik sections (Rožič et al., 2009; GALE et al., 2012) with positions of biostratigraphically



significant foraminifera and conodonts (*Miskella posthernsteini* – a Rhaetian marker, is coloured in orange), formational boundaries (thin grey lines, and chronostratigraphic boundaries: Norian-Rhaetian (thick violet line), Rhaetian-Hettangian (thick blue line))

wards trend, observable in the two mentioned sections, which was interpreted as a progradation of the platform edge during the Rhaetian (Rožič et al., 2009). Herein we have to acknowledge that the nature of the outcrops, where sections are distributed linearly on the thrust facies belt, prevents three-dimensional reconstruction of the depositional area, and described facies changes could record either proximal-distal or lateral changes in the slope area.

Further distalization towards the Javor section can be recognized on the basis of the total dominance of hemipelagic limestone in that area, but some caution is needed, as only the lower part of the Slatnik Formation was logged. Namely, the lower portions of the Slatnik Formation are generally fine-grained in all known sections. The more distal position in the basin, however, is strongly supported by relatively distal facies of the overlying Krikov Formation in the Mt. Javor area (Rožič, 2006, 2009).

The upwards-thinning trend in the uppermost part of the Slatnik Formation in the Povdnar section was also observed on Mt. Koblja and on Mt. Slatnik (Rožič et al., 2009; GALE et al., 2012). Whether this is due to the position on the same submarine fan or not remains unresolved. The lithological change was so far (Rožič et al., 2009; GALE et al., 2012) interpreted as a reflection of a biocalcification crisis at the Triassic-Jurassic boundary (McROBERTS & NEWTON, 1995; GALLI et al., 2005; VAN DE SCHOOTBRUGGE et

al. 2007; RUHL et al. 2010; ČRNE et al. 2011; GREENE et al., 2012; MARTINDALE et al., 2012). Alternatively, this facies shift could be due to the beginning of a new transgressive cycle (see Rožič et al., 2009).

Conclusions

The Slatnik Formation has been recognized as the uppermost Triassic formation of the Slovenian Basin in the eastern part of the Koblja Nappe unit (BUSER & OGORELEC, 2008; ROŽIČ et al., 2009; GALE et al., 2012). The Povdnar and Javor sections offer new data on the lateral extent of this formation further to the west.

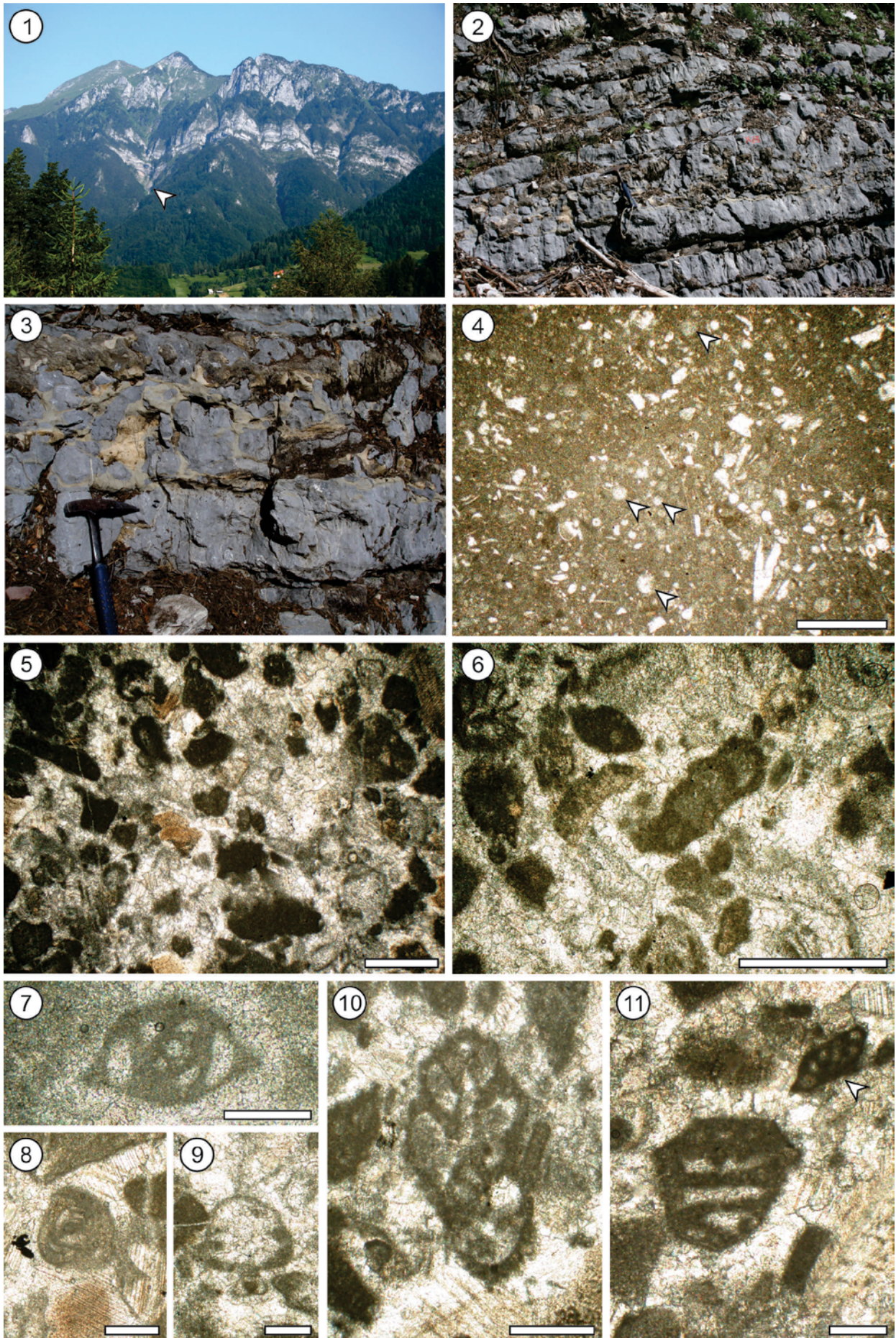
Both sections were sampled for conodonts. The presence of sparse coarser limestone beds in the Povdnar section further allowed sampling for benthic foraminifera. The gathered data were necessary for a sound correlation with the previously described exposures of the Slatnik Formation, namely the Mt. Koblja and Mt. Slatnik sections (ROŽIČ, 2008; ROŽIČ et al., 2009; GALE et al., 2012). Compared to these, the Povdnar section predominantly consists of hemipelagic limestone, while resedimented limestones are few. This section thus contains more distal development of the Slatnik Formation. The Javor section only partly confirms the hypothesis of westward distalization, as only the lower part of the Slatnik Formation is preserved.

PLATE 1

The Slatnik Formation in the Povdnar section

1. Panoramic view on Mt. Šoštar (right) and Črna prst (centre). The position of the Povdnar section is marked by an arrowhead
2. Bedded micritic limestone of the Slatnik Formation
3. Internal disruption due to slumping (note rounded intraclasts in brown matrix)
4. Dense bioclastic wackestone with mollusc (?) debris and radiolarians (arrowheads). Scale bar 1 mm
5. Bioclastic-peloidal grainstone. Scale bar 1 mm
6. *Reophax asperus* Cushman & Waters. Scale bar 1 mm
7. *Decapalina schaeferae* (Zaninetti, Altiner, Dager & Ducret). Scale bar 250 µm
8. *Galeanella tollmanni* (Kristan). Scale bar 250 µm
9. *Trocholina crassa* Kristan. Scale bar 250 µm
10. *Variostoma cochlea* Kristan-Tollmann. Scale bar 250 µm
11. *Kaeveria fluegeli* (Zaninetti, Altiner, Dager & Ducret) and *Decapalina schaeferae* (Zaninetti, Altiner, Dager & Ducret) (arrowhead). Scale bar 250 µm

PLATE 1



Acknowledgements

This paper is a result of work for two doctoral theses and postdoctoral project, both financed by the Slovenian Research Agency (program numbers Z1-9759 and P1-0011). We thank Mladen Štumbergar and Marija Petrović from the Geological Survey of Slovenia for preparation of samples. Geological maps and studied sections were elaborated with help and field accompaniment of following students: Boštjan Bradaškja, Petra Žvab Rožič, Nina Rman, Nastja Rogan, Mojca Kavčič, Damjan Ulamec, Janez Zavašnik, Saša Zavavlav, Blaž Miklavič, Petra Škrinjar, Erik Svetličič, Blaž Milanič, Lidiya Stevanovič, Nina Jurešič, Aleš Vršič, Aleš Šoster, Gašper Debevec, Sandra Stevanovič and Blaž Vičič. Authors thank Špela Goričan and Bogomir Celarc for the constructive review of the manuscript.

References

- BUSER, S. 1986: Explanatory book, Sheet Tolmin and Videm (Udine) L33-64, L33-63. Basic geological map of SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd: 103 p.
- BUSER, S. 1987: Basic geological map of SFRJ 1: 100.000, Sheet Tolmin and Videm (Udine) L33-64, L33-63. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian Basin (NW Yugoslavia). *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 40: 313-320.
- BUSER, S. 1996: Geology of Western Slovenia and its paleogeographic evolution. In: DROBNE, K., GORIČAN, Š. & KOTNIK, B. (eds.): International workshop Postojna 96: The role of impact processes and biological evolution of planet Earth. ZRC SAZU: 111-123.
- BUSER, S. 2009: Geological map of Slovenia 1: 250.000. Geological Survey of Slovenia, Ljubljana.
- BUSER, S. & OGORELEC, B. 2008: Globljevodne triasne in jurske plasti na Kobli = Deep-water Triassic and Jurassic beds from Mt. Kobla (W Slovenia). *Geologija*, 51/2: 181-189, doi:10.5474/geologija.2008.019.
- BUSER, S., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2007: Triasni konodonti slovenskega bazena = Triassic conodonts of the Slovenian Basin. *Geologija*, 50/1: 19-28, doi:10.5474/geologija.2007.002.
- BUSER, S., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2008: The Slovenian Basin during the Triassic in the Light of Conodont Data. *Boll. Soc. Geol. It. (Ital. J. Geosci.)*, 127/2: 257-263.
- CIARAPICA, G. & PASSERI, L. 1990: The Dachstein limestone of the Mt. Canin (Julian Alps) and its paleogeographic meaning. *Boll. Soc. Geol. Ital.*, 109/1: 239-247.
- CELARC, B. & GORIČAN, Š. 2007: Diferenciran razpad anizijske (ilirske) karbonatne platforme v Julijskih Alpah (Prisojnik) in Kamniško-Savinjskih Alpah (Križevnik). *Geol. zbornik*, 18: 11-15.
- CELARC, B., GORIČAN, Š. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2013a: Middle Triassic carbonate-platform break-up and formation of small-scale half-grabens (Julian and Kamnik-Savinja Alps, Slovenia). *Facies*, 59/3: 583-610, doi:10.1007/s10347-012-0326-0.
- CELARC, B., GALE, L. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2013b: Stratigrafski razvoj zgornjetriasnih plasti doline Tamar (severne Julijske Alpe) in primerjava s sosednjimi globljemorskimi razvoji. *Geol. zbornik*, 22: 21-25.
- CELARC, B., VRABEC, M., ROŽIČ, B., KRALJ, P., JAMŠEK RUPNIK, P., KOLAR-JURKOVŠEK, T., GALE, L. & ŠMUC, A. 2013c: Field trip A1: Southern Alps of Slovenia in a nutshell: paleogeography, tectonics, and active deformation. In: SCHUSTER, R. (ed.): 11th Workshop on Alpine Geological Studies & 7th European Symposium on Fossil Algae, Schladming, September 2013. Abstracts & field guides. *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 99: 135-168.
- COUSIN, M. 1970: Esquisse géologique des confins italo-yougoslaves: leur place dans les Dinarides set les Alpes méridionales. *Bull. Soc. Geol. France*, 7/12: 1034-1047.
- COUSIN, M. 1973: Le Sillon Slovène: les formations triasiques, jurassiques et neocomiennes au Nord-Est de Tolmin (Slovenie occ., Alpes mer.) et leurs affinités Dinariques. *Bull. Soc. Geol. France*, 7/15: 326-339.
- COUSIN, M. 1981a: Les rapports Alpes-Dinarides; Les confins de l'Italie et de Yougoslavie. I. *Soci. Géol. Nord*, 5: 1-521.
- ČRNE, A. E., WEISSERT, H. J., GORIČAN, Š. & BERNASCONI, S. M. A. 2011: Biocalcification crisis at the Triassic-Jurassic boundary recorded in the Budva Basin (Dinarides, Montenegro). *Geol. Soc. Am. Bull.*, 123/1-2: 40-50, doi:10.1130/B30157.1
- FLÜGEL, E. & RAMOVŠ, A. 1961: Fossilinhalt und Mikrofazies des Dachsteinkalkes (Ober-Trias) im Begunjščica-Gebirge, S-Karawanken (NW-Slovenien, Jugoslawien). *N. Jb. Geol. Paläont. Mitt.*: 287-294.
- GALE, L. 2012: Biostratigrafija in sedimentologija norijsko-retijskih plasti zahodnega Slovenskega bazena, Južna Alpe, Slovenija = Biostratigraphy and sedimentology of the Norian-Rhaetian beds of the western Slovenian Basin, Southern Alps, Slovenia. PhD Thesis. University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department for Geology: 268 p.
- GALE, L., KOLAR-JURKOVŠEK, T., ŠMUC, A. & ROŽIČ, B. 2012b: Integrated Rhaetian foraminiferal and conodont biostratigraphy from the Slovenian Basin, eastern Southern Alps. *Swiss J. Geosci.*, 105/3: 435-462, doi:10.1007/s00015-012-0117-1.
- GALE, L., KASTELIC, S. & ROŽIČ, B. 2013: Taphonomic features of Late Triassic foraminifera from Mt. Begunjščica, Karavanke Mts., Slovenia. *Palaios*, in press.
- GALLI, M. T., JADOUL, F., in press. BERNASCONI, S. M. & WEISSERT, H. 2005: Anomalies in global carbon cycling and extinction at the Triassic/Jurassic boundary: evidence from a marine C-isotope record. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol.*,

- Palaeoecol., 216/3-4: 203-214, doi:10.1016/j.palaeo.2004.11.009.
- GIORDANO, N., RIGO, M., CIARAPICA, G. & BERTINELLI, A. 2010: New biostratigraphical constraints for the Norian/Rhaetian boundary: data from Lagonegro Basin, Southern Apennines, Italy. *Lethaia*, 43/4:573-586, doi:10.1111/j.1502-3931.2010.00219.x.
- GORIČAN, Š., KOŠIR, A., ROŽIČ, B., ŠMUC, A., GALE, L., KUKOČ, D., CELARC, B., ČRNE, A. E., KOLAR-JURKOVŠEK, T., PLACER, L. & SKABERNE, D. 2012: Mesozoic deep-water basins of the eastern Southern Alps (NW Slovenia). Field trip guide for 29th IAS Meeting of Sedimentology (Schladming, Austria). *J. Alp. Geol.*, 55: 101-143.
- GRAD, K. & FERJANČIČ, L. 1974: Basic geological map of SFRJ 1 : 100.000, Sheet Kranj L33, Zvezni geološki zavod, Beograd: 65 p.
- GREENE, S. E., MARTINDALE, R. C., RITTERBUSH, K. A., BOTTJER, D. J., CORSETTI, F. A. & BERELSON, W. M. 2012: Recognising ocean acidification in deep time: An evaluation of the evidence for acidification across the Triassic-Jurassic boundary. *Earth-Sci. Rev.*, 113/1-2: 72-93, doi:10.1016/j.earscirev.2012.03.009.
- HANDFORD, C. R. & LOUCKS, R. G. 1994: Carbonate depositional sequences and systems tracts – responses of carbonate platforms to relative sea-level changes. In: LOUCKS, R. G. & SARG, J. F. (eds.): Carbonate sequence stratigraphy. *Am. Ass. Petrol. Geol. Mem.*, 57: 3-41.
- JURKOVŠEK, B., ŠRIBAR, L., OGORELEC, B. & JURKOVŠEK-KOLAR, T. 1990: Pelagic Jurassic and Cretaceous beds in the western part of the Julian Alps. *Geologija*, 31/32: 285-328.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. 1994: Mikrofauna from the Upper Triassic of Karavanke Mts. (Slovenia). *Mem. de Geol.*, 22: 53-62.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2011: Latest Triassic conodonts of the Slovenian Basin and some remarks on their evolution. *Geologija*, 54/1: 81-90, doi:10.5474/geologija.2011.006.
- KOSSMAT, F. 1907: Geologie des Wocheiner Tunnels und der Südlichen Anschlusslinie. *Denkschr. Mat. Naturwiss. Kl.*, 82 (1914): 6-142.
- KRYSTYN, L. 2008: An ammonoid-calibrated Tethyan conodont time scale of the late Upper Triassic. *Ber. Geol. B.-A.*, 76: 9-11.
- KRYSTYN, L., LEIN, R., SCHLAF, J. & BAUER, F. K. 1994: Über ein neues obertriadisch-jurassisches Intraplattformbecken in den Südkarawanken. *Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn*, 2: 409-416.
- KRYSTYN, L., BOUQUEREL, H., KUERSCHNER, W., RICHOSZ, S. & GALLET, Y. 2007a: Proposal for a candidate GSSP for the base of the Rhaetian stage. In: LUCAS, S. G. & SPIELMAN, J. A. (eds.): The Global Triassic. *New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bull.*, 41: 189-199.
- KRYSTYN, L., RICHOSZ, S., GALLET, Y., BOUQUEREL, H., KÜRSCHNER, W. M. & SPÖTL, C. 2007b: Updated bio- and magnetostratigraphy from Steinbergkogel (Austria), candidate GSSP for the base of the Rhaetian stage. *Albertiana*, 36: 164-172.
- KUKOČ, D., GORIČAN, Š. & KOŠIR, A. 2012: Lower Cretaceous carbonate gravity-flow deposits from the Bohinj area (NW Slovenia): evidence of a lost carbonate platform in the Internal Dinarides. *Bull. Soc. Géol. France*, 183/4: 383-392.
- LEIN, R., SCHLAF, J., MÜLLER, P. J., KRYSTYN, L. & JESINGER, D. 1995: Neue Daten zur Geologie des Karawanken-Strassentunnels. *Geol.-Pal. Mitt.*, 20: 371-387.
- LUCAS, S. G. 2010: The Triassic chronostratigraphic scale: history and status. In: LUCAS, S. G. (ed.): The Triassic timescale. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, 344: 17-39.
- MARTINDALE, R. C., BERELSON, W. M., CORSETTI, F. A., BOTTJER, D. J. & WEST, A. J. 2012: Constraining carbonate chemistry at a potential ocean acidification event (the Triassic-Jurassic boundary) using the presence of corals and coral reefs in the fossil record. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 350-352: 114-123, doi:10.1016/j.palaeo.2012.06.020.
- MCCRORTS, C. A. & NEWTON, C. R. 1995: Selective extinction among end-Triassic European bivalves. *Geology*, 23/2: 102-104, doi:10.1130/0091-7613(1995)023<0102:SEAETE>2.3.CO;2
- MCCRORTS, C. A., KRYSTYN, L. & SHEA, A. 2008: Rhaetian (Late Triassic) *Monotis* (Bivalvia: Pectinoida) from the eastern Northern Calcareous Alps (Austria) and the end-Norian Crisis in pelagic faunas. *Palaeontology*, 51/3: 721-735, doi:10.1111/j.1475-4983.2008.00776.x.
- MULLINS, H. T. & COOK, H. E. 1986: Carbonate apron models: Alternatives to the submarine fan model for paleoenvironmental analysis and hydrocarbon exploration. *Sed. Geol.*, 48: 37-79.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1993: Mikrofazies, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien. *Geologija*, 35: 81-181, doi:10.5474/geologija.1992.005.
- PLACER, L. 1998: Contribution to the macro-tectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija*, 41: 223-255 doi:10.5474/geologija.1998.012.
- PLACER, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija*, 51/2: 205-217, doi:10.5474/geologija.2008.021.
- RAMOVŠ, A. & TURNŠEK, D. 1991: The Lower Norian (Latian) development with coral fauna on Razor and Planja in the northern Julian Alps (Slovenia). *Razprave IV. Razreda SAZU*, 32: 175-213.
- ROŽIČ, B. 2006: Stratigrafija, sedimentologija in geokemija jurskih plasti zahodnega dela Slovenskega jarka: doktorska disertacija = Stratigraphy, sedimentology, and geochemistry of Jurassic rocks in the Western part of the Slovenian Basin. PhD Thesis. University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department for Geology: 149 p.
- ROŽIČ, B. 2008: Upper Triassic and Lower Jurassic limestones from Mt Kobla in the northern

- Tolmin Basin: tectonically repeated or continuous succession?. *RMZ – Materials and Geoenvironment*, 55/3: 345-362.
- ROŽIČ, B. 2009: Perbla and Tolmin formations: revised Toarcian to Tithonian stratigraphy of the Tolmin Basin (NW Slovenia) and regional correlations. *Bull. Soc. Geol. France*, 180/5: 409-423.
- ROŽIČ, B. & ŠMUC, A. 2011: Gravity-flow deposits in the Toarcian Perbla Formation (Slovenian Basin, NW Slovenia). *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 117/2: 283-294.
- ROŽIČ, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & ŠMUC, A. 2009: Late Triassic sedimentary evolution of Slovenian Basin (eastern Southern Alps): description and correlation of the Slatnik Formation. *Facies*, 55/1: 137-155, doi:10.1007/s10347-008-0164-2.
- RUHL, M., VELD, H. & KÜRSCHNER, W. M. 2010: Sedimentary organic matter characterization of the Triassic-Jurassic boundary GSSP at Kuhjoch (Austria). *Earth Planet. Sci. Lett.*, 292/1-2: 17-26.
- ŠMUC, A. 2005: Jurassic and Cretaceous stratigraphy and sedimentary evolution of the Julian Alps, NW Slovenia. ZRC Publ., Ljubljana: 98 p.
- ŠMUC, A. & ROŽIČ, B. 2010: The Jurassic Prehodavci Formation of the Julian Alps: easternmost outcrops of Rosso Ammonitico in the Southern Alps (NW Slovenia). *Swiss. J. Geosci.*, 103: 241-255, doi:10.1007/s00015-010-0015-3.
- SATTLER, U. & SCHLAF, J. 1999: Sedimentologie und Mikrofacies des gebankten Dachstein-kalkes der Julischen Alpen Sloweniens (Obertrias). *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 42: 109-118.
- SCHLAF, J. 1996: Ein obertriadisches Intraplattformbecken aus den Südkarawanken (Kärnten, Österreich). *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, 39-40: 1-14.
- VAN DE SCHOOTBRUGGE, B., TREMOLADA, F., ROSENTHAL, Y., BAILEY, T. R., FEIST-BURKHARDT, S., BRINKHUIS, H., PROSS, J., KENT, D. V. & FALKOWSKI, P. G. 2007: End-Triassic calcification crisis and blooms of organic-walled 'disaster species'. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 244/1-4: 126-141, doi:10.1016/j.palaeo.2006.06.026.
- SKABERNE, D., GORIČAN, Š. & ČAR, J. 2003: Kamnine in fosili (radiolariji) iz kamnoloma Kamna Gorica. *Vigenjc*, 3: 85-100.
- SVETLIČIČ, E., MILANIČ, B., ŠKRINJAR, P., ŠMUC, A. & ROŽIČ, B. 2011: Jurske plasti Slovenskega bazena v narivni luski Mačjega potoka na južnih pobočjih Črne prsti. *Geol. zbornik*, 122-126.
- ŠMUC, A. 2005: Jurassic and Cretaceous stratigraphy and sedimentary evolution of the Julian Alps, NW Slovenia. ZRC Publ., Ljubljana: 98 p.
- TUCKER, M. 2001: Sedimentary petrology (3rd ed.). Blackwell Science, Oxford: 262 p.
- TURNŠEK, D. 1997: Mesozoic corals of Slovenia. ZRC Publ., Ljubljana: 512 p.
- TURNŠEK, D. & BUSER, S. 1991: Norian-Rhaetian coral reef buildups in Bohinj and Rdeči Rob in southern Julian Alps (Slovenia). *Razprave IV. razreda SAZU*, 32/7: 215-257.
- TURNŠEK, D. & RAMOVŠ, A. 1987: Upper Triassic (Norian-Rhaetian) reef buildups in the Julian Alps (NW Yugoslavia). *Razprave IV. Razreda SAZU*, 28: 27-67.
- VRABEC, M., ŠMUC, A., PLENIČAR, M. & BUSER, S. 2009: Geological evolution of Slovenia – an overview. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (eds.): *The Geology of Slovenia*. Geological Survey of Slovenia, Ljubljana: 23-40.

Submarine pyroclastic deposits in Tertiary basins, NE Slovenia

Podmorski piroklastični sedimenti terciarnih bazenov severovzhodne Slovenije

Polona KRALJ

Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: polona.kralj@geo-zs.si

Prejeto / Received 8. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 25. 11. 2013

Key words: submarine explosive volcanism, pyroclastic deposits, pyroclastic flows, eruption-fed density currents
Ključne besede: podmorski eksplozivni vulkanizem, piroklastični sedimenti, piroklastični tokovi, gostotni tokovi napajani iz vulkanskih izbruhov

Abstract

In Tertiary basins of NE Slovenia, Upper Oligocene volcanic activity occurred in a submarine environment that experienced contemporaneous clastic sedimentation. Pyroclastic deposits are essentially related to gas- and water-supported eruption-fed density currents. At Trobni Dol, the Laško Basin, an over 100 m thick deposit formed by a single sustained volcanic explosion that fed gas-supported pyroclastic flow. Diagnostic features are large matrix-shard content, normal grading of pumice lapilli, collapsed pumice lapilli and the presence of charcoal.

In the Smrekovec Volcanic Complex, several but only up to 5 m thick deposits related to eruption-fed gas-supported pyroclastic flows occur. Deposits settled from water-supported eruption-fed density currents form fining- and thinning-upward sedimentary units which resemble the units of volcanoclastic turbidites. Pyroclastic deposits related to gas- and water-supported density currents occur in an up to 1000 m thick succession composed of coherent volcanics, autoclastic, pyroclastic, reworked volcanoclastic and mixed volcanoclastic-siliciclastic deposits that indicate a complex explosive and depositional history of the Smrekovec Volcanic Complex.

Izvleček

V terciarnih bazenih severovzhodne Slovenije je imelo vulkansko delovanje v celoti podmorski značaj in je potekalo istočasno s klastično sedimentacijo. Piroklastični sedimenti so večinoma vezani na gostotne tokove napajane iz vulkanskih izbruhov, ki so imeli kot intergranularno fazo bodisi plin ali vodo. Pri Trobnem Dolu v Laškem bazenu je nastalo preko 100 m debelo zaporedje piroklastičnih sedimentov z enim samim vulkanskim izbruhom. Piroklastični tok, katerega je napajal vulkanski izbruh je imel kot intergranularno fazo plin, zaradi česar se je počasi ohlajal. Prepoznavne lastnosti so velika vsebnost črepijic vulkanskega stekla v osnovi, normalna gradacija plovčevih lapilov, lapili s porušeno notranjo strukturo in prisotnost zoglenele organske snovi.

V Smrekovškem vulkanskem kompleksu najdemo številne sedimentacijske enote nastale s piroklastičnimi tokovi, ki so se napajali iz vulkanskih izbruhov in so imeli kot intergranularno fazo plin, vendar so debeli le do 5 m. Poleg njih najdemo tudi sedimentacijske enote nastale s gostotnimi tokovi, ki so se prav tako napajali iz vulkanskih izbruhov, a so imeli kot intergranularno fazo vodo. Za te sedimentacijske enote je značilno manjšanje zrnivosti in tanjšanje plasti navzgor, ki je zelo podobno sedimentacijskim enotam nastalim z gravitacijskimi vulkanoklastičnimi turbiditnimi tokovi. Zaporedje izlivnih vulkanskih kamnin ter avtoklastičnih, piroklastičnih, presedimentiranih vulkanoklastičnih in mešanih vulkanoklastičnih-siliciklastičnih sedimentov v Smrekovškem vulkanskem kompleksu je debelo do 1000 m in dokazuje njegov zapleten erupcijski in sedimentacijski razvoj.

Introduction

During the past three decades, significant advances have been made in recognition, study and monitoring of subaqueous explosive volcanism, nevertheless, the understanding of oceanic volcanic activity remains limited. The inability to actual witness entirely submarine eruptions, processes, styles, transport, lithofacies characteristics and the

constraints on these means that the considerations are still largely inferential and based on a combination of theory, experimental work and interpretation of modern, and particularly ancient submarine volcanic successions (FISHER & SCHMINCKE 1984; CAS & WRIGHT, 1987; BUSBY-SPERA, 1988; BULL & CAS, 1991; CAS, 1992; MCPHIE et al., 1993; COLE & STANLEY, 1994; WRIGHT et al., 1996; SCHNEIDER et al., 2001; BRANNEY & KOKELAAR, 2002; MANVILLE et al., 2009).

Explosive eruptions are driven by volatiles of varying origin, although the other determinants are also relevant and include the properties of magma (e.g. composition, viscosity, eruption rate, volatile content), and ambient conditions, particularly pressure and the presence or absence of external water. The volatiles are commonly exsolving magmatic gases, such as water and carbon dioxide, and they trigger magmatic explosions (CAS, 1992). The presence of external water, which eventually becomes superheated and vapourised in contact with magma, may lead to hydrovolcanic (or phreatic) explosions. Volcanic explosions can be driven by a combination of exsolving magmatic volatiles and superheated external water, and they are collectively termed phreatomagmatic explosions (PECKOVER et al., 1973; KOKELAAR, 1983). In submarine environments, the explosive expansion of volatiles may be suppressed by the ambient pressure that may be either hydrostatic in the case of an open vent on the seafloor or lithostatic plus hydrostatic where explosions commence below the sea floor (CAS & WRIGHT, 1987). The estimated practical maximum depths for the explosive eruption of most magmas with known volatile contents are in the range of 500 m to 1000 m (MCBIRNEY, 1963); for hydrovolcanic and phreatomagmatic explosions they possibly

do not exceed 700 m (PECKOVER et al., 1973).

In subaerial settings, primary pyroclastic deposits form as a result of explosive fragmentation of magma followed by single-stage transport through the ambient atmosphere. In subaqueous settings, the transport and depositional processes are controlled by the style of eruption and its interaction with the surrounding water. A significant advance in understanding of subaqueous pyroclastic deposits, based on modes of fragmentation and transport, has been done by WHITE (2000). His modern conceptual division of density currents fed directly from explosive subaqueous eruptions includes explosive fragmentation of magma and deposition from gas- and water-supported currents. The concept has been applied in a comprehensive review of Tertiary volcanoclastic deposits in North-Eastern Slovenia as it further clarifies the distinction between pyroclastic deposits transported by the energy of volcanic activity, and texturally modified volcanoclastic deposits resedimented by post-volcanic subaqueous gravity-flows. The aim of the present article is to explain typical examples and their diagnostic features in order to facilitate lithofacies recognition in the field, particularly at detailed mapping and on site interpretation of borehole cores.

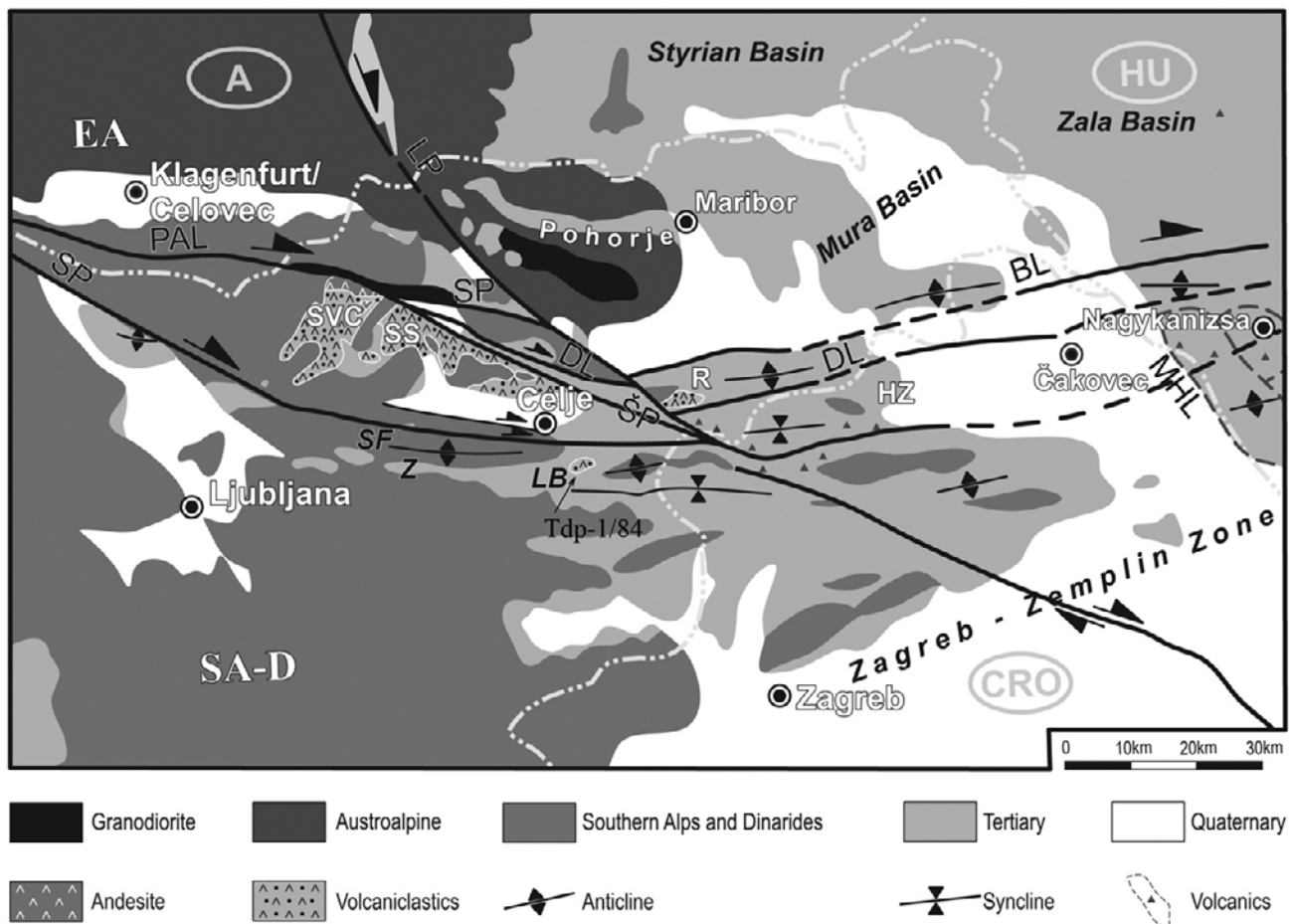


Fig. 1. Simplified geological map of North-Eastern Slovenia (after Mioč, 1978; FODOR et al., 1998; JELEN & RIFELJ, 2002). EA – Eastern Alps; SA-D – Southern Alps and Dinarides; PAL – Periadriatic Line; BL – Balaton Line; MHL – Mid-Hungarian Line; DL – Donat Line; LP – Lavanttal (Labot) Fault; SF – Sava Fault; SP – Smrekovec Fault; ŠP – Šoštanj Fault; SVC – Smrekovec Volcanic Complex; SS – Smrekovec Series; LB – Laško Basin (with Trobni Dol); Z – Zasavje; R – Rogaška Slatina; HZ – Hrvatsko Zagorje (Croatian Zagorje)

Geological setting

The geological setting of North-Eastern Slovenia is rather complex (Fig. 1). In the area, there are three large tectonic units: the Southern Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin. The main fault system is the Periadriatic Line which extends from the Western Alps to the south-western Pannonian Basin, and is characterised by Paleogene plutonic and volcanic rocks (VON BLANCKENBURG & DAVIS, 1995). Along the easternmost surface extending, the Periadriatic Line splits into three local faults, termed the Smrekovec Fault, the Donat Line, and the Šoštanj Fault (MIOČ, 1978; FODOR et al., 1998). They are assumed to be displaced along the Lavanttal Fault about 10 km southward, and to continue eastward under the cover of Tertiary sediments – the Smrekovec Fault as the Balaton Line, and the Šoštanj Fault as one of the faults of the Mid-Hungarian Line (ROYDEN, 1988; CSONTOS & NAGYMAROSI, 1998; FODOR et al., 1998).

In palinspastic reconstruction, the Periadriatic Line represents a shear zone developed by subduction of the European plate below the African plate (ROYDEN, 1988; FODOR et al., 1999; KÁZMÉR et al., 2003). During Late Cretaceous and Early Eocene, the subduction changed into collision that uplifted the Alps (DERCOURT et al., 1986). The following Late Oligocene to Neogene eastward continental escape from the collision zone in the Eastern Alps resulted in the formation of Alcapa and Tisia crustal blocks, which are separated by the joined Mid-Hungarian Line and Zagreb-Zemplin Zone (ROYDEN, 1988; CSONTOS, 1995). Eastward progression of Alcapa and Tisia was accompanied by north-east to eastward translations and rotation, initiation of extensional strike-slip regime and development of the Pannonian Basin (FODOR et al., 1999). Neogene to Quaternary magmatism in the Pannonian Basin was generated in response to complex microplate tectonics and syn-sedimentary rifting in a back-arc setting, and produced calc-alkaline, shoshonitic and mafic alkalic rocks (SEGHEDI et al., 2005).

Oligocene volcanic activity in North-Eastern Slovenia is considered to be post-collisional and related to slab breakoff processes (VON BLANCKENBURG & DAVIS, 1995). It seems to occur in the initial stage of extensional evolution of the Pannonian Basin, particularly during the activation of the Periadriatic Line (PAMIĆ & BALEN, 2001). Magmas erupted show calc-alkaline and medium-K affinity, and produced a suite ranging in composition from andesite to dacite and rhyodacite (KRALJ, 1996; 1999).

On the territory of North-Eastern Slovenia, Oligocene volcanic deposits widely occur south of the Periadriatic Line in the Smrekovec Volcanic Complex (KRALJ, 1996; 2012; HANFLAND et al., 2004), and continue south of the Šoštanj Fault and along the Donat Line (MIOČ, 1983) on the territory of Rogaška Slatina (Fig. 1). Toward the east, Egerian-Eggenburgian calc-alkaline volcanic rocks outcrop in the Croatian Zagorje (ALTHERR et al., 1995; PAMIĆ & BALEN, 2001), and merge un-

der the cover of Tertiary and Quaternary deposits at the Croatian-Hungarian frontier (ZELENKA et al., 2004). Oligocene volcanic deposits sporadically occur south of the Celje Fault (Fig. 1) in the Zagorje-Laško Basin, particularly at Trobni Dol and Košnica (BUSER, 1978; ANIČIĆ & DOZET, 2002; ANIČIĆ & JURIŠA, 1985).

The Smrekovec Volcanic Complex forms a part of an ancient submarine stratovolcano edifice (KRALJ, 2012) which has been dissected by the Periadriatic Line. According to HINTERLECHNER-RAVNIK & PLENIČAR (1967) and MIOČ (1983), the northern flank has been displaced toward the south, and today, it is positioned in the area of Rogaška Slatina. The uppermost part of the edifice has been eroded and lava flows, being more resistant than pyroclastic and volcanoclastic deposits, build the central mountain range with the highest peaks of Komen (1684 m), Krnes (1613 m), Smrekovec (1577 m) and Travnik (1637 m). In the central part of the complex, a variety of autoclastic, pyroclastic and resedimented volcanoclastic deposits occur, while in the apron, volcanoclastic and mixed volcanoclastic-siliciclastic deposits predominate (KRALJ, 2012). The composition of magmas that created the Smrekovec volcanic Complex is mainly andesitic, only some late-stage deposits show dacitic affinity.

Along the margins of the Celje Basin at Zaloška Gorica, Gorenje and Velika Pirešica, and in the Zagorje-Laško basin at Trobni Dol and Košnica, pyroclastic flow deposits predominate. Dacitic to rhyodacitic vitric coarse-grained to lapilli tuffs are extensively altered to zeolites (KRALJ, 1999). Their upper divisions commonly consist of reworked fine-grained volcanoclastic and mixed volcanoclastic-siliciclastic deposits interbedded with fine-grained marine silts.

Volcanic successions in Tertiary basins of the North-Eastern Slovenia have entirely submarine character and are commonly underlain and overlain by fine-grained fossiliferous clastic sediments, locally termed “sivica” (KUŠČER, 1967).

Pyroclastic flow deposits from the Tdp-1/84 borehole, Trobni Dol

In the cored boreholes Tdp-1/84 and Tdp-2/84, located in the Laško Basin at Trobni Dol (Fig. 1) nearly 140 m thick volcanoclastic succession (Fig. 2) has been recognised. It consists of lapilli-, coarse- and fine-grained tuffs of rhyodacitic to rhyolitic affinity (KRALJ, 1999), and is underlain, interbedded and overlain fossiliferous mudstone of the Upper Oligocene (Egerian) age (PETRICA et al., 1995).

Pyroclastic flow unit from the Tdp-1/84 borehole is 107 m thick (Fig. 2) and originates from a single explosive event. Throughout the unit microfossils, fragments of coal and charred plant material occur. The lowermost division occurs between 149 m and 95 m of depth and consists of tuff breccia, lithofacies Bt. The largest clasts are cognate in origin and up to 30 cm long. They originate from the underlying volcanoclastic

unit which was largely destroyed during the new eruption, and the clasts of tuff admixed to juvenile material. Matrix in tuff breccia is juvenile and consists of lapilli tuff rich in glass shards. Cognate fragments are altered to interlayered clay minerals and juvenile pyroclasts in clinoptilolite and montmorillonite.

Above a depth of 95 m, cognate fragments disappear and juvenile material prevails. Between 95 m and 70 m massive lapilli tuff (mLT) occurs. Normal

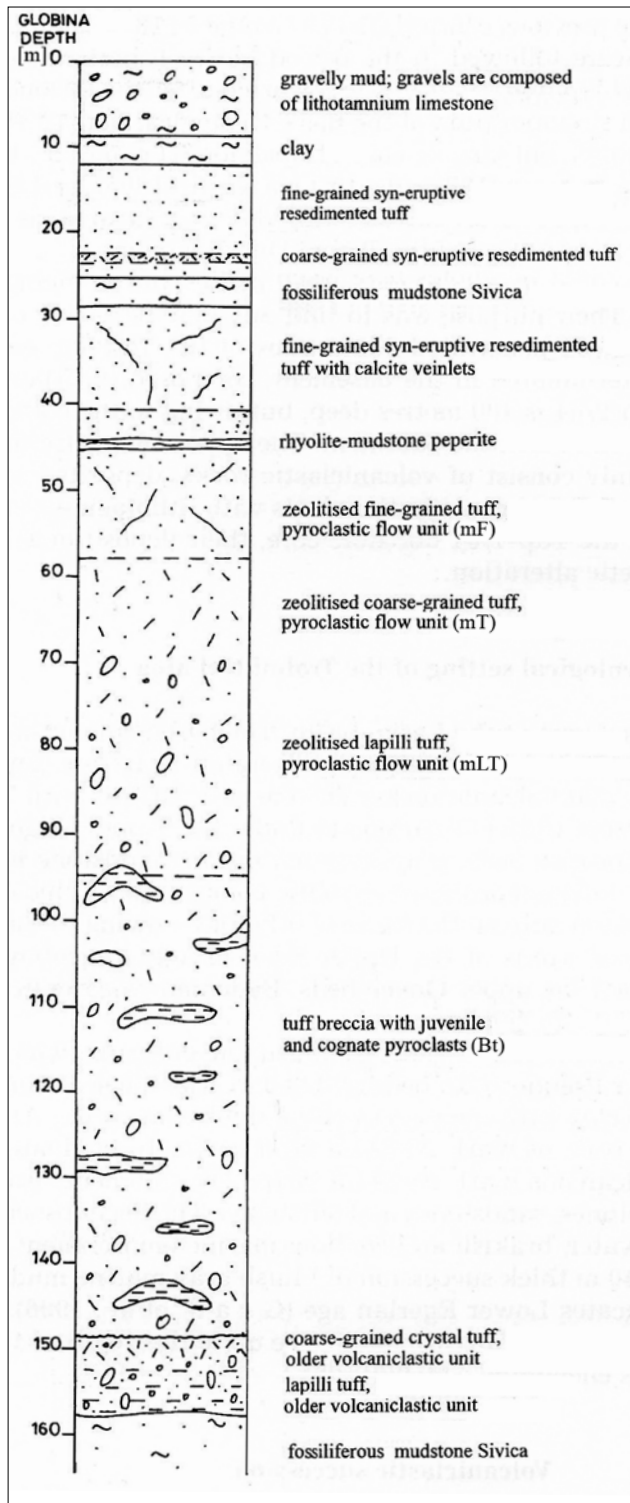


Fig. 2. Diagrammatic cross-section across the cored bore-hole Tdp-1/84 Trobni Dol

gradation of lapilli can be recognised, although fine-grained matrix remains entirely unsorted. The largest lapilli attain up to 7 cm, and their shape is commonly fluidal (Fig. 3), elongated in the flow direction or deformed in the Z-shape. Their internal texture is often collapsed. Some lapilli show peperitic texture (Fig. 4) and banded structure. The formation of such lapilli could be explained by local partial welding of pumice lapilli that incorporated some fine ash during the process of welding and progressive movement of the pyroclastic flow. Matrix of lapilli tuffs is coarse- and fine-grained vitric tuff. The main constituent are glass shards, many of them having typical Y-forms. Glass shards do not indicate welding.

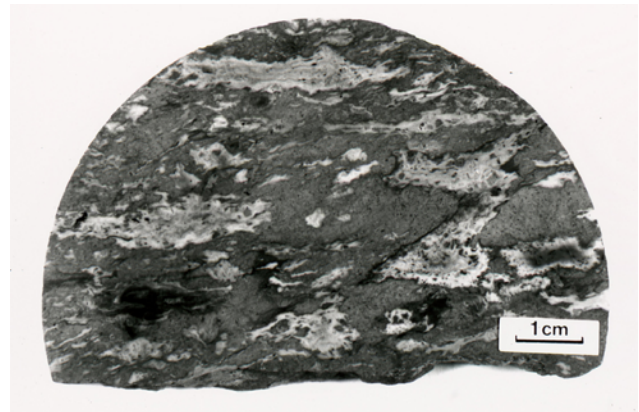


Fig. 3. Polished core surface from the borehole Tdp-1/84 at a depth of 83,2 m. Many lapilli have flame-like endings, and some of them are collapsed. Note extraordinary Z-shape above the scale

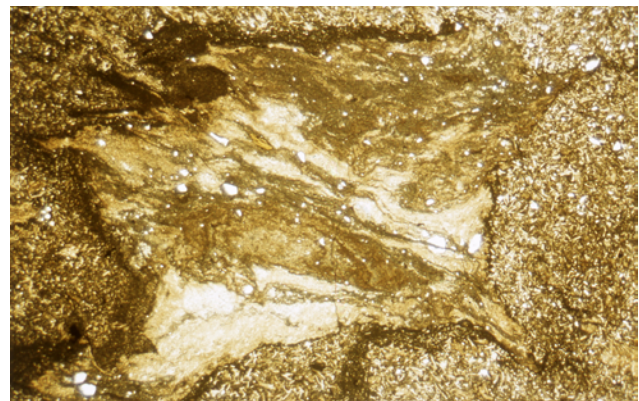
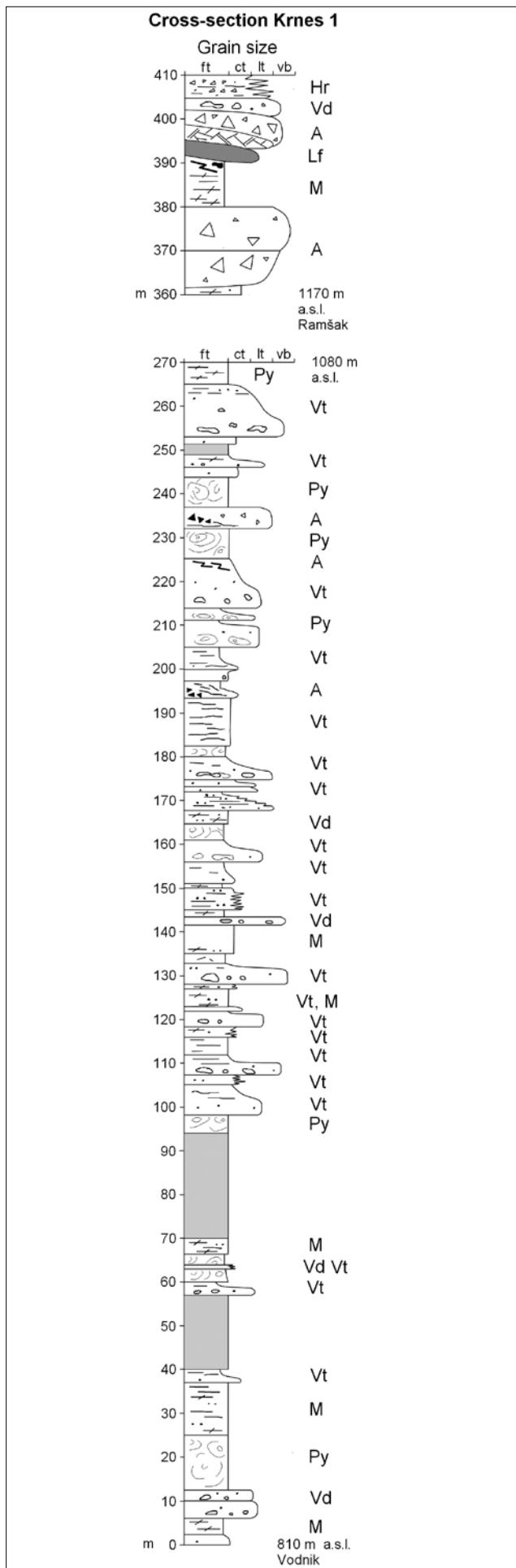


Fig. 4. Peperitic domain in a lapilli tuff, Tdp-1/84 at a depth of 83,5 m, formed by partial welding of a pumice lapilli and contemporaneous incorporation of fine-grained matrix. Plane-polarised light, the image length is 0,5 mm

At about 70 m of depth, lapilli tuff discretely grades into coarse-grained massive vitric tuff (mT), and from about 58 m upward, fine-grained massive (mF) and diffusely bedded tuff (dF) prevail. The pyroclastic flow unit terminates at a depth of 44,5 m with a rhyolite-mudstone peperite (P). The overlying syn-eruptively resedimented fine-grained tuffs are horizontally bedded (hF) and interbedded by fossiliferous mudstone. Volcanoclastic succession terminates discordantly with eluvial clay and gravelly clay.



The cross-section Krnes 1, the Smrekovec Volcanic Complex

In the Smrekovec Volcanic Complex, pyroclastic, autoclastic and resedimented volcanoclastic deposits form a succession with a complex lithofacies architecture that is clearly evidenced in the cross-section Krnes 1 (Fig. 5). Lithofacies groups and lithofacies occurring in the cross-section are summarised in Table 1 in addition to explanation to Figure 5 (KRALJ, 2012).

Explanation

- lava flow
- ▨ autoclastic lava flow
- ▧ hyaloclastite and hyaloclastite breccia, resedimented hyaloclastite
- ▩ peperitic breccia
- peperite (layers and pillows)
- volcanoclastic breccia and tuff-breccia
- ▬ massive lapilli tuff
- ▭ massive coarse-grained tuff
- ▮ bedded coarse-to fine-grained tuff
- ▯ graded thin beds of coarse-to fine-grained tuff
- ▰ fine-grained tuff and tuffaceous mudstone
- ▱ fine- and coarse-grained tuff
- ▲ covered

Grain size:

- ft - fine tuff
- ct - coarse tuff
- lt - lapilli tuff
- vb - volcanoclastic breccia and tuff-breccia

Lithofacies groups:

- Lf - lava flow
- A - autoclastic deposits
- Hr - resedimented hyaloclastite deposits
- Py - pyroclastic deposits
- Vd - volcanoclastic debris flow deposits
- Vt - volcanoclastic turbidity flow deposits
- M - mixed volcanoclastic-siliciclastic deposits

Fig. 5. Simplified cross-section Krnes 1 with the subsections Vodnik and Ramsak, the Smrekovec Volcanic Complex

Table 1. Synopsis of the characteristics for volcanoclastic deposits in the Smrekovec Volcanic Complex

Lithofacies Group	Lithofacies	Thickness	Initiation process
Autoclastic deposits (A)	Autobreccia (AB)	1-5 m	<i>Quench fragmentation</i> <i>Quench fragmentation</i> <i>Quench fragmentation, phreatic explosions</i>
	Hyaloclastite breccia (HB)	1-5 m	
	Hyaloclastite (mH)	Several dm - 3 m	
	Peperite (P)	0.5-3 m	<i>Quench fragmentation and mixing and mingling with the enclosing wet sediment</i> <i>Mixing and mingling of lava or magma and the enclosing wet sediment</i>
	Blocky peperite (PB)		
Fluidal peperite (P)	< 1 mm - 1 m		
Pyroclastic deposits (Py)	Massive pumice lapilli tuff [mLT(p)]	Several dm–several m	<i>Gas- and water-supported eruption-fed density flows</i>
	Massive coarse- to fine-grained tuff [mT(p)]	3-20 cm	
	Massive to diffusely bedded tuff [dT(p)]	2-5 m	
	Horizontally bedded tuff [sT(p)]	Very thin to medium-thick beds	
	Horizontally laminated fine-grained tuff [sF(p)]	Laminae, in 1-20 cm thick unit	
	Cross-laminated fine-grained tuff [xF(p)]	Laminae, in 1-5 dm thick unit	
	Subtly lenticular fine-grained tuff [cF(p)]	Laminae, in 1-5 dm thick unit	
	Wavy laminated fine-grained tuff [vF(p)]	Laminae, in several cm thick unit	
Volcanoclastic debris flow deposits (Vd)	Polymict volcanoclastic breccia (Bx)	2-15 m	<i>Debris flows</i>
	Massive coarse-grained tuff (Sx)	0.3-5 m	<i>Sandy debris flows</i>
Volcanoclastic turbidite deposits (Vt)	Volcanoclastic tuff-breccia (Bt)	0.1-3 m	<i>Low-density turbidity currents and settling from suspension clouds</i>
	Massive lapilli tuff [mLT(v)]	Several cm – 0.5 m	
	Horizontally bedded coarse-grained tuff [hsT(v)]	Thin to medium thick beds	
	Horizontally bedded fine-grained tuff [hlF(v)]	Laminae, in 1-20 cm thick unit	
	Vaguely laminated fine-grained tuff [vlF(v)]	Laminae, in several cm thick unit	
	Cross-bedded coarse- to fine-grained tuff [xF(v)]	Laminae, in 5-15 cm thick unit	
	Massive fine-grained tuff [mF(v)]	1-25 cm	
Mixed volcanoclastic-siliciclastic deposits (M)	Massive tuffaceous sandstone [mS(v)]	Several mm - several cm	<i>Settling from suspension clouds, reworking by oceanic bottom currents</i>
	Horizontally laminated tuffaceous sandstone [hS(v)]	Laminae	
	Cross-bedded tuffaceous sandstone [tS(v)]	Several mm – several cm	
	Massive tuffaceous mudstone [mM(v)]	Several mm – several cm	

Eight lithofacies of pyroclastic deposits were recognised: (1) massive pumice lapilli tuff [mLT(p)], (2) massive coarse- to fine-grained tuff [mT(p)], (3) massive to diffusely bedded tuff [dT(p)], (4) horizontally bedded tuff [sT(p)], (5) horizontally laminated fine-grained tuff [sF(p)], (6) cross-laminated fine-grained tuff [xF(p)], (7) subtly lenticular fine-grained tuff [cF(p)], and (8) wavy laminated fine-grained tuff [vF(p)].

Massive pumice lapilli tuff [lithofacies mLT(p)] is characterized by several decimeters to several metres thick beds (Fig. 6), but most commonly the thickness ranges between 1-3 m. The tuff is ungraded and consists of medium-sized (1-4 cm) lapilli, set in a matrix composed of glass shards, crystal grains and fine-grained, submicroscopic ash. Petrographic studies in thin sections have shown that pumice lapilli form from about 35-45 vol.%, glass shards and crystal grains 40-50 vol.%, and fine-grained ash 10-20 vol.% of the bulk rock, respectively. Crystal grains mainly belong to plagioclases; biotite is common as well, but occurs in very small amounts (<1-2%). According to the state of pumice lapilli, two subspecies have been recognised: massive pumice lapilli tuff with pumice that shows no sign of tube collapse or elongation (subspecies [mL₁T(p)]), and massive pumice lapilli tuff with pumice fiamme (subspecies [mL₂T(p)]).

Massive coarse- to fine-grained tuff [lithofacies mT(p)] is characterised by 3-20 cm thick beds, composed of glass shards, crystal grains and fine-grained ash, and very rare pumice lapilli (Fig. 7). Petrographic studies in thin sections have shown that glass shards are the most abundant constituent and commonly attain 40-50 vol.% of the bulk rock. Fine-grained ash amounts to 30-40 vol.%, crystal grains up to 10-15 vol.%, and pumice lapilli up to 5 vol.% of the bulk rock, respectively.

Massive to diffusely bedded tuff [lithofacies dT(p)] consists of several decimeters to several metres thick units; most commonly the thickness ranges from 2-5 m (Fig. 8). Basal contacts with the substrate are typically highly erosive and show evidence of scouring up to 0.8 m deep. The rock is essentially massive; indistinct and discontinuous bedding is indicated by a slight change in color and/or grain size. The tuff is mainly composed of ash-sized glass-shards, whilst fine-grained matrix forms up to 25 % of the bulk rock. Very commonly, there is an indistinct upward grading from coarser-grained division to somewhat finer-grained division. The tuff is well lithified. Combined petrographic studies and X-ray analysis of powdered samples have shown that clinoptilolite and cristobalite crystallized, and replace glass shards and fill interstices and vesicles. Columnar jointing locally occurs. Diffusely bedded tuff contains scarce foraminifera.

Horizontally bedded tuff [lithofacies sT(p)] is characterized by very thin- to medium-thick beds, composed of ash-sized pyroclast and/or fine-grained matrix (Fig. 8). In coarser tuffs, normal grading is common, and crystal grains are most often concentrated at the base. The division of horizontally bedded tuffs ranges in thick-



Fig. 6. Pyroclastic deposits showing a succession of Type 1 PDUs. The massive division mLT forms over half of the bulk PDU



Fig. 7. Type 2 PDU, the cross-section Krnes 1, sub-section Vodnik

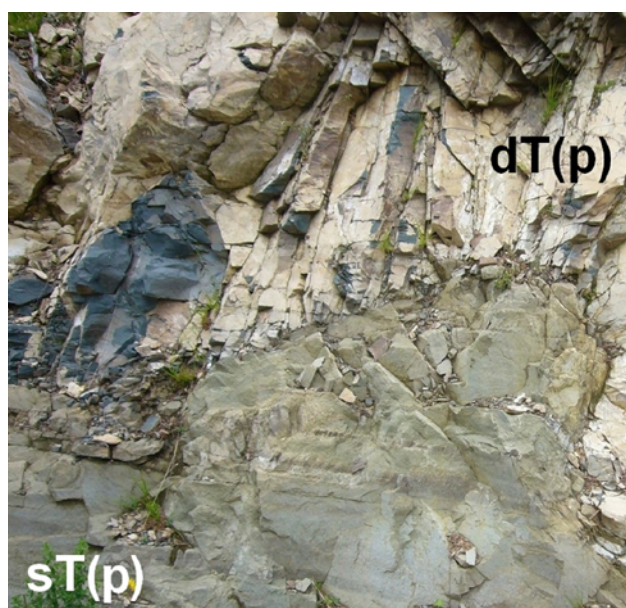


Fig. 8. Scoured, erosive boundary between Type 1 PDU (at the base) and the overlying Type 2 PDU. Hammer (33 cm) is for scale

ness from several cm to several decimeters, and an overall upward decrease in bed thickness and grain-size is common.

Fine grained tuffs consist of altered glassy ash and small crystal grains. The division of horizontally laminated tuff [sF(p)] varies in thickness from about 1-20 cm (Fig. 6, 7, 8). Cross-laminated fine-grained tuffs [xF(p)] form high- and low-angle cross-beds, and sometimes, sigmoidal dunes. They are commonly associated with subtly lenticular [cF(p)] fine-grained tuffs. The division of cross-bedded and subtly lenticular lithofacies ranges in thickness from 1 to 5 dm. Wavy laminated fine-grained tuffs [vF(p)] most often occur at the top of horizontally bedded division and form a unit several cm thick.

Discussion

Subaqueous pyroclastic flows commonly result from sustained explosive eruptions. Above the vent, explosively fragmented magma forms gas-thrust column and feeds laterally moving hot, gas-supported flow from which water is excluded by column gases. The current is driven by the excess density of the current relative to water, and therefore requires a very high particle concentration to overcome the low density of the continuous gas phase (WHITE, 2000). In deep-water environments, gas-thrust columns formed by sustained eruptions of strongly fragmented pyroclastic material may be suppressed owing to a high confining hydrostatic pressure upon gas expansion (KOKELAAR & BUSBY, 1992). The flows fed from these suppressed columns are initiated with high-particle concentrations, and flow-interaction with the surrounding water is mediated by stripping of low-particle concentration zones from the top of the flow and by a transient vapor barrier surrounding the main body of the flow (KOKELAAR & BUSBY, 1992). Hydroplaning of advancing high-concentration flows may be disrupted at barriers and may result in isolated tuff bodies or slowing of flow-front advance and inhibition of hydroplaning (HOWELLS et al., 1985).

Diagnostic features of subaqueous gas-supported pyroclastic flows are massive, unsorted deposits, collapsed pumice flammé, plastically deformed glass shards and the evidence of heat retention such as welding textures, clasts with thermoremanent magnetic orientation or thermally altered organic matter. (FISHER & SCMINCKE, 1984; CAS & WRIGHT, 1987; WHITE, 2000).

Water-supported subaqueous pyroclastic flow deposits or eruption-fed aqueous density currents form when explosively fragmented erupting magma feeds hot clasts into water-supported turbidity currents and granular flows (WHITE, 2000). The eruptions are intermittently explosive and commonly produce tephra jets. The currents may be diluted to highly concentrated, they are essentially turbulent and have water as the continuous intergranular phase. Typical depositional unit formed by a single eruption consist of a massive basal layer overlain by a thinning and

fining upward set of beds, thinner than the basal layer (FISKE & MATSUDA, 1964; WHITE, 2000). The pulses of intermittent tephra jets may produce thin beds showing a variety of tractional current structures such as scours and cross-lamination (WHITE, 2000). Water-supported density currents fed by subaqueous eruptions are similar to the gravity flows originating by sediment failure on steep slopes that must evolve from debris flows by ingestion of water (SOHN et al., 2002; WHITE, 2000). The distinction is often very difficult and sometimes practically impossible, and should involve detailed petrography, mineralogy and geochemistry of deposits (KRALJ, 2012).

The succession in the cored borehole Tdp-1/84 at Trobni Dol has been interpreted as gas-supported pyroclastic-flow deposit. Diagnostic characteristics are thickness, coarse-tail grading, large matrix-shard content, collapsed and deformed lapilli, lapilli with peperitic texture and banded structure, and the presence of charcoal.

The interpretation of pyroclastic deposits in the Smrekovec Volcanic Complex needs and introduction of pyroclastic depositional units (PDUs) based on lithofacies architecture. Two varieties, Type 1 PDU and Type 2 PDU, have been distinguished.

Type 1 PDU is more common in occurrence (Figs. 6, 7). The thickest units attain up to 5 m. In thicker units, lithofacies $mL_T(p)$ occurs at the base, and is overlain by the intermediate, horizontally bedded division, composed of lithofacies $sT(p)$, which becomes upward more thinly bedded and finer-grained. Some coarser lithofacies $sT(p)$ occurring at the base of thicker bedded divisions are amalgamated. Thicker Type 1 PDUs are commonly topped by [sF(p)] or [vF(p)] and [sF(p)]. In thicker units, massive division predominates and forms from 60-80 % of the bulk pyroclastic depositional unit.

The formation of thicker Type 1 PDUs is interpreted to be related to deposition from water-supported eruption-fed density flows. Diagnostic is massive basal layer, and the overlying fining and thinning upward set of beds. The composition is dominated by juvenile pyroclasts. Internal structure is practically identical to the units of volcanoclastic turbidites (cf. BOUMA, 1962; POSTMA, 1986; FISHER, 1991; SCHNEIDER, 2000; SCHNEIDER et al., 2001).

Thinner Type 1 PDUs attain up to several decimeters (Fig. 7). In general, lithofacies $mL_T(p)$ is absent and $mT(p)$ occurs instead. Bedded division is thinner and finer-grained as well, and bed amalgamation is very rare. Horizontally bedded division may be overlain by $sT(p)$ and $sF(p)$, or by the division of cross-laminated [xF(p)] and subtly lenticular lithofacies [cF(p)], or by wavy laminated lithofacies [vF(p)]. Horizontally laminated fine-grained tuff [sF(p)] occurs at the Type 1 PDU's top, either directly overlying the bedded division or the division of cross-laminated and subtly lenticular and/or wavy laminated tuffs. Bedded and laminated divisions commonly form over 60 % of the bulk unit. Thinner units often occur in sets. Thinner sets are composed of few

units while the thickest may consist of over fifty units and are over 20 m thick (Fig. 7). Sets of thinner 1 PDUs are very possibly deposits of density currents fed by intermittent tephra jets resulting from hydrovolcanic eruptions.

The Type 2 PDU is less abundant in occurrence (Figs. 8, 9, 10). Thicker units attain several metres and are composed of lithofacies $mL_2T(p)$ at the base. Transition into the overlying lithofacies $dT(p)$ is indistinct and gradual. Lithofacies $dT(p)$ may show indistinct grading from somewhat coarser ash-sized tuff at the base and somewhat finer ash-sized tuff at the top. Lithofacies $dT(p)$ is overlain by $sF(p)$, and there is a sharp distinction in the degree of lithification, colour and internal structure. Whilst $mL_2T(p)$ and $dT(p)$ are very well lithified and dark-green, the overlying $sF(p)$ is much softer and brownish, and columnar jointing never continues from $mL_2T(p)$ and $dT(p)$ to $sF(p)$. Hydroplaning of advancing high-concentration flows is often disrupted or inhibited at barriers and results in isolated tuff bodies (Figs. 8, 9, 10).

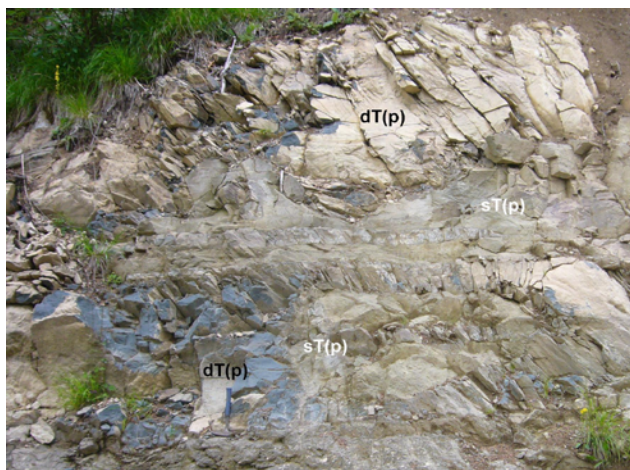


Fig. 9. A residual entrapped clast of the bedrock in the gas-supported eruption-fed pyroclastic flow. The obstacle suppressed hydroplaning of the flow. The cross-section Krnes 1, sub-section Vodnik. Hammer (33 cm) is for scale



Fig. 10. Gas-supported eruption-fed pyroclastic flow – lithofacies $dT(p)$ – scoured the unconsolidated volcanoclastic deposit (Bt) and underwent partial mixing along the contacts. The remaining tuff (I) is the entrapped and rolled material of the pyroclastic flow. The cross-section Krnes 1, sub-section Vodnik. Hammer (33 cm) is for scale

Conclusion

Upper Oligocene volcanic activity in sedimentary basins in North-Eastern Slovenia had entirely submarine character. Various lithofacies of pyroclastic deposits developed and they can be subdivided into two principal groups with respect to the origin either from gas- or water-supported eruption-fed density currents. An over 100 m thick succession composed of rhyodacitic to rhyolitic pumice lapillit tuffs and glass shard-rich tuffs at Trobni Dol is a typical example of gas-supported pyroclastic flow deposit. The lack of sorting of fine- to coarse-grained tephra, collapsed and plastically deformed pumice lapilli, and the presence of charcoal are the main diagnostic features. In the Smrekovec Volcanic Complex, both gas- and water-supported eruption-fed density currents occurred. Deposits settled from gas-supported pyroclastic flows and fed by sustained eruptions are much thinner than at Trobni Dol and attain up to 5 m in thickness. From water-supported eruption-fed density currents fining and thinning upward units deposited, and they are very similar to volcanoclastic turbidites originating from gravitational collapse. The distinction between pyroclastic deposits originating from water-supported eruption-fed density currents and genuinely reworked volcanoclastic turbidites is very difficult and often involves detailed analysis of field relations, lithofacies architecture, and structure, texture and composition of rocks.

References

- ALTHERR, R., LUGOVIĆ, B., MEYER, H.-P. & MAJER, V. 1995: Early Miocene post-collisional calc-alkaline magmatism along the easternmost segment of the Periadriatic fault system (Slovenia and Croatia). *Mineralogy and Petrology*, 54: 225-247.
- ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 2002: Geološka karta Kozjanskega 1:50.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. 1985: Osnovna geološka karta SFRJ, list Rogatec 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ, list Celje 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- VON BLANCKENBURG, F. J. & DAVIS, J. H. 1995: Slab breakoff. A model for syncollisional magmatism and tectonics in the Alps. *Tectonics*, 14: 120-131.
- BOUMA A. H. 1962: *Sedimentology of some flysch deposits*. Elsevier, Amsterdam: 168 p.
- BRANNEY, M. J. & KOKELAAR, P. 2002: Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites. *Geological Society Memoir*, 27: 143 p.
- BULL, S.W. & CAS, R.A.F. 1991: Depositional controls and characteristics of subaqueous bedded volcanoclastics of the Lower Devonian Snowy River Volcanics. *Sedimentary Geology*, 74: 189-215.

- BUSBY-SPERA, C.J. 1988: Evolution of a Middle Jurassic back-arc basin, Cedros Island, Baja California: Evidence from marine volcanoclastic apron. *Geological Society of America Bulletin*, 100: 218-233.
- CAS, R.A.F. 1992: Submarine volcanism: eruption styles, products, and relevance to understanding the host-rock successions to volcanic-hosted massive sulfide deposits. *Economic Geology*, 87: 511-541.
- CAS, R. A. F. & WRIGHT, J. V. 1987: *Volcanic Successions: Modern and Ancient*. Allen & Unwin, London: 528 p.
- COLE, R. B. & STANLEY, R.G. 1994: Sedimentology of subaqueous volcanoclastic sediment gravity flows in the Santa Maria Basin, California. *Sedimentology*, 41: 37-54.
- CSONTOS, L. 1995: Tertiary tectonic evolution of the intra-Carpathian area: a review. *Acta Vulcanologica*, 7/2: 1-13.
- CSONTOS, L. & NAGYMAROSY, A. 1998: The mid-Hungarian line: a zone of repeated tectonic inversion. *Tectonophysics*, 297: 51-71.
- DERCOURT, J., ZONENSHAIN, L. P., RICOU, L. E., KAZMIN, V. G., LEPICHON, X., KNIPPER, A. L., GRANDJACQUET, C., SBORTSHIKOV, I. M., GEYSANT, J., LEPVRIER, C., PECHERSKY, D. H., BOULIN, G., SIBUET, J. C., SAVOSTIN, L. A., SOROKHTIN, O., WESPHAL, M., BAZHENOV, M. L., LAUER, J. P. & BIJOU-DUVAL, B. 1986: Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to Pamir since the Lias. *Tectonophysics*, 123: 241-315.
- FISHER, R.V. 1991: Depositional controls and characteristics of subaqueous bedded volcanoclastics of the Lower Devonian Snowy River Volcanics. *Sedimentary Geology*, 74: 189-215.
- FISHER, R. V. & SCHMINCKE, H.-U. 1984: *Pyroclastic Rocks*. Springer-Verlag, Berlin: 472 p.
- FISKE, R.S. & MATSUDA, T. 1964: Submarine equivalents of ash flows in the Tokiawa Formation, Japan. *American Journal of Science*, 262: 76-106.
- FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., SKABERNE, D., ČAR, J. & VRABEC, M. 1998: Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic Line and surrounding area – implications for the Alpine-Carpathian extrusion model. *Tectonics*, 17: 690-709.
- FODOR, L., CSONTOS, L., BADA, G., GYÖRFI, I. & BENKOVICS, L. 1999: Tertiary tectonic evolution of the Pannonian Basin system and neighbouring orogens: a new synthesis of paleostress data. In: DURAND, B., JOLIVET, L., HORVÁTH, F. & SÉRANNE, M. (eds.): *The Mediterranean Basins: Tertiary extension within the Alpine Orogen*. Geological Society, Special Publications, 156: 295-334.
- HANFLAND, C., LÄUFER, A. L., NEBELSICK, J. H. & MOSBRUGGER, V. 2004: The Paleogene Smrekovec Basin and related volcanism (Slovenia): sedimentology, geochemistry and tectonic evolution. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen*, 77-125.
- HINTERLECHNER-RAVNIK, A. & PLENIČAR, M. 1967: Smrekovski andezit in njegov tuf (in Slovenian with English abstract: The Smrekovec andesite and its tuff). *Geologija*, 10: 219-237.
- HOWELLS, M. F. CAMPBELL, D. G. & REEDMAN, A. J. 1985: Isolated pods of subaqueous welded ash-flow tuff: a distal facies of the Capel Curig Volcanic Formation (Ordovician), North Wales. *Geological Magazine*, 122: 175-180.
- JELEN, B. & RIFELJ, H. 2002: Stratigraphic structure of the B1 Tertiary tectonostratigraphic unit in eastern Slovenia. *Geologija*, 45/1: 115-138, doi:10.5474/geologija.2002.010.
- KÁZMÉR, M., DUNKL, I., FRISCH, W., KUHLEMANN, J. & OZSVÁRT, P. 2003: The Paleogene forearc basin of the Eastern Alps and western Carpathians: subduction erosion and basin evolution. *Journal of the Geological Society*, 160: 431-428.
- KOKELAAR, B. P. 1983: The mechanism of Surtseyan volcanism. *Journal of Geological Society of London*, 140: 939-944.
- KOKELAAR, B. P. & BUSBY, C. J. 1992: Subaqueous explosive eruption and welding of pyroclastic deposits. *Science*, 257: 196-201.
- KRALJ, P. 1996: Lithofacies characteristics of the Smrekovec volcanoclastics, Northern Slovenia. *Geologija*, 39: 159-191, doi:10.5474/geologija.1996.007
- KRALJ, P. 1999: Volcanoclastic rocks in Borehole Tdp-1/84 Trobni Dol, Eastern Slovenia. *Geologija*, 41: 135-155, doi:10.5474/geologija.1998.009.
- KRALJ, P. 2012: Facies architecture of the Upper Oligocene submarine Smrekovec stratovolcano, Northern Slovenia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 247-248: 122-138, doi:10.1016/j.jvolgeores.2012.07.016.
- KUŠČER, D. 1967: Zagorski terciar. *Geologija*, 10: 5-58.
- MANVILLE, V., NEMETH, K. & KANO, K. 2009: Source to sink: A review of three decades of progress in the understanding of volcanoclastic processes, deposits, and hazards. *Sedimentary Geology*, 220: 136-161.
- MCBIRNEY, A. R. 1963: Factors governing the nature of submarine volcanism. *Bulletin of Volcanology*, 26: 455-469.
- MCPHIE, J., DOYLE, M. & ALLEN, R. 1993: *Volcanic Textures*. University of Tasmania, Hobart: 198 p.
- MIOČ, P. 1978: Tolmač za list Slovenj Gradec (in Slovenian with English abstract: Explanation to the geological map of Slovenia, scale 1:100.000, Sheet Slovenj Gradec). Zvezni geološki zavod (Federal Geological Survey), Belgrad: 74 p.
- MIOČ, P. 1983: Tolmač za list Ravne na Koroškem (in Slovenian with English abstract: Explanation to the geological map of Slovenia, scale 1:100.000, Sheet Ravne na Koroškem). Zvezni geološki zavod (Federal Geological Survey), Belgrad: 69 p.
- PAMIĆ, J. & BALEN, D. 2001: Tertiary magmatism of the Dinarides and the adjoining South Pannonian Basin: an overview. *Acta Vulcanologica*, 13/1-2: 9-24.

- PECKOVER, R. S., BUCHANAN, D. J. & ASHBY, D. E. 1973: Fuel-coolant interaction in submarine volcanism. *Nature*, 245: 307-308.
- PETRICIA, R., RIJAVEC, L. & DOZET, S. 1995: Stratigraphy of the Upper Oligocene and Miocene beds in the Trobni Dol area (Kozjansko). *Rudarsko-metalurški zbornik*, 42/3-4: 127-141.
- POSTMA, G. 1986: Classification of sediment gravity-flow deposits based on flow conditions during sedimentation. *Geology*, 14: 291-294.
- ROYDEN, L. H. 1988: Late Cenozoic tectonics of the Pannonian basin system. In: ROYDEN, L. H. & HORVATH, F. (eds.): *The Pannonian Basin. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma*, 27-48.
- SCHNEIDER, J.-L. 2000: Volcaniclastic sedimentation in submarine settings: products and processes. In: H. LEYRIT & C. MONTENANT (eds.): *Volcaniclastic rocks, from magmas to sediments*, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 175-192.
- SCHNEIDER, J.-L., LE RUYET, A., CHANIER, F., BURET, C., FERRIERE, J., PROUST, J.N. & ROSSET, J. B. 2001: Primary or secondary distal volcaniclastic turbidites: how to make the distinction? An example from the Miocene of New Zealand (Mahia Peninsula, North Island). *Sedimentary Geology*, 145: 1-22.
- SEGHEDI, I., DOWNES, H., HARANGI, SZ., MASON, P.R.D. & PÉCSKAY, Z. 2005. Geochemical response of magmas to Neogene-Quaternary continental collision in the Carpathian-Pannonian region: A review. *Tectonophysics*, 410: 485-499.
- SOHN, Y.K., CHOE, M.Y. & JO, H.R. 2002: Transition from debris flow to hyperconcentrated flow in a submarine channel (the Cretaceous Cerro Toro Formation, southern Chile). *Terra Nova*, 14: 405-415.
- WHITE, J.D.L. 2000: Subaqueous eruption-fed density currents and their deposits. *Precambrian Research*, 101: 87-109.
- WRIGHT, J.V., SMITH, A.L. & SELF, S. 1996: A working terminology of pyroclastic deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 8: 315-336.
- ZELENKÁ, T., BALÁSZ, E., BALOGH, K., KISS, J., KOZÁK, M., NEMESI, L., PÉCSKAY, Z., PÜSPÖKI, Z., RAVASZ, Cs., SZÉKY-FUX, V. & ÚJFALUSSY, A. 2004: Buried Neogene volcanic structures in Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 47/2-3: 177-219.

Spodnjemiocenske ribe in želva iz Žvarulj pri Mlinšah (Centralna Paratetida)

Lower Miocene fishes and turtle from Žvarulje near Mlinše, Slovenia (Central Paratethys)

Vasja MIKUŽ¹ & Aleš ŠOSTER²

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: vasja.mikuz@ntf.uni-lj.si

²Višnja vas 9, SI-3212 Vojnik, Slovenija; e-mail: geolog.bauci@gmail.com

Prejeto / Received 26. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 3. 12. 2013

Ključne besede: ribe, plazilci, spodnji miocen, Centralna Paratetida, Žvarulje, Slovenija

Key words: fishes, reptiles, Lower Miocene, Central Paratethys, Žvarulje, Slovenia

Izvleček

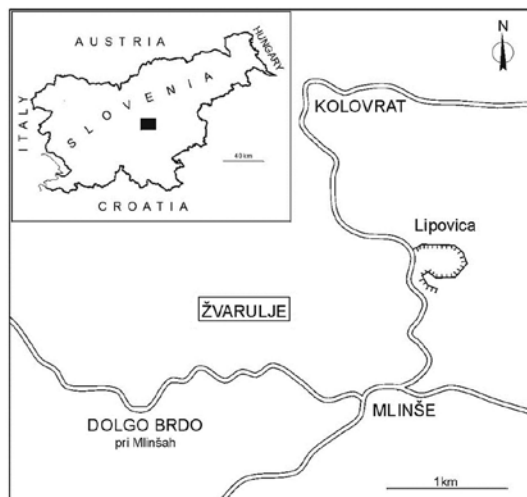
V prispevku so obravnavani ostanki miocenskih vretenčarjev iz okolice Žvarulj pri Mlinšah v osrednji Sloveniji. Ostanki vretenčarjev so najdeni v spodnjemiocenskih govških klastitih. Prevladujejo ostanki rib hrustančnic, največ je njihovih zobnih kron večinoma brez koreninskih delov rodov *Notorynchus*, *Carcharias*, *Cosmopolitodus*, *Isurus*, *Carcharhinus* in *Sphyrna*. Pogostni so posamezni sestavni elementi zobnih plošč in repnih trnov rodov *Myliobatis*, *Aetobatus* in *Rhinoptera*. Nekaj je zobnih kron kostnic rodu *Pagrus* in dva skromna fragmenta želvjega oklepa iz rodu *Trionyx*.

Abstract

The article discusses fossil finds of Miocene vertebrates from the vicinity of Žvarulje near Mlinše in Central Slovenia. The fossils were found in the Lower Miocene Govce formation. Most common in the assemblage were tooth coronas, usually without their root parts of cartilaginous fishes, belonging to the genera *Notorynchus*, *Carcharias*, *Cosmopolitodus*, *Isurus*, *Carcharhinus* and *Sphyrna*. Fragments of dental plates and caudal spines ascribed of the genera *Myliobatis*, *Aetobatus* and *Rhinoptera* were also relatively common. A few tooth crowns of bony fishes assigned of the genus *Pagrus* were also found along with two modest fragments of a turtle shell ascribed of the genus *Trionyx*.

Uvod

V Sloveniji so ostanki fosilnih vretenčarjev zelo redki, kar pa ne velja za ostanke rib. Poznamo že kar številna najdišča različno starih ribjih ostankov in veliko raznovrstnih taksonov. Predvsem v miocenskih kamninah Slovenije so ostanki rib razmeroma pogostni. Že dalj časa imamo shranjene ostanke miocenskih vretenčarjev iz najdišča Žvarulje pri Mlinšah. Med ostanki prevladujejo zobje, sestavni elementi zobnih plošč in deli trnov najrazličnejših hrustančnic. Nekaj je tudi ostankov kostnic in en fragment želvjega oklepa. Razen vretenčarskih ostankov so najdeni še posamezni manjši prodniki različnih kamnin, deli manjših kristalov kremenca oziroma brezbarvnega kremenca in ena školjčna lupina, ki najverjetneje pripada rodu *Gastrea*, morda celo vrsti *G. fragilis*, ki ima zelo veliko stratigrafsko razširjenost in je v Centralni Paratetidi ugotovljena od eggenburgija do sarmatija.



Sl. 1. Položajna skica najdišča

Fig. 1. Situation sketch-map of site

Ker so prispevki o sistematiki miocenskih rib in reptilov ter njihova dokumentacija pri nas maloštevilni, smo se odločili za proučitev njihovih ostankov. Takšnih najdišč, v katerih je na enem mestu najdenih več taksonov miocenskih ribjih ostankov, v Sloveniji ni veliko. Izdanki pri Žvaruljah sodijo med bogatejša najdišča hrustančnic pri nas (sl. 1).

Geološke razmere v najdišču in njegovi okolici

KÜHNEL (1933: 105) terciarne sklade v okolici Kamnika, Moravč in vzhodneje od tod razčleni v zgornjeoligocenske oziroma »soteške sklade«, danes psevdosoteške, točneje oligocenske plasti egerijske starosti, sledijo spodnjemiocenski akvitanjski in burdigalijski »zeleni govški peski«, danes eggenburgijsko-ottnangijske starosti, sledita spodnjemiocenski helvetijski »laški lapor« in srednjemiocenski tortonijski »zgornji litotamnijski apnenec«, danes oba badenijske starosti in zgoraj ležeče sarmatijske »ceritijske plasti«.

Na »Geološki karti zagorskega terciarja« celotno raziskovano ozemlje KUŠČER (1967) uvršča k Posavskim gubam. Južno od Žvarulj je na površju triasna dolomitna podlaga, nad njo so govške plasti, ki so iz prodra, peska in glin z vložki apnenca. Na govških plasteh je tudi zaselek Žvarulje. Vzhodno in severno od Žvarulj izdanjajo badenijske laške plasti, laporovec in konglomerat.

PREMRU (1983a) na Osnovni geološki karti lista Ljubljana prikazuje v okolici Žvarulj spodnjemiocenske klastite, nedaleč stran pa še srednjemiocenske badenijske klastite in apnenca. Ozemlje v strukturnotektonskem smislu uvršča k Laški sinklinali, ki je del Panonskega bazena. PREMRU (1983b: 28-30) iz spodnjemiocenskih in srednjemiocenskih kamnin ne omenja nikakršnih vretenčarskih ostankov, našteva pa številne foraminifere, mehkužce in še nekaj drugih fosilov.

Paleontološki del

Sistematika po: CAPPETTA 1987, HIDEN 1996, NELSON 2006 in REINECKE et al. 2001, 2005, 2011

Podatki o velikostih zob in drugih predstavljenih fosilnih ostankih iz Žvarulj so prikazani v tabeli 1 in ob razlagah pri posameznih tablah 1-4.

Podatki o številu najdenih primerkov posameznega taksona oziroma relativne pogostnosti so prikazani na slikah 2 A-B.

- Classis Chondrichthyes Huxley, 1880
- Subclassis Elasmobranchii Bonaparte, 1838
- Cohort Euselachii Hay, 1902
- Subcohort Neoselachii Compagno, 1977
- Superordo Squalomorphii Compagno, 1973
- Ordo Hexanchiformes Buen, 1926
- Subordo Hexanchoidei German, 1913
- Familia Hexanchidae Gray, 1851

NELSON (2006: 65) navaja, da predstavniki družine Hexanchidae (*cow sharks*) danes živijo v zmerno toplih in tropskih morjih, zadržujejo se na območju kontinentalne police, ob otokih in drugje v Atlantiku, Indijskem in Tihem oceanu ter v vseh ostalih morjih. NELSON nadalje še piše, da so rod *Notorynchus* včasih pripisovali k posebni družini Notorynchidae, zaradi sedmih škržnih odprtin ali rež.

Genus *Notorynchus* Ayres, 1855

Notorynchus primigenius (Agassiz, 1835)

Tab. 1, sl. 1-6

- 1835 *Notidanus primigenius* Agass. – AGASSIZ, Vol. 3, Ch. 17, 218, Tab. 27, Figs. 2-17
- 1855 *Notidanus primigenius* – GIEBEL, 116, Taf. 47, Fig. 3
- 1858 *Notidanus primigenius* Ag. – PROBST, 126, Figs. 8-10
- 1885 *Notidanus primigenius* – QUENSTEDT, Tab. 20, Fig. 6
- 1895 *Notidanus primigenius* Ag. – ZITTEL, 534, Fig. 1428
- 1899 *Notidanus primigenius* Ag. – VINASSA DE REGNY, 83
- 1957 *Notidanus primigenius* Agassiz – LERICHE, 22, Pl. 1 (44), Figs. 1-6
- 1959 *Notidanus primigenius* Agassiz, 1843 – KRUCKOW, 85, Taf. 1, Figs. 1-3
- 1969 *Notidanus primigenius* Agassiz 1843 – MENESINI, 9, Tav. 1, Figs. 1-6
- 1971 *Hexanchus primigenius* (L. Agassiz, 1843) – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 720, Taf. 1, Figs. 1-9
- 1973 *Hexanchus primigenius* (Agassiz, 1843) – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 656, Taf. 1, Figs. 1-5
- 1978 *Hexanchus primigenius* (Ag.) – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 442, Taf. 1, Figs. 1-3
- 1987 *Notorhynchus primigenius* (Agassiz 1843) – CAPPETTA, 48
- 1995 *Notorhynchus primigenius* (Agassiz, 1843) – HOLEC, HORNÁČEK & SÝKORA, 38, Pl. 8, Figs. 1-4
- 1996 *Notorhynchus primigenius* (Agassiz, 1843) – HIDEN, 55, Taf. 2, Fig. 1
- 1998 *Notorhynchus primigenius* (Agassiz) – SCHULTZ, 122, Taf. 55, Figs. 3a-3b
- 2007 *Notorynchus primigenius* (Agassiz, 1843) – KOCIS, 29, Fig. 3. 1-3
- 2008 *Notorynchus primigenius* – KRIŽNAR, 28, Sl. 1-2
- 2011 *Notorynchus primigenius* (Agassiz, 1835) – REINECKE et al., 9, Pl. 4, Figs. 3a-3c, 5, 6; Pl. 5, Figs. 2a-2c
- 2013b *Notorynchus primigenius* (Agassiz, 1835) – ŠOSTER & MIKUŽ, 75, Tab. 1, sl. 1-3

Material: Devet fragmentiranih primerkov z le delno ohranjenimi zobnimi kronami, večinoma so brez koreninskega dela.

Opis: Zobje so masivni in asimetrični. Njihove krone imajo po več različnih konic, z gladkimi mezialnimi in distalnimi rezalnimi robovi. Mezialno od največje primarne konice je serija

drobnih konic, ki tvorijo mezialno rame. Distalno od primarne konice je serija manjših konic, ki se zaključijo v koreninskem delu. Sklenina je svetlorjave do sive barve. Koreninski del je globok, masiven in večinoma fragmentiran.

Pripombe: V rodovnem imenu *Notorynchus*, ki ga je postavil AYRES (1855: 72-73) med črkama **r** in **y** ni črke **h**, kot pri poimenovanju CAPPETTA-e (1987: 48), ki je zapisal *Notorhynchus*. O pravilnosti poimenovanja zgoraj omenjenih raziskovalcev, ne moremo soditi. Odločili smo se za primarno rodovno ime *Notorynchus*, ki ga je postavil AYRES (1855: 73).

Stratigrafska in geografska razširjenost: ZITTEL (1895: 534) predstavlja zob iz oligocenskih skladov najdišča Weinheim. VINASSA DE REGNY (1899: 83) jo omenja iz miocenskih skladov v okolici Bologne. KRUCKOW (1959: 82) jo omenja iz spodnjemiocenskih plasti najdišča Vierth v Nemčiji. MENESINI (1969: 9-10) poroča o veliki stratigrafski in geografski razširjenosti opisane vrste. Njene ostanke so našli v eocenskih skladih Italije, Belgije in Francije, v oligocenskih Švice in Belgije ter v miocenskih Italije, Švice, Francije, Libije, Poljske, Belgije in Marylandu v ZDA. BRZOBHATÝ in SCHULTZ (1971: 721) pišeta, da so ostanki te vrste najdeni tudi v eggenburgijskih plasteh Paratetide, najstarejši so znani iz zgornjeeocenskih plasti Belgije, sicer pa so zelo razširjeni vse do pliocena. BRZOBHATÝ in SCHULTZ (1973: 656) jo predstavljata še iz otnangijskih plasti Paratetide. CAPPETTA (1987: 48) piše, da je opisana vrsta najdena v miocenskih skladih Švice, sicer pa je živel od oligocena do miocena. Primerke so našli v Severni Ameriki, Evropi in Avstraliji. HOLEC, HORNÁČEK in SÝKORA (1995: 38) jo opisujejo iz eggenburgijskih skladov južne Slovaške. HÍDEN (1996: 55-56) jo opisuje iz badenijskih plasti Avstrije, v Evropi so njihovi ostanki najdeni v srednjeoligocenskih do srednjemiocenskih kamninah. SCHULTZ (1998: 122) predstavlja primerke te vrste iz eggenburgijskih peskov in spodnjobadenijskih peščenih glin Avstrije. KOCŠIS (2007: 29) vrsto *Notorhynchus primigenius* predstavlja iz eggenburgijsko-otnangijskih skladov severnega dela Madžarske. REINECKE in sod. (2011: 135) vrsto *Notorynchus primigenius* omenjajo iz burdigalijskih skladov Nemčije oziroma Severnomorskega sedimentacijskega bazena.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: KRIŽNAR (2008: 28) primerke te vrste prvič predstavlja v Sloveniji iz spodnjemiocenskih plasti okolice Moravč in iz badenijskih plasti kamnoloma Lipovica pri Brišah. ŠOSTER in MIKUŽ (2013b: 75) opisujeta zobe te vrste morskih psov iz miocenskih glavkonitnih peščenjakov Višnje vasi blizu Vojnika.

Ordo Lamniformes Berg, 1958

Familia Odontaspidae Müller et Henle, 1839

Po podatkih NELSON-a (2006: 57) predstavniki družine Odontaspidae (sand tiger sharks) živijo

v tropskih do zmerno toplih obalnih območjih, ob otokih in podmorskih pobočjih, od 1 m do 1600 m globoko v Atlantiku, Indijskem in Tihem oceanu. Iz te družine so v oligocenskih in neogenskih kamninah zelo pogostni ostanki zob rodu *Carcharias*, ki ga je leta 1810 postavil RAFINESQUE SCHMALTZ.

Genus *Carcharias* Rafinesque Schmaltz, 1810

Carcharias sp.

Tab. 1, sl. 7-10; tab. 2, sl. 11

Material: 149 primerkov, žal so skoraj vsi zobje brez koreninskega dela in imajo odlomljene stranske konice, ki so lahko odločilne pri determinaciji.

Opis: Zobna krona je asimetrična z gladkim mezialnim in distalnim rezalnim robom. Stranske konice so odsotne ali slabo ohranjene. Zobna krona se mezio-distalno povija v distalni smeri. Na konici je opazna labio-lingvalna rekurvatura. Sklenina je svetlo rjave, sive do temnosive barve. Bazalni ali koreninski deli niso ohranjeni, pri nekaterih zobeh so ohranjeni le fragmentarno. Pri določenih primerkih je opazna globoka zarez.

Pripomba: Zoba iz Žvarulj (tab. 1, sl. 10a-c in tab. 2, sl. 11a-b) imata na eni strani ohranjenih več manjših stranskih konic, ki jih opažamo pri nekaterih zobeh vrste *Carcharias vorax* (Le Hon, 1871) v delu SCHUTTER-a (2011: Pl. 3, Figs. 4A-4E, Figs. 12A-12C).

Stratigrafska in geografska razširjenost: REINECKE in sod. (2011) pišejo, da so primerki različnih vrst rodu *Carcharias* najdeni po svetu v oligocenskih in neogenskih kamninah. V Centralni Paratetidi pa se najpogosteje omenja vrsta *Carcharias acutissimus*, ki so jo REINECKE in sod. (2011: 27, 30) uvrstili k vrsti *Carcharias taurus* Rafinesque, 1810. V Centralni Paratetidi je najdena v skladih od eggenburgija do badenija.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: ŠOSTER in MIKUŽ (2013a: 154) primerke rodu *Carcharias* predstavljata iz miocenskih peščenjakov Pristove pri Dobrni. ŠOSTER in MIKUŽ (2013b: 76) sta opisala zobe primerkov rodu *Carcharias* tudi iz glavkonitnih miocenskih peščenjakov Višnje vasi blizu Vojnika.

Familia Lamnidae Müller et Henle, 1838

Predstavniki družine Lamnidae (*mackerel sharks*) so morski, živijo v tropskih in tudi v hladnih morjih na območjih kontinentalnih polic, v morjih okrog otokov in na odprtem oceanu do globin 1200 m (NELSON 2006: 60).

Genus *Cosmopolitodus* Glückman, 1964

Cosmopolitodus hastalis (Agassiz, 1838)

Tab. 2, sl. 12-18

Tabela 1. Velikost ribjih ostankov iz Žvarulj

Table 1. Size of fish remains from Žvarulje

Primerek Specimen	Višina zoba Height of tooth mm	Širina zoba Width of tooth mm	Višina krone Crown height mm	Širina krone Crown width mm	Debelina krone Crown thickness mm	Premer Diameter mm
Tab. 1, Sl. 1			9	10	5	
Tab. 1, Sl. 2			13	12	3	
Tab. 1, Sl. 3			10	12	2	
Tab. 1, Sl. 4			5	11	3	
Tab. 1, Sl. 5			7	12	3	
Tab. 1, Sl. 6			7	11	2	
Tab. 1, Sl. 7			14	12	3	
Tab. 1, Sl. 8	17	10	11	6	2	
Tab. 1, Sl. 9			19	8	2	
Tab. 1, Sl. 10	13	10	10	6	2	
Tab. 2, Sl. 11	12	9	7	2	1	
Tab. 2, Sl. 12	31	15	24	11	7	
Tab. 2, Sl. 13			21	11	4	
Tab. 2, Sl. 14			17	10	4	
Tab. 2, Sl. 15			19	10	4	
Tab. 2, Sl. 16			17	8	3	
Tab. 2, Sl. 17			22	10	4	
Tab. 2, Sl. 18			13	7	3	
Tab. 2, Sl. 19			16	12	4	
Tab. 3, Sl. 20	7	9	5	3	2	
Tab. 3, Sl. 21	6	9	4	3	1	
Tab. 3, Sl. 22	7	6	4	2	1	
Tab. 3, Sl. 23	6	8	4	3	1	
Tab. 3, Sl. 24	5	4	2	2	1	
Tab. 3, Sl. 25	6	10				
Tab. 3, Sl. 26	5	14				
Tab. 3, Sl. 27	9	9				
Tab. 3, Sl. 28	3	10				
Tab. 3, Sl. 29	3	11				
Tab. 3, Sl. 30	3	8				
Tab. 3, Sl. 31	5	17				
Tab. 4, Sl. 32			3			6 x 6
Tab. 4, Sl. 33			3			8,5 x 7
Tab. 4, Sl. 34			4			8 x 6,5
Tab. 4, Sl. 35			4			6 x 5
Tab. 4, Sl. 36			5	3		5 x 3,5
Tab. 4, Sl. 37			11			
Tab. 4, Sl. 38						
Tab. 4, Sl. 39						
Tab. 4, Sl. 40						
Tab. 4, Sl. 41						

1838 *Oxyrhina hastalis* Agass. – AGASSIZ, Vol. 3, Ch. 27, 277, Tab. 34, Figs. 1-2, 14

1855 *Otodus hastalis* – GIEBEL, 116, Taf. 47, Fig. 21

1957 *Oxyrhina hastalis* Agassiz – LERICHE, 27, Pl. 2 (45), Figs. 1-8

1964a *Cosmopolitodus hastalis* (Ag.) – GLIKMAN, 154, Ris. 75

1964b *Cosmopolitodus hastalis* (Agassiz) – GLIKMAN, Tabl. 5, Fig. 5

1969 *Isurus hastalis* (Agassiz) 1843 – MENESINI, 15, Tav. 2, Figs. 7a-7c, 9a-9c

1972 *Isurus oxyrhynchus hastalis* (Agassiz), 1843 – CARETTO, 42, Tav. 6, Figs. 1a-1c, 4a-4b; Tav. 7, Fig. 2a-2c, 4a-4b

1974 *Isurus hastalis* (Agassiz) 1843 – MENESINI, 129, Tav. 55 (2), Figs. 1-13

1978 *Isurus hastalis hastalis* (Ag.) – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 443, Taf. 2, Figs. 17-18

- 1987 *Isurus hastalis* (Agassiz 1843) – CAPPETTA, 96
- 1995 *Isurus hastalis* (Agassiz, 1843) – HOLEC, HORNÁČEK & SÝKORA, 42, Pl. 12, Fig. 4
- 1996 *Isurus hastalis* (Agassiz, 1843) – HIDDEN, 59
- 1997 *Isurus oxyrhinchus hastalis* (Agassiz) – MIKUŽ, V: MAJČEN, MIKUŽ & POHAR, 115, Tab. 8, Sl. 2-4
- 1998 *Isurus hastalis* (Agassiz) – SCHULTZ, 122, Taf. 55, Fig. 9
- 2005 *Isurus hastalis* (Agassiz, 1843) – MIKUŽ, 118, Tab. 3, Sl. 1-3
- 2005 *Cosmopolitodus* aff. *hastalis* (Agassiz, 1838) – REINECKE et al., 33, Taf. 16, Fig. 1-2
- 2010 *Cosmopolitodus hastalis* (Agassiz, 1843) – SCHULTZ, BRZOBOHATÝ & KROUPA, 495, Pl. 1, Figs. 9-11
- 2011 *Cosmopolitodus hastalis* (Agassiz, 1838) – REINECKE et al., 36, Pls. 29-32
- 2013a *Cosmopolitodus hastalis* (Agassiz, 1838) – ŠOSTER & MIKUŽ, 155, Tab. 1, Sl. 4
- 2013b *Cosmopolitodus hastalis* (Agassiz, 1838) – ŠOSTER & MIKUŽ, 78, Tab. 3, Sl. 19, 2a-20c

Material: 42 primerkov zobnih kron, ki so do sledno brez koreninskih delov.

Opis: Zobne krone so masivne, asimetrične ali simetrične pri anteriornih zobeh. Imajo gladek mezialni in distalni rezalni rob. Zobne krone v mezio-distalni smeri se rahlo povijajo v distalno smer. Na konici je opazna šibka labio-lingvalna rekurvatura, ki je pri nekaterih primerkih odsotna. Sklenina je svetlo rjave ali temno sive barve. Bazalni deli niso ohranjeni, izjemoma je ohranjena zobna obrobica. Na večini primerkov je vidna globoka zareza ob bazi na labialni strani.

Pripombe: Rod *Cosmopolitodus* je postavil GLIKMAN (1964a: 154), vendar ga večina kasnejših raziskovalcev fosilnih morskih psov, ni upoštevala. Šele zadnjih nekaj let so ga evropski raziskovalci znova začeli uporabljati. Razlogov za vnovično uporabo tega že nekoliko pozabljenega rodovnega imena ne poznamo.

Stratigrafska in geografska razširjenost: SCHRODT (1890: 388) opisuje vrsto *Oxyrhina hastalis* Ag. iz pliocenskih plasti z juga Španije. DE ALESSANDRI (1896: 265-266) poroča o najdbah zob vrste *Oxyrhina hastalis* iz zgornjemiocenskih plasti najdišča Alba v severnozahodnem delu Italije. MENESINI (1969: 17) piše, da so primerke opisane vrste našli v oligocenskih in miocenskih skladih Italije, miocenskih Švice, Španije, Libije, Francije, Alžirije, Belgije in Marylanda v ZDA. Registrirani so tudi v pliocenu Italije, Belgije, Francije in Španije. MENESINI (1974: 131) opisuje primerke iz miocenskih in pliocenskih plasti Malte. CAPPETTA (1987: 96) jih omenja iz miocenskih skladov Švice in še piše, da je bila vrsta v miocenu razširjena po vseh morjih, ohranila se je vse do pliocena. HOLEC, HORNÁČEK in SÝKORA (1995: 42-43) predstavljajo zobe opisane vrste iz eggenburgijskih skladov

južne Slovaške. HIDDEN (1996: 60) omenja ostanke te vrste iz badenijskih plasti Avstrije, v Evropi so najdeni v oligocenskih in miocenskih skladih. SCHULTZ (1998: 122) predstavlja zob vrste *Isurus hastalis* iz badenijskih litotamnijskih apnencev Avstrije. KOCŠIS (2007: 34-35) vrsto *Isurus hastalis* predstavlja iz spodnjemiocenskih skladov Madžarske (Ipolytarnóc). SCHULTZ, BRZOBOHATÝ in KROUPA (2010: 495) prikazujejo kozmopolitodove zobe, ki so najdeni v badenijskih plasteh na Moravskem v Republiki češki. Iz burdigalijskih plasti Nemčije in Severnomorskega sedimentacijskega bazena jo omenjajo REINECKE in sod. (2011: 136).

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: MIKUŽ (1997: 106) prikazuje zobne krone brez koreninskih delov iz miocenskih plasti okolice Laškega. MIKUŽ (2005: 118) poroča, da so zobe opisane vrste v Sloveniji našli v spodnjemiocenskih plasteh v okolici Moravč in Laškega. V zadnjem obdobju sta zobe morskih psov vrste *Cosmopolitodus hastalis* iz miocenskih peščenjakov Pristove pri Dobrni ter iz miocenskih glavkonitnih peščenjakov Višnje vasi blizu Vojnika opisovala ŠOSTER in MIKUŽ (2013a: 155; 2013b: 78).

Genus *Isurus* Rafinesque Schmaltz, 1810

Isurus retroflexus (Agassiz, 1838)
Tab. 2, sl. 19

- 1838 *Oxyrhina retroflexa* Agass. – AGASSIZ, 281, Vol. 3, Tab. 33, Figs. 10, 10a-10b
- 2011 *Isurus retroflexus* (Agassiz, 1838) – REINECKE et al., 39, Pl. 33, Figs. 5a-d; Pl. 34, Figs. 8a-d
- 2013a *Isurus retroflexus* (Agassiz, 1838) – ŠOSTER & MIKUŽ, 155, Tab. 1, Sl. 3

Material: Ena zobna krona z delno ohranjenim bazalnim koreninskim delom.

Opis: Zobna krona je masivna in asimetrična, z gladkim mezialnim in distalnim rezalnim robom. V mezio-distalni smeri je rahlo ukrivljena v distalno smer in ima izrazito lingvalno rekurvaturu. Sklenina je svetlo rjave barve. Bazalni del ni ohranjen. Na bazi labialne strani je opazna globoka zareza.

Stratigrafska in geografska razširjenost: KOCŠIS (2007: 34-35) vrsto *Isurus retroflexus* opisuje in predstavlja iz spodnjemiocenskih plasti severnovzhodne Madžarske, blizu madžarsko-slovaške meje. REINECKE et al. (2011: 41) pišejo, da so primerki vrste *Isurus retroflexus* zelo pogostni, pojavijo se v spodnjem miocenu in vztrajajo vse do pliocena, po celotnem planetu. V Paratetidi je poznana od eggenburgija do badenija.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: Prvo konkretno poročilo o prisotnosti vrste *Isurus retroflexus* pri nas najdemo v delu ŠOSTRA in MIKUŽA (2013a: 155). Ostanke zob so najdeni v miocenskih peščenjakih Pristove pri Dobrni.

Ordo Carcharhiniformes Compagno, 1973

Familia Carcharhinidae Jordan & Evermann,
1896

Genus *Carcharhinus* Blainville, 1816

Predstavniki družine Carcharhinidae (*requiem sharks*) živijo v morjih, lahko tudi v sladkih vodah, v rekah in jezerih. Radi imajo tropsko do zmerno toplo okolje, hranijo se ob obalah in na odprtih oceanih, vsepovsod po svetu (NELSON 2006: 62).

Carcharhinus priscus (Agassiz, 1843)

Tab. 3, sl. 20-21

- 1843 *Sphyrna prisca* Agass. – AGASSIZ, Vol. 3, Ch. 20, 234, Tab. 26a, Figs. 35-50
- 1957 *Sphyrna prisca* Agassiz – LERICHE, 37, Pl. 2 (45), Figs. 16-17
- 1969 *Cestracion priscus* (Agassiz) 1843 – MENESINI, 35, Tav. 6, Figs. 10-16
- 1971 *Sphyrna prisca* L. Agassiz, 1843 – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 726, Taf. 5, Figs. 7a-7d
- 1974 *Sphyrna prisca* Agassiz, 1843 – MENESINI, 152, Tav. 60 (7), Figs. 17-19; Tav. 61 (8), Figs. 1-6
- 1978 *Carcharhinus priscus* (Ag.) – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 442, Taf. 1, Fig. 9
- 1987 *Carcharhinus priscus* (Agassiz 1843) – CAPPETTA, 122, Fig. 103 D-F
- 1992 *Carcharhinus priscus* (Agassiz) – SOLT, 500, Táb 1, 5
- 1995 *Carcharhinus priscus* (Agassiz, 1843) – HOLEC, HORNÁČEK & SÝKORA, 46, Pl. 18, Figs. 1-2
- 1996 *Carcharhinus priscus* (Agassiz, 1843) – HIDDEN, 65, Taf. 5, Fig. 2
- 1998 *Carcharhinus priscus* (Agassiz) – SCHULTZ, 122, Taf. 55, Fig. 14
- 2007 *Carcharhinus priscus* (Agassiz, 1843) – KOCŠIS, 36, Figs. 6. 7-12
- 2010 *Carcharhinus priscus* (Agassiz, 1843) – SCHULTZ, BRZOBOHATÝ & KROUPA, 495, Pl. 2, Fig. 11
- 2011 *Carcharhinus priscus* (Agassiz, 1843) – REINECKE et al., 63, Pls. 71-76, Pl. 77, Figs. 6-13

Material: Deset kron brez koreninskega dela in dve kroni z ohranjenim koreninskim delom.

Opis: Zobna krona je asimetrična, z gladkim mezialnim in distalnim rezalnim robom, ki preide v nazobčano rameno. V mezio-distalni smeri je krona močno nagnjena v distalno smer. Sklenina je svetlo rjave barve. Bazalni del je prisoten v celoti ali delno odkrušen. Med koreninskima krakoma je na lingvalni strani opazna zarez.

Stratigrafska in geografska razširjenost: MENESINI (1969: 36) poroča, da so zobe opisane vrste našli v miocenskih skladih Italije, Francije, Švice, Španije, Libije, Egipta, Alžirije in Marylanda ter v pliocenskih plasteh Francije in Španije. BRZOBOHATÝ in SCHULTZ (1971: 726) predstavljata primerke iz eggenburgijskih plasti Paratetide, sicer pa je vrsta znana od spodnjega miocena do

pliocena. MENESINI (1974: 153) jo predstavlja še iz miocenskih plasti otoka Malte. LONGBOTTOM (1979: 65) opisuje in predstavlja zobe vrste *Carcharhinus priscus* iz miocenskih plasti Ekvadorja. CAPPETTA (1987: 122) piše, da je vrsta *Carcharhinus priscus* registrirana že v srednjem eocenu in živi še danes. Danes prebiva v zmerno toplih do tropskih morjih. V fosilnem stanju so jo našli praktično po celem planetu. SOLT (1992: 498) piše, da so na Madžarskem našli posamezne zobe rodu *Carcharhinus* v plasteh od otnangija do badenija. HOLEC, HORNÁČEK in SÝKORA (1995: 46) predstavljajo zobe opisane vrste iz eggenburgijskih plasti južne Slovaške. HIDDEN (1996: 66) poroča, da so zobe iste vrste našli v badenijskih plasteh Avstrije, v Evropi pa je bila vrsta razširjena od srednjega oligocena do zgornjega miocena. SCHULTZ (1998: 122) predstavlja zob iz badenijskih plasti na Slovaškem. KOCŠIS (2007: 36-37) opisuje in predstavlja zobe vrste *Carcharhinus priscus* iz spodnjemiocenskih plasti Madžarske. SCHULTZ, BRZOBOHATÝ in KROUPA (2010: 495) primerke te vrste opisujejo iz badenijskih plasti Moravske na češkem. REINECKE in sod. (2011: 136) zobe vrste *Carcharhinus priscus* predstavljajo iz burdigalij-skih skladov Nemčije, omenjajo jo tudi iz celotnega Severnomorskega bazena.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: Ostanke te vrste pri nas do sedaj še niso bili registrirani.

Familia Sphyrnidae Gill, 1872

Genus *Sphyrna* Rafinesque Schmaltz, 1810

Po podatkih NELSON-a (2006: 63) današnje kladvenice živijo v morskih, priložnostno tudi v brakičnih okoljih. Rade imajo tropsko do zmerno toplo morje, predvsem na območju kontinentalnih polc Atlantika, Indijskega in Tihega oceana.

***Sphyrna* sp.**

Tab. 3, sl. 22-24

Material: Trije primerki z deloma ohranjenim bazalnim delom zoba.

Opis: Zobne krone so asimetrične z gladkim mezialnim in distalnim rezalnim robom, ki preide v rahlo nazobčano rameno. V mezio-distalni smeri se krona močno povija v distalno smer. Opazna je rahla lingvalna rekurvatura. Sklenina je temno rjave do sive barve. Bazalni deli so ohranjeni fragmentarno.

Stratigrafska in geografska razširjenost: REINECKE in sod. (2011: 86) pišejo o stratigrafski razširjenosti vrste *Sphyrna laevisima* (Cope, 1867). V Centralni Paratetidi je živel od eggenburgija do badenija, drugod od spodnjega do zgornjega miocena. Opisujejo še vrsto *Sphyrna integra* Probst 1878, ki je v svetu razširjena od zgornjega oligocena do zgornjega miocena, v Centralni Paratetidi je najdena samo v otnangijskih skladih Nemčije in Avstrije.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: Na slovenskem ozemlju do sedaj še niso bili registrirani.

Sistematska uvrstitev po: CAPPETTA 1987 in NELSON 2006

Superordo Batomorphii Cappetta, 1980
Ordo Myliobatiformes Compagno, 1973
Superfamilia Myliobatoidea Compagno, 1973
Familia Myliobatidae Bonaparte, 1838
Genus *Myliobatis* Cuvier, 1817

Vsi predstavniki družine Myliobatidae (*eagle rays*) so po podatkih NELSON-a (2006: 81) morski, živijo v tropskih do zmerno toplih morjih, pretežno na območju kontinentalnih polc ter ob obalah Atlantika, Indijskega oceana in Pacifika. Na odprtih oceanih jih ni.

***Myliobatis* (sensu lato) sp.**
Tab. 3, sl. 25-26

Material: Vsaj 28 fragmentov različno velikih ostankov zobnih plošč in trnov. Trije skromni ostanki so predstavljeni na tabli 3, sl. 25-26. Nekaj lepših ostankov iz istega najdišča pri Žvaruljah je že dokumentiranih (MIKUŽ 2010: Tab. 1, sl. 2a-h).

Opis: Osrednji zobje žvekalne plošče so širši kot daljši in okluzalno heksagonalnega izgleda. Površina krone je gladka. Med krono in koreninskim delom poteka na eni strani zoba žleb ali utor, na nasprotni strani pa ozek greben, ki nalega v utor sosednjega zoba kar omogoča gibljivost oziroma upogib posameznih zob ali lamel. Pod krono sledi koreninski del, ki sestoji iz številnih lamel in vmesnih brazd, za boljše sidranje ali oprijemanje posameznih zob.

Številni avtorji poročajo o ostankih zobnih plošč in trnov morskih golobov in njihovih sorodnih predstavnikov iz eocenskih, oligocenskih, miocenskih in pliocenskih kamnin ter iz recentnih okolij.

Stratigrafska in geografska razširjenost: Primerki rodu *Myliobatis* so po podatkih REINECKE-ja in sod. (2011: 109) na območju Evrope registrirani v eocenu, oligocenu in neogenu. V Centralni Paratetidi so prisotni od zgornjega oligocena do srednjega miocena (badenija).

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: V Sloveniji so ostanki fosilnih zobnih plošč morskih golobov in sorodnih rib najdeni predvsem v oligocenskih in miocenskih skladih. PAVŠIČ, MIKUŽ in MITREVSKI (1996) predstavljajo del zobne plošče oligocenskega morskega goloba iz okolice Zagorja. MIKUŽ (2005: 120) opisuje fragment segmenta zobne plošče rodu *Myliobatis* iz miocenskih plasti opuščene peskokopa Tomc pri Moravčah. MIKUŽ (2010: 37) opisuje in predstavlja del zobne plošče iz oligocenskih plasti v okolici Zagorja in zobe plošče spodnjemiocenske-

ga morskega goloba iz Žvarulj. Posamezne najdbe recentnih vrst so tudi iz slovenskih arheoloških najdišč.

Genus *Aetobatus* Blainville, 1816

***Aetobatus arcuatus* (Agassiz, 1843)**
Tab. 3, sl. 27-30

- 1843 *Aetobatis arcuatus* Agass. – AGASSIZ, Vol. 3, Ch. 31, 327
1877 *Aëtobates arcuatus* Ag. – PROBST, 103, Taf. 1, Fig. 28
1885 *Aetobatis arcuatus* – QUENSTEDT, Tab. 23, Figs. 2-3
1957 *Aetobatis arcuatus* Agassiz – LERICHE, 44, Pl. 4 (47), Figs. 10-11
1966 *Myliobatis arcuata* Agg. – STEININGER, Taf. 3, Fig. 2
1969 *Aetobatis arcuatus* Agassiz 1843 – MENESINI, 37, Tav. 7, Fig. 23
1971 *Aetobatis arcuatus* L. Agassiz, 1843 – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 722, Taf. 6, Figs. 6-7
1973 *Aetobatis arcuatus* L. Agassiz, 1843 – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 658, Taf. 1, Fig. 6
1978 *Aetobatis arcuatus* Ag. – BRZOBOHATÝ & SCHULTZ, 442, Taf. 1, Figs. 8a-b
1987 *Aetobatus arcuatus* (Agassiz 1843) – CAPPETTA, 170
1995 *Aetobatis arcuatus* L. Agassiz, 1843 – HOLEC, HORNÁČEK & SÝKORA, 48, Pl. 20, Figs. 1a-b
1998 *Aetobatis arcuatus* Agassiz – SCHULTZ, 122-123, Taf. 55, Fig. 21
2003 *Aetobatus arcuatus* (Agassiz, 1843) – MIKUŽ & PAVŠIČ, 218, Tab. 1, Sl. 1
2010 *Aetobatus arcuatus* (Agassiz, 1843) – SCHULTZ, BRZOBOHATÝ & KROUPA, 505, Pl. 3, Figs. 4a-4b
2011 *Aetobatus arcuatus* (Agassiz, 1843) – REINECKE et al., 105, Pl. 97, Figs. 3a-b, 4a-b, 6a-b, 8

Material: 14 različno velikih fragmentov zobnih plošč z zelo značilnim in lahko razpoznavnim strukturnim vzorcem spodnjega prirastnega dela zobne plošče.

Opis: Ohranjenih je več različno velikih fragmentov, ki pripadajo različnim predelom zobne plošče (tab. 3, sl. 26-30). Njihovi spodnji pritrjevalni deli zobnih plošč imajo zelo značilno, tanko rebrasto reliefno površino in robno zajedo. Značilna je tudi osrednja široka obokanost posameznih elementov zobne plošče (tab. 3, sl. 27).

Zobna krona je rahlo nazobčana. Pri prehodu zobne krone v korenino je na labialni strani tanka obrobna črta. Korenina je visoka in močno raztegnjena lingvalno. Lingvalno je viden močan navpični utor, ki je slabše izražen na labialni strani.

Stratigrafska in geografska razširjenost: STEININGER (1966: Taf. 3) ostanek zobne plošče vrste *Myliobatis arcuata* predstavlja iz spodnjemiocenskih plasti iz okolice Linza. MENESINI (1969: 38) piše, da

so ostanke te vrste našli v miocenskih skladih Italije, Švice, Francije, Libije, Poljske in Marylanda. BRZOBOHATÝ in SCHULTZ (1971: 723) jo predstavljajo iz eggenburgijskih skladov Paratetide, sicer pa je kozmopolitska miocenska vrsta, razširjena v transevropski, borealni, mediteranski in atlantski bioprovinci. BRZOBOHATÝ in SCHULTZ (1973: 658) pišeta, da so ostanke te vrste razširjeni v vseh morskimi skladih Paratetide, vendar niso pogostni. LONGBOTTOM (1979: 66-67) omenja tudi najdbe zob iz miocenskih skladov Ekvadorja, ki najverjetneje pripadajo rodu *Aetobatus*, vrsta pa ni bila določljiva. CAPPETTA (1987: 170-171) piše, da je vrsta *Aetobatus arcuatus* najdena v miocenskih skladih Švice, sicer pa so njeni ostanke pogostni v spodnje in srednjemiocenskih skladih južne Francije, ob obali Atlantika v Marylandu (Severna Karolina) in v Belgiji. HOLEC, HORNÁČEK in SÝKORA (1995: 48) jo predstavljajo iz spodnjemiocenskih skladov južnega dela Slovaške. SCHULTZ (1998: 122) jo omenja iz badenijskih plasti Avstrije in iz enako starih plasti Slovaške. SCHULTZ, BRZOBOHATÝ in KROUPA (2010: 495) jo omenjajo iz srednjemiocenskih - badenijskih plasti Moravske (Republika češka). REINECKE in sod. (2011: 106) poročajo, da je vrsta *Aetobatus arcuatus* registrirana v spodnje in srednjemiocenskih skladih Severnomorskega bazena, v Paratetidi, Mediteranu in drugod.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: MIKUŽ in PAVŠIČ (2003: 218) opisujeta del zobne plošče iz badenijskih skladov kamnoloma Lipovica nad Brišami.

Myliobatidae indet.

Tab. 3, sl. 31

Material: Nekaj različno velikih fragmentov kavdalnih bodic.

Opis: Predstavljen je največji del kavdalne bodice. Na eni strani je več vzdolžnih ukrivljenih grebenov, na drugi nasprotni strani sta dva večja gladka vzdolžna grebena z vmesnim širokim kanalom. Na obeh robovih kavdalne bodice so ostanke trnastih, kavljastih izrastkov.

Familia Rhinopteridae Jordan & Evermann, 1896

NELSON (2006: 79-82) pa uvršča rod *Rhinoptera* k poddružini Rhinopterinae (*cownose rays*), k družini Myliobatidae in k naddružini Dasyatoidea. Danes živijo samo v tropskih in zmerno toplih morjih, znotraj kontinentalnih polic Atlantika, Indijskega in Tihega oceana.

Genus *Rhinoptera* Cuvier, 1829

Rhinoptera sp.

Tab. 4, sl. 37

Material: En skromen fragment velikosti 15 x 8 mm in debeline 11,5 mm.

Opis: Ohranjen je majhen odlomek zobne plošče. Zgornja površina je gladka in preperela,

zato se vidi zanimiv vzorec peterokotnih, šesterekotnih in različno oblikovanih pilogonalnih celic, ki so v bistvu preseki stebričev (tab. 4, sl. 37b, d). Spodnja površina je bolj reliefna in ponekod usmerjeno brazdasta (tab. 4, sl. 37c). V preseku se vidi rahlo pahljačasta in stebričasto-prizmatska zgradba (tab. 4, sl. 37a).

Primerjava: Ena površina našega primerka (tab. 37, sl. 37b, d) iz Žvarulj je zelo podobna površini primerka, ki ga predstavlja AGASSIZ (1843: Tab. R, Fig. 9). Ta pripada vrsti *Zygobates jussieu*. AGASSIZ (1843: 334) nadalje omenja, da danes živijo takšne ribe ob obali Brazilije in da so manjše od predstavljenih primerov. Vzorec AGASSIZ-ovega primerka iz leta 1843, ki v bistvu predstavlja horizontalni prerez blizu bazalnega dela zobne krone, je prav tako v marsičem zelo podoben vzorcju primerka iz Žvarulj (tab. 4, sl. 37c).

Stratigrafska in geografska razširjenost: CAPPETTA (1987: 173) piše, da so primerki rodu *Rhinoptera* registrirani v svetu od paleocena do danes. Na prostoru Evrope so najbolj pogostni v neogenu. Po podatkih MARSILIJA (2009: 84, Fig. 1b) so bili v spodnjem pliocenu v Mediteranu predstavniki rodu *Rhinoptera* še pogostni, sledi zmanjšanje, vendar so se obdržali vse do danes.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: Ostanke rodu *Rhinoptera* dosedaj še niso bili najdeni.

Sistematika po: LEHMAN 1966 in MÜLLER 1966

Classis Osteichthyes Huxley, 1880
Subclassis: Actinopterygii Klein, 1885
Divisio Teleostei Müller, 1846
Familia Sparidae Bonaparte, 1831

Po podatkih NELSON-a (2006: 371) predstavniki družine Sparidae (*porgies*) živijo predvsem v oceanih in drugih morjih, zelo redki v brakičnih in celo sladkih vodah. V družini je združenih 33 rodov s številnimi vrstami, nekatere so bolj ali manj razširjene po celem planetu. V Jadranskem morju živi iz družine šparov (Sparidae) 10 različnih rodov s 14. vrstami (TURK 2006: 436-445).

Genus *Pagrus* Cuvier, 1817

Pagrus cf. *cinctus* (Agassiz, 1839)

Tab. 4, sl. 32-36

- cf. 1846 *Sphaerodus Cinctus* Ag. – SIMON-DA, 21, Tav. 1, Figs. 1-4
- cf. 1969 *Sparus cinctus* (Agassiz) 1843 – Menesini, 41, Tav. 7, Figs. 7-11
- cf. 1974 *Sparus cinctus* (Agassiz) 1843 – Menesini, 156, Tav. 61 (8), Figs. 21-23
- cf. 2010 *Pagrus cinctus* (Agassiz, 1839) – Schultz, Brzobohatý & Kroupa, 495, Pl. 3, Figs. 8-9
- cf. 2011 *Pagruscinctus* – Križnar, 40-41, Sl. 1-3, 5-6
- cf. 2013b *Pagrus cinctus* (Agassiz, 1836) – Šoster & Mikuž, 79, Tab. 3, Sl. 21-25

Material: Pet izoliranih primerkov, dva primerka s premerom okrog 6 mm in višino 3,5 mm, dva s premerom 8,5 do 9 mm in višino 3 do 3,5 mm, peti primerk ima premer 3 in višino 5 mm.

Opis: Ohranjene so samo krone zob, njihovi koreninski deli so odlomljeni. Krone so v obodu okrogle do ovalne, različnih velikosti in pripadajo notranjemu čeljustnemu delu. Ena krona je ozka, koničasta iz robnega čeljustnega dela.

Stratigrafska in geografska razširjenost: Že SCILLA (1670: 164, Tav. 2, Fig. 5) prikazuje posamezne fosilne krone ribjih zob iz družine Sparidae z otoka Malte. SISMONDA (1846: 85) jo v tabeli omenja iz miocenskih in pliocenskih skladov Italije. MENESINI (1969: 42) piše, da so ostanke te vrste našli v miocenskih skladih Italije, Francije, Libije, Španije in Alžirije. MENESINI (1974: 156) jo predstavlja iz miocenskih plasti Malte. SCHULTZ, BRZOBOHATÝ in KROUPA (2010: 495) vrsto *Pagrus cinctus* opisujejo iz badenijskih plasti Moravske, Republika Češka.

Stratigrafska in geografska razširjenost v Sloveniji: PAVŠIČ (1995: 121) prikazuje podobne posamezne krone durofagnih zob iz Zasavja, ki jih je pripisal oradam, torej šparom vrste *Chrysophrys aurata*. TURK (2006: 441) orade imenuje *Sparus aurata* Linné, 1758. KRIŽNAR (2011: 40) predstavlja zobe vrste *Pagrus cinctus*, ki so najdeni v Zasavju, pri Trbovljah, v okolici Moravč in v kamnolomu Lipovica nad Brišami. ŠOSTER in MIKUŽ (2013b: 79) opisujeta več zobnih kron iz miocenskih glavkoničnih peščenjakov Višnje vasi blizu Vojnika.

Genus et species indet.

Tab. 4, sl. 38-40

Material: Trije problematični ribji ostanke.

Opis: Dva ostanke (tab. 4, sl. 39-40) pripadata najverjetneje zobnim ploščam rib iz skupine Myliobatiformes. Tretji ostanek (tab. 4, sl. 38) je morda del kljunastega izrastka (rostral node) morskega psa iz skupine Carcharhiniformes, bolj verjetno pa pripada lobanjskemu delu kostnice iz rodu *Pagrus* (cf. PURDY et al. 2001: 174, Figs. 71. h-i).

Sistematika po: KARL 1995; 1998 in elektronski vir 2013

Classis Reptilia Laurenti, 1768
Subclassis Anapsida Williston, 1917
Ordo Testudines Linné, 1758
Subordo Cryptodira Cope, 1868
Superfamilia Trionychia Hummel, 1929
Familia Trionychidae Bell, 1828 (Fitzinger 1826)
Subfamilia Trionychinae Lydekker, 1889
Tribus Trionychini Fitzinger, 1826
Subtribus Trionychina (Fitzinger, 1826)

Genus *Trionyx* Geoffroy Saint-Hilaire, 1809
WALKER in WARD (1995: 228) pišeta, da so predstavniki trionihidov vodni omnivori in da danes živijo v jezerih, estuarijih in počasi tekočih rekah.

Običajna velikost odraslih primerkov je okrog 90 cm. WALKER in WARD (1995: 228) sta trionihide poimenovala *mud turtle*, zaradi njihovega bivalnega okolja in širokega, plitvega oziroma nizkega koščenega ščita.

Trionyx sp.

Tab. 4, sl. 41

Material: En majhen ostanek z dobro razpoznavno površinsko reliefno ornamentacijo. Kos je velik 22 x 21 mm in debel 8 mm (tab. 4, sl. 41). Po ornamentaciji oziroma vzorcu na površini ostanka lahko sklepamo, da je ostanek bolj iz osrednjega dela rebrne ploščice. Rebrne ploščice so sestavni segmenti hrbtnega ščita. Na podlagi tako skromnega ostanka je že rodovno ime vprašljivo, vrstno je nedoločljivo.

Diskusija: V novejšem času sta fosilne želve Slovenije obravnavala JURKOVŠEK in KOLAR-JURKOVŠEK (1994). Vse ostanke terciarnih želv sta pripisala rodovom *Trionyx* in *Testudo*. JURKOVŠEK in KOLAR-JURKOVŠEK (2011) iz skladov trboveljske formacije poročata o oligocenskih želvah v Sloveniji. KRIŽNAR (1998: 9) poroča o najdbi manjšega ostanka želvjega oklepa v kamnolomu laporovca nad Trbovljami, ki ga je pripisal želvi iz družine mehkoščitk ali Trionychidae. O ostankih miocenskih želvjih oklepov iz Drtije in peskokopa Tomc pri Moravčah poročajo KRIŽNAR, ŽALOHAR in HITIJ (2006: 33). Moravske ostanke so pripisali vrsti *Trionyx* cf. *triunguis*.

KRIŽNAR (2006: 34) piše, da je avstrijski paleontolog Karl v letih 1998 in 1999 naredil revizijo vseh želvjih ostankov, ki so bili najdeni na Slovenskem in so shranjeni v tujini. Revizija je pokazala, da vsi ostanke rodu *Trionyx* iz Zasavja pripadajo vrsti *Trionyx triunguis* Forskäl, 1775. Nadalje KRIŽNAR še poroča, da je nekaj želvjih ostankov najdenih tudi v miocenskih plasteh Tunjiškega gričevja.

KARL (1995: 126) je Hoernesovo novo vrsto iz leta 1892 *Testudo riedli* najdeno v Trbovljah, preimenoval v takrat že postavljeno vrsto *Clemmydopsis turnauensis* (H. v. Meyer, 1847). Zanimiv je tudi podatek, ki ga posreduje KARL (1998: 273). On navaja, da je recentna vrsta *Trionyx triunguis* Forskäl, 1775 registrirana v oligocenskih in miocenskih plasteh osrednje Evrope ter v neogenu in zgodovinskem obdobju starega Egipta. Danes ta vrsta želve živi v južnozahodni Aziji in Afriki.

Zaključki

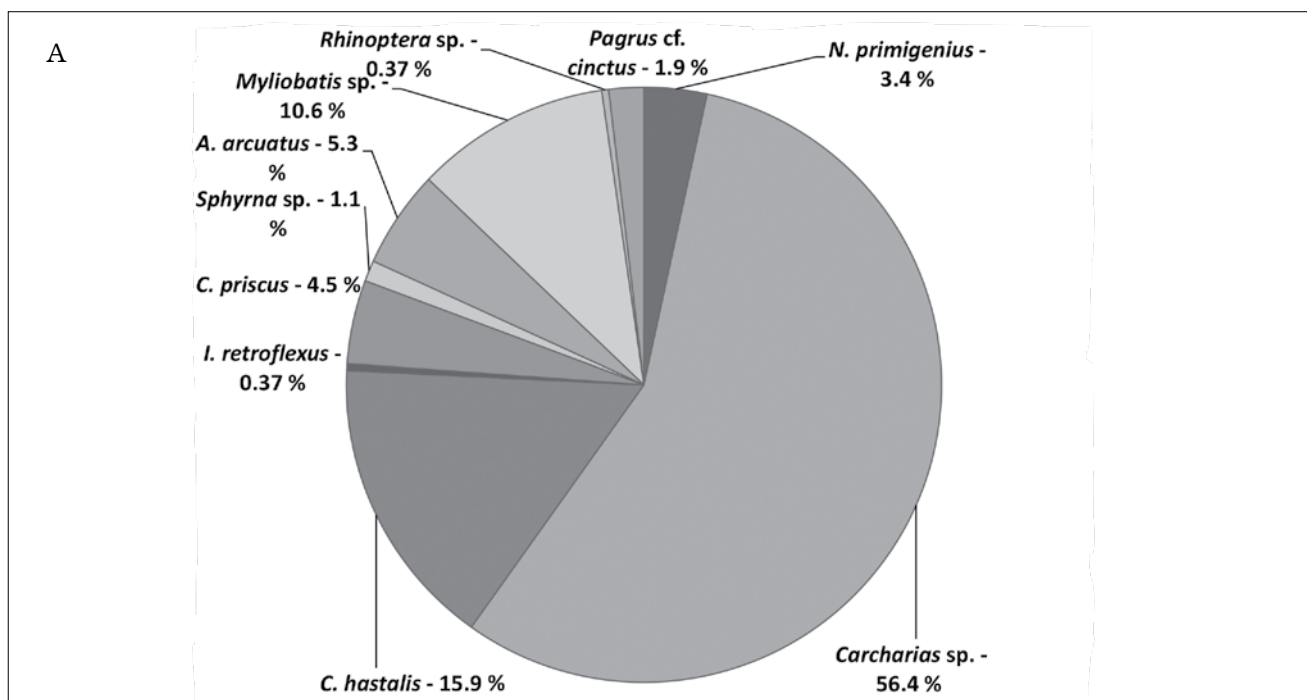
V Sloveniji so vsa najdišča z ostanki zob terciarnih rib in drugih vretenčarjev izredno skromna. V nobenem najdišču ni veliko najdb, običajno je le po nekaj primerkov, ki so ponavadi slabo ohranjeni. Večinoma so ohranjene zobne krone brez koreninskih delov in posamezni fragmenti zob žvekalnih plošč in repnih trnov. Zato so takšni zobje in fragmenti tudi težje določljivi. V Žvaruljah so zobje miocenskih morskih psov še kar pogostni, vendar so prav tako razmeroma slabo

ohranjeni in nepopolni. Zob rib kostnic je bistveno manj, še manj je ostankov plazilcev.

Na podlagi najdenega in pregledanega materiala smo ugotovili ostanke zob šestih oblik morskih psov (table 1-4): *Notorynchus primigenius*, *Carcharias* sp., *Cosmopolitodus hastalis*, *Isurus retroflexus*, *Carcharhinus priscus* in *Sphyrna* sp. Med skati so ugotovljeni ostanke zobnih plošč treh bentoških oblik: *Myliobatis* sp., *Aetobatus arcuatus* in *Rhinoptera* sp., med kostnicami pa posamezne zobne krone vrste *Pagrus* cf. *cinctus*. Od plazilcev sta najdena dva skromna dela želvinega oklepa rodu *Trionyx*. Ugotovljeni vretenčarski taksoni so najverjetneje iz eggenburgijsko-otnangijskih govških skladov.

Med ostanki morskih psov so najbolj pogostni zobje rodu *Carcharias*, med skati pa rodu *Myliobatis* (sl. 2 A-B). Na podlagi ribjih oblik ugotovljamo, da gre večinoma za predstavnike razmeroma toplega, plitvega, deloma muljasto-peščenega in predvsem obalnega morskega okolja.

V Žvaruljah so najdeni ostanke manjšega dela običajne miocenske morske ribje združbe, pogostne v Centralni Paratetidi predvsem od eggenburgija do badenija (tabela 2). Ugotovljenih ni nobenih posebnosti, ki jih ne bi našli tudi v drugih najdiščih Centralne Paratetide, Mediterana in Severnomorskega bazena ali kjerkoli drugod v svetu.



B

Ugotovljeni taksoni iz Žvarulj Determined species from Žvarulje	Število najdenih primerkov Number of specimens
<i>Notorynchus primigenius</i>	9
<i>Carcharias</i> sp.	149
<i>Cosmopolitodus hastalis</i>	42
<i>Isurus retroflexus</i>	1
<i>Carcharhinus priscus</i>	12
<i>Sphyrna</i> sp.	3
<i>Aetobatus arcuatus</i>	14
<i>Myliobatis</i> sp.	28
<i>Rhinoptera</i> sp.	1
<i>Pagrus</i> cf. <i>cinctus</i>	5

Sl. 2. Ugotovljeni ostanke ribjih vrst iz Žvarulj in njihova relativna pogostnost

Fig. 2. Determinated remains of fish species from Žvarulje and their relative abundance

A – Pogostnost vrst v odstotkih (Abundance of taxa (in %))

B – Število primerkov pasameznih taksonov (Number of taxon specimens)

**Lower Miocene fishes and turtle from
Žvarulje near Mlinše, Slovenia
(Central Paratethys)**

Conclusions

In Slovenia, fossil sites with Cenozoic vertebrate fossils are very rare. Vertebrate fossils are never abundant, in most cases only a few poorly preserved specimens were found. Most common fossils are tooth crowns and individual elements of dental plates and caudal spines of rays, which are not easy to determine. In Žvarulje, shark teeth are relatively common, but they are fragmentary and relatively poorly preserved as well. Much less common are bony fish teeth, rarer still are reptile fossils.

The material we found and studied contained shark teeth belonging to six forms (plates 1-4): *Notorynchus primigenius*, *Carcharias* sp., *Cosmopolitodus hastalis*, *Isurus retroflexus*, *Carcharhinus priscus* and *Sphyrna* sp. Also identified were fossil dental plate elements of three forms of rays: *Myliobatis* sp., *Aetobatus arcuatus* and *Rhinoptera* sp. Remains of bony fishes consisted of individual dental crowns of the form *Pagrus* cf. *cinctus*. Reptile fossils were represented by two modest turtle shell fragments assigned to the genus *Trionyx*. The age of the fossils found in the Govce beds is most probably Eggenburgian to Ottnangian.

Most common shark fossils are the teeth ascribed to the *Carcharias* genus, while among the rays, the fossil remains ascribed to the genus *Myliobatis* are most common (figure 2 A-B). The fish species and forms determined indicate a relatively warm shallow water marine environment with a sandy-silty sea floor.

The fossil assemblage found in Žvarulje represents the remains of a modest part of a marine fish community common in the Miocene of the Central Paratethys between the Eggenburgian and Badenian (table 2). No particular characteristics were detected which were not already described in other fossils sites from the Central Paratethys, the Mediterranean, the North Sea or other sites.

Zahvale

Za fotografije na četrti tabli in lokacijsko skico najdišča se zahvaljujemo sodelavcu Marijanu Grmu, za prevode v angleščino pa dr. Milošu Bartolu.

References

- AGASSIZ, L. 1833-1843: Recherches sur les Poissons fossiles. Tome 3. (Neuchatel): I-VIII, 1-390, Tab. 1-47.
- AYRES, W. O. 1855: Shark of a new generic type: *Notorynchus maculatus*. Proceedings California Academy Natural Sciences, 1854-1855, 1: 72-73.
- BRZBOHATÝ, R. & SCHULTZ, O. 1971: Die Fischfauna der Eggenburger Schichtengruppe. In: STEININGER, F. & SENEŠ, J. (eds.): M₁ Eggenburgien. Die Eggenburger Schichtengruppe und ihr Stratotypus. Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der zentralen Paratethys, Bd. 2. Vydavatelstvo Slovenskej akademie vied (Bratislava): 719-759, (Taf. 1-8).
- BRZBOHATÝ, R. & SCHULTZ, O. 1973: Die Fischfauna der Innviertler Schichtengruppe und der Rzehakia Formation. In: PAPP, A., RÖGL, F. & SENEŠ, J. (eds.): M₂ Ottnangien. Die Innviertler, Salgótarján, Bántapusztaer Schichtengruppe und die Rzehakia Formation.

Tabela 2. Stratigrafska razširjenost rib iz Žvarulj v zahodnem delu Centralne Paratetide

Table 2. Stratigraphical range of fishes near Žvarulje from the western part of Central Paratethys

CENTRALNA PARATETIDA - CENTRAL PARATETHYS

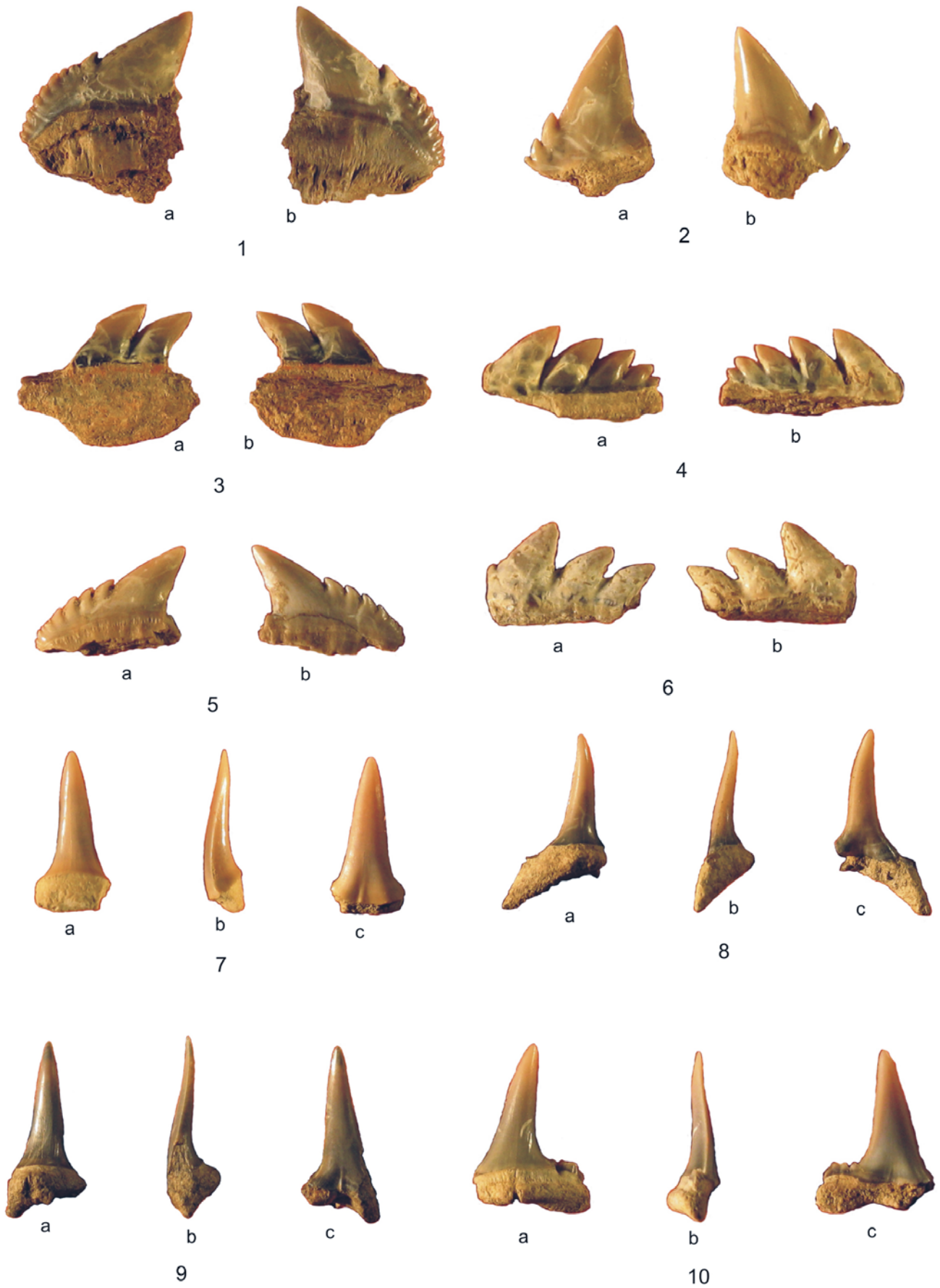
Ribe iz ŽVARULJ Fishes from ŽVARULJE	Spodnji oligocen Lower Oligocene	Zgornji oligocen Upper Oligocene	Spodnji miocen Lower Miocene	Srednji miocen Middle Miocene	Zgornji miocen Upper Miocene
<i>Notorynchus primigenius</i>			_____		
<i>Carcharias</i> sp.			↓ <i>C. taurus</i>		
<i>Cosmopolitodus hastalis</i>			egerij - badenij Egerian - Badenian		
<i>Isurus retroflexus</i>			eggenburgij - badenij Eggenburgian - Badenian		
<i>Carcharhinus priscus</i>			_____		
<i>Sphyrna</i> sp.			_____		
<i>Aetobatus arcuatus</i>			_____		
<i>Myliobatis</i> sp.			_____		
<i>Rhinoptera</i> sp.			_____ ? _____		
<i>Pagrus</i> cf. <i>cinctus</i>			_____		

- Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der zentralen Paratethys, Bd. 3. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied (Bratislava): 652-693, (Taf. 1-5).
- BRZOBOHATÝ, R. & SCHULTZ, O. 1978: Die Fischfauna des Badenien. In: PAPP, A., CÍCHA, I., SENEŠ, J. & STEININGER, F. (eds.): *M₄ Badenien (Moravien, Wielicien, Kosvien)*. Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der Zentralen Paratethys, Bd. 6. Verlag der Slowakischen Akademie der Wissenschaften (Bratislava) 441-464, (Taf. 1-5).
- CAPPETTA, H. 1987: Chondrichthyes II. Mesozoic and Cenozoic Elasmobranchii. In: SCHULTZE, H. P. & KUHN, O. (eds.): *Handbook of Paleoichthyology*, Stuttgart, New York, 3B: 193 p.
- CARETTO, P. G. 1972: Osservazioni tassonomiche su alcuni Galeodei del Miocene piemontese. *Boll. Soc. Paleont. Italiana*, 11/1: 14-85, Tav. 3-14.
- DE ALESSANDRI, G. 1896: Avanzi di *Oxyrhina hastalis* del Miocene di Alba. *Atti Soc. Italiana sci. natur. Mus. Civico Stor. Natur. Milano*, 36: 263-269, Tav. 1.
- DE SCHUTTER, J. 2011: *Carcharias vorax* (Le Hon, 1871) (Chondrichthyes, Lamniformes), from the Miocene of Belgium: redescription and designation of a neotype and paraneotype. *Geologica Belgica*, 14/3-4: 175-192.
- GIEBEL, C. G. 1855: *Odontographie. Vergleichende Darstellung des Zahnsystemes der Lebenden und Fossilen Wirbelthiere*. Verlag von Ambrosius Abel (Leipzig): I-XX, 1-129, Taf. 1-52.
- GLIKMAN, L. S. 1964a: Akuli paleogena i ih stratigrafičeskoe značenje. Akademija nauk SSSR, Otdelenie nauk o Zemle, otdel monografičeskijh kolekcij. Izdatelstvo »Nauka« (Moskva – Leningrad): 1-227, (Tabl. 1-31).
- GLIKMAN, L. S. 1964b: Podklass Elasmobranchii. Akylovie. In: OBRUČEV, D. V. (ed.): *Osnovi paleontologii. Spravočnik dlja paleontologov i geologov SSSR. Besčeljustnie, ribi*. Izdatelstvo »Nauka« (Moskva): 196-265, Tabl. 1-6.
- HIDEN, H. R. 1996: Elasmobranchier (Pisces, Chondrichthyes) aus dem Badenium (Mittleres Miozän) des Steirischen Beckens (Österreich). *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmuseum Joanneum (1994/95)*, 52-53: 41-110, (Taf. 1-10).

TABLA 1 – PLATE 1

- 1 *Notorynchus primigenius*; zob spodnje čeljusti. a) labialna stran, b) lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 15 x 13 mm
Notorynchus primigenius; lower jaw. a) labial view, b) lingual view; Žvarulje. Size: 15 x 13 mm
- 2 *Notorynchus primigenius*; zob spodnje čeljusti. a) labialna stran, b) lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 13 x 12 mm
Notorynchus primigenius; lower jaw. a) labial view, b) lingual view; Žvarulje. Size: 13 x 12 mm
- 3 *Notorynchus primigenius*; zob spodnje čeljusti. a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 10 x 12 mm
Notorynchus primigenius; lower jaw. a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 10 x 12 mm
- 4 *Notorynchus primigenius*; zob spodnje čeljusti. a) labialna stran, b) lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 5 x 11 mm
Notorynchus primigenius; lower jaw. a) labial view, b) lingual view; Žvarulje. Size: 5 x 11 mm
- 5 *Notorynchus primigenius*; zob spodnje čeljusti. a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 7 x 11 mm
Notorynchus primigenius; lower jaw. a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 7 x 11 mm
- 6 *Notorynchus primigenius*; zob spodnje čeljusti. a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 7 x 11 mm
Notorynchus primigenius; lower jaw. a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 7 x 11 mm
- 7 *Carcharias* sp.; anteriorni zob. a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 14 x 12 mm
Carcharias sp.; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 14 x 12 mm
- 8 *Carcharias* sp.; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 17 x 10 mm
Carcharias sp.; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 17 x 10 mm
- 9 *Carcharias* sp.; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 19 x 8 mm
Carcharias sp.; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 19 x 8 mm
- 10 *Carcharias* sp.; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 13 x 9 mm
Carcharias sp.; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 13 x 9 mm

TABLA 1 – PLATE 1



- HOLEC, P., HORNÁČEK, M. & SÝKORA, M. 1995: Lower Miocene Shark (Chondrichthyes, Elasmobranchii) and Whale Faunas (Mammalia, Cetacea) near Mučín, Southern Slovakia. *Geologické práce, Správy*, 100: 37-52, Pl. 8-22.
- JURKOVŠEK, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 1994: Fossilne želve v Sloveniji = Fossil turtles in Slovenia. *Geologija*, (1993) 36: 75-93, doi:10.5474/geologija.1994.004.
- JURKOVŠEK, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2011: Oligocenske želve v Sloveniji. *Društvene novice*, 44: 8-10.
- KARL, H.-V. 1995: Revision von *Testudo riedli* Hoernes 1892 (Testudines, Testudinidae) von Trifail (Slowenien). *Mitt. Abt. Geol. Paläont. Landesmuseum Joanneum*, 52/53: 125-134.
- KARL, H.-V. 1998: Zur Taxonomie der känozoischen Weichschildkröten Österreichs und Deutschlands (Trionychidae: Trionychinae). (On the taxonomy of the cenozoic soft shelled turtles of Austria and Germany (Trionychidae: Trionychinae). *Mitt. Geol. Paläont. Landesmuseum Joanneum*, 56: 273-328, (Taf. 1-10).
- KOCSIS, L. 2007: Central Paratethyan shark fauna (Ipolytarnóc, Hungary). *Geologica Carpathica*, 58/1: 27-40.
- KRIŽNAR, M. 1998: Nova najdba fosilne želve iz Zasavja. *Društvene novice*, 18: 9-10.
- KRIŽNAR, M. 2006: Fosilni ostanki hrustančnic – bodice in trni. *Društvene novice*, 35: 27-29.
- KRIŽNAR, M. 2008: *Notorynchus primigenius* – zanimiv miocenski morski pes v Sloveniji. *Društvene novice*, 39: 28.
- KRIŽNAR, M. 2011: Miocenski zobje rib kostnic iz Zasavja. *Društvene novice*, 44: 40-41.
- KRIŽNAR, M., ŽALOHAR, J. & HITIJ, T. 2006: Terciarne želve v Sloveniji – nove najdbe in spoznanja. *Društvene novice*, 34: 33-34.
- KRUCKOW, T. 1959: Eine untermiozäne Haifisch-Fauna in Schleswig-Holstein. *Meyniana*, 8: 82-95, Taf. 1-2.
- KÜHNEL, W. 1933: Zur Stratigraphie und Tektonik der Tertiärmulden bei Kamnik (Stein) in Krain. *Prirod. razprave*, 2: 61-111.
- KUŠČER, D. 1967: Zagorski terciar. (Tertiary Formations of Zagorje). *Geologija*, 10: 5-85.
- LANDINI, W. 1977: Revisione degli »Ittiodontoliti pliocenici« della collezione Lawley. *Palaeontographia Italica*, 70, (n. ser.) 40: 92-134, Tav. 12 (1)-16 (5).
- LEHMAN, J.P. 1966: Actinopterygii. In: PIVETEAU, J. (ed.): *Traité de Paléontologie*, Tome 4. L'origine des vertébrés. Leur expansion dans les eaux douces et le milieu marin. Actinoptérygiens,

TABLA 2 – PLATE 2

- 11 *Carcharias* sp.; a) labialna stran, b) lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 12 x 9 mm
Carcharias sp.; a) labial view, b) lingual view; Žvarulje. Size: 12 x 9 mm
- 12 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 31 x 15 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 31 x 15 mm
- 13 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 21 x 11 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 21 x 11 mm
- 14 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 17 x 10 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 17 x 10 mm
- 15 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 19 x 10 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 19 x 10 mm
- 16 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 17 x 8 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 17 x 8 mm
- 17 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 22 x 10 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 22 x 10 mm
- 18 *Cosmopolitodus hastalis*; a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 13 x 7 mm
Cosmopolitodus hastalis; a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 13 x 7 mm
- 19 *Isurus retroflexus*; a) lingvalna stran, b) distalna stran, c) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 16 x 12 mm
Isurus retroflexus; a) lingual view, b) distal view, c) labial view; Žvarulje. Size: 16 x 12 mm

TABLA 2 – PLATE 2

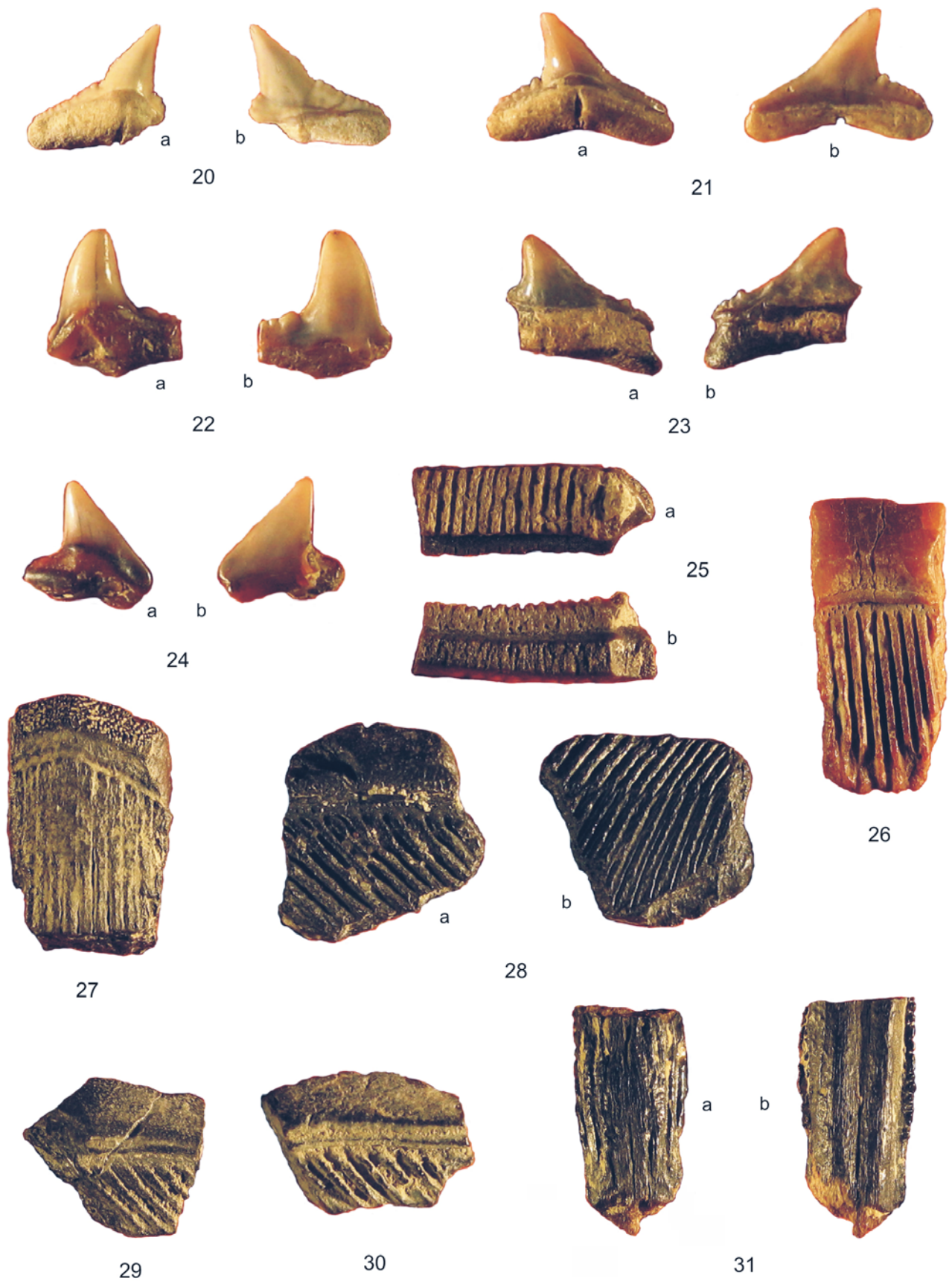


- Crossoptérygiens, Dipneustes. Masson et C^{ie} (Paris): 1-242.
- LERICHE, M. 1957: Les Poissons néogènes de la Bretagne de l'Anjou et de la Touraine. Mém. Soc. Géol. France, N. S. 81, 36: 1-64, Pl. (1) 44- (4) 47.
- Longbottom, A. E. 1979: Miocene sharks' teeth from Ecuador. Bull. Br. Mus. nat. Hist. Geol., 32/1: 57-70.
- MAJČEN, T., MIKUŽ, V. & POHAR, V. 1997: Okamnine v paleontološki zbirki Laškega muzeja. Geološki zbornik, 13: 104-118, (Tab. 1-11).
- MARSILI, S. 2009: Systematic, paleoecologic and paleogeographic analysis of the Plio-Pleistocene Mediterranean elasmobranch fauna. Atti Soc. Tosc. Nat., Mem., Ser. A (2008) 113: 81-88.
- MENESINI, E. 1969: Ittiodontoliti miocenici di Terra d'Otranto. Palaeontographia Italica, 65, (n. ser.) 35: 1-61, Tav. 1-7.
- MENESINI, E. 1974: Ittiodontoliti delle formazioni terziarie dell'Arcipelago maltese. Palaeontographia Italica (1971) 67, (n. ser.) 37: 121-162, Tav. 54 (1) - 61 (8).
- MIKUŽ, V. 2003: Fosilna dediščina Dolenjske v sliki in besedi = Das Fossilienerbe von Dolenjsko in Bild und Wort. V: SMREKAR, A. (ur.): Vekov tek: Kostanjevica na Krki 1252-2002. Zbornik ob 750. obletnici prve listinske omembe mesta. Krajevna skupnost Kostanjevica na Krki, 302-315, (Tab. 1-19).
- MIKUŽ, V. 2005: Miocenski selahiji (Chondrichthyes) iz opuščene peskokopa Tomc pri Moravčah. = Miocene selachians (Chondrichthyes) from abandoned sand pit Tomc near Moravče, Slovenia. Razprave IV. razreda SAZU, 46/1: 111-131, (Tab. 1-4).
- MIKUŽ, V. 2010: Morski golobi (Myliobatidae) iz zagorskega terciarnega bazena = Eagle rays (Myliobatidae) from Zagorje Tertiary basin, Slovenia. Folia biologica et geologica, 51/1: 35-44, (Tab. 1).
- MIKUŽ, V. & PAVŠIČ, J. 2003: *Aetobatus arcuatus* (Myliobatiformes) iz miocenskih - badenijskih plasti Slovenije = *Aetobatus arcuatus* (Myliobatiformes) from the Miocene - Badenian beds of Slovenia. Razprave IV. razreda SAZU, 44/1: 215-223, (Tab. 1).

TABLA 3 – PLATE 3

- 20 *Carcharhinus priscus*; a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 7 x 9 mm
Carcharhinus priscus; a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 7 x 9 mm
- 21 *Carcharhinus priscus*; a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 6 x 9 mm
Carcharhinus priscus; a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 6 x 9 mm
- 22 *Sphyrna* sp.; a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 7 x 6 mm
Sphyrna sp.; a) lingual view, b) labial view; Žvarulj. Size: 7 x 6 mm
- 23 *Sphyrna* sp.; a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 6 x 8 mm
Sphyrna sp.; a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 6 x 8 mm
- 24 *Sphyrna* sp.; a) lingvalna stran, b) labialna stran; Žvarulje. Velikost: 5 x 4 mm
Sphyrna sp.; a) lingual view, b) labial view; Žvarulje. Size: 5 x 4 mm
- 25 *Myliobatis* sp.; simfizini zob. a) bazalna stran, b) lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 6 x 14 mm
Myliobatis sp.; symphysial tooth. a) basal view, b) lingual view; Žvarulje. Size: 6 x 14 mm
- 26 *Myliobatis* sp.; zob lateralnega zaporedja, bazalna stran; Žvarulje. Velikost: 10 x 22 mm
Myliobatis sp.; tooth of a lateral row, basal view; Žvarulje. Size: 10 x 22 mm
- 27 *Aetobatis arcuatus*; fragment spodnjega zoba, okluzalna stran; Žvarulje. Velikost: 15 x 9 mm
Aetobatis arcuatus; fragment of a lower tooth, occlusal view; Žvarulje. Size: 15 x 9 mm
- 28 *Aetobatis arcuatus*; fragment spodnjega zoba. a) lingvalna stran, b) bazalna stran; Žvarulje. Velikost: 11 x 10 mm
Aetobatis arcuatus; fragment of a lower tooth. a) lingual view, b) basal view; Žvarulje. Size: 11 x 10 mm
- 29 *Aetobatis arcuatus*; fragment spodnjega zoba, lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 13 x 11 mm
Aetobatis arcuatus; fragment of a lower tooth, lingual view; Žvarulje. Size: 13 x 11 mm
- 30 *Aetobatis arcuatus*; fragment spodnjega zoba, lingvalna stran; Žvarulje. Velikost: 12 x 8 mm
Aetobatis arcuatus; fragment of a lower tooth, lingual view; Žvarulje. Size: 12 x 8 mm
- 31 Fragment kavdalne bodice primerka iz družine Myliobatidae; Žvarulje. Velikost: 18 x 8 mm
Fragment of caudal sting of Myliobatidae; Žvarulje. Size: 18 x 8 mm

TABLA 3 – PLATE 3

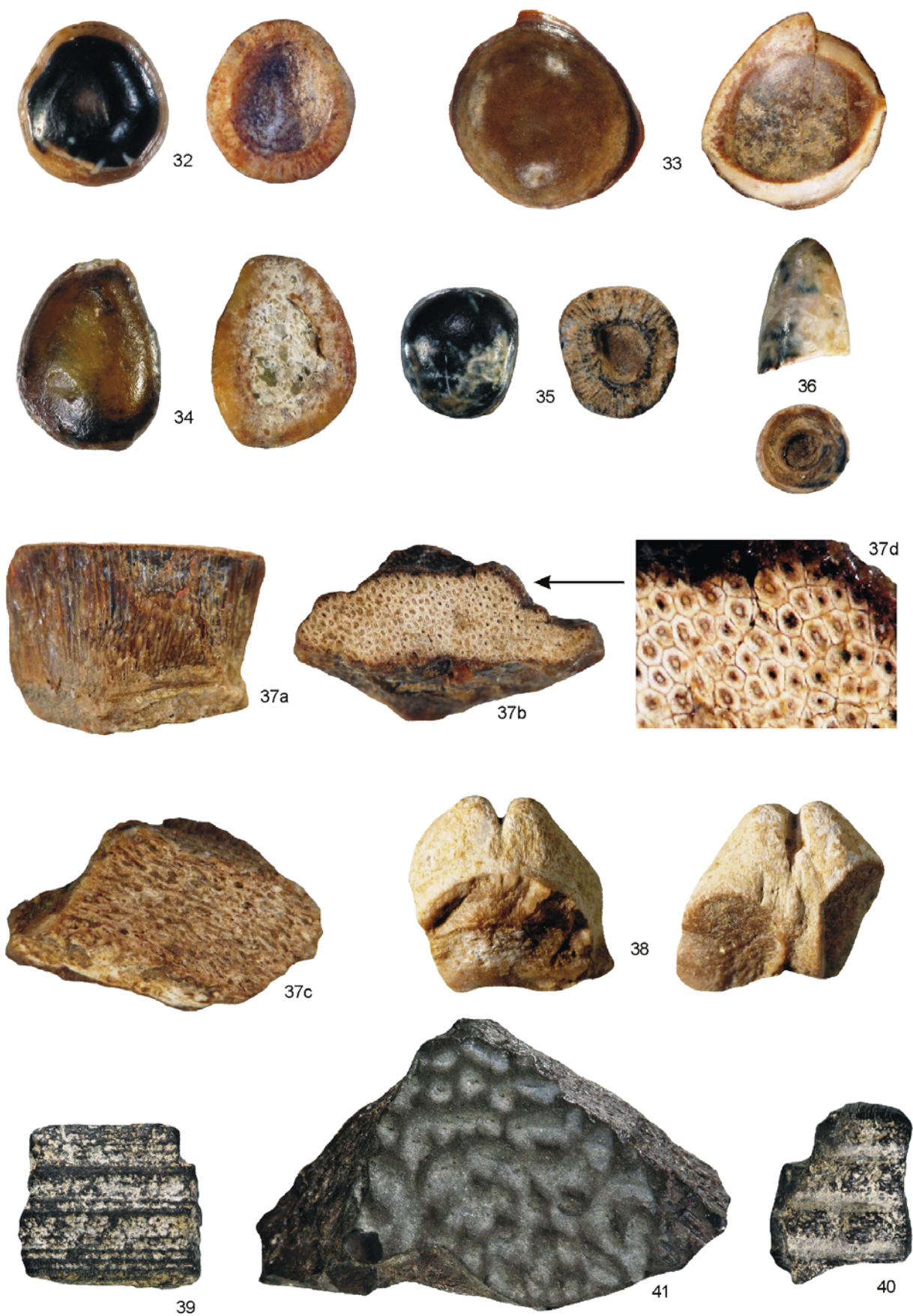


- MÜLLER, A. H. 1966: Lehrbuch der Paläozoologie. Bd. 3, Vertebraten, Teil 1. Fische im weiteren Sinne und Amphibien. Veb Gustav Fischer Verlag (Jena), XVI: 638 p.
- NELSON, J. S. 2006: Fishes of the World. Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. (Hoboken), XV: 601 p.
- PAVŠIČ, J. 1995: Fosili. Zanimive okamnine iz Slovenije. Tehniška založba Slovenije Ljubljana: 139 p.
- PAVŠIČ, J., MIKUŽ, V. & MITREVSKI, G. 1996: Ribje zobovje iz oligocena. Gea, 6/6: 65.
- PREMRU, U. 1983a: Osnovna geološka karta SFRJ Ljubljana 1:100.000. Redakcija in založba Zveznega geološkega zavoda Beograd (1982), Beograd.
- PREMRU, U. 1983b: Tolmač za list Ljubljana. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd: 75 p.
- PROBST, J. 1858: Ueber das Gebiss des Notidanus primigenius Ag. Jahreshefte Ver. vaterländ. Naturkunde Württemberg, 14: 124-127.
- PROBST, J. 1877: Beiträge zur Kenntniss der fossilen Fische aus der Molasse von Baltringen. Jahreshefte Ver. vaterländ. Naturkunde Württemberg, 33: 69-103.
- QUENSTEDT, A. 1885: Atlas zum Handbuch der Petrefaktenkunde. Dritte umgearbeitete und vermehrte Auflage. Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung (Tübingen): Tab. 1-100.
- RAFINESQUE SCHMALTZ, C. S. 1810: Caratteri di alcuni nuovi generi e nuove specie di animali e piante della Sicilia con varie osservazioni sopra i medesimi. Per le stampe di Sanfilippo, Palermo: 105 p., Tav. 1-20.
- REINECKE, T., LOUWYE, S., HAVEKOST, U. & MOTHS, H. 2011: The elasmobranch fauna of the late Burdigalian, Miocene, at Werde-Uesen, Lower Saxony, Germany, and its relationships with Early Miocene faunas in the North Atlantic, Central Paratethys and Mediterranean. Palaeontos, 20: 1-170, Pl. 1-101.
- REINECKE, T., MOTHS, H., GRANT, A. & BREITKREUZ, H. 2005: Die Elasmobranchier des norddeutschen Chattiums, insbesondere des Sternberger Gesteins (Eochattium, Oberes Oligocän). Palaeontos, 8: 1-135, Taf. 1-60.

TABLA 4 – PLATE 4

- 32 *Pagrus cf. cinctus*; Žvarulje. Premer: 6 x 6 mm
Pagrus cf. cinctus; Žvarulje. Diameter: 6 x 6 mm
- 33 *Pagrus cf. cinctus*; Žvarulje. Premer: 8,5 x 7 mm
Pagrus cf. cinctus; Žvarulje. Diameter: 8,5 x 7 mm
- 34 *Pagrus sp.*; Žvarulje. Premer: 8 x 6,5 mm
Pagrus sp.; Žvarulje. Diameter: 8 x 6,5 mm
- 35 *Pagrus cf. cinctus*; Žvarulje. Premer: 6 x 5 mm
Pagrus cf. cinctus; Žvarulje. Diameter: 6 x 5 mm
- 36 *Pagrus cf. cinctus*; Žvarulje. Velikost: 5 x 3,5 mm
Pagrus cf. cinctus; Žvarulje. Size: 5 x 3,5 mm
- 37 *Rhinoptera sp.*; del zobne plošče; a) vzdolžni prerez zobne plošče, b) ustna površina, c) spodnja prirastna površina, d) 12x povečani prerezi strukturnih stebričev; Žvarulje. Velikost 37a: 15 x 11 x 8,5 mm
Rhinoptera sp.; a fragment of tooth plate; a) longitudinal section of tooth plate, b) oral surface, c) lower growing surface, d) 12x enlarged sections of pillar-shaped structure; Žvarulje. Size 37a: 15 x 11 x 8,5 mm
- 38 Del kljunastega izrastka ribe iz skupine Carcharhiniformes? ali lobanjski del špara?; Žvarulje. Velikost: 10 x 10 mm
A part of rostral node of fish group Carcharhiniformes? or the part of porgy cranium?; Žvarulje. Size: 10 x 10 mm
- 39 Spodnja stran dela zobne plošče; Žvarulje. Velikost: 13 x 12 x 4 mm
Lower surface of tooth plate fragment; Žvarulje. Size: 13 x 12 x 4 mm
- 40 Del zobne plošče; spodnja površina; Žvarulje. Velikost: 12 x 11 x 6 mm
A fragment of tooth plate; lower surface; Žvarulje. Size: 12 x 11 x 6 mm
- 41 Fragment želvjega koščenega ščita rodu *Trionyx*; Žvarulje. Velikost: 28 x 17 x 8 mm
A fragment of *Trionyx* costal plate with textured bone surface; Žvarulje. Size: 28 x 17 x 8 mm

TABLA 4 – PLATE 4



Fotografije (Photos):
Table (Plates) 1-3: Aleš Šoster
Tabla (Plate) 4: Marijan Grm

- REINECKE, T., STAPP, H. & RAISCH, M. 2001: Selachier und Chimären des Unteren Meeressandes und Schleichsand des Mainzer Becken (Alzey - und Stackeden-Formation, Rupelium, Unteres Oligocän). *Palaeontos*, 1: 1-73, Taf. 1-63.
- SCHRODT, F. 1890: Beiträge zur Kenntniss der Pliocänfauna Süd-Spaniens. *Zeitschr. Deutsch. Geol. Gess.*, 42: 386-418, Taf. 21-22.
- SCHULTZ, O. 1998: Tertiärfossilien Österreichs. Wirbellose, niedere Wirbeltiere und marine Säugetiere. Goldschneck-Verlag (Korb): 1-159 p.
- SCHULTZ, O., BRZOBOHATÝ, R. & KROUPA, O. 2010: Fish teeth from the Middle Miocene of Kienberg at Mikulov, Czech Republic, Vienna Basin. *Ann. naturhist. Mus. Wien, Ser. A*, 112: 489-506, (Pl. 1-3).
- SCILLA, A. 1670: La vana speculazione disingannata dal senso. Lettera risponsiva Circa i Corpi Marini, che Petrificati si trouano in varii luoghi terrestri. Appresso Andrea Colicchia (In Napoli): 1-168, Tav. 1-28.
- SISMONDA, E. 1846: Descrizione dei pesci e dei crostacei fossili nel Piemonte. *Mem. R. Accad. Sci. Torino*, (ser. 2), 10: 1-88, Tav. 1-3.
- SOLT, P. 1992: A kazári cáfafogas réteg halmaradványai = Fish fossil of the shark-tooth-bearing bed at Kazár. *Magyar Áll. Földtani Int. Évi Jelentése* (1990): 495-500.
- STEININGER, F. 1966: Über eine Fossiliensammlung aus dem Stadtbereich von Linz. *Naturkundl. Jb. Stadt Linz*, 12: 7-10, Taf. 1-4.
- ŠOSTER, A. & MIKUŽ, V. 2013a: Ostanki rib iz miocenskih peščenjakov Pristove pri Dobrni. *Geološki zbornik*, 22: 154-158, (Tab. 1).
- ŠOSTER, A. & MIKUŽ, V. 2013b: Ostanki rib iz miocenskih plasti Višnje vasi blizu Vojnika = Fish remains from Miocene beds of Višnja vas near Vojnik, Slovenia. *Geologija*, 56/1: 73-86, (Tab. 1-3), doi:10.5474/geologija.2013.006.
- TURK, T. 2006: Pod gladino Mediterana. Modrijan, Ljubljana: 590 p.
- VINASSA DE REGNY, P. 1899: Pesci neogenici del Bolognese. *Riv. Ital. Paleont.*, 5: 79-84, Tav. 2.
- WALKER, C. & WARD, D. 1995: Fossils. The visual guide to over 500 fossil genera from around the world. Dorling Kindersley (London, New York, Stuttgart): 320 p.
- ZITTEL, K. A. 1895: Grundzüge der Palaeontologie (Palaeozoologie). (München und Leipzig): I-VIII, 1-971.
- Internetni vir:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Trionychoidea> (2.10.2013)

Anorganski ogljikov cikel v sistemu tla-kamnina-podzemna voda v kraško-razpoklinskih vodonosnikih

Inorganic carbon cycle in soil-rock-groundwater system in karst and fissured aquifers

Ajda KOCELI¹, Tjaša KANDUČ² & Timotej VERBOVŠEK³

¹Podvin 205, SI-3310 Žalec; e-mail: ajda.koceli@gmail.com

²Institut Jožef Stefan, Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana; e-mail: tjasa.kanduc@ijs.si

³Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana; e-mail: timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si

Prejeto / Received 8. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 25. 11. 2013

Ključne besede: ogljikov cikel, izotopska sestava, karbonatne kamnine, kraško-razpoklinski vodonosniki, osrednja Slovenija

Key words: carbon cycle, isotopic composition, carbonate rocks, karst and fissured aquifers, central Slovenia

Izvleček

V prispevku so predstavljene sistematične analize izotopske sestave ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$) v karbonatnih kamninah osrednje Slovenije, ki predstavljajo kraško-razpoklinske vodonosnike, in deleži doprinosa ogljika iz procesov raztapljanja karbonatov ter razgradnje organske snovi v vodonosnike, izračunane iz enačb masne bilance. Analiziranih je bilo 59 vzorcev kamnin (predvsem dolomitov) od zgornjepermske do zgornjetriasne starosti. Vzorci karbonatnih kamnin so bili uprašeni in zmleti na frakcijo 45 μm ter za določitev $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ analizirani z masnim spektrometrom za analizo stabilnih izotopov lahkih elementov – IRMS. Enaka metoda je bila uporabljena tudi za določitev izotopske sestave raztopljenega anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) v podzemni vodi za 54 od 59 vzorcev. Vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ se spreminjajo v razponu od -2,0 ‰ do +4,1 ‰, s povprečno vrednostjo +2,2 ‰. Vrednosti so tipične za morske karbonate z $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ okoli 0 ‰, se pa vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ v naši raziskavi razlikujejo med posameznimi skupinami glede na nastanek in starosti. Zgodnjediagenetski dolomiti imajo relativno višje vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ v primerjavi z ostalimi analiziranimi vzorci. Najnižje vrednosti imajo cordevolski in baški dolomiti, najverjetneje zaradi pozne diageneze, pri kateri je skozi že sedimentirane dolomite krožila meteorna voda z nižjo izotopsko sestavo ogljika ter posledično znižala vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$. Vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ se spreminjajo v razponu od -14,6 ‰ do -8,2 ‰. Višje vrednosti izotopske sestave anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) (-8,2 ‰) v podzemni vodi kraško-razpoklinskih vodonosnikov kažejo na nizki delež talnega CO_2 v vodonosniku in hitro infiltracijo, medtem ko nižje vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (-14,6 ‰) kažejo na večji delež talnega CO_2 v vodonosniku in s tem na počasnejšo infiltracijo. Izračun deleža doprinosa ogljika iz organske snovi / raztapljanja karbonatov v kraško-razpoklinske vodonosnike kaže na približno enak delež (50 % : 50 %).

Abstract

The paper presents a systematic analysis of the isotopic composition of carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$) in carbonate rocks in central Slovenia, representing karst and fissured aquifers, and share of carbon contributions from carbonate dissolution and degradation of organic matter in aquifers, calculated from the mass balance equation. 59 samples of rocks (mainly dolomites) from Upper Permian to Upper Triassic age were analyzed. Samples of carbonate rocks were pulverized and ground to fraction of 45 μm and for determination of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ analyzed with mass spectrometer for analyses of stable isotopes of light elements-IRMS. The same method was used for determination of isotopic composition of dissolved inorganic carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) in groundwater for 54 of 59 locations. Values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ are in the range from -2.0 ‰ to +4.1 ‰, with an average $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ value of +2.2 ‰. These values are typical for marine carbonates with $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ around 0 ‰, although $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ values differ between groups depending on the origin and age. Early diagenetic dolomites have relatively higher values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ compared to other analyzed samples. The lowest values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ were observed in Cordevolian and Bača dolomite, probably due to late diagenesis, during which meteoric water with lower isotopic carbon composition circulated in the process of sedimentation. Values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ range from -14.6 ‰ to -8.2 ‰. Higher $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ values (-8.2 ‰) indicate a low proportion of soil CO_2 in the aquifer and rapid infiltration, while lower values (-14.6 ‰) indicate higher proportion of soil CO_2 in the aquifer and slower infiltration. Calculated contributions of carbon from organic matter / dissolution of carbonates in the karstic and fissured aquifers show a similar proportion (50 % : 50 %).

Uvod

Splošno o karbonatnih kamninah v Sloveniji

Apnenci in dolomiti zavzemajo okoli 40 % površine Slovenije (GAMS, 2004) in so nastajali v številnih plitvodnih do globokomorskih okoljih od devona do terciarja, toda večina je nastala med permom in zgornjo kredno. Karbonate sestavljajo minerali s skupino CO_3 , njihova najpomembnejša predstavnika sta kamninotvorna kalcit- CaCO_3 , ki gradi različne apnence, ter dolomit $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, poleg teh pa tudi železov karbonat (siderit- FeCO_3) in manganov karbonat (rodohrozit- MnCO_3). Apnence in dolomite v Sloveniji najdemo predvsem v njenem zahodnem in južnem delu, kjer grade visokogorje Julijskih Alp in njihovo predgorje, nadalje Savinjske Alpe in večji del Karavank, predvsem pa obsežna območja Krasa, Notranjske in Dolenjske.

Največ apnencev in dolomitov v Sloveniji je mezozojske – triasne, jurske in kredne starosti. V spodnjetriasnem obdobju se menjavajo apnenci, laporji in peščenjaki v osrednji Sloveniji, v okolici Idrije, Ljubljane in Posavju. Konec anizijskega obdobja je enotno plitvomorsko okolje razpadlo v dve ločeni karbonatni plošči; Jadransko-Dinarsko na jugu in Julijsko na severu, na prostoru med Tolminom, Ljubljano, Celjem in Zagrebom je potekal do konca krednega obdobja globlji morski jarek (Slovenski jarek). V jurskem in krednem obdobju se je v Sloveniji odložila do 3000 m debela skladovnica, pretežno apnencev in manj dolomitov v celotni južni Sloveniji. V globljih delih jurskega in krednega morja, v Slovenskem jarku, so se istočasno odlagali tankoplastoviti apnenci z roženci radiolariti in flišne plasti (OGORELEC, 2001, 2011). Najmlajše karbonatne kamnine v Sloveniji so litotamnijski apnenci in peščenjaki.

Pregled dosedanjih raziskav karbonatnih kamnin v Sloveniji

Karbonatne kamnine so bile preučevane z zelo različnih vidikov, tako splošnih sedimentoloških, hidrogeoloških, mehanskih, geokemičnih, izotopskih in geomorfoloških, toda le redke raziskave so se posvečale sistematičnim geokemičnim ali izotopskim analizam posameznih karbonatnih kamnin po litostratigrafskih enotah. Med temi lahko omenimo sistematične raziskave izotopske sestave ogljika in kisika v apnencih in dolomitih, interpretirane glede na sestavo kamnin, vsebnost organske snovi in glede na diagenetsko okolje nastanka (OGORELEC et al., 2000), širše sedimentno-petrografske raziskave karbonatov (OGORELEC, 2011), hidrogeološke raziskave dolomitov (VERBOVŠEK, 2008a; 2008b, VERBOVŠEK & VESELIČ, 2008) ter številne sedimentološke, geokemične in izotopske raziskave na našem ozemlju: za zgornjepermske in skitske kamnine na Žirovskem ozemlju (GRAD & OGORELEC, 1980), za skitske in anizijske kamnine na območju Tržiča (DOLENEC et al., 1981), za glavni dolomit in dachsteinski apnenec v jugozahodni Sloveniji (OGORELEC & ROTHE,

1993) ter za rudišča (DOLENEC et al., 1993). Veliko raziskav karbonatnih kamnin je tudi na mejah perm/trias (DOLENEC, 2004) in kreda/terciar (OGORELEC et al., 1995).

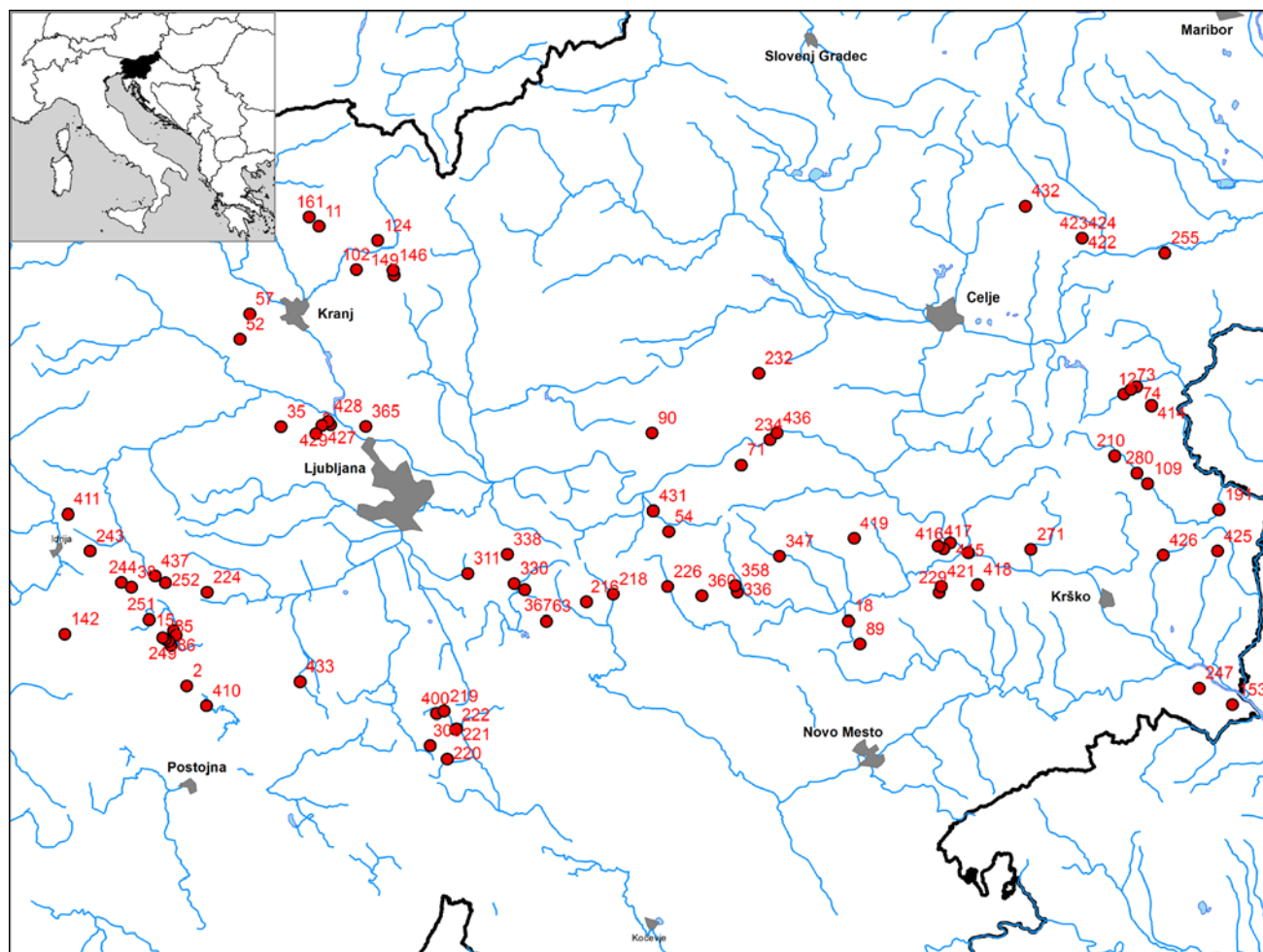
Pregled karbonatnih kamnin po starosti iz naše raziskave

Zgornjepermski dolomiti (P_3) so razviti v dveh formacijah: žažarski v osrednji Sloveniji in karavanški v severnem delu Slovenije (SKABERNE et al., 2009). Za prvo je značilen temnosiv do črn apnenec in v redkih delih tudi plastnat dolomit (GRAD & OGORELEC, 1980), za drugo pa bolj peseter razvoj od prehodnih plasti med grōdenskimi klastiti in višje ležečimi karbonati, nato satasti dolomit ter v vrhnjih delih svetlosiv drobnozrnat dolomit (SKABERNE et al., 2009). Spodnjetriasne plasti (T_1) so razvite precej pestro. Od karbonatov se poleg horizonta oolitnih apnencev pojavljata dva horizonta dolomita: spodnjeskitski zgodnjediagenetski plastnat dolomit z veliko terigene primesi in zgornjeskitski poznodiagenetski dolomit z manj terigene primesi (GRAD & OGORELEC, 1980; OGORELEC et al., 2000). Anizijski (T_2^1) karbonati so večinoma razviti kot masiven ali debeloplastnat dolomit z velikim deležem karbonata, ki je nastal sprva z zgodnjo, nato pa tudi s pozno diagenozo. Cordevolski (T_3^1) dolomiti so razviti kot masiven, svetlosiv ali bel debelozrnat dolomit, ki ima precejšnje število sekundarnih por, nastalih s pozno diagenozo. Norijsko-retijske (T_3^{2+3}) plasti (OGORELEC & ROTHE, 2000) so razvite kot plastnat zgodnje- ter poznodiagenetski glavni dolomit ($T_3^{2+3} M$), ki je nastajal na Dinarski karbonatni platformi, plastnat baški dolomit z roženci ($T_3^{2+3} B$), ki je nastajal v globokomorskem Slovenskem jarku ter kot dachsteinski apnenec ali redkeje dolomit ($T_3^{2+3} D$), ki je nastajal na Julijski karbonatni platformi severno od Slovenskega jarka.

Namen raziskave

Namen naše raziskave je bil določiti izotopsko sestavo ogljika v karbonatnih kamninah osrednje Slovenije, kjer se v kraško-razpoklinskih vodonosnikih nahajajo tudi viri pitne vode. Poleg izotopske sestave ogljika v karbonatnih kamninah smo določili tudi izotopsko sestavo anorganskega ogljika v podzemnih vodah in tako s pomočjo masno bilančnega izračuna ocenili delež organske snovi in delež raztopljenega anorganskega ogljika v vodonosniku v sistemu tla-kamnina-podzemna voda.

Znano je tudi, da hidrogeokemični podatki in podatki o izotopski sestavi podzemnih vod dajejo pomembno informacijo o virih in času napaanja podzemnih vod, interakciji voda-kamnina vzdolž pretočnih poti in mešanja različnih virov podzemnih vod (CARTWRIGHT et al., 2012). V našem prispevku so predstavljene nove ugotovitve na področju kraško-razpoklinskih vodonosnikov, ki dopolnjujejo dosedanje raziskave (URBANC et al. 1992; PEZDIČ, 1997; URBANC & JAMNIK, 1999; URBANC & LAJLAR, 2002; MALI & URBANC, 2006; TRČEK,



Sl. 1. Lokacije vzorčenja kamnin in podzemnih vod. Oznake predstavljajo enolične ID vrednosti za identifikacijo vzorčnih mest, uporabljenih v Tabeli 1.

Fig. 1. Rock and groundwater sampling locations. Codes represent the ID values for unique identification of sampling locations (used also in the Table 1).

2006, KANDUČ et al., 2013a v tisku). V okviru raziskovalnega projekta Z1-3670 so bili poleg izotopske sestave v vodi raztopljenega anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) za sledenje kakovosti in izvora podzemnih vod, določeni tudi naslednji parametri: geokemična sestava, izotopska sestava stabilnih izotopov kisika in vodika, tritija ter ostanki zdravilnih učinkovin (neobjavljeni rezultati).

Materiali in metode

Izotopska sestava ogljika v karbonatnih kamninah in raztopljenem anorganskem ogljiku

Koncentracije raztopljenega anorganskega ogljika (v našem primeru jo podajamo kot alkalnost) in izotopska sestava raztopljenega anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) so odvisni od procesov v sistemu preperina-vodonosnik. Spremembe koncentracij DIC so odvisne od odstranjevanja/dodajanja DIC v sistem, medtem ko na $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ vrednosti vpliva izotopska frakcionacija med pretvarjanjem ogljika ali mešanja različnih virov ogljika. Glavni viri ogljika v vodonosnik so raztapljanje karbonatnih mineralov, preperinskega CO_2 iz dihanja rastlin in iz mikrobne razgradnje organske snovi. Glavni proces odstranjevanja

DIC iz vodonosnikov je obarjanje karbonatnih mineralov (ATEKWANA & KRISHNAMURTY, 1998). Izotopska sestava karbonatov je odvisna od izotopske sestave raztopljenega anorganskega ogljika v vodi, iz katere se karbonat izloča. Morski karbonati imajo $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ okrog 0 ‰, medtem ko imajo avtigeni rečni karbonati $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ podobno vrednost, kot je izotopska sestava raztopljenega anorganskega ogljika v rečni vodi (KANDUČ, 2006).

Vzorčenje karbonatnih kamnin in podzemne vode

Vzorčenje kamnin in podzemnih vod je potekalo med aprilom 2012 in aprilom 2013. Lokacije vzorčenja so bile izbrane v karbonatnih vodonosnikih v neposredni bližini delujočih vrtin (sl. 1), ki so predstavljale vzorčna mesta za hidrogeokemične in izotopske raziskave kraško-razpoklinskih vodonosnikov. Vzorci kamnin so bili odvzeti na 59 mestih, ker na ostalih ni bilo izdankov kamnin ali pa so bile preveč preperele ali pretrte. Med temi je bila nato na 54 lokacijah izmerjena izotopska sestava raztopljenega anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) v podzemni vodi. Na izbranih lokacijah (slika 1) smo odvzeli nepreperene, čim bolj kompaktne vzorce dolžine 10–20 cm.

Največ lokacij torej pripada glavnemu dolomitu (29), sledijo cordevolski dolomit (12 lokacij), anizijski dolomit (8), baški dolomit (6) ter skit (2), po en vzorec pa sta imela zgornjevermski dolomit in dachsteinski apnenec (tabela 1).

Priprava vzorcev in analiza $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ in $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$

Za določanje izotopske sestave ogljika v karbonatih ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$) so bili vzorci po predhodnem drobljenju s kladivom, v terilnici uprašeni v fin prah frakcije $<45\ \mu\text{m}$. Uprašen vzorec je bil nasut v posode prahovke, iz teh pa je bilo zatehtanih 5 do 7 mg vzorca v ampule predhodno preprihane s He. Po postopku McCREA (1950) smo v ampule z vzorcem, dodali 0,5 ml H_3PO_4 . Pri tem je nastal CO_2 , v katerem smo izotopsko sestavo anorganskega ogljika izmerili z masnim spektrometrom Europa Scientific 20-20 s preparativnim modulom ANCA-TG, ki se uporablja za meritve plinskih vzorcev (KANDUČ, 2006). Kot delovni standard je bil uporabljen plin z izotopsko sestavo $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3} -4,3\ \text{‰}$ in kalcit iz Stahovice z izotopsko sestavo $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3} +2,6\ \text{‰}$ (umerjen na dual inlet Varian Mat spektrometru).

Vzorci podzemnih vod smo prefiltrirali preko politetrafluoroetilen (PTFE) 0,45 μm filtra v 12 ml ampule, ki smo jih napolnili do vrha. Metoda določanja izotopske sestave raztopljenega anorganskega ogljika v vodi ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) je razvita na osnovi kemijske reakcije med H_3PO_4 in vodo (CAPASSO et al., 2003). V ampule s septumom volumna 12 ml dodamo 2 kapljici nasičene H_3PO_4 in jih preprihamo s helijem. V preprihane ampule dodamo 6 ml vzorca s pomočjo plinsko-tesne brizgalke volumna 10 ml, pri čemer nastane po reakciji s H_3PO_4 plinasti CO_2 , katerega $\delta^{13}\text{C}$ direktno merimo. Na enak način pripravimo tudi delovno raztopino Na_2CO_3 Carlo Erba s koncentracijo 4,8 mmol/l, ker ima podzemna voda v našem primeru alkalnosti nad 2 mmol/l. Raztopina Na_2CO_3 ima povprečno vrednost $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -10,8\ \text{‰} \pm 0,2\ \text{‰}$. Tako pripravljenim vzorcem in delovnim standardom smo izmerili $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ iz plinske kape z masnim spektrometrom Europa Scientific 20-20 s preparativnim modulom ANCA-TG za plinske vzorce.

Rezultate podajamo v obliki δ vrednosti, ki jo izrazimo v promilih (‰), relativno glede na referenčni material VPDB – Vienna Pee Dee Belemnite (COPLIN 1996) (1):

$$\delta = \frac{R_{\text{VZ}} - R_{\text{RM}}}{R_{\text{RM}}} \cdot 1000 \quad [\text{‰}] \quad (1)$$

Simbol R predstavlja razmerje med redkejšim težjim izotopom in lažjim, bolj pogostim izotopom ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), R_{VZ} in R_{RM} pa razmerja v vzorcu (VZ) in referenčnem materialu (RM). Pozitivne vrednosti δ pomenijo, da je izotopsko razmerje R v vzorcu višje od razmerja v referenčnem materialu, kar pomeni, da vzorec vsebuje več težjega izotopa kot referenčni material, negativne pa, da ga vsebuje manj (O'NEIL, 1979). Izotopske referenčne materiale določata Mednarodna agencija za atomsko energijo na Dunaju (IAEA) in Nacionalni institut

za standarde in tehnologijo (NIST). Za vsak posamezen element so izbrani tako, da je izotopsko razmerje v referenčnem materialu čim bolj podobno povprečnemu razmerju istih izotopov v naravi.

Ponovljivost meritev izotopske sestave ogljika v karbonatih ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$) in raztopljenem anorganskem ogljiku ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) na osnovi internega standarda in referenčnega plina ocenjujemo na $\pm 0,2\ \text{‰}$.

Celokupno alkalnost smo določali s pomočjo Granove titracije po metodi, ki jo je opisal GIESKES (1974) in predstavlja matematično metodo za določitev druge končne točke karbonatnega ravnotežja. Koncentraciji HCO_3^- in CO_3^{2-} obsegata karbonatno alkalnost. Meritve izotopske sestave anorganskega ogljika v karbonatnih kamninah, raztopljenega anorganskega ogljika v podzemni vodi in celokupne alkalnosti po Granu so bile izvedene na Institutu Jožef Stefan v Ljubljani.

Izračun doprinosa ogljika iz raztapljanja karbonatnih kamnin in razgradnje organske snovi

Za izračun doprinosa deleža ogljika iz razgradnje organske snovi (DIC_{org}) in iz raztapljanja karbonatnih kamnin (DIC_{karb}) smo uporabili enačbi masne bilance (2 in 3):

$$1 = \text{DIC}_{\text{org}} + \text{DIC}_{\text{karb}} \quad (2)$$

$$\text{DIC}_{\text{podzemna voda}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = \text{DIC}_{\text{org}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{org}} + \text{DIC}_{\text{karb}} \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{karb}} \quad (3)$$

Pri čemer je:

DIC_{org} - raztopljen anorganski ogljik iz organske snovi

DIC_{karb} - raztopljen anorganski ogljik iz raztapljanja karbonatov (dolomitov)

$\text{DIC}_{\text{podzemna voda}}$ - raztopljen anorganski ogljik v podzemni vodi

$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ - izotopska sestava raztopljenega anorganskega ogljika

$\delta^{13}\text{C}_{\text{karb}}$ - izotopska sestava ogljika v karbonatih (dolomitih)

$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ - izotopska sestava ogljika iz razgrajene organske snovi

Za vrednost $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ smo uporabili povprečno sestavo ogljika v suspendirani organski snovi izmerjeno za reki Savo in Idrijco, ki znaša 27 ‰, (KANDUČ et al., 2008). Podatke o raztopljenem anorganskem ogljiku $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ smo pridobili iz rezultatov ARRS projekta Z1-3670. Prispevek dežja v masni bilanci $\text{DIC}_{\text{podzemna voda}}$ je minimalen, saj vsebuje nizke koncentracije DIC (YANG et al., 1996).

Rezultati in diskusija

Vrednosti izotopske sestave ogljika v karbonatnih kamninah ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$)

Vrednosti izotopske sestave ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$) v analiziranih karbonatnih kamninah se gibljejo med $-2,0\ \text{‰}$ in $+4,1\ \text{‰}$, s povprečno vrednostjo $+2,2\ \text{‰}$

Tabela 1. Opisne statistike vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ po posameznih litoloških skupinah. V primerih označenih z * je bilo za izračun na voljo premalo vzorcev. T_3^{2+3} D – dachsteinski apnenca, T_3^{2+3} B – baški dolomit, T_3^{2+3} M – glavni dolomit

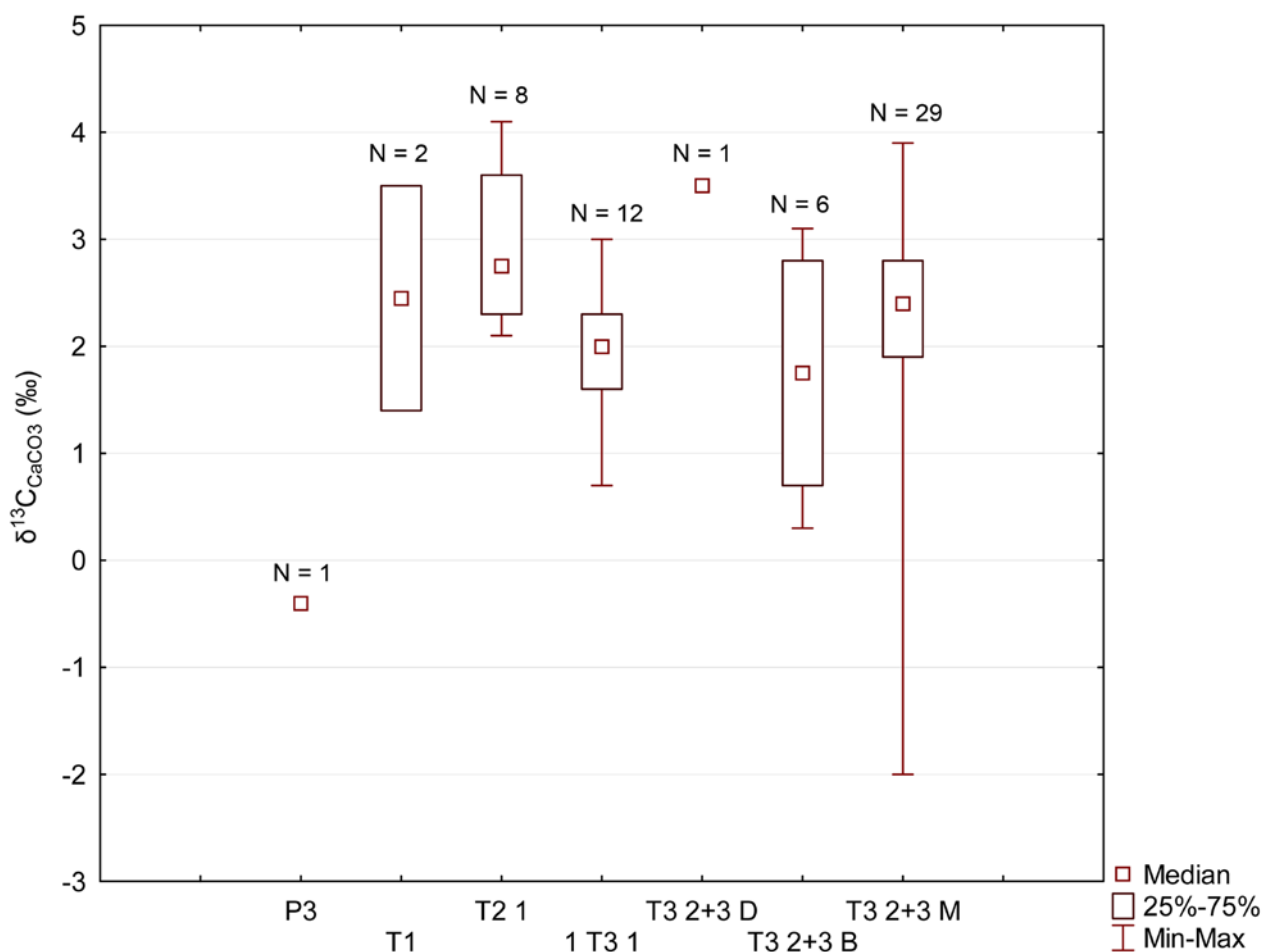
Table 1. Descriptive statistic values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ according to lithological groups. For cases labeled with *, insufficient number of samples was available. T_3^{2+3} D – Dachstein limestone, T_3^{2+3} B – Bača dolomite, T_3^{2+3} M – Main dolomite

Starost	Št. vzorcev	Povprečna vrednost (‰)	Mediana (‰)	Minimum (‰)	Maksimum (‰)	Standardni odklon (‰)
P_3^*	1	-0,4	/	/	/	/
T_1^*	2	+2,5	/	/	/	/
T_2^1	8	+2,9	+2,8	+2,1	+4,1	0,7
$1T_3^1$	12	+2,0	+2,0	+0,7	+3,0	0,7
T_3^{2+3} D*	1	+3,5	/	/	/	/
T_3^{2+3} B	6	+1,7	+1,8	+0,3	+3,1	1,1
T_3^{2+3} M	29	+2,2	+2,4	-2,0	+3,9	1,4
Skupaj	59	+2,2	+2,3	-2,0	+4,1	1,2

(sl. 2, tabela 1). Nihanje je relativno majhno, s standardnim odklonom 1,2 ‰. Vrednosti so tipične za morske karbonate, ki imajo vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ okoli 0 ‰ (PEZDIČ, 1999). Opazne pa so precejšnje razlike med posameznimi skupinami. (sl. 2).

V skupini zgornjepermskih dolomitov (P_3) je bil odvzet samo en vzorec. Glede na ostale

skupine je določitev $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ v tem vzorcu med najnižje izmerjenimi vrednostmi, kar lahko pripišemo diagenetsko močno spremenjenim dolomitom in/ali izluževanju sadre in kalcitizaciji satastega dolomita med diagenozo, kar je možno razložiti s podobnimi rezultati raziskav DOLENCA et al. (1981). Z malo vzorci so bili zastopani tudi spodnjetrijski (*skitski*, T_1) dolomiti. Povprečne



Sl. 2. Vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ po posameznih starostnih skupinah karbonatnih kamnin. N: število vzorcev

Fig. 2. $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ values in different carbonate rock groups. N: number of samples

vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ določene v vzorcih *anizijskih dolomitov* (T_2^1), so najvišje med vsemi dolomiti. Verjetno je razlog v tem, da ima ta dolomit od vseh analiziranih (poleg glavnega dolomita) ohranjeno najvišjo stopnjo primarne oz. zgodnje diageneze. *Cordevolski dolomiti* (T_3^1) imajo tako kot *baški dolomiti* ($T_3^{2+3} B$) nižje vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$. Višje vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ v teh kamninah nastopajo zaradi pozne diageneze, pri kateri je skozi že litificirane dolomite krožila meteorna voda z nižjo izotopsko sestavo ogljika ter posledično znižala vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$. Kamnine *glavnega dolomita* ($T_3^{2+3} M$) imajo največji razpon vrednosti (tabela 1, sl. 2), kar odraža heterogenost teh kamnih, nastalih tako z zgodnjo kot tudi s pozno diagenezo. Za dachsteinski apnenec je bil na voljo le en vzorec, ki kot tak ni reprezentativen. Poleg tega pa je to edini vzorec apnenca, komentarja zaradi premajhnega števila podatkov zato ne podajamo.

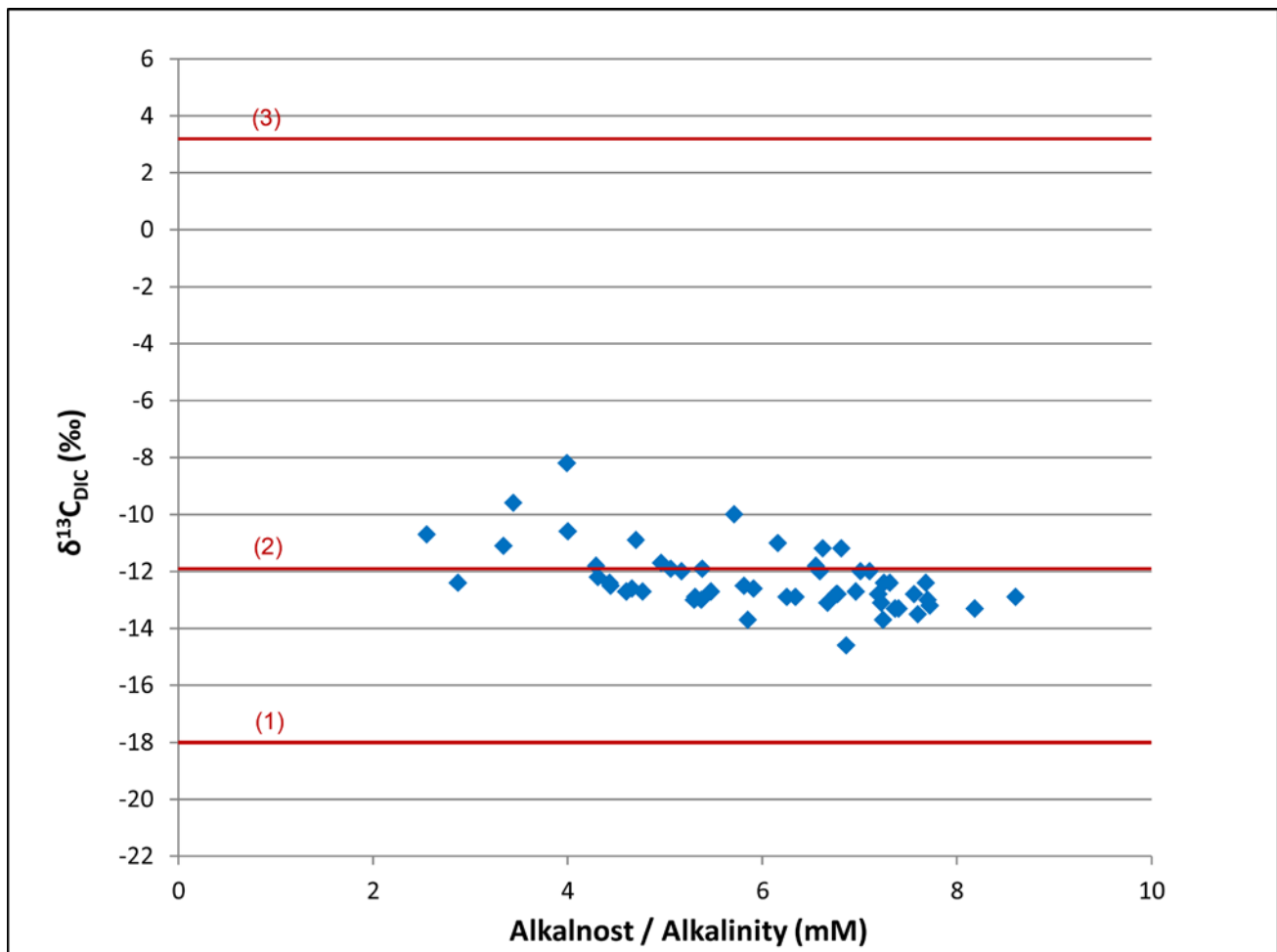
Rezultati so primerljivi z vrednostmi in interpretacijo OGORELCA et al. (2000) glede izotopske sestave ogljika, natančnejša primerjava interpretacije pa ni možna, ker v našem primeru meritve izotopske sestave kisika ($\delta^{18}\text{O}$) v karbonatih nismo opravili.

Doprinos deleža ogljika iz raztapljanja karbonatnih kamnin in razgradnje organske snovi

Na sliki 3 je prikazan diagram, ki predstavlja analizirane vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ v odvisnosti od alkalnosti vode v kraško-razpoklinskih vodonosnikih. Označene so tri linije, ki nakazujejo procese v podzemni vodi: Linija 1 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}} = -18\text{‰}$) predstavlja odprt sistem, kjer prihaja do uravnoveženja DIC s preperinskim CO_2 , ki ima izvor v organskem materialu z $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -27,0\text{‰}$. Pri tem prihaja do izotopske frakcionacije, ki se kaže v 9‰ spremembi izotopske sestave $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (MOOK ET AL., 1974, KANDUČ ET AL., 2013b).

Linija 2 kaže na neravnotežno raztapljanje karbonata z ogljikovo kislino, ki nastane iz preperinskega CO_2 z vrednostjo $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -27,0\text{‰}$ in raztapljanjem karbonatov z vrednostjo 3,2‰, tako da je ob upoštevanju 50 % deležev obeh virov, vrednost $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ enaka -11,9‰.

Linija 3 kaže na raztapljanje karbonatov s povprečno vrednostjo $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3} = 3,2\text{‰}$, toliko bi bila izotopska sestava raztopljenega anorganskega ogljika v vodi v primeru, da bi samo raztapljanje karbonatov vplivalo na vrednost $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ brez upoštevanja izotopske frakcionacije zaradi raztapljanja. Vrednost $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3} = 3,2\text{‰}$ je pridol-



Sl. 3. Vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ v odvisnosti od alkalnosti v kraško-razpoklinskih vodonosnikih
Fig. 3. Values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ versus alkalinity in karst and fissured aquifers

bljena iz predhodnih raziskav za mezozojske karbonate (KANDUČ, 2006).

Vse vrednosti izotopske sestave raztopljenega anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) ležijo na območju linije št. 2 (sl. 3), zato sklepamo, da na $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ vplivata dva procesa (doprinos raztopljenega anorganskega ogljika iz razgradnje organske snovi in iz raztapljanja karbonatnih kamnin). Za

vsako posamezno lokacijo smo glede na podatke $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ in $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ izračunali deleže (enačba 2 in 3) doprinosa ogljika iz raztapljanja karbonatov in delež doprinosa ogljika iz razgradnje organske snovi. Delež doprinosa ogljika iz razgradnje organske snovi se spreminja od 34,6 do 56,3 % (v povprečju 49,4 %), medtem ko delež doprinosa ogljika iz raztapljanja karbonatov niha med 43,7 do 65,4 % (v povprečju 50,6 %) (tabela 2).

Tabela 2. Vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ ter alkalnosti analiziranih vzorcev kamnin in podzemne vode s podanimi izračunanimi deleži doprinosa ogljika iz raztapljanja karbonatov in razgradnje organske snovi.

Table 2. Values of $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ and alkalinity of analyzed rock and groundwater samples with calculated contributions of carbon from the dissolution of carbonates and from the degradation of organic matter.

ID	Starost	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ (‰)	Celotna alkalnost (mM)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ (‰)	% doprinosa ogljika iz raztapljanja karbonata	% doprinosa ogljika iz razgradnje organske snovi
3	T ₂ ¹	3,7	4,44	-12,5	47,2	52,8
11	T ₂ ¹	2,1	4,77	-12,7	49,1	50,9
12	¹ T ₃ ¹	1,7	6,62	-11,2	55,1	44,9
15	T ₃ ²⁺³ M	2,8	6,59	-12,1	50,0	50,0
18	T ₂ ¹	2,7	8,18	-13,3	46,1	53,9
52	P ₃	-0,4	3,44	-9,6	65,4	34,6
54	¹ T ₃ ¹	1,5	4,60	-12,7	50,0	50,0
63	T ₃ ²⁺³ M	-2,0	7,01	-12,0	60,0	40,0
71	¹ T ₃ ¹	2,3	5,37	-13,1	47,5	52,5
73	¹ T ₃ ¹	2,1	5,71	-10,0	58,4	41,6
74	¹ T ₃ ¹	2,2	6,16	-11,0	54,8	45,2
85	T ₃ ²⁺³ M	2,5	5,81	-12,6	48,9	51,1
86	T ₃ ²⁺³ M	2,8	6,34	-12,9	47,3	52,8
89	T ₂ ¹	2,8	7,56	-12,8	47,7	52,3
90	T ₃ ²⁺³ M	2,3	7,22	-13,1	47,4	52,6
109	T ₃ ²⁺³ M	1,5	5,31	-12,9	49,5	50,5
124	T ₂ ¹	2,2	2,87	-12,4	50,0	50,0
142	T ₃ ²⁺³ M	1,9	4,31	-12,2	51,1	48,9
149	T ₃ ²⁺³ D	3,5	2,55	-10,7	53,4	46,6
153	T ₃ ²⁺³ M	-1,0	6,55	-11,8	58,5	41,5
161	T ₂ ¹	4,1	3,34	-11,1	51,1	48,9
210	T ₃ ²⁺³ M	2,4	6,77	-12,8	48,3	51,7
216	T ₃ ²⁺³ M	2,4	7,36	-13,3	46,6	53,4
218	T ₃ ²⁺³ M	1,0	7,24	-13,7	47,5	52,5
220	¹ T ₃ ¹	0,7	7,31	-12,4	52,7	47,3
221	T ₃ ²⁺³ M	3,8	7,10	-12,0	48,7	51,3
224	T ₃ ²⁺³ M	2,7	5,30	-13,0	47,1	52,9
226	T ₃ ²⁺³ M	1,9	8,60	-12,9	48,8	51,2
229	T ₃ ²⁺³ B	2,8	7,60	-13,5	45,3	54,7
243	T ₂ ¹	3,5	5,06	-11,9	49,4	50,6
247	T ₃ ²⁺³ M	-0,4	6,96	-12,7	53,8	46,2
248	T ₃ ²⁺³ M	1,9	5,38	-11,9	52,2	47,8

249	T ₃ ²⁺³ M	3,1	4,29	-11,8	50,5	49,5
252	T ₁	3,5	3,99	-8,2	61,6	38,4
255	¹ T ₃ ¹	3,0	4,96	-11,7	51,0	49,0
271	T ₃ ²⁺³ B	2,1	5,47	-12,7	49,0	51,0
280	T ₃ ²⁺³ M	2,6	6,67	-13,1	46,9	53,0
336	¹ T ₃ ¹	1,9	7,40	-13,3	47,4	52,6
338	¹ T ₃ ¹	2,9	5,85	-13,7	44,5	55,5
358	¹ T ₃ ¹	1,3	6,86	-14,6	43,7	56,3
360	T ₃ ²⁺³ M	2,8	7,72	-13,2	46,3	53,7
400	T ₃ ²⁺³ M	3,7	7,19	-12,8	46,3	53,7
410	T ₃ ²⁺³ M	2,4	4,00	-10,7	55,5	44,5
416	T ₃ ²⁺³ B	0,7	7,25	-12,4	52,7	47,3
417	T ₃ ²⁺³ B	1,4	4,66	-12,6	50,7	49,3
418	T ₃ ²⁺³ B	0,3	6,81	-11,3	57,7	42,3
419	T ₁	1,4	4,70	-10,9	56,7	43,3
421	T ₃ ²⁺³ B	3,1	7,68	-12,4	48,5	51,5
422	T ₂ ¹	2,4	5,17	-12,0	51,0	49,0
425	T ₃ ²⁺³ M	1,5	7,70	-13,0	49,1	50,9
426	T ₃ ²⁺³ M	2,7	6,25	-12,9	47,5	52,5
431	¹ T ₃ ¹	2,3	6,76	-12,8	48,3	51,7
433	T ₃ ²⁺³ M	1,7	4,43	-12,4	50,9	49,1
434	T ₃ ²⁺³ M	2,7	5,91	-12,6	48,4	51,6

Zaključki

Opravljen analiza vrednosti izotopske sestave ogljika v karbonatnih kamninah osrednje Slovenije kaže, da se vrednosti v splošnem gibljejo med -2,0 ‰ in +4,1 ‰, s povprečno vrednostjo +2,2 ‰. Nihanje je relativno majhno, s standardnim odklonom 1,2 ‰.

Obstajajo relativno velike razlike v $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$ glede na starost kamnin in s tem po stopnji diagenese med posameznimi skupinami dolomitov, ki se jih da razložiti predvsem z zgodnje- in poznodiagenetskimi spremembami dolomitov. Zgodnjediagenetski dolomiti imajo relativno višje vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$. Najnižje vrednosti imajo cordevolski in baški dolomiti, najverjetneje zaradi pozne diagenese, pri kateri je skozi že litiificirane dolomite krožila meteorna voda z nižjo izotopsko sestavo ogljika ter posledično znižala vrednosti $\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$.

V naši raziskavi smo izotopsko sestavo anorganskega ogljika v karbonatih ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CaCO}_3}$) in izotopsko sestavo raztopljenega anorganskega ogljika ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) uporabili za izračun deleža doprinosa ogljika iz raztapljanja karbonatov in iz organske snovi v kraško-razpoklinske vodonosnike. Deleža se gibljeta okrog 50 %. Deleža doprinosa organske snovi v podzemne vode kraško-razpoklinskih vodonosnikov je pomemben, ker podaja stopnjo infiltracije vode. Višji deleži doprinosa ogljika iz razgradnje organske snovi z vrednostjo $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -14,6 ‰ nakazujejo na infiltracijo vode čez preperinski sloj, medtem ko v nasprotnem primeru nižji deleži doprinosa ogljika

iz razgradnje organske snovi z vrednostmi $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ -8,2 ‰ nakazujejo na manjšo debelino preperine in hitro infiltracijo vode.

V tej raziskavi smo se osredotočili samo na ogljikov (organski in anorganski) cikel v sistemu tla-kamnina-kraško-razpoklinski vodonosnik. Za nadaljnje raziskave predlagamo večje število vzorcev in skupin, ki v tem prispevku niso bile dovolj številčno zastopane ter meritve izotopske sestave kisika ($\delta^{18}\text{O}$) v kamninah.

Zahvale

Zahvaljujemo se Agenciji RS za raziskovanje (ARRS) za financiranje raziskovalnega projekta »Hidrogeokemična sestava in evolucija podzemnih vod v kraško-razpoklinskih vodonosnikih« (Z1-3670) in programske skupine »Kroženje snovi v okolju, snovna bilanca in modeliranje okoljskih procesov ter ocena tveganja« (P1-0143).

Literatura

- ATEKWANA, E.A., KRISHNAMURTY, R.V. 1998: Seasonal variations of dissolved inorganic carbon and $\delta^{13}\text{C}$ of surface waters: application of a modified gas evaluation technique. *Journal of Hydrology*, 205: 260-278.
- CAPASSO, G., FAVARA, R., GRASSA, F., INGUAGGIATO S. & LONGO, M. 2003: Automated technique for preparation and measuring stable carbon isotope of total dissolved inorganic carbon in water samples ($\text{d}^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$). In: 7th International Conference on Gas Geochemistry, Freiberg,

- Germany, 22-26 September, Programme & Abstract Book: 38 p.
- CARTWRIGHT, I., WEAVER, T.R., CENDÓN, D.I., FIFIELD, L.K., TWEED, S.O., PETRIDES, B. & SWANE, I. 2012: Constraining groundwater flow, residence time, inter-aquifer mixing, and aquifer properties using environmental isotopes in the southeast Murray Basin, Australia. *Applied Geochemistry*, 27: 1698-1709, doi:10.1016/j.apgeochem.2012.02.006.
- COPLIN, T.B., 1996. New guidelines for reporting stable hydrogen, carbon, and oxygen isotopes ratio data. *Geochimica cosmochimica acta*, 60/17: 390-3360.
- DOLENEC, M. 2004: Permsko-triasna meja v Karavankah in zahodni Sloveniji: sedimentološki, izotopski in geokemični vidiki globalnih sprememb v zahodni Tetidi: Doktorska disertacija. Naravoslovnotehniška fakulteta Ljubljana: 110 p.
- DOLENEC, T., OGORELEC, B. & PEZDIČ, J. 1981: Zgornjepermske in skitske plasti pri Trziču. *Geologija*, 24/2: 217-238.
- DOLENEC, T., PEZDIČ, J. & KUŠEJ, J. 1993: Izotopska sestava kisika in ogljika v karbonatih mežiškega rudiča Graben. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 40/1-2: 133-144.
- GAMS, I. 2004: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Založba ZRC SAZU, Ljubljana: 515 p.
- GIESKES, J.M. 1974: The alkalinity-total carbon dioxide system in seawater. In: GOLDBERG E.D. (ed.): *Marine Chemistry. Volume 5 of the Sea*. John Wiley and Sons, New York: 123-151.
- GRAD, K. & OGORELEC, B. 1980: Zgornjepermske, skitske in anizične kamnine na žirovskem ozemlju. *Geologija*, 23/2: 198-220.
- KANDUČ, T. 2006: Hidrogeokemične značilnosti in kroženje ogljika v porečju reke Save v Sloveniji: Doktorska disertacija. Naravoslovnotehniška fakulteta Ljubljana: 141 p.
- KANDUČ, T., KOCMAN, D. & OGRINC, N. 2008: Hydrogeochemical and stable isotope characteristics of the river Idrijca (Slovenia), the boundary watershed between the Adriatic and Black seas. *Aquatic Geochemistry*, 23, 3685-3698, doi:10.1007/s10498-008-9035-2.
- KANDUČ, T., MORI, N., KOCMAN, D., STIBILJ, V. & GRASSA, F. 2012: Hydrogeochemistry of Alpine springs from North Slovenia: Insights from stable isotopes. *Chemical Geology*, 300-301/1: 40-54, doi:10.1016/j.chemgeo.2012.01.012.
- KANDUČ, T., GRASSA, F., MCINTOSH, J., STIBILJ, V., ULRICH-SUPOVEC, M., SUPOVEC, I. & JAMNIKAR S. 2013a: A geochemical and stable isotope investigation of surface-groundwater interactions from the Velenje basin, Slovenia. *Hydrogeology Journal*, In press.
- KANDUČ, T., BURNIK ŠTURM, M. & MCINTOSH, J. 2013b: Chemical dynamics and evaluation of biogeochemical processes in alpine river Kamniška Bistrica, North Slovenia. *Aquatic geochemistry*, 19: 323-346, doi:10.1007/s10498-013-9197-4.
- MALI, N. & URBANC, J. 2006: Uporaba stabilnih izotopov za študij toka podzemne vode v nezasičeni coni prodnega vodonosnika Selniške Dobrave. *Geologija*, 49/2: 371-381, doi:10.5474/geologija.2006.026.
- MCCREA, J.M. 1950: On the isotopic chemistry of carbonates and paleotemperature scale. *Earth Planetary Science Letters*, 19: 373-376, doi:10.1063/1.1747785.
- MOOK, W.G., BOMMERSON, J.C., STAVERMAN, W.H. 1974: Carbon isotope fractionation between dissolved bicarbonate and gaseous carbon dioxide. *Earth Planetary Science Letters*, 22: 169-176.
- OGORELEC, B. 2001: Karbonatne kamnine: njihov nastanek in razširjenost v Sloveniji. *Društvene novice: glasilo Društva prijateljev mineralov in fosilov Slovenije*, 26: 15-20.
- OGORELEC, B. 2011: Mikrofacies mezozojskih karbonatnih kamnin Slovenije. *Geologija*, 54/2: 1-136, doi:10.5474/geologija.2011.011.
- OGORELEC, B., DOLENEC, T., CUCCHI, F., GIACOMICH, R., DROBNE, K. & PUGLIESE, N. 1995: Sedimentological and Geochemical Characteristics of Carbonate Rocks from the K/T Boundary to Lower Eocen in the Karst Area (NW Adriatic Plate). In: *Zbornik radova proceedings 2, Opatija, oktober 1995*. Institut za geološka istraživanja, Hrvatsko geološko društvo, Zagreb: 415-421.
- OGORELEC, B., DOLENEC, T. & PEZDIČ, J. 2000: Izotopska sestava O in C v mezozojskih karbonatnih kamninah Slovenije - vpliv faciesa in diagenese. *Geologija*, 42: 171-205, doi:10.5474/geologija.1999.012.
- O'NEIL, J.R. 1979: Stable Isotope Geochemistry of rocks and minerals. In: JAGER, E. & HUNZINGER, J.C. (eds.): *Lectures in isotope geology*. Springer, Berlin: 235-263.
- PEZDIČ, J. 1997: Recharge and Retention Time Study of a Partly Karstified Area of Boč (Eastern Slovenia) using hydrogen, oxygen and carbon isotope composition as the Natural Tracers. *Isotopes in the Environmental and Health Studies*, 33, 293-306, doi:10.1080/10256019708234040.
- PEZDIČ, J. 1999: Izotopi in geokemijski procesi. Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana: 269 p.
- SKABERNE, D., RAMOVŠ, A. & OGORELEC, B. 2009: Srednji in zgornji perm. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (eds.): *Geologija Slovenije*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 137-154.
- URBANC, J., PEZDIČ, J., JUREN, A. & PRESTOR, J. 1992: Isotopic study of relation between the Rižana spring and waters from its vicinity. In: HOTZL, H. & WERNER, A. (eds.): *Tracer Hydrology*, Balkema, Rotterdam: 295-198.
- URBANC, J. & JAMNIK, B. 1999: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. *Geologija*, 41: 355-364, doi:10.5474/geologija.1998.018.
- URBANC, J. & LAJLAR, B. 2002: Interpretacija izvora podzemnih vod v premogovniku Velenje

- na osnovi izotopske sestave kisika, *Geologija*, 45/2: 595-598, doi:10.5474/geologija.2002.071.
- TRČEK, B. 2006: Izotopske raziskave na območju vodnega telesa Pivovarne Union. *Geologija*, 49/1: 103-112, doi:10.5474/geologija.2006.008.
- VERBOVŠEK, T. & VESELIČ, M. 2008: Factors influencing the hydraulic properties of wells in dolomite aquifers of Slovenia. *Hydrogeology Journal*, 16/4:779-795, doi:10.1007/s10040-007-0250-5.
- VERBOVŠEK, T. 2008a: Diagenetic effects on the well yield of dolomite aquifers in Slovenia. *Environmental Geology*, 53/6: 1173-1182, doi:10.1007/s00254-007-0707-9.
- VERBOVŠEK, T. 2008b: Koeficienti prepustnosti razpok in matriksa v slovenskih karbonatnih vodonosnikih = Hydraulic conductivities of fractures and matrix in Slovenian carbonate aquifers. *Geologija*, 51/2: 245-255, doi:10.5474/geologija.2008.025.
- YANG, C., TELMER, K. & VEIZER, J. 1996: Chemical dynamics of the St. Lawrence riverine system: δD_{H_2O} , $\delta^{18}O_{H_2O}$, $\delta^{13}C_{DIC}$, $\delta^{34}S_{sulfate}$ and dissolved $^{87}Sr/^{86}Sr$. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60/5: 851-866, doi: 10.1016/0016-7037(95)00445-9.

Heavy metal concentrations in soil in the vicinity of former ironworks in Spodnja Radovna, Slovenia

Vsebnosti težkih kovin v tleh na območju nekdanjih fužin v Spodnji Radovni, Slovenija

Tamara FERJAN STANIČ¹, Mihael BRENČIČ^{1,2} & Nina ZUPANČIČ²

¹Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia;
e-mail: tamara.ferjan-stanic@geo-zs.si

²Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto / Received 26. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 3. 12. 2013

Key words: ironworks, heavy metals, soil, Spodnja Radovna, Slovenia

Ključne besede: fužine, težke kovine, tla, Spodnja Radovna, Slovenija

Abstract

Mining and ore processing represent one of the main anthropogenic sources of heavy metals in Slovenia. To determine the environmental impact of iron ore processing activity in Spodnja Radovna, which finished at the end of the 19th century, a sampling campaign was carried out in the area of ironworks and along the river Radovna next to the ironworks. 45 soil samples were collected in three grids at various distances (10, 60 and 110 m) from the former blast furnace location and in two cross-valley profiles stretching from Pokljuka to Mežakla plateau. Along the river Radovna samples were collected 200 m upstream and downstream from the location of blast furnace. The analysis of heavy metal distribution in soil in the area of former ironworks and its vicinity confirmed the influence of former activities on the environment, since elevated concentrations of heavy metals, a distinctive feature of iron industry and tailings, were detected in a quite narrow area around iron foundry. While Cd and Pb indicate areal load of heavy metals in soil, concentrations of As, Cu, Hg and Zn are typical of point pollution sources, where the officially allowed limit and warning values are exceeded. The most significant threat to the environment as a consequence of iron ore processing activities are therefore sources of point pollution (tailings locations) in the ironworks area.

Izvleček

Rudarstvo in predelava rude predstavljata na področju Slovenije enega izmed glavnih vnosov težkih kovin v okolje. Z namenom določanja stopnje vpliva fužinarstva na območju Spodnje Radovne na okolje, je bilo izvedeno vzorčenje tal na območju nekdanjih fužin ter vzdolž reke Radovne. Vzorčeno je bilo na 45 lokacijah, določenih v treh vzorčnih mrežah od mesta nekdanjega plavža oddaljenih 10, 60 in 110 m, v dveh prečnih profilih od pobočja planote Pokljuka do pobočja planote Mežakle ter gorvodno in dolvodno od fužin ob strugi reke do oddaljenosti 200 m od plavža. Analiza prostorske razporeditve težkih kovin v tleh je potrdila vpliv dejavnosti na območju nekdanjih fužin na okolje. Povišane vsebnosti težkih kovin, značilnih za predelovalno industrijo železa in jalovino, se namreč pojavljajo v neposrednem območju plavža. Medtem ko vsebnosti Cd in Pb v tleh kažejo na razpršeno onesnaženje pa vsebnosti As, Cu, Hg in Zn kažejo na prisotnost točkovega onesnaženja, kjer so prekoračene zakonsko določene mejne in opozorilne vrednosti vnosa težkih kovin v tleh. Največje grožnjo za okolje kot posledico fužinarstva tako predstavljajo odlagališča jalovine v okolici fužin.

Introduction

In Slovenia there are 46 known mines and ore extraction locations with the largest ones located in Idrija (Hg ore), Mežica (Zn, Pb, Mo ore), Litija (Pb, Ag, Hg ore), Žirovski vrh (uranium ore) and Savske jame (Fe ore). Apart from mines and extraction locations there were also 25 processing plants and smelters present in the Slovenian area (BUDKOVIČ et al., 2003). Of all ores and minerals exploited in Slovenia, iron ore represents the most frequently used one, with around 18 different types identified. Small quantities of iron ore are present almost over



Fig. 1. Location of the investigated area

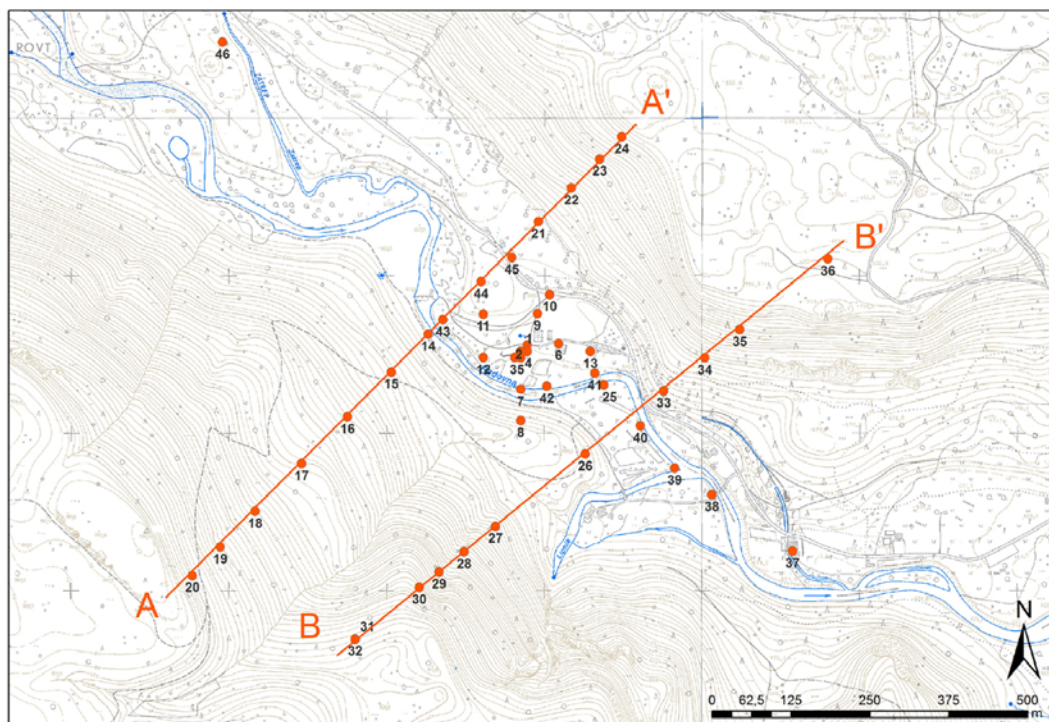


Fig. 2. The area of former ironworks in Spodnja Radovna with indicated sampling locations

the entire Slovenian area, while the largest localities are present in the foothills of the Triglav mountain, in Jelovica plateau and in Karavanke range (MOHORIČ, 1978). Limonite, also called »bobovec« due to its nugget shape, was the most frequently exploited iron ore in the Gorenjska region, which represented the center of iron ore extraction and processing, dating back to prehistoric times. At first iron was produced in low melting fireplaces with low furnaces. The quality of such iron was poor and needed extra handling to improve its usability and quality. Smelters realized that the height of the furnace was the controlling factor in ensuring an appropriate melting process and consequently good iron quality. With increasing progress in water power use, ironworks with large blast furnaces, sledgehammers and bellows were relocated to locations of higher discharge creeks and rivers. For this reason the ironworks in Spodnja Radovna next to the river Radovna was established in the 16th century. Due to industrial progress in iron industry, ironworks facilities in Spodnja Radovna were shut down in 1901 (KOKOŠIN, 1995).

In the last decades exploitation in almost all mines in Slovenia has been stopped and closing activities are still in progress. Environmental effects of ore processing were the subject of many studies (ŠAJN et al., 1998, ŠAJN, 2001, 2002, 2003; GOSAR & ŠAJN, 2001, 2003; ŠAJN & GOSAR, 2007; TERŠIČ & GOSAR, 2009) and big loads of heavy metals are evident locally (ŠAJN & GOSAR, 2004), proving that mining and ore processing were one of the main anthropogenic sources of heavy metals in the environment in Slovenia (BUDKOVIČ et al., 2003). *The decree on limit values, alert thresholds and critical levels of dangerous substances into the soil* (Official Gazette of the RS no. 68/1996, 41/2004) defines the limit, warning and critical values of heavy metal concentration in soil. The

limit value is the concentration of a certain harmful substance, which still ensures acceptable living conditions for plants and animals, where groundwater quality or soil fertility does not deteriorate, and effects on humans and the environment are still acceptable. The warning value represents the concentration of a harmful substance where in some cases of ground use damaging effects on human health or the environment might occur. The concentration of a harmful substance that reaches critical value can have damaging effects on human population or the environment and polluted grounds are no longer appropriate for crop production and water retention and filtration (Official Gazette of the RS no. 68/1996, 41/2004).

Previous investigations of soil heavy metal pollution in areas of the largest centers for mining and ore processing (Celje, Idrija, Jesenice, Mežica) showed that heavy metal concentrations did not exceed the officially allowed concentrations only in 7 % of the 466 km² of the investigated area. Official limit concentrations were exceeded in 18 %, warning concentrations in 59 % and critical concentrations in 16 % (ŠAJN & GOSAR, 2004).

From the geochemical point of view the former ironworks in Spodnja Radovna is situated in a poorly studied area, where the true environmental impact and consequences of past activities are not clearly specified. Additionally, the ironworks is located in the area of the Triglav national park with strict nature conservation and protection regimes. Therefore the presented detailed geochemical analysis and spatial distributions of heavy metals in upper ground soil horizons in the ironworks area, subjected to possible impact of the past activities, would disclose the actual degree of pollution from former activities as well as reveal the presence of potential problematic areas, representing tailings locations subjected to leaching of harmful substances.

Description of the investigated area

The area of former ironworks in Spodnja Radovna is located in SW Slovenia, 7 km NW of Bled at an altitude of 645 m.a.s.l. in the valley of the Radovna river (Fig. 1). Towards the north and the south the Radovna valley is bounded by two plateaus, Pokljuka and Mežakla, with steep slopes reaching up to around 1400 m. The valley was formed during glacial erosion and is now filled with alluvial and fluvio-glacial deposits. The width of the river Radovna alluvial bed varies between 50 and 600 meters, with the thickness of the Radovna alluvial deposits not exceeding 5 m. The area of Pokljuka and Mežakla plateaus consists of Triassic, mostly carbonate rocks, which represent the primary rocks of the area, while Quaternary deposits are present in the valley bottom and as diluvium on the slopes of the plateaus (DROBNE, 1975).

According to the soil classification (ČIRIČ, 1986) the prevailing soil types in the entire study area are rendzina (A – C profile) and brown soil on limestone and dolomite (A – B_(RZ) – C profile) with developed grass and mixed beech and spruce forest vegetation. While rendzina with poorly developed horizons is present on the slopes of the Pokljuka and Mežakla plateaus, quite thick brown soil on carbonates, rich in iron and aluminum oxides and clay, is present at the bottom of the valley. In the lower parts poorly sorted medium- to thick-grained pebbles are present. Due to variable morphology of the terrain, the depth of both soil types varies in short distances (DROBNE, 1975). Anthropogenic grounds (local gravel roads, forest roads, tailing spots, former residential buildings in the ironworks facilities) are also present in the area.

Materials and methods

Sampling and analytics

The sampling campaign was carried out in September 2006. Soil samples from 45 locations were collected in the area of ironworks, along the Radovna river and in two cross-valley profiles in the proximity. Sampling in the ironworks area was performed in three grids, with the location of ex-blast furnace being the center point. Soil samples were collected at distances of 10, 60 and 110 m from the blast furnace, and 200 m upstream and downstream from the blast furnace along the Radovna river (Fig. 2).

At each sampling location the upper organic horizon was removed and the soil sample collected to the depth of 30 cm regardless of the soil horizons. In cases of poorly developed soils (slopes of Mežakla and Pokljuka plateaus) samples were collected to the available depth, but the quantity of the sample remained the same. Sample preparation was conducted in accordance with generally accepted procedures recommended in the UNESCO project IGCP 259 (DARNLEY et al., 1994). The collected soil samples weighed around 1 kg, except at locations with well-developed soils, where 2-kg samples were taken. Soil samples

were air dried, halved and sieved (2 mm mesh) to remove possible remains of vegetation and rocks. Samples were then crushed and sieved to analytical granulation (<0.063 mm). Soil samples (n=45), repeated samples (n=6) and standard materials (BCR No109, CRM No141R, CRM No143R) (n=6) (IRMM, 2013) were coded prior to shipping to the laboratory to ensure an unbiased treatment of samples.

The chemical analysis of samples was conducted in the analytical laboratory ACMELabs Analytical Laboratories Ltd., Vancouver, Canada. Samples were analyzed for SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅, MnO, Cr₂O₃, Ba, Ni, Sc, trace elements (As, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Zn, Zr, Y), rare earth elements - REE (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) and loss on ignition (LOI). Multielemental analysis and trace element analysis (As, Bi, Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Zn) were conducted with inductively coupled plasma emission spectrometry (ICP-ES), while determinations of remaining trace elements and rare earth elements was conducted with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The loss on ignition was determined on the basis of sample loss after 1 hour of heating at 100 °C.

The detection limit for As and Zn was 1 mg/kg, for determinations of Cd, Mo, Ni, Pb and Co 0.1 mg/kg, and for Hg 0.01 mg/kg. Accuracy of the analytical method for the determination of heavy metals, studied in the presented paper, was estimated according to the calculation of relative error between the analyzed and recommended values of geological standards. The comparison of heavy metal concentrations in the analyzed standards and the recommended values generally show differences lower than 15 %. For precision control, relative differences in element determinations between duplicates of the same sample were studied. Precision was considered good, since relative differences for determinations of heavy metals were generally lower than 30 %. According to the satisfactory reliability of analytical procedures, determinations of soil heavy metal concentrations can be used in further data analyses.

Data treatment

Statistical package Statistica (StatSoft, Inc., 2013) was used for statistical analyses of the available dataset. Maps of spatial distribution of analyzed variables in soil were produced using the interpolation method of universal kriging with linear variogram (DAVIS, 2002) and created with software packages Surfer (Golden Software, Inc., 2013) and AutoCAD (AutoDesk, Inc., 2013).

Results

In the presented paper the focus is only on the concentrations and spatial distribution of heavy metals governed by the *Decree on limit values*,

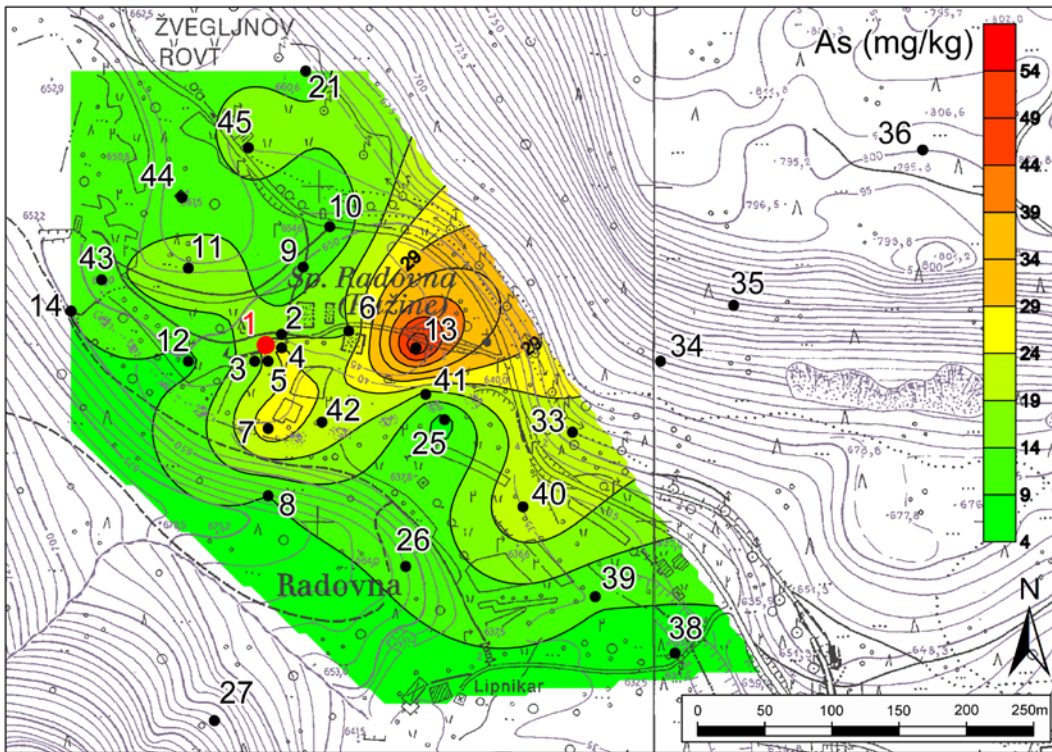


Fig. 3. Spatial distribution of As in soil samples in the area of former ironworks in Spodnja Radovna

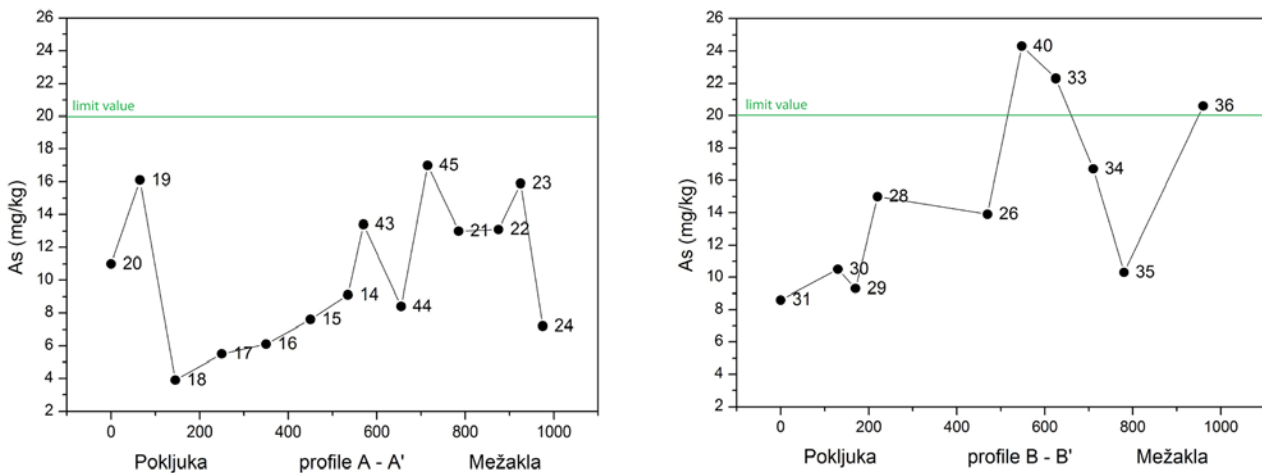


Fig. 4. As concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

alert thresholds and critical levels of dangerous substances into the soil (Official Gazette of the RS no. 68/1996, 41/2004) (Table 1), while a detailed investigation of remaining elements included in the soil analysis is given elsewhere (FERJAN, 2007). Detailed spatial distributions of heavy metals are shown only for the area of the ironworks and its proximity, since elevated concentrations of heavy metals are expected to occur within this area, where the largest impact of former activities is expected.

Table 1. Limit, warning and critical values for heavy metals in soil governed by the Decree on limit values, alert thresholds and critical levels of dangerous substances into the soil (Official Gazette of the RS no. 68/1996, 41/2004)

Element	Limit value (mg/kg)	Warning value (mg/kg)	Critical value (mg/kg)
As	20	30	55
Cd	1	2	12
Co	20	50	240
Cr	100	150	380
Cu	60	100	300
Hg	0,8	2	10
Mo	10	40	200
Ni	50	70	210
Pb	85	100	530
Zn	200	300	720

Arsenic - As

The highest As concentration which is almost at the critical value (Table 1) was determined at sampling point 13 (54.6 mg/kg), located 110 m from the former blast furnace – point 1 (Fig. 3). Elevated values of more than 20 mg/kg which exceed the officially allowed limit value for As are present in the area east of the blast furnace. The median value of As concentration in the area of former ironworks is 13.1 mg/kg. A comparison of the median As value in Radovna with the Slovenian median and the median for the Jesenice area (Table 2), which once represented the center of iron industry, shows comparable values with Slovenian average, while a comparison with the Jesenice median shows by almost 10 mg/kg lower value for the former ironworks area.

As concentrations in cross-valley profiles A-A' and B-B' (Fig. 4) compared to valley bottom show lower values. Somewhat higher concentrations of As in profile A-A' are present at sampling points 19 and 20 on the slope of the

Pokljuka plateau. The comparison between profiles shows higher As concentrations on the slopes of the Mežakla plateau. It can also be noted that in profile B-B', which lies southeast from the ironworks location, concentrations of As in the valley bottom are higher than in profile A-A'.

Cadmium – Cd

Concentrations of Cd with a median of 1.6 mg/kg are elevated in the entire area and exceed or are close to the warning value of 2 mg/kg (Table 1). The median value for the research area is higher than the Slovenian median (0.52 mg/kg), but with comparable ranges, and below the median value for the Jesenice area (3.7 mg/kg) (Table 2).

Cd concentrations in cross-valley profiles are generally lower compared to valley bottom (Fig. 5). Extremes are present at sampling points 19 and 22 in profile A-A'. A comparison of Cd concentrations in valley bottom shows higher values in profile B-B'.

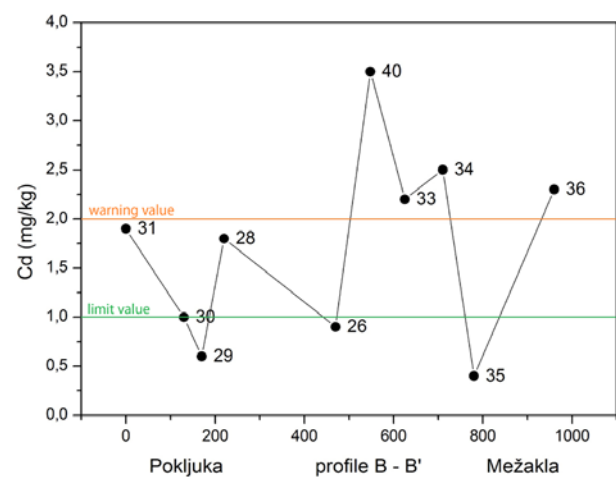
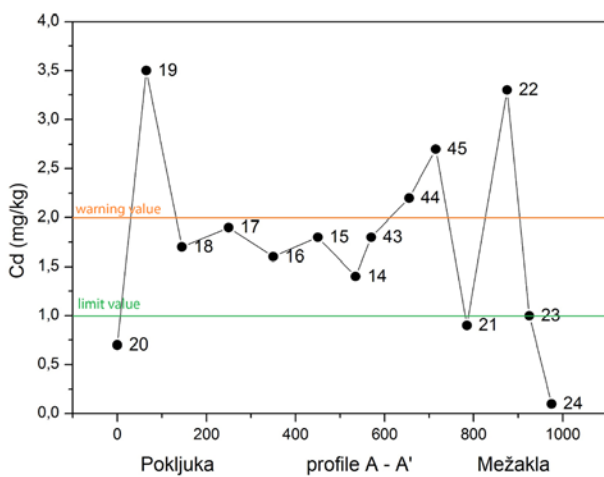


Fig. 5. Cd concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

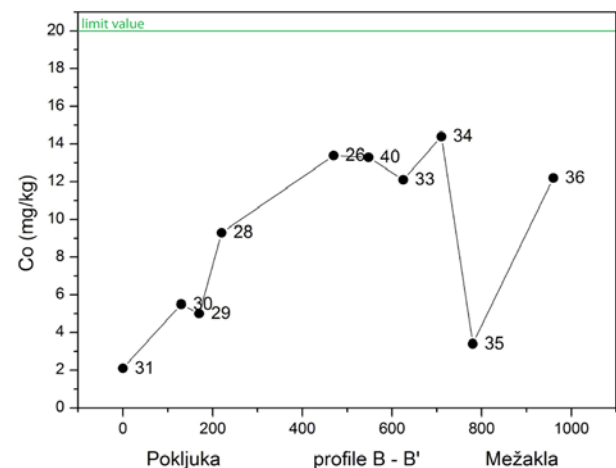
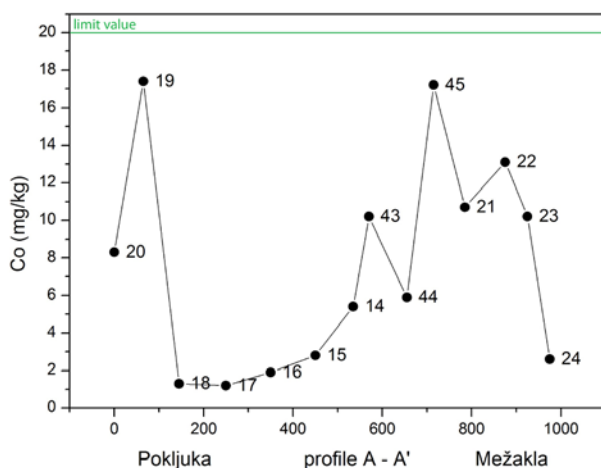


Fig. 6. Co concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

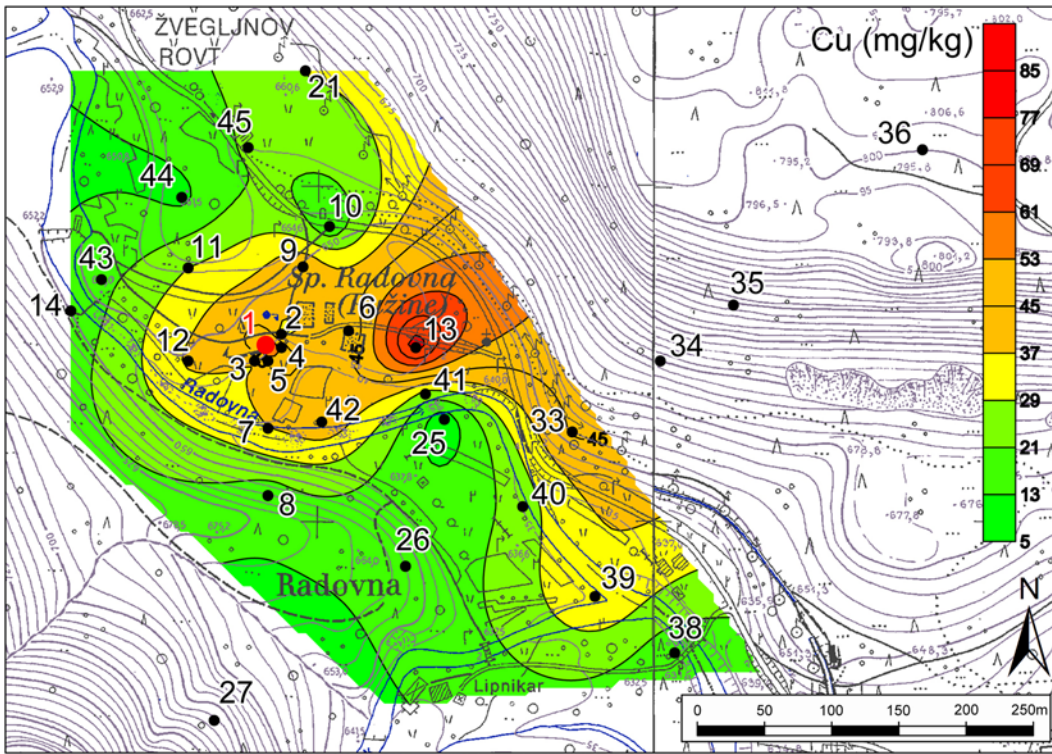


Fig. 7. Spatial distribution of Cu in soil samples in the area of former ironworks in Spodnja Radovna

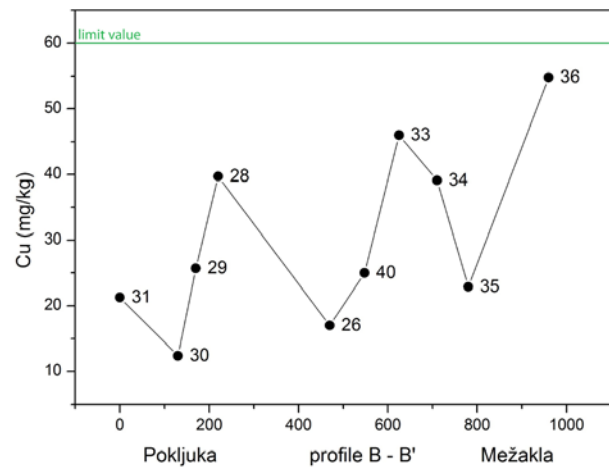
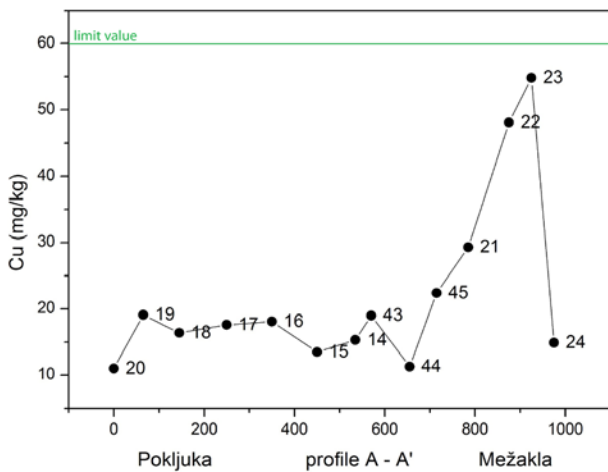


Fig. 8. Cu concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

Cobalt – Co

Co concentrations at all sampling points are below the limit value (20 mg/kg) (Table 1), with a median value of 6.3 mg/kg. The median value is also below the Slovenian median and the median value determined for the Jesenice area (Table 2). The distribution of Co in both cross-valley profiles (Fig. 6) shows elevated values on the slopes of the Mežakla plateau, while in the Pokljuka area concentrations in both profiles are lower, with the exception of locations 19 and 20. Valley bottom parts of the profiles show similar concentrations of Co.

Copper – Cu

Cu concentrations in the area are elevated at the location of former blast furnace (65.3 mg/kg)

and at sampling point 13 (83.1 mg/kg), located 110 m away (Fig. 7). In both cases concentrations exceed the officially allowed limit values for Cu (60 mg/kg) (Table 1). Values around 30 mg/kg are present in the entire ironworks area and show similar distribution as As, with elevated values in the eastern direction from the blast furnace. The median value of 24.4 mg/kg is below both compared areas (Slovenia, Jesenice) (Table 2).

Cu concentrations in profile A-A' show elevated values in the Mežakla slopes (location 22, 23), since higher values are present in profile B-B' over the entire profile, with extremes in the slopes of the Mežakla plateau, which are close to the official limit value of 60 mg/kg. The lowest values are present in the valley bottom, where concentrations in both profiles are comparable (Fig. 8).

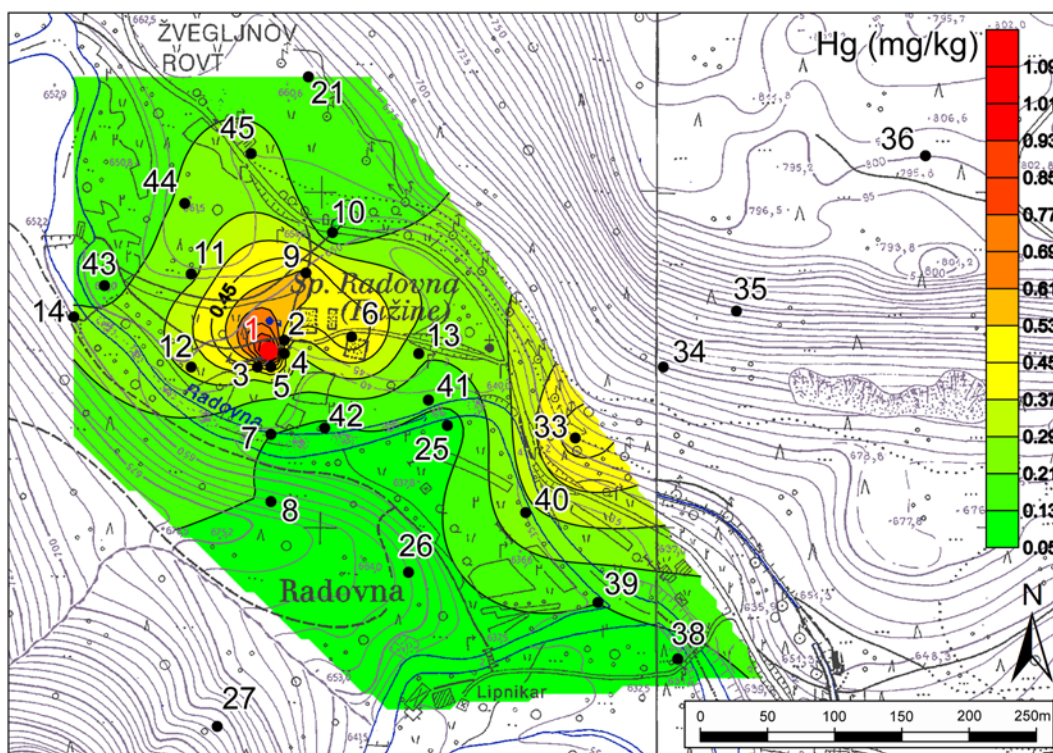


Fig. 9. Spatial distribution of Hg in soil samples in the area of former ironworks in Spodnja Radovna

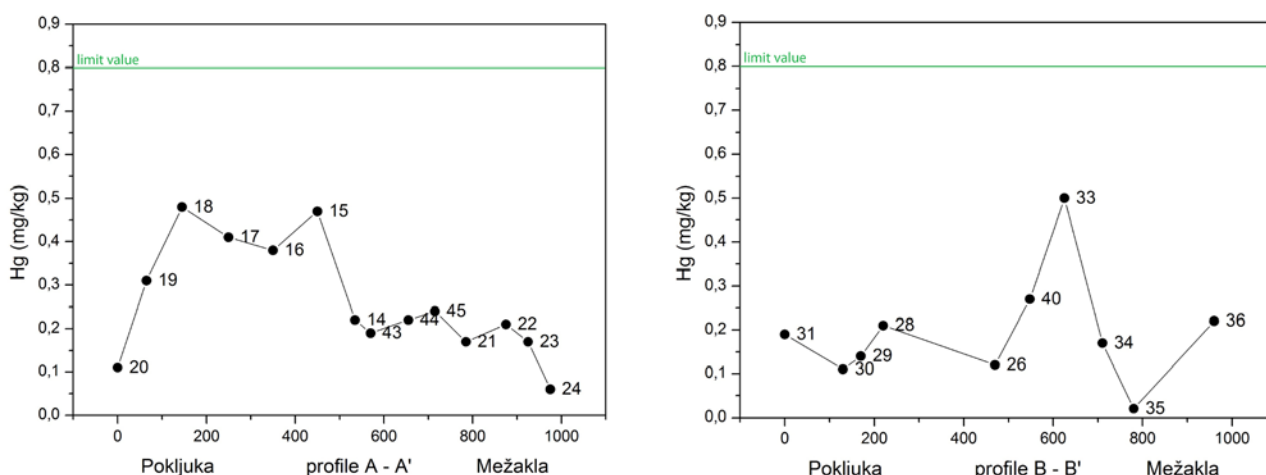


Fig. 10. Hg concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

Mercury – Hg

Hg concentrations with a median value of 0.21 mg/kg are below the median determined for Jesenice, but four times higher than the Slovenian median (0.066 mg/kg) (Table 2). The highest concentration of 1.2 mg/kg, which exceeds the officially determined limit value for Hg, was determined at the blast furnace location, while elevated values are present in the entire area of ironworks and in the southeastern direction from the blast furnace (Fig. 9).

In profile A-A' elevated concentrations of Hg are present in the slopes of the Pokljuka plateau, where values are significantly higher than in the valley bottom (Fig. 10). In profile B-B' Hg concentrations in the Mežakla and Pokljuka area are

comparable, with sampling point 33 on Mežakla slope as an extreme.

Molybdenum - Mo

Concentrations of Mo in the entire research area are far below the limit value of 10 mg/kg, having a median value of 0.8 mg/kg, comparable with the Slovenian median. The distribution of Mo over the cross-valley profiles shows no trends in distribution, while somewhat higher values were determined in profile B-B' (Fig. 11).

Nickel – Ni

Ni concentrations with a median value of 12.2 mg/kg are almost four times lower than the Slo-

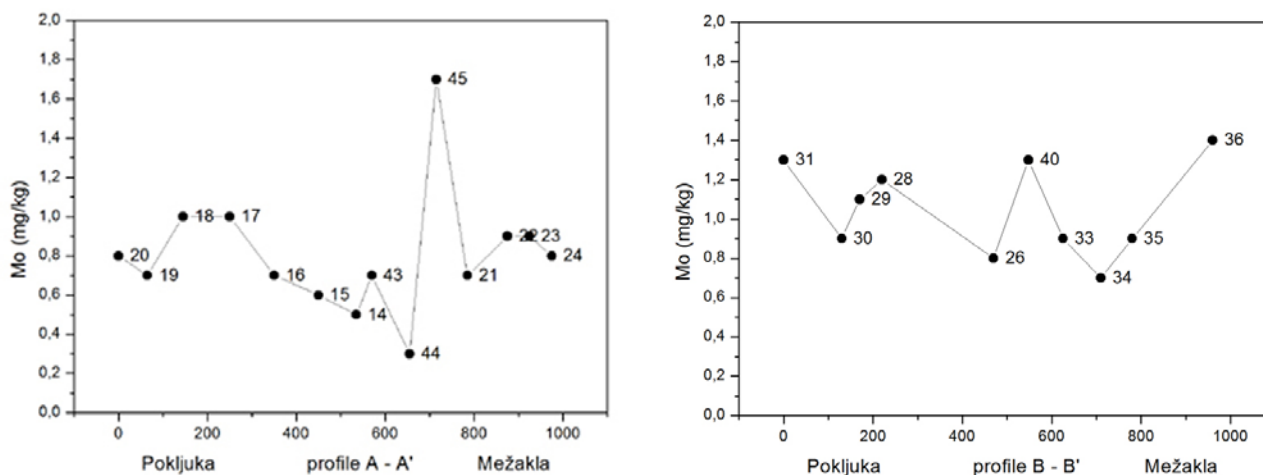


Fig. 11. Mo concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

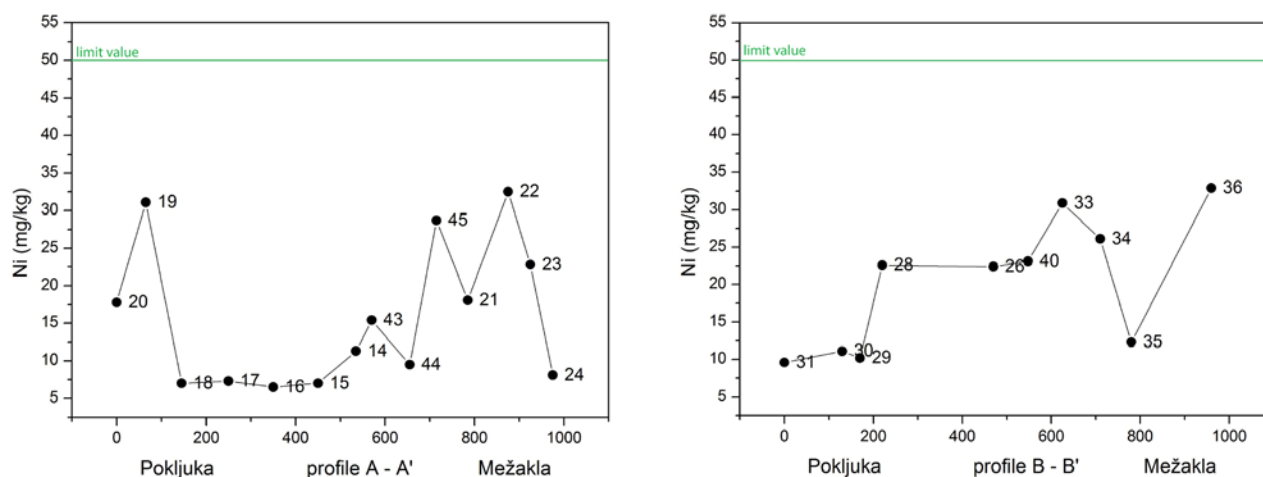


Fig. 12. Ni concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

venian median, and lower than the median for Jesenice (Table 2). In cross-valley profile comparison (Fig. 12) lower values are detected in the Pokljuka area in both profiles, while in the Mežakla area concentrations are higher. Elevated values in the Pokljuka area were identified at sampling points 19 and 20.

Lead - Pb

The median for Pb concentrations in the investigated area with a value of 62.6 mg/kg is above the Slovenian value (42 mg/kg) and almost ten times lower than the median for the Jesenice area (655 mg/kg) (Table 2). However, it does not exceed the official limit value (85 mg/kg). The highest Pb concentration was determined at sampling point 13 (468.1 mg/kg), similar to As and Cu, from where elevated concentrations are followed in the northeast direction (Fig. 13), where at sampling points 40 and 42 Pb concentrations are close to warning values (100 mg/kg).

Elevated concentrations of Pb are present in profile A-A' on the Pokljuka slopes (locations 16, 17, 18) where the warning value of 100 mg/kg is exceeded, while in profile B-B' values in the Pokljuka and Mežakla areas are similar (Fig. 14). Comparison of distributions of Pb in valley bottom shows enrichment in profile B-B'.

Zinc - Zn

The median of 84 mg/kg is lower than the Slovenian median and eight times lower than the Jesenice area median (708 mg/kg) (Table 2). Zn concentrations exceed the officially determined limit value at the location of blast furnace with a concentration of 221 mg/kg. Apart from the ironworks area, elevated values (>100 mg/kg) are also present in profile A-A' on the slopes of Pokljuka and Mežakla and in profile B-B' on the slopes of the Mežakla plateau (Fig. 15). Concentrations on the slopes are even higher than those in the valley bottom. Comparison of Zn concentrations in the valley bottom shows higher values in the bottom area of profile B-B'.

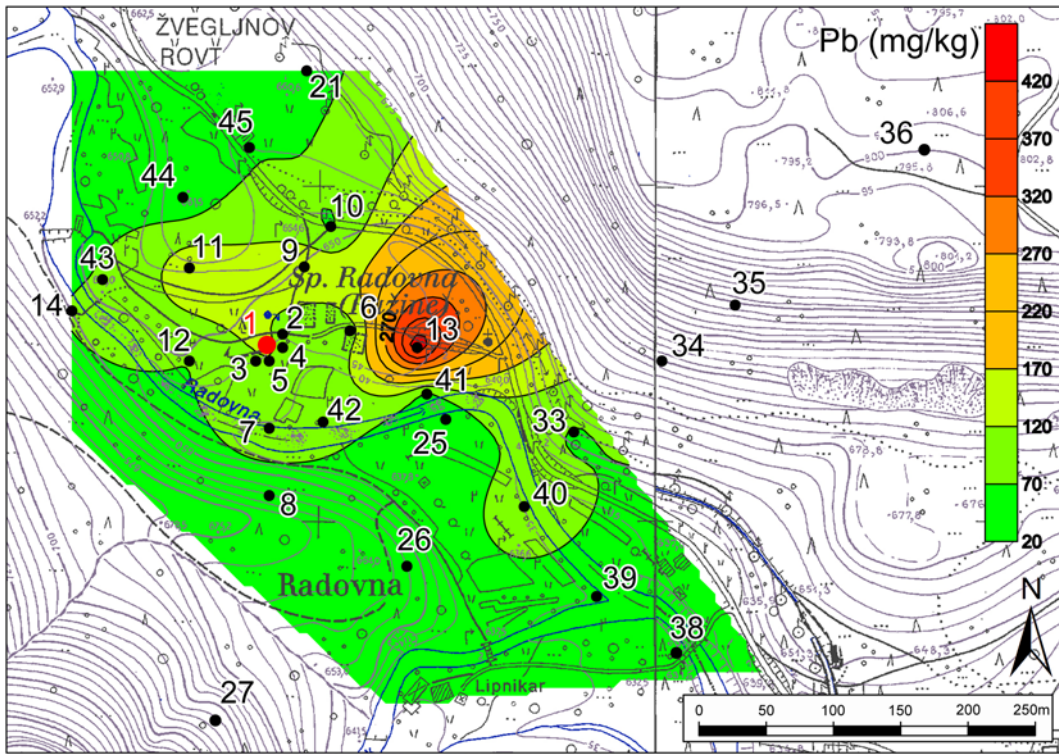


Fig. 13. Spatial distribution of Pb in soil samples in the area of former ironworks in Spodnja Radovna

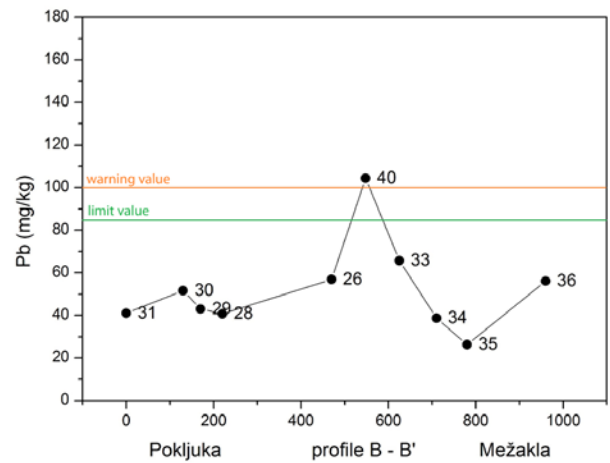
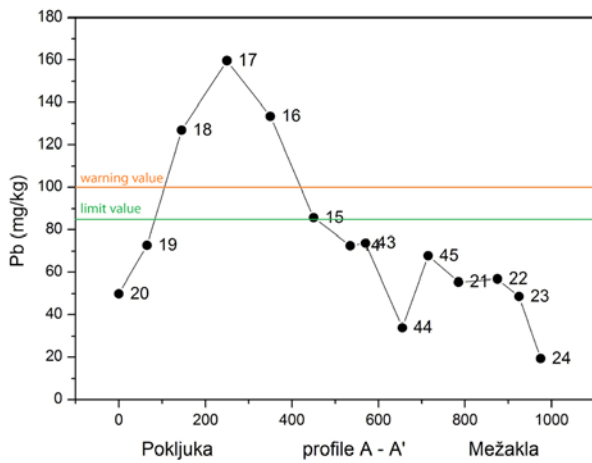


Fig. 14. Pb concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points: 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

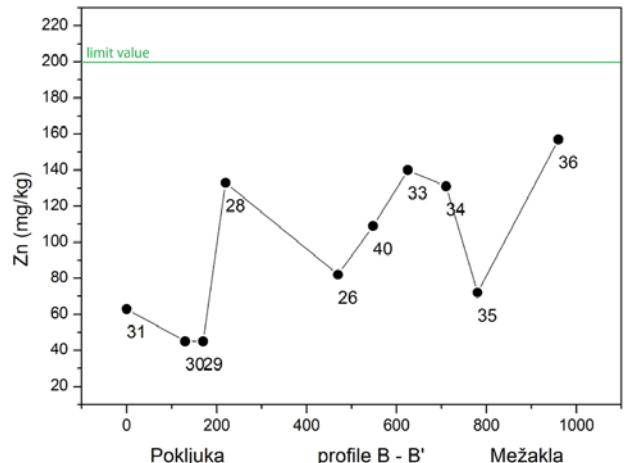
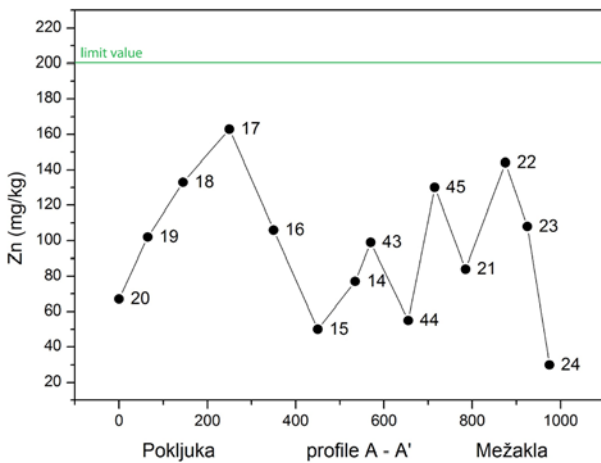


Fig. 15. Zn concentrations in cross-valley profiles A-A' (valley bottom points 14, 43, 44, 45, 21) and B-B' (valley bottom point: 40)

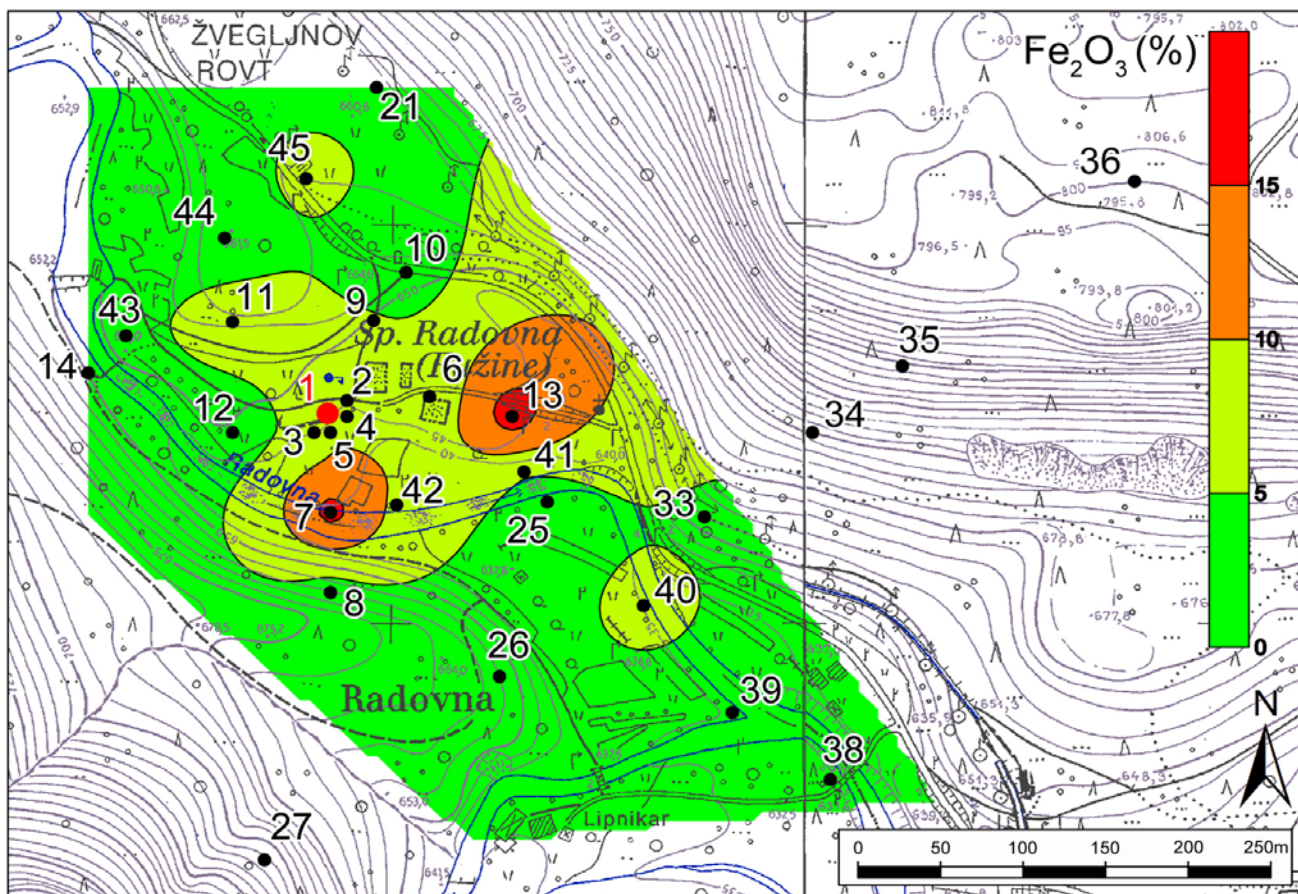


Fig. 16. Spatial distribution of Fe_2O_3 share in soil samples in the area of former ironworks in Spodnja Radovna

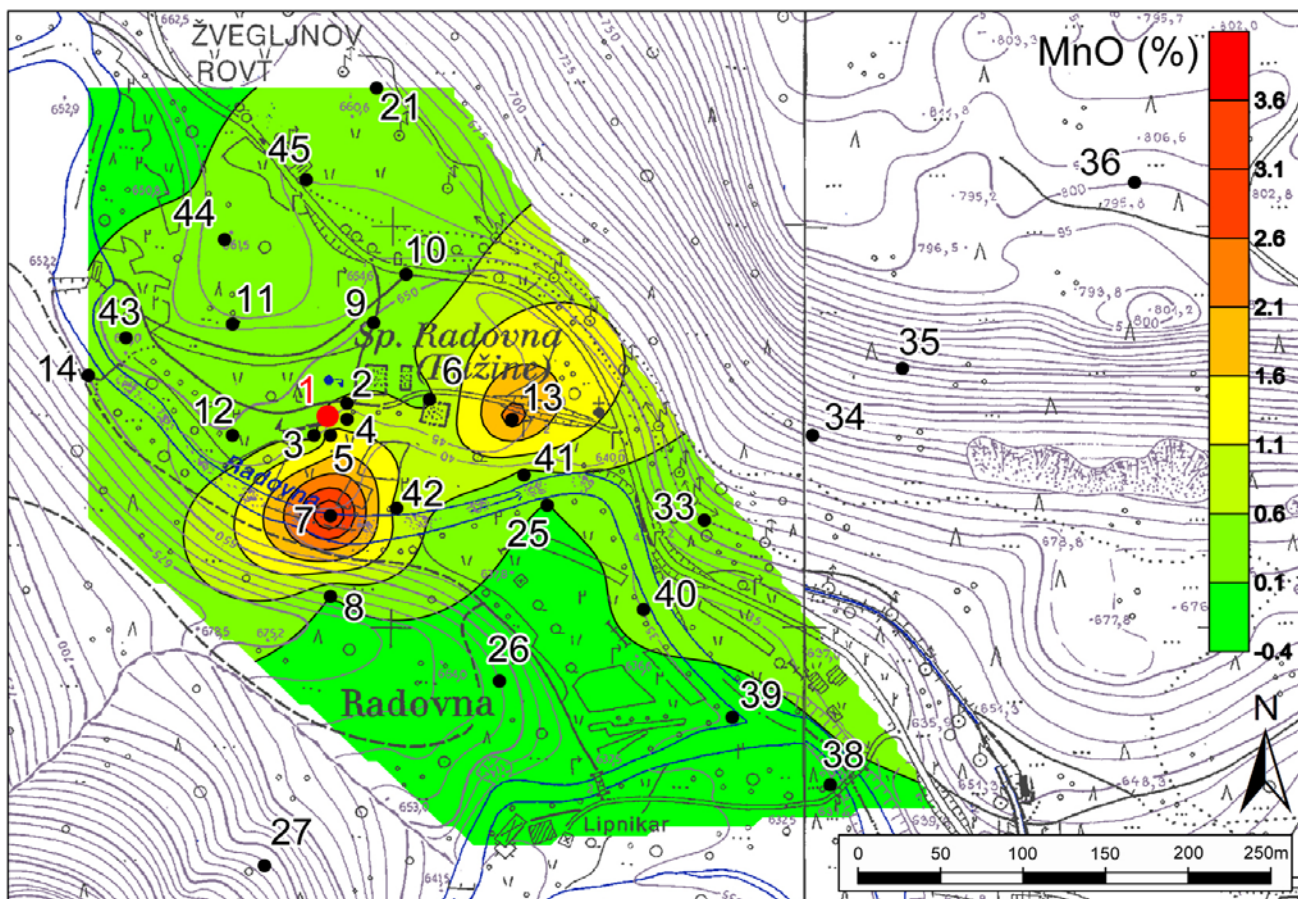


Fig. 17. Spatial distribution of MnO share in soil samples in the area of former ironworks in Spodnja Radovna

Table 2. Medians and ranges (in mg/kg) of heavy metal concentrations in Slovenia (ŠAJN, 2003) and investigated areas of Jesenice (ŠAJN & GOSAR, 2004) and former ironworks in Spodnja Radovna.

Element	Slovenia	n=59	Jesenice	n=59	Radovna	n=45
	median	min - max	median	min - max	median	min - max
As	15	6.0 - 37	22	7.1 - 76	13.1	3.9 - 54.6
Cd	0.52	0.15 - 2.0	3.7	2.1 - 8.7	1.6	0.1 - 3.5
Co	16	5.5 - 33	/	/	6.3	1.2 - 17.4
Cu	35	18 - 165	51	26 - 96	24.4	7.9 - 83.1
Hg	0.066	0.010 - 0.25	1.3	0.42 - 2.5	0.21	0.02 - 1.2
Mo	0.92	0.30 - 12	/	/	0.8	0.3 - 1.7
Ni	47	10 - 131	40	12 - 85	12.2	5.8 - 32.9
Pb	42	20 - 87	655	328 - 1866	62.6	7.4 - 468.1
Zn	124	75 - 215	708	375 - 1480	84	17 - 221

Additionally, a spatial distribution of iron and manganese oxide contents in soils from the ironworks area was displayed as both are additional indicators of possible pollution in the area. Their distribution, with two obvious distinctions at locations of sampling points 7 and 13 (Figs. 16, 17) and somewhat lower values in the entire ironworks area, implies an anthropogenic source connected with former iron processing activity in the area.

Impact of former ironworks on the environment

The high concentration of heavy metals and additionally their spatial distributions confirm the impact of ore processing activities in the former ironworks on the environment. The element showing an increased concentration in the entire ironworks area is Cd, with concentrations exceeding the officially determined limit and in some cases also warning values. Apart from the described situation of areal pollution, locations

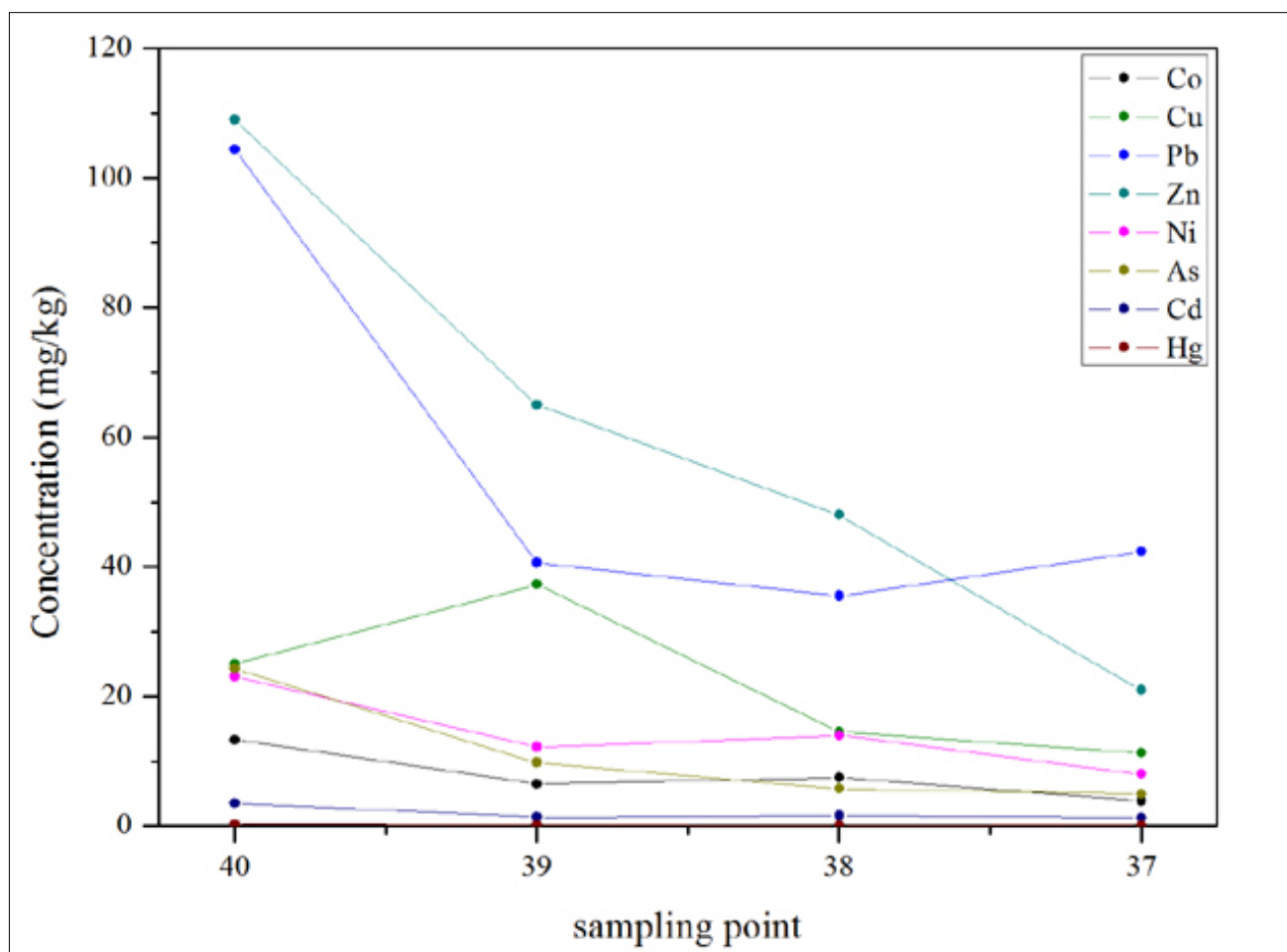


Fig. 18. Heavy metal concentration in downstream direction from the location of profile B-B' and blast furnace

of tailings deposition were identified. The location with the most extreme concentrations of As, Pb (both close to critical value), Cu (exceeded limit value) and additionally elevated Fe_3O_3 and MnO values, was sampling point 13, located 110 m from the blast furnace, in the southeastern part of the ironworks area. This area, stretching towards location 7 (Figs. 16, 17), was most probably the location intended for the deposition of tailings and now presents a source of point pollution. This was additionally confirmed by a comparison of cross-valley profiles A-A' and B-B', where in the valley bottom of the profile B-B' higher concentrations of As, Cd, Mo and Pb were detected. In the downstream direction from profile B-B' a rapid decrease in concentrations of heavy metals in soil is observed (Fig. 18). In the distance of around 200 m towards sampling point 37, concentrations of Zn decrease to around 20 % and of Pb to around 40 % from the initial concentration in sampling point 40.

Another distinctive location with elevated values of Cu, Hg and Zn is the location of blast furnace, where the concentrations of all elevated heavy metals exceed the official limit value. The analysis of heavy metal distribution in cross-valley profiles A-A' and B-B' revealed the presence of areas possibly affected by diffuse pollution. Slopes of the Mežakla plateau stretching in the northeastern direction from the ironworks area show higher concentrations of As, Co, Cu, Hg, Ni, Zn, while on the slopes of the Pokljuka plateau in the southwestern direction higher concentrations of Hg, Pb and Zn were detected. Pb concentrations in soil exceed the warning value of 100 mg/kg. A possible reason for elevated concentrations of analyzed heavy metals could be diffuse pollution taking place during iron ore processing activities in the ironworks, when air was the main transporter of pollution. Due to the quite steep slopes of the Mežakla plateau in comparison to Pokljuka, resulting in a more closed character of the valley in this area, air pollution had the greatest impact on soil composition in this part. However, the hinterland of Mežakla slopes as well as the Mežakla slopes on their own, represent locations with significant anthropogenic activity (residential facilities, local roads, forestry). The actual contribution to soil pollution due to activities in the ironworks is therefore hard to determine. Concentrations of Cu and Zn show even higher values on the slopes than in the valley bottom in the vicinity of the ironworks. There are some elevated concentrations of Cd, Co and Ni in profile A-A' (sampling points 19, 20) in the Pokljuka area, which are most probably of anthropogenic origin from a local contamination source and are not a consequence of ironworks activities.

Conclusions

The analysis of heavy metal distribution in soil in the area of former ironworks and its vicinity confirmed the influence of former smelting activities on the environment. Since the obtained con-

centrations of Co, Mo and Ni do not represent a threat to the environment, concentrations of Cd and Pb in the ironworks area and concentrations of As, Cu, Hg and Zn at point pollution sources exceed the officially allowed limit and warning values governed by the *Decree on limit values, alert thresholds and critical levels of dangerous substances into the soil* (Official Gazette of the RS no. 68/1996, 41/2004). In the slopes of Pokljuka (profile A-A'), elevated Pb concentrations in soil exceed the official warning values of 100 mg/kg.

The true impact of former iron ore processing activities in the area of ironworks is hard to determine. Higher concentrations of heavy metals, distinctive of iron industry and tailings, were detected in a quite narrow area around the ironworks. However, in the century from the closure of the foundry the area has undergone many changes, since diverse anthropogenic activities have taken place in the area. Residential buildings of the ironworks were, with breaks, inhabited long after closure, agricultural activities took place in the area, and traffic infrastructure has been developing, which could all contribute to the geochemical state of the environment. The most significant threat to the environment as a consequence of iron ore processing activities are therefore sources of point pollution (tailings locations).

Acknowledgements

Research work was conducted in the scope of research program Groundwater and Geochemistry (P1 – 0020) financed by the Slovenian Research Agency.

References

- AutoDesk, Inc. 2013: AutoCAD Map 3D, Version 2006 – Software. AutoDesk, Inc. (<http://www.autodesk.com>).
- BUDKOVIČ, T., ŠAJN, R. & GOSAR, M. 2003: Vpliv delujočih in opušenih rudnikov kovin in topilniških obratov na okolje v Sloveniji. *Geologija*, 46/1, 135– 140, doi:10.5474/geologija.2003.014.
- DARNLEY, A.G., BJÖRKLUND, A., BOLVIKAN, B., GUSTAVSSON, N., KOVAL, P.V., PLANT, J.A., STEINFELT, A., TAUCHID, M. & XUEJING, X. 1994: IGCP Project 259 & 360. Newsletter 6, IUGS UNESCO, Geological Survey of Canada, Ottawa: 15 p.
- DAVIS, J. C. 2002: Statistics and data analysis in geology, 3rd edition, New York: 638 p.
- DROBNE, F. 1975: Geološke in geotehnične raziskave k idejni študiji »Akumulacija Radovna«. Geological Survey of Ljubljana (Geološki zavod Ljubljana), Ljubljana, *unpublished*.
- ČIRIČ, M. 1986: Pedologija. SOUR Svjetlost, Sarajevo: 311 p.
- FERJAN, T. 2007: Geokemija tal na območju fužin v Radovni, Faculty for Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana.
- GoldenSoftware, Inc., 2013. Surfer (surface mapping system), Version 8 – Software. Golden Software, Inc. (<http://www.goldensoftware.com>).

- GOSAR, M. & ŠAJN, R. 2001: Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia). *Geologija*, 44/1, 137–159, Ljubljana, doi:10.5474/geologija.2001.010.
- GOSAR, M. & ŠAJN, R. 2003: Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia. *Journal de physique*, 107: 561–564, doi:10.1051/jp4:20020365.
- IRMM, 2013: Reference materials. Institute for reference materials and measurements (<http://irmm.jrc.ec.europa.eu/>).
- KOKOŠINEK, N. 1995: Zgodovina fužine v Radovni. *Jeseniški zbornik*, 7: 185–196.
- MOHORIČ, I. 1978: Problemi in dosežki rudarjenja na Slovenskem: zgodovina rudarstva in topilništva v stoletju tehnične revolucije. *Knjiga 1, Osnove rudarskega dela*. Založba Obzorja, Maribor: 281 p.
- Official Gazette of the RS no. 68/1996, 41/2004: *Decree on limit values, alert thresholds and critical levels of dangerous substances into the soil*. Official Gazette of RS 68/1996 as amended.
- StatSoft, Inc., 201x3. STATISTICA (Data Analysis Software System), version 6 – Software. StatSoft, Inc. (www.statsoft.com).
- ŠAJN, R. 2001: Geokemične raziskave tal in podstrešnega prahu na območju Celja. *Geologija*, 44/2: 351–362, Ljubljana, doi:10.5474/geologija.2001.027.
- ŠAJN, R. 2002: Vpliv rudarjenja in metalurške dejavnosti na kemično sestavo tal in podstrešnega prahu v Mežiški dolini. *Geologija*, 45/2: 547–552, doi:10.5474/geologija.2002.063.
- ŠAJN, R. 2003: Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. *Journal de Physique*, 107: 1173–1176, doi:10.1051/jp4:20030509.
- ŠAJN, R. & GOSAR, M. 2004: Pregled nekaterih onesnaženih lokacij zaradi nekdanjega rudarjenja in metalurških dejavnosti v Sloveniji. *Geologija*, 47/2: 249–258, doi:10.5474/geologija.2004.020.
- ŠAJN, R. & GOSAR, M. 2007: Onesnaženost tal v okolici Litije kot posledica rudarskih in metalurških dejavnosti ter naravnih danosti. *Geologija*, 50/1: 131–145, doi:10.5474/geologija.2007.011.
- ŠAJN, R., BIDOVEC, M., GOSAR, M. & PIRC, S. 1998: Geochemical soil survey at Jesenice area. *Geologija*, 41, 319–338, doi:10.5474/geologija.1998.016.
- TERŠIČ, T. & GOSAR, M. 2009: Preliminary results of detailed geochemical study of mercury at the ancient ore roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia). *Geologija*, 52/1: 79–86, doi:10.5474/geologija.2009.009.

Earthworm casts as a sampling medium – a case study from highly contaminated Hg roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia)

Deževnikovi iztrebki kot vzorčno sredstvo – primer uporabe na močno onesnaženem območju Hg žgalnice Pšenk (Idrijsko, Slovenija)

Tamara TERŠIČ & Mateja GOSAR

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

Prejeto / Received 8. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 18. 11. 2013

Key words: earthworm casts, soil, Hg contamination, enrichment factor, Idrija
Ključne besede: deževnikovi iztrebki, tla, onesnaženje, faktor obogatitve, Idrija

Abstract

In this study an interesting sampling medium - earthworm casts was examined in a highly Hg contaminated area. Enrichment factor (EF) has been applied to assess elevated concentrations of analyzed elements in earthworm casts and to determine elevated concentrations of these elements in soils and casts with regard to European average concentrations in topsoil. In a previous study (TERŠIČ & GOSAR, 2012) it was shown that Hg contents and dispersion in casts from studied roasting site are comparable to those in soil, which indicates that soil contamination is substantially reflected in contamination of earthworm casts. Therefore the comparison between elemental concentrations in earthworm casts and soil was investigated with the intention to assess the reflection of possible soil contamination in casts. Besides Hg contamination, elevated concentrations of As, Ca, Cd, Mo, Pb and U were also determined in earthworm casts. The calculated EFs show moderate enrichment of casts with Ca, Sr and P and minimal enrichment with Mg, Zn and Cu. Cast, SOM (surface organic matter rich soil layer) and soil enrichments with regard to the European averages show extreme enrichment of all studied media with Hg, followed by significant enrichment with Mo and Cd and moderate enrichment with As. Spatial distributions of analyzed elements in casts mostly show similar pattern as in soil, however, because of the different nature of different earthworm species and specific properties of different elements, the data about cast contamination can only serve as an approximate prediction about the dispersion and distribution of contaminant in soil.

Izvleček

Na močno obremenjenem okolju živosrebrne žgalnice v okolici Idrije smo raziskovali zanimiv vzorčni medij - deževnikove iztrebke. Faktor obogatitve (EF) smo uporabili za oceno povišanih vsebnosti analiziranih elementov v deževnikovih iztrebkih in tleh ter za primerjavo s povprečnimi vsebnostmi v tleh Evrope. Predhodna (TERŠIČ & GOSAR, 2012) in ta študija sta pokazali, da so Hg vsebnosti in prostorska porazdelitev v deževnikovih iztrebkih dobro primerljive z vsebnostmi in porazdelitvijo v tleh na raziskovanem ozemlju, kar kaže da se onesnaženje tal dobro odraža v vsebnostih v deževnikovih iztrebkih. Primerjavo med vsebnostmi kemijskih elementov v deževnikovih iztrebkih in tleh smo raziskovali z namenom, da bi ocenili stopnjo ujemanja vsebnosti elementov v deževnikovih iztrebkih in tleh. Poleg povišanega Hg smo določili tudi povišane koncentracije As, Ca, Cd, Mo, Pb in U v deževnikovih iztrebkih. Izračunani faktorji obogatitve (EF) so pokazali zmerno obogatitev v iztrebkih z Ca, Sr in P ter rahlo obogatitev z Mg, Zn in Cu. Vsebnosti v deževnikovih iztrebkih, vrhnjem z organsko snovjo bogatem sloju tal in tleh so glede na evropsko povprečje izjemno obogatene s Hg, sledijo obogatitve z Mo in Cd ter rahla obogatitev z As. Prostorske porazdelitve analiziranih elementov v deževnikovih iztrebkih kažejo večinoma podoben vzorec kot v tleh. Zaradi različne narave različnih vrst deževnikov in specifičnih lastnosti nekaterih elementov, lahko podatke o vsebnostih v deževnikovih iztrebkih uporabimo le kot približne napovedi o vsebnostih in porazdelitvi onesnaževal v tleh.

Introduction

Soils are the major sink for heavy metals released into the environment by anthropogenic activities; most metals released to the environment do not undergo microbial or chemical degradation,

and their total concentration in soils persists for a long time after their introduction (ADRIANO, 2003). Heavy metal contamination of soil may pose risks and hazards to humans and the ecosystem; the disturbance of the natural biogeochemical cycle of metals can lead to toxic effects on flora and fauna.

Earthworms are an essential part of the soil fauna, representing up to 80 % of the total biomass of the soil fauna and play an important role as decomposers, especially in forest ecosystems and in chemical element transformations (EDWARDS, 2004; ERNST et al., 2008; SIZMUR & HODSON, 2009). They can survive and reproduce in anthropogenically metal-contaminated soil (SPURGEON et al., 1994) and have a demonstrated ability to efficiently accumulate heavy metals from soils (NAHMANI et al., 2007; HOBBELEN et al., 2006).

It is well known that earthworms are of special importance for nutrient cycling, soil structure and transport processes. The first scientific observations on the effects of earthworms on soil structure were conducted by DARWIN (1881). He showed that earthworms have an ability to displace large amounts of soil and that by affecting the rate of weathering of rocks, humus formation and differentiation of the soil profile, they play a major role in soil formation. By feeding, burrowing and casting activities they contribute to the incorporation of organic residues or waste into the soil promoting decomposition and the release of nutrients to plants (KIZILKAYA, 2004). Earthworms consume organic matter and mineral particles and many of the species egest casts that are microbially very active and contain nutrients, which are readily usable by plants (EDWARDS, 2004). Earthworms are also known to significantly influence soil aggregate stability. They regulate SOM (soil organic matter) decomposition and soil erosion (JOUQUET et al., 2008).

Different species of earthworms have different life histories, occupy different ecological niches, and have been classified, on the basis of their feeding and burrowing strategies, into three ecological categories: epigeic, anecic, and endogeic (BOUCHÉ, 1977; FELLER et al., 2003; LEE, 1985). Anecic species live in deep burrows and feed primarily on decaying surface organic residues. The organic materials are mixed with minerals and lead to formation of stable organo-mineral structures within the casts. Endogeic earthworm species burrow extensively belowground and feed on soil enriched with organic matter. Portions of their burrows are often occluded with their casts, and occasionally they cast on the surface (SHIPITALO & LE BAYON, 2004; SIX et al., 2004). Epigeic species of earthworms have little effect on the structure of mineral soils. They live in organic soil horizons, in or near the surface litter, and feed primarily on coarse particulate organic matter. They ingest large amounts of undecomposed litter and excrete holorganic fecal pellets (DOMINGUEZ & EDWARDS, 2011). Generally, all three ecological groups of earthworms increase the mobility and availability of metals and metalloids in soils (SIZMUR & HODSON, 2009).

Recently, earthworms in contaminated soils have been a topic of many studies (ERNST et al., 2008; KAMITANI & KANEKO, 2007; UDOVIČ & LEŠTAN, 2007; ZHANG et al., 2009). Some laboratory experi-

ments with earthworms were also performed (BURTON et al., 2006; CHENG & WONG, 2002; DOMINGUEZ-CRESPO et al., 2012; KIZILKAYA, 2004; NAHMANI et al., 2005; ZORN et al., 2005), while investigations in non-contaminated sites are not so frequent (ERNST et al., 2008; RIEDER et al., 2011). Earthworms were proved to be a good biological indicator. They can be sampled easily, have a wide distribution range and strongly accumulate pollutants. However, the accumulation of metals varies between ecological categories and species (JÉGOU et al., 2001; KAMITANI & KANEKO, 2004). Earthworms are important for bioturbation as they bring to the surface minerals and soil materials from lower soil horizons and are depositing them on the soil surface as earthworm casts (JORDAN et al., 1997).

Earthworm casts as sampling medium

Casting occurs when earthworms ingest soil and leaf tissue to extract nutrients, and then emerge from their burrows to deposit the fecal matter (casts), as mounds of soil on the surface. 99.9 % of ingested material is egested as casts. Earthworm cast consists of mixed inorganic and organic materials from the soils that are voided after passing through the earthworm intestine (CHAUDHURI et al., 2009). Earthworm casts offer micro-environmental conditions very different from those occurring in the surrounding soil, resulting from both food selection and digestion process (KIZILKAYA, 2004). Casts, deposited on the burrow walls, within the burrow, or on the soil surface, usually contain more clay and less sand than the surrounding soil because of selective ingestion (SHIPITALO & LE BAYON, 2004). Earthworm casts also usually have higher bulk density than the soil (EDWARDS & BOHLEN, 1996; GÖRRES et al., 2001), and are higher in pH, contain more available nutrients, and have higher levels of microbial activity (SHIPITALO & LE BAYON, 2004).

Surface castings can serve as a direct indicator of earthworm activity. Environmental factors such as soil temperature, soil moisture and annual rainfall greatly influence cast production (CHAUDHURI et al., 2009).

Chemical and physical properties of casts have been investigated in many studies (BITYUTSKII & KAUDUN, 2008; BUCK et al., 1999; CHAUDHURI et al., 2009; JÉGOU et al., 2001; JOUQUET et al., 2008; OYEDELE et al., 2006; SCHRADER & ZHANG, 1997; ZORN et al., 2008). CHAUDHURI et al. (2009) reported that nutrient enrichment and physical properties of casts compared to the surrounding soil differed among the species. They suggested that the elevated levels of cations (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and Na^+) often observed in earthworm casts in the field (JOUQUET et al., 2008; OYEDELE et al., 2006) are probably due to selective feeding by earthworms on materials enriched in those cations (CHAUDHURI et al., 2009). Higher pH and organic carbon content were also observed in earthworm casts as compared to parent soil (BISHT et al. 2006; JOU-



Fig. 1. Example of surface earthworm cast at investigated roasting site Pšenk

QUET et al., 2008; OYEDELE et al., 2006; REDDY et al., 1997; SCHRADER & ZHANG, 1997). It was reported that casts are less water-stable than natural soil aggregates (SCHRADER & ZHANG, 1997) and that they contain finer textured materials compared with the parent soil in A horizon (OYEDELE et al., 2006).

Studies on metal contents in earthworm casts compared to surrounding soil are few (KIZILKAYA, 2004; SIZMUR et al., 2011; UDOVIČ & LEŠTAN, 2007; UDOVIČ et al., 2007; ZHANG et al. 2009; ZORN et al., 2005; TERŠIČ & GOSAR, 2012). Generally, an increased mobility of metals in earthworm casts was reported (KIZILKAYA, 2004; SIZMUR et al., 2011; UDOVIČ & LEŠTAN, 2007; UDOVIČ et al., 2007).

In this study we examined the applicability of earthworm casts as a sampling medium for estimating the soil contamination. The investigation was carried out at the ancient Hg ore roasting site Pšenk in the surroundings of Idrija, where extremely high total mercury concentrations in soils (up to 8,600 mg/kg) and soil organic matter (SOM) (up to 4,200 mg/kg) were determined in previous investigations (GOSAR & ČAR, 2006; TERŠIČ, 2010a; TERŠIČ et al., 2011; TERŠIČ & GOSAR, 2009). The contents and spatial distributions of 37 elements were determined in earthworm casts and compared to the contents in SOM and soil (0–15 cm) from investigated area.

The results of this investigation were partly published in TERŠIČ & GOSAR (2012) where Hg con-

tents and Hg spatial distribution in earthworm casts were compared to the Hg values in SOM and soil (0–15 cm) from the same highly contaminated area. Highly elevated Hg concentrations were determined in earthworm casts reaching as much as 4300 mg/kg; the contents were in the following order: soil > cast > SOM. It was shown that the contents and distribution in soil are strongly reflected in Hg contents and dispersion in earthworm casts, and that earthworm casts could be a suitable sampling medium for determining Hg soil contamination at this particular area (TERŠIČ & GOSAR, 2012).

In this work, enrichment factor (EF) has been applied to assess elevated concentrations of analyzed elements in earthworm casts at the small historical Hg roasting site (Pšenk) and to determine elevated concentrations of these elements in soils and casts with regard to European average concentrations in topsoil. Besides, we focused on the comparison of spatial distributions of analyzed elements in casts and soil in order to assess the reflection of soil contamination in casts.

Materials and methods

Sampling

Earthworm casts, deposited on top of the soil (Fig. 1), were collected at the ancient roasting site area Pšenk. Sampling was performed at the area of approximately 150 x 150 m (Fig. 2). Earthworm cast samples were collected at 32 sampling points in the research grid 30 x 30 m. At each sampling location on average 5 – 10 casts were collected in the 2.5 m radius to create the composite sample.

The detailed descriptions of the sampling area, sampling locations and elemental distribution in SOM and soil from the investigated area are given in the preliminary geochemical study at the Pšenk roasting site (TERŠIČ & GOSAR, 2009) and in the study of environmental influences of historical small scale ore processing at Idrija area (TERŠIČ, 2010a, TERŠIČ, 2010b, TERŠIČ et al., 2011). Earthworm cast sampling and elemental contents in casts as well correlation between elemental contents in earthworm casts, soil and SOM are presented in TERŠIČ & GOSAR (2012).

Soil characteristics

The prevailing soil types are Cambisols with typical A-B-C/R layers sequence. Visibly observed, soils are generally rich in organic matter to the depth of about 30 cm; deeper the clayey loam prevails. Depth to the parent material is mainly about 50 cm. At the surface there is a loose leafy litter resting on a brown granular horizon containing numerous earthworm casts. Boundaries between A and B horizon are mostly gradual and irregular. The more detailed description of soil characteristics can be found in TERŠIČ (2010b).

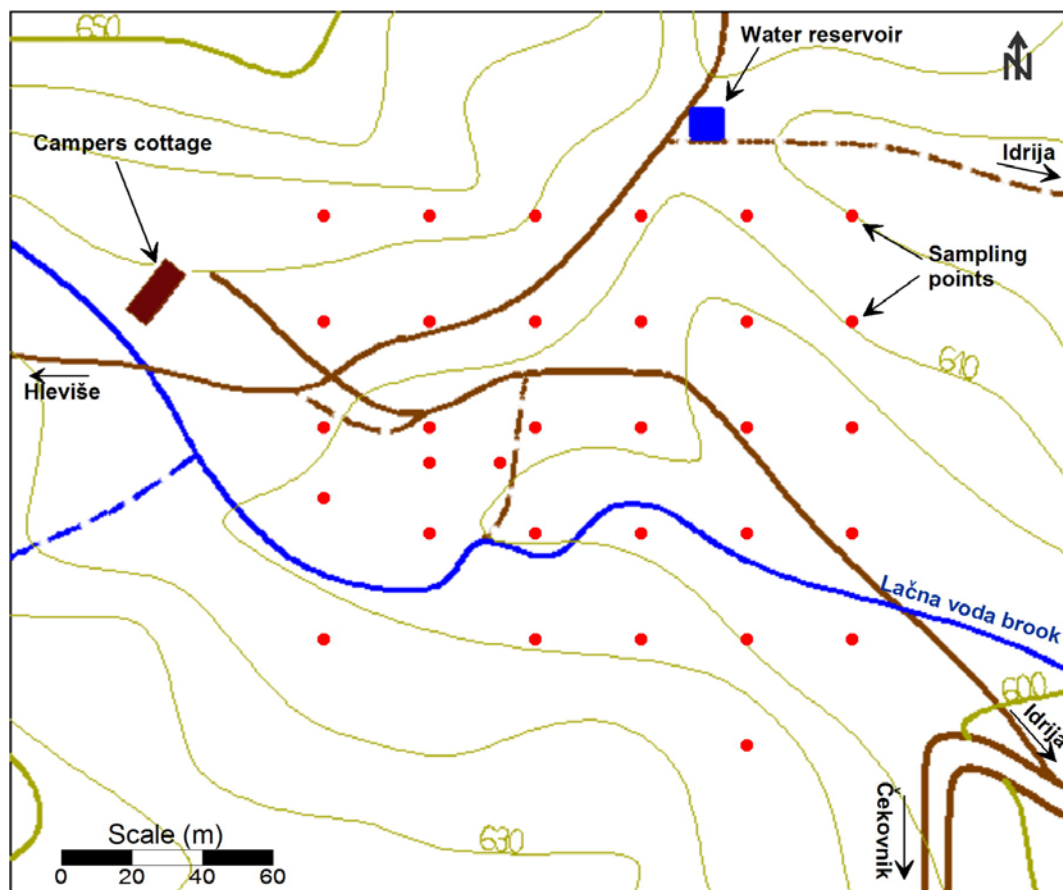


Fig. 2. Investigated roasting site at Pšenk with earthworm cast and soil sampling locations (reprinted from Teršič & Gosar, 2012, with permission from Elsevier)

Earthworm cast preparation

Earthworm cast samples were prepared in the same manner as SOM and soil samples in a previous investigation (TERŠIČ et al., 2011). The samples were air-dried and afterwards gently crushed in a ceramic mortar, sieved through a 2 mm mesh sieve and pulverized prior to chemical analysis (TERŠIČ & GOSAR, 2012).

Multielemental analysis

The powdered earthworm cast samples were submitted for chemical analysis to ACME Analytical Laboratories in Vancouver (Canada) accredited under ISO 9001:2000. Analysis for Hg and 36 chemical elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Te, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn) was performed with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) after aqua regia digestion. Samples with more than 50 mg/kg Hg were analyzed with ICP emission spectrometry (ICP-ES). Analysis of soil and SOM samples was performed in ACME laboratories in the same manner in 2008. Detailed description of soil and SOM samples analyses is given in TERŠIČ et al. (2011).

The accuracy and precision of the analytical methods were verified against standard reference materials (standards GXR-2 (Park City, Summit Co., Utah), GXR-5 (Somerset Co., Maine), GXR-6 (Davidson Co., North Carolina) and SJS-1 (San

Joaquin Soil)) (ABBEY, 1983; EPSTEIN, 1990) and duplicate samples in each analytical set. The shipment of samples, duplicates (n=4) and geological standards (n=4) to the laboratory was carried out in a random succession to distribute evenly any errors due to laboratory performance. This procedure ensured an unbiased treatment of samples and a random distribution of possible drift of analytical conditions for all samples. Objectivity was assured through the use of neutral laboratory numbers.

Detection limits were 1 mg/kg for Ba, Cr, Ga, La, Mn, Sr and Zn, 0.5 mg/kg for As and Se, 0.2 mg/kg for Te, 0.1 mg/kg for Ag, Bi, Cd, Co, Cu, Mo, Ni, Pb, Sb, Sc, Th, Tl, U, and W, 0.01 mg/kg for Hg, 0.01 % for Al, Ca, Fe, K and Mg, 0.05 % for S, 0.001 % for Na, P and Ti, 2 mg/kg for V, 20 mg/kg for B and 0.5 µg/kg for Au.

Accuracy (A) of the analytical method was estimated by calculating the absolute systematic error between the determined (X_a) and recommended values (X_p) of geological standards using equation (MEIER & ZÜND, 2000):

$$A = \frac{|x_a - x_p|}{x_p} 100 [\%]$$

Most elements determined in standards differ on average by less than 15 % from their recommended values in the sample concentration range. Only La has higher average deviation (31.4 %).

Precision (P) was tested by relative differences between pairs of analytical determinations (x_1 , x_2) of the same sample using equation (MEIER & ZÜND, 2000):

$$P = \frac{2 |x_1 - x_2|}{(x_1 + x_2)} 100 [\%]$$

The precision of analytical determinations is acceptable and is <20 % for all analyzed elements. The reliability of analytical procedures was considered adequate for using the determined elemental contents in further statistical analyses.

Statistical analysis

In order to better describe and interpret analytical results, descriptive statistics (mean, median, standard deviation, first and third quartile, maximum, minimum, frequency histogram and Kolmogorov and Lilliefors test for normality) were determined using Statistica 6.1 software to the database of earthworm cast, soil and SOM samples results. Although 37 elements were analysed, only 32 were considered in the statistical analysis. The rest of variables (Ag, B, Na, Ti, and Te) were excluded for having more than 30 % of observations below the method's detection limit and for not being considered relevant for this study.

Statistical normality of elemental distributions was estimated with Kolmogorov and Lilliefors test for normality and visually with the examination of shapes of histograms of natural and logarithmic values, with tests of skewness and kurtosis, and with comparison of average and geometric mean value with the median value.

Mapping/Kriging

Data analysis and production of maps were performed on a PC using the Statistica (ver. 6.1; StatSoft, Inc., USA), Autocad (ver. 2000) and Surfer (ver. 8.0; Golden Software, Inc., Colorado) software. The universal kriging with linear variogram interpolation method (DAVIS, 1986) was applied to construct the maps of spatial distribution of analyzed elements in earthworm casts and soil (0–15 cm). For class limits the percentile values of the elemental distribution in investigated samples were chosen. Seven classes of the following percentile values were selected: 0–10, 10–25, 25–40, 40–60, 60–75, 75–90 and 90–100.

The determined elemental contents in analyzed cast samples were compared to elemental contents in SOM and soil (0–15 cm) determined in previous investigation of environmental impact of historical ore roasting at Pšenk area (TERŠIČ et al., 2011). In order to perform an unbiased research, only the SOM and soil samples (n=32) taken from the same sampling locations as cast samples were used in comparison of descriptive statistics and construction of maps of spatial distribution of analyzed elements.

Enrichment factors

Enrichment factors (EF) of chemical elements in earthworm casts with respect to SOM and soil (0–15 cm) as also the cast, SOM and soil enrichment factors with respect to European soil averages (0–25 cm; SALMINEN et al., 2005) (EF_{Europe}) were calculated. The enrichment factor permits to classify the chemical elements in sample materials with regard to their origin – natural or man produced (FERGUSON & KIM, 1991). For the calculation of enrichment factors (EF) the following equations were used:

$$EF_{\text{SOM}} = C(\text{cast}) / C(\text{SOM})$$

$$EF_{\text{soil}} = C(\text{cast}) / C(\text{soil})$$

$$EF_{\text{Europe}} = C(\text{Pšenk area}) / C(\text{Europe})$$

$$C = C(\text{examined element}) / C(\text{reference element})$$

In the calculation of enrichment factor we used a reference element in order to obtain a more accurate result. An element is regarded as a reference element if it is of low occurrence variability and is present in the environment in trace amounts. The most common reference elements are Sc, Mn, Al and Fe (LOSKA et al., 1997).

Elements which are naturally derived have an EF value of nearly unity. The degree of contamination can be described using 5 categories: <2 depletion to minimal enrichment, 2–5 moderate enrichment, 5–20 significant enrichment, 20–40 very high enrichment and >40 extremely high enrichment (SUTHERLAND, 2000).

Certain shortcomings of using EFs as a means of recognizing and quantifying anthropogenic interference relative to natural element fluxes were stressed out by REIMANN & DE CARITAT (2000). EFs have been widely used in environmental sciences to derive the origin of elements in the atmosphere, seawater, soils, lake sediments or peat (REIMANN et al., 2005). Usually, the EF for a given element was calculated as the concentration of that element, divided by the concentration of the same element in the Earth's crust, normalized to a reference element (REIMANN & DE CARITAT, 2000). REIMANN & DE CARITAT (2000) demonstrated that due to the variation in the composition of the Earth's crust and the various processes of rock and soil formation, the EF is not precise enough to differentiate between geogenic and anthropogenic element sources.

In our investigation, the EF was calculated at each sampling location for all analyzed elements as the ratio between total element concentration in casts and SOM or soil from the same sampling location, normalized by concentrations of a reference element measured in the same media and the same sampling location. Besides, EF_{Europe} was applied in order to determine elevated concentrations of analyzed elements with respect to European average concentrations. Although European average elemental concentra-

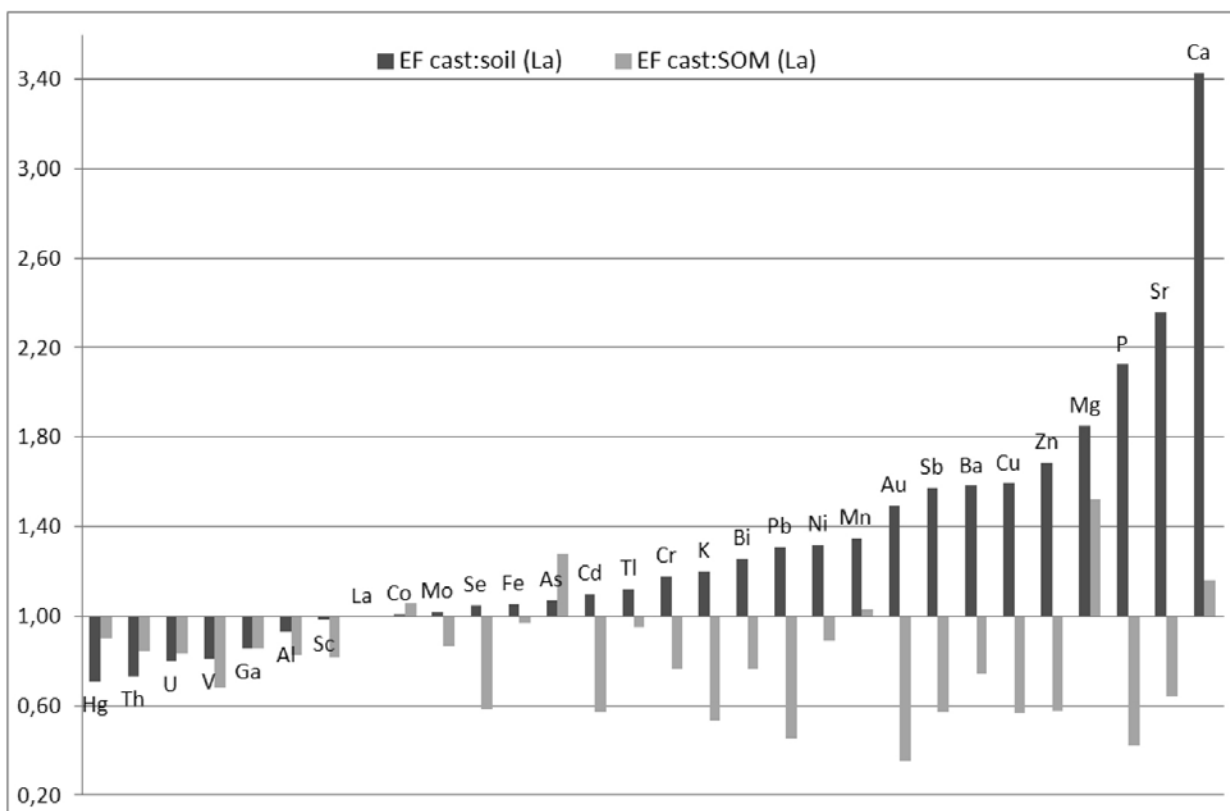


Fig. 3. Enrichment factor (EF) in earthworm casts with respect to soil and SOM

tions cannot be regarded as baseline elemental concentrations for this particular study, the comparison is needed for highlighting the importance of our results and for placing the study in a wider context.

Results and discussion

The univariate statistical results for all analysed elements in earthworm casts, SOM and soil (0–15 cm) of studied roasting site Pšenk and the comparison to Slovenian and European averages of chemical elements in soil are presented in TERŠIČ & GOSAR (2012). On the basis of the results of normality tests and visual inspection of distribution histograms for all elements in earthworm casts, as also with comparison of average and geometric mean values with the median values it was estimated that natural values of the following elements show normal distribution: Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, La, Mn, Ni, P, Pb, Sc, Sb, Th, V and Zn. For the rest of the elements (Au, Bi, Ca, Hg, K, Mg, Mo, S, Se, Sr, Tl, U and W) the logarithms of elemental contents were considered normally distributed.

Highly elevated Hg contents were determined in earthworm casts varying between 5.4 and 4,330 mg/kg with the median of 31 mg/kg. These values were lower than in soil where they reach the maximum of 8,600 mg/kg. Highly significant correlation between Hg contents in casts and soil was found ($r^2=0.75$). It was shown that Hg contents and distribution in casts are comparable to those in soil (TERŠIČ & GOSAR, 2012).

Beside Hg, elevated concentrations of As, Ca, Cd, Mo, Pb and U were also determined in earthworm casts. All of these elements except Ca express elevated concentrations also in soil and SOM samples from investigated roasting site (TERŠIČ & GOSAR, 2012). We do not have an explanation for elevated concentrations of As, Cd, Mo and Pb. Idrija ore deposit is classified as a monometal deposit (MLAKAR & DROVENIK, 1971); mercury is the only metal found in the Idrija ore deposit in economically important quantities, while other elements appear only in traces or insignificant quantities. Therefore high contents of above mentioned elements in studied soils are probably not the consequence of historical ore roasting, with the exception of uranium, whose increased concentrations might be the result of roasting extremely rich cinnabar ore from Skonca beds, which contain on average up to 7 times the average contents of radioactive elements such as uranium, radium, thorium and potassium, and also radon as a consequence of radioactive decay (MLAKAR & DROVENIK, 1971).

Contents of the rest of analyzed chemical elements in the earthworm casts are within the normal values for soils as also within Slovenian (ŠAJN, 2003) and European (SALMINEN et al., 2005) averages for soil.

For most of the analyzed elements the determined concentrations were in the order of soil > cast > SOM. Only Ca, Mg, P, Sr, Cu and Zn contents were higher in earthworm casts compared to soil and SOM. Contents of Pb were the lowest

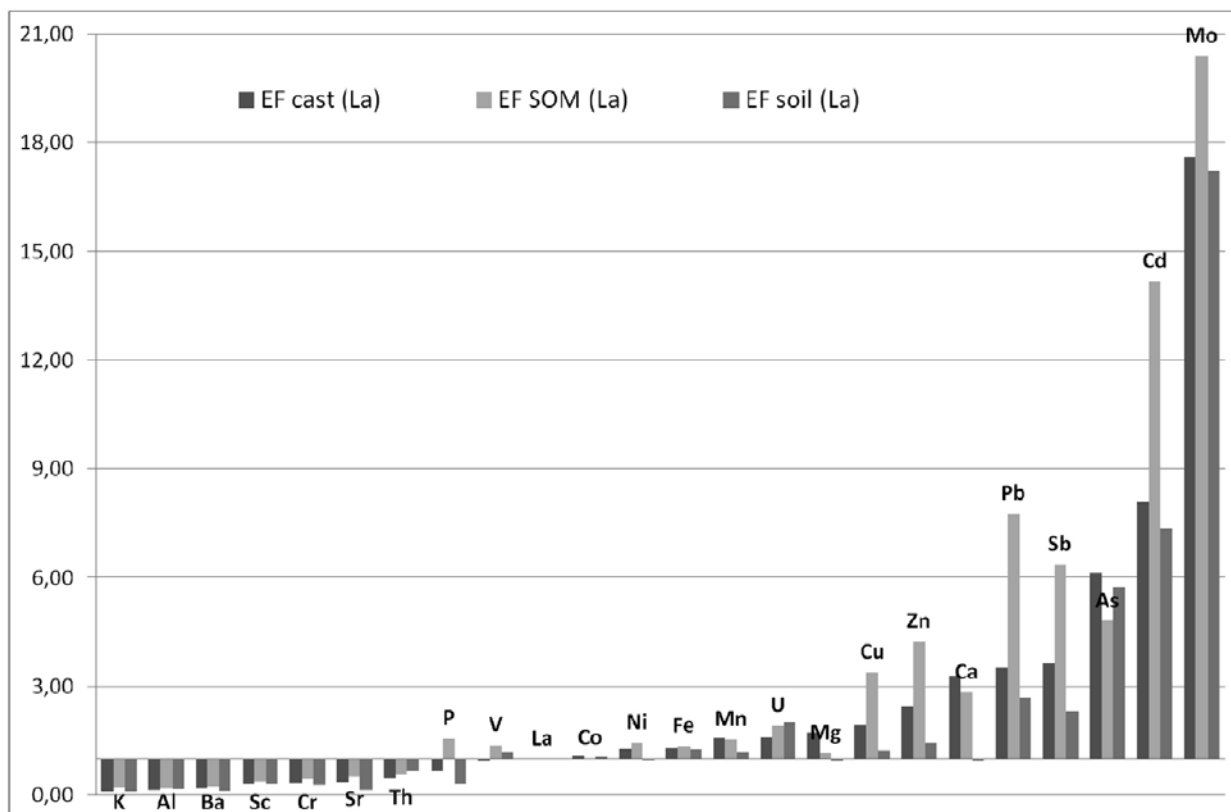


Fig. 4. Enrichment factors (EF) in cast, SOM and soil with regard to the European averages

in casts and the highest in SOM, while Se and K were the lowest in casts and the highest in SOM (TERŠIČ & GOSAR, 2012).

Enrichment factor

After the examination of spatial distributions of analyzed elements in casts and soil we decided to use La as a reference element in the calculation of enrichment factors, because it is not anthropogenically enriched and it represents a good example of the natural component of elemental distribution in the discussed area.

The factors of cast enrichment with regard to SOM and soil are shown in Fig. 3. The average enrichment factor (EF) in earthworm casts with respect to soil is the highest for Ca (3.4) followed by Sr (2.4) and P (2.1). These elements are moderately enriched with regard to soil. Minimal enrichment was calculated for Mg (1.85), Zn (1.69) and Cu (1.59). EFs above 1 were calculated also for Ba, Sb, Au, Mn, Ni, Pb, Bi, K, Cr, Tl, Cd, As, Fe, Se, Mo and Co. The lowest enrichment factors were calculated for Hg (0.71), Th (0.73), U (0.80), V (0.81), Ga (0.86), Al (0.93) and Sc (0.98). Enrichment factors with regard to SOM are low. EFs above 1 were calculated only for Mg (1.52), As (1.28), Ca (1.16), Co (1.06) and Mn (1.03).

Enrichment of earthworm casts with Ca and Mg contents compared to the soil was reported earlier (OYEDELE et al., 2006; JOUQUET et al., 2008). OYEDELE et al. (2006) and SCHRADER & ZHANG

(1997) ascribed the high Ca content of casts to the presence of calcite spheroids originating from earthworms' calciferous glands and to the incorporation of decomposed plant and animal debris which are usually rich in bases. However, CHAUDHURI et al. (2009) reported lower Ca values in casts compared to surrounding soil, suggesting that the elevated levels of Ca often observed in earthworm casts in the field are probably due to selective feeding by earthworms on materials enriched in those cations. Increase in P, particularly available P in the casts relative to that of surrounding soil was observed in investigations by BISHT et al. (2006), CHAUDHURI et al. (2009) and REDDY et al. (1997) and was assigned to enhanced phosphatase activities in the casts. Cu and Zn were also found to be enriched in casts compared to the soil (KIZILKAYA, 2004); it was shown that earthworms accumulate Cu and Zn when exposed to contaminated soil (ASH & LEE, 1980; KIZILKAYA, 2004).

Cast, SOM and soil enrichments with regard to the European averages (SALMINEN et al., 2005) are shown in Fig. 4. Extremely high EFs were calculated for Hg – the average is amounting to 1400 in casts, almost 1600 in SOM and almost 2000 in soil. Hg is followed by Mo (17 in casts and soil and 20 in SOM) and Cd (EF is 14 in SOM, 8.1 in casts and 7.4 in soil). In casts EFs above 2.0 were calculated also for As (6.1), Sb (3.6), Pb (3.5), Ca (3.3) and Zn (2.5). Similarly, in SOM Pb (7.8), Sb (6.4), As (4.8), Zn (4.2), Cu (3.4), Ca (2.8), and in soil As (5.7), Pb (2.7), Sb (2.3) and U (2.0) have EF above 2.0.

Calculated values of cast, SOM and soil EFs with respect to European averages do not indicate appreciable anthropogenic influences except for Hg which is highly enriched owing to ore processing activities. For Mo, a relatively wide range of average soil abundance (0.013 to 17 mg/kg) was reported (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001). Enrichment of Mo in cast, SOM and soil from the studied site with regard to European average Mo concentration in topsoil, could probably be explained with the known enrichment of Mo in soil on limestone in Slovenia, while low Mo values occur in central Finland, in the glacial drift area from the Netherlands to Poland and Lithuania, in eastern Hungary, south-western France, and small areas in Portugal, Spain and Greece with different geological substrates, which lowers the average European concentration (SALMINEN et al., 2005).

The average content of Cd in soil varies between 0.06 to 1.1 mg/kg, whereas the global mean for surface soil has been estimated to be 0.53 mg/kg, and apparently all higher values may reflect anthropogenic influences (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001). In investigated samples, the highest concentrations were measured in soils, where the maximum determined concentration was 2.8 mg/kg. In casts and SOM all determined concentrations were below the Slovenian warning value of 2 mg/kg (OFF. GAZ. RS 68/96). Enrichment of Cd in investigated samples with regard to European averages could be to some extent explained by geological characteristics. Cd enrichment could not be associated with anthropogenic sources such as industry or fertiliser use in agriculture, because the studied location lies in the remote forest area about 700 m height above sea level.

Of special interest and concern are elevated concentrations of As in all studied media at investigated roasting site (up to 65 mg/kg in casts and 116 mg/kg in soil). Global As contents in soil vary from 4.4 to 9.3 mg/kg; the lowest As levels are found in sandy soil and, in particular, those

derived from granite, whereas higher As concentrations often occur in alluvial soil rich in organic matter (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 2001). Naturally elevated levels of arsenic in soils may be associated with geological substrata such as sulphide ores. Mining, smelting of non-ferrous metals and burning of fossil fuels are the major industrial processes that contribute to anthropogenic arsenic contamination of air, water and soil. Historically, the use of arsenic containing pesticides has left large tracts of agricultural land contaminated (WHO, 2001). The median of soils presented in Geochemical Atlas of Europe is 6.02 mg/kg for subsoils and 7.03 mg/kg for topsoils (SALMINEN et al., 2005; Table 1). High As values in soils in certain parts of Europe are mainly associated with geology and mineralisation or with mining activities (SALMINEN et al., 2005). In Idrija and its surroundings As enrichments (concentrations from 7 to 57 mg/kg) were found in some areas in previous investigations (GOSAR & ŠAJN, 2005). No correlation with Hg was found, which was also the case in our study, so the origin of As in investigated area is still unknown.

Spatial distribution of analyzed elements in earthworm cast and soil

Contents of Ca, As and U in cast and soil of the studied roasting site show interesting distribution patterns. Besides, these elements are of interest because they show elevated concentrations in one or both of the studied media.

Spatial distribution of Ca in soil (Fig. 5a) shows the lowest concentrations (above 0.88 %) in the centre of the investigated area, where the highest Hg concentrations were determined (TERŠIČ et al., 2011). The highest values are in the SW part of the investigated area. Comparing spatial distribution of Ca in casts (Fig. 5b) we can see much higher concentrations, above 0.88 % over the whole investigated area; however, the values in casts do not reach the maximum concentration class above 7.84 %.

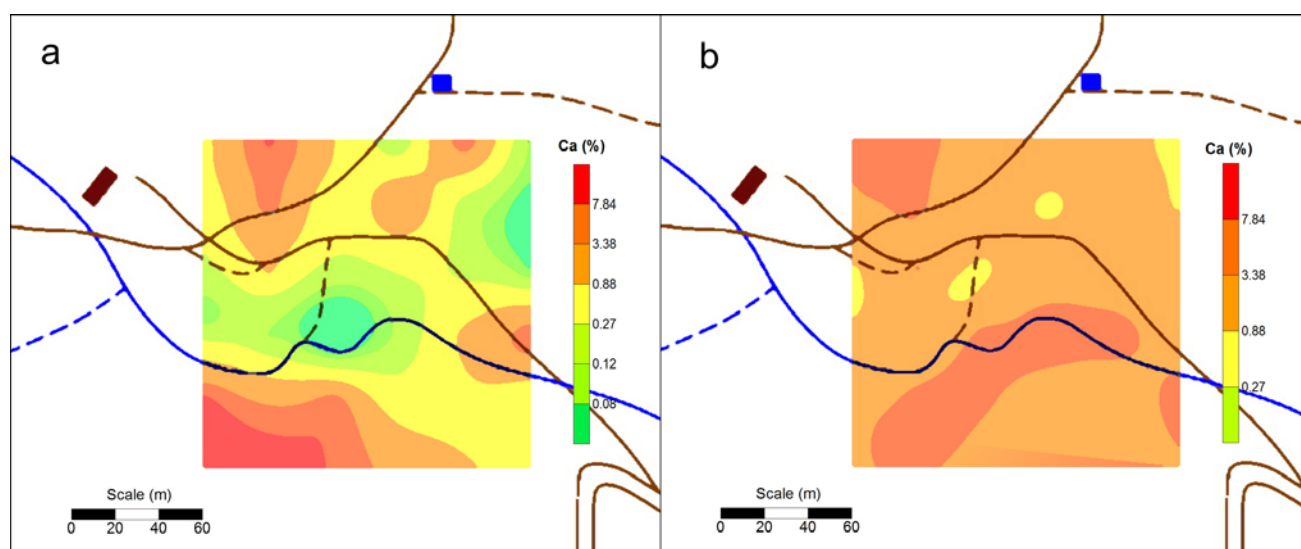


Fig. 5. Spatial distribution of Ca in earthworm cast (a) and soil (b) at Pšenk roasting site

Table 1. Elemental concentrations in earthworm casts, SOM and soil (0–15 cm) from Pšenk roasting site, Slovenian and European averages of elements in soil, casts enrichment factors with respect to SOM and soil and cast, SOM and soil enrichments with respect to European soil averages.

Pšenk (after Teršič & Gosar, 2012)			Slovenija	Europe	Enrichment factor (EF)					
earthworm cast (n=32)	SOM (n=32)	soil (0–15 cm) (n=32)	soil (0–5 cm)	soil (0–25 cm)	EF		EF _{Europe}			
Md (min-max)	Md (min-max)	Md (min-max)	(Šajn, 2003)	(Salminen et al., 2005)	cast: SOM	cast: soil	cast	SOM	soil	
Al	1.0 (0.53–1.7)	0.79 (0.16–1.42)	1.8 (0.72–2.8)	6.90	11.10	0.83	0.93	0.16	0.19	0.17
As	26 (6.1–65)	12 (2.0–39)	40 (3.3–116)	/	7.03	1.28	1.07	6.14	4.81	5.74
Au	1.9 (0.50–8.9)	4.2 (0.50–300)	1.6 (0.50–194)	/	/	0.35	1.49	/	/	/
Ba	41 (20–62)	32 (11–62)	42 (13–59)	358.00	375.00	0.74	1.58	0.18	0.25	0.12
Bi	0.40 (0.20–5.6)	0.30 (0.10–3.6)	0.55 (0.30–1.0)	/	/	0.76	1.26	/	/	/
Ca	1.8 (0.61–6.3)	0.81 (0.35–5.3)	0.40 (0.02–12)	0.70	0.92	1.16	3.43	3.30	2.84	0.96
Cd	0.70 (0.20–1.2)	0.70 (0.20–1.5)	0.90 (0.10–2.8)	0.40	0.15	0.57	1.10	8.10	14.18	7.37
Co	5.0 (2.3–11)	2.7 (0.20–7.4)	7.5 (2.6–29)	16.00	7.78	1.06	1.01	1.08	1.02	1.07
Cr	12 (2.0–22)	9.5 (3.0–25)	19 (3.0–42)	90.90	60.00	0.76	1.18	0.34	0.44	0.28
Cu	15 (5.5–24)	15 (9.0–48)	14 (3.3–30)	30.60	13.00	0.57	1.59	1.93	3.39	1.21
Fe	1.3 (0.66–2.1)	1.04 (0.20–1.6)	1.9 (0.25–3.9)	3.50	1.69	0.97	1.05	1.31	1.36	1.25
Ga	3.0 (2.0–5.0)	2.5 (1.0–6.0)	6.0 (2.0–19)	/	/	0.86	0.86	/	/	/
Hg	31 (5.4–4330)	20 (1.5–4200)	68 (6.28–8600)	0.065	0.037	0.90	0.71	1410	1590	1970
K	0.13 (0.08–0.28)	0.14 (0.08–0.26)	0.15 (0.07–0.45)	1.60	1.92	0.53	1.20	0.11	0.21	0.09
La	14 (4.0–22)	9.0 (1.0–15)	21 (5.0–44)	32.10	23.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mg	0.80 (0.21–3.3)	0.33 (0.11–2.2)	0.64 (0.22–6.8)	0.70	0.77	1.52	1.85	1.74	1.14	0.94
Mn	611 (408–1615)	346 (74–1025)	714 (69–2013)	1054.00	650.00	1.03	1.35	1.58	1.53	1.17
Mo	6.5 (0.80–83)	4.9 (0.80–74)	9.8 (1.9–137)	0.80	0.62	0.86	1.02	17,60	20,37	17,23
Ni	14 (5.8–25)	9.7 (2.7–18)	18 (3.9–39)	49.50	18.00	0.89	1.32	1.28	1.44	0.97
P	0.05 (0.02–0.07)	0.07 (0.05–0.12)	0.03 (0.01–0.08)	0.10	0.13	0.42	2.12	0.66	1.56	0.31
Pb	47 (26–91)	59 (31–106)	57 (38–113)	41.70	22.60	0.45	1.31	3.52	7.77	2.69
S	0.11 (0.07–0.21)	0.18 (0.09–2.1)	0.16 (0.03–5.7)	/	/	0.35	1.08	/	/	/
Sb	1.3(0.60–3.0)	1.4 (0.40–4.4)	1.3 (0.40–10)	1.10	0.60	0.57	1.57	3.64	6.36	2.31
Sc	1.5 (0.10–2.5)	1.0 (0.30–4.7)	2.6 (0.60–4.9)	12.00	8.21	0.82	0.98	0.31	0.38	0.31
Se	1.1 (0.60–26)	1.2 (0.50–12)	1.6 (0.50–100)	/	/	0.58	1.05	/	/	/
Sr	18 (9.0–28)	16 (9.5–36)	10 (1.0–57)	77.00	89.00	0.64	2.36	0.34	0.53	0.14
Th	2.1 (1.0–3.2)	1.5 (0.20–3.6)	4.7 (1.15–7.6)	10.60	7.24	0.84	0.73	0.49	0.58	0.66
Tl	0.50 (0.20–3.2)	0.40 (0.10–4.0)	0.70 (0.20–1.4)	/	/	0.95	1.12	/	/	/
U	1.9 (0.60–12)	1.4 (0.20–25)	3.6 (1.0–37)	/	2.00	0.84	0.80	1.59	1.91	2.00
V	34 (13–85)	33 (8.0–119)	74 (17–2397)	102.00	60.40	0.68	0.81	0.94	1.39	1.17
W	0.20 (0.10–0.90)	0.20 (0.10–2.0)	0.20 (0.05–8.7)	/	/	0.57	1.57	/	/	/
Zn	76 (44–93)	76 (42–103)	74 (35–115)	124.00	52.00	0.58	1.69	2.45	4.24	1.45

* Al, Ca, Fe, K, Mg, P and S in %, Au in mg/g, all other elements in mg/kg

Md = median, min = minimum, max = maximum

Spatial distribution of As in soil (Fig. 6a) shows the highest concentration at the N and S parts of investigated area, while the lowest values prevail in the central part, just opposite from the spatial distribution of Hg in soil (TERŠIČ et al., 2011). High As concentrations (above 50 mg/kg) are continuing across NW and SE margin of investigated area. Distribution of As in casts (Fig. 6b) is similar and shows the lowest concentrations in the central part of the studied area, while higher concentrations (above 26 mg/kg) appear in the N and S. Concentrations in casts are lower than in soil, which probably implies that either earthworm species at this area do not accumulate As in their bodies or they do accumulate As, but do not excrete it efficiently. Further investigations on heavy metal concentrations in the tissues of earthworms are needed to confirm this assumption.

The highest concentrations of U in soil from Pšenk roasting site (Fig. 7a) appear in the centre of the investigated area, with the highest anomaly

in the region similar to the highest anomaly of Hg in soil (TERŠIČ et al., 2011). High concentrations are then continuing in the medium-sized zone towards the NW and SE. Interestingly, the lowest values prevail at the flat surface in the central western margin of the studied area, where large amount of roasting vessels were found and highly elevated Hg contents were determined. This suggest that U is not linked only to roasting of ore from radioactive Skonca beds and that there might perhaps exist another source of elevated U in this area. Spatial distribution of U in earthworm cast (Fig. 7b) shows the highest contents in the same region as in soil, only the anomaly is smaller; the contents rapidly decrease with the distance from this central part and reach the contents of below 3.1 mg/kg in the major part of investigated area.

Conclusions

Comparison of elemental concentrations in earthworm casts and soils and elemental enrichments with regard to European average concen-

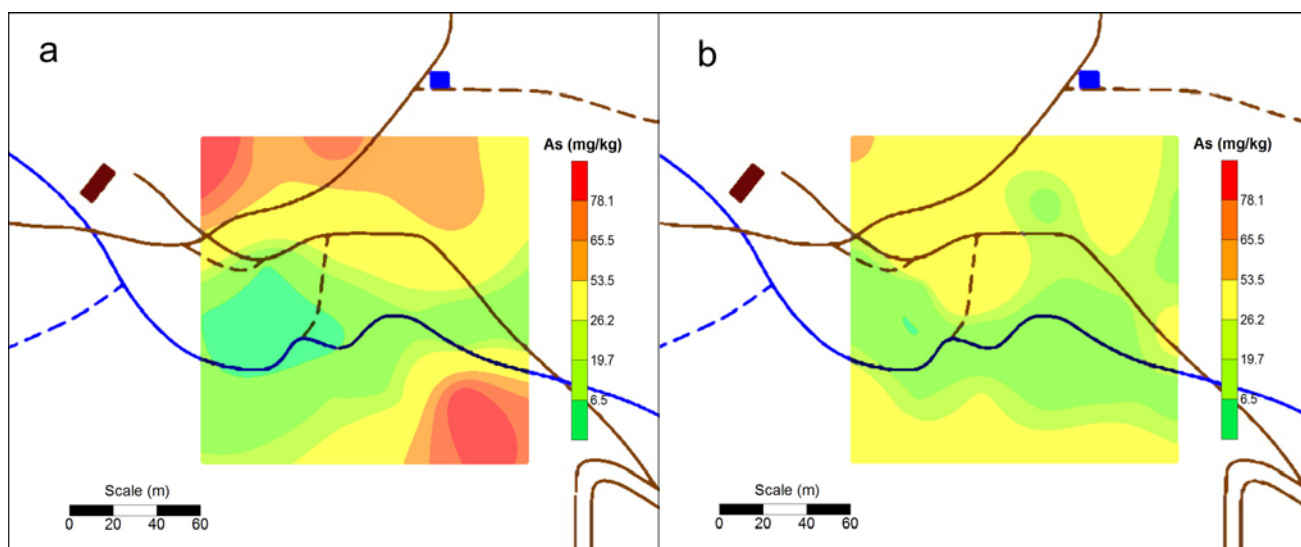


Fig. 6. Spatial distribution of As in earthworm cast (a) and soil (b) at Pšenk roasting site

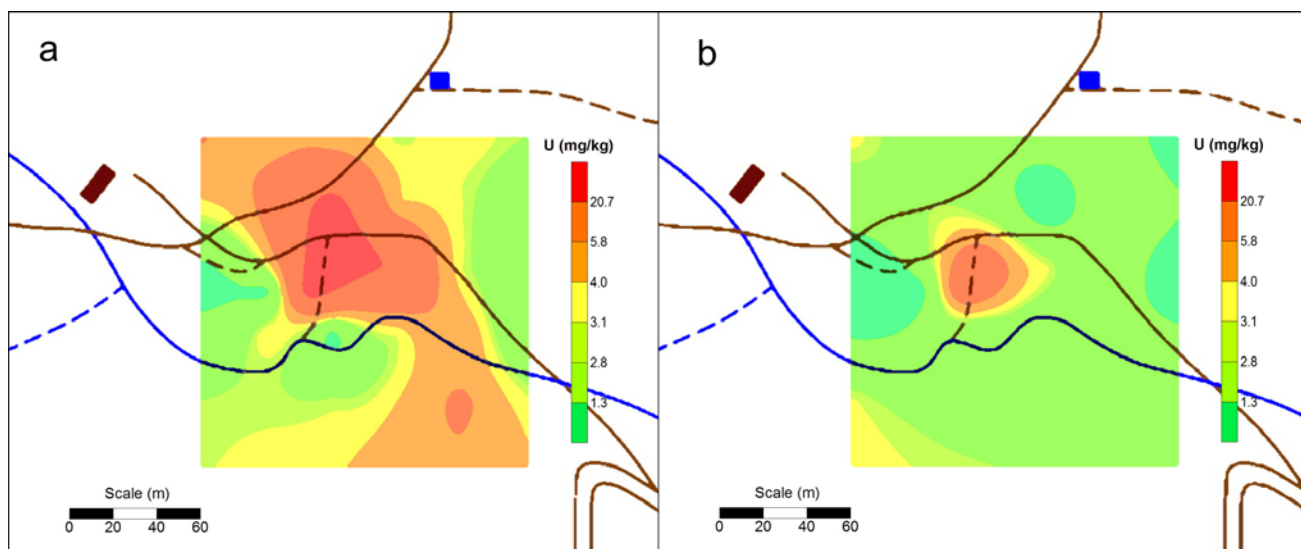


Fig. 7. Spatial distribution of U in earthworm cast (a) and soil (b) at Pšenk roasting site

trations in topsoil were studied at highly Hg contaminated roasting site Pšenk. Beside extreme contamination with Hg, elevated concentrations of As, Ca, Cd, Mo, Pb and U were also determined in earthworm casts. Of these, only elevated U can be explained and are probably linked to roasting of extremely rich cinnabar ore from Skonca beds, which contain high U. Of concern are also elevated concentrations of As in all studied media. Additional investigations are needed in order to explain these anomalies.

Calculated EFs show moderate enrichment of casts with Ca, P and Sr and minimal enrichment with Mg, Zn and Cu. Enrichment of Ca, P, Cu and Zn in casts compared to that in the surrounding soil was observed also by other researchers. Cast, SOM and soil enrichments with regard to the European averages show extreme enrichment of all studied media with Hg, followed by significant enrichment with Mo and Cd and moderate enrichment with As. Calculated values of cast, SOM and soil EF_{Europe} do not indicate appreciable anthropogenic influences except for Hg which is highly enriched owing to ore processing activities.

Spatial distributions of analyzed elements in casts mostly show similar pattern as in soil. Results of this study have confirmed the findings of previous investigation which proved that earthworm casts could be an appropriate sampling medium for determining soil contamination with Hg at the investigated area. Various species of earthworms have different feeding and digestion characteristics and different elements are accumulated and egested in specific way; therefore, elemental concentrations in casts can be a useful supplementary data but caution is needed when using the dispersion and distribution of contaminant in casts for prediction of soil contamination.

Acknowledgments

The presented research and preparation of the paper are funded by the Slovenian Research Agency (ARRS) in the frame of the research program Groundwater and Geochemistry (P1-0020) which is performed at the Geological Survey of Slovenia.

References

- ABBEY, S. 1983: Studies in "standard samples" of silicate rocks and minerals 1969–1982. Ottawa: Geological survey of Canada: 109 p.
- ADRIANO, D.C. 2003: Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. Springer, New York, NY, USA, 2nd edition.
- ASH, C.P.J. & LEE, D.L. 1980: Lead, cadmium, copper and iron in earthworms from roadside sites. *Environ. Pollut.*, A22: 59–67.
- BISHT, R., PANDEY, H., BISHT, S.P.S., KANDPAL, B. & KAUSHAL, B.R. 2006: Feeding and casting activities of the earthworm (*Octolasion tyrtaeum*) and their effects on crop growth under laboratory conditions. *Tropic. Ecol.*, 47/2: 291–294.
- BITYUTSKII, N.P. & KAUDUN, P.I. 2008: The Influence of Earthworms on the Mobility of Microelements in Soil and Their Availability for Plants. *Eurasian Soil Science*, 41/12: 1306–1313.
- BOUCHÉ, M.B. 1977: Strategies lombriciennes. In: LOHM, U. & PERSSON, T. (eds.): Soil Organisms as Components of Ecosystems. *Ecology Bulletin*, 122–132.
- BUCK, C., LANGMAACK, M. & SCHRADER, S. 1999: Nutrient contents of earthworm casts influenced by different mulch types. *Eur. J Soil Biol.*, 35: 23–30.
- BURTON, D., TURLEY, S.D., FISHER, D.J., GREEN, D.J. & SHEDD, T.R. 2006: Bioaccumulation of total mercury and monomethylmercury in the earthworm *Eisenia fetida*. *Water Air Soil Pollut.*, 170/1–4: 37–54, doi:10.1007/s11270-006-3113-0.
- CHAUDHURI, P.S., NATH, S., PAL, T.K. & DEY, S.K. 2009: Earthworm Casting Activities under Rubber (*Hevea brasiliensis*) Plantations in Tripura (India). *World Journal of Agricultural Science*, 5/4: 515–521.
- CHENG, J. & WONG, M.H. 2002: Effects of earthworms on Zn fractionation in soils. *Biol Fertil Soils*, 36/1: 72–78, doi:10.1007/s00374-002-0507-z.
- DARWIN, C. 1881: The Formation of Vegetable Mould Through the Action of Worms with Some Observations on Their Habits. John Murray, London: 153 p.
- DAVIS, J.C. 1986: Statistics and data analysis in geology. Wiley & Sons, New York: 649 p.
- DOMÍNGUEZ-CRESPO, M.A., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, Z.E., TORRES-HUERTA, A.M., NEGRETE-RODRÍGUEZ, M.X., CONDE-BARAJAS, E. & FLORES-VELA, A. 2012: Effect of the Heavy Metals Cu, Ni, Cd and Zn on the Growth and Reproduction of Epigeic Earthworms (*E. fetida*) during the Vermistabilization of Municipal Sewage Sludge. *Water Air Soil Pollut.*, 223/2: 915–931, doi:10.1007/s11270-011-0913-7.
- DOMÍNGUEZ, J. & EDWARDS, C. A. 2011: Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting. In: EDWARDS, C. A., ARANCON, N.Q. & SHERMAN, R. (eds.): Vermiculture Technology. CRC Press, Taylor & Francis Group, 27–40.
- EDWARDS, C.A. & BOHLEN, P.J. 1996: Biology and Ecology of Earthworms. Chapman and Hall, London.
- EPSTEIN, M.S. 1990: Report of analysis. Maryland, Gaithersburg: U.S. Department of commerce, National institute of standards and technology: 16 p.
- ERNST, G., ZIMMERMANN, S., CHRISTIE, P. & FREY, B. 2008: Mercury, cadmium and lead concentrations in different ecophysiological groups of earthworms in forest soil. *Environ. Pollut.*, 156/3: 1304–1313, doi:10.1016/j.envpol.2008.03.002.
- FELLER, C., BROWN, G.G., BLANCHART, E., DELEPORTE, P. & CHERNYANSKII, S.S. 2003: Charles Darwin, earthworms and the natural sciences: various lessons from past to future. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99/1–3: 29–49, doi:10.1016/S0167-8809(03)00143-9.

- FERGUSON, J.E. & KIM, N.D. 1991: Trace elements in street and house dusts: sources and speciation. *Sci. Total Environ.*, 100: 125–150.
- GÖRRES, J.H., SAVIN, M.C. & AMADOR, J.A. 2001: Soil micropore structure and carbon mineralization in burrows and casts of an anecic earthworm (*Lumbricus terrestris*), *Soil Biol. Biochem.*, 33: 1881–1887.
- GOSAR, M. & ŠAJN, R. 2005: Arsenic in the environment: enrichments in the Slovenian soils. *Geologija*, 48/2: 253–262, doi:10.5475/geologija.2005.021.
- GOSAR, M. & ČAR, J. 2006: Vpliv žgalnic živosrebrove rude iz 16. in 17. stoletja na razširjenost živega srebra v okolici Idrije = Influence of mercury ore roasting sites from 16th and 17th century on the mercury dispersion in surroundings of Idrija. *Geologija*, 49/1: 91–101, doi:10.5474/geologija.2006.007.
- HOBBELEN, P.H.F., KOOLHAAS, J.E. & VAN GESTEL, C.A.M. 2006: Bioaccumulation of heavy metals in the earthworms *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa* in relation to total and available metal concentrations in field soils. *Environ. Pollut.*, 144: 639–646.
- JÉGOU, D., SCHRADER, S., DIESTEL, H. & CLUZEAU, D. 2001: Morphological, physical and biochemical characteristics of burrow walls formed by earthworms. *Applied Soil Ecology* 17: 165–174.
- JORDAN, D., STECKER, J.A., GACNIO-HUBBARD, V.N., LI, F., CANTZER, C.J. & BROWN, J.R. 1997: Earthworm activity in no-tillage and conventional tillage systems in Missouri soils: a preliminary study. *Soil Biol Biochem.*, 29: 489–491.
- JOUQUET, P., BOTTINELLI, N., PODWOJEWSKI, P., HALLAIRE, V. & TRAN DUC, T. 2008: Chemical and physical properties of earthworm casts as compared to bulk soil under a range of different land-use systems in Vietnam. *Geoderma*, 146/1-2: 231–283, doi:10.1016/j.geoderma.2008.05.030.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. 2001: Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida: 413 p.
- KAMITANI, T. & KANEKO, N. 2007: Species-specific heavy metal accumulation patterns of earthworms on a floodplain in Japan. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66/1: 82–91, doi:10.1016/j.ecoenv.2005.10.009.
- KIZILKAYA, R. 2004: Cu and Zn accumulation in earthworm *Lumbricus terrestris* L. in sewage sludge amended soil and fractions of Cu and Zn in casts and surrounding soil. *Ecological Engineering*, 22/2: 141–151, doi:10.1016/j.ecoeng.2004.04.002.
- LEE, K.E. & FOSTER, R.C. 1991: Soil fauna and soil structure. *Aust. J. Soil Res.*, 29: 745–775.
- LOSKA, K., CEBULA, J., PELCZAR, J., WIECHUŁA, D. & KWAPULIŃSKI, J. 1997: Use of enrichment, and contamination factors together with geoaccumulation indexes to evaluate the content of Cd, Cu, and Ni in the Rybnik Water Reservoir in Poland. *Water Air Soil Pollut.*, 93: 347.
- MEIER, P.C. & ZÜND, R.E. 2000: Statistical Methods in Analytical Chemistry, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York: 456 p.
- MLAKAR, I. & DROVENIK, M. 1971: Structural and genetic particularities of the Idrija mercury ore deposit. *Geologija*, 14: 67–126.
- NAHMANI, J., HODSON, M.E. & BLACK, S. 2007: A review of studies performed to assess metal uptake by earthworms. *Environ Pollut.*, 145: 402–424.
- OFFICIAL GAZETTE RS 1996. Uredba o mejnih, opozorilnih in kritičnih imisijskih vrednostih 538 nevarnih snovi v tleh (in Slovenian). *Uradni list RS*, 68/96: 5773–5774.
- OYEDELE, D.J., SCHJØNNING, P. & AMUSAN, A.A. 2006: Physicochemical properties of earthworm casts and uningested parent soil from selected sites in southwestern Nigeria. *Ecological Engineering*, 28/2: 106–113, doi:10.1016/j.ecoeng.2006.05.002.
- REDDY, M.V., REDDY, V.R., BALASHOURI P., KUMAR, V.P.K., COGLE A.L., YULE D.F., BABU M. 1997: Responses of earthworm abundance and production of surface casts and their physicochemical properties to soil management in relation to those of an undisturbed area on a semi-arid tropical Alfisol. *Soil Biol. Biochem.*, 29: 617–620.
- REIMANN, C., DE CARITAT, P. 2000: Intrinsic flaws of element enrichment factors in environmental geochemistry. *Environ. Sci. Technol.*, 34: 5084–5091.
- REIMANN, C., FILZMOSE, P. & GARRETT, R.G. 2005: Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Sci. Total Environ.*, 346: 1–16.
- RIEDER, S.R., BRUNNER, I., HORVAT, M., JACOBS, A. & FREY, B. 2011: Accumulation of mercury and methylmercury by mushrooms and earthworms from forest soils. *Environ. Pollut.*, 159/10: 2861–9, doi: 10.1016/j.envpol.2011.04.040.
- ŠAJN, R. 2003: Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. *Journal de Physique*, 107: 1173–1176.
- SALMINEN, R., BATISTA, M.J., BIDOVEC, M., DEMETRIADES, A., DE VIVO, B., DE VOS, W. et al. 2005: Geochemical Atlas of Europe, Part 1, Background Information, Methodology and Maps. Geological Survey of Finland.
- SCHRADER, S. & ZHANG, H. 1997: Earthworm casting: stabilization or destabilization of soil structure? *Soil Biol. Biochem.*, 29: 469–475.
- SHIPITALO, M.J. & LE BAYON, R.C. 2004. Quantifying the effects of earthworms on soil aggregation and porosity. In: EDWARDS, C.A. (eds.): *Earthworm ecology*. CRC Press, Boca Raton: 441 p.
- SIZMUR, T., PALUMBO-ROE, B., WATTS, M.J. & HODSON, M.E. 2011: Impact of the earthworm *Lumbricus terrestris* (L.) on As, Cu, Pb and Zn mobility and speciation in contaminated soils. *Environ Pollut.*, 159/3: 742–748, doi:10.1016/j.envpol.2010.11.033.

- SIZMUR, T. & HODSON, M.E. 2009: Do earthworms impact metal mobility and availability in soil? A review. *Environ. Pollut.*, 157/7: 1981–1989, doi:10.1016/j.envpol.2009.02.029.
- SPURGEON, D.J. & HOPKIN, S.P. 1996: The effects of metal contamination on earthworm populations around a smelting works: quantifying species effects. *Applied Soil Ecology*, 4: 147–160.
- SIX, J., BOSSUYT, H., DEGRYZE, S. & DENEFF, K. 2004: A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil & Tillage Research*, 79/1: 7–31, doi:10.1016/j.still.2004.03.008.
- SUTHERLAND, R.A. 2000: Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii. *Environ. Geol.*, 39/6: 611.
- TERŠIČ, T. 2010a: Environmental influences of historical small scale ore processing at Idrija area = Okoljski vplivi starih žgalnic na Idrijskem (Ph.D. thesis). University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology. Ljubljana: 203 p.
- TERŠIČ, T. 2010b: Contents and spatial distributions of chemical elements in soil at the ancient roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia). *Geologija*, 53/2: 121–128, doi:10.5474/geologija.2010.009.
- TERŠIČ, T. & GOSAR, M. 2009: Preliminary results of detailed geochemical study of mercury at the ancient roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia). *Geologija*, 52/1: 79–86, doi:10.5474/geologija.2009.009.
- TERŠIČ, T. & GOSAR, M. 2012. Comparison of elemental contents in earthworm cast and soil from a mercury-contaminated site (Idrija area, Slovenia). *Sci. Total Environ.*, 430: 28–33.
- TERŠIČ, T., GOSAR, M. & BIESTER, H. 2011: Environmental impact of ancient small-scale mercury ore processing at Pšenk on soil (Idrija area, Slovenia). *Appl. Geochem.*, 3: 1–10.
- UDOVIČ, M. & LEŠTAN, D. 2007: The effect of earthworms on the fractionation and bioavailability of heavy metals before and after soil remediation. *Environ Pollut.*, 148/2: 663–8, doi:10.1016/j.envpol.2006.11.010.
- UDOVIČ, M., PLAVC, Z. & LEŠTAN, D. 2007: The effect of earthworms on the fractionation, mobility and bioavailability of Pb, Zn and Cd before and after soil leaching with EDTA. *Chemosphere*, 70/1: 126–134, doi:10.1016/j.chemosphere.2007.06.044.
- WHO 2001: Environmental Health Criteria 224: Arsenic and arsenic compounds. World Health Organization, Geneva: 347 p.
- ZHANG, Z.S., ZHENG, D.M., WANG, Q.C. & LV, X.V. 2009: Bioaccumulation of Total and Methyl Mercury in Three Earthworm Species (*Drawida* sp., *Allolobophora* sp., and *Limnodrilus* sp.). *Bull Environ Contam Toxicol.*, 83/6: 937–942, doi:10.1007/s00128-009-9872-8.
- ZORN, M.I., VAN GESTEL, C.A.M. & ELJSACKERS, H. 2005: The effect of *Lumbricus rubellus* and *Lumbricus terrestris* on zinc distribution and availability in artificial soil columns. *Biol. Fertil Soils*, 41/3: 212–5, doi:10.1007/s00374-004-0824-5.
- ZORN, M.I., VAN GESTEL, C.A.M. & ELJSACKERS, H. 2008: Metal redistribution by surface casting of four earthworm species in sandy and loamy clay soils. *Sci. Total Environ.*, 406/3: 396–400, doi:10.1016/j.scitotenv.2008.07.046.

Uporabnost učnega modela medzrnskega vodonosnika za izboljšanje poznavanja dinamike podzemne vode

How to use an educational sand-box model to enhance the knowledge groundwater dynamics

Nina RMAN

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

Prejeto / Received 19. 11. 2013; Sprejeto / Accepted 4. 12. 2013

Ključne besede: fizični model, model vodonosnika, model toka vode, peščeni vodonosnik, učni pripomoček
Key words: physical model, aquifer model, groundwater flow model, sand-box aquifer, aquifer in a tank

Izvleček

Prostovoljna anketa o razumevanju dinamike podzemne vode med 45 odraslimi ne-geologi v Sloveniji je pokazala, da petina do četrtnina anketiranih slabo pozna omenjeno vsebino. Medtem ko so pojavi, pridobivanje in onesnaževanje podzemne vode dokaj dobro poznani, z izjemo globoko ukoreninjenega (razen na kraškem svetu napačnega) mišljenja o obstoju vodnih žil in podzemnih rek in jezer, je področje zaščite vodnih virov bistveno slabše. Izkazalo se je, da prikazano znanje temelji na izkušnjah kot pa na razumevanju regionalne dinamike podzemne vode. Zato je smiselno pristopiti k sistematičnemu izobraževanju o podzemni vodi ne le za geološko ampak tudi za laično javnost. Na pobudo VO-KA iz Ljubljane smo razvili učni model vodonosnika Ljubljanskega polja, ki ga bo podjetje uporabljalo za razširjanje znanja o podzemni in pitni vodi. Model prikazuje pretežno dvodimenzionalni tok podzemne vode v nehomogenem in anizotropnem medzrnskem vodonosniku ter vpliv različnih naravnih pojavov in antropogenih posegov na količinsko in kemijsko stanje podzemne vode. Z njim je mogoče razložiti hidrogeološke pojave na različnih nivojih predznanja, od preproste vizualizacije do njihove številčne opredelitve.

Abstract

Forty-five adults, which do professionally not deal with geology or groundwaters, filled a voluntary questionnaire on groundwater dynamics in Slovenia. The survey pointed out that about a fifth to a quarter of them has a weak knowledge on this topic. Groundwater occurrence, production and pollution are quite well known, excluding a widely spread opinion on subsurface water veins and underground rivers and lakes (which are true only for karstic aquifers), but groundwater protection is much less known. It has turned out that the answers often base on the experience of the interviewee rather than on an understanding of a regional groundwater dynamics. Therefore, we believe that it is worth to start a systematic education on groundwaters not only for geologists but also for general public. The VO-KA company from Ljubljana has given an incentive for development of an educational sand-box model of the Ljubljansko polje aquifer, which will be used to spread knowledge on ground- and drinking water. The model of an inhomogeneous and anisotropic intergranular aquifer has predominately a two-dimensional water flow. It enables visualisation of natural features and anthropogenic on the quantity and quality state of the stored groundwater. It can be used to explain hydrogeological phenomena on various levels of knowledge, from simple visualisation to more complicated mathematical descriptions.

Uvod

V svetu obstaja kar nekaj raziskav o dojetju hidroteoloških pojavov oziroma dinamike podzemne vode ter o njihovem učenju in razlagi z učnimi modeli. RODHE (2012) je predstavil uporabo preprostih modelov pri študiju hidrogeologije na Švedskem s podrobnim opisom načina izračuna hidravličnega potenciala in različnih hidrogeoloških parametrov. HAKOUN in sodelavci (2013) so izpostavili potek magistrskega študija hidrogeologije v Franciji, ki zajema tri sklope: predavanja, poizkuse na učnih modelih ter terensko delo.

Ugotovili so, da uporaba učnih modelov vodonosnika že v osnovi zahteva večji angažma predavateljev in študentov kot frontalno podajanje znanja. Z učnimi modeli lahko glede na stopnjo zahtevnosti slušateljev ne le prikažemo (vizualiziramo) procese in parametre, ki določajo dinamiko podzemne vode, ampak jih tudi številčno opredelimo, zato je tak način aktivnega študija izboljšal motivacijo in razumevanje dinamike podzemne vode pri omenjenih študentih. Učni modeli vodonosnika se uporabljajo tudi pri osnovnošolskem poučevanju v Ameriki (MECHENICH, 1995; McCANN et al., 2003; INTERNETNI VIRI), pri nas pa so razmeroma neznani.

V slovenskih osnovnih šolah se učenci med obveznimi osnovnošolskimi predmeti že seznanijo z nekaterimi hidrogeološkimi pojmi. Pri Naravoslovju in tehniki v 5. razredu jim razložijo vodni krog in kaj so podzemna voda, pitna voda, onesnaženje vode, vodne zaloge in oskrba z vodo ter fizikalne lastnosti tal (VODOPIVEC et al., 2011). Pri Naravoslovju v 7. razredu spoznavajo vodo kot kemično spojino (SKVARČ et al., 2011). Pri Kemiji v 8. in 9. razredu slišijo o podzemni vodi kot raztopini in povzročiteljici kraških pojavov (BAČNIK et al., 2011). Pri Geografiji v tretji triadi se seznanijo z analizo vode in vodotokov (KOLNIK et al., 2011). Hidrogeološke vsebine dobijo dodatno pozornost tudi pri dveh izbirnih predmetih v tretji triadi osnovne šole: pri Okoljski vzgoji (vodni cikel, površinske in podzemne vode, onesnaženje vode, ranljivost vodnih virov (MARENTIČ-POŽARNIK et al., 2004) ter pri Kemiji v okolju (kakovost tal in podtalnice (KEUC et al., 2005)). Pri nekaterih geoloških vsebinah je v učnem načrtu predviden ogled geološke ali mineraloške zbirke, dodatni učni pripomočki za razumevanje hidrogeologije ali dinamike podzemne vode pa niso predvideni. Na povabilo osnovnih šol Geološki zavod Slovenije že vrsto let izvaja brezplačne geološke delavnice, izvedenih je bilo že več kot 50, na katerih učenci poleg osnovnih tehnik raziskovanj v petrologiji, mineralogiji in paleontologiji spoznajo tudi delno analizo fizikalnih in kemijskih parametrov vode (RMAN, 2010), a posebnega poudarka na dinamiki podzemne vode ni. V gimnaziji je največ hidrogeoloških vsebin vključenih v Geografijo (DRAGOŠ et al., 2008), o vodi kot o raztopini pa se učijo tudi pri Kemiji (BAČNIK et al., 2008). Pri univerzitetnem študiju geologije se v okviru Hidrogeologije v 3. letniku bolonjskega študija izvajajo laboratorijske vaje (NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA, 2006), a pri tem se učni modeli vodonosnikov (še) ne uporabljajo.

Prvi del v članku predstavljenih aktivnosti se nanaša na prostovoljno anketo o razumevanju dinamike podzemne vode, ki je bila izvedena med 45 polnoletnimi ne-geologi v Sloveniji. Čeprav so učni modeli vodonosnika v prvi meri namenjeni izobraževanju učencev, smo zaradi časovnih omejitev v raziskavo zajeli le odrasle. Predvideli smo, da je njihova splošna razgledanost bolj reprezentativna kot od učencev, saj je od njihovega učenja o hidrogeoloških pojavih v sistemu javnega izobraževanja preteklo veliko več časa. Osnovna hipoteza raziskave je, da je razumevanje dinamike podzemne vode med ne-geologi šibko.

Sočasno z izvedbo ankete smo na pobudo JP Vodovod-Kanalizacija (VO-KA) iz Ljubljane, ki posveča veliko pozornosti izobraževanju o rabi in varovanju virov pitne vode na Ljubljanskem polju in barju za vse starostne skupine, pristopili k izdelavi učnega modela medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja. Po pregledu izkušenj z učnimi modeli vodonosnikov v svetu in hidrogeoloških osnov Ljubljanskega polja smo izdelali model, ki omogoča prikaz:

1. Fizikalnih procesov v vodonosniku,
2. Odnosa med površinskimi in podzemnimi vodami,
3. Odnosa med površinskimi in podpovršinskimi antropogenimi dejavnostmi ter količinskim in kakovostnim stanjem vodnega vira,
4. Pomena poznavanja naravnih danosti za ustrezno izvajanje zaščite podzemnih vodnih virov pred onesnaženjem.

Interpretacija rezultatov ankete in seznam hidrogeoloških pojavov in parametrov, ki jih lahko prikažemo z uporabo modela vodonosnika Ljubljanskega polja, je predstavljena v poglavju Rezultati in diskusija. Tam so podani tudi predlogi, kako z uporabo učnega modela izboljšati razumevanje posameznih vsebin dinamike podzemne vode, ki so se izkazale kot manj jasne.

Hidrogeološke osnove za razvoj učnega modela

Vodonosnik Ljubljanskega polja je eden izmed največjih in najpomembnejših vodonosnikov v Sloveniji. Največji del ga gradijo pleistocenske prodno-peščene naplavine reke Save, ki so lahko debele do 100 m, in so odložene na zelo slabo prepustne glinaste skrilavce in kremenove peščenjake karbonske in permske starosti, na območju med Dravljami in Brdom pa tudi na dolomit in apnenec mezozojske starosti. Naplavine so deloma sprijete v konglomerat. Trije konglomeratni zasipi in zgornji prodni zasip oblikujejo visoke rečne terase. Nad vsakim zasipom se na več mestih pojavljajo plasti rjave glin s preperelimi prodniki, ki predstavljajo nekdanja tla. Visoka pleistocenska terasa pokriva večji del Ljubljanskega polja, nizka terasa pa se razprostira vzdolž Save in Ljubljanice. Debelina posameznih prodnih plasti je nekaj metrov do 16 m (ŽLEBNIK, 1971; DROBNE et al., 1997; PRESTOR et al., 2002). Vzdolž severnega roba visoke terase od Stanežič preko Vižmarij, Ježice, Stožic, Obrij do Zadobrove prode pridobivajo v velikih gramoznicah. Drugi večji pas proda se razprostira vzdolž roba visoke terase od Hrušice do Dobrunj, kjer so tudi številne opuščene gramoznice (PRESTOR et al., 2002).

Prepustnost proda in konglomerata je zaradi heterogene sestave, primesi melja ter različne sprijetosti sedimentov različna tako v navpični kot v vodoravni smeri. V splošnem je prepustnost vodonosnih plasti boljša v osrednjem delu Polja in slabša na obrobju (PRESTOR et al., 2002; ŠRAM et al., 2012). V hidrodinamsko odprtem vodonosniku Ljubljanskega polja se podzemna voda nahaja na globini do 30 m. Podzemna voda se pretaka od severozahoda proti jugovzhodu, oziroma nekako vzporedno s Savo. Gladina podzemne vode je odvisna od vodostaja Save, padavin, odtoka površinskih tokov z obrobja Polja ter podzemnega dotoka z Barja, in niha nekaj metrov. Reka v zgornjem delu, nad Šentjakobskim mostom, napaja vodonosnik, v spodnjem delu pa podzemna voda odteka v strugo Save. Reka Ljubljanica na območju do Fužin zaradi nepropustne struge ne vpliva na hidrokemijske razmere v vodonosniku,

dolvodno pa se del podzemne vode drenira vanjo (URBANC & JAMNIK, 2007). Hitrost toka podzemne vode je nekaj metrov na dan (URBANC & JAMNIK, 1998; PRESTOR et al., 2002). Voda se hitro obnavlja in je ponekod onesnažena zaradi kmetijske dejavnosti, a koncentracija nitratov ne presega mejnih vrednosti (URBANC & JAMNIK, 2007). Zaradi velikega odvzema podzemne vode od konca 80. let prejšnjega stoletja in drugih antropogenih posegov so popolnoma presušile studenčnice na vzhodnem delu Polja pod Fužinami, v Slapah, Vevčah, Kašlju, Zalogu ter Spodnji Zadobrovi, Perlezu in Jarškem Brodu (PRESTOR et al., 2002).

Metode dela

Anketa o poznavanju dinamike podzemne vode med splošno javnostjo

Da bi ugotovili, kakšno je splošno poznavanje dinamike podzemne vode in katera vsebinska področja je potrebno nazorno razložiti z uporabo učnega modela vodonosnika, smo opravili prostovoljno anketo med 45 odraslimi anketiranci. Med njimi jih je bilo 82 % starejših od 25 let in 53 % žensk. Anketiranci predstavljajo laično javnost iz Ljubljane in širše okolice in se strokovno ne ukvarjajo s površinskimi ali podzemnimi vodami oziroma geologijo. V anketi so odgovorili na 49 vprašanj pretežno zaprtega tipa. Pri takšnem tipu vprašanj so morali obkrožiti, ali se strinjajo z navedeno trditvijo (da/ne), ali nimajo mnenja o njej (ne vem). Pri odprtem tipu vprašanj so anketiranci prosto odgovorili na vprašanje. Vprašalnik je bil razdeljen na tri vsebinske sklope: pojav podzemne vode (27 vprašanj; 3 odprtega tipa), pridobivanje in izraba podzemne vode (8 vprašanj; 0 odprtega tipa) ter onesnaževanje in zaščita vodnih virov (13 vprašanj; 1 odprtega tipa).

Učni model vodonosnika Ljubljanskega polja

Učni model je izdelan iz lepljenih plošč Pleksi stekla (PMMA - polimetilmetakrilat) dolžine 70 cm, širine 30 cm in višine 50 cm. Območje vodonosnika v modelu je široko 7 cm in je omejeno z zamenljivima stranskima filtroma, ki omogočata enakomeren dotok/odtok vode po celotni višini modela. S tem smo zagotovili pretežno dvodimenzionalen tok vode skozenj ter razmeroma lahko ravnanje pri polnjenju oziroma praznjenju območja vodonosnika z geološkim materialom. Po priporočilih RODHA (2012), je za učne modele vodonosnika najbolj primerno uporabljati dobro sortirane in homogene peske s premerom zrn od pol do dva milimetra. Skladno s tem in z zahtevami po čim bolj realnem prikazu nehomogenosti vodonosnika Ljubljanskega polja, so geološke plasti v modelu vodonosnika Ljubljanskega polja izdelane iz naslednjih snovi (sl. 1):

1. Drobnnozrnatega proda (3,15 – 5,6 mm ter 2,0 – 3,15 mm) v naravni barvi,
2. Debelozrnatega peska (1,0 – 2,0 mm ter 0,5 – 1,5 mm) bele barve,

3. Srednjezrnatega peska (0,3 – 0,8 mm) črne barve in
4. Drobnnozrnatega peska (0,063-1 mm) v naravni barvi.

Nekateri modeli (HAKOUN et al., 2013) so izdelani tako, da uporabljajo le en rezervoar in tako reciklirajo vodo, ki kroži skozi vodonosnik, vendar predavatelji v tem primeru ne uporabljajo barvil za razločevanje omočenega dela vodonosnika. Model vodonosnika Ljubljanskega polja je zasnovan drugače, saj je za boljšo vidljivost gladine in smeri toka vode priporočena uporaba živilskih barvil, ki se idealno mešajo z vodo. Sprednjo stran modela torej sestavlja območje vodonosnika, na zadnji strani pa sta izdelana dva rezervoarja za vodo, eden za čisto (dotok v vodonosnik) in drugi za umazano vodo (odtok iz vodonosnika). Recikliranje obarvane vode bi povzročilo obarvanost celotnega modela, ki bi s tem postal neuporaben, zato je za njegovo pravilno delovanje potrebno vanj dovajati le čisto vodo. Za vzdrževanje pretoka vode skozi vodonosnik (napajanje) se uporablja potopna črpalka, za simulacijo odvzema oziroma črpanja vode iz vrtin pa pretočna črpalka.

Na vrhu vodonosnika sta izoblikovani visoka in nizka rečna terasa, ki sta prekriti z različno imitacijo vegetacije (trava, gozd), tlakovanih površin (mesto) ali območij brez preperinskega pokrova (gramoznica). Za ponazoritev površinskega vodotoka (reke) ali izvira služi najgloblja naluknjana površinska oblika, za prikaz podpovršinskega antropogenega onesnaženja pa je izdelan model pretočne greznice. V modelu sta izvedeni dve opazovalni vrtini, ki sta odprti le na dnu polkrožne cevke, ter šest črpalnih vrtin na treh različnih globlinah. Slednje so odprte na dnu ter naluknjane ob strani polkrožnih cevk v dolžini nekaj centimetrov, da bi bile čim bolj podobne pravim vrtinam. Vse vrtine imajo nameščene zamenljive filterske mrežice, ki preprečujejo iznašanje peska ob črpanju vode. Ob ponovni polnitvi območja vodonosnika se lahko njegova geološka zgradba poljubno spremeni, da zadosti (novi) zeleni vsebini.

Rezultati in diskusija

Anketa o poznavanju dinamike podzemne vode med splošno javnostjo

Pojav podzemne vode

Rezultati prvega vsebinskega sklopa o pojavih podzemne vode so pokazali, da se veliko anketiranih (82 %) zaveda, da je večina pitne vode v Sloveniji podzemna voda, ki izvira iz padavin. Jasno jim je, da globina do podzemne vode ni povsod enaka (96 %), medtem ko je pojem gladine podzemne vode slabo poznan. Le 40 % jih je pritrdilo trditvi, da gladina pove, na kateri nadmorski višini se nahaja podzemna voda. Kljub temu se skoraj vsi (93 %) strinjajo, da gladina podzemne vode ni povsod enaka. To nas-

protje je mogoče razložiti tako, da so bodisi med branjem zamenjali pojma globina do in gladina podzemne vode, ali pa sicer dojemajo pojem gladine, ne znajo pa ga ustrezno (terminološko) pojasniti. Zanimivo je, da skoraj 30 % anketiranih meni, da se podzemna voda ne more nahajati pod morsko gladino. Ker niso imeli možnosti za dodatno pojasnilo njihovega razumevanja, na tej stopnji obdelave podatkov ni mogoče sklepati, kaj to pomeni. Morda menijo, da je pod to koto samo morska voda, ali pa da sploh ni podzemne vode. Vsekakor je to tema, primerna za nadaljnje raziskave. Na vprašanje, ali sta mineralna in termalna voda podzemni vodi, jih je kar petina odgovorila napačno, a z lastnim pripisom, da izvirata iz vrelic, večjih globin ali Zemljine notranjosti. To kaže, da sicer sumijo, da vodi izvirata iz podzemlja, a si ne znajo ustrezno pojasniti kroženja podzemne vode od območja napajanja do iztoka. Pomanjkljivo razumevanje vodnega kroga je verjetno tudi razlog, da 18 % anketirancev napačno misli, da je voda iz izvirov vedno zdravilna. Do podobnih rezultatov, da je miselnost o čisti in neonesnaženi izvirski vodi še vedno pogosta, so prišli tudi REINFRIED in sodelavci (2012), ki so raziskovali dojemanje pojava izvirov pri 13-letnikih v Švici. Zato za izboljšanje znanja o hidrogeologiji priporočajo jasno razlago vodnega kroga in povezave med površinskimi in podzemnimi vodami, tudi z uporabo učnih modelov. Izmed naših anketirancev se jih je le 62 % strinjalo s trditvijo, da lahko podzemna voda odteka v površinske vode ali izvire, medtem ko jih 80 % meni, da površinske vode lahko napajajo podzemno vodo. Na podlagi teh rezultatov predlagamo, da je z uporabo učnega modela smiselno razložiti osnovne hidrogeološke izraze, kot so vodonosnik, gladina, poroznost, prepustnost, napajanje, iztok, itd. ter še posebej soodvisnost med površinskimi in podzemnimi vodami.

Šestina (16 %) anketirancev verjame, da podzemna voda v tleh miruje. Pri vprašanjih o poroznosti, se jih je 76 % strinjalo s trditvijo, da imajo kamnine prazne prostore med zrni oziroma pore, ki so zapolnjene z vodo ali zrakom, kar kaže da je koncept poroznosti razmeroma poznan. Približno polovica (53 %) anketiranih pozna pojem vodonosnika ter intuitivno ali izkustveno sluti, da niso vse kamnine enako prepustne, in zato voda teče hitreje skozi prod in debelozrnat pesek kot skozi glino in melj (91 %). Kljub temu, in čeprav se jih 82 % strinja, da podzemna voda teče po porah in razpokah v kamninah, si jih hkrati kar 69 % predstavlja, da voda teče po podzemnih kanalih (v velikosti od svinčnika do avta), kjer tvori podzemne reke in jezera. O tej globoko zasidrani (že antični) ideji o vodnih žilah v podzemlju poroča tudi REINFRIED s sodelavci (2012). V Sloveniji, kjer je skoraj polovica ozemlja na kraških tleh (GAMS, 2003), očitno prevladuje poznavanje kraškega tipa vodonosnika nad razpoklinskim in medzrnskimi. Slednji sicer prevladujejo na Ljubljanskem polju in v večini kotlin, zapolnjenih z aluvialnimi sedimenti, a njihova dinamika podzemne vode je slabše poznana. Zato je z uporabo izdelanega

učnega modela vodonosnika Ljubljanskega polja vsekakor smiselno razložiti razliko med nezakraselimi in zakraselimi kamninami oziroma kraškimi in medzrnskimi vodonosniki.

Pridobivanje in izraba podzemne vode

V sklopu pridobivanja in izrabe podzemne vode smo prišli do ugotovitve, da je to področje nekoliko slabše poznano kot naravni pojavi podzemne vode. Skoraj vsi (96 %) se sicer strinjajo, da podzemno vodo pridobivamo iz vodnjakov in vrtin, a le slaba polovica (47 %) se jih zaveda, da so za to običajno potrebne črpalke. Vodonosnik dojemajo kot zelo globoko in dokaj lokalno geološko strukturo, saj jih kar polovica (49 %) meni, da so črpalne vrtine običajno globlje od 100 m, a to v Sloveniji večinoma ni potrebno. Iz takšnega dojemanja sledi tudi nizek delež (33 %) tistih, ki se strinjajo, da podzemna voda pripotuje do vrtin z razdalje nekaj kilometrov. Kar tri četrtine (76 %) se jih strinja s trditvijo, da je načrpana pitna voda običajno stara nekaj let (in ne sto ali tisoč let, kot je še bilo na izbiro). Pomanjkljivo znanje o regionalnem dojemanju vodonosnikov in soodvisnosti površinskih in podzemnih voda se kaže tudi v tem, da jih 44 % napačno meni, da lahko iz vodonosnika pridobimo več vode, kot znaša njegovo napajanje. Kar 71 % pa se jih zaveda, da lahko zaradi črpanja bližnjih vrtin presuši izvir ali studenec. Podoben delež (73 %) jih ve, da sočasno črpanje iz več vrtin zmanjša razpoložljivo količino iz posamezne vrtine. S pomočjo učnega modela je torej smiselno natančno razložiti kaj so črpalne vrtine in kako se iz njih pridobiva podzemna voda. Še bolj pa je pomembno, da si ciljna publika ogleda simulacijo črpanja v modelu in dojame, kako odvzem vode na posamezni lokaciji vpliva ne le na okolico posamezne vrtine ampak tudi na regionalno količinsko in kakovostno stanje v vodonosniku.

Onesnaževanje in zaščita vodnih virov

Anketirani iz izkušenj vedo (96 %), da podzemne vode niso vse enake kemijske sestave in zato tudi niso enako čiste in neonesnažene (93 %). Že omenjen delež (18 %) tistih, ki menijo, da je voda v izviroh vedno zdravilna, se ponovi tudi pri napačni trditvi, da je voda iz vrtin in vodnjakov vedno čista in neonesnažena. Problematično je, da jih četrtina (27 %) napačno verjame, da lahko onesnaženo podzemno vodo vedno popolnoma očistimo. Večina anketiranih se zaveda, da lahko podzemno vodo onesnažimo, če po travniku polivamo gnojnico (96 %), če za odplake iz gospodinjstva ne uporabljamo čistilne naprave (87 %), če v okolje izpuščamo odpadno vodo iz parkirišč (84 %) ali mečemo smeti v stare vodnjake (82 %). Kar petina (20 %) pa se jih ne zaveda, da lahko tudi onesnažena površinska voda onesnaži vodonosnik. Iz spremenljivega deleža pri posameznih trditvah je razvidno, da so večino znanja o možnosti onesnaženja podzemne

vode anketiranci pridobili izkustveno. Iz enakega vzroka jih verjetno le 13 % ne ve, da se različna onesnaževala (nafta, pesticidi, gnojila,...) v podzemni vodi širijo z različno hitrostjo. Razveseljivo je, da je 74 % anketiranih jasen namen vodovarstvenih območij okoli črpalnišča podzemne vode (preventivno preprečevanje onesnaženja), a posamezniki so dopisali tudi nekoliko drugačne namene: za preprečitev udorov tal, za boljše izobraževanje ljudi, za zaščito opreme in za lažjo sanacijo onesnaženja. Kljub dokaj dobri seznanjenosti z namenom vodovarstvenih območij, je zaskrbljujoč rezultat poznavanja kategorij režimov varovanja virov pitne vode. Skoraj četrtina (24 %) jih ne ve odgovora, 36 % jih meni, da imamo pet tipov območij, le 40 % pa jih je odgovorilo pravilno, torej da imamo tri kategorije vodovarstvenih režimov. To kaže, da je dojemanje vodovarstvenih območij zelo šibko in posledično anketirani verjetno tudi niso posebej pozorni na ustrezno preventivno ravnanje v vsakdanjem življenju, ko se zadržujejo na njih. Z uporabo učnega modela lahko jasno ponazorimo način širjenja površinskih onesnaževal v tla in kasneje v vodonosniku ter ob tem razložimo pomen vodovarstvenih območij.

Z interpretacijo rezultatov ankete smo potrdili osnovno hipotezo, da je razumevanje dinamike podzemne vode med ne-geologi razmeroma šibko in vezano predvsem na izkušnje. Izkazalo se je, da je delež nepravilnih odgovorov razmeroma stalen, med 20 in 30 odstotki, a nekatera protislovja v

odgovorih kažejo, da tudi preostali anketiranci ne poznajo dovolj dinamike podzemne vode. Upamo, da se bo učni model Ljubljanskega polja izkazal kot primerno orodje za (raz)širjanje znanja o dinamiki podzemne vode ne le med učenci, ampak tudi za odrasle.

Primeri uporabe učnega modela vodonosnika

Podrobnejša razlaga procesov, vezanih na podzemno vodo, in ki jih lahko nekoliko prilagojeno prenesemo na uporabo učnega modela Ljubljanskega polja, je opisana npr. v MECHENICH, 1995; McCANN et al., 2003; RODHE, 2012, INTERNETNIH VIRIH itd. Zato v nadaljnjem besedilu le naštevamo glavne vsebine, ki jih lahko prikažemo in razložimo z uporabo modela medzrnskega vodonosnika Ljubljanskega polja (sl. 1). Kadar je skozi model vzpostavljen stacionarni tok vode in gladina pod koto reke, lahko pojasnimo:

- Del vodnega kroga,
- Razliko med površinsko in podzemno vodo,
- Območje napajanja in odtoka podzemne vode,
- Pojem vodonosnika,
- Poroznost in prepustnost kamnin,
- Homogenost in anizotropnost medzrnskega vodonosnika,
- Da v medzrnskem vodonosniku ni podzemnih kanalov in jezer,
- Nenasičeno in nasičeno cono vodonosnika,



Sl. 1. Gladina vode v modelu vodonosnika (modra črta) in globina do podzemne vode (rdeča puščica)
Fig. 1. The groundwater level in the aquifer (blue line) and the depth to the groundwater (red arrow)

- Kapilarni dvig,
- Globino do podzemne vode,
- Gladino podzemne vode,
- Gradient toka podzemne vode,
- Smer in hitrost toka vode pod različnimi robnimi pogoji,
- Da podzemna voda ne teče vedno v smeri najnižje topografije,
- Odprti vodonosnik.

Kadar v modelu povišamo gladino podzemne vode, da nastane reka, lahko razložimo (sl. 2):

- Soodvisnost površinskih in podzemnih voda,
- Nastanek izlivnega izvira oziroma reke,
- Nastanek reke kot edinega mesta odtoka podzemne vode iz vodonosnika,
- Da je gradient toka podzemne vode lahko na obeh straneh reke različen, odvisno od količine napajanja,
- Hidravlično povezanost vseh vodonosnih plasti v odprtem vodonosniku (gladina v spodnjem prodnatem vodonosniku je enaka kot v zgornjem peščenem).

V kolikor je gladina podzemne vode v vodonosniku pod gladino vode v reki (sl. 3) in v reko dovajamo vodo, lahko razložimo:

- Napajanje vodonosnika s površinsko vodo,
- Prenos onesnaževal iz površinskega vodotoka v vodonosnik,
- Kolmatacijo struge v reki.

Odvzem podzemne vode prikažemo s črpanjem vode iz vrtin ob stalnem napajanju vodonosnika. Razložimo lahko (sl. 4):

- Razliko med opazovalnimi in črpalnimi vrtinami,
- Zakaj so črpalne vrtine različno globoke,
- Odprti oziroma naluknjan del (filtre) črpalne vrtine,

- Kako in zakaj se v vrtinah uporablja potopna črpalka,
- Vpliv črpanja na smer in jakost toka podzemne vode proti vrtini pri stalni in/ali spremenljivi količini črpanja,
- Kaj je depresijski lijak,
- Vpliv črpanja na lokalno in regionalno gladino v vodonosniku,
- Vpliv črpanja na izdatnost sosednjih vrtin,
- Vpliv črpanja na premeščanje delcev ob odprtem delu (filtrih) vrtine,
- Vpliv različno prepustnih plasti na hitrost širjenja depresijskega lijaka v različnih smereh (upočasnen hidravlični odziv v spodnji prodnati vodonosni plasti),
- Vpliv odvzema podzemne vode na količinsko stanje površinskega vodotoka (reke),
- Kaj je trajnostno izkoriščanje vodonosnika.

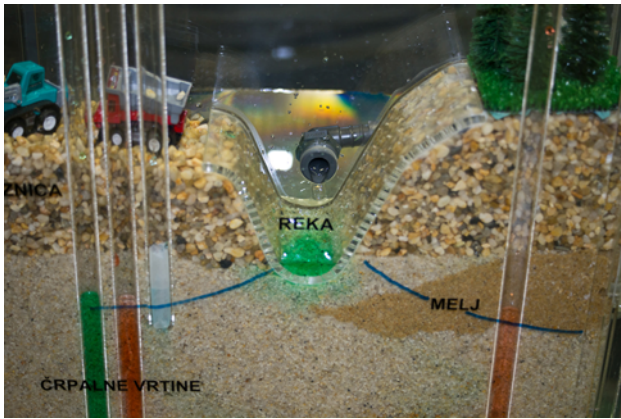
V predstavljenem učnem modelu uporabljamo le barvila, ki se idealno mešajo z vodo. Za lažje razločevanje hidrogeoloških pojavov uporabljamo različne barve za različno globoke vrtine. Z dodajanjem barvil lahko razložimo (sl. 5):

- Enkratno in stalno onesnaženje,
- Točkovno in ploskovno onesnaženje,
- Površinsko in podzemno onesnaženje,
- Širjenje onesnaževala po omočenem in neomočenem delu vodonosnika,
- Ranljivost vodonosnika in pomen vodarstvenih območij (širjenje površinskega onesnaževala v tla v odvisnosti od tipa tal),
- Širjenje onesnaževala iz greznice v nenasičeni coni (vertikalno in po stiku različno prepustnih plasti),
- Razredčenje oblaka onesnaževala v vodonosniku,
- Prenos onesnaževala iz/v površinske v/iz podzemno vodo,
- Vpliv črpanja na širjenje onesnaževala po vodonosniku.



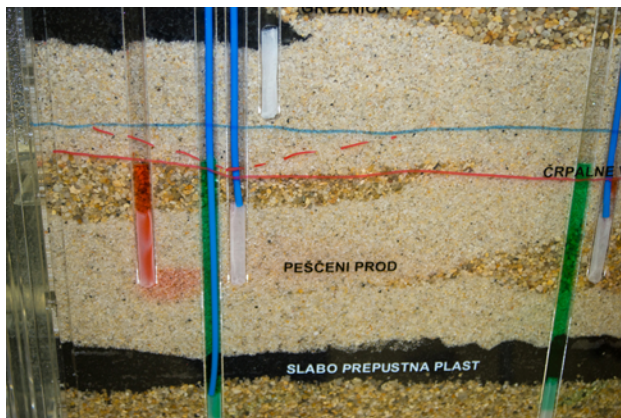
Sl. 2. Vodonosnik se drenira v reko (modro je gladina podzemne vode)

Fig. 2. The aquifer is being drained into/recharges the river (Slo:reka; blue line is groundwater level)



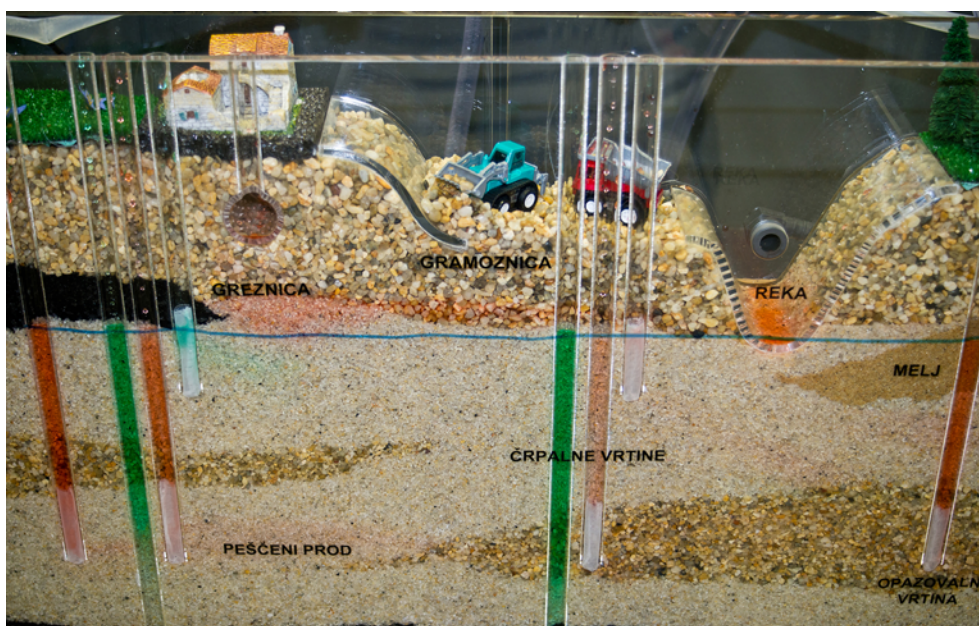
Sl. 3. Reka napaja vodonosnik (modro je gladina podzemne vode)

Fig. 3. The river (Slo: reka) recharges the aquifer (blue line is groundwater level)



Sl. 4. Depresijski lijak ob črpanju vode le iz srednje vrtine (rdeča prekinjena črta) in regionalno znižanje osnovne gladine (modra neprekinjena črta) zaradi črpanja iz vseh treh črpalnih vrtin (rdeča neprekinjena črta). Črpa se skozi modre cevke v vrtini

Fig. 4. The depression cone when pumping solely the middle well (red dotted line) and the regional groundwater draw-down (red line) due to pumping of all three wells (blue line is the pre-pumping groundwater level). The water is abstracted through the blue pipes in the wells



Sl. 5. Potovanje onesnaževala (rdeče barvilo) iz greznice skozi nenasičeno cono proti reki (modra sklenjena črta je gladina podzemne vode)

Fig. 5. Transport of the pollutant (red colour) from the septic tank (Slo: greznica) through the unsaturated zone to the river (the blue line is the groundwater level)

Zaključek

V prvem delu članka je predstavljeno dojetje dinamike podzemne vode med odraslimi ne-geologi v Sloveniji. Izkazalo se je, da ima petina do četrtnina anketiranih zelo šibko znanje o tej vsebini. Znanje je vezano predvsem na izkušnje, kar je potrdilo osnovno hipotezo raziskave.

V drugem delu članka je predstavljen učni model vodonosnika Ljubljanskega polja, ki ga bo za promocijo védenja o podzemni in pitni vodi uporabljala VO-KA. Model omogoča prikaz toka podzemne vode v nehomogenem in anizotropnem medzrnskem vodonosniku ter vpliv naravnih pojavov in antropogenih posegov na njegovo količinsko in kakovostno stanje. Z njim je mogoče razložiti hidrogeološke pojave na različnih nivojih predznanja, odvisno od potreb občinstva:

- Splošni javnosti brez posebnega predznanja o podzemni vodi se na preprost in nazoren način prikaže nastanek, rabo in pomen ohranjanja kvalitetnih virov podzemne vode.
- Osnovno hidrogeološko znanje strokovne javnosti in študentov geologije, geografije, gradbeništva, vodarstva, komunalnega inženirstva, itd. se nadgradi ali utrdi s praktičnimi vajami na modelu. Ta omogoča ne le opazovanje ampak tudi številčno opredelitev prikazanih hidrogeoloških pojavov. Za teoretične osnove in izvedbo izračunov različnih hidrogeoloških parametrov na modelu priporočamo branje članka RODHE-ja (2012).

Učni modeli so v prvi meri namenjeni bolj nazorni razlagi pojava podzemne vode, njenega izvora, posledic izkoriščanja in pomena varovanja. Zato upamo, da je to le prvi v vrsti učnih pripomočkov, ki jih bomo razvili za poučevanje osnov hidrogeologije ob primernem zanimanju laične in strokovne javnosti.

Zahvala

Za pomoč pri razvoju in izdelavi modela se zahvaljujem sodelavcema Simonu Mozetiču in Tomislavu Matozu. Za osnovno idejo in financiranje izvedbe učnega modela se iskreno zahvaljujemo dr. Brigiti Jamnik iz Javnega podjetja Vodovod-Kanalizacija d.o.o. v Ljubljani.

Viri in literatura

- BAČNIK, A. et al. 2008: Učni načrt. Kemija [Elektronski vir] : gimnazija : splošna gimnazija. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- BAČNIK, A. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Kemija [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- DRAGOŠ, A. et al. 2008: Učni načrt. Geografija [Elektronski vir]: gimnazija: splošna, klasična, ekonomska. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- GAMS, I. 2003: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Založba ZRC, ZRC SAZU, Ljubljana.
- HAKOUN, V., MAZZILLI, N., PISTRE, S. & JOURDE, H. 2013: Teaching groundwater flow processes: connecting lecture to practical and field classes. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 17, 1975-1984, doi:10.5194/hess-17-1975-2013.
- KEUC, Z. et al. 2005: Učni načrt. Izbirni predmet: program osnovnošolskega izobraževanja. Kemija (Kemija v okolju). Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- KOLNIK, K. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Geografija [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- MARENTIČ-POŽARNIK, B. et al. 2004: Učni načrt. Izbirni predmet: program osnovnošolskega izobraževanja. Okoljska vzgoja. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- MCCANN, A., NEPTIN, B. & GOLD, A. 2003: Groundwater model handbook; Understanding groundwater and using the groundwater model. URI Dept. of Natural Resources Science. (dostopno 15.11.2013 na : <http://www.uri.edu/ce/healthylandscapes/livestock/pdf/GWModelHandbook.pdf>)
- MECHENICH, C. 1995: Manual for use of the sand-tank groundwater flow model, 3rd edition. Central Wisconsin Groundwater Center, University of Wisconsin. (dostopno 15.11.2013 na: http://www.engr.scu.edu/~cemaurel/classes/ceng139_groundwater/handouts/UW_SP_groundwater_flow_model_manual.pdf)
- NARAVOSLOVNOTEHNIŠKA FAKULTETA 2006: Predmetnik bolonjskega programa Oddelka za geologijo. Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana. (dostopno 15.11.2013 na: <http://www.ntf.uni-lj.si/og/index.php?page=static&item=855>)
- PRESTOR, J., URBANC, J., JANŽA, M., RIKANOVIC, R., BIZJAK, M., MEDIČ, M. & STROJAN, M. 2002. Preverba in dopolnitev strokovnih podlag za določitev varstvenih pasov vodnih virov centralnega sistema oskrbe s pitno vodo v MOL - Ljubljansko polje (neobjavljeno poročilo). Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- REINFRIED, S., TEMPELMANN, S. & AESCHBACHER, U. 2012: Addressing secondary school students' everyday ideas about freshwater springs in order to develop an instructional tool to promote conceptual reconstruction. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1365-1377, doi:10.5194/hess-16-1365-2012.
- RODHE, A. 2012: Physical models for classroom teaching in hydrology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 3075-3082, doi:10.5194/hess-16-3075-2012.
- SKVARČ, M. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Naravoslovje [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- ŠRAM, D., BRENČIČ, M., LAPANJE, A. & JANŽA, M. 2012: Prostorski model visečih vodonosnikov na Ljubljanskem polju. *Geologija*, 55/1: 107-116, doi:10.5474/geologija.2012.008.
- URBANC, J. & JAMNIK, B. 1998: Izotopske raziskave podzemne vode Ljubljanskega polja. *Geologija*, 41, 355-364, doi:10.5474/geologija.1998.018.
- URBANC, J. & JAMNIK, B. 2007: Porazdelitev in izvor nitratov v podzemni vodi Ljubljanskega polja. *Geologija*, 50/2, 467-475, doi:10.5474/geologija.2007.032.
- VODOPIVEC, I. et al. 2011: Učni načrt. Program osnovna šola. Naravoslovje in tehnika [Elektronski vir]. Ministrstvo za šolstvo in šport: Zavod RS za šolstvo, Ljubljana.
- ŽLEBNIK, L. 1971: Pleistocen Kranjskega, Sorškega in Ljubljanskega polja. *Geologija*, 14, 5-51.
- Internetni viri (dostopni 15.11.2013 na):
<http://www.beg.utexas.edu/education/aquitank/tank01.htm>
<http://iah.org/regionalgwflow/education.html>
<http://www.onegeology.org/extra/kids/slovenian/home.html>
<http://www.deq.louisiana.gov/portal/PROGRAMS/DrinkingWaterProtectionProgram/DrinkingWaterForKids.aspx>
<http://www.livinghistoryfarm.org/farminginthef40s/lrscience05.html>
<http://www.envisionenviroed.net>

Nova knjiga

Bogdan JURKOVŠEK, Blanka CVETKO TEŠOVIĆ in Tea KOLAR-JURKOVŠEK, 2013: Geologija Krasa. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 205 str.
(*Geology of Kras. Geological Survey of Slovenia, Ljubljana: 205 p.*)

Po dveh geoloških kartah, ki ločeno obravnava južni in severni del Krasa, je ob koncu leta izšla še monografija Geologija Krasa. Obravnava ozemlje matičnega Krasa, ki zaseda med kraškimi regijami v svetu prav posebno mesto, saj je po njegovem imenu nastal znanstveni izraz karst (kras).

Avtorji v monografiji, poleg osnovnih geoloških značilnosti Krasa, na strnjen način predstavijo tisti delraziskovalnega ozadja, ki pozaključku geološkega kartiranja običajno ostane neobjavljen in pozabljen v depojih raziskovalcev. Monografija vsebuje bogat slikovni material izdankov, kamnolomov, preparatov kamnin, mikro- in makrofosilov ter nekaterih arhitekturnih značilnosti Krasa. Poleg posodobljene geološke karte v merilu 1 : 125.000, prečnih geoloških profilov in stratigrafskega stolpca, je slikovno predstavljena tektonska rajonizacija širšega prostora jugozahodne Slovenije ter več tematskih kart, ki obravnavajo tektoniko, mineralne surovine, paleogeografske razmere itd.

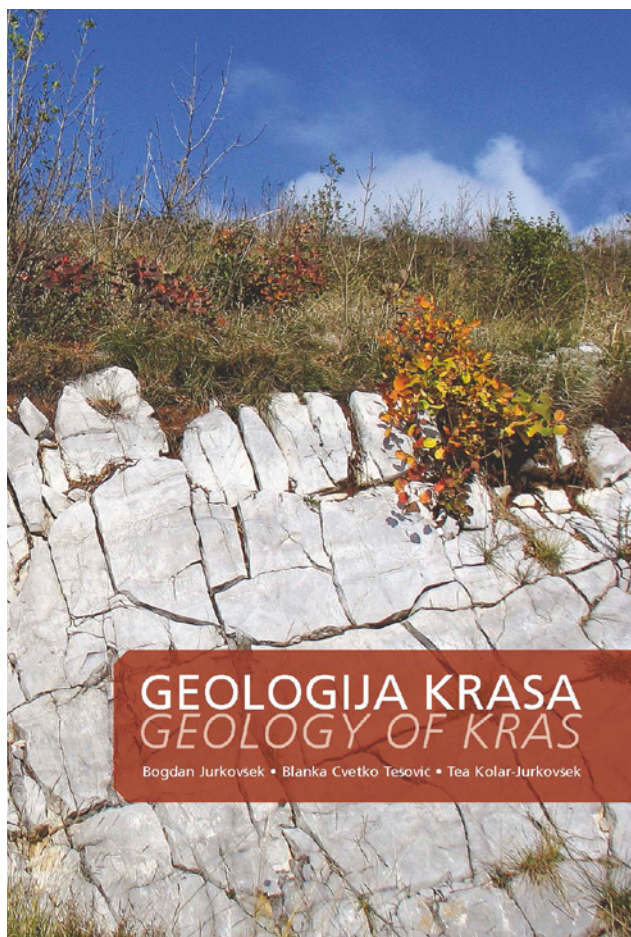
V uvodnih poglavjih je podrobno obravnavana zgodovina geoloških raziskav na Krasu, nato pa se bralec seznanja z velikimi biološkimi in geološki-

mi spremembami v zgodovini Zemlje od velikega permsko-triasnega izumiranja do ponovnega razcveta življenja v začetku mezozoika in do padca asteroida ob koncu krede, ki je usmeril evolucijo živega sveta proti sedanosti. Vzporedno je razloženo gibanje litosferskih plošč skozi mezozoik vse do končnega razpada Pangee na posamezne kontinente in njihova pot proti današnji razporeditvi. V poglavju, v katerem avtorji obravnavajo geološko umestitev in predzgodovino Krasa, je poleg aktualnega geotektonske lege Krasa velik del namenjen Jadransko-dinarski karbonatni platformi in njeni evoluciji v kredi in paleogenu.

Večji del monografije obravnava litostratigrafske enote Krasa, njihove osnovne sedimentološke značilnosti, fosilne združbe, kronostratigrafsko umestitev in ne nazadnje njihov kulturnozgodovinski in aktualni pomen za arhitekturo Krasa. Avtorji ves čas ostajajo v okviru primerjav z drugimi območji nekdanje Jadransko-dinarske platforme. Evidentna je zlasti povezanost večine stratigrafskih nivojev, členov in formacij z globalnimi evstatičnimi in anoksičnimi dogodki, ki so jih raziskovalci prepoznali tudi drugod v Zunanjih Dinaridih.

Geologija Krasa spada med temeljna znanstvena dela z veliko uporabno vrednostjo in je v celoti prevedena v angleški jezik. Večji format knjige z 48 dvostranskimi tablami, na katerih so predstavljene vse najpomembnejše kraške formacije, bo zagotovo dobrodošel pripomoček vsem bodočim raziskovalcem Krasa, kakor tudi tistim, ki žele geologijo Krasa spoznati le informativno. Knjiga ponuja tudi izhodišča za ponovni razmislek o geološki dediščini Krasa, njenem ovrednotenju in zaščiti.

Monografijo so recenzirali trije odlični poznavalci geologije Zunanjih Dinaridov: akademik prof. dr. Ivan Gušić (Hrvaška), † prof. dr. Bojan Ogorelec (Slovenija) in prof. dr. Giorgio Tunis (Italija). Avtorji so ves čas v dialogu z drugimi raziskovalci tega prostora in kot so zapisali v zahvali, delo temelji tako na lastnih geoloških dognanjih, kot na rezultatih dolgoletnih geoloških raziskav širokega kroga zlasti slovenskih, hrvaških in italijanskih geologov. Monografijo so posvetili prebivalcem Krasa, kar gre razumeti kot priznanje Kraševcem za njihov zgodovinski prispevek pri oblikovanju naravne in kulturne podobe Krasa, kot učbenik iz katerega bodo črpali védenje o svoji pokrajini in kot zavezo, da bodo razumeli zakaj Kras varovati in ohraniti za naslednje rodove.



Poročila

Evropski geotermalni kongres Pisa (Italija), 3.–7. junij 2013

Nina RMAN, Joerg PRESTOR, Andrej LAPANJE & Dušan RAJVER

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

Prva Evropska geotermalna konferenca se je odvijala v Baslu (Švica) leta 1999, druga v Szege-du (Madžarska) maja 2003, tretji Evropski geotermalni kongres pa leta 2007 v Unterhachingu pri Munchenu (Nemčija). Evropski svet za geotermalno energijo (EGEC) je v sodelovanju z Italijansko geotermalno zvezo (UGI) in evropsko podružnico Mednarodnega geotermalnega združenja (IGA) po šestih letih ponovno organiziral tak dogodek.

V petih dneh, med 3. in 7. junijem 2013, je preko 500 udeležencev iz več kot 41 držav sveta sodelovalo na Evropskem geotermalnem kongresu v Pisi, Italiji (www.geothermalcongress2013.eu). V treh dneh se je v štirih vzporednih sekcijah zvrstilo približno 150 predavateljev in predstavitev več kot stotih posterjev. Kongres ni omogočil le pregleda nad trenutnimi znanstvenimi dosežki na področju geotermije, ampak je bil usmerjen tudi zelo aplikativno. Z različnimi tematskimi sekcijami je omogočil vzpostavitev povezav med raziskovalci, uporabniki, upravljavci in investitorji v geotermalne vire v Evropi.

Plenarna predavanja so pokrila aktualne teme, kot so stanje izkoriščanja geotermalne energije, tako neposredno kot za proizvodnjo elektrike, v Evropi (M. Antics), na Kitajskem (K. Zheng) in na svetu (R. Bertani), sprožena seizmičnost vsled izkoriščanja globljih geotermalnih virov (S. Wiemer), razvoj tehnologije termo-aktivnih podzemnih struktur (L. Laloui) ter izobraževanje o geotermalni energiji in doseganje razvojnih ciljev (I. Fridleifsson). Sočasno s predavanji so potekali številni vzporedni dogodki, kot so bile zaključne konference evropskih projektov GroundMed, GeoElec in Thermomap, letni sestanki UGI, EGEC in IGA-ERB ter kratka tečaja »Vrtanje, dovršitev, oprema in testiranje geotermalnih vrtin« in »Geotermalne toplotne črpalke«.

Sekcija **Geotermalni trgi, spodbude, predpisi, potrebe po raziskavah in razvoju**, nam je postregla s pregledom stanja geotermalnega trga v Evropi in potrebi po novih raziskavah in razvoju uporabe geotermalne energije, s poudarkom na večjih igralcih, kot so Italija, Francija in Nizozemska. V sklopu te sekcije smo predstavili rezultate projekta TRANSENERGY. Pregled obstoječih finančnih in zakonodajnih preprek, ki otežujejo hitrejši razvoj rabe geotermalne energije v Sloveniji, Madžarski, Avstriji in na Slovaškem, se je izkazal kot širši evropski problem. Poudarki preostalih predstavitev so bili tudi na predpisih, ki urejajo področje izrabe geotermalne energije, na ekonomskih analizah in možnostih proizvodnje geotermalne elektrike na nekonvencionalen način ter na razvoju sistemov daljinskega ogrevanja (Italija, Madžarska in Slovaška), kot so jih raziskovali v GeoDH projektu.

V sekciji **Okolje** so se dotaknili prostorskega načrtovanja z upoštevanjem rabe geotermalnih toplotnih črpalk, vpliva geotermalnih elektrarn na kvaliteto zraka in radioaktivnost njihove okolice ter trajnostnega izkoriščanja geotermalnih virov z ohranjanjem naravnih pojavov, kot so npr. topli izviri. Takemu pristopu pa kljub dokazanim ugodnostim na dolgoročnost izkoriščanja geotermalnega vira nasprotuje npr. nov zakon na Madžarskem, ki začasno umika zahtevo po obvezni reinjekciji v sistemih izrabe geotermalne toplote tudi pri novih uporabnikih. Ponekod, npr. v Pariškem bazenu, želijo rabo obstoječih geotermalnih virov podaljšati z razvojem subhorizontalnih vrtin in postavitev tripleto (ena proizvodna in dve reinjekcijski vrtini). Na ta način bi povečali pretok termalne vode, znižali temperaturne in tlačne izgube v sistemu ter omogočili boljšo obnovo njegovega energetskega stanja, s tem pa podaljšali življenjsko dobo objektov in celotnega geotermalnega sestava.

V sekciji **Stiki z javnostjo** je izstopala predstavitev sprejemljivosti EGS projektov v Evropi v povezavi z obstoječimi seizmičnimi dogodki v Franciji in Italiji, ki zmanjšujejo podporo umetnemu razvoju geotermalnih rezervoarjev med lokalnim prebivalstvom.

V sekciji **Ocena geotermalnih virov** so predstavili nove ocene geotermalnih virov v različnih predelih Evrope: v Italiji, renskem jarku in severni Nemčiji, pariškem bazenu, zahodni Turčiji in na Azorih ter uporabo geofizikalnih metod za določanje lastnosti razpok v geotermalnih rezervoarjih. Nekatere ocene so temeljile na kritično predstavljenih matematičnih modelih namenjenim raziskavam, optimizaciji ali analizam tveganja pri razvoju globokih rezervoarjev. Sekcija o razvoju umetnih geotermalnih rezervoarjev (enhanced geothermal systems - EGS) za izrabo geotermalne elektrike nas je seznanila z glavnimi dosežki demonstracijskega projekta v Soultz-sous-Forêt-u (hidravlično frakturiranje, testiranje vrtin, mikrosezmični pojavi in preprečevanje obarjanja mineralov) in s primeri EGS razvoja na poljih Travale in Amiata JV od geotermalnega polja Larderello (Italija). Več predavanj je bilo posvečenih delovanju geotermalnih elektrarn v Italiji, Nemčiji in Nevadi. Med predstavitvami je bilo tudi kar nekaj teoretičnih primerov možnosti postavitve EGS elektrarn, npr. na južnem Madžarskem, na Poljskem in v južni Angliji, vendar je dokaz teh virov omejen s pomanjkanjem sredstev za raziskovalne vrtine. Pričakujejo pa, da bodo v prihodnjih letih uspeli vzpostaviti nekaj pilotnih objektov na teh območjih.

Zaradi naraščajočega razvoja aplikativnega področja rabe plitve geotermalne energije je bila posebna sekcija posvečena **geotermalnim toplotnim**

črpalkam (ground source heat pumps - GSHP) in **skladiščenju toplote** (underground thermal energy storage - UTES). Pokrila je razvoj najnovejših tehnologij GSHP (GroundMed projekt), visokotemperaturnih toplotnih črpalk za daljinsko ogrevanje, nemška navodila za rabo plitve geotermalne energije in razvoj novih matematičnih orodij za načrtovanje nizkotemperaturnih geotermičnih polj (talnih zank za instalacije GSHP), matematično optimizacijo polj z izmenjevalci toplote v vrtnah pod spremenljivimi pogoji. Izvedeli smo tudi za več študijskih primerov uporabe GSHP: največji projekt rabe plitve geotermalne energije v Nemčiji, največjo geotermalno toplotno črpalko za posamično stavbo na svetu v Italiji, meritve toplotno-mehanskega odziva energetskih temeljev s piloti. Več predavanj je bilo na temo ugotavljanja termičnih parametrov tal in plitvega podzemlja (Thermal Response Test - TRT analize, ThermoMap), o termoaktivnih strukturah, na primer opazovan toplotni in toplotno-mehanski odziv energetskih temeljev s piloti, toplotno mehanski procesi, ki vplivajo na geotehnični učinek temelja z energetskim pilotom, ipd. Primeri uporabe so še: skladiščenje toplote energije v vrtnah v kombinaciji z daljinskim ogrevanjem ter za kombiniranje rabe geotermalne energije s čiščenjem podzemne vode in s tem povezanim vplivom UTES na sestavo podzemne vode na primeru Nizozemske.

Strokovni izlet v Larderello je bil organiziran zadnji dan kongresa, 7. junija. V Sassu Pisanu smo si ogledali naravne geotermalne pojave, kot so solfatare, fumarole in vroči blatni bazenčki. V geotermalnem parku Le Biancane pri Monterotundu smo opazovali hidrotermalno spremenjene radiolarite in fumarole. V Larderello so termomineralno vodo iz visoko entalpijskega geotermalnega sistema sprva izkoriščali za pridobivanje borove kisline iz borove soli, leta 1904 pa je stekla prva poskusna proizvodnja geotermalne elektrike na svetu. Od 1913 se ta redno proizvaja, a prva elektrarna Larderello I je porušena. Zgornji geotermalni rezervoar sestavljata srednjetriasni apnenec in anhidrit. S plitvimi vrtnami (cca. 100 m) je zajeta suha para s temperaturo okoli 240 °C. Globlje vrtnice, do 2000 m, zajemajo fluid iz spodnjega rezervoarja v metamorfnih kamninah (filiti, amfiboliti,...). Videli smo več geotermalnih elektrarn, ki jih upravlja ENEL (Ente Nazi-

onale per l'energia ELettrica): npr. Central Sasso 2 z močjo 20 MW_e in pri Monterotundu z močjo 16 MW_e. Ogledali smo si tudi največjo geotermalno elektrarno v Italiji, to je Valle Secolo z instalirano močjo 120 MW_e. Za vsako enoto kapacitete 60 MW_e izrabljajo 400 t/uro super pregrete pare, ki jo zagotavljajo iz 30 do 40 proizvodnih vrtnic! V elektrarni iz plinov, ki ne kondenzirajo, kemijsko odstranjujejo živo srebro in žveplovodik. Delež teh plinov znaša 3,2 % (oziroma 12 t plina na uro), delež živega srebra pa 3 do 4 ppm. Na tej lokaciji smo si ogledali tudi kratko odprtje geotermalne vrtnice, ki ima naslednje proizvodne značilnosti: tlak na ustju 4 bar, temperatura fluida 180 °C in izdatnost 10 t/uro super pregrete pare. To zadošča za elektrarno instalirane moči 1 MW_e, ali za pridobivanje toplote energije z močjo 6 MW_t.

Glede na prejšnje evropske kongrese so za spoznanje večji pomen zavzele razprave o izkoriščanju plitvo ležeče geotermalne energije z geotermalnimi toplotnimi črpalkami in o shranjevanju energije v plitvem podzemlju. Hitro se uveljavljajo tudi večji sistemi rabe geotermalne energije s celimi polji navpičnih geosond za večje stavbe, športne objekte, idr., marsikje že v kombinaciji s shranjevanjem viškov energije v plitvem podzemlju. Kot zgled za strateški razvoj panoge globokih EGS rezervoarjev pa nam lahko služi Švica, ki je po nesreči jedrske elektrarne v Fukušimi spremenila svojo dolgoročno energetsko strategijo in v njej opredelila geotermalne vire kot nacionalni interes. V njej je zelo pomembno povečanje sredstev za razvoj izkoriščanja geotermalne elektrike, saj nameravajo doseči proizvodnjo 1,0 TWh do leta 2035 oziroma 4,4 TWh do 2050. S stališča raziskav to pomeni zelo pomembna vlaganja v pilotne projekte izrabe geotermalne energije z EGS v bližnji prihodnosti.

V okviru kongresa pripravljene članki in predstavitve so dostopni preko spletne strani IGA (www.geothermal-energy.org/publications_and_services/conference_paper_database.html). Naslednji tak vseevropski dogodek je načrtovan v letu 2017, medtem pa velja povabiti za druženje na svetovnem geotermalnem kongresu v Melbourneu s strokovnimi izletmi po Avstraliji in Novi Zelandiji, ki bo potekal aprila 2015.

Predstavitev biltena Mineralne surovine

Andreja SENEGAČNIK

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

Letos je izšla deveta številka biltena Mineralne surovine, ki prinaša podatke o stanju in dogodkih na področju mineralnih surovin, geologije in rudarstva v Sloveniji. Bilten izhaja enkrat letno, običajno v septembru, s poudarkom na preteklem letu. Izdaja ga Geološki zavod Slovenije v okviru dela, ki ga opravlja za ministrstvo, pristojno za rudarstvo; sedaj je to Ministrstvo za infrastrukturo in prostor. Bilten je razdeljen v tri sklope (dele): I. del – temeljni

podatki, kazalci sektorja, II. del – opravljeno delo, stanje v predhodnem letu, in III. del – pregledni članki; običajno je priložena tudi tematska karta.

V prvem delu je pregledno podano stanje na področju mineralnih surovin v Sloveniji. Tu so zbrani podatki o proizvodnji ter o zalogah in virih, kot jih zbira in obdeluje državna uprava, s tabelami in grafičnimi prikazi. Letne podatke pošiljajo nosilci rudarske pravice (koncesionarji) v skladu

z Zakonom o rudarstvu in njegovimi podzakonskimi akti. Podatke za leto 2012 je poslalo 160 različnih koncesionarjev za skupaj 212 nahajališč.

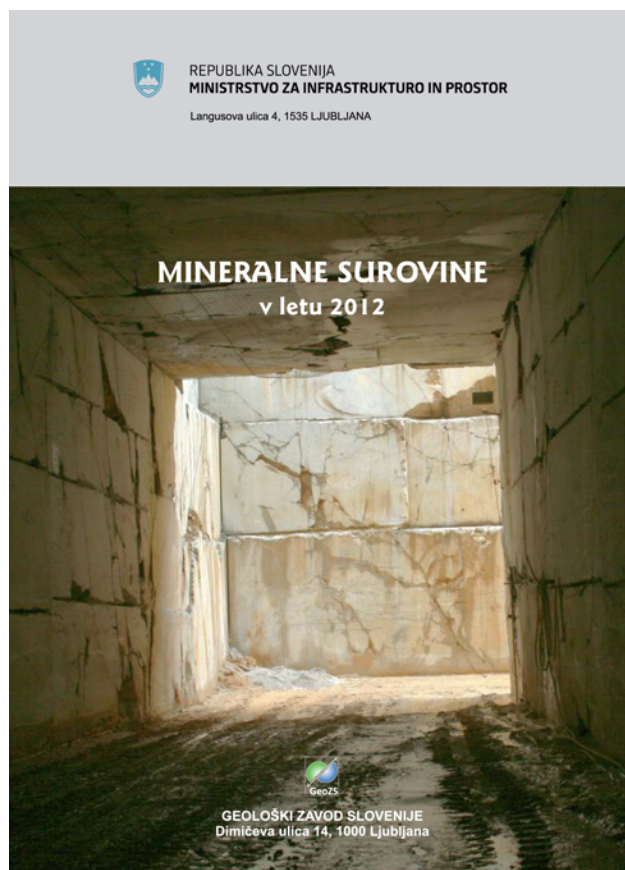
Sedanje stanje zaznamuje predvsem proizvodnja nekovinskih mineralnih surovin. Surovine za gradbeništvo, po obsegu največja skupina med njimi, so v biltenu še posebej predstavljene, zlasti za zadnja tri leta. Letos je podana tudi primerjava zadnjih dveh petletnih obdobjih glede proizvodnje ter zalog in virov nekovinskih mineralnih surovin v Sloveniji. Iz tega poglavja je razviden trend zadnjih let. Proizvodnja pada, še zlasti pada proizvodnja surovin za gradbeništvo (tehnični kamen ter prod in pesek). V letu 2007 je proizvodnja nekovinskih mineralnih surovin z 28,3 milijonov ton dosegla višek, do leta 2012 je upadla za več kot polovico, in sicer na 12,2 milijona ton. Pri surovinah za gradbeništvo je podobno stanje, višek v letu 2007 z 22,8 milijonov ton in padec na 9,3 milijona ton v letu 2012.

Poleg surovin za gradbeništvo pridobivamo od nekovin še manjše količine (0,8 milijona ton v letu 2012) surovin za predelovalno industrijo (bentonit, kalcit, kremenov pesek, pucolan-tuf, industrijski dolomit, roženec, keramična glina) ter surovine za industrijo gradbenega materiala (opekarska glina, naravni kamen, apnenec za apno in cement, lapor za cement), slednje 2,1 milijona ton v letu 2012. Pod Zakon o rudarstvu sodi tudi pridobivanje morske soli.

Od energetskih surovin sta v letu 2012 imela proizvodnjo dva premogovnika: Velenje, ki ohranja konstantno proizvodnjo in Trbovlje-Hrastnik, ki je v zapiranju. Pri Lendavi poteka proizvodnja nafte in plina. Kovin že dolgo ne pridobivamo več; pridobivanje živosrebrne rude v Idriji so končali v letu 1991, v Mežici pa so v letu 1994 pridobili zadnje tone svinčeve in cinkove rude.

V drugem delu biltena so letna poročila raznih inštitucij: rudarskega dela Sektorja za energetiko in rudarstvo pri Ministrstvu za infrastrukturo in prostor, Komisije za ugotavljanje zalog in virov mineralnih surovin, Inšpekcije za rudarstvo, poročilo o kakovosti montanističnih študijev na Naravoslovnotehniški fakulteti in poročilo o delu Geološkega zavoda Slovenije za ministrstvo, pristojno za rudarstvo; sledijo poročila društev: Slovensko rudarsko društvo inženirjev in tehnikov, Matična sekcija rudarjev in geotehnologov v okviru IZS, Društvo tehničnih vodij – površinsko odkopavanje in Slovensko geološko društvo.

V tretjem delu biltena so pregledni članki. Letos so predstavljeni peskokopi kremenovega peska pri Moravčah, kamnolom apnenca Zidani Most, pomen raziskav in elaboratov, geotermalni viri in ravnanje s tehnološkimi vodami predelave naravnega kamna. Sledijo kratka poročila o štirih evropskih projektih, kjer so udeleženi slovenski raziskovalci in strokovnjaki: EuroGeoSource s področja oskrbe z energijo in mineralnimi surovinami, ki se je zaključil v letu 2013, projekt RoofOfRock s področja naravnega kamna, SNAP-SEE s področja trajnostne oskrbe s kamenimi agregati ter ReBirth s področja recikliranja gradbenih odpadkov. Na koncu je predstavljena monografija Nahajališča nekovinskih mineralnih surovin – površinski kopi,



II. del, ki je izšla lansko leto. Med članki lanskega biltena vsebinsko izstopata prispevka o oljnih skrilavcih in kritičnih mineralnih surovinah.

Običajno je priložena tematska karta, največkrat karta nahajališč mineralnih surovin s koncesijo M 1 : 500.000, ki se jo glede na spremembe obnavlja vsakih nekaj let, priložen je seznam koncesionarjev (nosilcev rudarske pravice). V letu 2010 sta bili objavljeni karta nekdanjih premogovnikov ter karta rudišč in rudnih pojavov.

Bilten je namenjen tako pridobivalcem mineralnih surovin kot vsem, katerih dejavnost je povezana z rudarstvom, geologijo in gradbeništvom, koristen je tudi za upravne organe in lahko služi študentom kot pripomoček pri delu.

Letošnji bilten obsega 196 strani, formata B5, v njem je sodelovalo 39 avtorjev in soavtorjev. Tiskan je v 300 izvodih, na razpolago je na Geološkem zavodu Slovenije, v elektronski obliki pa je dosegljiv na spletni strani <http://www.geo-zs.si/podrocje.aspx?id=68>

Vsaki dve leti izide tudi skrajšana različica biltena v angleškem jeziku, kjer na približno petnajstih straneh podamo stanje na področju gospodarjenja z mineralnimi surovinami v slovenskem prostoru in s katerim se lahko predstavimo tudi v tujini. Do sedaj so izšle tri številke (leta 2008, 2010 in 2012) v A4 formatu, zadnja obsega: predgovor, uvod, angleški prevod spletne strani Ministrstva za infrastrukturo in prostor, stanje na področju mineralnih surovin s tabelami o proizvodnji in zalogah ter predstavitev spletne strani mineralnih surovin, dodani sta karta nahajališč mineralnih surovin s koncesijo in karta premogovnikov.



Poročilo Društva študentov geologije za študijsko leto 2012/2013

Eva MENCIN

Gotska 4, SI-1000 Ljubljana; e-mail: emencin@gmail.com

Društvo študentov geologije je samostojno, prostovoljno, nepridobitno združenje s sedežem na Privozu 11, 1000 Ljubljana. Z izvajanjem različnih obštudijskih dejavnosti širimo znanje pridobljeno v rednem študijskem programu. Prav tako si prizadevamo k vzpostavitvi vezi med študenti in geološkimi strokovnjaki ter strokovnjaki drugih znanosti, ki so pomembne za geologijo. Poleg upravnega odbora (predsednica in blagajničarka Eva Mencin, podpredsednik Andrej Novak, tajnik Erazem Dolžan) v društvu aktivno sodelujejo tudi drugi **študentje geologije**.

Društvo študentov geologije je bilo ustanovljeno z namenom:

- medgeneracijskega povezovanja študentov ter ljubiteljev geologije;
- povezovanja in sodelovanja s strokovnjaki geologije in sorodnih strok;
- organizacije geoloških taborov;
- organizacije strokovnih ekskurzij v Sloveniji in tujini;
- organizacije izobraževalnih delavnic, okroglih miz in predavanj;
- sodelovanja z javnimi in zasebnimi ustanovami, organizacijami ter društvu.

V društvo se lahko včlanijo študentje geologije in sorodnih strok, strokovnjaki, raziskovalci ter ljubitelji stroke ob predložitvi pristopne izjave in plačane članarine, ki znaša 10 EUR na leto. Društvo obvešča člane prek sestankov, elektronske pošte, plakatov in objav v sredstvih javnega obveščanja, na spletni strani in prek poročil ter zapisnikov organov društva.

V študijskem letu 2012/2013 so bile izvedene sledeče dejavnosti:

- Ekskurzija v Idrijo 19. in 20.10.2012. Sedimentološko-stratigrafska ekskurzija je prvi dan potekala po vzhodnem obrobju Idrije, drugi dan pa je sledil ogled geoloških točk v Krajinskem parku Zgornja Idrija z izhodiščem v Knipajzu. Ekskurzijo je vodil dr. Jože Čar. Organizator: Dejan Sedej.
- Ekskurzija za študente prvega letnika geologije 24.11.2012. Ekskurzijo smo pričeli z ogledom sledov mostiščarjev pri Škofljici, nadaljevali v nekdanjem rudniku barita Pleše, kjer smo si ogledali staro rudniško poslopje, nekaj zaprtih vhodov v rudnik in jalovišče. Sledil je ogled kamnoloma Pleše s subvertikalnimi plastmi glavnega dolomita. Sledil je ogled jezera Jezero z nekaj besedami o geologiji v okolici Krima. Zaključili smo v opuščenem kamnolomu podpeškega apnenca. Ekskurzijo je vodil doc. dr. Luka Gale. Organizator: Eva Mencin.
- Objava v znanosti 19.1.2013. Z delavnico objava v znanosti so udeleženci pridobili znanje, ki jim bo pomagalo pri pisanju člankov in predstavitvi njihovega dela na znanstvenih srečanjih. De-

lavnica je potekala v dveh delih. V dopoldanskem delu je bilo organizirano predavanje, v popoldanskem delu pa je potekal praktični del. Delavnico je vodil doc. dr. Luka Gale. Organizator: Eva Mencin.

- Jamsko kartiranje, 30. in 31.1.2013. Prvi dan je potekalo predavanje o jamskem kartiranju, predstavitev jamskih geoloških kart in rudarskih elaboratov. Sledil je ogled zbirke Rudnika Živega srebra Idrija v zapiranju (RŽSI) ter krajši geološki teren po južnem obrobju Idrije. Drugi dan smo se udeleženci spoznali z osnovami jamskega kartiranja z delom v skupinah. Zahvaljujemo se RŽSI, da so nam omogočila dostop v rudnik. Tečaj sta vodila dr. Jože Čar in Bojan Režun. Organizator: Dejan Sedej.
- Vroča točka, 5.3.2013. Okrogla miza je bila organizirana v dveh sklopih. V prvem smo se dotaknili naslednjih tematik: starost vrste *Diplopora annulata*, neposredni dokazi za obstoj karnijskega vulkanizma, nastanek bohinjskega fliša in obstoja Bohinjske karbonatne platforme, problematike in dokazov za obstoj ene (Jadranske oz. Dinarske) ali dveh karbonatnih platform, razlogi za obstoj različnih paleogeografskih rekonstrukcij za obdobje triasa in parketna struktura v JV Sloveniji. V drugem delu je sledil pogovor o prihodnosti mladih v geologiji. Gostje na okrogli mizi so bili dr. Katica Drobne, dr. Matevž Novak in doc. dr. Boštjan Rožič. Moderatorja: Rok Brajkovič in Eva Mencin.
- Ekskurzija v Istro, 19.4.2013. Ogledali smo si kanjon Vele Drage, ki je del nacionalnega parka Učka na območju masiva Učke in delu čičarije. Pot nas je vodila skozi več razglednih točk in mimo geomorfoloških oblik, kot so naravni stebri in okna v alveolinsko-numulitnem apnencu. Organizator: Ana Trobec.
- Geološko-geografski tabor, 5.-7.4.2013. Interdisciplinarni tabor je potekal v Mežici. Prvi dan pod vodstvom doc. dr. Uroša Herleca je obsegal krajše uvodno predavanje o geologiji okolice ter se nadaljeval z terenom v rudnikih Topla, Žerjav in Mežica. Drugi dan pod vodstvom dr. Karla Natka je bil namenjen poplavam na območju Mislinje in Drave. Obsegal je več terenskih točk na poplavnih območjih in ogled nekaterih fluvialnih geomorfoloških oblik. Tretji dan, ki je potekal pod vodstvom asist. mag. Marka Zupana, se je dotikal pedologije in degradacije tal v Mežici in okolici. V uvodnem predavanju je predstavili onesnaženost okolja in sanacijske ukrepe v Zgornji Mežiški dolini, v sledečem terenu pa vzorčenje in določanje kislosti prsti. Organizatorja: Anja Jaklič in Rok Brajkovič.
- Geotabor na Goričkem 8.-14.2013. Prvega dne je potekal paleontološki teren z mag. Matijo Križnarjem v okolici Lenarta. Naslednji dan je sledilo predavanje Mojce Bedjanič o varstvu geološke dediščine in pregled geologije

- Goričkega z Velimirjem Turkom in dr. Polono Kralj. Tretji dan smo obiskali podjetji Naf-ta Geoterm in Kema Puconci. Četrty dan je bil posvečen vulkanizmu v JV Avstriji pod vodstvom dr. Ingomarja Fritza. Peti dan je bil namenjen ureditvi manjše zbirke, ki smo jo tekom tedna pripravili za krajinski park Goričko. Šesti dan smo z dr. Bojanom Otoničarjem in ma-džarskim jamarjem Leom Szabo raziskovali madžarske jame, sedmega dne pa je z ovinkom v Termah 3000 sledil povratek domov. Organi-zatorji: Tim Cifer, Nina Caf in Eva Mencin.
- Poletna ekskurzija v Karavanke, 26.-28.7.2013. Prvi dan je ekskurzija obsegala ogled kamnin znotraj cone Periadriatskega prelomnega sis-tema. Sledil je drugi dan z ogledom litologije in strukture Košute. Ekskurzija se je tretjega dne zaključila z ogledom litologije v soteski Košutnikov graben. Ekskurzija je potekala pod vodstvom dr. Walterja Poltinga. Organizatorja: Blaž Vičič in Rok Brajkovič.
 - Ekskurzija v rudnik Bor, Srbija, 25.-28.9.2013. Po dnevu vožnje je naslednji dan sledil ogled inštituta za rudarstvo in metalurgijo (IRM) Bor s predstavitvijo delovanja in ogledom labora-torijskih prostorov ter opreme. Sledil je ogled opuščene odprtega kopa Tilva Roš. Tretji dan je sledil ogled podzemnega kopa – rudnik Jama ter površinskega kopa Veliki Krivelj. Za strokovno vodstvo sta poskrbela Bojan Milenković, vodja geološke službe jame Bor in Žunja Slavoljub Obradović iz IRM Bor. Organizatorja: Klemen Černič in Eva Mencin.
 - Ekskurzija na Snežnik, 20.10.2013. Ekskurzija je obsegala več terenskih točk z geomorfološkimi in sedimentološkimi indikatorji poledenitve na

Snežniku. Za strokovno vodstvo je poskrbela mlada raziskovalka geografije Manja Žebre. Organizator: Rok Brajkovič.

V študijskem letu 2013/2014 so predvidene sledeče dejavnosti:

- Geodan, 24.11.2013. Organizator: Dejan Sedej, razvojno društvo Idrija 2020 in mladinski cen-ter Idrija.
- Geoavantura, 6.12.2013. Ekskurzija bo poteka-la v rudnik granatov Radthein, Avstrija. Strokovno vodstvo: Dr. Georg Kandutsch. Organi-zator: Aleš Šoster.
- Geološko-geografsko-krajinarski tabor. Marec/april 2014, Postojna. Organizatorji: Anja Jaklič, Ana Strgar in Klara Nagode.
- Spomladanska ekskurzija: februar/marec 2014. Organizatorja: Andrej Novak in Anja Kocjančič.
- EUGEN, 4.-10.8.2014, v okolici Komna na Kra-su. Organizatorja: Andrej Novak in Ana Trobec.
- Ekskurzija v tujino: Makedonija. September 2014. Organizator: Galena Jordanova.
- Vroča točka. Marec 2014.
- Ekskurzija na Medvednico.

V času od ustanovitve si je društvo pridobilo precejšnje število članov in podpornikov. Cilj je, da se društvo zanesljivo uveljavi, zato pozivam k včlanitvi in aktivnem sodelovanju. Zahvaljujemo se vsem mentorjem, ki so poskrbeli za visok strokovni nivo izvedenih projektov Društva študentov geologije ter donatorjem, ki so omogočili kakovostno izvedbo le-teh. To so Geološki zavod Slovenije, Študentski svet Naravoslovnotehniške fakultete in Študentska organizacija Univerze v Ljubljani.

**Evropski informacijski sistem
za podporo politike trajnostne Oskrbe
z energijo in mineralnimi surovinami - EuroGeoSource**

Jasna ŠINIGOJ & Duška ROKAVEC



Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000, Ljubljana;
e-mail: duska.rokavec@geo-zs.si, jasna.sinigoj@geo-zs.si

Evropa, in s tem tudi njena industrija, je vse bolj odvisna od uvoza mineralnih surovin, predvsem kovinskih in industrijskih mineralnih surovin, kar je privedlo evropsko gospodarstvo v precejšnjo negotovost. Varnost evropske preskrbe z viri je lahko ogrožena že v bližnji prihodnosti, saj Evropa postaja vse bolj odvisna od zunanjih dobaviteljev. V zadnjem času smo lahko na svetovni ravni opazili velik porast cen mineralnih surovin, še posebej kovinskih.

Podatki o zalogah in virih mineralnih surovin znotraj posameznih članic unije obstajajo, vendar jih vsaka država zbira po svoje. Podatki so na različnih nivojih, od lokalnih, regionalnih do podatkov posameznih gospodarskih združb, ki ostajajo komercialna skrivnost.

Rešitev tega perečega problema ponuja projekt EuroGeoSource z razvojem evropskega informa-

cijskega sistema za podporo politike trajnostne oskrbe z energijo in mineralnimi surovinami. Na tehnologiji GIS temelječ spletni sistem omogoča vizualizacijo in posredovanje prostorskih in atributnih podatkov v zvezi z viri energetske in mineralnih surovin v državah članicah EU.

V okviru projekta EuroGeoSource smo razvili večjezični sistem, ki omogoča uporabniku, da ima iz enega spletnega portala (<http://maps.eurogeo-source.eu/>) prost dostop do množice nacionalnih in čezmejnih zbirk prostorskih podatkov, sicer porazdeljenih med različnimi imetniki podatkov. Prav tako smo povezali nacionalne infrastrukture prostorskih podatkov o naravnih virih v skupno mednarodno (EU) infrastrukturo (sistem sistemov) ter vključili nacionalne podatkovne zbirke v skupni informacijski prostor in tematski kontekst. Poenotili smo podatke o naravnih virih in

izdelali izmenjevalni format kot odprtokodne spletne storitve v skladu s temami 20 in 21 Aneksa III Direktive INSPIRE.

Tako smo zagotovili generalen pregled nad razpoložljivimi prostorskimi informacijami o nahajališčih ogljikovodikov in drugih mineralnih surovin in potencialnimi kapacitetami za skladiščenje plina in nafte (v naravnih zemeljskih strukturah). Združili smo informacije o razmerah posameznih držav v celovito sliko in s tem pripomogli k manjši odvisnosti EU od zunanjega trga (nad 50 % energetskih surovin –ogljikovodikov in kovin EU prihaja iz uvoza).

Z razvojem evropskega GIS sistema o lokacijah, lastnostih, zalogah in virih mineralnih surovin smo izpolnili pogoj za vključevanje surovinskega potenciala v sistem prostorskega

načrtovanja in identifikacijo varovanih območij (v izogib konflikta interesov v prostoru).

V projektu, ki je trajal od aprila 2010 do aprila 2013, je udeleženih 14 držav partnerk (večinoma so to nacionalni geološki zavodi in inštituti), vlogo vodilnega partnerja pa je prevzel nizozemski geološki zavod (TNO). Slovenski partner je Geološki zavod Slovenije. Projekt je sofinancirala Evropska unija v okviru programa informacijske in komunikacijske tehnologije (Information Communication Technologies Policy Support Programme (ICT PSP), part of the Competitiveness and Innovation Framework Programme (CIP)). Več informacij je na spletni strani projekta: <http://www.eurogeosource.eu/>.

Okrogla miza o geologiji v osnovnošolskem, srednješolskem in neformalnem izobraževanju, 6. 12. 2013, Oddelek za geologijo, NTF

Nina RMAN¹, Mojca BEDJANIČ², Mojca GORJUP KAVČIČ³, Matija KRIŽNAR⁴,
Rok BRAJKOVIČ⁵ & Andrej ŠMUC⁶

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana

²Geopark Karavanke, Zavod RS za varstvo narave, OE Maribor, Pobreška c. 20, SI- 2000 Maribor

³Geopark Idrija, Občina Idrija, Mestni trg 1, SI-5280 Idrija

⁴Prirodoslovni muzej Slovenije, Prešernova 20, SI-1001 Ljubljana

⁵Študent geologije, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva c. 12, SI-1000 Ljubljana

⁶Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva c. 12, SI-1000 Ljubljana

Geologija je osnovna naravoslovna veda, ki raziskuje Zemljo, njen nastanek, razvoj in zgradbo. Vključuje mnogo zanimivih področij, ki se bolj ali manj neposredno tičejo običajnega slovenskega državljana (s tem mislimo ne-geologa). Poleg strokovnih in znanstvenih tematik, ki nam zagotavljajo življenjski standard ali celo osnovno preživetje (pitna voda, mineralne surovine, plazovi, poplave in mnoge druge), geologi burimo domišljijo tudi z odkrivanjem preteklih svetov, izumrlega življenja in navsezadnje celo z raziskovanjem drugih planetov. Kljub temu, da so geološke teme izjemno privlačne in prisotne v javnosti, geologi še zdaleč ne dosegamo prepoznavnosti ostalih naravoslovnih kolegov. Oddelek za geologijo NTF je zaradi tega v tednu Univerze organiziral okroglo mizo z naslovom **Geologija v osnovnošolskem, srednješolskem in neformalnem izobraževanju**, katere namen je bil povzeti zatečeno stanje, poiskati vzroke za nastalo situacijo ter predvsem zastaviti smernice za nadaljnje delovanje.

V uvodnem delu okrogle mize so štirje govorniki (A. Šmuc, N. Rman, M. Bedjanič in M. Križnar) povzeli umestitev geologije med splošno javnostjo, zastopanoost geoloških vsebin v učnih načrtih osnovnih in srednjih šol, izkušnje z geološkimi delavnicami, vzgojnim in promocijskim gradivom ter opozorili na številna društva in posameznike, ki že izvajajo različne poučne vsebine tako na lokalnem kot regionalnem nivoju. Sledila je izredno

konstruktivna izmenjava izkušenj in mnenj več kot 20 udeležencev okrogle mize, ki je pripeljala do več sklepov. Ustanovili smo delovno skupino (avtorji prispevka), ki bo koordinirala, načrtovala in tvorno delovala v smeri popularizacije geologije z daljnoročnim ciljem ponovne uvedbe predmeta GEOLOGIJA v osnovne in srednje šole. V prvih in majhnih korakih proti cilju bomo najprej izboljšali prisotnost in razumljivost geoloških vsebin na medmrežju (vpisi geoloških gesel v spletne enciklopedije, izdelava internetnih strani namenjenih izvajalcem delavnic, objava seznama učnih poti z geološko vsebino, ipd..) ter vzpostavili sodelovanje z Inštitutom za naravoslovne raziskave, ki deluje v okviru Oddelka za kemijsko izobraževanje NTF. O svojem delovanju bomo obveščali strokovno geološko javnost (prispevek, ki ga ravnokar berete, je prvi te vrste) ter jo na tak način prosili za podporo in pomoč.

Prispevek naj zaključimo z mnenjem, ki ga je našel in prijazno posodil dr. Matevž Novak, neprijetne pedagoške delavke na vprašanje, zakaj imajo vrčevski otroci polne žepe kamnin ter veliko razmišljajo o dinozavrih, v osnovnošolskih letih pa se to obdobje radovednosti pogosto konča. Ta je odgovorila: "**da večina otrok pač odraste**". Očitno smo geologi redki izbranci, ki lahko otroško zanimanje ponese s seboj skozi življenje in tako rekoč v grob.

V spomin prof. dr. Rajku Pavlovcu



Profesor Rajko Pavlovec se je rodil 15. januarja 1932 v Ljubljani. Tu je obiskoval osnovno šolo in klasično gimnazijo, kjer je leta 1950 maturiral. Istega leta se je vpisal na Prirodoslovno – matematično – filozofsko fakulteto Univerze v Ljubljani, ki jo je leta 1954 zaključil z diplomsko nalogo s področja paleontologije, z naslovom »Prispevek k poznavanju Prominskih skladov severne Dalmacije«. Na takratni Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani je leta 1962 doktoriral z doktorsko disertacijo »Stratigrafski razvoj starejšega terciarja v južnozahodni Sloveniji s posebnim ozirom na numulite in asiline« pod mentorstvom prof. dr. Ivana Rakovca.

Po diplomi se je zaposlil na Inštitutu za geologijo, ki se je leta 1966 preimenoval v Inštitut za paleontologijo Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Na omenjeni ustanovi je od leta 1955 do leta 1962 deloval kot asistent. Do leta 1966 je deloval kot znanstveni sodelavec in nato do leta 1971 kot višji znanstveni sodelavec SAZU. V letih od 1971 do 1975 je bil zaposlen kot urednik poljudnoznanstvenih knjižnih izdaj pri ljubljanski založbi Mladinska knjiga. S pedagoškim delom na Oddelku za geologijo je pričel leta 1969. V izrednega profesorja je bil izvoljen

leta 1975 in leta 1981 v naziv rednega profesorja. Upokojil se je 1. oktobra leta 2005. V okviru ustanov na katerih je deloval velja omeniti, da je mu je bila v letih 1957 in 1961 dodeljena enomesečna štipendija za raziskovalno delo na Univerzi na Dunaju, v letih od 1963 do 1965 pa mu je bila podeljena štipendija v okviru ustanove Alexander von Humboldt, ki jo je izkoristil za izpopolnjevanje v Münchnu. V času intenzivnega delovanja Geološkega zavoda Ljubljana v Alžiriji je leta 1969 štiri mesece prebil v Afriki.

Svoje znanstveno raziskovalno delo je posvetil področju paleontologije. Znotraj tega so njegovi najpomembnejši dosežki na področju raziskav foraminifer, še posebej numulitin in asilin, ki jih je preučeval z veliko skrbnostjo in ljubeznijo. Skupaj s sodelavci je opisal dve vrsti školjk in več novih vrst in podvrst paleogenskih foraminifer, ki so bile kasneje odkrite tudi izven meja Slovenije. Pri tem ga ni zanimala le taksonomija, temveč se je posvečal tudi vprašanju ekologije in patologije teh vrst. S svojimi odkritji na področju paleontologije je pomembno prispeval v register domače in svetovne paleontološke znanstvene literature. S predavanji, referati in posterji je v celotnem svojem znanstvenem delovanju sodeloval na številnih domačih in tujih strokovnih srečanjih. Predstavljal je predvsem problematiko foraminifer in paleogene stratigrafije. Napisal je okrog 350 znanstvenih razprav in strokovnih člankov, objavljenih v domačih in tujih revijah ter zbornikih. V okviru svojega znanstveno raziskovalnega dela se je posvečal tudi vprašanju zgodovine geologije in »geološke etnologije«, kjer je obravnaval etnološko izročilo v povezavi z geologijo in geološkimi objekti. Pomembno je tudi njegovo terminološko delo.

Na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo in kasneje na Naravoslovnotehniški fakulteti v Ljubljani je poučeval vsebine dodiplomskih predmetov v različnih letnikih: osnove stratigrafije, biostratigrafija, regionalna geologija, stratigrafija in paleontologija. V okviru magistrskega študija je predaval tudi predmet mikropaleontologija paleogena. S svojim pedagoškim delom je deloval tudi na drugih fakultetah ter na Univerzi v Mariboru in Univerzi v Zagrebu. Tako je predmet geologija in paleontologija predaval za študente biologije in pedagogike na Pedagoški fakulteti v Mariboru, predmet geologija in geomorfologija za študente geodezije na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo ter paleontologijo na Biotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani. Med pomembnimi rezultati njegovega pedagoškega dela je potrebno omeniti, da je bil mentor številnim domačim in tujim študentom. Pod njegovim mentorstvom je diplome zagovarjalo 44 diplomantov, 2 magistranta in 1 doktorand. V pedagoškem procesu ni bila nezanemarljiva tudi njegova vloga v številnih komisijah. Dalj časa je bil predsednik komisij za zagovor diplom, magisterijev in doktoratov.

Profesor Pavlovec je pomembno prispeval k organizacijskemu delovanju oddelka in fakultete na kateri je deloval. Sodeloval je v številnih fakultetnih in univerzitetnih komisijah. Leta 1974 je opravljal funkcijo predstojnika Odseka za geologijo na takratni Montanistiki, v obdobju 1987 do 1990 je bil prodekan Fakultete za naravoslovje in tehnologijo in v letih 1993 do 1995 njen zadnji dekan.

Bil je član več domačih in tujih društev, urednik in član uredniških odborov pri mnogih periodičnih in monografskih publikacijah. V letih od 1965 do 1969 je bil predsednik Slovenskega geološkega društva, v obdobju od leta 1977 do 1980 predsednik Prirodoslovnega društva Slovenije. Od leta 1994 pa vse do svoje smrti je bil vodja naravoslovno-tehniškega odseka pri Slovenski matici in v obdobju od leta 2002 do 2011 njen podpredsednik. V letu 2002 je postal častni član Društva Exlibris Sloveniae in leta 2005 častni član Društva prijateljev mineralov in fosilov v Trziču. Bil je tudi član Francoskega geološkega društva in organizacije ProGeo.

Za svoje bogato znanstveno in strokovno delo je profesor Pavlovec prejel več nagrad. Leta 1955 je prejel univerzitetno Prešernovo nagrado, leta 1964 Nagrado Sklada Borisa Kidriča, leta 1970 priznanje Republiške konference Zveze mladine Slovenije za mentorsko delo z mladino, leta 1977 Levstikovo nagrado založbe Mladinska knjiga za monografsko publikacijo »Kras«, leta 1984 pa je bil odlikovan z redom republike z bronastim vencem.

Bibliografija profesorja Pavlovca šteje več kot 1000 enot in njen pomemben del so poljudnoznanstveni prispevki. Objavil je dve samostojni poljudni knjižici. Knjižica z naslovom Kras je bila dolgo zelo popularno branje med osnovnošolci. Izredno veliko je naredil za popularizacijo geološke in paleontološke znanosti med mladimi in najmlajšimi bralci s svojimi številnimi preprostimi in razumljivimi prispevki, ki jih je objavljial predvsem v slovenskih poljudnih in poljudnoznanstvenih revijah. Objavil je okrog 600 poljudnih člankov in drobnih vesti v Proteusu, Cicibanu, Pionirju in reviji Življenje in tehnika. V okviru svojega poljudnoznanstvenega dela je veliko predaval in vodil številne ekskurzije. Svoje geološko znanje je vpletal tudi v okviru svojega delovanja na področju exhibicije in male grafike. Zaradi raznovrstnih in mnogoterih poljudnih prispevkov njegovo ime ostaja v spominu marsikaterega učenca, dijaka, študenta, učitelja in drugih ljubiteljev naravoslovja.

Profesor Pavlovec je bil priljubljen pedagog. Njegovi študentje se bomo spominjali njegovih predavanj, med katerimi je razlago vedno skušal nekoliko »zabeliti«, bodisi z anekdoto iz vsakdanjega ali strokovnega življenja, bodisi s šalo. Še zlasti so se nam vtisnile v spomin ekskurzije in terenske vaje, na njih ni bila nikoli prisotna »le geologija« temveč prostor kot celota z vso svojo pestrostjo, od kulture in običajev do zgodovine. Prispevek profesorja Pavlovca k paleontologiji in geologiji bo ostal trajno zapisan kot zelo pomemben prispevek k razvoju slovenske geološke šole.

Mihael Brenčič

Navodila avtorjem

GEOLOGIJA objavlja znanstvene in strokovne članke s področja geologije in sorodnih ved. Revija od leta 2000 izhaja dvakrat letno. Članke recenzirajo domači in tuji strokovnjaki z obravnavanega področja. Ob oddaji člankov avtorji predlagajo **tri recenzente**, vendar pa si uredništvo pridržuje pravico do izbire recenzentov po lastni presoji. Avtorji morajo članek popraviti v skladu z recenzentskimi pripombami ali utemeljiti zakaj se z njimi ne strinjajo.

Avtorstvo: Za izvirnost podatkov, predvsem pa mnenj, idej, sklepov in citirano literaturo so odgovorni avtorji. Z objavo v **GEOLOGIJI** se tudi obvežejo, da ne bodo drugje objavili prispevka z isto vsebino.

Jezik: Članki naj bodo napisani v angleškem, izjemo ma v slovenskem jeziku, vsi pa morajo imeti slovenski in angleški izvleček. Za prevod poskrbijo avtorji prispevkov sami.

Vrste prispevkov:

Izvirni znanstveni članek

Izvirni znanstveni članek je prva objava originalnih raziskovalnih rezultatov v takšni obliki, da se raziskava lahko ponovi, ugotovitve pa preverijo. Praviloma je organiziran po shemi **IMRAD** (**I**ntroduction, **M**ethods, **R**esults, **A**nd **D**iscussion).

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 informacije, ki so že bile publicirane. 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.

Oblika prispevka: Besedilo pripravite v urejevalniku Microsoft Word. Prispevki naj praviloma ne bodo daljši od 20 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.

Članek oddajte uredništvu vključno z vsemi slikami, tabelami in tablamami v elektronski obliki po naslednjem sistemu:

- Naslov članka (do 12 besed)
- Avtorji (ime in priimek, naslov, e-mail naslov)
- Ključne besede (do 7 besed)
- Izvleček (do 300 besed)
- Besedilo
- Literatura
- Podnaslovi k slikam in tabelam
- Tabele, Slike, Table

Citiranje: V literaturi naj avtorji prispevkov praviloma upoštevajo le tiskane vire. Poročila in rokopise naj navajajo le v izjemnih primerih, z navedbo kje so shranjeni. V seznamu literature naj bodo navedena samo v članku omenjena dela. Citirana dela, ki imajo DOI identifikator, morajo imeti ta identifikator izpisan na koncu citata. Za citiranje revije uporabljamo standardno okrajšavo naslova revije. Med besedilom prispevka citirajte samo avtorjev priimek, 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). Citiranje virov z medmrežja v primeru, kjer avtor ni poznan zapišemo (INTERNET 1). V seznamu literaturo navajajte po abecednem redu avtorjev.

Imena fosilov (rod in vrsta) naj bodo napisana poševno, imena višjih taksonomskih enot (družina, razred, itn.) pa normalno. Imena avtorjev taksonov naj bodo prav tako napisana normalno, npr. *Clypeaster pyramidalis* Michelin, *Galeanella tollmanni* (Kristan), Echinoidea.

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.*, 51/8: 1401-1412, doi:10.1007/s00254-006-0437-4.
- PLENIČAR, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest-Komen Plateau). *Geologija*, 35: 65-68.

Primer citirane knjige:

- FLÜGEL, E. 2004: *Mikrofacies of Carbonate Rocks*. Springer Verlag, Berlin: 976 p.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, L.J. 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: 143 p., incl. Pls. 23, 1 geol. map.

Primer citiranja poglavja iz knjige:

- 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, 34/2: 129-154, incl. 10 Pls.

Primer citiranja virov z medmrežja:

Če sta znana avtor in naslov citirane enote zapišemo: ČARMAN, M. 2009: Priporočila lastnikom objektov, zgrajenih na nestabilnih območjih. Internet: http://www.geo-zs.si/UserFiles/1/File/Nasveti_lastnikom_objektov_na_nestabilnih_tleh.pdf (17. 1. 2010)

Če avtor ni poznan zapišemo tako:

Internet: <http://www.geo-zs.si/> (22.10.2009)

Če se navaja več enot z medmrežja, jim dodamo še številko

Internet 1: <http://www.geo-zs.si/> (15.11.2000)

Internet 2: <http://www.geo-zs.si/> (10.12.2009)

Slike, tabele in table: Slike (ilustracije in fotografije), tabele in table morajo biti zaporedno oštevilčene in označene kot sl. 1, sl. 2 itn., 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 235 mm**. 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«. 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.

Če je članek napisan v slovenskem jeziku mora imeti celotno besedilo, ki je na slikah in tabelah tudi v angleškem jeziku. Podnaslovi naj bodo čim krajši.

Korekture: Te opravijo avtorji člankov, ki pa lahko popravijo samo tiskarske napake. Krajši dodatki ali spremembe pri korekturah so možne samo na avtorjeve stroške.

Avtorji prejmejo 25 separatov brezplačno, sicer pa so prispevki dostopni tudi na internetnih straneh <http://www.geo-zs.si/slo-text/geologija.htm>.

Oddajanje prispevkov:

Avtorje prosimo, da prispevke pošljejo na naslov uredništva: **GEOLOGIJA**
Geološki zavod Slovenije
Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana
bernarda.bole@geo-zs.si ali urednik@geologija-revija.si

Uredništvo Geologije

Instructions for authors

Scope of the journal: GEOLOGIJA publishes scientific papers which contribute to understanding of the geology of Slovenia or to general understanding of all fields of geology. Some shorter contributions on technical or conceptual issues are also welcome. Occasionally, a collection of symposia papers is also published.

All submitted manuscripts are sent for review by at least two specialists. When submitting their paper, authors should recommend at least **three reviewers**. Note that the editorial office retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used. Authors should correct their papers according to the instructions given by the reviewers. Should you disagree with any part of the reviews, please explain why. Revised manuscript will be reconsidered for publication.

Author's declaration: Submission of a paper for publication in Geologija implies that the work described has not been published previously, that it is not under consideration for publication elsewhere and that, if accepted, it will not be published elsewhere.

Language: Papers should be written in English or Slovene, and should have both English and Slovene abstracts.

Types of papers:

Original scientific paper

In an original scientific paper, original research results are published for the first time and in such a form that the research can be repeated and the results checked. It should be organised according to the IMRAD scheme (**I**ntroduction, **M**ethods, **R**esults, **A**nd **D**iscussion).

Review scientific paper

In an overview scientific paper the newest published works on specific research field or works of a single researcher or a group of researchers are presented in order to summarise, analyse, evaluate or synthesise previously published information. However, it should contain new information and/or new interpretations.

Professional paper

Technical papers give information on research results that have already been published and emphasise their applicability.

Discussion paper

A discussion gives an evaluation of another paper, or parts of it, published in GEOLOGIJA or discusses its ideas.

Book review

This is a contribution that presents a content of a new book in the field of geology.

Style guide:

Submitted manuscripts should not exceed 20 pages of A4 format (12 pt typeface, 1 line-spacing, left justification) including figures, tables and plates. Only exceptionally and in agreement with the editorial board longer contributions can also be accepted.

Manuscripts submitted to the editorial office should include figures, tables and plates in electronic format ordered according to the following scheme:

- Title (*maximum 12 words*)
- Authors (*full name and family name, postal address and e-mail address*)
- Key words (*maximum 7 words*)
- Abstract (*maximum 300 words*)
- Text
- References
- Figure and Table Captions
- Tables, Figures, Plates

References: References should be cited in the text as follows: (FLÜGEL, 2004) for a single author, (PLENIČAR & BUSER, 1967) for two authors and (MLAKAR et al., 1992) for multiple authors. Pages and figures should be cited as follows: (PLENIČAR, 1993, p. 67) and (PLENIČAR, 1993, fig. 1). Anonymous internet resources should be cited as (INTERNET 1). Only published references should be cited. Manuscripts should be cited only in some special cases in which it also has to be stated where they are kept. Cited reference list should include only publications that are mentioned in the paper. Authors should be

listed alphabetically. Journal titles should be given in standard abbreviated form. A doi identifier, if there is any, should be placed at the end as shown in the first case.

Taxonomic names should be in italics, while names of the authors of taxonomic names should be in normal, such as *Clypeaster pyramidalis* Michelin, *Galeanella tollmanni* (Kristan), Echinoidea.

Articles should be listed as follows:

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.*, 51/8: 1401–1412, doi:10.1007/s00254-006-0437-4.

PLENIČAR, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest-Komen Plateau). *Geologija*, 35: 65–68.

Books should be listed as follows:

FLÜGEL, E. 2004: *Mikrofacies of Carbonate Rocks*. Springer Verlag, Berlin: 976 p.

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*: 143 p., incl. Pls. 23, 1 geol. map.

Book chapters should be listed as follows:

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*, 34/2: 129–154, incl. 10 Pls.

Internet resources should be listed as follows:

Known author and title:

ČARMAN, M. 2009: Priporočila lastnikom objektov, zgrajenih na nestabilnih območjih. Internet: http://www.geo-zs.si/UserFiles/1/File/Nasveti_lastnikom_objektov_na_nestabilnih_tleh.pdf (17. 1. 2010)

Unknown authors and title:

Internet: <http://www.geo-zs.si/> (22.10.2009)

When more than one unit from the internet are cited they should be numbered:

Internet 1: <http://www.geo-zs.si/> (15.11.2000)

Internet 2: <http://www.geo-zs.si/> (10.12.2009)

Figures, tables and plates: Figures (illustrations and photographs), tables and plates should be numbered consequently and marked as Fig. 1, Fig. 2 etc., and saved as TIFF, JPG or EPS files and submitted at 300 dpi. Colour pictures will be published only on the basis of previous agreement with the editorial office. The maximum size of full-page illustrations and tables is **172 x 235 mm**. Larger formats can only be printed as a double-sided illustration (left and right) with a cut in the middle. All figures should be referred to in the text and should normally be numbered in the sequence in which they are cited. The approval for using illustrations previously published in other journals or books should be obtained by each author.

When a paper is written in Slovene it has to have the entire text which accompanies illustrations and tables written both in Slovene and English. Figure and table captions should be kept as short as possible.

Proofs: One set of page proofs (as pdf files) will be sent by e-mail to the corresponding author. Corrections are made by the authors. They should correct only typographical errors. Short additions and changes are possible but should be paid by the authors.

Offprints: Authors receive 25 offprints free of charge. As Geologija is an open access journal, all pdfs can be downloaded from its website: <http://www.geo-zs.si/slo-text/geologija.htm>.

Submission: Authors should submit their papers to the address of the editorial office:

GEOLOGIJA

Geological Survey of Slovenia

Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

bernarda.bole@geo-zs.si or urednik@geologija-revija.si

The Editorial Office

GEOLOGIJA

št.: 56/2, 2013

www.geologija-revija.si

- 149 Komac, M.
Uvodnik ob 60. obletnici revije Geologija
- 151 Čar, J.
Ladinijske plasti skonca idrijskega rudišča (Z Slovenija)
- 175 Rožič, B., Gale, L. & Kolar-Jurkovšek, T.
Extent of the Upper Norian - Rhaetian Slatnik Formation in the Tolmin Nappe, eastern Southern Alps
- 187 Kralj, Po.
Submarine pyroclastic deposits in Tertiary basins, NE Slovenia
- 199 Mikuž, V. & Šoster, A.
Spodnjemiocenske ribe in želva iz Žvarulj pri Mlinšah (Centralna Paratetida)
- 219 Koceli, A., Kanduč, T. & Verbovšek, T.
Anorganski ogljikov cikel v sistemu tla-kamnina-podzemna voda v kraško-razpoklinskih vodonosnikih
- 229 Ferjan Stanič, T., Brenčič, M. & Zupančič, N.
Heavy metal concentrations in soil in the vicinity of former ironworks in Spodnja Radovna, Slovenia
- 243 Teršič, T. & Gosar, M.
Earthworm casts as a sampling medium – a case study from highly contaminated Hg roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia)
- 257 Rman, N.
Uporabnost učnega modela medzrnskega vodonosnika za izboljšanje poznavanja dinamike podzemne vode



Geološki zavod Slovenije
Geological Survey of Slovenia

www.geo-zs.si

