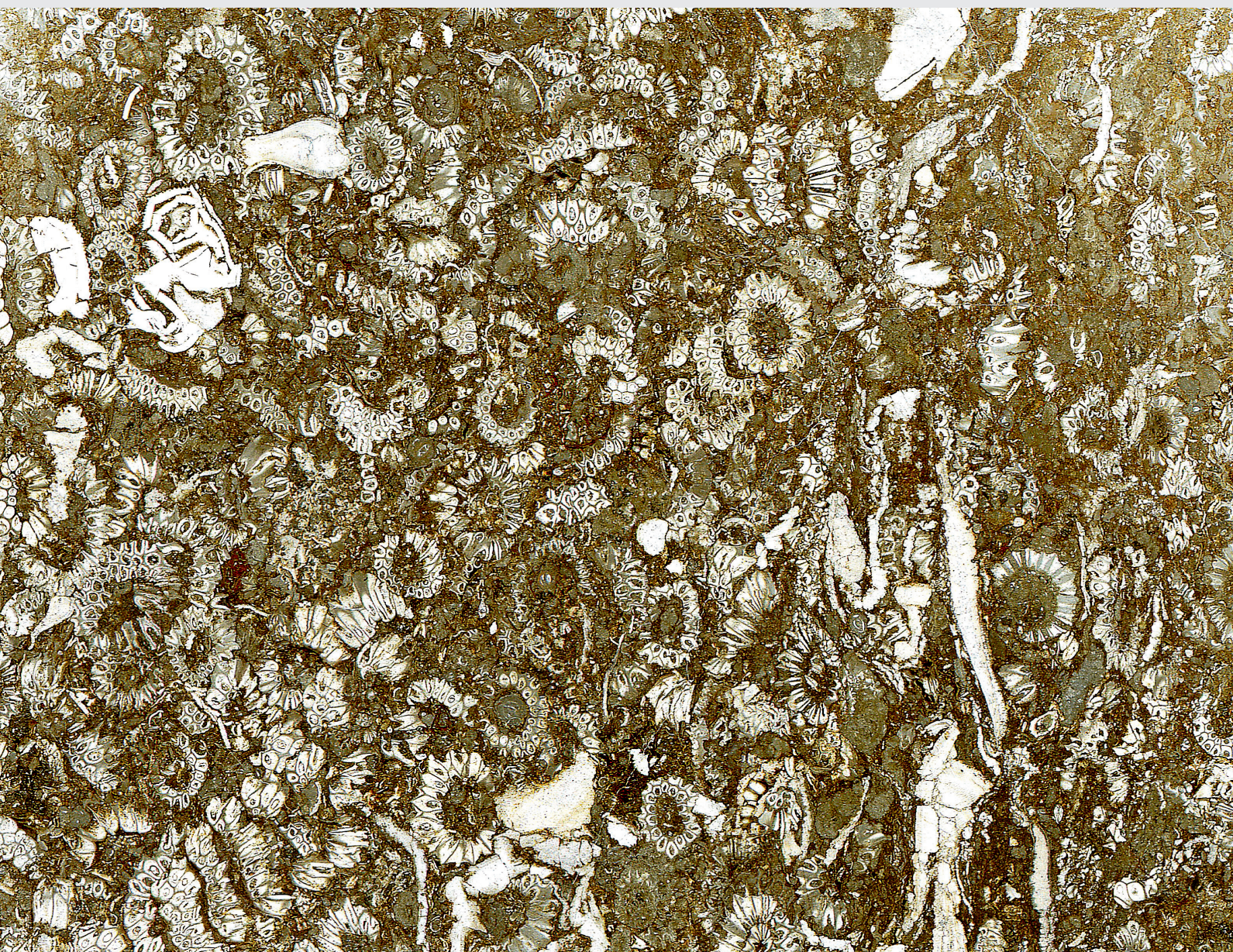


# GEOLOGIJA

2011 | št.: **54/1**



Geološki zavod Slovenije  
Geological Survey of Slovenia



ISSN 0016-7789  
ISSN 1854-620X

# **GEOLOGIJA**

**54/1 – 2011**



<b>GEOLOGIJA</b>	<b>2011</b>	<b>54/1</b>	<b>1-152</b>	<b>Ljubljana</b>
------------------	-------------	-------------	--------------	------------------

## **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 knjigo Republike Slovenije in Geološki zavod Slovenije  
Financed by the Slovenian Book Agency and the Geological Survey of Slovenia

Vsebina številke 54/1 je bila sprejeta na seji Uredniškega odbora, dne 10. 6. 2011.

Manuscripts of the Volume 54/1 accepted by Editorial and Scientific Advisory Board on June 10, 2011.

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

### **Uredniški in recenzijski odbor / Scientific Advisory Board:**

DUNJA ALJINOVIĆ, Rudarsko-geološki naftni fakultet, Zagreb  
MIHAEL BRENČIČ, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani  
GIOVANNI BATTISTA CARULLI, Dip. di Sci. Geol., Ambientali e Marine, Università di Trieste  
KATICA DROBNE, Znanstveno Raziskovalni Center SAZU, Ljubljana  
MATIJA DROVENIK, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana  
JADRAN FAGANELI, Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja 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, D.I.N.M.A., Sezione Georisorse e Ambiente, Università di Trieste  
BOJAN OGORELEC, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana  
SIMON PIRC, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani  
MARIO PLENIČAR, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana  
DANILO RAVNIK, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani  
MIHAEL RIBIČIČ, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani  
MARKO ŠPARICA, Institut za geološka istraživanja, Zagreb  
SAŠO ŠTURM, Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana  
DRAGICA TURNŠEK, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana  
MIRAN VESELIČ, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

Tehnična urednica / Technical Editor: BERNARDA BOLE

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

Spletni naslov / 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

Baze, v katerih je Geologija indeksirana / Indexation bases of Geologija: Directory of Open Access Journals, GeoRef, Zoological Record, Geoscience e- Journals

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:** Zbrusek s *Clypeina teakolarae* sp. nov. iz eocenskega Alveolinsko-numulitnega apnenca pri Rakitovcu v Čičariji. (RADOIČIČ et al., članek v tej številki, foto: B. Jurkovšek)

**Cover page:** Thin section with *Clypeina teakolarae* sp. nov., from the Eocene Alveolinid-nummulitid limestone near Rakitovec, in Čičarija. (RADOIČIČ et al., paper in this issue, photo: B. Jurkovšek)

## VSEBINA – CONTENTS

<i>Pavšič, J.</i> V spomin prof. dr. Antonu Ramovšu .....	5
<i>Ogorelec, B. &amp; Komac, M.</i> V spomin Avgustu Čebulju .....	11
<i>Radoičič, R., Jurkovšek, B. &amp; Jovanović, D.</i> <i>Clypeina teakolarae</i> sp. nov., a dasycladalean alga from Lower Eocene of Rakitovec (Čičarija, Slovenia) .....	13
<i>Clypeina teakolarae</i> sp. nov., spodnjeeocenska dazikladacejska alga iz Rakitovca (Čičarija, Slovenija)	
<i>Teršič, T.</i> SEM/EDS analysis of soil and roasting vessels fragments from ancient mercury ore roasting sites at Idrija area .....	31
SEM/EDS analiza tal in prežganih koščkov keramike iz nekdanjih žgalnic živosrebrove rude na Idrijskem	
<i>Oblak Brown, K.</i> Badenian Pappinidae and Uvigerinidae from the South-western margin of the Pannonian Basin (Eastern Slovenia) .....	41
Badenijske pappinide in uvigerinide z jugozahodnega obrobja Panonskega bazena (vzhodna Slovenija) .....	48
<i>Kanduč, T.</i> Characterisation of suspended matter in river systems: River Sava in Slovenia case study .....	55
Značilnosti suspendirane snovi v rečnih sistemih: primer reke Save v Sloveniji	
<i>Brenčič, M.</i> Praktični napotki za ugotavljanje ponikalnih sposobnosti tal .....	65
Practical Guidelines for Water Percolation Capacity Determination of the Ground	
<i>Kolar-Jurkovšek, T.</i> Latest Triassic conodonts of the Slovenian Basin and some remarks on their evolution .....	81
Zgornjetriasni konodonti Slovenskega bazena in njihov evolucijski razvoj	
<i>Kolar-Jurkovšek, T., Hrvatović, H., Skopljak, F. &amp; Jurkovšek, B.</i> Devonian conodonts from the Foča–Prača Paleozoic complex (Durmitor Nappe, southeastern Bosnia and Herzegovina) .....	91
Konodonti iz fočansko-pračanskega paleozojskega kompleksa (durmitorski pokrov, jugovzhodna Bosna in Hercegovina)	
<i>Markič, M., Turk, V., Kruk, B. &amp; Šolar, S. V.</i> Premog v Murski formaciji (pontij) med Lendavo in Murskim Središčem ter v širšem prostoru SV Slovenije .....	97
Coal in the Mura Formation (Pontian) between Lendava (Slovenia) and Mursko Središče (Croatia), and in the wider area of NE Slovenia	
<i>Turk, J.</i> Ugotavljanje sedimentacijskih vrzeli v jamskih sedimentih – primer iz jame Divje babe I (Slovenija) .....	121
Identification of depositional hiatuses in karst infillings – Example from Divje babe I cave (Slovenia) .....	126
<i>Vreča, P., Krajcar Bronić, I. &amp; Leis, A.</i> Isotopic composition of precipitation in Portorož (Slovenia) .....	129
Izotopska sestava padavin v Portorožu (Slovenija)	



## Nove knjige

<i>Pleničar, M., Ogorelec, B. &amp; Novak, M. (ur.): Geologija Slovenije (The Geology of Slovenia)</i> .....	139
<i>Merrill, T.: Our Magnetic Earth – The Science of Geomagnetism</i> .....	140
<i>Stein, S.: Disaster Deferred – How New Science Is Changing Our View of Earthquake Hazards in the Midwest</i> .....	141
<i>Zalasiewicz, J.: The Planet in a Pebble – A Journey into Earth’s Deep History</i> .....	143

## Poročila

<i>Brenčič, M.: Kongres Evropskega geoznanstvenega združenja na Dunaju (Avstrija) 3.–8. 4. 2011</i> ....	144
<i>Brenčič, M.: 2. Trienalni simpozij Naravne nesreče v Sloveniji, 25. 3. 2011 Ig in 26. 3. 2011 Idrija</i> ..	145
<i>Vreča, P.: Letna skupščina Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko</i> .....	146
<i>Verbovšek, T.: Poročilo o delu Slovenskega geološkega društva za leto 2010</i> .....	147

Navodila avtorjem .....	149
Instructions to authors .....	150

## V spomin prof. dr. Antonu Ramovšu



Svojo življenjsko pot je zaključil geolog, zaslužni profesor ljubljanske Univerze dr. Anton Ramovš. Rodil se je 17. decembra 1924 v Dolenji vasi v Selški dolini, kjer je v Selcih končal tudi osnovno šolo. Gimnazijo je obiskoval najprej v Šentvidu nad Ljubljano in kasneje v Kranju, kjer je leta 1946 maturiral. Po maturi se je vpisal na takratno Prirodoslovno-matematično fakulteto in si izbral študij geologije in paleontologije, ki ga je zaključil leta 1950.

Po končanem študiju se je zaposlil na Geološko-paleontološkem inštitutu univerze v Ljubljani. Leta 1951 je postal asistent, kmalu za tem, že leta 1956 je tudi doktoriral z nalogo, Razvoj zgornjega perma v Loških in Polhograjskih hribih. Na osnovi habilitacijskega dela, Razvoj mlajših paleozojskih skladov v Vitanjskem nizu je bil leta 1961 izvoljen za docenta za geologijo in paleontologijo in leta 1965 za izrednega profesorja za stratigrafijo paleozoika in mezozoika, geologijo Jugoslavije in geološko kartiranje I. Na univerzi je uspešno napredoval do rednega profesorja leta 1970. Njegovo raziskovalno in pedagoško delo je bilo zavzeto in temeljito. Predaval je vrsto predmetov na takrat kadrovsko razmeroma skromno zasedenem Odseku za geologijo. Po upokojitvi prof. Ivana Rakovca se je njegova obremenitev še povečala. Pred-

daval je in deloma vodil vaje iz paleontologije, stratigrafije paleozoika in mezozoika, geologije Jugoslavije, geološkega kartiranja ter osnove geologije geografom na Filozofski fakulteti. Napisal je skripta za paleontologijo, ki je prvo študijsko gradivo za ta predmet v slovenščini (1974) in univerzitetni učbenik iz splošne geologije (1978) za geografe in biologe. Na svojih terenskih obiskih po Sloveniji je zbiral kamninske vzorce in sestavil edinstveno stratigrafsko zbirko, ki je še danes koristen pripomoček študentom geologije. Na ekskurzijah v tujini je nabiral kamninske vzorce in fosile, ki jih je ljubosumno hranil in kazal študentom le na praktičnih vajah iz regionalne geologije. V Loškem muzeju je uredil geološko zbirko. Pred leti je podaril svojo paleontološko zbirko, knjižnico in korespondenco loškim ustanovam.

Od leta 1971 do 1991 je bil predstojnik Katedre za geologijo in paleontologijo. Študentom je skušal dati kar največ, zato so bila njegova predavanja skrbno pripravljena in ilustrirana s številnimi diapozitivi. Posebno je užival na terenskih vajah s študenti, ko jim je podrobno razlagal geološke razvoje na različnih nahajališčih po Sloveniji. Znal je navduševati za posamezne nerešene geološke in paleontološke probleme. Zato je bil mentor kar 42. diplomantom, 11. magistrim in 11. doktorjem geologije.

Veliko navdušenje za geologijo je bilo čutiti tudi pri njegovem raziskovalnem delu. V to ga je sprva pritegnila takrat malo proučevana stratigrafija mlajšega paleozoika, predvsem perma v Loških in Polhograjskih hribih. Z veliko zavzetostjo se je lotil problematike karbona in perma. Paleozoik ga je nato spremljal vse raziskovalno obdobje in svoje zanimanje je razširil še na devon na celotnem prostoru Slovenije. Kasneje je sile usmeril tudi v proučevanje triasne periode. Svoje znanje je izpopolnjeval na univerzah v Gradcu pri dr. Karlu Metzu (1954) in v letih 1956 in 1961 na Dunaju pri prof. Oskarju Kühnu, v letih 1962–63 je bil kot Humboldtov štipendist na univerzi v Tübingenu pri prof. Ottu Heinrichu Schindewolfu in v Naravoslovnem muzeju v Londonu pri strokovnjakinji za brahiopode dr. Helen Muir Woodovi. Leta 1976, 1980 in 1984 je bil dva meseca v Marburgu na Lahni, tam je raziskoval konodonte. Leta 1988 je tri mesece raziskoval konodonte na inštitutu Senckenberg v Frankfurtu na Maini.

Da bi bolje razumel geologijo Slovenije, se je zanimal tudi za širši evropski prostor in se je zato vsekozi udeleževal strokovnih geoloških srečanj. Na njih je vedno poročal tudi o svojih raziskavah. Predaval je v Sarajevu, Dubrovniku, Budimpešti, Bratislavi, Beogradu, Budvi, na Tari, Ohridu na Dunaju, v Bonnu, Gradcu, Zürichu, Tübingenu, Parizu, Sheffieldu, Birminghamu, Würzburgu, Oviedu, Moskvi, Krefeldu, Stuttgartu, Göttingenu, Münchnu, Bergamu, Marburgu na Lahni, Frankfurtu na Maini in še marsikje. Z veseljem se je udeleževal ekskurzij v tujini (Nemčiji, Poljski, Češkoslovaški, Madžarski, Italiji, Avstriji) in doma, kjer je tudi večkrat aktivno sodeloval kot organizator ali vodja.

Paleontološko se je posvetil najprej skupini paleozojskih ramenonožcev, na katere je naletel pri izdelavi doktorske naloge. Kasneje pa se je usmeril na zanimivo, takrat še problematično, skupino primitivnih vretenčarjev – konodontov. Z njimi je razrešil marsikateri problem starosti paleozojskih in triasnih plasti. Regionalno je delal predvsem v zahodni Sloveniji, veliko delovnih dni je posvetil stratigrafiji Karavank in Julijskih Alp, včasih pa ga je pot zanesla tudi na Dolenjsko. Njegova velika delavnost se



kaže v obsežnem znanstvenem in strokovnem opusu, ki obsega preko 300 objavljenih del v domači in tuji strokovni periodiki. Na odmevnost njegovih del kažejo številni citati doma in v tujini. Zadnje delo prof. Ramovša je prispevek o devonu, karbonu in zgornjem permu za obsežno monografijo o geologiji Slovenije, ki je pravkar izšla.

Za časa Jugoslavije je bil član državne podkomisije za stratigrafski leksikon in stratigrafsko terminologijo. Bil je član mednarodne komisije za stratigrafijo karbona in perma, član nemškega paleontološkega združenja, v letih 1956 do 1959 je bil predsednik slovenskega geološkega društva, predsednik izdajateljskega sveta publikacij Univerze v Ljubljani. Bil je vodja več projektov UNESCO IGCP za Jugoslavijo v letih 1977 do 1986.

Sodeloval je z različnimi strokovnimi in pedagoškimi organizacijami v Sloveniji. Za Geološki zavod v Ljubljani in za Tehniški muzej železarne Jesenice je raziskoval Karavanke in osnoval muzejsko geološko zbirko. V letih 1957 do 1960 je kartiral mariborski in trboveljski okraj. Izkazal se je tudi kot urednik. Uredil je šest vodnikov po Loškem ozemlju in uredil del geološke zbirke v Loškem muzeju in zbirko kamnin za muzej v Železnikih. Za mestni muzej v Laškem je uredil paleontološko zbirko in določil številne primerke fosilov za šolsko zbirko I. gimnazije v Mariboru. Od leta 1969 do 1975 je uredil sedem letnikov poljudno-znanstvene revije Proteus, uredil je tri zvezke biografij in bibliografij predavateljev in sodelavcev ljubljanske univerze.

Širša javnost pozna prof. Ramovša predvsem po njegovem poljudno-znanstvenem udejstvovanju. Že kot mlad geolog je začel objavljati poljudne članke v reviji Proteus, kateri je ostal zvest vse do svoje smrti. Mnogo je pisal za Loške razglede. Vodil je mladinske raziskovalne tabore v Strunjanu (1973, 1974 in 1975), pripravil je več poljudnih geoloških oddaj na radiu in televiziji, imel je tečaje geologije za srednješolske profesorje. Napisal je vrsto knjig. V šestdesetih letih so pri založbi Mladinska knjiga izdali serijo njegovih knjižic Mladi geolog, kjer so sodelovali tudi nekateri drugi geologi. Znana je njegova knjiga o slovenskih slapovih, ki je izšla pri Slovenski matici. V zadnjem obdobju se je mnogo ukvarjal z uporabo naravnega kamna v arhitekturi in umetnosti, napisal je knjige o podpeškem, lesnobrajskem, hotaveljskem in gliniškem apnencu ter peračičkem tufu. Njegova poljudna publicistika obsega preko dvesto naslovov.

Obsežno delo prof. Ramovša ni bilo prezrto. Leta 1962 je dobil Levstikovo nagrado za poljudno pisanje, skupaj s prof. Vando Kochansky Devidé je leta 1966 prejel nagrado sklada Borisa Kidriča. Leta 1975 je bil izvoljen za častnega člana Prirodoslovnega društva Slovenije, leta 1980 je prejel nagrado Borisa Kidriča za življenjsko delo in bil odlikovan z redom dela z zlatim vencem ter dobil priznanje Rudarsko-geološke fakultete beograjske univerze. Leta 1984 je prejel Grošljevo plaketo, red zaslug za narod s srebrnimi žarki je prejel leta 1989, leta 1994 je postal zaslužni profesor ljubljanske univerze, prejel je plaketo Žige Zoisa (1983) in dobil Jesenkovo priznanje. Leta 2003 je postal častni občan občine Železniki in častni član Muzejskega društva Škofja Loka. Žal kot samotni jezdec kljub vsemu temu ni dosegel vsega, kar si je želel in bi si tudi zaslužil.

Prof. Ramovš je zapustil bogato dediščino v zakladnici slovenskega in mednarodnega geološkega znanja. Bil je brezmejno predan geologiji, ki je ni opustil vse do zadnjega.

*Jernej Pavšič*

### **Prof. dr. Anton Ramovš tiskana bibliografija 1953–2009**

Pregled bibliografije obsega znanstvene, strokovne članke in samostojne publikacije. Poljudni članki, ki jih je preko 200, so bili večinoma objavljeni v revijah Proteus in Loški razgledi, niso predstavljeni v tem pregledu.

#### **Znanstveni in strokovni članki:**

- RAMOVŠ, A. 1953: O stratigrafskih in tektonskih razmerah v borovniški dolini in njeni okolici. *Geologija*, 1: 90-110.
- RAMOVŠ, A. 1954, *Edmondia permiana bisulcata* n.subsp. iz belerofonskih skladov pri Žažarju. *Razprave 4. razr. SAZU*, 2: 319-328.
- RAMOVŠ, A. 1954: Karbonski konglomerati na vzhodnem obrobju ljubljanskega polja. *Geologija*, 2: 211-220.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. 1954: *Palaeofusulina nana* Licharew iz belerofonskih skladov v Volaki in primerjava z mikrofosili drugih

- krajev v Sloveniji. *Razprave 4. razr. SAZU*, 2: 329-340.
- PLENIČAR, M. & RAMOVŠ, A. 1954: Geološko kartiranje severovzhodno od Brežic. *Geologija*, 2: 242-233.
- RAMOVŠ, A. 1954: Mladopaleozojski skladi na Koniški gori in južno od Žič. *Geologija*, 2: 221-224.
- RAMOVŠ, A. 1954: Geološko kartiranje specialke Ljubljana. *Geologija*, 2: 269-272.
- RAMOVŠ, A. 1955: Die Neoschwagerinenschichten in den Julischen Alpen. *Neues Jb. Mh.*: 455-457.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1955: Neoschwagerinski skladi in njih fuzulinidna favna pri Bohinjski Beli in Bledu. *Razprave 4. razr. SAZU*, 359-424.
- RAMOVŠ, A. 1956: Stratigrafski razvoj paleozoika na Slovenskem. Prvi jugoslovanski geološki kongres, 27-34. Zbornik II. Kongresa geol. FNRJ, Sarajevo: 177-184.
- RAMOVŠ, A. 1958: Razvoj zgornjega perma v Loških in Polhograjskih hribih. *Razprave 4. razr. SAZU*, 4: 451-621.

- RAMOVŠ, A. 1958: Starost velikotrnskih skladov v okolici Velikega trna. Razprave 4. razr. SAZU, 4: 651-657.
- RAMOVŠ, A. 1958: O faciesih v zgornjem wordu in zgornjem permu v Sloveniji. Geologija, 4: 188-192.
- RAMOVŠ, A. 1958: Starost „krških“ skladov v okolici Krškega. Geologija, 4: 149-151.
- RAMOVŠ, A. 1958: Stratigrafski slovar Slovenije. Geologija, 4: 250-255.
- RAMOVŠ, A. 1961: Karbon und Perm im Vitanje-Gebirge, Ostkarawanken NW Jugoslawien. Teil I. Geologischer Überblick und Faunenangabe. N.Jb. Geol. Paläont. Mh.: 346-353.
- FLÜGEL, E. & RAMOVŠ, A. 1961: Fossilinhalt und Mikrofazies des Dachsteinkalkes (Ober-Trias) in Begunjščica-Gebirge, S-Karawanken (NW-Slowenien, Jugoslawien). N.Jb. Geol. Paläont. Mh.: 287-294.
- RAMOVŠ, A. 1961: Zgornjepermski skladi jugozahodno od Kranja (Slovenija). Geološki vjesnik, 14: 381-384.
- RAMOVŠ, A. 1961: Razvoj mlajših paleozojskih skladov v Vitanjskem nizu. Geologija, 6: 170-234.
- RAMOVŠ, A. 1961: Entwicklung der Trias in Slowenien (NW Jugoslawien) nach den neusten Forschungsergebnissen. – Annales Instituti Geol. publ. Hungarici, 49/2: 427-438.
- RAMOVŠ, A. 1961, O stratigrafiji trogkofelskih apencev v Karavankah. III. Kongres geologa Jugoslavije 1, Titograd, 93-104.
- RAMOVŠ, A. 1962: Prispevek k stratigrafiji severovzhodnega dela Krškega polja. Geologija, 7: 55-61.
- RAMOVŠ, A. 1962: Razvoj mlajšega paleozoika pri Selcih. Geologija, 7: 75-78.
- RAMOVŠ, A. 1962: Nekaj problemov o grödenskih skladih na Slovenskem. Geologija, 7: 79-84.
- RAMOVŠ, A. 1963: Biostratigraphie der Trogkofel-Stufe in Jugoslawien. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 7: 382-388.
- GAURI, L. & RAMOVŠ, A. 1964, *Eolyttonia* (Brach.) and *Brachymetopus* (Tril.) from the Upper Carboniferous (Orenburgian) of Karawanken, Yugoslavia. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 119/1, 103-112.
- RAMOVŠ, A. 1964: Der Jura Jugoslawiens. – v knjigi: Hölder, H., Jura. Handbuch der Stratigraphischen Geologie, 4: 468-474.
- RAMOVŠ, A. 1964: A new *Meekella* (Brachiopod) from the Middle Permian of Karawanken. Yugoslavia and its unusual Attachment. N.Jb. Geol. Paläont. Abh., 12/1: 34-40.
- RAMOVŠ, A. 1965: New data about the “Hochwipel Strata” in the Sava Folds. Bull. Sci. Cons. Acad. RSF Yugoslavie, A, 10/6: 179.
- RAMOVŠ, A. 1965: *Meekella* – Arten aus dem Perm der Karawanken und ihre Lebensweise. Paläont. Z. 39, 1/2: 99-105.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1965: Razvoj mlajšega paleozoika v okolici Ortneka na Dolenjskem. – Razprave 4. razr. SAZU, 8: 319-416.
- RAMOVŠ, A. & MIHAJLOVIĆ, M. 1965: Liadna cefalopodna favna na Begunjščici v Karavankah. Razprave 4. razr. SAZU, 8: 417-438.
- GRÄF, W. & RAMOVŠ, A. 1965: Rugose Korallen aus dem Jungpaläozoikum Sloweniens (NW-Jugoslawien). Geologija, 8: 160-189.
- RAMOVŠ, A. 1965: O „hochwipelskih skladih“ v posavskih gubah in o „karbonskih plasteh“ – v njihovi soseščini. Geološki vjestnik, 18/2: 341-345.
- KÜHN, O. & RAMOVŠ, A. 1965: Zwei neue Trias-Ammonitenfaunen der Umgebung von Novo mesto. Acta geologica, 5: 13-14.
- RAMOVŠ, A. 1966: Revision des „*Productus elegans*“ (Brachiopoda) im ostalpinen Jungpaläozoikum. N.Jb. Geol. Paläont. Abh., 125: 118-124.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. 1966: Zgornjekarbonski mikrofosili in stratigrafski razvoj v zahodnih Karavankah. Razprave 4. razr. SAZU, 9: 299-333.
- RAMOVŠ, A. 1967: Ersten Nachweis der Kreide-Schichten im Gebirge Savinjske Alpe, Nordwest-Jugoslawien. Bull. sci. Acad. RSF Yugoslavie A 12: 249-250.
- RAMOVŠ, A. & KRISTAN-TOLLMANN, E. 1967: Die Lias-Schichten von Stol (Karawanken). Geol. vjesn., 20: 57-62.
- RAMOVŠ, A. 1968: Biostratigraphie der klastischen Entwicklung der Trogkofel-Stufe in den Karawanken und Nachbargebieten. N.Jb. Geol. Paläont. Abh., 131: 72-77.
- RAMOVŠ, A. 1968: *Meandrospira iulia* (Premoli Silva) (Foraminifera) aus den Untertrias-Schichten in Westslowenien und ihre Lebensbedingungen. N.Jb. Geol. Paläont. Abh., 131: 78-81.
- RAMOVŠ, A. & SIEVERTS-DORECK, H. 1968, Interessante Mittelperm-Crinoiden in Slowenien, NW- Jugoslawien. Geol. vjesn., 21: 191-206.
- RAMOVŠ, A. 1968: Razvoj paleozoika v slovenskem delu Dinaridov. In: Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov, 1: 7-13.
- BUSER, S. & RAMOVŠ, A. 1968, Razvoj triadnih skladov v slovenskih zunanjih Dinaridih. In: Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov, 1: 33-42.
- RAMOVŠ, A. 1969: *Prinopeltis* cf. *striatus* (Tril.) aus dem Görol des Perm-Konglomerates am Ostrand des Ljubljana-Feldes (NW-Jugoslawiens). Bull. Sci. Cons. Acad. RSF Yugoslavie A, 14: 143.
- RAMOVŠ, A. 1969: Geologische Forschungen (1959-1968) im Paläozoikum der Karawanken (Jugoslawischer Anteil). Carinthia II/ 27: 29-34.
- RAMOVŠ, A. 1969: Karawankinae, nova podružina produktid (Brachiopoda) iz alpskih zgornjekarbonskih in permjskih skladov. Jeseniški zbornik Jeklo in ljudje, 2: 233-250.
- RAMOVŠ, A. 1970: *Permopadina fallax* nov. gen. nov. sp., eine mittelpermische Alge aus den östlichen Karawanken. Paläont. Z., 44/ 97-100.
- RAMOVŠ, A. 1970: Stratigrafski in tektonski problemi triasa v Sloveniji. Geologija, 13: 159-173.
- RAMOVŠ, A. & REBEK, R. 1970: Razvoj jurskih skladov med Mežico in Slovenj Gradcem. Geologija, 13: 105-114.
- RAMOVŠ, A. 1970: Die Entwicklung der alpinen Jura in Slowenien, NW-Jugoslawien. Ann. Inst. Geol. publ. Hung., 54/ 161-164.



- HANN, G., HANN, R. & RAMOVŠ, A. 1970: Perm-Trilobiten aus Slowenien, NW-Jugoslawien. *Senckenbergiana lethaea*, 51: 311-333.
- FLÜGEL, H. & RAMOVŠ, A. 1970: Zur Kenntnis der Amphiclinen-Schichten Sloweniens. *Geol. vjesn.*, 23: 21-37.
- RAMOVŠ, A. 1971: Karbonat-Sedimente im Unterkarbon-Flysch in den Südkarawanken (NW Jugoslawien). *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 138: 150-156.
- RAMOVŠ, A. 1971: Einige neue Feststellungen aus dem Altpaläozoikum und Unterkarbon der Südkarawanken (NW-Jugoslawien). *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, 122, 157-160.
- RAMOVŠ, A. 1972: Mittelpermische Klastite und deren marine Altersäquivalente in Slowenien, NW-Jugoslawien. *Verh. Geol. Bundesanst.*, 1972, Mitt.. *Ges. Geol. Bergbaustud.*, 20: 35-45.
- RAMOVŠ, A. 1972: Mikrofauna der alpinen und voralpinen Trias Sloweniens. *Mitt.. Ges. Geol. Bergbaustud.*, 21: 413-426.
- RAMOVŠ, A., KOCHANSKY-DEVIDÉ, V., BUSER, S. & CAJHEN, J. 1973: Podroben profil skozi trogkofelske plasti v potoku Košutnik v Karavankah. *Razprave 4. razr. SAZU*, 16: 171-185.
- RAMOVŠ, A. 1973: Biostratigrfske značilnosti triasa v Sloveniji. *Geologija*, 16: 379-388.
- RAMOVŠ, A. 1974: Fortschritte in der Untersuchung des Unter- und Mittel-Perms in Slowenien, NW Jugoslawien. *Carinthia II*, 164/84: 99-103.
- PAVLOVEC, R. & RAMOVŠ, A. 1974: Oligocenski numulitni apnenec na Gorjuši pri Ljubljani. *Geologija*, 17: 253-260.
- RAMOVŠ, A. 1975: Kamenotvorna *Glomospira densa* (Pantić) v aniziju pri Konjšici. *Geologija*, 18: 99-104.
- RAMOVŠ, A. 1975: Zgornjekarnijski skladi pri Mirni na Dolenjskem. *Geologija*, 18: 105-106.
- RAMOVŠ, A. 1976: Stanje biostratigrfskih raziskav v triasu Slovenije. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 47-51.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V., RAMOVŠ, A. & STEVANOVIĆ, P. 1976: Paläontologie in Jugoslawien bis 1974. – v 8. jugosl. geol. kongr. 2. knj. *Paleontologija, sedimentologija, stratigrafija*, 27-44.
- RAMOVŠ, A. 1976: Die stratigraphische Stellung der Schichten in der Umgebung von Korensko sedlo (Wurzen-Pass), Westkarawanken. *Verh. Geol. Bundesanst.*, 1976, 183-189.
- CIGALE, M., RAMOVŠ, A. & VÉGH-NEUBRANDT, E. 1976: *Triadomegalodon idrianus* n.sp. aus dem Oberkarn bei Idrija. *Geologija*, 19: 29-33.
- RAMOVŠ, A. & JURKOVŠEK, B. 1976: Srednjekarbonski prodniki v trogkofelskem konglomeratu pri Podlipoglavu. *Geologija*, 19: 35-44.
- HAHN, G., HAHN, R. & RAMOVŠ, A. 1977: Trilobiten aus dem Oberkarbon (Gshelium) der Karawanken/Slowenien. *Geologica et Palaeontologica*, 11: 135-160.
- RAMOVŠ, A. 1977: Skelettapparat von *Pseudofurnishius murcianus* (Conodontophorida) im Mitteltrias Sloweniens (NW Jugoslawien). *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 135: 361-399.
- ASTAFIEVA-URBAITIS, K. A. & RAMOVŠ, A. 1978, Verhnekamennougolnii (gželiskie) dvustvorki iz Javorniškega routa (Karavanki, Slovenija). *Geologija*, 21/1: 5-34.
- FLÜGEL, H. & RAMOVŠ, A. 1978: A new species of *Acanthochaetetes* from the Cenomanien beds of Central Slovenia. *Geologija*, 21: 35-40.
- RAMOVŠ, A. 1978: Zgornjekarnijski in spodnjekarnijski konodonti v okolici Mirne na Dolenjskem. *Geologija*, 21: 47-60.
- RAMOVŠ, A. 1978: Mitteltriassische Conodonten-clusters in Slowenien, NW Jugoslawien. *Paläont. Z.*, 52: 129-137.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1978: Ladinjske konglomeratne breče na Vršiču in njih permijski in triasni mikrofosili. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 26: 155-156.
- RAMOVŠ, A. 1978: Pomen konodontov za stratigrfske raziskave v Sloveniji. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 26: 219-225.
- RAMOVŠ, A. 1978: Prispevek k poenotenju pisave triasnih geoloških stopenj. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 26: 293-295.
- RAMOVŠ, A. 1978: Trias ali triada v slovenski geologiji. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 26: 293-295.
- HOLZER, H., L. & RAMOVŠ, A. 1979: Neue rugose Korallen aus dem Unterperm der Karawanken. *Geologija*, 22: 1-20.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. 1979: Paleozoic in Slovenia and Croatia. v *Proc. 16<sup>th</sup> European micropal. coll.* 13-16.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. 1979: Carboniferous of NW Yugoslavia. In: *Regional Carboniferous biostratigraphy of modern continents. C. R. Huitième Congr. Internat. Strat. Géol. Carbonif.*: 17-21.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1979: Karbonske in permske plasti v severnih Julijskih Alpah. *Geologija*, 22: 21-54.
- KULLMAN, J. & RAMOVŠ, A. 1980: Cephalopoden aus dem Oberkarbon (Gshelium) und Unterperm der Karawanken. *Geologica et Palaeontologica*, 14: 195-208.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1981: Karbonske in permske plasti pri Logu v Julijskih Alpah. *Geologija*, 24: 91-107.
- HAHN, G., HAHN, R. & RAMOVŠ, A. 1981: Neue Trilobitenfunde aus dem hohen Ober-Karbon (Gshelium) der Karawanken, Slowenien. *Palaeontographica*, A175: 170-178.
- HAHN, G., HAHN, R. & RAMOVŠ, A. 1984: A new contribution on the Gshelian trilobites in the western Karawanke mountains. *Geologija*, 26: 109-115.
- RAMOVŠ, A. 1981: Nova spoznanja o razvoju julijskih in tuvalskih plasti v severnih Julijskih Alpah. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 28: 177-181.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1981: Permian-Triassic boundary at Brušane village in Velebit Mt. *Geologija*, 24: 227-230.
- RAMOVŠ, A. 1981: Ali imamo v zgornjem ladiniju v zahodnih Karavankah in v Julijskih Alpah ugovško brečo? *Rudarsko-metalurški zbornik*, 28: 365-368.
- TURNŠEK, D., BUSER, S. & RAMOVŠ, A. 1982, Triassic reefs in Slovenia. *Facies*, 6: 15-24.

- RAMOVŠ, A. 1982: The Permian-Triassic boundary in Yugoslavia. Rudarsko-metalurški zbornik, 29: 29-31.
- RAMOVŠ, A. & KULENOVIĆ, E. 1982: O novim nalazištima starijeg paleozoika u jugoistočnoj Bosni. Geološki glasnik, 27: 49-62.
- RAMOVŠ, A. 1982: Pomen paleozojskih organizmov za stratigrafijo Slovenije. In: Zbornik radova, 1: 209-217.
- RAMOVŠ, A. 1982: Unterperm-Conodonten aus den Ostkarawanken (Slowenien), NW Jugoslawien). N. Jb. Geol. Paläont. Abh. 164: 414-427.
- RAMOVŠ, A. & JURKOVŠEK, B. 1983: Razvoj anizijskih plasti pri Tržiču s posebnim ozirom na novo odkrito „ilirsko“ podstopnjo. Geol. zb., 4: 37-45.
- RAMOVŠ, A. & JURKOVŠEK, B. 1983: Razvoj ladinijskih plasti nad Šupco južno od Vršiča. Geol. zb., 4: 81-91.
- RAMOVŠ, A. 1984: Marko Vincenc Lipold (1816-1883) prvi slovenski geolog in šolani montanist. Ob 100-letnici smrti. Geologija, 26: 5-21.
- RAMOVŠ, A. et al. 1984, Stratigraphic correlation forms (SCF) of the Yugoslav Palaeozoic. In: Newsletter, 6, IGCP 5: 81-109.
- FLÜGEL, E., KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. 1984: A Middle Permian calcisponge/algal/cement reef – Straža near Bled, Slovenia. Facies, 10: 179-256.
- RAMOVŠ, A. & TURNŠEK, D. 1984: Lower carnian reef buildups in the northern Julian Alps, (Slovenia, NW Yugoslavia). Razpr. 4. razr. SAZU, 25: 161-200.
- ASTAFJEVA-URBAJTIS, K., A. & RAMOVŠ, A. 1985: Verhnekamennougolnye dvustvorki iz novih mestonahozdeniji v Južnih Karavankah. Palaeont. Jugosl., 33: 1-47.
- RAMOVŠ, A. & KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. 1985: Marko Vincenc Lipold (1816-1883) prvi slovenski geolog. Življenje in delo. Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike, 8: 9-63.
- RAMOVŠ, A. 1985: Počastitev Marka Vincenca Lipolda ob stoti obletnici njegove smrti. Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike, 8: 147-152.
- RAMOVŠ, A. 1985: Stratigrafska sestava in tektonski položaj Triglava in okolice. Rudarsko-metalurški zbornik, 32: 163-171.
- RAMOVŠ, A. 1985: *Pseudofurnishius murcianus* (Conodonta) v Sloveniji in njegov stratigrafski pomen. In: Grafenauer, S. et al. (ur.): Zbornik Ivana Rakovca, Razprave 4. razr. SAZU, 26: 267-280.
- KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. & RAMOVŠ, A. 1986: Razširjenost vrste *Tanchintongia ogulincei* na Velebitu. Geologija, 28/29, (1985/86): 151-155.
- BUSER, S., GRAD, K., OGORELEC, B., RAMOVŠ, A. & ŠRIBAR, Lj. 1986: Stratigraphical, paleontological and sedimentological characteristics of Upper Permian beds in Slovenia, NW Yugoslavia. Mem. Soc. Geol. Ital., 34: 195-210.
- RAMOVŠ, A. 1987: The Anisian reef development between Kranjska gora and Mojstrana (Slovenia, NW Yugoslavia). Razprave 4. razr. SAZU, 27: 3-13.
- TURNŠEK, D. & RAMOVŠ, A. 1987: Upper Triassic (Norian-Rhaetian) reef buildups in the northern Julian Alps (NW Yugoslavia). Razpr. 4. razr. SAZU, 28: 27-67.
- JAMNIK, A., RAMOVŠ, A. & TURNŠEK, D. 1990: *Heterastridium conglobatum* Reuss, 1865(?hidrozoi) v norijskem apnencu Kamniških Alp. Geologija, 31/32, (1988/89): 199-207.
- RAMOVŠ, A. 1990: Stopnje spodnjega devonija v Sloveniji: novi predlog. Geologija, 31/32, (1988/89): 225-231.
- RAMOVŠ, A. 1990: Spodnjedevonijski in spodnjekarbonski konodonti v prodnikih spodnjepermijskega konglomerata pri Podlipoglavu, vzhodno od Ljubljane. Geologija, 31/32, (1988/89): 233-239.
- RAMOVŠ, A. 1990: Razvoj ladinijske stopnje v severnih Julijskih Alpah. Geologija, 31/32, (1988/89): 241-266.
- RAMOVŠ, A. & TURNŠEK, D. 1991: The Lower Norian (Latian) Development with Coral Fauna on Razor and Planja in the Northern Julian Alps (Slovenia). Razprave 4. razr. SAZU, 32: 175-213.
- RAMOVŠ, A. 1992: Stratigrafski razvoj triasa v severnih Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah – korelacija. Rudarsko-metalurški zbornik, 39/3-4: 307-312.
- RAMOVŠ, A. & JAMNIK, A. 1992: The first proof of the deeper marine Norian (Upper Triassic) beds with conodonts and holothurian skeletons in the Kamnik Alps (Slovenia). Rudarsko-metalurški zbornik, 38/3: 365-367.
- JAMNIK, A. & RAMOVŠ, A. 1992: Holoturijski skleriti in konodonti v zgornjekarnijskih (tuvalskih) in norijskih apnencih osrednjih Kamniških Alp. Geologija, 35: 7-63.
- ZATLER-ZUPANČIČ, B., MLADENIČ, A., RAMOVŠ, A., VESEL, J. & AVGUŠTIN, C. 1992: Andesite tuff in Slovenia : part of the cultural heritage of Gošenjska. V: Rodrigues, J. Delgado (ur.). Proceedings of the 7th international congress on deterioration and conservation of stone: Lisbon, Portugal, 15-18 June 1992. Lisbon: Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, 1: 99-107.
- RAMOVŠ, A. 1993: Stratigrafski razvoj triasa v severnih Julijskih Alpah in zahodnih Karavankah – korelacija. 2. del, Zgornji trias. Rudarsko-metalurški zbornik, 40/1-2: 103-114.
- RAMOVŠ, A. 1993: Hotaveljski apnenec skozi čas. Rudarsko-metalurški zbornik, 40/1-2: 293-300.
- RAMOVŠ, A. 1993: Prispevek k reševanju starosti paleozojskih plasti posavskih gub. Rudarsko-metalurški zbornik, 40/1-2: 301-302.
- RAMOVŠ, A. 1993: Končnice paleozojskih sistemov in period v slovenski geološki literaturi. Rudarsko-metalurški zbornik, 40/3-4: 451-454.
- RAMOVŠ, A. 1993: *Epigondolella abneptis* and *E. spatulata* in the Lower Norian in the central Kamnik Alps, Slovenia. Geologija, 36: 69-74.
- FLÜGEL, E., RAMOVŠ, A. & BUCUR, I.I. 1993: Middle triassic (anisian) limestones from Bled, northwestern Slovenia: makrofacies and microfossils. Geologija, 36:157-181.



- RAMOVŠ, A. 1993: Spodnjekarbonski konodonti južno od Pavličevega sedla v Karavankah, Slovenija. *Razprave 4. raz. SAZU*, 34: 105-115.
- RAMOVŠ, A. 1994: Conodonten aus den obersten Amphiclinen-Schichten und die Karn/Nor-Grenze im voralpinen Raum der Julischen Alpen. *Razprave 4. razr. SAZU*, 35: 102-108.
- RAMOVŠ, A. 1994: Mitteltrias (Ladin)-Conodonten von Pečevje, nordöstlich von Ljubljana (Slowenien). *Razprave 4. razr. SAZU*, 35: 112-115.
- RAMOVŠ, A. 1994: Mitteltrias (Longobard)-Kalke mit *Budurovignathus mostleri* (Conodonta) von Šurkovac bei Ljubija, Nordwestbosnien. *Razprave 4. razr. SAZU*, 35: 122-126.
- RAMOVŠ, A. 1994: Quo vadis, palaeontologia et stratigraphia Slovenica? *Rudarsko-metalurški zbornik*, 41/1-2: 13-17.
- RAMOVŠ, A. 1994: Karnische Conodonten (Obertrias) vom Rjavčev-Graben, Julische Alpen. Die Frage des dortigen Auftretens von *Epigondolella abneptis*. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 41/1-2: 19-23.
- RAMOVŠ, A. 1994: Die Devon-Vorkommen des „Seeberg-Aufbruchs“ in den Südkarawanken, slowenischer Teil, sind Olistholithe. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 41/3-4: 153-160.
- RAMOVŠ, A. 1994: Pavličeve stene (Paulitsch-Wand), Veliki und Mali vrh („Seeberg-Aufbruch“, Südkarawanken, slowenischer Teil) - sind devonische Olistholithe. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 41/3-4: 161-167.
- RAMOVŠ, A. 1994: Prispevek k pravilnemu poimenovanju in označevanju sedanjih permokarbonskih in karbonopermskih plasti. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 41/3-4: 221-224.
- RAMOVŠ, A. & GORIČAN, Š. 1995: Late Anisian - Early Ladinian radiolarians and conodonts from Šmarna gora near Ljubljana, Slovenia. *Razprave 4. razr. SAZU*, 36: 179-221.
- RAMOVŠ, A. & ANIČIĆ, B. 1995: Untertrias und Unteranis - Ausbildung im Mišnica-Tal, östlich von Rimske Toplice, Ostslowenien. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 42/3-4: 143-155.
- RAMOVŠ, A. 1996: Oberfassanische (mitteltriasische) Conodonten aus Kalken südlich von Slugovo, Südslovenien. *Geologija*, 37/38 (1994/95): 141-151.
- KOZUR, H., W., RAMOVŠ, A., WANG, C. & ZAKHAROV, Y. D. 1996: The importance of *Hindeodus parvus* (Conodonta) for the definition of the Permian-Triassic boundary and evaluation of the proposed sections for a global stratotype section and point (GSSP) for the base of the Triassic. *Geologija*, 37/38 (1994/95): 173-213.
- DOLENEC, T. & RAMOVŠ, A. 1996: Carbon and oxygen isotope variations in the Permian-Triassic boundary carbonate sequence from the Idrija Valley (W. Slovenia). *Permophiles*, 29: 42-43.
- RAMOVŠ, A. 1996: *Solenopora ladinica* n. sp. und *Solenopora suhadolica* n. sp. (Rotalgen) und *Paragondolella ?trammeri* (Kozur, 1972) (Conodonta) aus dem Ladin (Mitteltrias) bei Suhadole, östlich von Ljubljana, Slowenien. *Geologija*, 39: 79-90.
- RAMOVŠ, A. 1998: *Epigondolella pseudodiebeli* (Kozur, 1972) (Conodonta) aus den oberen Amphiclinen - Schichten oberhalb Poče, Westslowenien. *Geologija*, 40: 103-107.
- RAMOVŠ, A. 1998: Two new petalodont teeth (Chondrichthyes, Upper Carboniferous) from the Karavanke Mountains, Slovenia. *Geologija*, 40: 109-112.
- RAMOVŠ, A. 1998: Conodonten-Stratigraphie der Obertrias von Slowenien: Ergebnisse eigener Untersuchungen. *Geologija*, 40: 223-232.
- RAMOVŠ, A. 1998: Conodonten-Stratigraphie der Mitteltrias von Slowenien: Ergebnisse eigener Untersuchungen. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 45/3-4: 285-294.
- DOLENEC, T. & RAMOVŠ, A. 1998: Isotopic changes at the Permian-Triassic boundary in the Idrija Valley (W. Slovenia). *Rudarsko-metalurški zbornik*, 45/3-4: 405-411.
- RAMOVŠ, A. 1999: Novi opisani fosili na slovenskem ozemlju, imenovani po Slovencih in slovenskih krajih. *Geologija*, 42: 27-39.
- RAMOVŠ, A. 1999: Trilobiten aus Slowenien. *Razprave 4. razr. SAZU*, 40: 77-102.
- RAMOVŠ, A. 2000: O Zlatenski plošči sensu Kosmat, 1913, Slatenskem pokrovu sensu Buser, 1986, Slatenskem narivu sensu Jurkovšek, 1987 in Triglavskem pokrovu sensu Ramovš, 1985. *Geologija*, 43/1: 109-113.
- RAMOVŠ, A. 2000: Štalenskogorska ali Štalenska formacija. *Geologija*, 43/1: 157.
- DOLENEC, T., LOJEN, S. & RAMOVŠ, A. 2001: The Permian-Triassic boundary in Western Slovenia (Idrija Valley section): magnetostratigraphy, stable isotopes, and elemental variations. *Chem. geol.*, 175: 175-190.
- RAMOVŠ, A. 2001: Karbonski konodonti iz apnenčevega prodnika v spodnjepermijskem kremnovem konglomeratu pri Lenartu nad Lušo. *Geologija*, 44/2: 227-228.
- RAMOVŠ, A. 2001: Prvo najdišče brahiopodov v vrhnjih tuvalskih apnencih (zgornji karnij) severnoalpskega hallstattskega razvoja v Julijskih Alpah. *Geologija*, 44/2: 291-294.
- RAMOVŠ, A., ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 2001: Comparison of Lower Triassic developments in eastern Sava Folds and northern Julian Alps (Slovenia). *RMZ-mater. geoenviron.*, 48/3: 415-432.
- ANIČIĆ, B., DOZET, S. & RAMOVŠ, A. 2001: Development of the Scythian series in the Orlica anticline area (Sava folds). *Acta carsol.*, 30/1: 85-96.
- RAMOVŠ, A. 2001: Lipoldovo geološko raziskovanje in njegove rokopisne karte slovenskega ozemlja. *Geologija*, 44/1: 7-14.
- RAMOVŠ, A. & BUSER, S. 2009: Devon in spodnji karbon. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (uredniki): *Geologija Slovenije*. Geološki zavod Slovenije, 91-98.
- SKABERNE, D., RAMOVŠ, A. & OGORELEC, B. 2009: Srednji in zgornji perm. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (uredniki): *Geologija Slovenije*. Geološki zavod Slovenije, 137-154.

## Avgustu Čebulju v slovo



Sredi maja 2011 smo se na ljubljanskih Žalah poslovili od dipl. inž. rudarstva Avgusta Čebulja, dolgoletnega direktorja v pokoju Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko, predhodnika današnjega Geološkega zavoda Slovenije, in to le mesec pred njegovim 80. rojstnim dnevom.

Avgust Čebulj, oziroma Gusti, kot so ga klicali njegovi starejši kolegi, je bil rojen leta 1931 v Ljubljani. Po gimnaziji sta ga pritegnila naravoslovje in tehnika, zato se je odločil za študij rudarstva. Leta 1959, v obdobju, ko je bilo rudarstvo na slovenskem še v širokem razmahu, je diplomiral na ljubljanski Univerzi s tematiko izračuna zaloga lignita v velenjskem premogovniku. Po študiju se je kot pripravnik po dekretu najprej zaposlil na rudniku premoga v Banovičih v Bosni. Banoviči so mu bili znani že iz časa študija, saj je tam sodeloval v okviru mladinskih akcij pri izgradnji proge Brčko–Banoviči. Na rudniku je bil obratovodja dnevnega kopa Mušiči, a je že po enem letu prišel na Geološki zavod v Ljubljano. Tu je hitro postal vodja odseka za geološke raziskave premogišč pri enoti Ekonomska geologija. Že leta 1968 je postal vodja oddelka za ekonomsko geologijo, ki je v tistem času zaposloval preko 35 inženirjev in tehnikov.

Čeprav po ožji strokovni izobrazbi rudarski inženir, je bil pri svojem delu že od vsega začetka močno vpet v geološke dejavnosti ter je tudi kasneje, v svoji celotni karieri predstavljal most med geološko in rudarsko stroko. Lahko rečemo, da je bil montanist z dušo in srcem. Cilj njegovega dela je bil vedno povezan z odkrivanjem in kasneje pridobivanjem mineralnih surovin. Njegov prvi raziskovalni objekt je bil velenjski premogovnik, kjer je poleg ovrednotenja velikosti rudnega telesa in ugotavljanja zaloga lignita raziskoval tudi možnosti odvodnjavanja rudnika. Rešitev tega problema, katerega so kasneje uspešno nadaljevali mlajši sodelavci na zavodu, predstavlja še danes pogoj za varno in ekonomsko izkopavanje premoga.

Sledili so številni drugi raziskovalni objekti, kamnoloma naravnega kamna Hotavlje in Lipica, kamnolom tehničnega kamna Kamna Gorica, pa manjša svinčevo-cinkova rudišča v Posavskih gubah (Puharje, Galicija, Trebelno, Marija Reka), živosrebrovo rudišče Podljubelj, apnenci za cementarno Trbovlje, kasneje pa premogovniki Zagorje, Trbovlje, Hrastnik, Laško, Senovo, Globoko, Kanižarica in drugi. Vmes je krajši čas sodeloval tudi pri raziskavah nahajališč fosfatov v Egiptu.

Med letoma 1974 in 1982 je bil pomočnik direktorja, nato pa od leta 1982 do 1990 direktor takratnega TOZDa IGGG – Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko v sestavi Geološkega zavoda Ljubljana. V tem obdobju se je ta TOZD I razvil v močno raziskovalno organizacijo oziroma inštitut, ki je zaposloval preko 200 raziskovalcev in tehničnih sodelavcev. V tistih letih je začelo rudarstvo v Sloveniji in Evropi zaradi tržnih razmer in okoljevarstvene politike zamirati, geologom pa so se odprle nove raziskovalne priložnosti, vezane na povečano zanimanje za pitne in termalne vode, geotermijo, ponovno oživljanje raziskav ležišč nafte in za skladiščenje plina, za nekovinske mineralne surovine, geotehniko in posebno za varstvo okolja. Razvoj vseh teh dejavnosti je inž. Čebulj močno podpiral. Rezultat njegovih organizacijskih sposobnosti in prizadevanj za dobre delovne in raziskovalne pogoje je tudi izgradnja nove poslovne stavbe, sodobnega inštituta na Dimičevi ulici v Ljubljani, ki je bila končana leta 1989 in v kateri danes deluje Geološki zavod Slovenije. To je bil eden njegovih največjih projektov. Že ob prevzemu mesta direktorja inštituta si je med prednostne naloge zadal posodobitev terenske in laboratorijske raziskovalne opreme, zavedal pa se je tudi, da brez specializacije in šolanja mladih kadrov v inozemstvu ter brez sodobne uporabe računalništva ne bo mogoče konkurirati na tržišču. Po osamosvojitvi Slovenije je navezal dobre stike z geološkimi zavodi sosednjih držav, posebno z Avstrijskim geološkim zavodom. Konec leta 1993 se je predčasno upokojil, a nas je na zavodu pogosto obiskoval in se živo zanimal za naše delo. Čeprav je že dalj časa bolehal, se je rad družil s svojimi nekdanjimi sodelavci in stanovskimi kolegi, tako z Geološkega zavoda, kakor tudi z drugimi, s katerimi je sodeloval strokovno in poslovno.

Ob vsem strokovnem in organizacijskem delu je bil inž. Čebulj skoraj 35 let zelo aktiven tudi pri Komisiji za ugotavljanje rezerv rudnin in talnih voda, ki je bila do leta 1979 pri tedanjem Geološkem zavodu Ljubljana, nato pa pri Gospodarski zbornici. Ta komisija se je pozneje preimenovala v Komisijo za ugotavljanje zaloga in virov mineralnih surovin. V letih 1963 do 1979 je bil njen tajnik, nato pa od leta 1979 do 1998 njen predsednik ter večkrat tudi član Raziskovalne skupnosti Slovenije, v enoti za odkri-



vanje surovin. Za svoje strokovno in organizacijsko delo je bil leta 2003 imenovan za častnega člana Geološkega zavoda Slovenije.

Ni mu bilo tuje tudi društveno delo na polju širjenja geologije med množicami. Tako je bil kar 16 let, med leti 1985 in 2000 predsednik Društva ljubiteljev mineralov in fosilov Slovenije s sedežem v Trziču. Kot častni član društva je prejel tudi občinsko odlikovanje občine Trzič.

Po naravi je bil inž. Čebulj skromen in izredno marljiv človek. Z lahkoto je navezal stik s sodelavci in vsak je lahko pri njem našel besedo opore. Imel je tudi izreden socialni čut do soljudi, zlasti pa razumevanje za pomoč pri reševanju stanovanjskih vprašanj zaposlenih. Njegovo delo in odnos do ljudi sta nam lahko zgled korektnega sodelovanja in spoštljivosti med nekdanjimi sodelavci Geološkega zavoda, zato nam bo ostal v lepem spominu. Hvaležni smo mu za vse, ker je veliko dobrega storil za Geološki zavod in njegove zaposlene ljudi. V spominu nam bo ostal kot cenjen kolega in spoštovan strokovnjak, ki je s svojim delom pustil močan pečat na področju raziskav in pridobivanja različnih vrst mineralnih surovin v Sloveniji.

*Bojan Ogorelec  
Marko Komac*

# *Clypeina teakolarae* sp. nov., a dasycladalean alga from Lower Eocene of Rakitovec (Čičarija, Slovenia)

## *Clypeina teakolarae* sp. nov., spodnjeeocenska dazikladacejska alga iz Rakitovca (Čičarija, Slovenija)

Rajka RADOIČIĆ<sup>1</sup>, Bogdan JURKOVŠEK<sup>2</sup> & Divna JOVANOVIĆ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kralja Petra 38, 11000 Beograd, Srbija; e-mail: rradoicic@sezampro.rs

<sup>2</sup>Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: bogdan.jurkovsek@geo-zs.si

<sup>3</sup>Geological Institute of Serbia, Rovinjska 12, 11000 Beograd, Srbija; e-mail: djdivna@gmail.com

Prejeto / Received 1. 2. 2011; Sprejeto / Accepted 8. 3. 2011

**Key words:** Dasycladales (green algae), *Clypeina teakolarae* sp. nov., Lower Eocene, Alveolinid-nummulitid Limestone, Čičarija, Slovenia

**Ključne besede:** Dasycladales (zelene alge), *Clypeina teakolarae* sp. nov., spodnji eocen, Alveolinsko-numulitni apnenec, Čičarija, Slovenija

### Abstract

A new species, *Clypeina teakolarae*, is described from the Lower Eocene of Čičarija, in Slovenia. The pattern of calcification, known so far only from the Upper Jurassic and the Lower Cretaceous, is structurally equal to that of the *Clypeina jurassica* group of species, having an intracellular, radial-fibrous calcite infilling and a micritic cell wall. Contrary to other species of the *C. jurassica* group, the main stem of the new taxon consists of spaced out twin-whorls bearing numerous, commonly irregularly arranged laterals.

### Izvleček

Iz spodnjeeocenskih plasti Čičarije v Sloveniji je opisana nova vrsta dazikladaceje *Clypeina teakolarae*. Kalcifikacija vrste je strukturno enaka kot pri algah grupe *Clypeina jurassica* po tem, da ima intracelularno fibrozno-radialno kalcifikacijo in kalcitno-mikritno celično steno. Od vrst te grupe se razlikuje po steljki (talusu), na kateri si v presledkih sledita po dve skupaj ležeči vretenci (dvojčka) s številnimi, pretežno nepravilno postavljenimi vejicami.

### Introduction

Fossiliferous samples containing the algal genus *Clypeina* were collected near the Rakitovec village (Čičarija, Slovenia). Based on some characteristic differences with species of the *Clypeina jurassica* group, a new taxon, *Clypeina teakolarae*, is introduced. Due to the markedly imbricated tectonic structure in the Čičarija area, it is not possible to present a corresponding, continuous stratigraphic succession. Only part of carbonate strata occurring in the northern part of the Adriatic-Dinaric Carbonate in the Platform is found in the Čičarija area, forming slices. The Rakitovec limestone containing *Clypeina teakolarae* indicates a particular, local episode, part of the more general depositional environment of the Alveolinid-nummulitid limestone formation.

### Geological setting

The Eocene strata with *Clypeina*, presented in this paper, are part of the Alveolinid-nummulitid Limestone found in the Čičarija region. The entire area, tectonically very complicated (Fig. 1), represents part of a wide subthrust belt constituted of several thrusting zones in the hinterland of Istria and Trieste Bay. Knowledge on geologic structure of this belt in the last decades was much supplemented parallel to regionally oriented geological researches for the Basic Geological Map SFRY 1 : 100.000. There appear different names for this structure, i.e. Thrusted Structure of Čičarija (Sheet Trst – Trieste; PLENIČAR et al., 1973), Cretaceous-Paleogene Structure of Čičarija (Sheet Ilirska Bistrica; ŠIKIĆ & PLENIČAR, 1975), but on Sheet Labin only geographic name Čičarija was

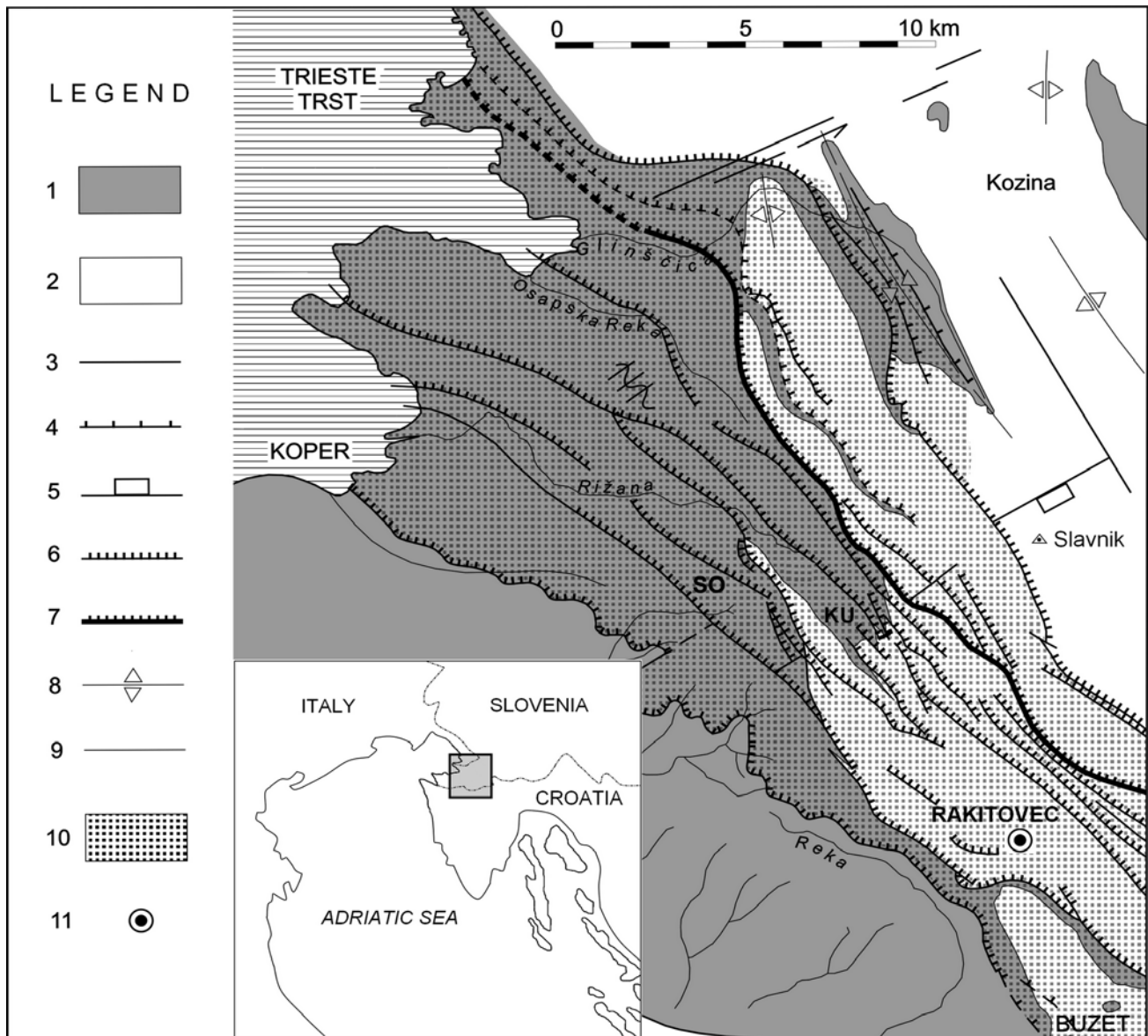


Fig. 1. Sketch map of the subthrusting belt between Trieste and Buzet, showing the Rakitovec locality (modified after PLACER 2007, 2010). 1. Flysch; 2. Platform carbonates; 3. Fault; 4. Reverse fault; 5. Normal fault; 6. Thrust fault, thrust fault zone: SO – Sočerga thrust zone, KU – Kuba thrust zone; 7. Črni Kal thrust fault (Palmanova thrust zone, Palmanova line); 8. Fold; 9. Geological boundary; 10. Subthrusting belt; 11. *Clypeina teakolarae* sp. nov. locality.

used (ŠIKIĆ & POLŠAK, 1973). The tectonic structure of the NW Dinarides and of Istria was studied in detail by PLACER (2005, 2007, 2008, 2010), who terms this area the Čičarija Imbricated Structure that is in a wider sense included in the Istria – Friuli Underthrust Zone. The latter was formed due to subduction of the northern part of Adriatic – Apulian foreland, Istria and Friuli under the External Dinarides (Karst and Čičarija).

Due to marked imbricated structure of this area it is not possible to present a continuous stratigraphic succession, as there are in slices preserved only some segments of carbonate strata characteristic for the northern part of the Adriatic-Dinaric Carbonate Platform (JURKOVŠEK et al., 1996, 1997; JURKOVŠEK, 2010). They are mainly represented by the Kras group (KOŠIR, 2003) that was, after break of sedimentation between the Late Santonian and Upper Maastrichtian, deposited on the Late Cretaceous rudist limestone (Fig. 2). The presence of softer Flysch sediments that are frequently in tec-

tonic contact with limestone resulted in forming of the typical geomorphologic steps (PLACER, 2007).

Strata of the Kras Group (Liburnia Formation, Trstelj Formation and Alveolinid-nummulitid Limestone) together with pelagic and hemipelagic carbonate-clastic rocks (Transitional Beds) and Flysch in its top part form characteristic succession of early development of foreland basins in the NW part of the Dinarides (KOŠIR, 2003; OTONIČAR, 2007). All three units appear diachronous (DROBNE, 1979) as a result of dynamic of rise and subsidence of the area in front of orogene and connection with migration of platforms and basins. The Kras Group is clearly confined with the regional discordance in the lowermost part, but the group is overlain by basinal clastics which representing the final magasequence of the Adriatic-Dinaric Carbonate Platform.

In the oldest part of the Kras Group the Liburnia Formation was deposited above a distinct carstic relief during the Upper Maastrichtian and



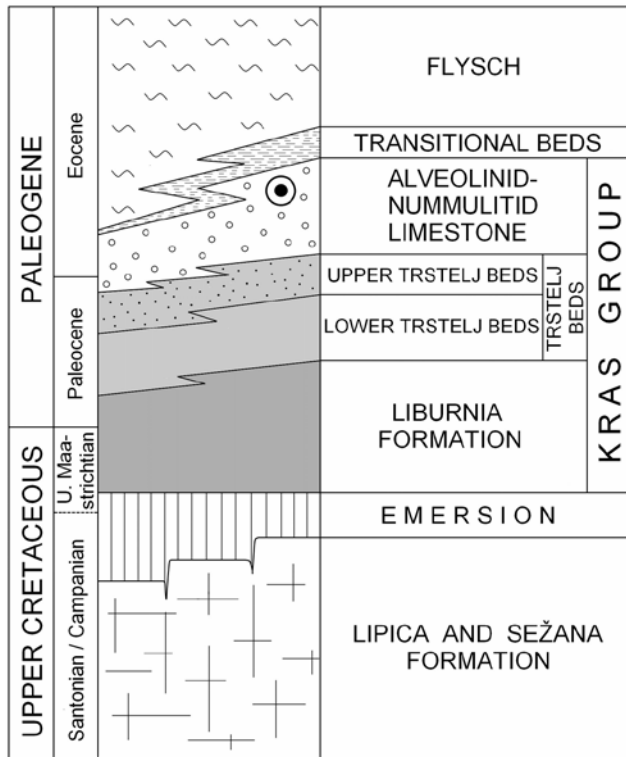


Fig. 2. Simplified stratigraphic column of the Krás (Karst) region, SW Slovenia, with the stratigraphic position of the level with *Clypeina teakolarae* sp. nov. (modified after JURKOVŠEK, 2010; KOŠIR, 2003).

Paleocene. The shallow marine, brakish and fresh-water environments of this formation were recognized already by Stache (1889). The carbonates of the Liburnia Formation are followed by Trstelj Beds in which bioclastic limestone with prevailing miliolids. They were deposited in very shallow near-shore environment of the innermost ramp with periodic emersions and shallows (ZAMAGNI et al., 2008) as indicated also by layers with *Microcodium* (JURKOVŠEK et al., 1996; KOŠIR, 2004). The Lower Thanetian age is based on benthic association of the SBZ 3 (Shallow Benthic Zones; SERRA-KIEL et al., 1998). Major part of the Upper Trstelj Beds is characterized by bioclastic limestone with numerous large foraminiferal genera, mainly *Assilina*, *Lacazina* and *Pseudolacazina* that inhabited mid ramp (ZAMAGNI et al., 2008). Based on foraminifer association this unit of the Trieste-Komen Plateau is defined as SBZ 4 of the Late Thanetian (OGORELEC et al., 2001). Above the Trstelj Beds lies the Alveolinid-nummulitid Limestone with larger benthic foraminifera like alveolinas, nummulitids, orbitoids and discocyclinids. The lower boundary is marked by very frequent appearance of alveolinas, and the upper boundary is gradual or sharp. Alveolinid-nummulitid Limestone was deposited mainly in inner ramp setting that is in the Trieste-Komen Plateau ranged into SBZ 5 to 8, thus in Illerdian (JURKOVŠEK et al., 1996; OGORELEC et al., 2001; ZAMAGNI et al., 2008), however in Istria it may range up to the Lower Lutetian (DROBNE, 1979). Thickness of Alveolinid-nummulitid Limestone is variable and in the thickest parts it exceeds 300 m. During the Eocene the carbonate platform finally drowned and was cove-

red by advancing hemipelagic marls, marly limestones and redeposited carbonates (Transitional Beds) and deep water clastites (Flysch).

The location Rakitovec with clypeinas in the Alveolinid-nummulitid Limestone is situated in the border area between the Kubed and Sočerga Thrust Faults with Dinaric direction (NW–SE) toward Rijeka Gulf, i.e. at the road and railway junction 1.5 km SW from the Rakitovec village (45° 27' 38" N, 13° 57' 14" E). The bed dip in NE direction (35°/15°–30°) is slightly tectonized (Fig. 3). Next to clypeinas locally appear mollusk shells, predominated by gastropods and miliolids. The rock is very similar to Paleocene limestone of the Lower Trstelj Beds. Due to tectonics and vegetation the strata can not be followed in a wider area of the type locality, but the same level can be recognized also 500 m to the north, near the Rakitovec railway station in which DROBNE (1977) determined *Alveolina cremae* Cherchia-Rispoli proving the Middle Cuisian (SBZ 11). Next to alveolinas, miliolids and spirobins she mentioned also alga *Clypeina* sp. In continuation of the succession from the Rakitovec railway station towards Movraž village (DROBNE, 1977), there are lighter, thick bedded to massive limestone with *A. aff. frumentiformis* Schwager and above them follows limestone with *A. callosa* Hottinger and *A. boscii* (Defrance & Bronn) characterizing the Lower Lutetian and these beds rest very close to the Transitional Beds and Flysch. The *Clypeina* described in this paper appears in 70 to 80 cm thick succession of grayish to dusky brown and bituminous limestone in direct vicinity of road and railway junction 500 m



Fig. 3. A 80 cm-thick limestone bed with *Clypeina teakolarae* sp. nov.

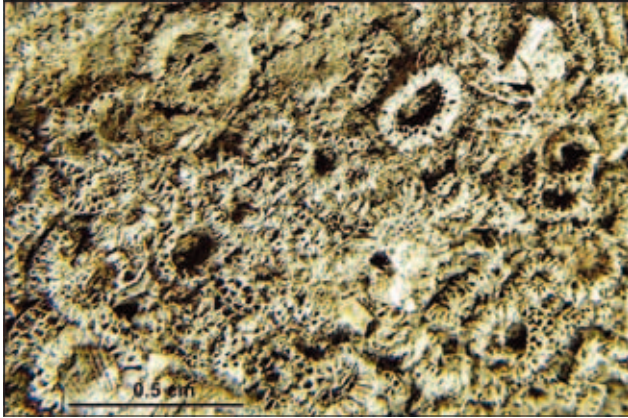


Fig. 4. Weathered limestone surface with accumulated *Clypeina* skeletons.

south from the Rakitovec railway station. The whorls mainly lie parallel to the bedding and they are rarely connected together. The clypeinas are visible in accumulations on surfaces (Fig. 4). The limestone laterally contains considerably less clypeinas, that are badly preserved and also deformed.

### Systematic paleontology

Order *Dasycladales* Pascher, 1931

Genus *Clypeina* (Michelin, 1845) Bassoulet et al. 1978

*Clypeina teakolarae* sp. nov.

Text Figs. 4, 5, Pls. I–VI

**Origin of name.** The species is dedicated to our friend and colleague Tea Kolar-Jurkovšek for her contribution in paleontology, especially in conodont stratigraphy.

**Holotype.** The oblique longitudinal (subaxial-tangential) section with five (four on the figure) twin-whorls contained in a micritic clast, depicted in Pl. I, Fig. 2. Thin section BJ2796–27, Bogdan Jurkovšek collection housed in the Geological Survey of Slovenia, Ljubljana.

**Isotypes.** Numerous specimens contained in 39 thin sections from sample BJ2796, some of which illustrated in Pls. I–VI.

**Type locality.** 1.5 km southwest of the Rakitovec village, 500 m south of the railway station, at the road and railway intersect (45° 27' 38" N, 13° 57' 14" E; Čičarija, Slovenia, Figs. 1 and 3).

**Type level.** A 70–80 cm-thick litho-bioclastic bituminous limestone with abounding *Clypeina* skeletons, visible also on the limestone surface (Figs. 3 and 4).

**Age.** The limestones outcrop in the Rakitovec area is dated middle Cuisian (SBZ 11) by DROBNE (1977), based on the presence of *Alveolina cremae* Chechia-Rispoli. Because *Clypeina teakolarae* sp. nov. is resedimented, the species is contempora-

neous or older than middle Cuisian. Thin sections with *Clypeina teakolarae* contain mollusk fragments, debris of problematic affinity (?algal) and extremely rare foraminifera. In the BJ2796–27 thin section, two sections of *Clypeina* sp. are present. Few resedimented, altered alveolinids, questionable miliolinids, fragments of problematic affinity and scarce, disintegrated *Clypeina* occur in the thin clayey bituminous limestone wedge.

**Diagnosis.** Thallus cylindrical. The main stem bears 0.75–3.5 mm-spaced, two by two closely arranged, funnel-like fertile whorls (twin-whorls). The whorls usually consist of numerous (11–35 or even more) long tubular to spindle-like primary laterals containing one ovoid ampulla, upward tilted 45°–75° to the main stem; they are fused through half or 2/3 of their length, except when the whorls bear loosely compounded laterals. In whorls with a large number of laterals, the laterals may be more or less compressed and irregularly arranged. Calcification is structurally equal to that of the *Clypeina jurassica* group of species.

Except at the distal end, the main stem wall and the wall of a laterals are well preserved due to environmental conditions (impregnation by bituminous-?ferruginous or extraneous substance).

The diameter of the external skeleton varies from 1 to 4 mm and main axis diameter is 0.25–1.25 mm. The diameter of the laterals is about 0.125 mm in the proximal part, and 0.325 mm in the largest part. The calcified length of the laterals is up to 1.05 mm long, while the ampulla diameter is around 0.125 mm.

**Description.** A characteristic feature of *Clypeina teakolarae* is the presence of twin-whorls of laterals whose arrangement varies as follows. (A) the two contiguous whorls may have the same number of laterals (Pl. II, ?Fig. 2; Pl. IV, ?Fig. 5) or the lower whorl may have twice as much or even more laterals than the corresponding, contiguous upper whorl (Pl. IV, Figs. 2, 4, 9). (B) the arrangement of the laterals can be quite regular (showing minor displacement; Pl. IV, Figs. 9, 11) or more or less irregular (Pl. III, Fig. 1; Pl. IV, Figs. 1–4). (C) in either of the twin-whorls, or both, the laterals may have many densely set, more or less com-

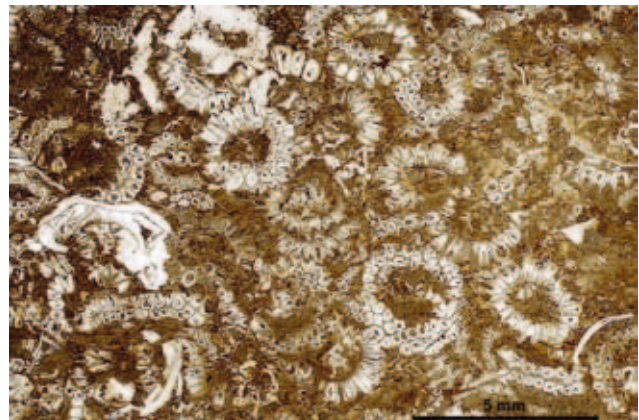


Fig. 5. Different sections of *Clypeina teakolarae* sp. nov., thin section BJ2796–30.



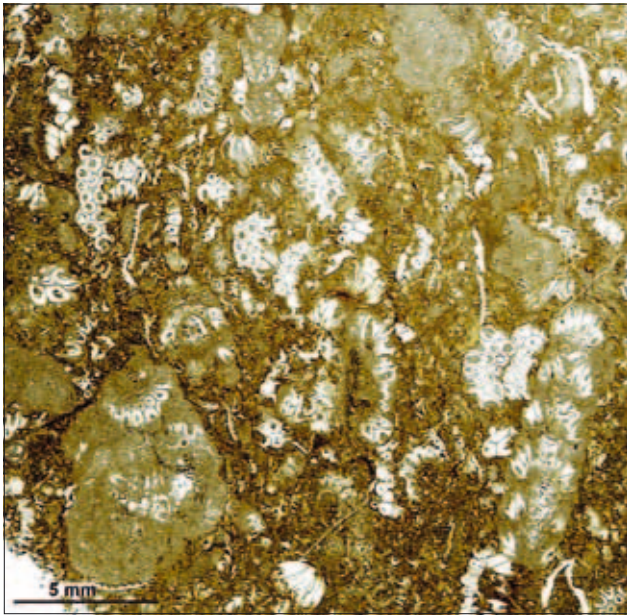


Fig. 6. Micritic clasts with *Clypeina teakolarae* sp. nov. embedded in the matrix of an heterogeneous bituminous-ferruginous, clayey micritic limestone. Thin section BJ2796-27.

pressed laterals (Pl. II, Figs. 3, 6); elsewhere the laterals are slightly touching each other, or loosely arranged (Pl. IV, Figs. 9, 11 = Pl. VI, Fig. 3, Pl. V, Figs. 3, 6), or also, differently compounded in two successive twin-whorls (Pl. I, Fig. 1). (D) when in tangential section, both of the twin-whorls show a number of densely and irregularly set laterals, is not possible to distinguish a boundary between them (Pl. II, Fig. 6, Pl. V, Fig. 1).

**Calcification.** The primary biogenous calcification of *Clypeina teakolarae* sp. nov. is similar, or at least looks identical to that of the *Clypeina jurassica* group of species comprising *Cl. jurassica* (Lower Kimmeridgian to Upper Berriasian), *Cl. inopinata* (Berriasian) and *Cl. isabellae* (Middle – Upper Berriasian) with radial-fibrous, intracellular colorless calcite deposited around the ovoid ampulla, and primary calcite-micritic calcification of the cell wall, on both the main stem and the laterals. Only the distal part of laterals is missing.

**Preservation.** The Rakitovec limestone contains numerous, scattered and resedimented fragments and twin-whorls of *Clypeina*. Pieces of skeleton comprising several, up to five or more consecutive twin-whorls are relatively rare (Pl. II, Figs. 1–6; Pl. I, Figs. 1, 2). The micrite in which *Clypeina teakolarae* had been originally deposited was slightly consolidated. Consequently, disintegration increased in the new depositional environment. Clasts containing *Clypeina* and small micritic grains were embedded in a matrix of heterogeneous, bituminous-ferruginous clayey micritic limestone holding calcite grains and some organic detritus (Fig. 6). The primary (original) micritic sediment bearing *Clypeina* is usually preserved in the proximal portion of twin-whorls with rather loosely set laterals (Pl. II, Fig. 7 left; Pl. IV, Fig. 9; Pl. V, Figs. 3, 6, 8).

Preservation of the skeleton varies, even in some thin limestone laminae ( $L_1$ – $L_4$ ) of the same sample ( $L_1$ : Fig. 5;  $L_2$ : Pl. IV, Fig. 8 = Fig. 7 in Pl. VI;  $L_3$ : Pl. IV, Fig. 10;  $L_4$ : Pl. IV, Fig. 12). Here, different effects of diagenetic changes are the result of some environmental particularity, too. The well preserved impregnated calcite-micritic cell wall is found in numerous fragments and twin whorls. Examples are given in the Pl. VI: Figure 1 shows perfectly preserved impregnated calcite-micritic cell wall – thickness of the walls of the main stem and the laterals, is about the same. In this slightly oblique section, the walls are either separate (arrows 1, 4), in slight contact (arrow 2) or amalgamated (arrow 3). A radial-fibrous structure of the primary intracellular calcification is barely discernible in some of laterals, around weakly deformed ampullae filled with sparite. The section on the Pl. VI, Fig. 2 is important. It shows part of a transversal, slightly oblique section cutting the lower whorl and a small basal part of the corresponding upper whorl: part of main stem wall is visible, with incisions of two laterals (arrows). It is the sole section in which the basal incisions of laterals may be observed. The section in Pl. VI, Fig. 3, magnifies a detail shown in Pl. IV, Fig. 11: the wall of the main stem is hardly discernable, being almost disintegrated. In part of the section, as frequently observed, some slightly or loosely compounded laterals keep their own wall individually (arrow 1), some have slightly amalgamated walls (arrow 2), while part the individual walls are lost due to compression, reduced to a thin line (arrow 3, which also is a characteristic of *Clypeina jurassica*).

The biogenic, intracellular radial-fibrous colorless calcification is secondarily altered, more or less recrystallized. Ampullae are filled by sparite or, sometime, sediment. Where the recrystallization is strong, the ovoid ampulla is lost (Pl. VI, some laterals on the Fig. 2). In a number of laterals, the primary radial-fibrous structure is not completely lost, as shown on Pl. V, Fig. 12, and on Pl. VI, Figs. 4–6. In these sections, the calcite is slightly pigmented (bituminous matter?); in some sections also the thin calcified membrane of the ampulla is preserved (arrows); on the Pl. VI, Fig. 6 the ampulla membrane is clearly pigmented. A contrary example is shown in Pl. VI, Fig. 7: both the intracellular calcification and the ampulla membrane (arrow) are strongly pigmented, whereas the ampullae infilling consists of pure sparite; this is the only specimen where the micritic wall of the laterals is altered, being replaced by sparite.

**Relationships.** *Clypeina teakolarae* belongs, or at least is closely related to the *Clypeina jurassica* group of species having intracellular radial-fibrous calcification and preserved calcite-micritic cell wall. It differs from the species of this group by the presence of twin-whorls bearing numerous, prevailing irregularly arranged laterals. Rare sections may be erroneously assigned to *Clypeina jurassica*. Some transversal and oblique tangen-



tial sections look very similar to corresponding sections of *Praturlonella salernitana* (BARATTOLO, 1978, Pls. IV and VI). In the latter species, the pattern of calcification is however different, denoting an originally aragonitic skeleton inverted to calcite. Besides the *Clypeina jurassica* group, somewhat different, although possibly related patterns of calcification are found in several species including *Halumusella durandelgai* (Berriasian), *Likanella campanensis* (Berriasian-Lower Valanginian), *Macroporella? praturloni* (Tithonian? – Lower Valanginian), *Pseudoclypeina cirici* (Upper Kimmeridgian) and *Pseudoclypeina distomensis* (Lower Oxfordian – Lower Kimmeridgian). Noteworthy, with *Clypeina teakolarae*, the *Clypeina jurassica* pattern of calcification is reported for the first time in deposits younger than Valanginian.

**Environments.** *Clypeina teakolarae* populated a sheltered shallow marine environment (algal marine meadows). The micritic deposits with *Clypeina teakolarae* were slightly reworked as semi-consolidated sediment. All of the re-deposited, bituminous–ferruginous limestone found at Rakitovec, originate from a single ecological environment. The Rakitovec limestone containing *Clypeina teakolarae* indicates a particular episode, likely of limited regional extent, part of the more general Alveolinid-nummullitid depositional environment. The authors consider that future, detailed investigations should be carried out on these deposits using ad hoc technique such as geochemical analysis and electron scanning microscope.

#### Acknowledgment

We are grateful to Paolo Sossi from Nabrežina (Aurisina – Italy), who provided information on the Rakitovec locality, to Stane Zakrajšek (Geological Survey of Slovenia) and Vladan Radulović (Faculty of Mining and Geology, Belgrade) for technical support. Helpful, constructive comments and suggestions were provided by the three reviewers, namely Dr. Marc Conrad (Genève), Dr. Nicolaos Carras (IGME, Athens) and Dr. Ladislav Placer (Geological Survey of Slovenia). The investigations of Bogdan Jurkovšek is supported by the Slovenian Research Agency (Program P1-0011). Investigations carried out by Divna Jovanović are supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Project No. 176015).

#### References

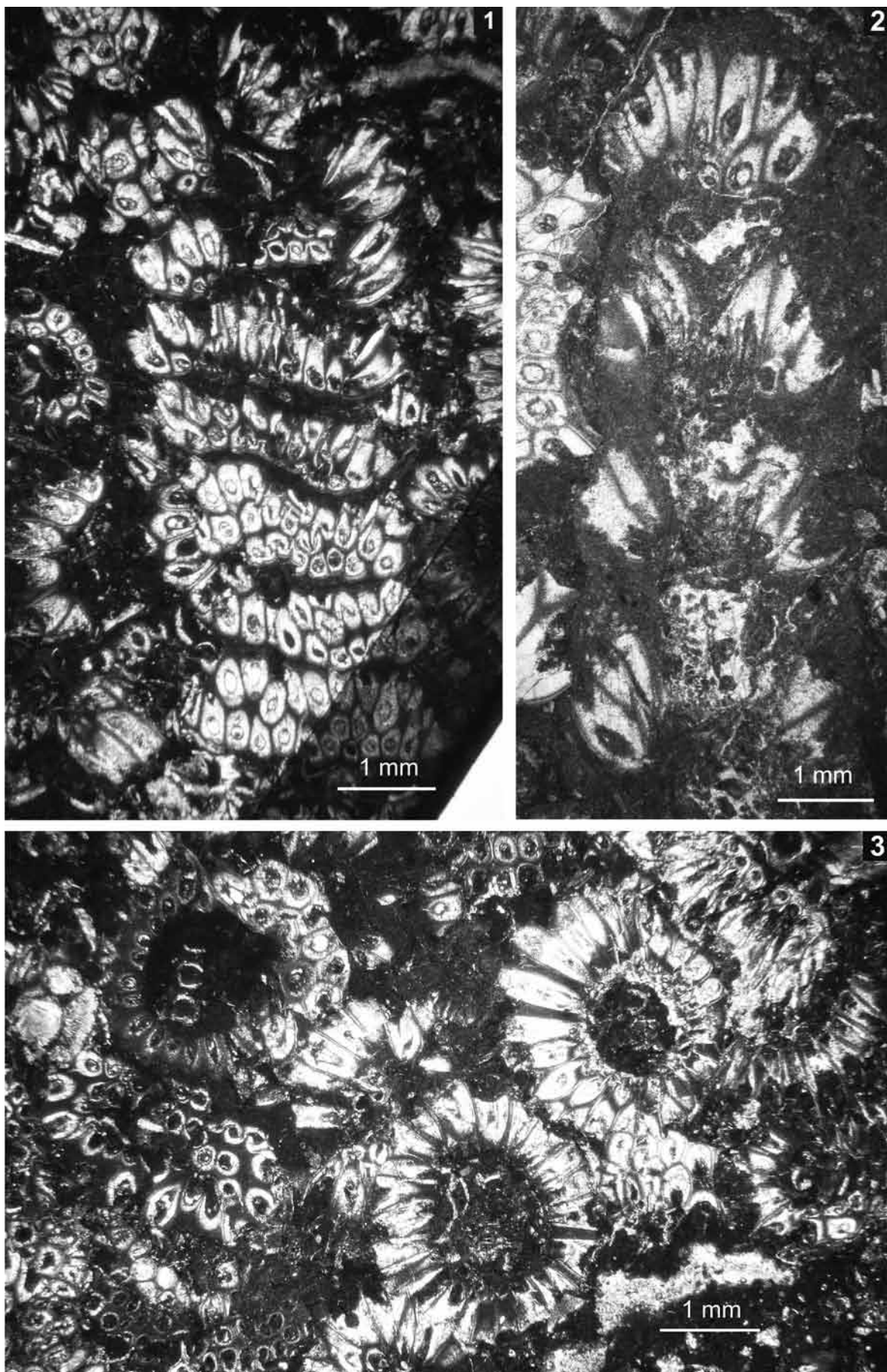
- BARATTOLO, F. 1978: Su di una nuova dasycladacea (algae verdi) nel Paleocene dell'Appennino meridionale. *Bollettino della Società dei Naturalisti*, LXXXVII: 1–76.
- BASSOULLET, J. P., BERNIER, P., CONRAD, M.A., DELOFFRE, R. & JAFFRESO, M. 1978: Les Algues Dasycladales du Jurassique et du Crétacé. *Geobios, Mém. Spec. 2*: 330 p, Pls. 40.
- DROBNE, K. 1977: Alvéolines paléogènes de la Slovénie et de l'Istrie. *Mus. suiss. Paléont. (Bâle)* 99: 1–132.
- DROBNE, K. 1979: Paleogene and Eocene beds in Slovenia and Istria. In: DROBNE, K. (Ed.): *Geological development in Slovenia and Croatia*. 16<sup>th</sup> European Micropaleontological Colloquium (Ljubljana): 49–64.
- JURKOVŠEK, B. 2010: Geološka karta severnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 25.000 – Tolmač (Geological Map of the Northern Part of the Trieste-Komen Plateau 1:25 000 – Explanatory Book), Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 72 p.
- JURKOVŠEK, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & OGORELEC, B. 1997: Geologija avtocestnega odseka Divača-Kozina = Geology of the Divača-Kozina motorway section (Kras, Slovenija), *Annales*, 11: 161–186.
- JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., ŠRIBAR, L.J., POLJAK, M. & DROBNE, K.: 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 50.000: kredne in paleogenske karbonatne kamnine. Geological map of the southern part of the Trieste-Komen Plateau 1 : 50.000: Cretaceous and Paleogene carbonate rocks. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana: 143 p.
- KOŠIR, A. 2003: Litostratigrafska revizija zgornje krede in paleogena v jugozahodni Sloveniji. *Geološki zbornik*, 17: 92–98.
- KOŠIR, A. 2004: *Microcodium* revisited: root calcification products of terrestrial plants on carbonate-rich substrates. *Journal of Sedimentary Research* 74: 845–857, doi: [10.1306/040404740845](https://doi.org/10.1306/040404740845).
- OGORELEC, B., DROBNE, K., JURKOVŠEK, B., DOLENEC, T. & TOMAN, M. 2001: Paleocene beds of the Liburnia Formation in Čebulovica (Slovenia, NW Adriatic-Dinaric carbonate platform. *Geologija*, 44/1: 15–65.

#### PLATE I

Figs. 1–3 *Clypeina teakolarae* sp. nov.

- 1 Tangential oblique section of the large size skeleton with seven twin-whorls, third from the base more irregularly arranged. Notice, on the left, the section of the small size skeleton. Thin section BJ2796-1.
- 2 Holotype, subaxial to tangential section of successive 5 twin-whorls (4 in figure) in micritic clast. Thin section BJ2796-27.
- 3 Different transverse and other sections. Notice on the right in partially preserved sparite main stem wall. Thin section BJ2796-28.

PLATE I



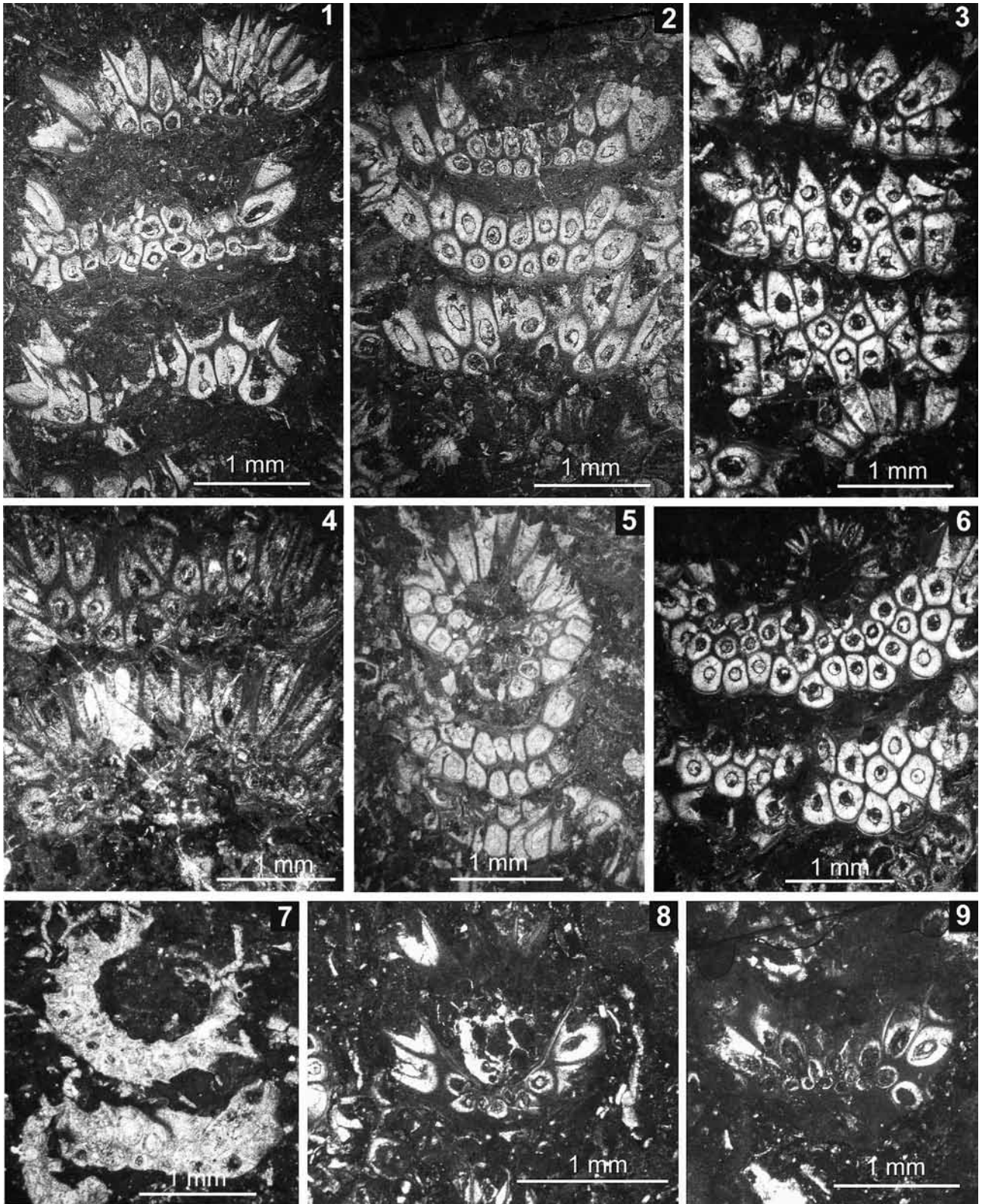
**PLATE II**

Figs. 1–9 *Clypeina teakolarae* sp. nov.

- 1 Tangential section of slightly irregularly arranged three successive twin-whorls. Thin section BJ2796-16.
- 2 Tangential section of relatively large size skeleton, two upper of three twin-whorls are regularly composed. Thin section BJ2796-9.
- 3 Tangential section of three successive twin-whorls with numerous irregularly arranged and very compressed. Thin section BJ2796-34.
- 4 Oblique-tangential section of the two successive twin-whorls irregularly arranged. Thin section BJ2796-32.
- 5 Oblique to tangential section of the medium size skeleton. Thin section BJ2796-9.
- 6 Tangential section of the large size skeleton, twin whorls with numerous irregularly arranged slightly compressed laterals. Thin section BJ2796-33.
- 7 Tangential and oblique sections of recrystallized skeleton. Thin section BJ2796-8.
- 8, 9 Oblique sections of twin-whorls with loosely arranged laterals. Thin sections BJ2796-27 and BJ2796-3.



PLATE II



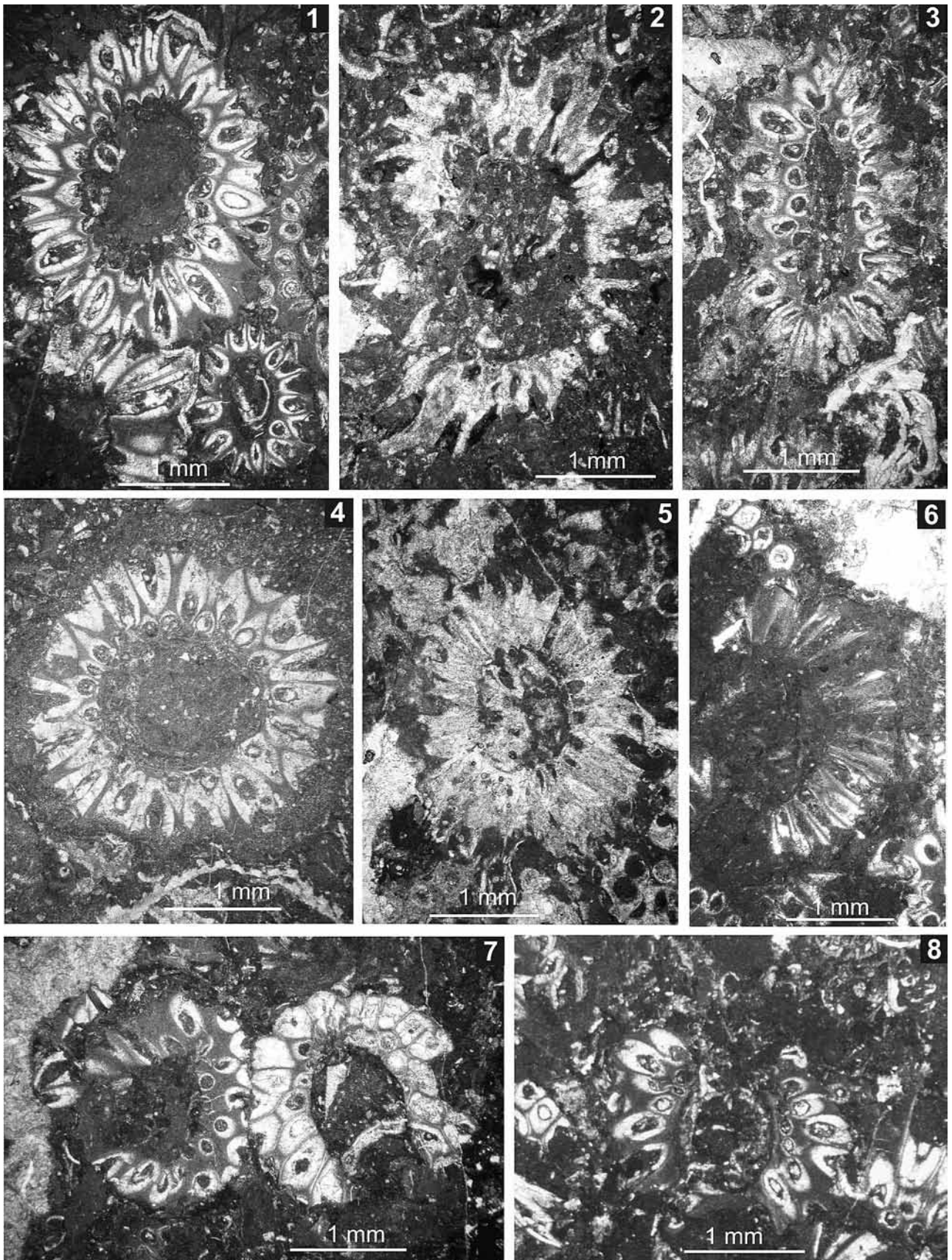
**PLATE III**

Figs. 1–8 *Clypeina teakolarae* sp. nov.

- 1 Oblique sections of two twin whorls. Notice in the large specimen poorly preserved with remnant of the upper whorl. Thin section BJ2796-19.
- 2 Deformed recrystallized large size skeleton. Thin section BJ2796-10.
- 3 Transverse section of the flattened skeleton. Thin section BJ2796-11.
- 4 Transverse section of twin-whorls, notice section through proximal part of upper whorl. Thin section BJ2796-20.
- 5 Transverse slightly oblique section of recrystallized twin whorls. Thin section BJ2796-42.
- 6 Fragment, transverse section of the lower whorl. Thin section BJ2796-34.
- 7 Oblique section of two twin whorls. Notice the difference between them, left specimen has loosely arranged laterals and, between them, preserved primary micrite, section at right has prevailing recrystallized and densely set laterals with ampullae filled by sparite or sediment. Thin section BJ2796-12.
- 8 Oblique section, laterals loosely compounded. Thin section BJ2796-2.



PLATE III



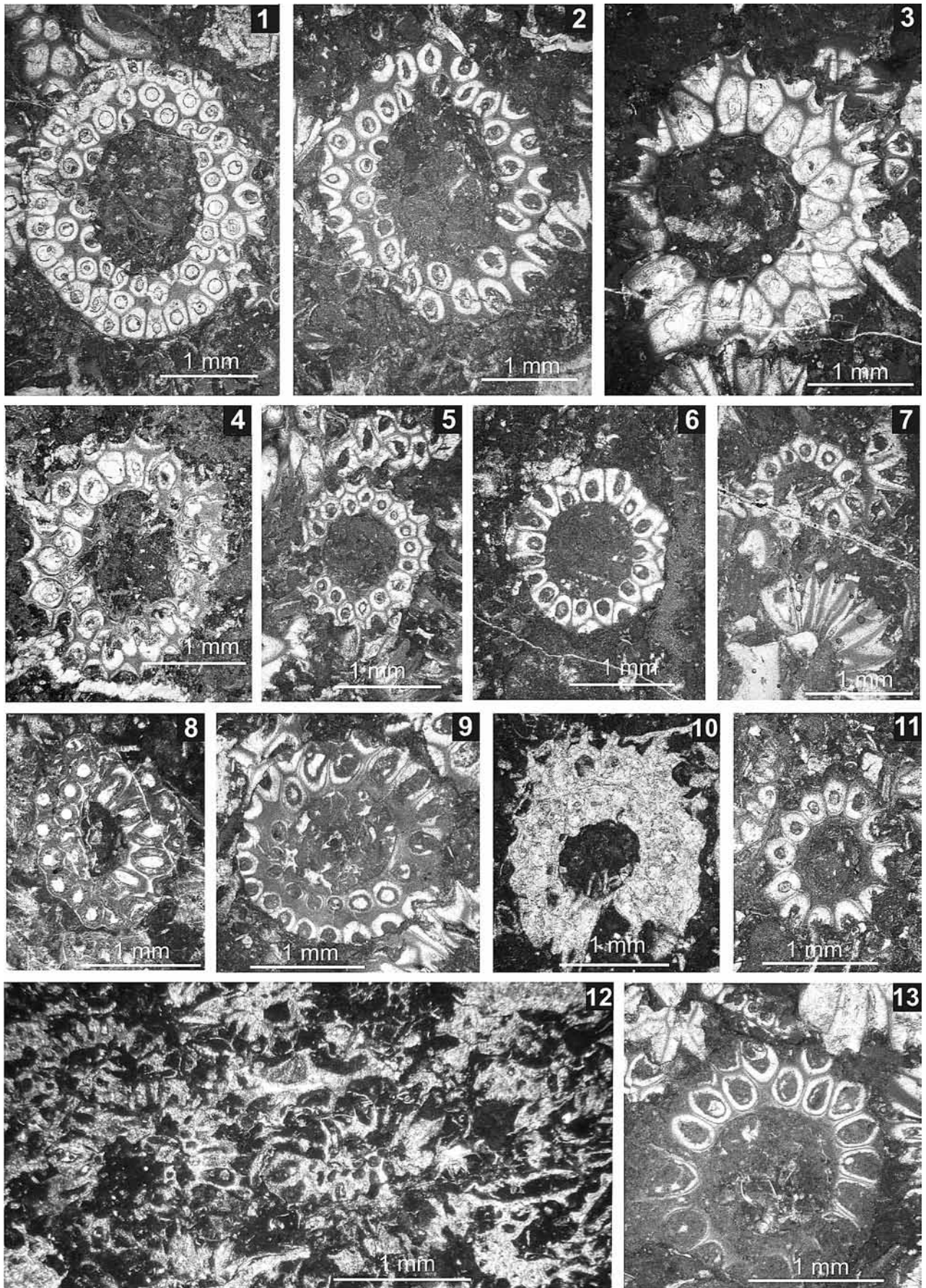


**PLATE IV**

Figs. 1–13 *Clypeina teakolarae* sp. nov.

- 1, 2 Two transverse oblique sections of differently and irregularly arranged laterals of twin whorls. Thin sections BJ 2796-20, BJ2796-23.
- 3 Transverse oblique section, recrystallized irregularly set laterals of upper twin whorl and a remnant of lower whorl. Thin section BJ2796-20.
- 4 Slightly oblique transverse section of the twin-whorls with very well preserved impregnated wall of laterals and part of main stem wall. Thin section BJ2796-11.
- 5, 6 Two similar twin whorls in transverse section with well preserved upper whorls and only remnants of lower whorls. Thin sections BJ2796-19 and BJ2796-5.
- 7 Transverse slightly oblique section of the small size skeleton of upper whorl and fragment of transverse section of lower whorl. Thin section BJ2796-25.
- 8 Flattened oblique transverse section of twin-whorls pigmented by bituminous matter (detail in Pl. VI, Fig. 7). Thin section BJ2796-42.
- 9 Twin-whorls of regularly arranged laterals in slightly oblique transverse section. In the part of section well preserved impregnated wall of laterals and main stem. Thin section BJ2796-6.
- 10 Recrystallized slightly colored skeleton and transverse section. Notice ampullae are not colored. Thin section BJ2796-8.
- 11 Transverse oblique section of small size skeleton (detail in Pl. VI, Fig. 3). Thin section BJ2796-30.
- 12 Recrystallized broken skeletons. Thin section BJ2796-17.
- 13 Slightly oblique section of upper whorl with main axis wall preserved. Thin section BJ2796-20.

PLATE IV





**PLATE V**

Figs. 1–12 *Clypeina teakolarae* sp. nov.

Figs. 1–6 Different tangential sections of twin-whorls;

1 Laterals densely set, in part compressed. Thin section BJ2796-20.

2, 4 Slightly irregular (thin sections BJ2796-21, BJ2796-27) and 3, 5 relatively regular arranged laterals (thin sections BJ2796-18, BJ2796-26).

6 Irregular arrangement of loose laterals. Thin section BJ2796-15.

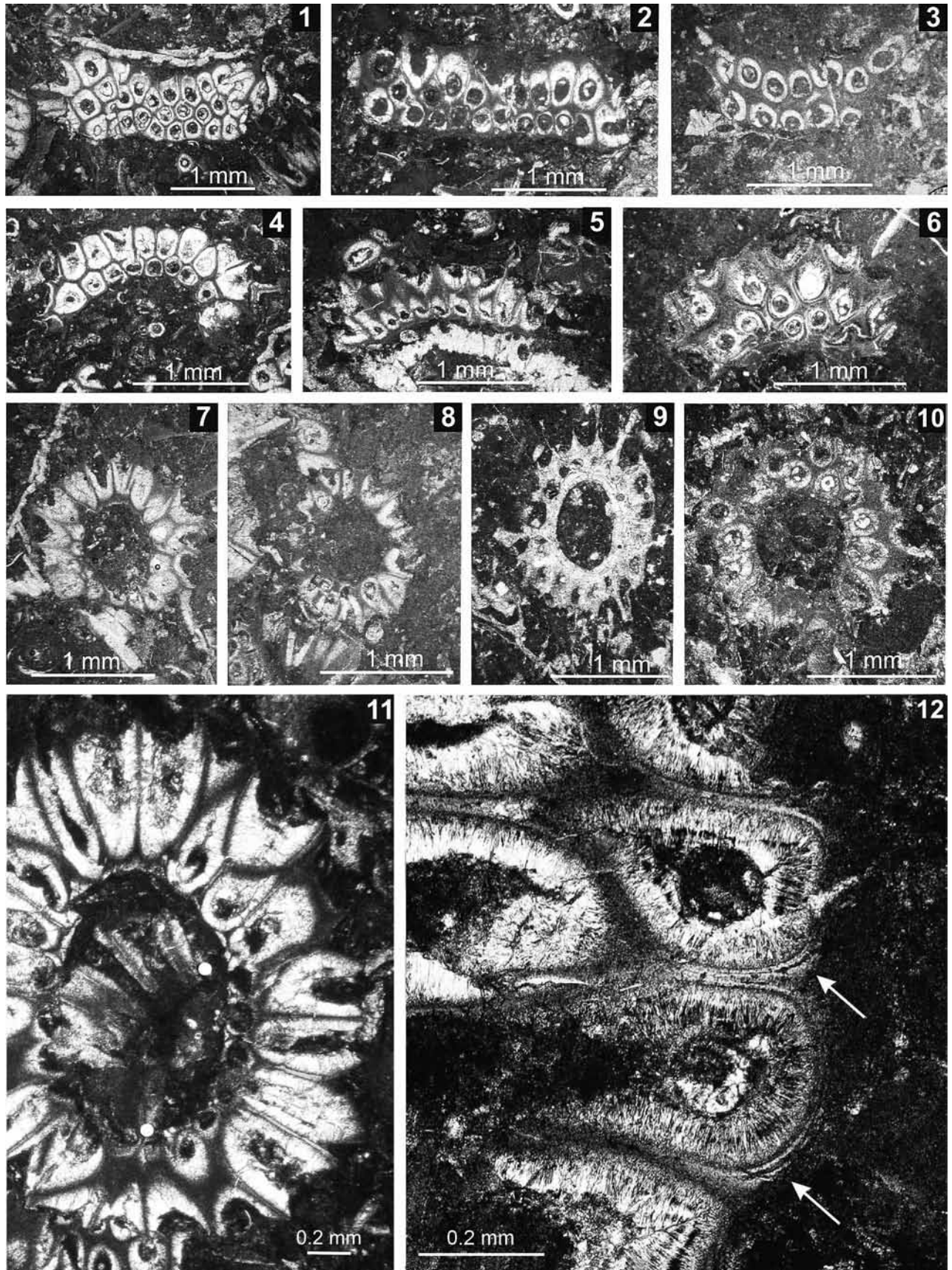
7–10 Transverse slightly oblique sections of differently preserved twin-whorls. Notice in fig. 8 remnants of lower whorl and preserved primary sediment. Thin sections BJ2796-20, BJ2796-29, BJ2796-8 and BJ2796-24.

11 Twin-whorls in transverse oblique section. Notice six basal sections (between white points) of upper whorl in slight contact and some parts of sparite main stem wall. Thin section BJ2796-28.

12 Transverse oblique section of recrystallized laterals in which radial-fibrous structure of primary intracellular calcification is not lost. Notice calcified ampulla membrane and membrane structure of external surfaces of laterals (arrows). Thin section BJ2796-12.



PLATE V



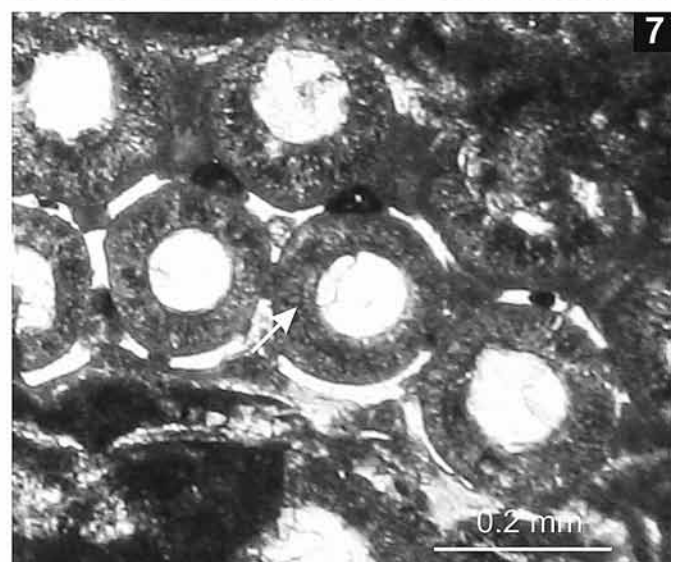
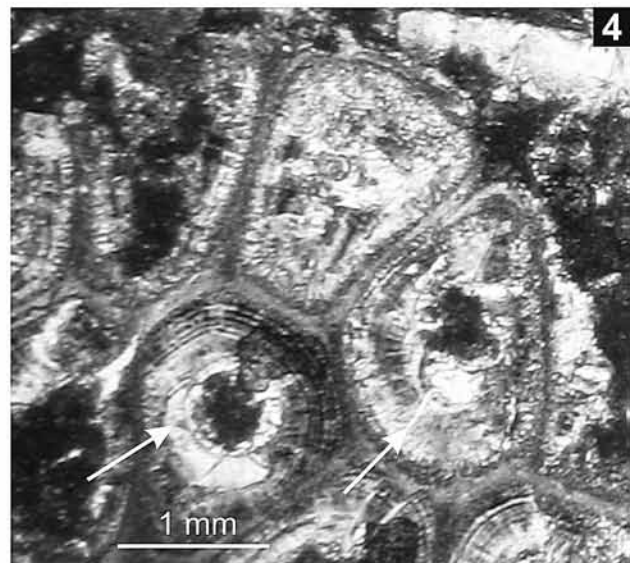
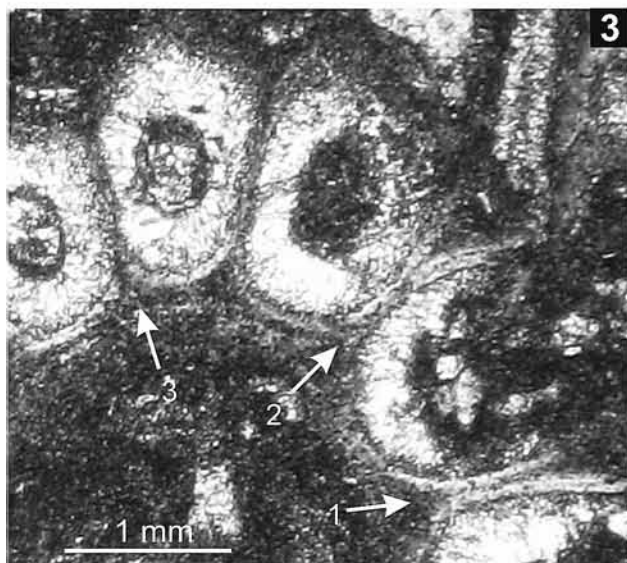
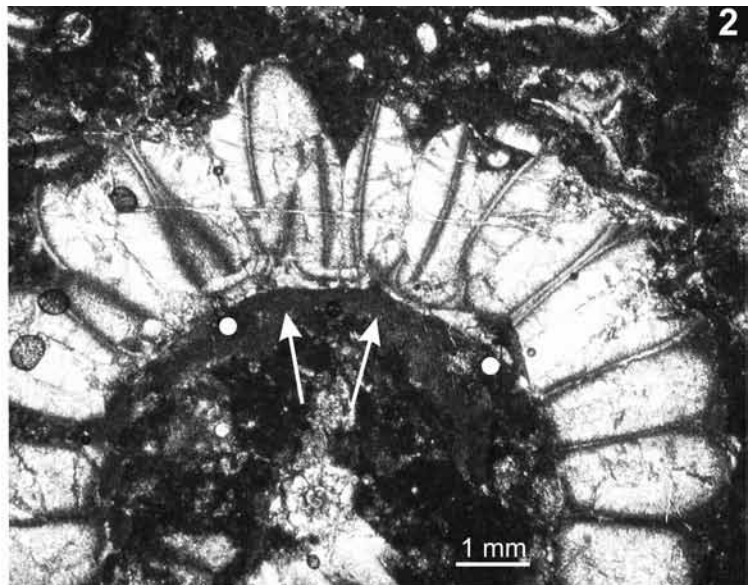
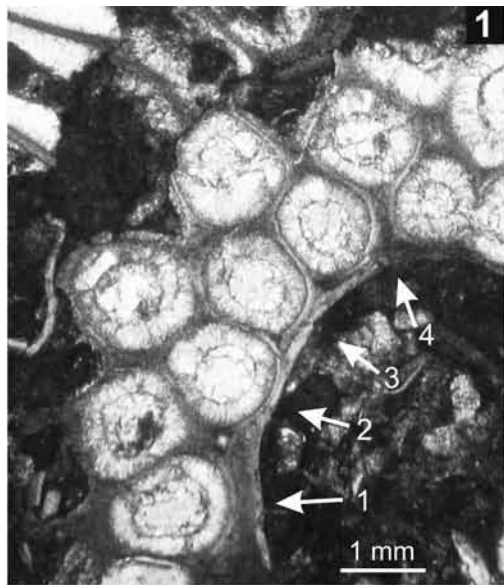
**PLATE VI**

Figs. 1–7 *Clypeina teakolarae* sp. nov.

- 1 Detail of the transverse section with perfectly preserved impregnated calcite-micritic cell wall – of the main stem and of laterals. Main stem wall is separated from lateral's wall, also wall between laterals is separated (arrows 1–4), in part slightly fused, no losing individuality (arrow 2) or amalgamated (arrow 3). Thin section BJ2796-20.
- 2 Transverse section cutting the lower whorl and a small basal part of the upper whorl (between the white dots). Part of main stem wall is visible, with incisions of two laterals (arrows). Notice a small foraminifer. Thin section BJ2796-34.
- 3 Detail of Fig. 11, Pl. IV, main stem wall faintly discernible, wall of laterals individualized (arrow 1), more or less slightly fused (arrow 2) or reduced thin line (arrow 3). Thin section BJ2796-30.
- 4–6 Laterals in transverse section in which primary fibrous-micritic calcification is not entirely lost. Some of them are slightly or more pigmented, in some laterals calcite membrane of ampulla is preserved (arrows), in Fig. 6 calcite membrane of ampulla is pigmented. Notice well preserved impregnated wall of laterals. Thin sections BJ2796-10 and BJ2796-9.
- 7 Recrystallized intracellular calcification of this specimen, contrary to these in figs. 5 and 6 is more pigmented, also membrane of ampulla (barely discerned, arrow). Primary micritic, the wall of laterals are partially altered. Thin section BJ2796-42.



PLATE VI





- OTONIČAR, B. 2007: Upper Cretaceous to Paleogene forbulge unconformity associated with foreland basin evolution (Kras, Matarsko Podolje and Istria; SW Slovenia and NW Croatia). *Acta Carologica*, 36/1: 101–120.
- PLACER, L. 2005: Strukturne posebnosti severne Istre = Structural curiosity of the northern Istria). *Geologija*, 48/2: 245–251, [doi:10.5474/geologija.2005.020](https://doi.org/10.5474/geologija.2005.020).
- PLACER, L. 2007: Kraški rob: Geološki prerez vzdolž AC Kozina–Koper = Kraški rob (landscape term): Geologic section along the motorway Kozina–Koper (Capodistria). *Geologija*, 50/1: 29–44, [doi:10.5474/geologija.2007.003](https://doi.org/10.5474/geologija.2007.003).
- PLACER, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija*, 51/2: 205–217, [doi:10.5474/geologija.2008.021](https://doi.org/10.5474/geologija.2008.021).
- PLACER, L., VRABEC, M. & CELARC, B. 2010: The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula tectonics. *Geologija*, 53/1: 55–86, [doi:10.5474/geologija.2010.005](https://doi.org/10.5474/geologija.2010.005).
- PLENIČAR, M., POLŠAK, A. & ŠIKIĆ, D. 1973: Tumač za list Trst. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd: 68 p.
- SERRA-KIEL, J., HOTTINGER, L., CAUS, E., DROBNE, K., FERNANDEZ, C., JAUHRI, A.K., LESS, G., PAVLOVEC, R., PIGNATTI, J., SAMSO, J.M., SCHAUB, H., SIREL, E., STROUGO, A., TAMBAREAU, Y., TOSQUELLA, J. & ZAKREVSKEYA, E. 1998: Larger foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 196: 281–299.
- STACHE, G. 1889: Die Liburnische Stufe und deren Grenzhorizonte. *Abh. k.k. geol. R.-A.*, 13/1: 1–170.
- ŠIKIĆ, D. & PLENIČAR, M. 1975: Tumač za list Ilirska Bistrica. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd: 51 p.
- ŠIKIĆ, D. & POLŠAK, A. 1973: Tumač za list Labin. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod, Beograd: 55 p.
- ZAMAGNI, J., MUTTI, M. & KOŠIR, A. 2008: Evolution of the shallow benthic communities during the Late Paleocene-earliest Eocene transition in the Northern Tethys (SW Slovenia). *Facies*, 54: 25–43, [doi:10.1007/s10347-007-0123-3](https://doi.org/10.1007/s10347-007-0123-3).

# SEM/EDS analysis of soil and roasting vessels fragments from ancient mercury ore roasting sites at Idrija area

## SEM/EDS analiza tal in prežganih koščkov keramike iz nekdanjih žgalnic živosrebrove rude na Idrijskem

Tamara TERŠIČ

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

Prejeto / Received 18. 8. 2010; Sprejeto / Accepted 25.1.2011

*Key words:* mercury, ore roasting, SEM/EDS, Pšenk, Frbežene trate, Slovenia

*Ključne besede:* živo srebro, žgalnice, SEM/EDS, Pšenk, Frbežene trate, Slovenija

### Abstract

Numerous roasting vessels fragments can be found at ancient roasting site areas in the surroundings of Idrija town, which were used for ore roasting in the first 150 years of Hg production in Idrija. The earthen vessels fragments lay just below the surface humus layer and in some parts they stretch more than 1 meter deep; they are covered with red (cinnabar) or black (metacinnabar) coatings.

SEM/EDS analysis of roasting vessels fragments and soil samples from roasting site areas Pšenk and Frbežene trate was performed in order to characterize the solid forms of Hg in applied sampling material. Mercuric sulphide HgS was found to be the main mercury compound present in the samples. Analysis of earthen vessels fragments showed abundant HgS coatings on the surface of ceramics, forming either crust-like aggregates on matrix or isolated grains. Some well-shaped grains with indicated structure and the size of up to 200  $\mu\text{m}$  could also be observed. In soil HgS was present as powder-like concentrations scattered in soil samples, frequently coating silicate and quartz crystals and clay-minerals. Polycrystalline, mercury- and sulphur- rich particles comprising silica, clay minerals and Al-, Fe- and Mg-oxides that were also observed in the samples were interpreted as soil aggregates infiltrated by mercuric and sulphur vapours and by liquid mercury spilled during roasting. These particles suggest a possible presence of mercury-sulphur associations other than HgS.

### Izvleček

Na območjih nekdanjih žgalnic v okolici Idrije, ki so jih uporabljali za žganje živosrebrove rude v prvih 150 letih delovanja rudnika, najdemo številne ostanke glinenih žgalniških posod. Odlomki žgalniških posod ležijo tik pod površinskim organskim horizontom in segajo na nekaterih delih več kot 1 meter globoko; pogosto so na notranji strani prekriti z rdečimi (cinabarit) in črnimi (metacinabarit) oprhi.

SEM/EDS analiza tal in prežganih koščkov keramike iz žgalniških območji Pšenk in Frbežene trate, je bila uporabljena za opredelitev nosilcev živega srebra v izbranih vzorčnih sredstvih. Ugotovljeno je bilo, da Hg v obravnavanih vzorcih nastopa predvsem v obliki živosrebrovega sulfida HgS. Analiza prežganih koščkov keramike je pokazala številne obloge HgS na površini, ki se pojavljajo kot skorjasti skupki na osnovi ali kot individualna zrna. Nekatera lepo oblikovana zrna z nakazano strukturo dosežejo velikost do 200  $\mu\text{m}$ . V vzorcih tal in SOM je se HgS pojavlja predvsem v obliki zelo drobnih razpršenih delcev na površini glinenih in drugih mineralov. Številni zelo drobni delci HgS brez dobro izražene strukture, vključeni v talne skupke in prekriti s tankimi glinenimi prevlekami, nakazujejo možen obstoj drugih vezav med živim srebrom in žveplom razen kristalnega HgS (živo srebro vezano na faze vsebujoče žveplo).

### Introduction

In the initial period of mining activities in the Idrija basin, Hg was extracted primarily by washing native Hg from Carboniferous rocks. In the period up to the 17<sup>th</sup> century, Hg was extracted by igniting ore in the open air, initially in piles similar to those used in the extraction of charcoal,

and later in earthen vessels (VERBIČ, 1965; KAVČIČ, 2008; VERBIČ, 1970b). The procedure of ore roasting in earthen vessels, termed also German or Bavarian method, was described by VERBIČ (1965; KAVČIČ, 2008; VERBIČ, 1970a, 1970b, 1990, 1993), VALENTINITSCH (1981), ČAR & TERPIN (2005) and KAVČIČ (2008) and is summarized in GOSAR & ČAR (2006), TERŠIČ & GOSAR (2009) and TERŠIČ (2010a).



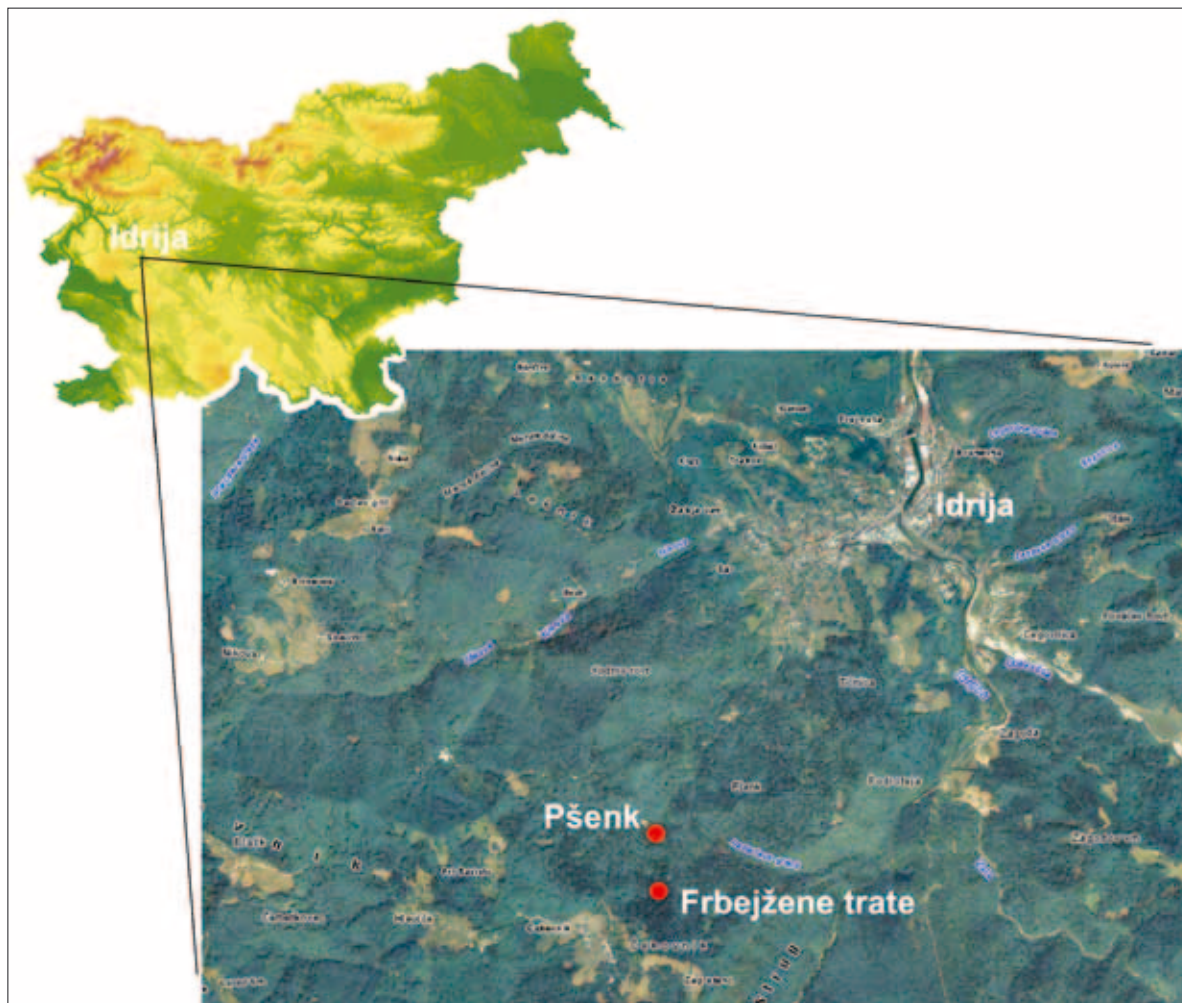


Fig.1. Locations of Pšenk and Frbežene trate roasting sites

The locations of ancient roasting sites Pšenk and Frbežene trate which are discussed in this paper are presented in Fig. 1.

At this method a suit of two earthen roasting vessels was used – the bigger upper, in the shape of longish gourd (*earthen vessel*), and smaller lower vessel (*receptacle*). Roasting vessels were formed specially for roasting of cinnabar ore. Pottery was mainly made from bad quality clay with a considerable amount of sand. After the roasting the vessels usually got the reddish brown colour. The lower vessels were made less precisely and usually from even worse quality clay than the upper vessels; they can be distinguished from the upper vessels in their colour, which is also the consequence of lower temperatures in the lower buried part. Roasting in earthen vessels gave a very poor yield and resulted in considerable losses. Because of the high temperatures usually a third of earthen vessels cracked during burning and mercury escaped from the vessels (VERBIČ, 1965; KAVČIČ, 2008).

Because at the time the chemical decomposition of HgS was not well known, it frequently happened that instead of mercury, red vermilion or black secondary mercury sulphide were formed during roasting. Nowadays we can still observe red and black coatings on pieces of pottery fragments. This deficiency was suppressed with the

addition of quicklime to the ore; so, the sulphur bounded with calcium to form calcium-sulphide (CaS) and gypsum (CaSO<sub>4</sub>), and mercury accumulated in the lower vessel:



After the roasting, the ashes and other material were removed from the pile in order to accelerate cooling down of the vessels. Natural atmospheric cooling lasted for several days; afterwards the vessels were additionally cooled by watering. When the vessels were cold enough, the remained material was gradually removed, the vessels were separated and the mercury was collected from the bottom vessel (receptacle). The cracked or damaged vessels were discarded, crushed and used as a filling material at the next roasting (Fig. 2; ČAR & TRPIN, 2005). At present, large quantities of fragments of broken pottery are commonly found at ancient roasting sites.

The aim of this study was to characterize the solid forms of Hg in soil and SOM samples with the combination of scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analyses. SEM/EDS was used to quantify the relative abundance of HgS particles in the fragments of cracked roasting vessels and in mercury-rich soil samples and to investigate the

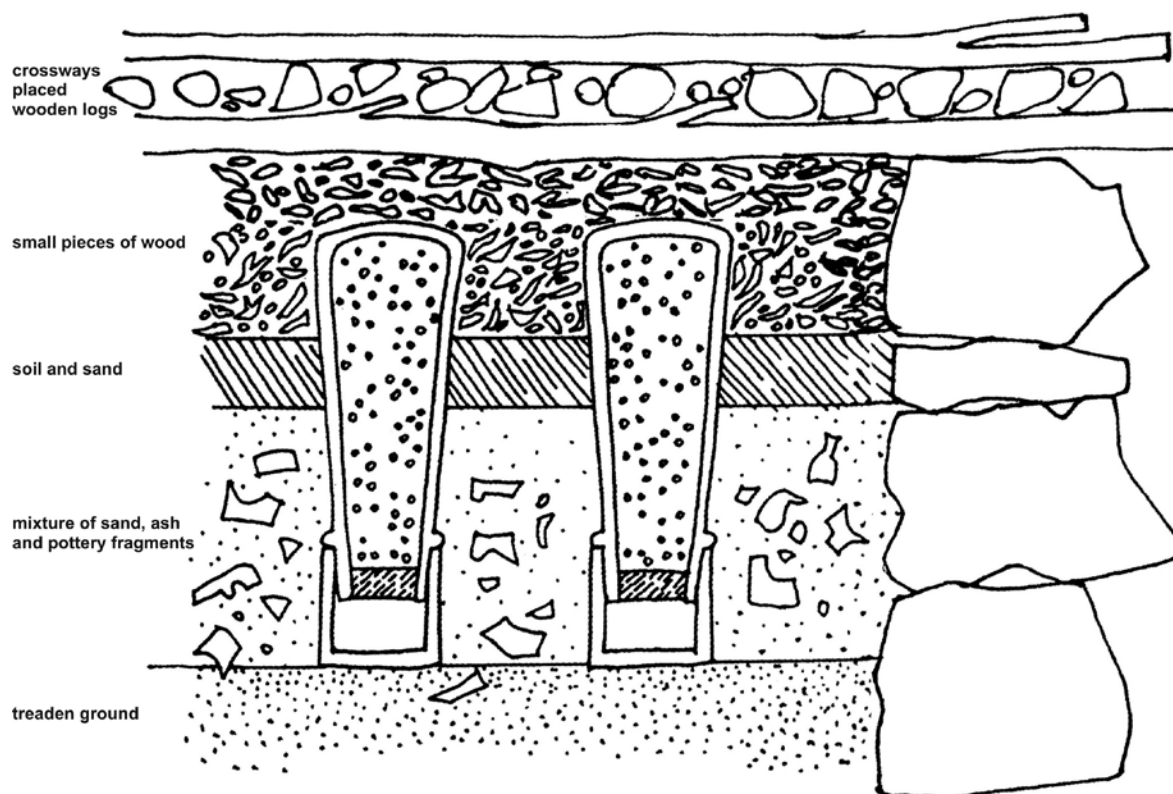
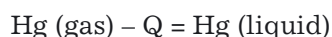
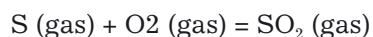
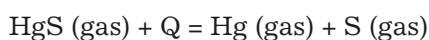
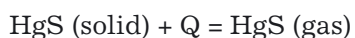


Fig. 2. Drawing of earthen vessels position at the roasting place (after ČAR & TERPIN, 2005)

possible association of Hg or HgS with specific matrix phases.

### The process of extracting mercury from cinnabar ores

Mercury metal is produced from the cinnabar ore by roasting and condensing the vapour. By heating, HgS sublimates and decomposes to mercury and sulphur. In the presence of oxygen sulphur oxidize to SO<sub>2</sub>, and mercury liquefies on the cold surfaces:

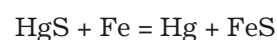
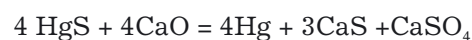


The vapour pressure of mercury sulphide is equal to atmospheric pressure at 583 °C; therefore this is the optimal temperature for ore roasting at the processes of extracting mercury. The decomposition is carried out also at lower temperature: at 350–500 °C, 80–92 % of HgS decomposes. It is important that there is enough oxygen present; otherwise the sulphur does not oxidize to SO<sub>2</sub> and between mercury and sulphur vapours the recurrent reaction runs. In this case black amorphous mercury sulphide is formed as a coating on the walls and bottom of condensers:



Similar can happen while cooling mercury vapours at the presence of water steam which again results in black coatings of HgS on cold parts of

condenser. To prevent repeatedly formation of HgS from mercury and sulphur vapours, lime or iron filings are added to the ore:



In both cases mercury segregates in a pure, elemental form and after cooling deposits in a condenser system as a liquid metal.

After the roasting, the gases that evaporate from the furnace need to be cooled down, since most of the mercury is present in the form of vapours. Condensation is more effective if the mercury vapours are more concentrated, which is dependent mostly on the percentage of mercury in the ore and upon the amount of the other components such as water steams or organic matter which come into the gases at combustion. More of these constituents in the gases deteriorate the condensation. For this reason, the roasting process with the addition of lime or iron filings, where the ore is heated in the closed space, is much better in comparison to the custom way of roasting, where the fuel gases mix with mercury vapours (KAVČIČ, 2008).

### Materials and methods

Soil (5–20 cm) and SOM (surface organic matter rich soil layer; 0–5 cm) sampling was performed at the ancient roasting site areas Pšenk and Frbežene trate. Roasting vessels fragments were also collected. The detailed descriptions of sampling procedure, sampling locations and mercury distribution 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, 2010b).

Three pieces of burned roasting vessels fragments with clearly visible black and/or red coatings as well as defined SOM and soil samples were chosen for SEM/EDS analysis; SOM and soil samples (5–20 and 20–30 cm) from one location (P-612) from Pšenk roasting site (Fig. 3) and soil samples (5–20 cm) from two locations (F-111 and F-217) from Frbežene trate roasting site (Fig. 4) were analyzed. Mercury contents in analyzed soil and SOM samples from before mentioned locations are listed in Table 1.

### Sample preparation and SEM/EDS analyses

Scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were used to characterize the solid forms of Hg in soil samples and in roasting vessels fragments at the Geological Survey of Slovenia. Samples were analyzed using BSE mode on JEOL JSM 6490LV SEM coupled with Oxford INCA Energy EDS at accelerating voltage 20 Kv, working distance 10 mm and the acquisition time 95 s. This instrument was used for semiquantitative chemical point analysis, for microphotographs in back-scattered and secondary electron modes, and for X-ray elemental mapping (the relative element distribution).

The samples of roasting vessels fragments were observed in a low- and high-vacuum. The soil samples were observed in high-vacuum. Soil samples were sieved <2mm and sprinkled on double-sided carbon tape, the excess blown off with compressed air and sputter-coated with gold

Table 1. Mercury contents in analyzed soil samples from locations P-612 from Pšenk roasting site and F-111 and F-217 from Frbežene trate roasting site

Location	Depth (cm)	Hg (mg/kg)
P-612	0–5	2100
	5–20	8600
	20–30	7900
F-111	5–20	12020
F-217	5–20	19900

to achieve conductivity. Samples were scanned in back scattering mode. Mercury is an electron dense atom and an effective electron backscatterer. Consequently, it becomes visibly bright in a matrix consisting of low Z elements. The elemental composition of those Hg-rich particles identified was then studied by using energy dispersive x-ray spectrometer (EDS).

With a resolution of 133 eV for EDS, the S- $K_{\alpha}$  line (2.31 keV) and the Mo- $L_{\alpha}$  (2.28 keV) line overlap, so directly distinguishing between the two elements was not possible. To ascertain that the observed grains are HgS and not HgMo, the comparison of measured EDS spectrum for the grain which was supposed to be HgS with the synthesized EDS spectrum of HgS and HgMo was done. The measured spectrum was more similar to the spectrum of synthesized HgS, so we concluded that there is HgS in our samples. Another attempt was performed with analysis at accelerating rate of 30 keV, which should show another peak for Mo at approx. 17 keV (Mo- $K_{\alpha}$ ). In our case no peak could be observed at 17 keV which proved that there is no Mo in our samples.

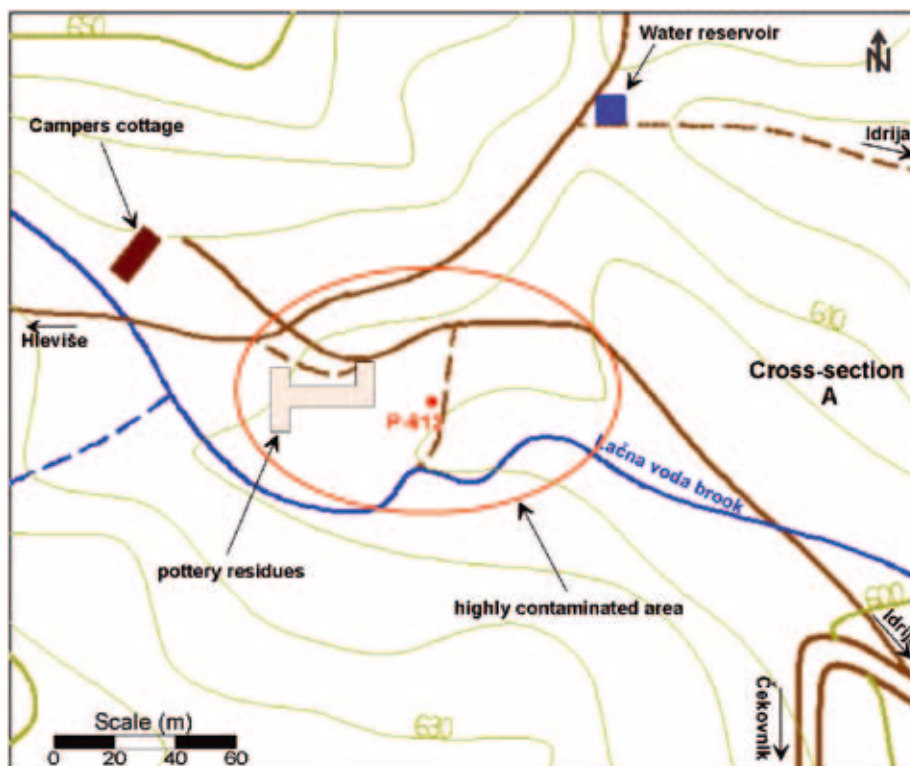


Fig. 3. Roasting site Pšenk with the location of sampling point P-612 and indicated area where pottery fragments were found in large quantities and area of highly increased mercury contents in soils and SOM.

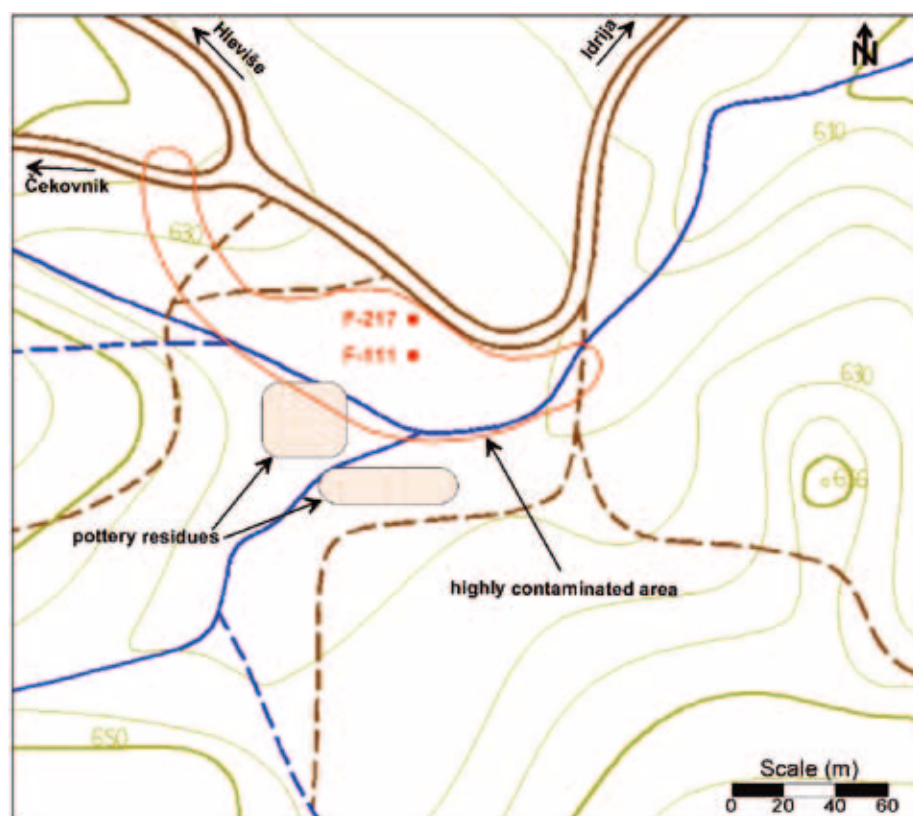


Fig. 4. Roasting site Frbežene trate with the location of sampling points F-111 and F-217, indicated area where pottery fragments were found in large quantities and area of highly increased mercury contents in soils and SOM.

## Results

### Roasting vessels fragments

Analysis of burned pottery fragments revealed the presence of abundant HgS coatings on the surface of ceramics, forming either crust-like aggregates on matrix (Figs. 5a, d) or isolated grains (Figs. 5e, f). In aggregates we could observe as well flat and smooth surfaces with good expressed and sharp edges as also more round-shaped and corroded surfaces (Figs. 5a, c). In parts HgS coatings are covering the large surfaces of the ceramics and in parts small dispersed HgS particles dominate (Fig. 5c). In places HgS grains are covered with clay coatings (Fig. 5b). Some well-shaped grains with indicated structure and the size of up to 200  $\mu\text{m}$  could also be observed (Figs. 5e, f). The grains are captured or covered by the matrix ceramics material, with interesting surfaces showing traces of corrosion or perhaps dissolution. Solid HgS exists in two common forms, red cinnabar and black metacinnabar. Cinnabar is the thermodynamically stable form at low temperature; however, the presence of impurities (especially zinc, iron and selenium) impedes the conversion of metacinnabar to cinnabar by decreasing the inversion temperature and by retarding the kinetics of conversion (BARNETT et al., 1997). We believe that most of well-shaped grains with indicated structure are probably cinnabar particles (macroscopically red), while others HgS coatings could also present metacinnabar (macroscopically black). It is likely that both forms of HgS are present; at the roasting process commonly both compounds were formed (KAVČIČ, 2008). In the case there was not enough oxygen present, the recurrent reaction ran

between mercury and sulphur vapours and black amorphous mercury sulphide was formed as coatings on the walls and bottom of condensers.

### Soil and SOM samples

The SEM/EDS study revealed that the sampled soil material consisted mainly of different clay minerals, K-feldspars, micas, Al-, Fe- and Mg- oxides and quartz grains. Individual small grains of zircon and rutile could also be found in soil samples. In SOM mainly clay minerals and abundant organic material were identified (Figs. 7a, b). Cinnabar was the only optically recognized Hg-bearing mineral. It was present as powder-like concentrations scattered in soil samples, frequently coating silicate and quartz crystals and clay-minerals (Fig. 6c). Also many individual grains could be observed in soil samples, either separately lying in soil substrate or incorporated in soil aggregates from less than 1  $\mu\text{m}$  to 20  $\mu\text{m}$  and more in size (Figs. 6a, b, 7e, f). Some well-shaped HgS grains with indicated structure could be recognized which are most probably cinnabar grains (Figs. 6d, 7c, d). In SOM individual HgS grains were up to 5  $\mu\text{m}$  big, often encircled and coated with clay minerals or organic matter (Fig. 7b). Presence of clay minerals and Fe-oxyhydroxides suggested relatively favourable conditions for Hg adsorption to the mineral surfaces. The close association to the clay grains is the most common occurrence of HgS. Although the EDS analysis indicated a mercury-sulphur association in number of particles in the soil, these elemental relationships, although consistent with the presence of HgS, are not a definitive evidence of cys-



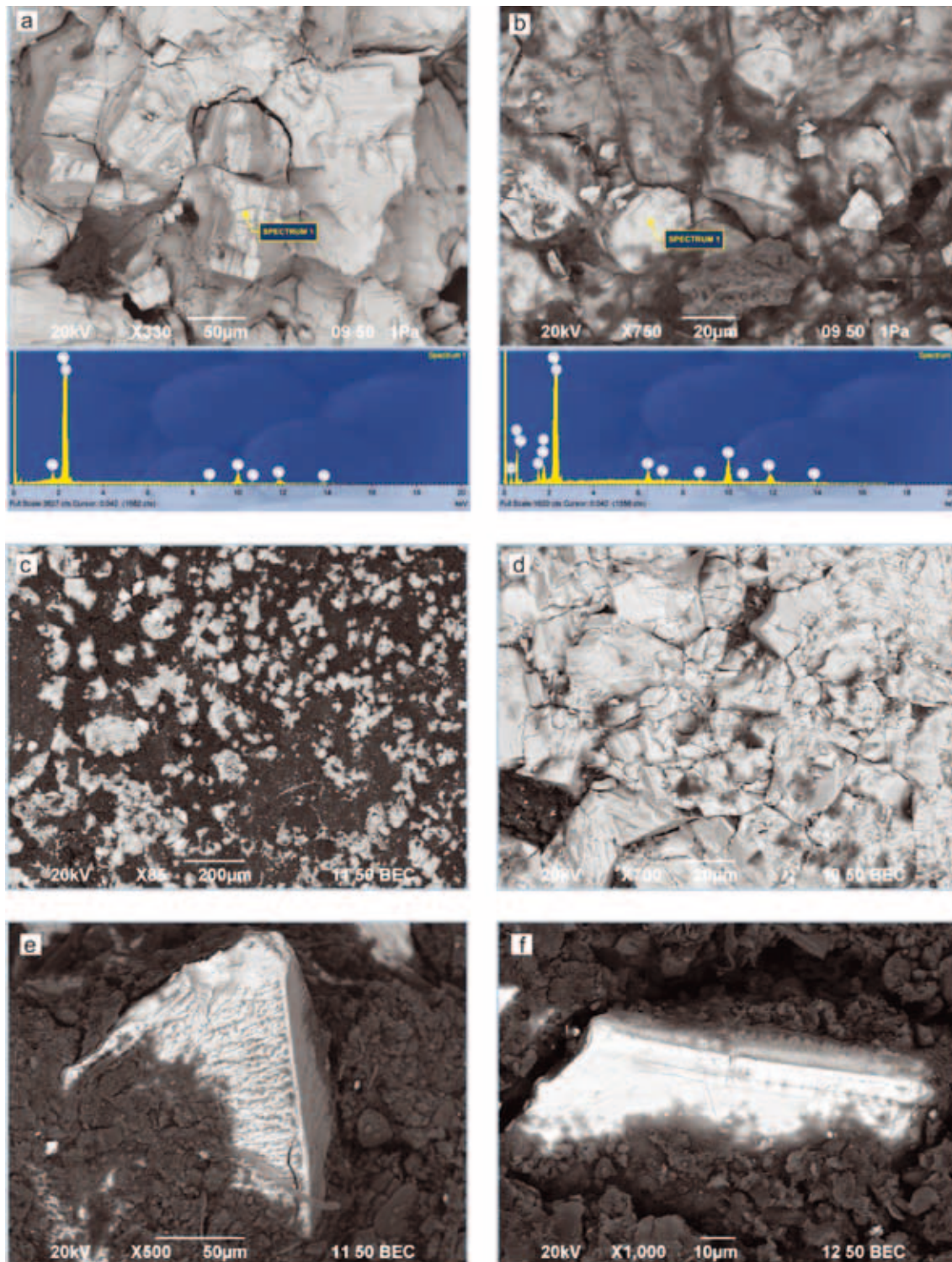


Fig. 5. SEM backscatter images of particles of roasting vessels fragments with EDS spectrums which indicate the chemical composition. (a, d) aggregates of HgS; (b) clay coatings covering HgS aggregates; (c) HgS grains scattered in ceramics matrix; (e, f) SEM backscatter images of some well-shaped HgS grains with indicated structure and the size of up to 200  $\mu\text{m}$ .

talline HgS because a variety of mercury–sulphur associations are possible in soil (e.g., mercury sorbed to a sulphur-containing phases) (BARNETT et al., 1997).

### Discussion

Backscatter SEM study of the studied samples revealed an obvious visual presence of mercury-bearing particles in all samples, especially in roas-

ting vessels fragments. Semi-quantitative SEM analyses of individual HgS grains from our samples indicate abundant cinnabar with possible presence of metacinnabar. Figures 5 to 7 illustrate the diversity of the mercury-bearing particles with a range of HgS morphologies, from anhedral to spherical. Several angular monomineralic grains could be observed, although they were normally found embedded within clay mineral agglomeration encased by thin clay coatings or rarely attached to other



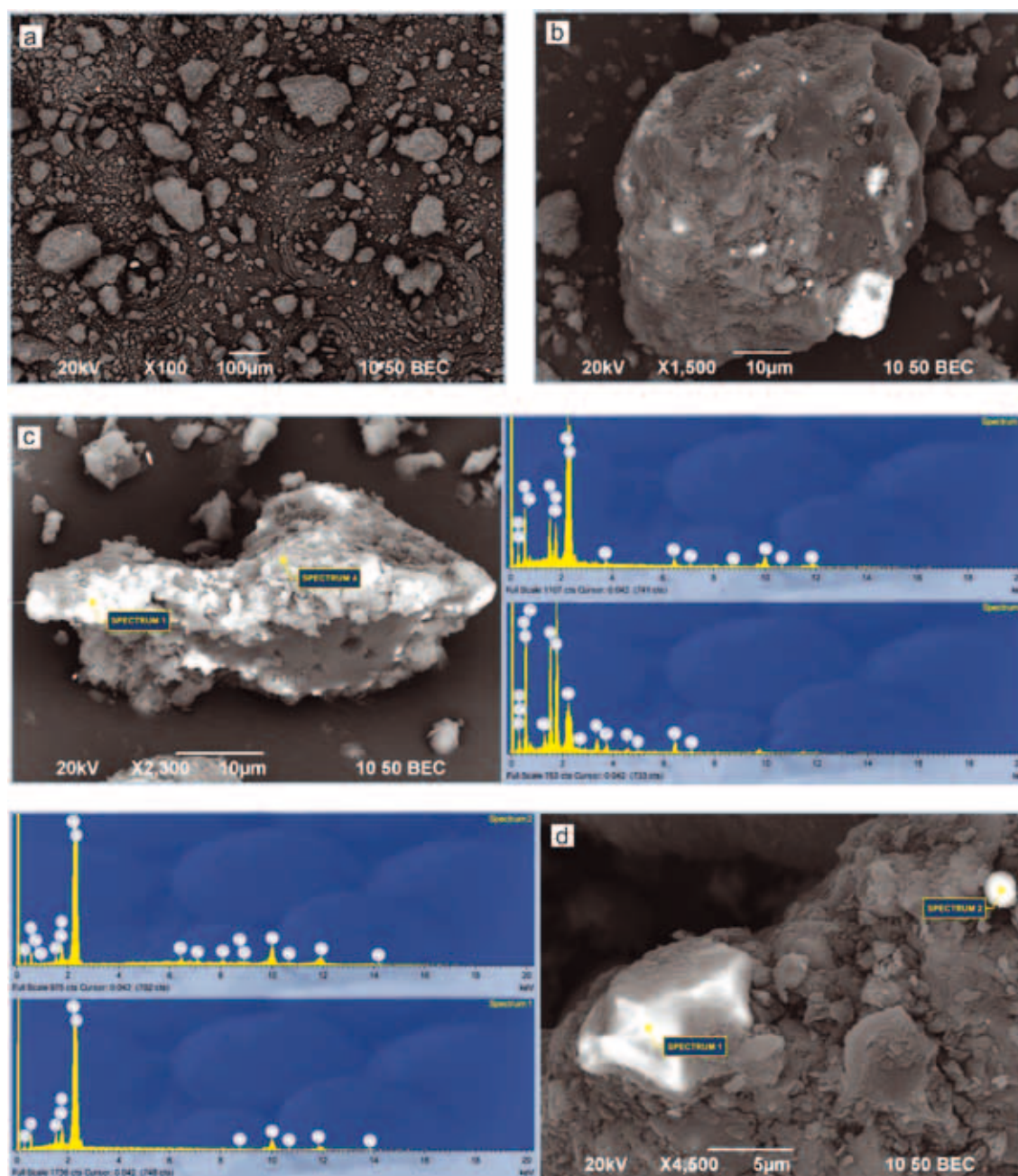


Fig. 6. SEM backscatter images of mercury-bearing particles (bright) in soil samples. (a) low magnification of a soil sample F-111 (5–20 cm) showing bright particles incorporated in soil grains and several isolated HgS particles; (b) soil grain of a soil sample P-612 (20–30 cm) coated with small HgS particles (c) image of a soil grain (sample F-111) with bright coatings; EDS spectrums of bright coatings (HgS) and soil grain composition (Si, Al, Fe). (d) well-shaped HgS grain (left) and spherical Hg-bearing particle; EDS spectrums indicate that both are HgS.

(quartz) grains. Monomineralic cinnabar grains, armoured multigrain agglomerations, and clay-coated particles were present in all soil and SOM samples. Polycrystalline, mercury- and sulphur-rich particles comprising silica, clay minerals and Al-, Fe- and Mg-oxides that were also observed in the samples could be interpreted as soil aggregates infiltrated by mercuric and sulphur vapours and by liquid mercury spilled during roasting, whereas cinnabar was most probably introduced via careless transport, stockpiling, and loading of roasting vessels during the old days of the roasting sites; in addition, cinnabar particles in soil are probably also due to the inefficient and incomplete roasting process and to the discarding of burned roasting vessels with HgS coatings at the sites.

Mercuric sulphide was found to be the main mercury compound present in the samples; cinnabar is the thermodynamically stable form at low temperatures and reducing conditions. Moreover, HgS is kinetically resistant to oxidation, and once formed, HgS may remain in soils even under oxidizing conditions (BERNAUS et al., 2005). Metacinnabar, a less stable polymorph form of cinnabar was reported to be the main component in slag samples of the Almadén mercury mine in Spain (BERNAUS et al., 2005), which was explained by the high working temperatures of the mineral processing for Hg extraction. These high temperatures enhance the structural conversion of HgS, which, in addition, is stabilised by the presence of impurities, especially zinc, iron and selenium that

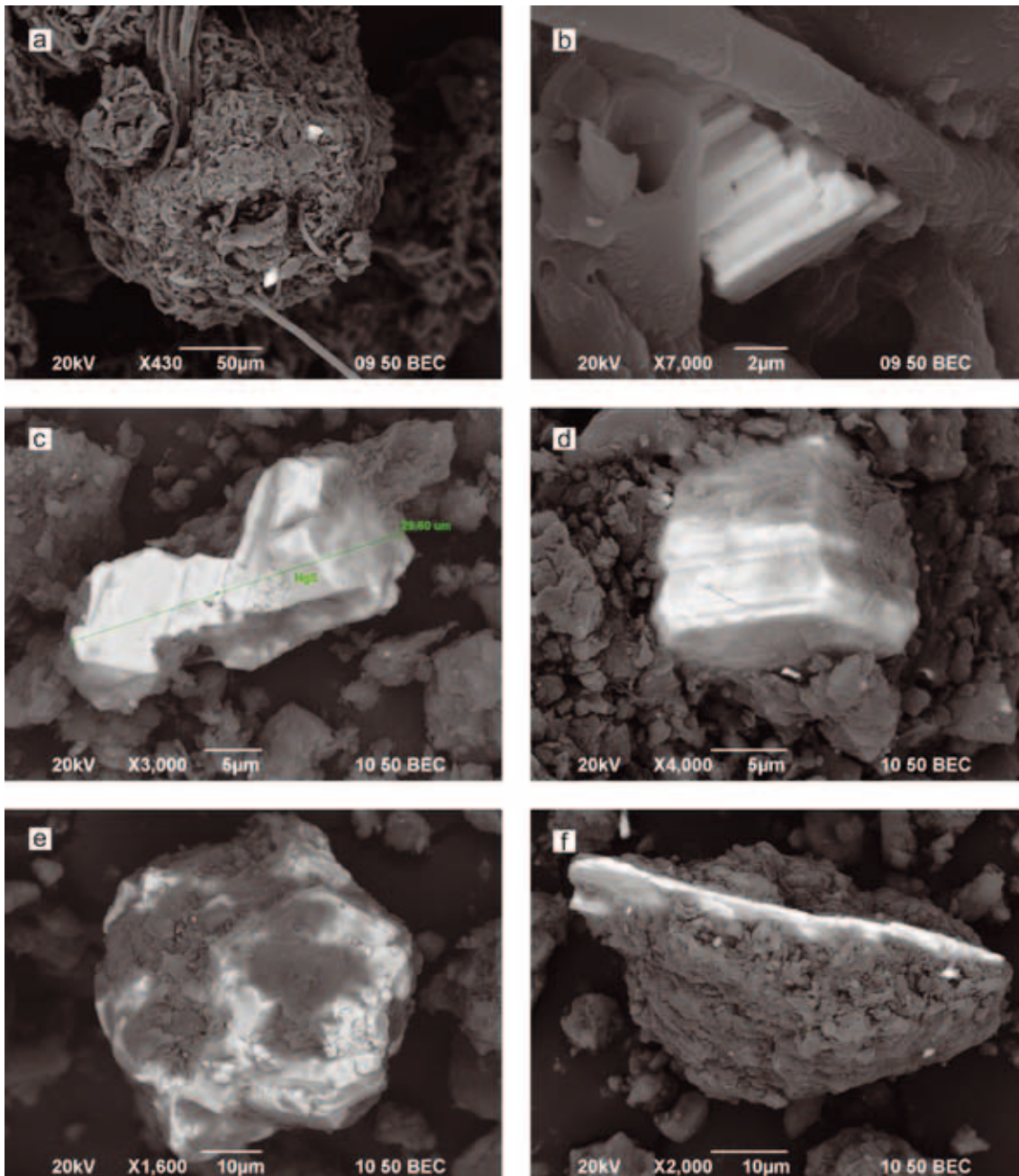


Fig. 7. SEM backscatter images of SOM sample from P-612 (a, b) and soil samples from F-217 (c, d, e, f). (a) HgS grains incorporated in SOM aggregate. (b) HgS grain in SOM sample surrounded with organic material. (c) individual well-shaped HgS grain, separately lying in soil substrate. (d, e) HgS grains with thin clay coatings. (f) Hg-bearing particle incorporated or encircled with clay minerals.

hinders the conversion of metacinnabar to cinnabar by decreasing the inversion temperature and by retarding the kinetics of conversion (BARNETT et al., 1997). Because byproduct Hg compounds are a minor component of the roasting residues, these compounds are often difficult to identify. However, previous studies using edge-extended X-ray absorption fine structure analysis have identified several oxides, chlorides, oxichlorides, and sulphates (KIM et al., 2000) in various calcine samples, and many of these Hg compounds are water-soluble.

Analyses of mercury contaminated environmental media using SEM/EDS or similar methods were applied also at mercury mining area in Almadén. Ore, slag and soil samples collected at

the entrance and exit of the oven and within the mine surroundings (BERNAUS et al., 2005) as well as resuspended airborne particles (PM) extracted from mine waste, retort site soil, and urban car park dust (MORENO et al., 2005) were investigated. The study of BERNAUS et al. (2005) which was supplemented by a synchrotron-based spectroscopic technique, revealed cinnabar as the main mercury compound in ore and soil samples, while metacinnabar was the main component in slag samples. Backscatter SEM analysis of Hg-rich dust samples (MORENO et al., 2005) showed abundant mercury-bearing particles, similar in shape and size to those from our soil samples. Mostly, cinnabar (and possibly metacinnabar) was recognized, but also native Hg and the chlorine phase eglestonite



( $\text{Hg}_6\text{Cl}_3\text{O}(\text{OH})$ ) could be observed. HgS particles were found as monomineralic grains, frequently coated with clay minerals or embedded within clay mineral agglomerations or attached to calcite particles. Soil samples with high Hg content ( $> 5000$  mg/kg) from Almadenejos metallurgical precinct were investigated also with TEM-EDX (HIGUERAS et al., 2003). The study showed that mercury was present in the form of detrital cinnabar particles, adsorbed to the surface of chlorite grains. Scanning electron microscopy-energy-dispersive X-ray spectroscopy and electron probe microanalysis of Hg contaminated soils and mine waste in the Valle del Azogue mining area (an abandoned Sb-Hg mineral deposit) revealed that in contaminated soils and mine wastes, the predominant Hg species was cinnabar, whereas in calcines and tailings the dominant species was metallic Hg (NAVARRO et al., 2006). Cinnabar was found to be associated with Sb and As secondary minerals, while metallic Hg particles were found filling voids or coating silicate crystals. The presence of powder-like cinnabar associated with Fe oxides and hydroxides, resulting from the oxidation of pyrite was explained to be the result of supergene alteration of pyrite. By the use of SEM/EDS it was confirmed that cinnabar was a secondary phase, precipitated after the alteration of a Hg-bearing pyrite (NAVARRO et al., 2006). In the continuation detailed SEM/EDS study of the mine waste samples showed the presence of primary and secondary cinnabar associated with barite and pyrite and several small particles that might be associated to calomel ( $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$ ) and kuzminite ( $\text{Hg}_2(\text{Br},\text{Cl})_2$ ) (NAVARRO et al., 2009).

The use of TEM (transmission electron microscope) and SEM with energy- and wavelength X-ray dispersive spectroscopy (EDS/WDS) in analysis of mercury-contaminated soil from the flood plain of East Fork Poplar Creek in Oak Ridge, Tennessee (BARNETT et al., 1997), revealed the presence of submicron, crystalline mercuric sulphide in the form of metacinnabar. Tremendous quantities of elemental mercury were released to the creek during 1950s and 1960s. In addition to many different sequential extractions procedures, which already suggested that mercury in the flood plain soils had been converted to mercuric sulphide, with this technique the presence of crystalline HgS was unequivocally identified. HgS grains occurred mostly associated to clay grains, but also some isolated HgS grains were identified, which produced much better EDS spectra (BARNETT et al., 1997). Our observations of soil samples from Pšenk and Frbežene trate showed quite similar appearance of HgS particles, although much more isolated and bigger grains were identified in our study and also the signal of grains incorporated in soil aggregates was much better, suggesting the existence of HgS. These differences are due to different origin of mercury in soils; in our case cinnabar particles were introduced to soils, so we can observe many primary particles, weathered and changed through time. Because elemental mercury was most probably also introduced to soils

at the time of roasting, it is possible that similar processes studied in the research of BARNETT et al. (1997) would lead to conversion of metallic Hg in our soils to HgS.

## Conclusions

Regarding our observations of soil samples and comparison to other investigations of mercury-contaminated environmental media using SEM/EDS, the combination of SEM images and EDS spectrums indicates a mercury-sulfur association in majority of particles in the investigated media, which are most probably cinnabar (macroscopic red) or metacinnabar (macroscopic black). A number of very small HgS particles without well-expressed structure incorporated in soil aggregates and covered by thin clay coatings, suggest a possible presence of mercury-sulphur associations other than HgS. However, a detailed SEM/EDS study and others more sophisticated Hg speciation studies are needed to determine the phase chemistry.

## Acknowledgments

The presented geochemical study is funded by Slovenian Research Agency (ARRS) in the frame of the research programme Groundwater and Geochemistry and the research project Environmental geochemistry of metal contaminated sites which are performed on the Geological Survey of Slovenia.

## References

- BARNETT, M. O., HARRIS, L. A., TURNER, R. R., HENSON, T. J., MELTON, R. C. 1997: Formation of mercuric sulphide in soil. *Environ. Sci. Technol.*, 31: 233–239.
- BERNAUS, A., GAONA, X. & VALIENTE, M. 2005: Characterisation of Almaden mercury mine environment by XAS techniques. *J. Environ. Monit.*, 7: 771–777, doi: 10.1039/B502060N.
- ČAR, J. & TERPIN, R. 2005: Stare žgalnice živosrebrove rude v okolici Idrije. *Idrijski razgledi*, 50/1: 80–105.
- 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 16<sup>th</sup> and 17<sup>th</sup> century on the mercury dispersion in surroundings of Idrija. *Geologija*, 49/1: 91–101.
- HIGUERAS, P., OYARZUN, R., BIESTER, H., LILLO, J. & LORENZO, S. 2003: A first insight into mercury distribution and speciation in soils from the Almadén mining district. *Journal of Geochemical Exploration*, 80/1: 95–104.
- KAVČIČ, I. 2008: Živo srebro: zgodovina idrijskega žgalništva. Založba Bogataj, Idrija: 352 p.
- KIM, C. S., BROWN JR., G. E. & RYTUBA, J. J. 2000: Characterization and speciation of mercury-bearing mine wastes using X-ray absorption spectroscopy. *Science of the Total Environment*, 261/1-3: 157–168, doi:10.1016/S0048-9697(00)00640-9.

- MORENO, T., HIGUERAS, P., JONES, T., MCDONALD, I. & GIBBONS, W. 2005: Size fractionation in mercury-bearing airborne particles (HgPM<sub>10</sub>) at Almadén, Spain: Implications for inhalation hazards around old mines. *Atmospheric Environment*, 39: 6409–6419, doi:10.1016/j.atmosenv.2005.07.024.
- NAVARRO, A., BIESTER, H., MENDOZA, J. L. & CARDELLACH, E. 2006: Mercury speciation and mobilization in contaminated soils of the Valle del Azogue Hg mine (SE Spain). *Environmental geology*, 49/8: 1089–1101.
- NAVARRO, A., CARDELLACH, E. & CORBELLA, M. 2009: Mercury mobility in mine waste from Hg-mining areas in Almería, Andalusia (SE Spain). *Journal of Geochemical Exploration*, 101/3: 236–246, doi:10.1016/j.gexplo.2008.08.004.
- 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: 1–203 p.
- TERŠIČ, T. 2010b: Contents and spatial distributions of chemical elements in soil at the ancient roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia) = Vsebnosti in prostorske razporeditve kemijskih prvin na območju nekdanje žgalnice živega srebra Pšenk (Idrijsko, Slovenija). *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.
- VALENTINITSCH, H. 1981: Das landesfürstliche Quecksilberbergwerk Idria 1575–1659. *Historische Landeskommission für Steiermark*, Graz: 439 p.
- VERBIČ, M. 1970a: Fužine ob Kanomlji v Spodnji Idriji. *Idrijski razgledi*, 15/1: 1–10.
- VERBIČ, M. 1970b: O lesu za idrijski rudnik, prvih idrijskih grabljah in klavžah. *Idrijski razgledi*, 15/2: 89–99.
- VERBIČ, M. 1990: Rudnik živega srebra v Idriji in tehnične naprave v njem do konca 16. stoletja. *Idrijski rudnik skozi stoletja, Razstava zgodovinskega arhiva Ljubljana in Mestnega muzeja v Idriji (katalog)*: 17–48.
- VERBIČ, M. 1993: Naselbina do konca 16. stoletja. *Idrijska obzorja, Pet stoletji rudnika in mesta. Mestni muzej Idrija*: 29–40.



# Badenian Pappinidae and Uvigerinidae from the South-western margin of the Pannonian Basin (Eastern Slovenia)

## Badenijske pappinide in uvigerinide z jugozahodnega obrobja Panonskega bazena (vzhodna Slovenija)

Katarina OBLAK BROWN  
e-mail: katarina.oblak.brown@siol.net

Prejeto / Received 15. 12. 2011; Sprejeto / Accepted 10. 3. 2011

*Key words:* Benthic foraminifera, Pappinidae, Uvigerinidae, Biostratigraphy, Badenian, Slovenia

*Ključne besede:* bentoške foraminifere, pappinide, uvigerinide, biostratigrafija, badenij, Slovenija

### Abstract

This study identifies fourteen foraminiferal species of families Pappinidae and Uvigerinidae, found in Badenian sediments of Eastern Slovenia (six sections in the Planina syncline). Two of the species, *Uvigerina bellicostata* and *Angulogerina esuriensis* are identified in Slovenia for the first time. Determined species show characteristic Central Paratethyan biostratigraphic distribution throughout the studied sections, allowing the positioning of a Late Middle Badenian foraminiferal Zone named after the species *Uvigerina cf. pygmea*.

### Izvleček

V študiji je predstavljenih štirinajst foraminifernih vrst iz družin pappinid in uvigerinid, določenih v badenijskih plasteh šestih profilov vzhodne Slovenije (Planinska sinklinala). Dve vrsti, *Uvigerina bellicostata* in *Angulogerina esuriensis*, sta na območju Slovenije določeni in opisani prvič. Predstavljene vrste kažejo značilno biostratigrafsko razporeditev vzdolž preučenih profilov. S prvim pojavom vrste *Uvigerina cf. pygmea* je definirana tudi istoimenska mlajša srednjobadenijska foraminiferna biocona.

### Introduction

The foraminiferal families Pappinidae Haunold 1990 and Uvigerinidae Haeckel 1894 include morphological and ecological similar foraminifers. The growing strategy of both taxonomic groups is based on triserially arranged chambers, which can be present throughout the test (Uvigerinidae) or at least in the earlier stage (Pappinidae). Both families were grouped into a single family Uvigerinidae for almost a century. In 1990, the family Pappinidae was separated from the previous common family. Family Pappinidae is defined by an initial triserial growth followed by a final biserial stage.

In the Central Paratethys, the families Pappinidae and Uvigerinidae represent biostratigraphic index groups, used also for the setting of Miocene biozones (CICHA et al., 1998; RILJAVEC, 1978: Lower Badenian *U. macrocarinata* and *U. grilli* Zones, Middle Badenian *U. venusta* and *U. cf. pygmea* Zones, and the Upper Badenian *U. liesingensis* Zone (= *Pappina neudorfensis* Zone). Similar distribution patterns to those in the Central Paratethys were observed in the sections of this study. This study was carried out in the Planina syncline

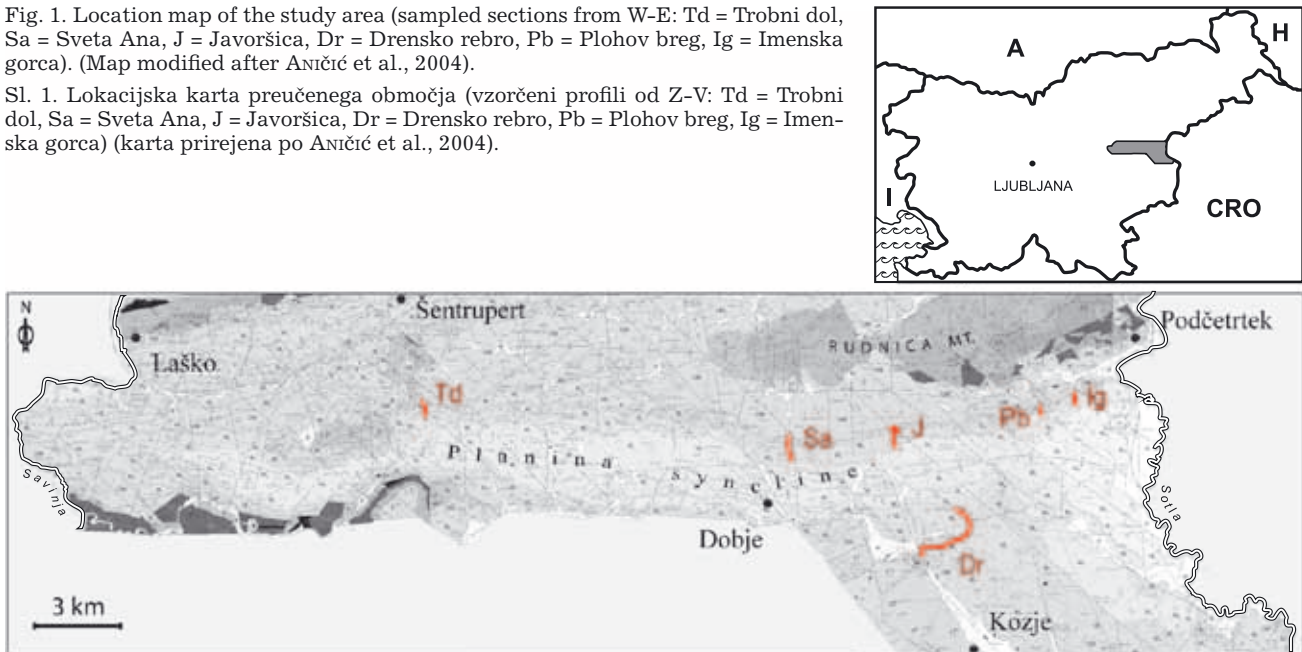
in Eastern Slovenia (ANIČIĆ & JURIŠA, 1984, 1985; BUSER, 1977, 1979) where six sections were examined for foraminiferal content: Trobni dol, Sveta Ana, Javoršica, Drensko rebro, Plohov breg in Imenska gorca (Fig. 1). The Middle Miocene strata of the investigated syncline start with Badenian conglomerate, overlain by calcarenite, marly calcarenite and uppermost by marl. The following Lower Sarmatian is represented by marl. The Badenian/Sarmatian boundary has been found to be continuous in previous research (OBLAK, 2007b, 2009); these results have not yet been included in the publication of geology of Slovenia (HORVAT, 2009). One hundred and fifty-nine samples were taken from marly calcarenite and marl; ranging from the Lower Badenian Lower and Upper Lageneridae Zones, Middle Badenian *Pseudotriplasia robusta* and *Uvigerina cf. pygmea* Zones, Upper Badenian *Bolivina dilatata* Zone up to the Lower Sarmatian *Anomalinoidea dividens* Zone (Fig. 2).

### Results

In all 159 studied Middle Miocene samples taken from six sections the following 14 species

Fig. 1. Location map of the study area (sampled sections from W-E: Td = Trobni dol, Sa = Sveta Ana, J = Javoršica, Dr = Drensko rebro, Pb = Plohov breg, Ig = Imenska gorca). (Map modified after ANIČIĆ et al., 2004).

Sl. 1. Lokacijska karta preučenege območja (vzorčeni profili od Z-V: Td = Trobni dol, Sa = Sveta Ana, J = Javoršica, Dr = Drensko rebro, Pb = Plohov breg, Ig = Imenska gorca) (karta prirejena po ANIČIĆ et al., 2004).



from families Pappinidae and Uvigerinidae have been determined (OBLAK, 2006).

### Systematic

Classis Foraminifera Lee 1990  
 Ordo Buliminida Fursenko 1958  
 Superfamilia Buliminacea Jones 1875  
 Familia Pappinidae Haunold 1990  
 Genus Pappina Haunold 1990  
***Pappina neudorfensis*** (Toula 1900)  
 (Pl. 1, Figs. 1a-b)

- 1900 *Uvigerina neudorfensis* n.sp. TOULA, 12, text - Fig. 3  
 1914 *Uvigerina liesingensis* - TOULA, 100(3), 10 (ELLIS & MESSINA, 1940)  
 1953 *Uvigerina venusta liesingensis* Toula - PAPP & TURNOVSKY, 126, Pl. 5, Abb. B, Figs. 11-12.  
 1963 *Uvigerina venusta liesingensis* Toula - PAPP, 250, Taf. 4, Fig. 21-25.  
 1978 *Uvigerina liesingensis* Toula - PAPP & SCHMID, 281, Taf. 9, Fig. 14-17  
 1978 *Uvigerina venusta liesingensis* Franzenau - RILJAVEC, 217, Tab. 2, Fig. 11  
 1986 *Uvigerina venusta liesingensis* Toula - CICHÁ et al., 170, Pl. 18, Figs. 4, 6, 8  
 1998 *Pappina neudorfensis* (Toula) - CICHÁ et al., 114, Pl. 49, Fig. 7

**Description:** Elongated test, initially triserial, becoming biserial in later stages. The initial biserial section consists of up to 5 chamber pairs. Sutures are depressed. Test margin is dentate. Surface is ornamented by numerous narrow but obviously elevated parallel costae which do not cross sutures. Perforation is coarse. Oval aperture is at the end of a short wide neck, it is provided with a tooth.

**Age:** Late Middle Badenian and Upper Badenian (18 samples: Td2, Td5-Td7, Sa9-Sa11, J30, J32, J33, Pb1, Pb47, Dr8, Dr9, Dr16-Dr19).

**Occurrence:** In the Central Paratethys, the species appears in the Upper Badenian (CICHÁ et al., 1998), although some authors set its first appearance in the Middle Badenian (PAPP & TURNOVSKY, 1953; PAPP & SCHMID, 1978; CICHÁ et al., 1986). In Croatia, (BAJRAKTAREVIĆ, 1979; PIKLIJA et al., 1984) and in Poland (SZCZĘCHURA, 2000), it has been identified in the Upper Badenian. In Slovenian, the species has previously been described and illustrated from the Middle and Upper Badenian (RILJAVEC, 1978).

### ***Pappina parkeri*** (Karrer 1877) (Pl. 1, Figs. 2a-b)

- 1877 *Uvigerina parkeri* n.sp. KARRER, 385, Pl. 16b, Fig. 50.  
 1963 *Uvigerina bononiensis compressa* (Cushman) - PAPP, 252, Taf. 5, Fig. 11-14.  
 1998 *Pappina parkeri* (Karrer) - CICHÁ et al., 115, Pl. 49, Figs. 1-2, 8-9.

**Description:** Elongated somewhat flattened test consists of early triserial and later biserial stage. Biserial stage is approximately 2/3 of test length, consisting of up to seven chambers. Each new chamber is formed at the same level of the previous chamber but as it develops over the top previous chamber, resulting in the characteristic C shape of the chambers. Test is widest in the second third of its length. Surface ornamentation is by fine but distinct longitudinal costae which brake at sutures. Sutures of the final chamber extend over a short neck developed at the top of the test. Round aperture is at the end of the neck and provided with a toothplate.

**Age:** Lower Badenian and Early Middle Badenian (51 samples: Sa3, J2, J3, J5, J7-J12, J14, J18, J22, J23, J28, Pb6, Pb8, Pb50/2, Pb51/1, Pb12-Pb14, Pb17- Pb19, Pb54, Ig1-Ig13, Ig15, Ig16, Dr2, Dr8, Dr9, Dr16-Dr18).



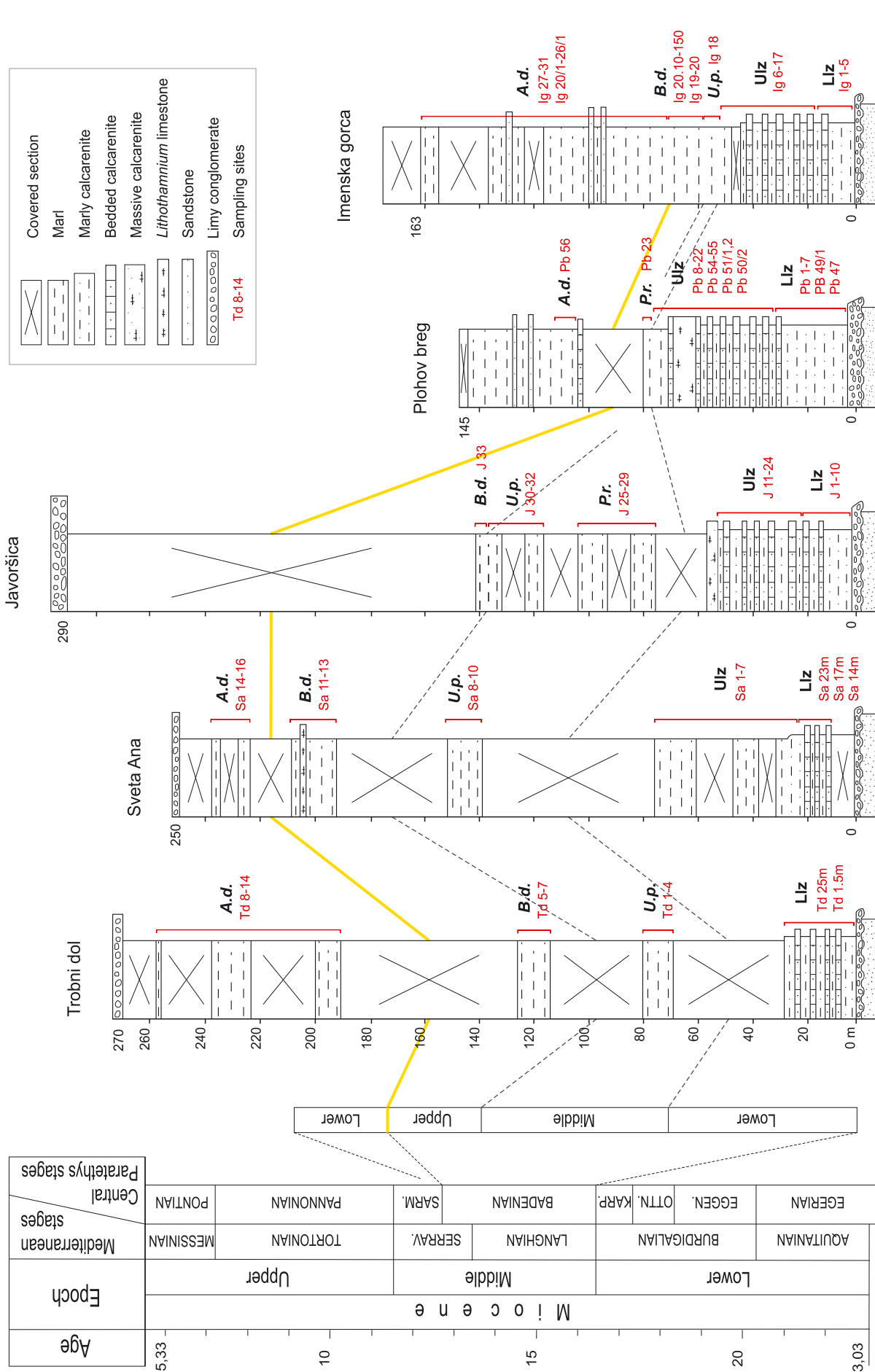


Fig. 2. Stratigraphic columns of studied sections from the northern flank of the Planina syncline with marked sampling sites; Eggen.: Eggenburgian, Ottn.: Otnangian, Karp.: Karpatian, Sarm.: Sarmatian, Serrav.: Serravallian. (Time scale modified after LOURENS et al., 2004; PILLER et al., 2004).

Sl. 2. Stratigrafski stolpci preučeni proflov severnega krila Planinske sinkline z označenimi vzorčnimi mesti; Eggen.: eggenburgij, Ottn.: otnangij, Karp.: karpatij, Sarm.: sarmatij, Serrav.: serravali (časovna razpredelnica prirejena po LOURENS et al., 2004; PILLER et al., 2004).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species occurs through the whole Badenian (CICHA et al., 1998). In Slovenia, the species was reported only as *Uvigerina bononiensis compressa* from the Lower and Middle Badenian (RĹJAVEC, 1984; DOZET et al., 1998).

Familia Uvigerinidae Haeckel 1894  
Subfamilia Uvigerininae Haeckel 1894  
Genus *Uvigerina* d'Orbigny 1826

Description of the genus: Elongated test is built of a triserial arrangement of chambers. Surface is ornamented predominantly with vertical costae or thinner striae, rarely it is smooth or spinate. Sutures are oblique and depressed. At the terminal end of the test a more or less distinct neck is developed, giving the test an amphora like appearance. At the top of the neck, is situated a round aperture, which has a toothplate.

Ecology: Genus *Uvigerina* is predominantly infaunal and partially epifaunal. It is characteristic for cold marine environment of depths from 100 to more than 4500 m; for shelf and bathyal zone (MURRAY, 1991). It is well represented in waters of deep neritic and upper bathyal zone (WENGER, 1987), and rare in waters shallower than 100 m (RÖGL & SPEZZAFERRI, 2003). It occurs in suboxic sediments with high content of organic material (SPEZZAFERRI & ĆORIĆ, 2001).

***Uvigerina aculeata* d'Orbigny 1846**

- 1846 *Uvigerina aculeata* n.sp. D'ORBIGNY, 191, Tab. XI, Figs. 27-28.  
1978 *Uvigerina aculeata aculeata* d'Orbigny - RIJAVEC, 218, Tab. 2, Fig. 13.  
1985 *Uvigerina grilli* SCHMID - PAPP & SCHMID, 74, Taf. 65, Fig. 6-10.  
1986 *Uvigerina aculeata aculeata* d'Orbigny - CICHA et al., 159, Pl. 14, Figs. 1, 4.  
1998 *Uvigerina aculeata* d'Orbigny - CICHA et al., 133, Pl. 50, Figs. 3-4.

Description: Outline of the test is lobate due to subspherical chambers. Surface is ornamented by elongated spines; in the initial part of the test spines may join into shorter costae. Neck is well developed.

Age: Lower to Upper Badenian (19 samples: Sa1-Sa5, J25, J27, Pb54, Pb19-Pb23, Ig20, Dr1, Dr5, Dr12, Dr13, Dr15).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species first appears in the Lower Badenian and continues to the early Upper Badenian; being most common in Middle Badenian (CICHA et al., 1998). In Slovenia, the species was determined in Lower and Middle Badenian (RĹJAVEC, 1978).

***Uvigerina acuminata* Hosiuss 1893**  
(Pl. 1, Figs. 3a-b)

- 1893 *Uvigerina aculeata* n.sp. HOSIUS, 50, 108, Taf. 2, Fig. 9 (ELLIS & MESSINA, 1940).  
1895 *Uvigerina acuminata* nom.nov. HOSIUS - HOSIUS, 10, 167 (ELLIS & MESSINA, 1940).  
1963 *Uvigerina acuminata* HOSIUS - PAPP, 250, Taf. 4, Fig. 11-15.  
1977 *Uvigerina acuminata* HOSIUS - VON DANIELS & SPIEGLER, 26, Taf. 3, Fig. 9-12.  
1986 *Uvigerina acuminata* HOSIUS - CICHA et al., 144, Pl. 7, Figs. 1-10.  
1986 *Uvigerina acuminata* HOSIUS - VON DANIELS, 92, Pl. 5, Figs. 1-8.

Description: Test is pointed in its initial part. It is widest at the middle. Surface is ornamented with costae which do not extend over sutures. Costae are broader, shaped into wide spines in their initial part, becoming thinner toward later part. Costae are absent from the upper half of the test. Neck is short and depressed at the base.

Age: Lower Badenian (13 samples: Sa1, J2, J7, J15, Pb9, Pb20/2, Pb13, Pb15, Pb17, Pb18, Ig2-Ig4, Ig6).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species ranges from Ottnangian to Middle Badenian; it is most common in Karpatian and Lower Badenian (CICHA et al., 1998). In Austria, the species is reported from Ottnangian and Karpatian (ROETZEL et al., 2006). In Slovenia, the species has been identified in Lower Badenian and Middle Badenian (RĹJAVEC, 1976).

***Uvigerina bellicostata* Łuczowska 1955**  
(Pl. 1, Figs. 4a-b)

- 1955 *Uvigerina bellicostata* n.sp. ŁUCZKOWSKA, 118, Pl. 8, Figs. 10-13 (CICHA et al., 1998).  
1978 *Uvigerina costatoides* n.sp. PAPP & SCHMID, 283, Taf. 11, Fig. 5-8.  
1986 *Uvigerina bellicostata* Łuczowska - CICHA et al., 152, Pl. 11, Figs. 1-3, Pl. 12, Figs. 1, 5-6.  
1998 *Uvigerina bellicostata* Łuczowska - CICHA et al., 133, Pl. 51, Figs. 9-10.

Description: Test is widest in the middle. Surface is ornamented with wide and flattened flaring costae which generally do not extend over sutures. Neck is depressed at the base. Aperture is bordered with a well developed lip.

Age: Upper Badenian (sample Ig20).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species is known from Upper Badenian (CICHA et al., 1998). It is more common in Eastern part of the Central Paratethys, although it appears also in the Western part, e.g. Austria (PAPP & SCHMID, 1978; *U. costatoides*) and Croatia (PEZELJ, 2005;



*U. costatoides*). In Slovenia, the species has yet to be determined.

***Uvigerina brunnensis* Karrer 1877**  
(Pl. 1, Figs. 5a-b)

- 1877 *Uvigerina brunnensis* n.sp. KARRER, 385, Taf. 16b, Fig. 49.  
 1953 *Uvigerina semiornata brunnensis* Karrer - PAPP & TURNOVSKY, 130, Taf. V, Abb. C, Fig. 8.  
 1977 *Uvigerina semiornata brunnensis* Karrer - VON DANIELS & SPIEGLER, 21, Taf. 2, Fig. 1-2.  
 1978 *Uvigerina brunnensis* Karrer - PAPP & SCHMID, 282, Taf. 10, Fig. 8-11.  
 1979 *Uvigerina brunnensis* Karrer - POPESCU, 35, Pl. XXI, Figs. 8-9.  
 1984 *Uvigerina brunnensis* Karrer - RIJAVEC, 84, Tab. 1, Fig. 6.  
 1986 *Uvigerina semiornata brunnensis* Karrer - CICHA et al., 147, Pl. 9, Figs. 1-2, 4, 6.  
 1986 *Uvigerina semiornata brunnensis* Karrer - VON DANIELS, 102, Pl. 10, Figs. 1-5.  
 1998 *Uvigerina brunnensis* Karrer - CICHA et al., 133, Pl. 53, Figs. 5-6.

Description: Test is characteristically elongated and narrow; with more or less parallel sides. Arrangement of chambers tends to change from triserial to biserial in later stage of the test. Chambers are numerous and subspherical. Initial part of the test is narrow and rounded. Surface is ornamented with weak costae which do not extend over the final chambers. Neck is well developed.

Age: Late Middle Badenian and Upper Badenian (8 samples: Pb1-Pb5, Pb47, Ig19, Dr17).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species is known from Middle and Upper Badenian (CICHA et al., 1998). In Austria, it is reported from Middle Badenian (PAPP & SCHMID, 1978) and in Romania from Upper Badenian (POPESCU, 1979). In Slovenia, the species has previously been described and illustrated (RIJAVEC, 1984) or determined only (RIJAVEC, 1978) from the Middle Badenian.

***Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky 1953**  
(Pl. 1, Figs. 6a-b)

- 1953 *Uvigerina macrocarinata* n.sp. PAPP & TURNOVSKY, 123, Taf. V, Abb. B, Fig. 1-3.  
 1963 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - PAPP, 249, Taf. 4, Fig. 6-10.  
 1977 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - VON DANIELS & SPIEGLER, 26, Taf. 4, Fig. 1-4.  
 1978 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - PAPP & SCHMID, 280, Taf. 9, Fig. 1-4, Taf. 11, Fig. 2-4.  
 1978 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - RIJAVEC, 216, Tab. 2, Fig. 7.  
 1986 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - CICHA et al., 154, Pl. 11, Figs. 4-7.

- 1986 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - VON DANIELS, 94, Pl. 6, Figs. 1-6.  
 1998 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - CICHA et al., 134, Pl. 51, Figs. 3-4.  
 2003 *Uvigerina macrocarinata* Papp & Turnovsky - RÖGL & SPEZZAFERRI, Pl. 5, Figs. 22-23.

Description: Test is stout and rounded in its initial part. Main stage of the test is ornamented with distinct costae extending over sutures. Initial part of costae is formed into a blunt spine. Costae end at the base of the last chamber; consequently the surface of the last chamber is smooth. Neck is short and depressed at the base.

Age: Lower Badenian (21 samples: Sa17m, Sa23m, Sa4, Sa5, Sa7, Pb1-Pb5, Pb47, Pb49/1, Pb54, Pb19, Pb20, Ig3, Ig10, Ig11, Ig14, Dr1, Dr9).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species was reported from Lower Badenian (CICHA et al., 1998), according to PAPP & SCHMID (1978) in Early Lower Badenian only. In Austria (RÖGL & SPEZZAFERRI, 2003) and in Romania (PAPP & SCHMID, 1978), it is reported from Early Lower Badenian. In Slovenia, the species was previously identified in Lower Badenian (RIJAVEC, 1978).

***Uvigerina cf. pygmea* d'Orbigny 1826**  
(Pl. 2, Figs. 1a-b)

- 1826 *Uvigerina pygmea* n.sp. D'ORBIGNY, 269, Pl. 12, Figs. 8-9.  
 1953 *Uvigerina cf. pygmaea* d'Orbigny - PAPP & TURNOVSKY, 127, Taf. V, Abb. B, Fig. 9-10.  
 1978 *Uvigerina cf. pygmaea* d'Orbigny - PAPP & SCHMID, 281, Taf. 9, Fig. 13.  
 1978 *Uvigerina cf. pygmaea* d'Orbigny - RIJAVEC, 218, Tab. 2, Fig. 12.  
 1986 *Uvigerina cf. U. pygmaea* d'Orbigny - CICHA et al., 166, Pl. 16, Fig. 5.  
 1998 *Uvigerina cf. pygmea* d'Orbigny - CICHA et al., 134, Pl. 49, Fig. 10.

Description: Initial part of the test is pointed. Test is lobate in outline and it is widest in its middle part. Surface of the initial stage is covered with fine costae while the upper third of the test is ornamented with tinny pustules. Neck is long and slender.

Age: Late Middle Badenian and Upper Badenian (11 samples: Td1-Td4, J29, J33, Ig18-Ig20, Dr17, Dr19).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species appears rarely in Middle and Upper Badenian (CICHA et al., 1998), according to PAPP & SCHMID (1978) in Late Middle Badenian only. It is most frequent in Middle Badenian (CICHA et al., 1986). In Slovenia, the species has previously been described and illustrated (RIJAVEC, 1984) or identified only (RIJAVEC, 1976, 1978) from the Middle Badenian.

***Uvigerina pygmoides*** Papp & Turnovsky 1953  
(Pl. 2, Figs. 2a-b)

- 1953 *Uvigerina pygmoides* n.sp. PAPP & TURNOVSKY, 131, Taf. V, Abb. C, Fig. 4.  
 1978 *Uvigerina pygmoides* Papp & Turnovsky - PAPP & SCHMID, 282, Taf. 10, Fig. 1-3.  
 1978 *Uvigerina pygmoides* Papp & Turnovsky - RIJAVEC, 219, Tab. 2, Fig. 16.  
 1984 *Uvigerina pygmoides* Papp & Turnovsky - BARBIERI & D'ONOFRIO, 446, Pl. 2, Fig. 18.  
 1985 *Uvigerina pygmoides* Papp & Turnovsky - PAPP & SCHMID, 74, Taf. 65, Fig. 1-5.  
 1986 *Uvigerina pygmoides* Papp & Turnovsky - CICHA et al., 172, Pl. 19, Figs. 1-2, 4-5.  
 1998 *Uvigerina pygmoides* Papp & Turnovsky - CICHA et al., 134, Pl. 53, Figs. 10-12.  
 2003 *Uvigerina ? pygmoides* Papp & Turnovsky - RÖGL & SPEZZAFERRI, 51, Pl. 5, Fig. 28, Pl. 9, Fig. 11.

Description: Test is widest in the lowest third, and pointed towards the base. There are frequent costae developed on the surface, which continue up to the neck. Neck is very short and wide, and never depressed at its base.

Age: Lower Badenian (15 samples: Td1.5m, J3, Pb1, Pb6, Pb10, Pb54, Pb18, Pb20, Ig1, Ig2, Ig6, Ig12, Ig15, Dr12, Dr13).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species appears from Karpatian to Middle Badenian (CICHA et al., 1998), according to PAPP & SCHMID (1978) in Late Early Badenian and Early Middle Badenian only. It is rare in Karpatian (CICHA et al., 1986), and frequent in Late Lower Badenian (PAPP & TURNOVSKY, 1953). In Austria, it is reported from Early Lower Badenian (RÖGL & SPEZZAFERRI, 2003) and in Romania, from Late Lower Badenian (FILIPESCU & GÎRBACEA, 1997). In Slovenia, the species was reported from Lower and Middle Badenian (RIJAVEC, 1978, 1984).

***Uvigerina semiornata*** d'Orbigny 1846  
(Pl. 2, Figs. 3a-b)

- 1846 *Uvigerina semiornata* n.sp. D'ORBIGNY, 189-190, Tab. XI, Figs. 23-24.  
 1953 *Uvigerina semiornata semiornata* d'Orbigny - PAPP & TURNOVSKY, 128, Taf. V, Abb. C, Fig. 1, 3, 7.  
 1977 *Uvigerina semiornata semiornata* d'Orbigny - VON DANIELS & SPIEGLER, 20, Taf. 1, Fig. 1-10.  
 1978 *Uvigerina semiornata* d'Orbigny - PAPP & SCHMID, 281, Taf. 10, Fig. 4-7.  
 1978 *Uvigerina semiornata semiornata* d'Orbigny - RIJAVEC, 218, Tab. 2, Fig. 14.  
 1985 *Uvigerina semiornata* d'Orbigny - PAPP & SCHMID, 74, Taf. 64, Fig. 1-10.  
 1986 *Uvigerina semiornata semiornata* d'Orbigny - CICHA et al., 146, Pl. 8, Figs. 1-3, 5-7.

1986 *Uvigerina semiornata semiornata* d'Orbigny - VON DANIELS, 96, Pl. 7, Figs. 1-5, Pl. 8, Figs. 1-6.

1987 *Uvigerina semiornata* d'Orbigny - WENGER, 280, Taf. 9, Fig. 9-10.

1998 *Uvigerina semiornata* d'Orbigny - CICHA et al., 135, Pl. 53, Figs. 1-3.

Description: Initial part of the test is rounded. Test is widest in its upper half. Surface is covered with weak costae that might continue over sutures. The uppermost part of the last chamber or last few chambers is smooth. Neck is depressed at the base.

Age: Late Lower Badenian to Upper Badenian (29 samples: Td1, Td2, Td4, Sa8, Sa13, J27-J32, Pb3-Pb5, Pb49/1, Pb22, Pb23, Ig18, Ig19, Dr3-Dr6, Dr9, Dr10, Dr15, Dr17- Dr19).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species is believed to occur from the Karpatian to earliest Upper Badenian; it is most common in Badenian (CICHA et al., 1998, PAPP & SCHMID, 1985: Late Lower Badenian). Contrary, in Bavaria it is reported already from Upper Egerian and Lower Ottnangian (WENGER, 1987). In Slovenia, the species is known from Lower and Middle Badenian (RIJAVEC, 1976, 1978, 1984).

***Uvigerina venusta*** Franzenau 1894  
(Pl. 2, Fig. 4)

- 1894 *Uvigerina venusta* n.sp. FRANZENAU, 6, 284, pl. 6, fig. 60 (ELLIS & MESSINA, 1940)  
 1953 *Uvigerina venusta venusta* Franzenau - PAPP & TURNOVSKY, 125, Taf. V, Abb. B, Fig. 8, 13.  
 1963 *Uvigerina venusta venusta* Franzenau - PAPP, 250, Taf. 4, Fig. 16-20.  
 1978 *Uvigerina venusta venusta* Franzenau - PAPP & SCHMID, 280, Taf. 9, Fig. 9-12.  
 1978 *Uvigerina venusta venusta* Franzenau - RIJAVEC, 217, Tab. 2, Fig. 9.  
 1986 *Uvigerina venusta venusta* Franzenau - CICHACHA et al., 168, Pl. 18, Figs. 1-3, 5, 7.  
 1993 *Uvigerina venusta* Franzenau - HAUNOLD, 180-191, Pl. 1, Figs. 7-8.  
 1998 *Uvigerina venusta* Franzenau - CICHA et al., 135, Pl. 52, Figs. 7-9.

Description: Base of test tapers to a point. The uppermost part of the test may show a biserial growth pattern; and consequently flattening of the test is seen in this stage of the test development. Surface is ornamented with thick parallel costae which end at sutures. Neck is short.

Age: Late Middle Badenian and Upper Badenian (25 samples: Td1, Td2, Td4-Td7, Sa8, Sa10-Sa12, J29-J33, Ig18, Ig19, Dr8- Dr11, Dr16-Dr19).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species occurs in Middle and Upper Badenian (CICHA et al., 1998, PAPP & SCHMID, 1978, PAPP &



TURNOVSKY, 1953). In Croatia, it is reported from the Upper Badenian (BAJRAKTAREVIĆ, 1979). In Slovenia, the species was reported from Middle Badenian (RĬJAVEC, 1976, 1978, 1984) and Upper Badenian (RĬJAVEC, 1978; RĬJAVEC & DOZET, 1996).

#### Subfamilia Angulogerinae Galloway 1933

Genus *Angulogerina* Cushman 1927

#### ***Angulogerina angulosa*** (Williamson 1858)

(Pl. 2, Figs. 5)

1858 *Uvigerina angulosa* n.sp. WILLIAMSON, 67, Pl. V, Fig. 140.

2007a *Angulogerina angulosa* (Williamson) - OBLAK, 296, Pl. 1, Figs. 1a-b.

Age: Lower to Upper Badenian (78 samples: Td25m, Sa1, Sa2-Sa8, Sa10, Sa13, J2-J12, J14, J19-J24, J27-J29, J31-J33, Pb1, Pb47, Pb6, Pb8-Pb10, Pb50/2, Pb51/1, Pb13-Pb20, Pb54, Pb23, Ig1-Ig7, Ig 9-Ig11, Ig14, Ig16, Ig19, Dr1-Dr3, Dr8-Dr10, Dr12, Dr15, Dr17, Dr18).

#### ***Angulogerina esuriensis*** Hornibrook 1961

(Pl. 2, Figs. 6a-b)

1961 *Angulogerina esuriensis* n.sp. HORNIBROOK, 69, Pl. 9, Figs. 154-155 (CICHA et al., 1998).

1998 *Angulogerina esuriensis* Hornibrook - CICHA et al., 80, Pl. 54, Figs. 1-2.

Description: Small narrow test is triserial at the beginning, tending toward the uniserial arrangement later. There are one to three loosely arranged chambers in the uniserial stage. Test is triangular in cross section. All three angles of the test are carinate and well developed. Ornamentation is reduced in comparison with the familiar species *A. angulosa*; costae are scarcer and limited mostly to the lower part of the test while the uppermost chambers are smooth. The aperture is at the top of a short neck and it is bordered by a lip. It carries a toothplate.

Age: Upper Middle Badenian (3 samples: Sa8-Sa10).

Occurrence: In the Central Paratethys, the species is reported from Lower and Middle Badenian (CICHA et al., 1998). In Slovenia, the species has yet to be determined.

Genus *Trifarina* Cushman 1923

#### ***Trifarina bradyi*** Cushman 1923

(Pl. 2, Fig.7)

1923 *Trifarina bradyi* n.sp. CUSHMAN, 104(4), 99, Pl. 22, Figs. 3a-9b (ELLIS & MESSINA, 1940).

2007a *Trifarina bradyi* Cushman - OBLAK, 298, Pl. 1, Figs. 2a-b.

Age: Lower Badenian to Late Middle Badenian (68 samples: Sa5, Sa6, J1-J3, J5-J16, J18-J24, J26,

J28, J32, Pb6, Pb8-Pb19, Pb50/2, Pb51/1, Pb51/2, Pb54, Pb55, Pb21-Pb23, Ig1-Ig14, Ig16, Ig17, Dr2, Dr3, Dr10, Dr13).

### Biostratigraphy

Biostratigraphical ranges of determined species and their presence in individual sections are represented in Fig. 3 and Fig. 4.

In the Early Lower Badenian sediments, the following species appear for the first time: *U. macrocarinata* Papp & Turnovsky, *U. pygmoides* Papp & Turnovsky, *U. acuminata* Hosius, which go extinct at the end of the Lower Badenian, as well as *P. parkeri* (Karrer) and *T. bradyi* Cushman, which continue to the Middle Badenian.

In the Middle Badenian the species *P. neudorfensis* (Toula), *U. cf. pygmea* d'Orbigny, *U. venusta* Franzénau and *U. brunnensis* Karrer first appear. Their first occurrence defines the beginning of the foraminiferal *U. cf. pygmea* Zone, which delimits the Early and Late Middle Badenian (OBLAK, 2006). In the Middle Badenian sediments the species *A. esuriensis* Hornibrook was also identified, although its appearance is not stratigraphically significant.

In the Upper Badenian, there is the first occurrence of *U. bellicostata* Łuczowska. Its last occurrence along with all other surviving pappinids and uvigerinids occurs at the end of the Badenian.

Species *U. aculeata* d'Orbigny, *U. semiornata* d'Orbigny and *A. angulosa* (Williamson) range throughout the whole Badenian and are therefore of no biostratigraphic value.

### Conclusions

The species *U. bellicostata* and *A. esuriensis* have been found for the first time in Slovenia. *U. bellicostata* represents especially interesting finding. The species is rarely documented in the Western part, but is more common in the Eastern part of the Central Paratethys. In this study, it is represented by numerous well developed tests (Imenska gorca section).

Distribution of studied foraminifera shows a characteristic stratigraphical pattern throughout Badenian sediments. Most of ranges found in this study fit to previously known and current most referenced stratigraphic ranges for the wider Central Paratethys area (CICHA et al., 1998). The exception is a species *P. neudorfensis*, which is not limited to the Upper Badenian only as suggested in the cited literature, but it appears for the first time already in the Late Middle Badenian. Its presence in Middle Badenian strata has already been reported in previous literature (PAPP & TURNOVSKY, 1953; PAPP & SCHMID, 1978; CICHA et al., 1986), which supports the statement about wider stratigraphic range of the species than is currently accepted.

Surprisingly, not many of the species determined in this study are reported from the same time zones in the adjacent Mediterranean region,





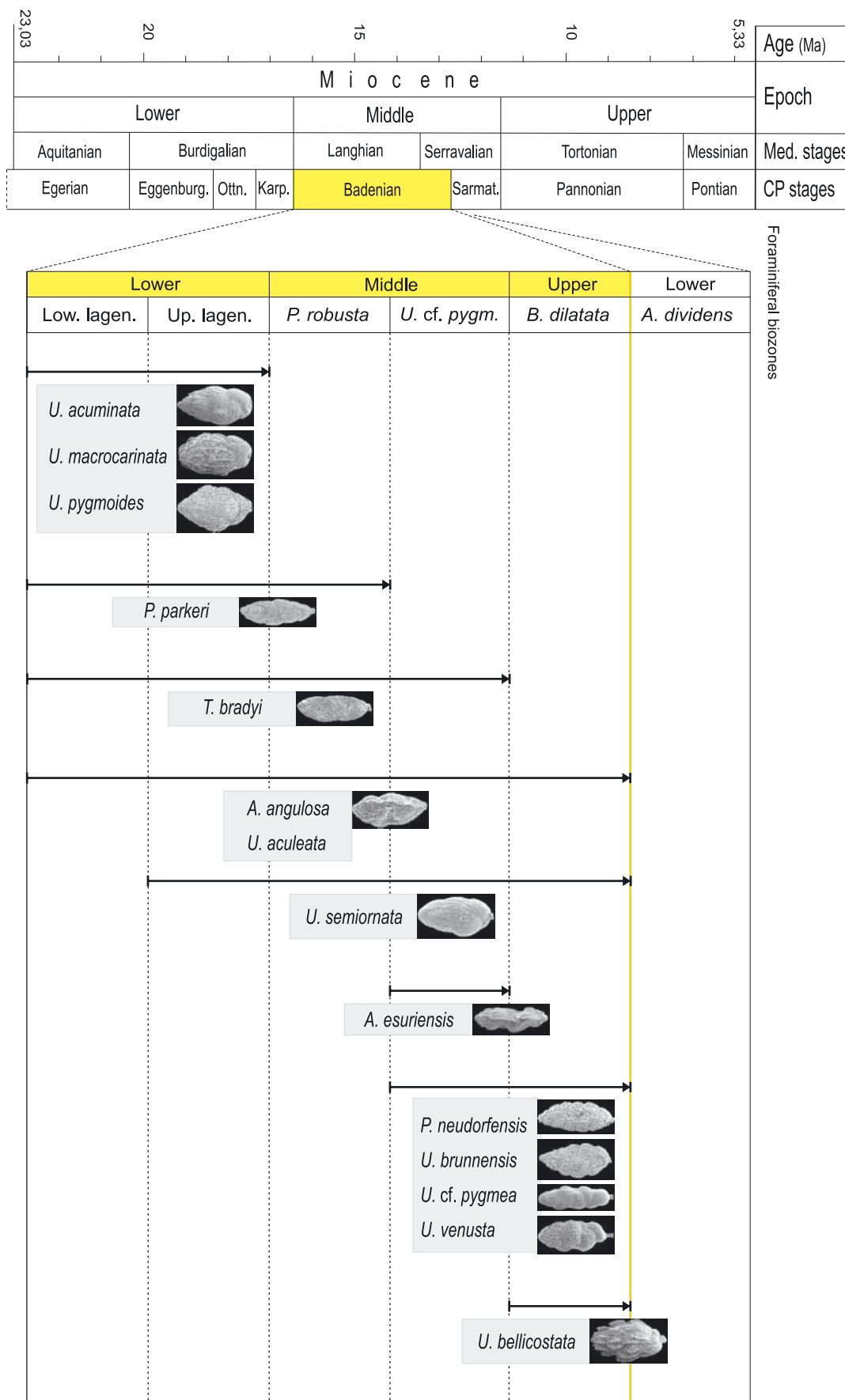


Fig. 4. Stratigraphic ranges of species of genera *Uvigerina*, *Pappina*, *Trifarina* and *Angulogerina* in studied area. (Abbreviations explained at Fig. 2).

Sl. 4. Stratigrafski razponi vrst iz rodov *Uvigerina*, *Pappina*, *Trifarina* in *Angulogerina* na preučnem območju (kratice razložene pri sl. 2).

V namen te raziskave je bilo vzorčenih šest srednjemiocenskih profilov Planinske sinklinale v vzhodni Sloveniji (sl. 1). Iz lapornih plasti je bilo pobranih 159 vzorcev, in sicer v stratigrafskem razponu od spodnjebadenijskih do spodnjearmatijskih plasti (sl. 2). Določenih je štirinajst vrst iz družin pappinid in uvigerinid (glej Results: Systematic). Vrsti *Uvigerina bellicostata* in *Angulogerina esuriensis* doslej v Sloveniji še nista bili opisani. Zanimiva je najdba zlasti vrste *Uvigerina bellicostata*, ki velja za značilno predstavnico vzhodnega dela Centralne Paratetide.

Razporeditev določenih foraminifer vzdolž badenijskih plati kaže značilen biostratigrafski vzorec (sl. 3, 4). Večina razponov sovпада z že poznanimi in trenutno najbolj referenčnimi razponi za območje Centralne Paratetide (CICHA et al., 1998). Izjema je vrsta *Pappina neudorfensis*, ki se prvič pojavi že v mlajšem srednjem badeniju in ne šele v zgornjem badeniju, kot navaja omenjena literatura, kar nakazuje na širši razpon vrste.

V ekološkem pogledu imajo pappinide in uvigerinide podobne okoljske preference. Njihov višek pojavljanja skozi celoten badenij in popolno izumrtje konec le-tega kaže na spremembo ekoloških parametrov v srednjem miocenu. Omenjene foraminifere kot značilne prebivalke evhalinega globljevodnega okolja namreč niso bile sposobne tolerirati oslajevanja in plitvenja morja, ki se je začelo s pričetkom sarmatija.

#### Acknowledgements

I owe my thanks to reviewers, Prof. Dr. Zlatan Bajraktarević and Dr. Katica Drobne, for constructive comments of my manuscript, and to Dr. Kevin Brown for English corrections of the text.

#### References

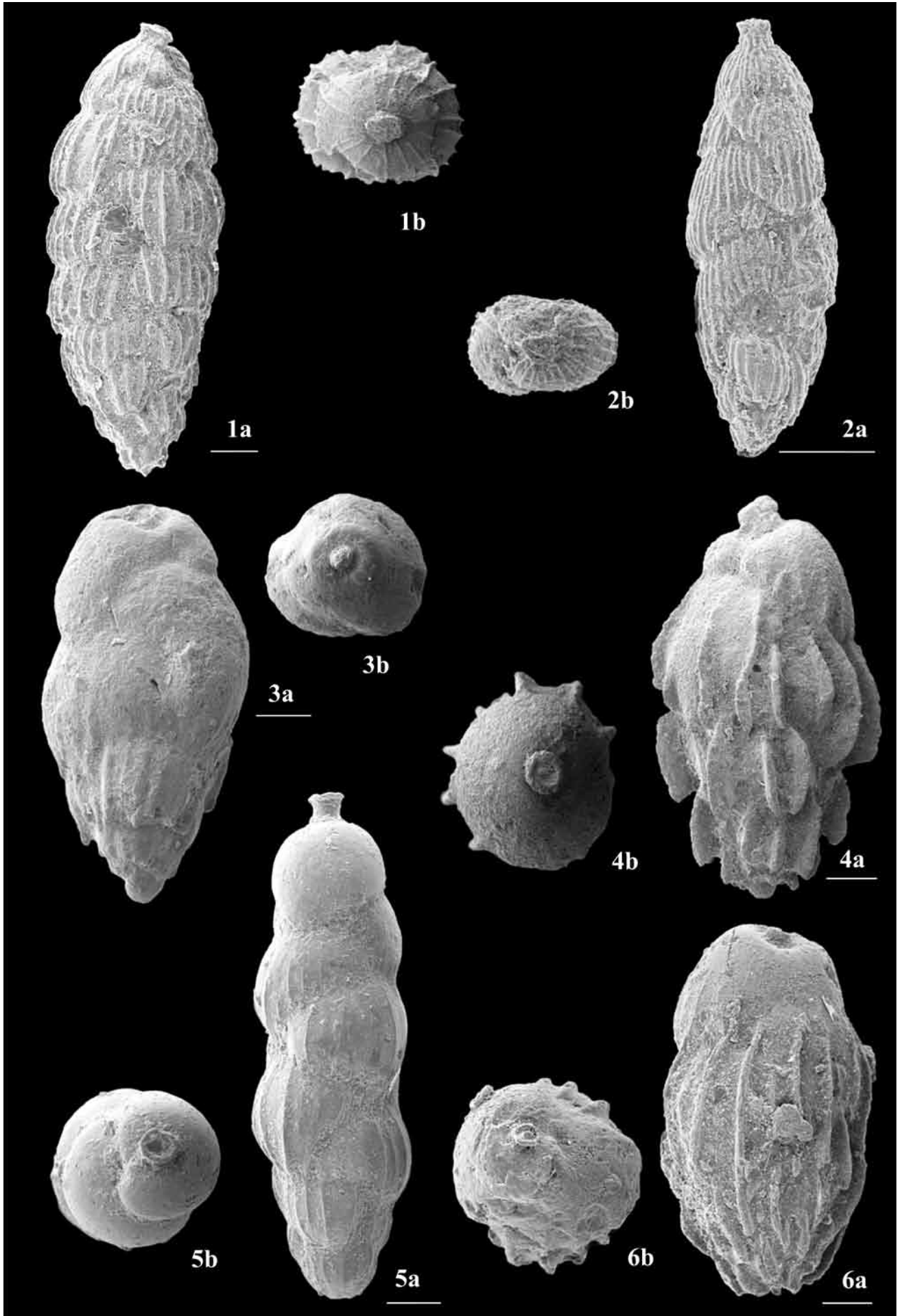
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. 1984: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000, list Rogatec L 33-68. Zvezni geološki zavod Beograd.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. 1985: Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ 1 : 100 000, list Rogatec L 33-68. Zvezni geološki zavod Beograd: 76 p.
- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B. & DOZET, S. 2004: Geološka karta Kozjanskega, 1 : 50 000. Geološki zavod Slovenije, Mladinska knjiga Ljubljana.
- BAJRAKTAREVIĆ, Z. 1979: Mikropaleontološka i biostratigrafska istraživanja tortona (badena) nekih lokaliteta Samoborskog gorja, Plešivice i Marija-Goričkih brda. Geol. Vjesnik, 31: 37-47.
- BARBIERI, R. & D'ONOFRIO, S. 1984: Benthic Foraminifera of the Fangario Formation (Cagliari, Sardinia). Boll. Soc. Paleont. Ital., 23/2: 439-447.
- BUSER, S. 1977: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000, list Celje L 33-67. Zvezni geološki zavod Beograd.
- BUSER, S. 1979: Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ 1 : 100 000, list Celje L 33-67. Zvezni geološki zavod Beograd: 72 p.
- CICHA, I., RÖGL, F., RUPP, C. & ČTYROKÁ, J. 1998: Oligocene - Miocene foraminifera of the Central Paratethys. Abh. Senckenberg. Naturforsch. Ges., 549: 1-325.
- CICHA, I., KRHOVSKY, J., BRZOBHATY, R., ČTYROKA, J., VON DANIELS, C.H., HAUNOLD, TH., HORVATH, M., ŁUCZKOWSKA, E., REISER, H., RUPP, Ch., RIJAVEC, L. & WENGER, W. 1986: Oligocene and Miocene Uvigerina from the Western and Central Paratethys. In: VAN DER ZWAAN, G.J., JORISSEN, F.J., VERHALLEN, P.J.J.M. & VON DANIELS, C.H. (Eds.): Atlantic-European Oligocene to Recent Uvigerina; taxonomy, paleoecology and paleobiogeography. Utrecht Micropal. Bull., 35: 121-181.
- VON DANIELS, C.H. 1986: Uvigerina in the NW European Neogene. In: VAN DER ZWAAN, G.J., JORISSEN, F.J., VERHALLEN, P.J.J.M. & VON DANIELS, C.H. (Eds.): Atlantic-European Oligocene to Recent Uvigerina; taxonomy, paleoecology and paleobiogeography. Utrecht Micropal. Bull., 35: 67-119.
- VON DANIELS, C.H. & SPIEGLER, D. 1977: *Uvigerinen* (Foram.) im Neogen Nordwestdeutschlands (Das Nordwestdeutsche Tertiärbecken, Beitrag Nr. 23). Geol. Jb., A/40: 3-59.
- DONDI, L. & BARBIERI, R. 1982: Foraminiferi Padani, Atlante iconografico e distribuzione stratigrafica (Terziario e Quaternario). AGIP S.p.A.: 52 pls.
- DOZET, S., RIJAVEC, L., ANIČIĆ, B., ŠKERLJ, Ž. & STOJANOVIČ, B. 1998: Neogene Beds of the Krško-Brežice Plain and its Borderland (Southeastern Slovenia). Materials in geokolje, 45/3-4: 375-404.
- ELLIS, B.F. & MESSINA, A.R. 1940: Catalogue of Foraminifera. Am. Mus. Nat. Hist. (New York) Spec. Publ.
- FILIPESCU, S. & GÎRBACEA, R. 1997: Lower Badenian sea-level drop on the Western border of the Transylvanian basin: Foraminiferal paleo-

#### PLATE 1 – TABLA 1

- 1a-b *Pappina neudorfensis* (Toula); a, b - J33  
 2a-b *Pappina parkeri* (Karrer); a - J10, b - J8  
 3a-b *U. vigerina acuminata* Hosiuss; a, b - Ig4  
 4a-b *U. bellicostata* Łuczowska; a, b - Ig20.10  
 5a-b *U. brunnensis* Karrer; a, b - Ig19  
 6a-b *U. macrocarinata* Papp & Turnovsky; a, b - Pb54

Scale bar (merilce) = 100 µm.



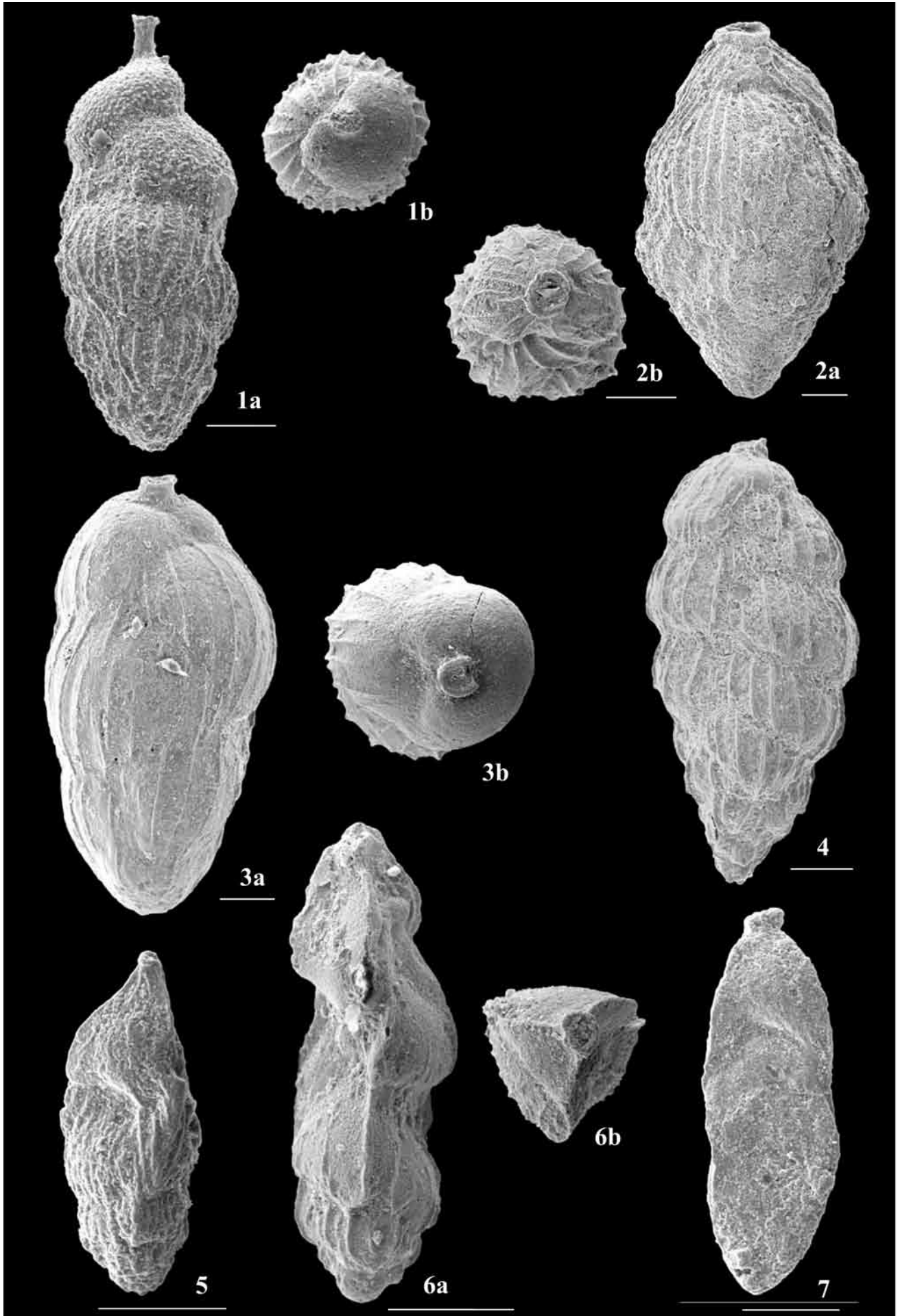


- bathymetry and stratigraphy. *Geol. Carpat.*, 48/5: 325–334.
- HAUNOLD, T.G. 1993: Biometrical indication of a systematic-taxonomical significance of uvigerinid chambers. *Journ. Foram. Res.*, XXX 23/3: 180–191.
- HOHENEGGER, J., ČORIĆ, S., KHATUN, M., PERVESLER, P., RÖGL, F., RUPP, C., SELGE, A., UCHMAN, A. & WAGREICH, M. 2008: Cyclostratigraphic dating in the Lower Badenian (Middle Miocene) of the Vienna Basin (Austria): the Baden-Sooss core. *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch.)*, doi: 10.1007/s00531-007-0287-7.
- HORVAT, A. 2009: Miocene. In: PLENIČAR, M., OGORELEC, B. & NOVAK, M. (Eds.): *The geology of Slovenia*, Geological Survey of Slovenia: 390–426.
- KARRER, F. 1877: *Geologie der Kaiser Franz Josefs Hochquellen-Wasserleitung; Eine Studie in den Tertiär-Bildungen am Westrande des Alpenen Theiles der Niederung von Wien*. K.K. Geol. Reichsanst. Abh., 9: 1–420, incl. 20 pls.
- LOURENS, L., HILGEN, F., SHACKLETON, N.J., LASKAR, J. WILSON, D. 2004: The Neogene period. In: GRADSTEIN, F.M., OGG, J.G. & SMITH, A.G. (Eds.): *A Geologic Time Scale 2004, Part III, Geologic Periods*. Cambridge University Press: 409–440.
- MURRAY, J.W. 1991: *Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera*. Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons Inc., New York: 397 p.
- OBLAK, K. 2006: *Foraminiferna taksonomija, biostratigrafija in paleoekologija badenija v Planinski sinklinali (vzhodna Slovenija, Centralna Paratetida)*. Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani: 310 p, incl. 60 tab.
- OBLAK, K. 2007a: Most abundant Middle Miocene rotaliinas (suborder Rotaliina, Foraminifera) of Kozjansko (Eastern Slovenia). *Geologija*, 50/2: 293–322.
- OBLAK, K. 2007b: New Findings of the Middle Miocene Biostratigraphy of the Planina Syncline (Eastern Slovenia, Central Paratethys). *Joannea Geol. Paläont.*, 9: 77–78.
- OBLAK, K. 2009: Evidence of continuous sedimentation through the Badenian/Sarmatian boundary of Eastern Slovenia. In: Filipescu, S. (Ed.): *3rd International workshop Neogene of Central and South-Eastern Europe, Cluj-Napoca, May 20–24, 2009: abstract volume*. Cluj University Press (Cluj-Napoca): 77–78.
- D'ORBIGNY, A. 1826: *Tableau Méthodique de la Classe des Céphalopodes*. *Ann. Sci. D'Hist. Nat.*, 7: 7–150.
- D'ORBIGNY, A. 1846: *Foraminifères fossiles du Bassin Tertiaire de Vienne (Autriche)*. Gide et Comp., Paris: 312 p.
- PAPP, A. 1963: Die biostratigraphische Gliederung des Neogens im Wiener Becken. *Mitt. Geol. Ges.*, 56/1: 225–317.
- PAPP, A. & SCHMID, M.E. 1978: Die Entwicklung der Uvigerinen im Badenien der Zentralen Paratethys. In: BRESTENSKA, E. (Ed.): *Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der Zentralen Paratethys; Badenien*. VEDA (Bratislava) Bd. VI: 279–284.
- PAPP, A. & SCHMID, M.E. 1985: Die Fossilen Foraminiferen des Tertiären Beckens von Wien. Revision der Monographie von Alcide d'ORBIGNY (1846). *Abh. Geol. Bundesanst.*, 37: 1–311.
- PAPP, A. & TURNOVSKY, K. 1953: Die Entwicklung der Uvigerinen im Vindobon (Helvet und Torton) des Wiener Beckens. *Geol. Bundesanst., Jahrb.*, 96: 117–142.
- PEZELJ, Đ. 2005: Late Badenian deep-water microfossil association from the locality St. Barbara in Medvednica Mt. (Croatia). *Abstr. book, 3<sup>rd</sup> Croat. Geol. Con., Opatija 2005 (Opatija)*: 109–110.
- PIKLIJA, M., ŠIKIĆ, K. & ŠIKIĆ, L. 1984: Miocen na lokalitetima Bačuga i Jurjevčani (središnja Hrvatska). *Geol. Vjesnik*, 37: 65–80.
- PILLER, W.E., EGGER, H., ERHART, C.W., GROSS, M., HARZHAUSER, M., HUBMANN, B., VAN HUSEN, D., KRENMAYR, H.-G., KRYSZYN, L., LEIN, R., LUKE-NEDER, A., MANDL, G.W., RÖGL, F., ROETZEL, R., RUPP, C., SCHNABEL, W., SCHÖNLAUB, H.P., SUMMESBERGER, H., WAGREICH, M. & WESSELY, G. 2004: Die stratigraphische Tabelle von Österreich (sedimentäre Schichtfolgen). *Österr. strat. Kom. und Kom. Paläont. Strat. Erfor. Österr.*, (Gerin, Wolkersdorf).
- POPESCU, G. 1979: Kossovian foraminifera in Romania (IUGS-IGCP Project 25: Stratigraphic correlation of the Tethys-Paratethys Neogene). *Mémoires Inst. Géol. Géophys.*, XXIX: 5–64.
- RLJAVEC, L. 1976: Biostratigrafija miocena v Slovenskih gorica. *Geologija*, 19: 53–82.
- RLJAVEC, L. 1978: Tortonska in sarmatska mikrofavna v zahodnem delu Slovenskih goric. *Geologija*, 21/2: 209–238.
- RLJAVEC, L. 1984: Oligocen i miocen područja između Rudnice i Boča (istočna Slovenija) na osnovi mikrofosila. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet Zagreb, disertacija, 1–14.

## PLATE 2 – TABLA 2

- 1a-b *Uvigerina* cf. *pygmaea* d'Orbigny; a, b - J33  
 2a-b *U. pygmoides* Papp & Turnovsky; a - Ig6, b - Pb54  
 3a-b *U. semiornata* d'Orbigny; a, b - J32  
 4 *U. venusta* Franzén; J32  
 5 *Angulogerina angulosa* (Williamson); Ig4  
 6a-b *A. esuriensis* Hornibrook; a - Sa10, b - Sa8, 7 *Trifarina bradyi* Cushman; Ig4.

Scale bar (merilce) = 100 µm.





- RIJAVEC, L. & DOZET, S. 1996: Lithostratigraphy and biostratigraphy of the Upper Oligocene and Miocene beds from the Central Sava Folds (Slovenia). *RMZ*, 43/1-2: 11–22.
- ROETZEL, R., ČORIĆ, ST., GALOVIĆ, I. & RÖGL, F. 2006: Early Miocene (Ottnangian) coastal upwelling conditions along the southeastern scarp of the Bohemian Massif (Parisdorf, Lower Austria, Central Paratethys). *Beitr. Paläont.*, 30: 387–413.
- RÖGL, F. 1999: Mediterranean and Paratethys. Facts and hypothesis of an Oligocene to Miocene paleogeography (Short overview). *Geol. Carpath.*, 50/4: 339–349.
- RÖGL, F. & SPEZZAFERRI, S. 2003: Foraminiferal paleoecology and biostratigraphy of the Mühlbach section (Gaindorf Formation, Lower Badenian), Lower Austria. *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 104/A: 23–75.
- SALAJ, J. 1992: The Foredeep Miocene of Bou Sefra in Northern Tunisia. *Geol. Carpath.*, 43/5: 295–304.
- SPEZZAFERRI, S. & ČORIĆ, S. 2001: Ecology of Karpatian (Early Miocene) foraminifers and calcareous nannoplankton from Laa an der Thaya, Lower Austria: a statistical approach. *Geol. Carpath.*, 52/6: 361–374.
- SZCZUCHURA, J. 2000: Age and evolution of depositional environments of the supra-evaporitic deposits in the northern, marginal part of the Carpathian Foredeep: micropaleontological evidence. *Geol. Quart.*, 44/1: 81–100.
- TOULA, F. 1900: Über den marinen Tegel von Neudorf an der March (Dévény-Ujfalu) in Ungern. *Verh. Ver. Natur-Heilkunde Pres., N. F.* 11: 1–30.
- WENGER, W.F. 1987: Die Foraminiferen des Miozäns der bayerischen Molasse und ihre stratigraphische sowie paläogeographische Auswertung. *Zitteliana*, 16: 173–340.
- WILLIAMSON, W.C. 1858: On the Recent Foraminifera of Great Britain. *Ray Society*, I–XX: 1–107, 6 plts.

# Characterisation of suspended matter in river systems: River Sava in Slovenia case study

## Značilnosti suspendirane snovi v rečnih sistemih: primer reke Save v Sloveniji

Tjaša KANDUČ

Department of Environmental Sciences, Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia;  
e-mail: tjasa.kanduc@ijs.si

Prejeto / Received 20. 1. 2011; Sprejeto / Accepted 1. 4. 2011

*Keywords:* suspended matter, SEM microscopy, stable isotopes, fluxes, river systems, Sava, Slovenia

*Ključne besede:* suspendirana snov, SEM mikroskopija, stabilni izotopi, snovni tokovi, rečni sistemi, Sava, Slovenija

### Abstract

$\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values in suspended matter were used to examine the seasonal (late summer 2004 and spring 2005) relationship with hydrological characteristics of the River Sava watershed in Slovenia.  $\delta^{13}\text{C}$  values range from -29.2 to -23.0 ‰ and  $\delta^{15}\text{N}$  values from 0.5 to 16.7 ‰ and indicate that the samples are a mixture of two end members: modern soils and plant litter. A simple mixing model was used to indicate that soil organic carbon prevails over plant litter and contributes more than 50 % of suspended material. The total suspended solid flux (TSS) is estimated to be  $1.3 \times 10^{12}$  g/year. Anthropogenic impact was detected only in a tributary stream of the River Sava which is located in an agriculture-industrial area and is reflected in higher  $\delta^{15}\text{N}$  values in suspended matter in the late summer season.

### Izvleček

Vrednosti  $\delta^{13}\text{C}$  in  $\delta^{15}\text{N}$  v suspendirani snovi smo uporabili za proučitev sezonskih odvisnosti od hidroloških karakteristik v porečju reke Save v Sloveniji.  $\delta^{13}\text{C}$  vrednosti se spreminjajo od -29.2 do -23.0 ‰ in  $\delta^{15}\text{N}$  vrednosti od 0.5 do 16.7 ‰ in nakazujejo, da so vzorci mešanica dveh končnih členov: preperin oz. tal in rastlinskega materiala. Uporabili smo enostaven mešalni model, s pomočjo katerega smo izračunali, da preperinski organski ogljik prevladuje nad rastlinskim materialom in prispeva več kot 50 % suspendiranega materiala. Celotni snovni tok suspendirane snovi (TSS) je ocenjen na  $1.3 \times 10^{12}$  g/leto. Antropogeni vpliv smo zasledili samo v pritoku reke Save, ki se nahaja na območju kmetijsko-industrijske površine in se odraža v višjih vrednostih  $\delta^{15}\text{N}$  v suspendirani snovi samo v poletni sezoni.

### Introduction

Suspended organic matter is a complex mixture of molecules such as: carbohydrates, amino acids, fatty acids and phenols, particles from wastewater and industrial water, soil organic matter and biological material like phytoplankton and other plant parts (HOPE et al., 1994). High carbon dioxide concentrations in rivers originate largely from *in situ* respiration of organic carbon, but little agreement exists about the sources or turnover times of this carbon (TIPPING et al., 1997; ANKERS et al., 2003). The relative contributions of  $\text{C}_3$  and  $\text{C}_4$  vegetation to an ecosystem can be reconstructed using the isotopic composition of particulate carbon ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$ ), because of their different isotopic composition, which range from -32.0 to -20.0 ‰ for  $\text{C}_3$  plants, and from -15.0 ‰ to -9.0 ‰ for  $\text{C}_4$  plants (DEINES, 1980). Suspended organic matter in rivers is mostly derived from soil and plant material, therefore the isotopic composition of sus-

pending organic matter ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$ ) in rivers has been used to ascertain the contribution of terrestrial vegetation and soil matter in the river ecosystems (ITTEKOT, 1988, HEDGES, 1992).  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values are also used to indicate the distribution of vegetation in terrestrial ecosystem (GIBSON et al., 1999; LOBBES et al., 2000; WEIGUO et al., 2003).

In this study the characteristics of suspended matter in the River Sava, Slovenia were studied in detail, but it has to be mentioned that details on stream major and minor element geochemistry discharge and carbonate weathering fluxes for River Sava are presented elsewhere (KANDUČ, 2006; KANDUČ et al., 2007 a,b). Seasonal data in the River Sava watershed based on investigations of dissolved oxygen and silica concentrations showed that photosynthesis/respiration processes (in stream processes) are less pronounced in the River Sava. Based on carbon isotope mass balance calculations at the border with Croatia, it was also calculated that degradation of organic mat-

ter is more pronounced in the late summer season. Among the biogeochemical processes in the River Sava degradation of organic matter is the most important process after dissolution of carbonates, contributing to carbon isotope dissolved inorganic carbon values (KANDUČ et al., 2007A).

This work describes the first comprehensive investigation of suspended matter in river ecosystems in Slovenia. Investigation of suspended matter was performed in different sampling seasons according to the hydrological characteristics of the Sava basin. We also report data on  $\delta^{15}\text{N}$  of suspended matter in river ecosystems, which happen to be scarce elsewhere in the literature. It was reported that in suspended matter  $\delta^{15}\text{N}$  values in the Mississippi river basin ranged from -15 to +15 ‰ (KENDALL et al., 2001).

The aim of this study was to determine the quantity and quality composition of suspended matter in the upper, central and lower flows of the River Sava through: (1)  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of suspended matter in the Sava watershed in relation to different discharge regimes (spring and late summer sampling season); (2) annual fluxes of total suspended matter (TSM) and (3) determine anthropogenic impact on the River Sava in mining and industrial areas.

### Area description

The valley of the River Sava extends in a NW–SE direction and comprises almost half the Slovenian territory (Figure 1). The area is located in the temperate climate zone (latitude 46°03' N; longitude 14°30' E) with temperate to hot summers and cold winters, with average seasonal air temperatures (data for central flow of the River Sava): from -1.3 to 0.8 °C in winter, from 5 to 13.2 °C in spring, from 16.5 to 18.4 °C in summer and from 3 to 14 °C in autumn (KANDUČ et al., 2007b).

The Sava originates in the Triassic carbonate hinterland at Zelenci (Figure 1, location 1) as the Sava Dolinka, and from the karst spring Savica (Figure 1, location 6) as the Sava Bohinjka. The confluence of these two sources is at Radovljica (location 9). From there on the river is named the Sava and finishes its course at Belgrade (Serbia), merging with the Danube. At the confluence of the Sava Bohinjka and Sava Dolinka it accumulates Pleistocene fluvio-glacial sediments and formed terraces. From Radovljica (location 9) the watershed is composed of a mixture of Permo-Carbonian clastic sedimentary rocks, which alternate with Triassic carbonates in the central flow and pass over to Miocene sandstones, clays and gravels on the left bank of the river in the lower part of the flow. In the Krško–Brežice (location 37) area the watershed mainly consists of terrace Pleistocene sediments and from there the flow continues to Croatia. The watershed of the Sava's tributaries is composed of Triassic and Jurassic carbonates, Permo-Carbonian, Oligocene, Miocene clastic rocks and Pleistocene sediments (BUSER, 1989).

Discharge regimes along its flow are controlled by precipitation and the configuration of the

landscape. Annual maxima are characteristic in spring and autumn, while minima occur in the summer and winter months. In years 1961 to 1990 annual precipitation ranged from 800 to 1800 mm. More precipitation occurs in the upper part of the flow (1200–1800 mm), from 1200 to 1600 mm in the central part of the flow and in the lower flow from 800 to 1000 mm (MESP, 1995). Up to this study the River Sava in Slovenia was dammed only at four locations: two in the upper and two in the lower flow.

Tributaries of the River Sava collect water mainly from forest areas. The prevailing forest communities in the River Sava watershed are different types of European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests depending on climatic and edaphic conditions, altitude and relief (KANDUČ et al., 2007B).

Dense populated and larger agricultural areas are present at following areas of the River Sava watershed: Kranj (location 12), Ljubljana (location 15) and Krško–Brežice (location 37) (Fig. 1), where also alluvium aquifers with groundwater supply are located and its main tributaries: Krka (location 38), Savinja (location 33) and Ljubljana (location 17) (Figure 1). However, in the larger part of the River Sava watershed the percentage of forests and seminatural areas still sums only from 54.1 to 70.5%, except in the upper part where there is 81.7% and the most lower part, where there is only 37.1% of forests and seminatural areas (JOGAN et al., 2004).

### Methodology

Discharge data were obtained from the Environmental Agency of the Republic of Slovenia (Table 1). Samples for characterization of suspended matter from each location (Figure 1) were collected using standard representative sampling techniques (SHUSTER & REDDY, 2001). From each location 4 l (1 l for SEM/EDXS – scanning electron microscope/energy dispersive X-ray spectroscopy microscopy (only at locations 1, 4 and 15), 1 l for  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  determination and 1 l for  $\delta^{15}\text{N}$  determination) of the sample were taken and then filtered through a Whatman GF/F (pore size 0.7  $\mu\text{m}$ ) glass fibre filter. According to the model of (DEVOL & HEDGES, 2001), suspended matter (particulate in continuation) may be divided into three fractions: coarse particulate organic material (CPOM, > 63  $\mu\text{m}$ ), fine particulate organic material (FPOM, 63–0.1  $\mu\text{m}$ ) and ultra filtered dissolved organic matter (UDOM < 0.1  $\mu\text{m}$  and > 100 kDa). In our study a 0.7  $\mu\text{m}$  pore size filter was used, which comprises coarse and fine particulate organic material. Filters were ignited before sampling at 480 °C with the aim of eliminating organic impurities and then weighed. Samples for carbon analysis were pre-treated with 1M HCl to remove carbonates. Filters coated with suspended matter were then washed with distilled water, dried at 60 °C and then weighed again to recalculate the mass of total suspended matter (TSM). Samples of suspended matter from the upper, central and lower flow (locations 1, 15 and 39) of the River



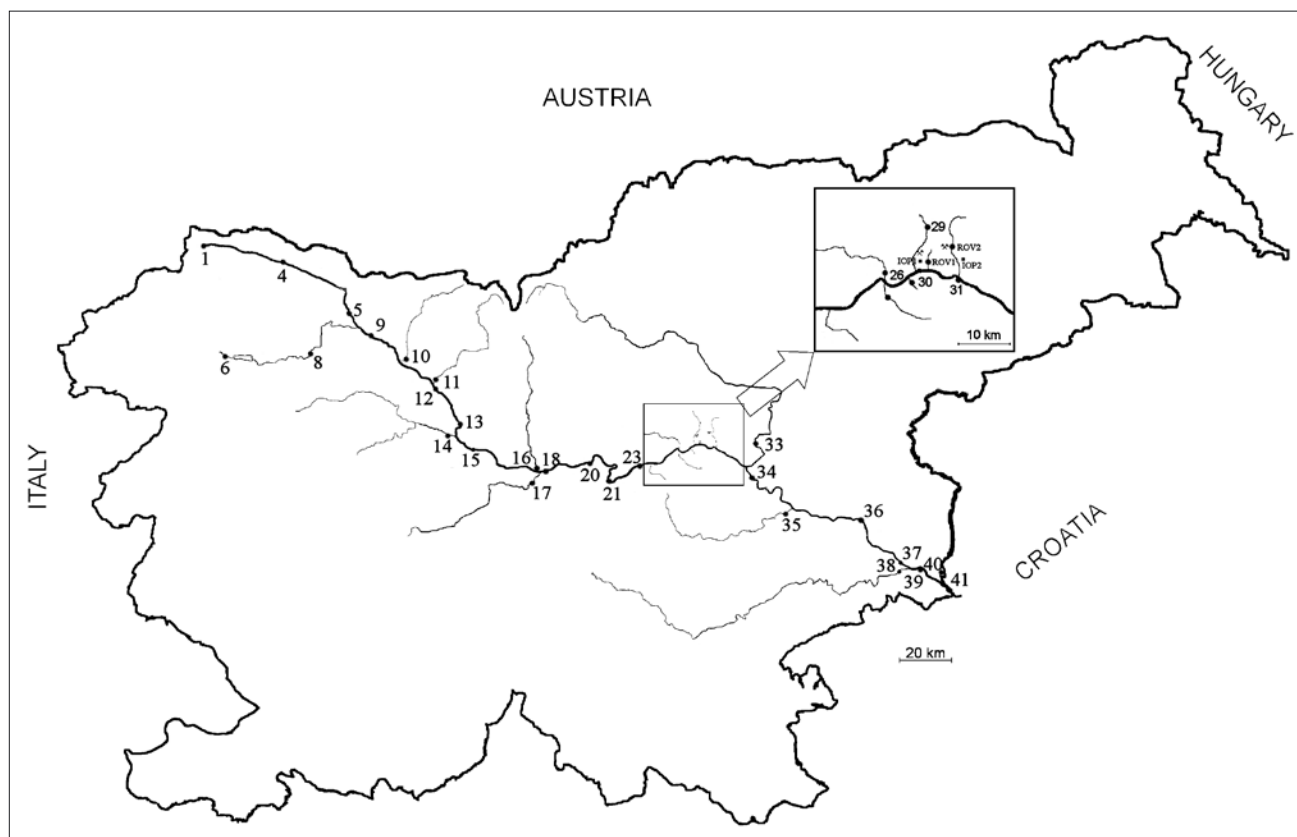


Figure 1. Sampling locations (numbers marked as in Table 1) in the River Sava watershed (Slovenia).

Sava watershed were examined to determine their qualitative and quantitative composition using a JEOL JSM 5800 with electron micro analyzer scanning electron microscope at the Department of Ceramics at the Jožef Stefan Institute.

Also coal mine wastewater (ROV1 and ROV2) and industrial wastewater (IOP1 and IOP2) were sampled in August 2004 (Figure 1) for suspended matter characterization.

The isotopic composition of carbon and nitrogen in suspended matter, plants and soils was determined using a Europa 20–20 continuous flow IRMS ANCA–SL preparation module. Approximately 1 mg was weighed in a tin capsule for carbon analysis and 10 mg of sample for nitrogen analysis. The isotopic composition of nitrogen and carbon was determined after combustion of the capsules in a hot furnace (temperature 1000 °C). Generated products were reduced in a Cu tube (600 °C), where excess O<sub>2</sub> was absorbed. H<sub>2</sub>O was trapped on a drying column composed of MgClO<sub>4</sub>. Gases were separated on a chromatographic column and ionized. NBS 22 (oil) and IAEA N-1 (ammonium sulphate) reference materials were used to relate the analytical results to the VPDB and AIR standards. Sample reproducibility for carbon and nitrogen was ± 0.2 ‰.

## Results

The hydrological characteristics of the River Sava watershed from each location, as well as the results for the mass of total suspended matter ( $m_{TSM}$ ),  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{15}N$  of suspended matter during

different sampling seasons (late summer 2004 and spring 2005) are presented in Table 1.

Results of SEM/EDXS microscopy of filters from different locations (upper (1), central (15) and lower flow (39)) showed that the inorganic component prevailed over the organic component (Figure 2). The results of qualitative composition of grains (spectrum of grains represented in belonging graphs) obtained from SEM/EDXS microscopy (Figures 2 A, 2 B, 2 C) indicate that the inorganic component in the River Sava watershed is composed of terrigenous components like silica, aluminosilicate minerals (clay minerals), Fe and Al oxides, hydroxides and carbonates (dolomite and calcite with magnesium) as remnants of weathering products. SEM microscopy of filters was performed during the late summer season when only minor precipitation fall on the surface and therefore weathering processes and leaching from the surface were less significant than during the wet season, when the discharge is generally higher, and also more suspended material is determined (Table 1).

The mass of total suspended matter in the River Sava watershed varied from 0.4 to 18.4 mg/l in late summer 2004, and according to (MEYBECK, 1981) classification falls in the lower classes (1. class from 0 to 15 mg/l, and 2. class from 15 to 50 mg/l). The mass of suspended matter is related to slope denudation processes and rises during the rainy season (SUMMERFIELD, 1991) in areas with less vegetation, higher soil thickness and steeper slopes in the watershed composed of clastic rocks (lower flow of the River Sava). The mass of suspended matter in the River Sava watershed increased in

Table 1. Discharge data, total mass of suspended matter ( $m_{TSM}$ ),  $\delta^{13}C_{POC}$  and  $\delta^{15}N$  of suspended matter River Sava basin (Slovenia) in different sampling seasons (late summer, 2004, spring, 2005) as well as  $\delta^{13}C_{POC}$ ,  $\delta^{15}N$  of suspended matter of industrial (IOP2) and mining wastewaters (ROV1, ROV2).

Number of locations	Location	Height above sea level (m)	Distance from the source (km)	Catchment area (km <sup>2</sup> )	late summer, 2004					spring, 2005				
					Q (m <sup>3</sup> /s)	$m_{TSM}$ (mg/l)	$\delta^{13}C_{POC}$ (‰)	$\delta^{15}N$ (‰)	$NO_3^-$ (mg/l)	Q (m <sup>3</sup> /s)	$m_{TSM}$ (mg/l)	$\delta^{13}C_{POC}$ (‰)	$\delta^{15}N$ (‰)	$NO_3^-$ (mg/l)
1	Zelenci	830	0		0.9	-25.7			2.1	2.0	-25.1		2.1	
4	Dovje	704	18	44.9	11.4	-27.4			3.5	10.2	-27.3		2.1	
5	Šobec	459	39.8	505.4	28.6	-26.0	6.4		3.7	27.3	-26.6	4.3	2.5	
6	Savica	700	42.6	66.7				1.8	0.5		-26.1		2.2	
8	Nomenj	509	42.6	354.5	10.5	-23.6		2.8	18.0	1.0	-26.9	4.2	2.6	
9	Otoče	415	51.7	895.3	39.9	-26.8		2.9	44.8	3.0	-26.6	2.8		
10	Tržiška Bistrica (tributary)	422	56.8	121	2.4	-25.6	6.3	2.5	3.7	5.0	-26.7	3.6	2.6	
11	Kokra (tributary)	407	65.7	220.2	4.2	-27.0	2.7	3.0	3.5	1.5	-28.3	0.5	2.5	
12	Kranj	350	65.7	1201	31.9	-27.0	4.9	6.0					2.9	
13	Smlednik	336	76.3	2191	67.2			3.7	21.3	9.5	-27.0	5.2	4.0	
14	Sora (tributary)	313	79.9	566.3	4.3	-27.6	3.9	9.0	10.2	1.5	-27.2	2.8	2.6	
15	Tacen	280	84.5		1.4	-23.0		4.5	97.5	3.0	-26.1	3.7	4.6	
16	Kamniška Bistrica (tributary)	260	100.4	207.8	0.7	-26.5	16.7	42.6	8.3	27.5	-27.4	9.0	5.3	
17	Ljubljanska (tributary)	267	100.6	1762.5	7.2	-27.0	8.2	6.5	168.0	12.5	-29.2	5.7	13.0	
18	Dolsko	265	103.9		3.1	-26.7	6.6	7.6		22.7	-27.6	6.6	6.1	
20	Kresnice	235	119.9		2.7	-26.7		6.3					5.7	
21	Litija	230	123.5	4821	105.0	-26.7	7.2	7.5	225.0	25.0	-28.4	6.0	7.2	
23	Log	230	130.1		3.0	-26.1	6.2	5.9					5.8	
26	Zagorje	225	139.6			-27.4	6.8	6.0					6.2	
29	Trboveljsčica (tributary)	230	143.8		2.3	-28.0	9.1	3.7					5.0	
30	Trbovlje	220	143.8		2.4	-27.8	7.8	6.7					6.4	
31	Hrastnik	210	148.4	5176	92.2	-27.0	7.8	10.3	344.0	64.0	-27.8	4.9	6.1	
33	Savinja (tributary)	200	156.4	1842	25.0	-25.8	7.7	7.6	103.0	80.5	-27.8	5.4	9.2	
34	Radeče	193	159.1		0.4	-27.2	7.9	6.2		52.5	-28.2	5.7	5.9	
35	Mirna (tributary)	191	173.3	270	1.9	-27.7	5.0	3.3	42.2	103.0	-28.0	4.0	7.4	
36	Brestanica	150	187.8			-26.6	7.9	6.7					6.2	
37	Brežice	145	202.9		0.4	-26.9	8.8	6.8		160.9	-28.0	5.2	6.0	
38	Krka (tributary)	140	203.7	2238	26.9	-28.8	8.5	7.3	188.0	78.5	-28.6	5.8	3.1	
39	Mostec	140	205.9	10186	120.0	-27.5	7.2	6.3	720.0	111.7			6.2	
40	Sotla (tributary)	140	212.6	557.7	1.8	-26.3	10.6	8.3	59.6	313.0	-26.8	5.1	5.3	
41	Bregana	135	213.2	10881	144.0	-27.3	6.1	6.5	725.0	108.0	-28.5	6.0	5.3	
ROV1	Sava shaft		144.6		65.1	-27.6	-1.0	0.7						
ROV2	Cave Hrastnik		148.4		13.2	-34.5	1.9	2.1						
IOP2	Glasshouse Hrastnik		148.4		51.2	-23.8	2.6	2.9						

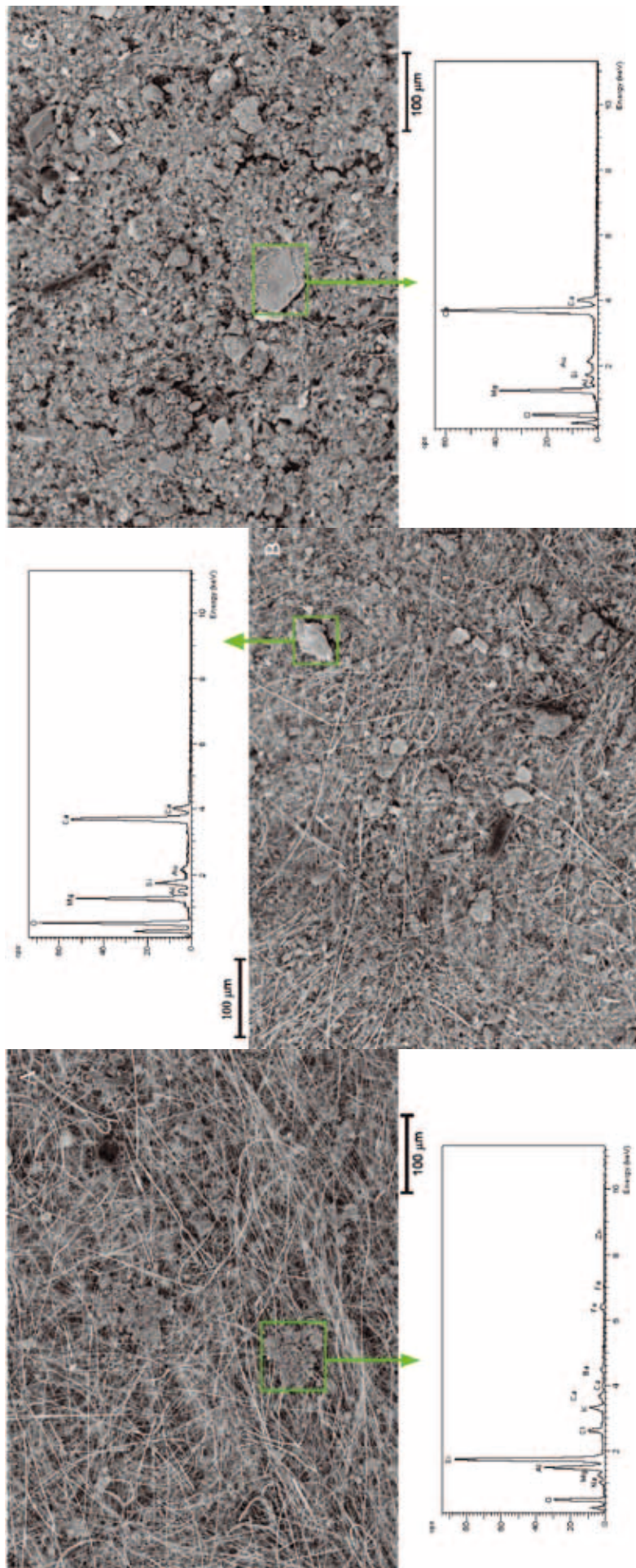


Figure 2. **A** – SEM/EDXS microscopy of suspended matter in the River Sava watershed from location 1 (Zelenci), marked grain represents a qualitative spectrum (belonging graph) of the terrigenous component composed of aluminosilicates, low content of suspended matter is observed, filter fibres represent the uncovered area of the filter, **B** – SEM/EDXS microscopy of suspended matter in the River Sava watershed from location 15 (Tacen), marked grain (belonging graph) indicate that terrigenous grains of pure dolomite and silicates prevail on filter, filter is coated with of skeleton in comparison to other locations, **C** – SEM/EDXS microscopy of suspended matter in the River Sava watershed from location 39 (Mostec): area of filter is completely covered with terrigenous grains composed of carbonates and silicates, qualitative composition of spectrum shows that marked grain (belonging graph) is composed of carbonate.



the spring season and varied from 0.4 to 313 mg/l (Table 1). According to the classification of (MEYBECK, 1982), this belongs to the fourth Class (from 150 to 500 mg/l). The highest class according to (MEYBECK, 1982) is the ninth, with a mass of suspended matter of 50.000 mg/l.

Results of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of suspended matter from two different sampling seasons (late summer 2004 and spring 2005) are shown in Table 1. Concentrations of particulate organic carbon (POC) in suspended matter in the River Sava watershed varied from 2.4 to 31.9 % in late summer 2004 and from 2.9 to 38.1 % in spring 2005 (Table 1).  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values ranged from -27.8 to -3.0 ‰ in the River Sava and from -28.8 to -23.6 ‰ in its tributaries in late summer season, while  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values ranged from -28.5 to -25.1 ‰ in the River Sava and from -29.2 to -26.1 ‰ in its tributaries in spring season.  $\delta^{15}\text{N}$  values ranged from 4.9 to 8.8 ‰ in the River Sava and from 2.7 to 16.7 ‰ in its tributaries in late summer season, while  $\delta^{15}\text{N}$  values ranged from 2.8 to 6.6 ‰ in the River Sava and from 0.5 to 9.0 ‰ in its tributaries for spring 2004 sampling season (Table 1).

C/N ratios of plants varied from 8.6 to 36.3 (KANDUČ et al., 2007b). The stable isotope composition of plant litter ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{plant}}$ ) varied from of -34.8 to -29.2 ‰, with an average of -31.6 ‰  $\pm$  1.5 ‰ (n = 23), except *Z. mays* (a C4 plant) has a  $\delta^{13}\text{C}$  value of -13.6 ‰ (KANDUČ et al., 2007b). Values of  $\delta^{13}\text{C}$  of C3 plants in the River Sava watershed deviate from average carbon isotopic values for C3 plants ( $\delta^{13}\text{C} = -27.0$  ‰) (CERLING, 1991), while values for *Z. mays* are in good agreement with data from literature (-13.6 ‰). The isotopic composition of soil ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{soil}}$ ) varies from -26.4 to -25.7 ‰ (-26.2  $\pm$  0.4, n = 3). Flood sediment (from sampling location 30 (Figure 1), central River Sava flow) has a  $\delta^{13}\text{C}$  value of -26.0 ‰ and a value of  $\delta^{15}\text{N}$  4.0 ‰ similar to soil from the River Sava watershed. The soils analyzed from the River Sava watershed are enriched with heavier carbon and nitrogen isotopes comparing to plants.

Coalmine wastewater contained a high concentration of total suspended matter ranging from 13.2 to 65.1 mg/l. The sample of industrial wastewater (IOP2) contained a high concentration of suspended matter (51.2 mg/l) with  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values of -23.8 ‰ and 2.6 ‰, respectively, while the sample from location IOP1 was without any suspended matter. Values of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  coal mine waste water (ROV1 and ROV2) ranged from -34.5 to -27.6 ‰, while  $\delta^{15}\text{N}$  of suspended matter ranged from -1.0 to 1.9 ‰ (Table 1).

## Discussion

### Composition of suspended matter in River Sava

Allochthonic sources of suspended matter in river ecosystems, besides plant and soil contributions also contain anthropogenic inputs as a consequence of municipal wastewaters, industrial and agricultural sewage (MIDDELBURG & NIEUWEN-

HUIZE, 1998). Autochthonic parts of suspended matter could be produced due to phytoplankton production, microphytobentos and higher plants (ARTEMIEYEV, 1996). In the Sava channel stream bed the variety of macrophytic species is insignificant since the velocity of the water flow and the unsuitable substratum make it difficult for them to root. Therefore their primary production is insignificant (URBANC & BERČIČ, 1999).

Suspended material in rivers is a mixture of plant litter and soil material; therefore both components contribute to  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values (ITTEKKOT, 1988). In some rivers also phytoplankton could represent another source of POC (particulate organic carbon). The estimated  $\delta^{13}\text{C}$  values of phytoplankton calculated from the  $\delta^{13}\text{C}$  of dissolved inorganic carbon (MAYORGA et al., 2005) fall in the River Sava in the range between -28.2 ‰ and -35.1 ‰ (KANDUČ, 2006). Phytoplankton binds  $\text{CO}_2$  from dissolved inorganic carbon in water leading to  $^{13}\text{C}$  fractionation around -20 ‰, producing biomass with  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values from -8.0 in temperate to -45.0 ‰ in tropic rivers (KRUSCHE et al., 2002). In our study an average  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  value is -26.7 ‰  $\pm$  1.2, therefore phytoplankton could not represent the possible source of POC in River Sava.

The C/N ratio as well as  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values can be used to distinguish sources of suspended matter because of the different C/N ratios between soil and plants (KANDUČ et al., 2007b). According to a simple mixing model, at some sampling points in the River Sava the input of soil and plant material was estimated. The proportion of soil and its  $\delta^{13}\text{C}$  values in suspended material can be found using a simple model as follows (WEIGUO et al., 2003):

$$(C/N)_{\text{sus}} = D \cdot (C/N)_{\text{plant}} + (1-D) \cdot (C/N)_{\text{soil}} \quad (1)$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}} = D \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{plant}} + (1-D) \cdot \delta^{13}\text{C}_{\text{soil}} \quad (2)$$

From equations (1) and (2) the C/N ratio of soil material in the River Sava watershed can be further estimated:

$$(C/N)_{\text{soil}} = \frac{(C/N)_{\text{sus}} - D \cdot (C/N)_{\text{plant}}}{(1-D)} \quad (3)$$

Where,

- D – Proportion of plant material in suspended matter, [%]
- (1 - D) – Proportion of soil material in suspended matter, [%]
- (C/N)<sub>sus</sub> – Weight ratio concentration of carbon and nitrogen in suspended matter
- (C/N)<sub>plant</sub> – Weight ratio concentration of carbon and nitrogen in plant litter
- (C/N)<sub>soil</sub> – Weight ratio concentration of carbon and nitrogen in soil matter
- $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  – Isotopic composition of carbon in suspended matter, [‰]
- $\delta^{13}\text{C}_{\text{plant}}$  – Isotopic composition of carbon in plant litter, [‰]
- $\delta^{13}\text{C}_{\text{soil}}$  – Isotopic composition of carbon in soil matter, [‰]

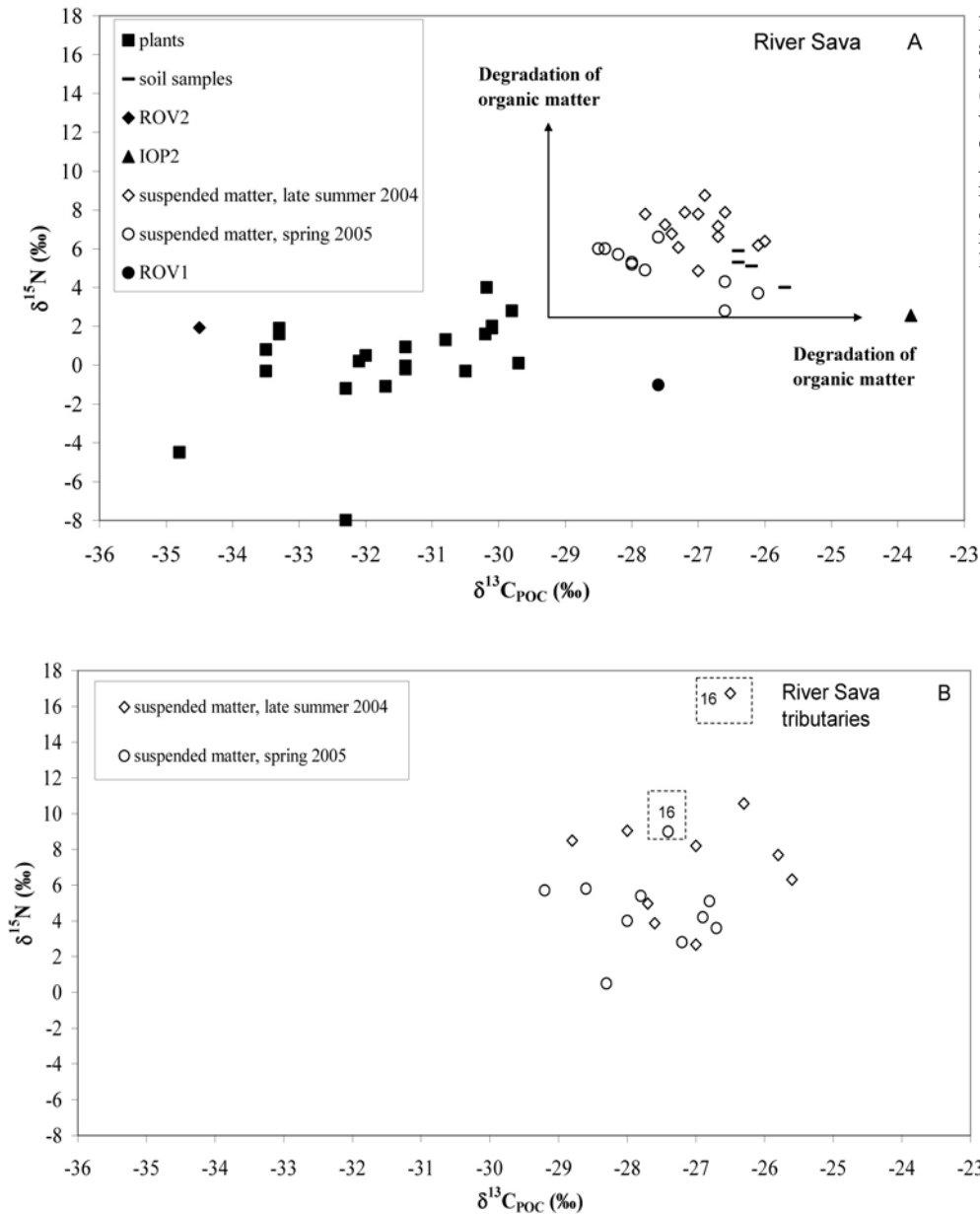


Figure 3.  $\delta^{15}\text{N}$  versus  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  of suspended matter, plant and soil material in the River Sava (A) and tributaries of the River Sava (B). Arrows indicate degradation of organic (Fig. 3 A) material leading to enrichment with  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  values.  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  of plant and soil material was determined in KANDUČ et al., 2006.

In equation (2) an average value of  $-31.6$  ‰ of  $\delta^{13}\text{C}_{\text{plant}}$  (KANDUČ, 2006) was used (average for  $\text{C}_3$  plants) and an average isotopic composition of soil material ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{soil}}$ )  $-26.0$  ‰ (KANDUČ, 2006) ( $n = 4$ ) was assumed. According to equation (2) the proportion of soil organic material (D) in suspended matter prevails and ranges from 50 to 100 % in late summer 2004 and from 43 to 98 % in spring 2005. Calculations of the proportion of organic soil material at locations (1, 8, 10, 15 and 33) were performed, where  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  in suspended matter is higher than  $-26.0$  ‰. Higher  $\delta^{13}\text{C}_{\text{POC}}$  values can be attributed to anthropogenic sources and wastewaters (MUNSON & COREY, 2006; ŠLEJKOVEC & KANDUČ, 2005) and/or more highly decomposed organic material (Figure 3). For a better estimate more soil profiles from different geological compositions in the River Sava watershed would provide a more reliable figure since in our case  $\delta^{13}\text{C}_{\text{soil}}$  was measured only in 4 soil samples. According to equation (3) assuming soil (1 - D) and plant ratios (D) calculated according by equation (2) and taking into an account the average C/N ratio of

plant litter of 20.3 (KANDUČ, 2006), then the calculated  $(\text{C}/\text{N})_{\text{soil}}$  ratio in the River Sava watershed would range from 0.6 to 13.3, which is in a higher range than measured C/N values of suspended organic matter (KANDUČ, 2006), probably due to more variable  $(\text{C}/\text{N})_{\text{soil}}$  ratios in the terrestrial ecosystem. This should be the subject of further investigation.

To obtain TSS flux at location Bregana (41) mass of suspended matter was multiplied with discharge data. Calculated annual fluxes at the sampling location of Bregana (41) at the border with Croatia are estimated as follows: (1) POC (particulate organic carbon) flux  $5.2 \times 10^{10}$  g C/year (KANDUČ et al., 2007a), (2) PN (particulate nitrogen) flux  $8.5 \times 10^9$  g N/year (KANDUČ et al., 2007b) and (3) TSS (total suspended solid) flux is estimated to be  $1.3 \times 10^{12}$  g/year. According to the drainage area of the River Sava, the calculated annual fluxes are estimated to be: (1) POC flux  $4.7 \times 10^6$  g C/ (year·km<sup>2</sup>) (2) PN flux  $7.8 \times 10^5$  g C/ (year·km<sup>2</sup>) (3) TSS flux  $7.9 \times 10^9$  g/ (year km<sup>2</sup>). The most common literature estimations of the ma-

gnitude of global river carbon fluxes are 0.4 Pg C/year for total organic carbon (evenly divided between particulate and dissolved organic phases), and 0.4 Pg C/year for dissolved inorganic carbon. While these bulk fluxes are small components of the global carbon cycle, they are significant compared to the net oceanic uptake of anthropogenic CO<sub>2</sub> (STALLARD, 1998). Modern reservoirs have had a tremendous impact on the hydrological cycle. The exact magnitudes of global fluxes of suspended and dissolved carbon species in river ecosystems still remain uncertain. It was calculated that the POC flux in the River Sava in Slovenia represents 10.4 % (KANDUČ, 2006) of other measured or calculated carbon contributions (1.6 % pCO<sub>2</sub>, 82 % DIC and 6 % DOC).

#### Tracing anthropogenic impact using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of suspended matter

Figure 3 shows  $\delta^{15}\text{N}$  versus  $\delta^{13}\text{C}$  of different sources in terrestrial ecosystem: (1) C<sub>3</sub> plants and soils, which represent terrestrial input to the river and (2) anthropogenic input (coal mine ROV and industrial IOP waste waters) into the river. Decomposition of organic matter is reflected in more positive  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values in suspended organic matter in comparison with plant litter and is dependent upon the degradation of organic matter due to biological processes in terrestrial and/or river ecosystems. Industrial waste water (IOP2) has more positive  $\delta^{13}\text{C}$  values (ADER et al., 1988), while coalmine wastewater has values of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  similar to low rank coal from the Trbovlje basin (ŠLEJKOVEC & KANDUČ, 2005) and expresses no impact on  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values in suspended matter in the River Sava.

$\delta^{15}\text{N}$  of bulk organic matter in sediments depends on  $\delta^{15}\text{N}$  of atmospheric nitrogen, the source of the organic matter and on biogeochemical processes such as ammonification, nitrification and denitrification. However, the fate of organic nitrogen and the denitrogenation process during early diagenesis is still poorly understood (CLARK & FRITZ, 1997). Higher  $\delta^{15}\text{N}$  values of suspended matter during the late summer season are probably related to lower discharge conditions, higher microbial activity and local agriculture activity. Higher  $\delta^{15}\text{N}$  values (Figure 3) at location 16 (Kamniška Bistrica tributary) are related to higher nitrate concentrations (up to 42.6 mg/l, Table 1) due to leaching of fertilizers in the late summer sampling season, while the nitrate concentration observed in the spring sampling season is lower (13 mg/l) (KANDUČ et al., 2007b). It is known that nitrogen originating directly from liquid manure has  $\delta^{15}\text{N}$  value of 28 ‰ (KENDALL, 1998). This is reflected in  $\delta^{15}\text{N}$  of suspended matter only in late summer season at location 16, when discharge conditions are lower (Figure 3). Higher values of  $\delta^{15}\text{N}$  in nitrates are therefore locally expected in agricultural regions in the River Sava watershed (LI et al., 1997), where also higher concentrations of nitrates in groundwater are observed (KANDUČ, 2006). Higher

concentrations of nitrate were also determined in open aquifers located in agriculture areas and in areas with explosive test facilities elsewhere (LI et al., 1997; BELLER et al., 2004).

#### Conclusions

This investigation shows that  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in suspended matter in the River Sava watershed vary seasonally according to discharge conditions in the basin. Higher  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  values are observed in the late summer season, which is probably due to lower discharge conditions and more intensive biological degradation. According to the SEM microscopy results, it can be concluded that suspended matter is mainly composed of mechanically degraded material, which includes aluminosilicates and carbonates that prevail over organic material. In the Sava watershed C3 plants as well as soil material represent the most important contribution of organic matter to suspended matter in the river. The mass of total suspended solids is higher in mining and industrial areas but is diluted in the River Sava, causing no impact. The mass of suspended matter increases through the River Sava flow (in Slovenia) with increasing drainage area, and represents annually a total mass suspended flux of  $1.3 \times 10^{12}$  g/year, according to the Sava drainage area of  $7.9 \times 10^9$  g/(year·km<sup>2</sup>) at the border with Croatia. Suspended matter is composed mainly (more than 50 %) of soil organic material. Anthropogenic impact due to higher  $\delta^{15}\text{N}$  values was traced during the late summer season, especially at the sampling point on the tributary of the Sava, which is located in an agricultural-industrial area. Generally, the Sava has a good self-cleaning capacity; anthropogenic pollution is expressed only locally.

These first results on suspended matter in the River Sava watershed represent a data base, which will help in evaluation of total suspended matter and particulate organic matter fluxes and in estimating anthropogenic impact, especially in relation to future impacts due to hydroelectric power plant construction in upper, central and downstream locations along the River Sava. This study also represents a useful data base for long term planning for ecological management (e.g. deforestation, agriculture, industry).

#### Acknowledgements

This research was conducted in the framework of Ministry of Higher Education, Science and Technology of the Republic of Slovenia and the Slovenian Research Agency (ARRS). Thanks are due to Mr. Zoran Samardžija from the Department of Ceramics at the Jožef Stefan Institute for performing SEM microscopy on filters. Sincere thanks to prof. Anthony Byrne for improving the English of the manuscript.



## References

- ADER, M., BOUDOU, J. P., JAVOY, M., GOFFE, B. & DANIELS, E. 1988: Isotope study on organic nitrogen of Western Middle field of Pennsylvania (U. S. A.) and from the Bramsche Massif (Germany) *Org. Geochem.*, 29: 315–323.
- ANKERS, C., WALLING, D. E. & SMITH, R. P. 2003: The influence of catchment characteristics on suspended sediment properties, *Hydrobiologia*, 1: 16–24.
- ARTEMYEV, V. E. 1996: *Geochemistry of organic matter in river – sea systems*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Amsterdam: 190 p.
- BELLER, H. R., MADRID, V., HUDSON, G. B., MCNAB, W. W. & CARLSEN, T. 2004: Biogeochemistry and natural attenuation of nitrate in groundwater at an explosives test facility. *Appl. Geochem.*, 19: 1483–1494.
- BUSER, S. 1989: Geological map of Slovenia. In: M. Javornik (Ed.): *Encyclopaedia of Slovenia*, Mladinska knjiga (Ljubljana) (in Slovene), 3: 194–203.
- CERLING, T. E. 1991: Carbon dioxide in the atmosphere: evidence from Cenozoic and Mesozoic paleosols. *Am. J. Sci.*, 291: 377–400.
- CLARK, I. & FRITZ, P. 1997 (Eds.): *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, New York: 326 p.
- DEINES, P. 1980: The isotopic composition of reduce organic carbon. In: P. FRITZ, J. CH. FONTES, (Eds.): *Handbook of Environmental Isotopic geochemistry*, Elsevier, Amsterdam, 1: 329–406.
- DEVOL, A. H. & HEDGES, J. I. 2001: Organic matter nutrients in the mainstem Amazon River. In: McCLAIN, M. E., VICTORIA, R. L. & RICHEY, J. E. (Eds.): *The biogeochemistry of the Amazon Basin*, Oxford University Press, Oxford: 275–306.
- GIBSON, J. A. E., TRULL, T., NICHOLS, P. D., SUMMONS, R. E. & McMINN, A. 1999: Sedimentation of <sup>13</sup>C-rich organic matter from Antarctic Sea – ice algae: a potential indicator of past sea – ice extent. *Geology*, 27: 331–334.
- HEDGES, J. I. 1992: Global biogeochemical cycle: progress and problem. *Mar. Chem.*, 39: 67–93.
- HOPE, D., BILLET, M. F. & CRESSER, M. S. 1994: A review of the export of carbon in river water: fluxes and processes. *Environ. Poll.*, 84: 301–304.
- ITTEKKOT, V. 1988. Global trends in the nature of organic matter in the river suspensions. *Nature*, 332: 436–438.
- JOGAN N., KOTARAC, M. & LEŠNIK, A. 2004: Identification of sites containing non-forest natural habitat types of Community importance by using ranges of characteristic plant species. Centre for Cartography of Fauna and Flora, Miklavž na Dravskem polju, Ljubljana (in Slovene): 961 p.
- KANDUČ, T. 2006: Hydrogeochemical characteristics and carbon cycling in the River Sava watershed in Slovenia. Ph. D. Thesis, University of Ljubljana (in Slovene): 141 p.
- KANDUČ, T., SZRAMEK, K., OGRINC, N. & WALTER, L. M. 2007a: Origin and cycling of riverine inorganic carbon in the Sava River watershed (Slovenia) inferred from major solutes and stable carbon isotopes. *Biogeochemistry*, 86: 137–154, doi: 10.1007/s10533-007-9149-4.
- KANDUČ, T., OGRINC, N. & MRAK, T. 2007b: Characteristics of suspended matter in the River Sava watershed, Slovenia, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43: 369–385.
- KENDALL, C. 1998: Tracing nitrogen sources and cycling in catchments. In: C. Kendall and J. J. McDonnell (Eds.): *Isotope Tracers in catchment Hydrology*, Elsevier, Amsterdam: 519–576.
- KENDALL, C., SILVA, S. R. & KELLY, V. J. 2001: Carbon and nitrogen isotopic composition of particulate organic matter in four large river systems across the United States. *Hydrol. Proc.*, 15: 1301–1346.
- KRUSCHE, A. V., MARTINELLI, L. A., VICTORIA, R. L., BERNARDES, M., CAMARGO, P. B., BALLESTER, M. V. & TRUMBORE, S. E. 2002: Composition of particulate and dissolved organic matter in a disturbed watershed of southeast Brazil (Piracicaba River basin). *Water Research*, 36: 2743–2752, doi:10.1016/S0043-1354(01)00495-X.
- LI, H., HIRATA, T., MATSUO, H., NISHIKAWA, M. & TASE, N. 1997: Surface water chemistry, particularly concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and DO and δ<sup>15</sup>N values, near a tea plantation in Kyushu, Japan. *J. Hydrol.*; 202: 341–352.
- LOBBES, J. M., FITZNER, H. P. & KATTNER, G. 2000: Biogeochemical characteristics of dissolved and particulate organic matter in Russian rivers entering the Arctic Ocean. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 64: 2973–2983, doi:10.1016/S0016-7037(00)00409-9.
- MAYORGA, E., AUFDENKAMPE, A. K., MASIELLO, C. A., KRUSCHE, A. V., HEDGES, J. I., QUAY, P. D., RICHEY, J. E. & BROWN, T. A. 2005. Young organic matter as a source of carbon dioxide outgassing from Amazonian rivers, *Nature*, 436: 538–541, doi:10.1038/nature03880.
- MEYBECK, M. 1981: River transport of organic carbon to the ocean. In: LIKENS, G. E., MACKENZIE, F. T., RICHEY, J. E., SEDELL, J. R. & TUREKIAN, K. K. (Eds.): *Flux of organic carbon to the Oceans*, 219–269, U. S. D. O. E. CONF – 8009140.
- MEYBECK, M. 1982: Carbon, nitrogen and phosphorous transport by world rivers. *Am. J. Sci.*, 282: 401–425.
- MIDDELBURG, J. E. & NIEUWENHUIZE, J. 1998: Carbon and nitrogen stable isotopes in suspended matter and sediments from Schelde Estuary. *Mar. Chem.*, 60: 217–225.
- MESP Ministry of Environment and Spatial Planning (Ed) 1995: *Climatology of Slovenia 1961–1990 precipitation*, Plantprint, Ljubljana: 366 p.
- MUNSON, S. A. & CAREY, E. 2004: Organic matter and transport in an agriculturally dominated temperate watershed. *App. Geochem.*, 19: 1111–1121, doi:10.1016/j.apgeochem.2004.01.010.
- SCHUSTER, P. F. & REDDY, M. M. 2001: Particulate Carbon (PC) and Particulate Nitrogen (PN).

- In: Water and Sediment Quality in the Yukon River Basin, Alaska, During Water Year 2001, Open-File Report 03-427, National Research Program, USGS, available online: <http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr03427/>.
- STALLARD, R. F. 1998: Terrestrial sedimentation and the carbon cycle: coupling weathering and erosion to carbon burial. *Glob. Biochem. Cycles*, 12: 231-257.
- SUMMERFIELD, M. A. (Ed) 1991: *Global Geomorphology, An introduction to the study of landforms*, Longman Scientific & Technical, New York: 537 p.
- ŠLEJKOVEC, Z. & KANDUČ, T. 2005: Unexpected arsenic compounds in low rank coal. *Environ. Sci. Technol.*, 39: 3450-3454.
- TIPPING, E., MARKER, A. F. H., BUTTERWICK, C., COLLETT, G. D., CRANWELL, P. A., INGRAM, J. G. K., LEACH, D. V., LISHMAN, J. P., PINDER, A. C., RIGG, E. & SIMON, B. M. 1997: Organic carbon in the Humber rivers. *Sci. Total Environ.*, 195: 345-355.
- URBANC, J. & BERČIČ, O. 1999: Aquatic macrophytes in the rivers Sava, Kolpa and Krka. *Ichthyos*, 1: 23-34.
- WEIGUO, L., ZISHENG, A., WEIJIAN, Z., HEAD, M. J. & DELIN, C. 2003: Carbon isotope and C/N ratios of suspended matter in rivers: as indicator of seasonal change in C<sub>4</sub>/C<sub>3</sub> vegetation. *App. Geochem.*, 18: 1241-1249, [doi:10.1016/S0883-2927\(02\)00249-4](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(02)00249-4).

# Praktični napotki za ugotavljanje ponikalnih sposobnosti tal

## Practical Guidelines for Water Percolation Capacity Determination of the Ground

Mihael BRENČIČ

Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Privoz 11, Ljubljana;  
e-mail: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si

Oddelek za hidrogeologijo, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, Ljubljana

Prejeto / Received 3. 2. 2011; Sprejeto / Accepted. 8. 3. 2011

*Ključne besede:* ponikanje, ponikanje padavinske vode, ponikalni poizkus, prepustnost, ponikalna sposobnost, vrtina, izkop, ponikalnice, ponikalne naprave

*Key words:* percolation, percolation of precipitation water, percolation test, permeability, percolation capacity, borehole, shaft, soakaway, percolation facilities

### Izvleček

Ponikalni poizkusi predstavljajo pomemben del projektiranja in izvedbe naprav za ponikanje čistih padavinskih vod. Z njihovo pomočjo ocenimo ponikalno sposobnost tal in predvidimo odziv ponikalnih naprav na dotok padavinskih vod. V primerjavi z drugimi *in situ* hidrogeološkimi poizkusi so ponikalni poizkusi enostavni, kljub temu pa se v praksi pri njihovi izvedbi in interpretaciji pojavljajo številni problemi. Opisani so postopki izvajanja ponikalnih poizkusov v vrtinah in v izkopih. Sledi prikaz teorije za izračun koeficienta prepustnosti pri stacionarnih in nestacionarnih ponikalnih poizkusih. Teorija je ilustrirana s primeri izračunov in interpretacij posameznih tipov krivulj znižanja, do katerih lahko pride med izvajanjem nestacionarnih ponikalnih poizkusov.

### Abstract

Determination of water infiltration capacity of ground soils and rocks represents important part of design and construction procedures of the facilities for the infiltration of clean precipitation water. With their help percolation capacity of ground as well as response of the infiltration facilities to the inflowing precipitation water is estimated. Comparing to other *in situ* hydrogeological tests they can be understood as simple. However, in every day's practice several problems during their on site application and desk interpretation can arise. Paper represents review of existing practical engineering procedures during the performance of percolation tests. Procedures are described for the borehole and shaft percolation tests execution and calculation theory for stationary and non-stationary percolation tests are given. Theory is illustrated with practical exercises. Interpretations of typical departures from theoretical presumptions according to Hvorslev test of non-stationary test are illustrated.

### Uvod

Z intenzivnim razvojem urbanih območij, kot so na primer mesta ali strnjena primestna naselja, v katerih je prisotna velika pokritost naravnih tal in kjer imamo opraviti s pomanjkanjem naravnih odvodnikov, se pogosto pojavlja vprašanje, kako in kam odvesti padavinsko vodo, ki odteka s strešnih in drugih utrjenih površin. Dodatno spodbudo ponikanju padavinskih vod na območju strnjениh pozidav predstavljajo tudi novejši pristopi k varovanju podzemne vode, ki izhajajo iz Evropske okvirne direktive o vodah in na njej temelječi nacionalni zakonodaji. V okviru teh postopkov skušamo kar v največji meri ohraniti količinsko in kemijsko stanje podzemne vode. Zaradi tega soglasodajalci s svojimi smernicami investitorje in projektante usmerjajo v to, da čisto padavinsko

vodo ponikajo v neposredni bližini načrtovanih objektov.

V današnji hidrogeološki in gradbeniški praksi opažamo vedno pogostejše zahteve za ugotavljanje ponikalnih sposobnosti tal. Hkrati se s tem pred hidrogeologe postavljajo tudi zahteve za dimenzioniranje ali za preverjanje že obstoječih ponikalnih objektov. Pri tem opažamo, da je prav v povezavi s testiranjem ponikalnih sposobnosti tal veliko vprašanj in tudi problemov, pa čeprav gre za relativno enostavno hidrogeološko problematiko, ki ne terja poglobljenega poznavanja teorije hidrodinamike poroznega medija.

Kljub temu velja poudariti, da bomo, v kolikor želimo problematiko ponikanja obravnavati natančno, v skladu z obstoječo teorijo toka vode v poroznem mediju, naleteli na velike težave, saj ponikanje praviloma izvajamo v območju tal, ki z



vodo niso zasičena. Na takšnih območjih enostavni odnosi, ki izhajajo iz Darcyvega toka in linearnih parcialnih diferencialnih enačb difuzijskega tipa, veljavnih za zasičeno območje, odpovejo. Kot primer naj navedemo, da v nenasičenem območju koeficient prepustnosti ni konstanten, spremi-nja se v odvisnosti od vlažnosti in posledičnega hidravličnega potenciala. V primeru natančne obravnave toka vode skozi nezasičeno območje potrebujemo relativno obsežne meritve različnih hidravličnih parametrov, pa tudi računski postopki niso preprosti. Teorijo toka v nezasičenem poroznem mediju bomo za dimenzioniranje ponikalnih sposobnosti tal uporabili le pri zahtevnih objektih, predvsem tam, kjer morajo imeti naše napovedi visoko stopnjo zanesljivosti. V takšnem primeru je nalogo dimenzioniranja bolje zaupati specialistu, ki bo problem reševal z numeričnim modeliranjem.

V literaturi naletimo na vrsto empiričnih enačb, s pomočjo katerih izračunamo fizikalne parametre sedimentov (zemljin). Lep primer je ocena koeficienta prepustnosti sedimenta na podlagi analize krivulje zrnivosti. Takšnim izračunom navkljub je potrebno poudariti, da noben teoretični ali empirični obrazec ne odtehta poizkusa v naravi – *in situ*. V praksi zelo pogosto naletimo na popolnoma napačno rabo teh enačb, ki je posledica neupoštevanja dejstva, da so te enačbe veljavne le na zelo ozkem pasu koeficienta enakomernosti sedimenta. Zaradi tega v dobri inženirski praksi težimo k izvedbi ponikalnih poizkusov tal. Strošek ponikalnega poizkusa je povsem zanemarljiv v primerjavi s stroški projektiranja, kaj šele v primerjavi s stroški, ki nastanejo kot posledica neustreznega dimenzioniranja ponikanja.

Za potrebe vsakdanje inženirske prakse, na primer za ponikanje padavinske vode s strešnih površin, lahko v večini primerov uporabimo enostavne pristope, ki temeljijo na preprostih fizikalnih izhodiščih in na inženirski presoji. Namen članka je tako:

- 1) opisati metodologijo izvedbe ponikalnih poizkusov na terenu,
- 2) podati osnovna teoretična izhodišča za izračun ponikalnih sposobnosti,
- 3) opozoriti na probleme pri interpretaciji ponikalnih poizkusov.

Metodologija, ki jo opisujemo, je primerna predvsem za sedimente (zemljine), v manjši meri pa tudi za nekatere, predvsem mehke kamnine (hribine). V članku so prikazani le enostavni ponikalni poizkusi. Prikaz metodike zahtevnejših ponikalnih (nalivalnih) poizkusov, kot so na primer VDP poizkusi ali impulzni – slug poizkusi, je izpuščen.

Članek je namenjen uspešni izvedbi ponikalnih poizkusov na terenu in prikazu problemov, na katere lahko pri tem naletimo. Teorija, ki jo podajamo, je že dolgo uveljavljena, čeprav ne brez slabosti. Nekateri izhodiščni viri o postopkih izračunov, ki jih navajamo, so zelo težko dostopni, ker so se koncepti razširili iz delovnih poročil in ne iz primarnih znanstvenih objav. Nekatere

enačbe je objavilo več avtorjev različnih narodnosti in v različnih časovnih obdobjih. Hkrati je potrebno poudariti, da je večino enačb, ki so podane v nadaljevanju, možno izpeljati na podlagi preprostega premisleka in poznavanja osnovnih hidrogeoloških zakonitosti. Zaradi tega, so nameroma opuščene vse reference. Avtor je le povzel znanje hidrogeologov praktikov in mu na nekaterih mestih dodal nekoliko bolj trdne teoretične temelje. Prav zaradi morebitne uporabe zapisanega v praksi so vse izpeljave prikazane pojasnjevalno in s poenostavljenim matematičnim aparatom.

Čeprav namen članka ni razprava o terminologiji, se na tem mestu velja nekoliko pomuditi tudi pri tem vprašanju. Poizkusi, s katerimi ugotavljamo ponikalne sposobnosti tal, niso poimenovani enotno. Strokovnjaki različnih profilov uporabljajo različno izrazje, prav tako pa tudi znotraj posameznih strok poimenovanja niso usklajena. Če pustimo v nemar terminološka razhajanja in razlike pri razumevanju izrazov kot so poizkus, poskus, preizkus in test bomo v vsakdanji praksi zasledili izraze ponikalni, nalivalni ali požiralni poizkus. Izraz ponikalni poizkus uporabljamo predvsem takrat, ko nas zanima ponikanje čiste padavinske vode, predvsem s strešnih površin. Izraz požiralni poizkus se uporablja redkeje, predvsem takrat, kadar testiramo kapaciteto različnih tipskih požiralnikov. Izraz nalivalni poizkus pa uporabljamo takrat, ko merimo hidravlične karakteristike sedimentov ali kamnin in so te meritve namenjene splošni geotehnični ali hidrogeološki karakterizaciji geološkega medija. Fizikalno in tehnično gledano med temi poizkusi ni razlike. Metodologija izvedbe in modeli toka vode za izračun hidravličnih parametrov so si pri teh poizkusih med seboj podobni ali celo identični. Ker nas v našem članku zanima le ponikanje, bomo v članku uporabljali izraz ponikalni poizkus. Vrtino ali izkop, v katerem izvajamo poizkus, bomo imenovali testni objekt.

### **Metodologija terenske izvedbe ponikalnih poizkusov**

#### *Priprava na poizkus*

Ponikalne poizkuse izvajamo v:

- a) vrtinah,
- b) izkopih.

Poizkusi v izkopih se izvajajo na globinah do 5 m, le redko na večjih globinah, saj to zahteva razpiranje izkopa ali kopanje v etažah. Vrtine izvajamo v primerih, ko želimo podatke iz globlin, večjih od 5 m. Izkopi se izvedejo s strojnimi (bagerskim) izkopom, vrtine pa se izvedejo z vrtalno garnituro. Bagerski izkopi so praviloma cenejši od sondažnih vrtin, za izvedbo katerih potrebujemo kvalificirane izvajalce. Če poizkuse izvajamo na gradbišču, so nam gradbeni stroji že na razpolago in tako izkop ne predstavlja dodatnih stroškov.

Kot pri vsakem terenskem zbiranju podatkov in vzorčenju moramo tudi pri izvajanju ponikalnih

sposobnosti sedimentov in kamnin poskrbeti za ustrezno dokumentiranje in zbiranje podatkov. V ta namen imamo že ob odhodu na teren pripravljene merilne naprave (npr. merilec nivojev podzemne vode, tlačne sonde ipd.) ter dokumentacijo. Najbolje je, da si že pred odhodom na teren pripravimo ustrezne obrazce in opomnike, ki nam bodo omogočili, da bomo zbrali vse, za interpretacijo ponikalnega poizkusa, relevantne podatke.

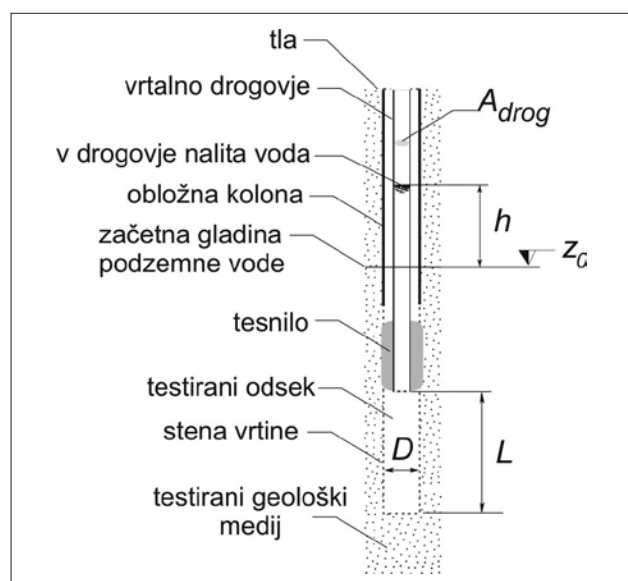
Tako kot tudi pri drugih geoloških in geomehanskih raziskavah, je tudi za interpretacijo ponikalnih poizkusov potrebno razpolagati z dobrim geološkim popisom jedra ali izkopanega materiala. Poleg standardnih zahtev moramo biti pri popisu pozorni zlasti na razmerje med drobnozrnatimi in debelo-zrnatimi frakcijami sedimenta. Če je le mogoče, pri tem opazujemo tudi njegovo teksturo; ugotavljamo ali debela zrna plavajo znotraj drobnih zrn – sediment z muljasto oporo (ang. mud supported texture) ali pa močno prevladujejo debela zrna – sediment z zrnsko oporo (ang. grain supported texture). Pri izvajanju ponikalnih poizkusov se je potrebno zavedati dejstva, da sedimenti ali kamnine niso homogeni in izotropni, zato je pomembno, da si pred in med izvajanjem poizkusa zabeležimo podatke o takšnih pojavih. Zlasti pri plitvih izkopih smo pozorni na pojave korenin ali rogov, ki jih izkopljejo živali (t.i. bioturbacija). Ti pojavi zelo vplivajo na oceno prepustnosti sedimenta in lahko v veliki meri zameglijo dejanske ponikalne značilnosti in imajo za posledico napačno dimenzioniranje ponikalnih objektov.

Pri vsakem ponikalnem poizkusu je zaželeno, da odvzamemo tudi vzorce za določitev zrnivosti sedimenta. S pomočjo rezultatov teh analiz lahko z izkustvenimi enačbami ocenimo koeficient prepustnosti sedimenta. Te ocene obravnavamo kot vzporeden rezultat s katerim kontroliramo naše meritve, tako pridobljene vrednosti pa ne morejo biti nadomestilo za izvedbo in situ poizkusov. Po presoji odvajamo tudi vzorec za mineraloško analizo, predvsem takrat, ko predvidevamo prisotnost nabreklih mineralov (npr. montmorilonitne gline) ali lahkotopnih mineralov (npr. sadera). Sestavni del dobro dokumentiranega popisa so tudi dobre fotografije. Pri tem posnamemo ožjo in širšo lokacijo, na kateri izvajamo poizkus. Pri testiranju v vrtinah fotografiramo jedro, pri čemer ne smemo pozabiti na oznake, ki pojasnijo, za kateri interval jedra gre, in na njegovo orientacijo. Izkop fotografiramo iz različnih zornih kotov, pri čemer fotografiramo vse stene, dno pred in po koncu izvajanja poizkusa in izkopan material.

Poleg zgoraj navedenih informacij o testiranem sedimentu ali kamnini je za ustrezno interpretacijo rezultatov ponikalnega poizkusa potrebno natančno poznati geometrijo vrtnice ali izkopa. Brez teh podatkov je ustrezna in strokovno utemeljena interpretacija ponikalnega poizkusa nemogoča.

Odločitev o geometriji testnega objekta sprejememo v fazi načrtovanja ponikalnega poizkusa in priprave idejnih zasnov ponikalnih objektov. Velikost je odvisna od razpoložljive tehnologije za pri-

pravo testnega objekta, od ocene volumna, grobe – ekspertne ocene prepustnosti ter pretoka vode, ki jo je potrebno ponikati. Pri večjih volumnih ponikane vode težimo k večjim testnim objektom. Pri vrtinah, ki se izvajajo za potrebe geološko geomehanskih raziskav, je ponikalni poizkus le eden od poizkusov v množici drugih, zaradi česar hidrogeolog na geometrijo testiranega odseka le stežka vpliva. V takšnem primeru je pomembna natančna obdelava rezultatov ponikalnega poizkusa in njegova interpretacija. Pri vrtini zabeležimo interval globine testiranega odseka, premer testiranega odseka ter notranje premere cevi v katerih opazujemo znižanje v vrtino nalite vode. Zabeležimo tudi podatke o morebitni uporabi tesnil (ang. packer) in njihovih značilnostih (npr. tlak s katerim je tesnilo napihnjeno). Pri testiranju v izkopih natančno zabeležimo njihovo globino in tlorisne dimenzije; širino in dolžino. Osnovna geometrija vrtnice je prikazana na sliki 1.



Sl. 1. Splošni prikaz geometrije vrtnice pri ponikalnem poizkusu

Poleg geometrije je zelo pomemben tudi podatek o pojavu podzemne vode v testnem objektu. Včasih je podzemna voda v vrtini ali izkopu prisotna, včasih pa je testni objekt suh. Pred začetkom poizkusa z merilcem nivojev podzemne vode zabeležimo globino do podzemne vode, nato pa to globino pretvorimo bodisi v kote, bodisi v referenčno višino nad začetno gladino podzemne vode. Podajanje višin je odvisno od ciljev in narave interpretacije ponikalnega poizkusa. Pri izkopih, kjer dno vidimo s površine, je prisotnost vode očitna, pri vrtinah pa temu ni tako. Tudi podatek, da vode v poizkusnem objektu ni, je zelo pomemben. Pri zelo slabo prepustnih sedimentih moramo upoštevati, da je tudi v primeru prisotnosti podzemne vode njeno izcejanje zelo počasno, kar lahko vpliva na potek izvajanja poizkusa in na njegovo kasnejšo interpretacijo. V takšnih primerih se izvajalec poizkusa odloči, ali bo s testiranjem začel nekoliko kasneje in s tem vodi omogočil, da se izcedi, ali pa bo spremenil geometrijo testnega objekta, tako da bo zmanjšal njegov volumen.

Pri izvajanju ponikalnih poizkusov je pomembno, da izkop ali vrtino pred nalivanjem uravnomožimo. To pomeni, da izkop ali vrtino pustimo nekaj časa stati. Takšno čakanje je namenjeno temu, da se v testni objekt nateče morebitna podzemna voda in da se nivoji podzemne vode v objektu in njegovi okolici uravnomožijo. Pri zrnastih sedimenta večjih od peska je priporočljivo čakanje do 10 minut, pri peskih od 10 min do 20 minut, pri zrnastih manjših od peska pa vsaj 30 min in več. Pri nekaterih vrstah ponikalnih poizkusov je poadek o gladini podzemne vode možno pridobiti s pomočjo dodatne interpretacije, vendar je ta vedno podvržena veliki negotovosti in jo uporabimo le v skrajni sili.

### *Izvedba ponikalnega poizkusa*

Pred izvedbo ponikalnega poizkusa se moramo odločiti kakšne vrste poizkus bomo opravili. V grobem poznamo:

- a) stacionarne ponikalne poizkuse,
- b) nestacionarne ponikalne poizkuse.

Pri stacionarnih poizkusih vodo v testni objekt nalivamo ob znanem dotoku – pretoku  $Q$  in vzdržujemo konstantno višino vode  $h$  v testnem objektu. Pri nestacionarnih nalivalnih poizkusih vodo v testni objekt nalijemo do neke poljubne višine  $h_{max}$ , nato pa opazujemo znižanje nalite vode  $\Delta h$  v odvisnosti od časa  $t$ . Stacionarne nalivalne poizkuse izvajamo zlasti tam, kjer bo ponikanje potekalo preko zadrževalnika padavinske vode, nestacionarne ponikalne poizkuse pa tam, kjer bo voda v ponikalni objekt dotekala v časovno spremenljivi obliki in kjer lahko dotok padavinske vode opišemo s hidrogramom padavinskega dogodka. Pomembna omejitev pri izvajanju stacionarnih ponikalnih poizkusov je razpoložljivost vode za testiranje. Stacionarni poizkusi praviloma terjajo večje količine vode, ki je zlasti na območjih, kjer gradbišče še ni vzpostavljeno, ni mogoče zagotoviti. Prav tako so zahtevnejši tudi s stališča opreme za izvedbo.

Če je pretok ponikanja pri stacionarnih poizkusih večji od 10 L/s v testiranem objektu nivo vode vzdržujemo 5 minut, če je pretok ponikanja večji od 1 L/s, 15 minut in 30 minut, če je pretok ponikanja manjši od 1 L/s. Navkljub temu, da smo izvedli stacionarni poizkus, po končanem nalivanju izvedemo opazovanje znižanja nalite vode. Analiza znižanja nam služi za kontrolo rezultatov stacionarnega poizkusa in morebitno dodatno analizo robnih pogojev, ki vplivajo na ponikanje. Pri nestacionarnih ponikalnih poizkusih vodo v testni objekt pogosto nalijemo do površine – kote tal. V večini primerov pri interpretaciji to ne predstavlja problemov. Problemi se lahko pojavijo pri globokih testnih objektih (globljih od 50 m), kjer lahko z nalivanjem do površine ustvarimo relativno visoke hidrostatične tlake, zaradi katerih pride do turbulentnega toka v testirani odsek ali celo do porušitve testiranih odsekov oziroma obtekanja tesnil ali začasne cevov, ki ločujejo te-

stirani odsek od ostalih odsekov testnega objekta. V takšnem primeru se višino nalivanja določi na podlagi ciljev poizkusa in na podlagi predhodne presoje, do katere višine se bo voda dvignila v realnem ponikalnem objektu.

Ponikalne poizkuse izvajamo s čisto vodo. Zelo pogosta napaka pri izvajanju ponikalnih poizkusov je uporaba onesnažene vode. Do te napake zelo pogosto pride, ko na delovišču ni hidrantnega omrežja in je vodo potrebno pripeljati od drugod. Če je za ta namen uporabljena cisterna ali rezervoar, ki služi drugačnim namenom kot prevozu čiste vode (npr. gnojenju ali prevozu gnojevke), bo voda onesnažena. Takšna voda ima drugačno viskoznost kot čista voda, vsebuje pa tudi suspendirane delce, ki kolmatirajo – zamašijo pore sedimenta ali kamnine v testiranem objektu. Na deloviščih, kjer gradbišče še ni odprto, se za namene ponikalnih poizkusov pogosto uporablja tudi voda iz bližnjega potoka. V primeru uporabe takšne vode je potrebno zagotoviti, da se iz potoka ne črpa voda s suspendiranimi snovmi. Najbolje je, da se voda prečrpa v rezervoar, v katerem se odsede in šele nato nalije v testni objekt. Poizkus, opravljen z onesnaženo vodo, bo dal pristranske rezultate, praviloma nižje vrednosti prepustnosti in ponikalnosti, kot bi jih dobili s čisto vodo.

Vse meritve ponikalnih poizkusov izvajamo z elektronskimi merilniki, ki so danes na tržišču dostopni po ugodnih cenah. Pri nestacionarnih ponikalnih poizkusih uporabljamo tlačne sonde z zapisovalcem podatkov (data loggerjem). Na trgu so na voljo tlačne sonde z zelo različno občutljivostjo. Občutljivost sonde je odvisna od narave izvajanja ponikalnega poizkusa. Pri običajnih nestacionarnih ponikalnih poizkusih v izkopih in deloma tudi v vrtinah uporabljamo tlačne sonde z občutljivostjo 1 bara. Če izvajamo poizkuse na večjih globinah uporabimo sonde z manjšo občutljivostjo in večjo odpornostjo (10 m, 20 m in 100 m sonde). Pri izvedbi poizkusa je pomembna tudi hitrost odčitavanja meritev. Priporočeni maksimalni interval med odčitki je 10 sekund, za natančno interpretacijo pa je smiselno uporabiti krajše intervale odčitkov na vsaj 2 sekundi. Glede na dostopnost in nizke cene elektronskih merilcev je v današnjem času uporaba ročnih meritev nesprijemljiva. Te meritve uporabimo le še izjemoma, ko moramo na gradbišču opraviti hiter ponikalni poizkus in pri roki nimamo ustrezne opreme. Meritve, ki jih opravimo z elektronsko opremo, so pri interpretaciji rezultatov poizkusa zelo dragocene.

Med izvajanjem ponikalnega poizkusa bodisi v vrtini bodisi v izkopu beležimo vse posebnosti in dogodke, ki bi lahko vplivali na interpretacijo rezultatov poizkusa. Zabeležimo morebitne zruške testiranih odsekov. V redkih primerih med izvajanjem ponikalnega poizkusa gladina nalite vode zaniha ali pa se celo dvigne. Slednje se pogosto dogodi takrat, ko v slabše prepustnih sedimentih ali kamninah nismo počakali dovolj časa, da bi se testni objekt uravnomožil z okolico. Do nihanja gladine v vrtino nalite vode prihaja tam, kjer izvajamo poizkuse v zaprtih vodonosnih strukturah in so v okolici prisotni viri dinamičnih obremenitev



(npr. ob železniških progah ali ob avtocestah) ali pa tam, kjer imamo opraviti s slabo prepustnimi sedimenti. Takšne dogodke zabeležimo in jih pri kasnejši obdelavi poizkusa poizkušamo interpretirati. Če med izvajanjem poizkusa pride do takšnega dogodka, je najbolje, da testirani odsek očistimo in ponikalni poizkus ponovimo.

#### *Izvajanje ponikalnih poizkusov v vrtinah*

Na reprezentativnost ponikalnih poizkusov v vrtinah v veliki meri vpliva tehnologija vrtnanja. Če nam tehnologija vrtnanja dopušča in so geološke razmere (lega in zaporedje plasti) na testiranem območju dobro poznane, vrtino izvrtamo z izpihavanjem izvrtanine s stisnjanim zrakom (npr. rotacijsko-udarno vrtnanje s sprotnim cevljenjem). V kolikor to ni mogoče, se testirani interval izvrtava z vodo kot izplačnim medijem. Testirani odseki vrtin, ki so bile izvrtane z izplačnimi tekočinami, se izogibamo. V takšnih primerih ponikalne poizkuse izvedemo le izjemoma. Pred ponikalnim poizkusom v vrtini, ki je bila izvrtana s pomočjo polimerne izplake, mora biti izveden obrat viskoznosti izplake, testirani odsek pa temeljito izpran z vodo. Ponikalni poizkusi, ki so izvedeni v vrtinah izvrtanih z bentonitno izplako, so pristranski. Testiranje odsekov vrtin, ki so bile izvrtane z izplačnimi tekočinami, je problematično tudi zaradi tega, ker je testirani odsek potrebno predhodno pripraviti z izpiranjem, pri tem pa lahko pride do rušenja sten vrtin in s tem do spremembe geometrije testiranega odseka, česar pa s površja ne moremo zaznati. V najslabšem primeru to povzroči težave pri nadaljnjem vrtnanju. Pri uporabi izplake v vrtinah, ki so namenjene hidrogeološkemu testiranju, je pomembno dobro sodelovanje med tehnologom – glavnim inženirjem vrtalne garniture in izvajalcem ponikalnih poizkusov – hidrogeologom.

Pogosta napaka pri izvajanju nalivalnih poizkusov v vrtinah je neustrezna uporaba vrtalnega drogovja in obložnih kolon. V vrtinah le izjemoma izvajamo testiranje v nezacevljenih vrtinah. Zaradi preprečevanja porušitve so testirane vrtine zacevljene z obložnimi kolonami. Če izvajamo nestacionarni ponikalni poizkus v vrtini zacevljeni z obložno kolono težimo k temu, da imamo v predelu, v katerega smo nalili vodo, enoten prečni profil cevitve. V ta namen uporabljamo vrtalno tankostensko drogovje tipa Q (npr. HQ, BQ ipd.). Če se prečni profil v predelu, kjer opazujemo upadanje v kolono nalite vode, spremeni, se nam bo spremenila tudi hitrost upadanja nivoja vode. V primerih, ko moramo testirane odseke izolirati s tesnili, vodo v testirani odsek nalivamo skozi vrtalno drogovje, na katerem je obešeno tesnilo (sl. 1). Tudi v tem primeru mora biti prečni profil vrtalnega drogovja, v katerega nalivamo vodo in opazujemo znižanje, enakomeren. Uporaba debelostenskega drogovja s spojnicami zaradi katerih so znotraj prisotne zožitve, ni priporočljiva.

Pri nekaterih vrtinah v nekonsolidiranih sedimentih stabilnosti sten vrtine ne moremo zagotoviti (npr. pri izvedbi nalivalnih poizkusov v pro-

dno peščenih plasteh). V takšnem primeru v vrtino vstavimo filtre, ki preprečujejo rušenje sten. Pri tem moramo uporabiti takšne filtre, ki so za



Sl. 2. Prikaz izkopa opremljenega z mersko lato



Sl. 3. Izkop pripravljen na izvajanje ponikalnega poizkusa – dotočna cev z zaščito sonde (foto Z. Bole)

nekaj velikostnih redov prepustnejši od testirane-ga medija. S tem bomo zagotovili, da hidravlične izgube, ki nastanejo na režah filtrov, ne bodo imele vpliva na izvedbo nalivalnega poizkusa. Te pogo-je praviloma zlahka zagotovimo, kljub temu pa je prepustnost filtrov potrebno predhodno testirati. Poizkus izvedemo tako, da dno filtrske cevi za-remo in vanjo nalijemo vodo. V notranjosti filtr-ske cevi opazujemo hitrost znižanja nivoja nalite vode. Pri filtrih z zelo visokim deležem odprtih prepustnosti ne bomo mogli izmeriti.

Način izvedbe ponikalnih poizkusov v vrtinah in zaporedje opravil lahko strnemo v naslednje korake:

- a) Testirani odsek vrtine ustrezno pripravimo z izpiranjem in odstranitvijo morebitne iz-plake.
- b) Preverimo prehodnost vrtine. Ta postopek praviloma opravimo z merilcem nivojev pod-zemne vode ali utežjo tako, da ga spustimo do dna vrtine. Med spuščanjem smo pozorni na morebitne ovire. če je prisotna podzemna voda, izmerimo globino do podzemne vode.
- c) V vrtino spustimo merilno sondo. Zaradi var-nosti sondo obesimo tik nad testirani odsek vrtine. Vrtina mora biti ustrezno opremljena, zaščiten s obložnimi cevmi, testiranju v ne-zacevljenih vrtinah se izogibamo.
- d) V vrtino nalijemo čisto vodo. če je le mogoče, skušamo izmeriti ali oceniti pretok vode, ki jo nalivamo v vrtino. Z merilno sondo opa-zujemo dvig nivoja nalite vode v vrtino.
- e) Pričnemo s ponikalnim poizkusom. Izvede-mo bodisi stacionarni bodisi nestacionarni ponikalni poizkus.
- f) Če izvajamo nestacionarni ponikalni poiz-kus, ga vsaj dvakrat ponovimo. Priporočljivo je, da poizkus izvajamo toliko časa, da nivo nalite vode upade na nivo pred začetkom po-izkusa. Pri nizkih prepustnostih, kjer je zni-žanje nivoja podzemne vode zelo počasno, posamezno fazo poizkusa izvajamo vsaj pol ure.
- g) Odstranimo merilno opremo.
- h) Preverimo prehodnost vrtine po končanem testiranju.

#### *Izvajanje ponikalnih poizkusov v izkopih*

Pri izvajanju ponikalnih poizkusov v izkopih, je potrebno posvetiti pozornost varnosti izvajalca poizkusa. V nepodprte izkope, globlje od 1,5 m, ne vstopamo, zato vsa dela in vse meritve opravimo s površine. Meritve opravimo z mersko lato (sl. 2), ustrezno dolgim merskim trakom ali laserskim merilcem razdalj. V primeru prisotnosti podzem-ne vode, ta počasi meži iz sten izkopa, zaradi česar lahko pride do rušenja sten (sl. 4 in sl. 5). Takšna porušitev je pogosto zelo hitra. V takšnem prime-ru izkoplujemo širši izkop, da nam med izvajanjem poizkusa ne zasuje merske sonde in da spre-mnjena geometrija izkopa ne vpliva na potek in na kasnejšo interpretacijo poizkusa. Zasutju sonde se izognemo tako, da sondo vstavimo v perforirano cev (sl. 3).



Sl. 4. Primer porušenega izkopa v spodnjem delu pod slabo prepustnim pokrovom (foto T. Matoz)



Sl. 5. Primer porušenega izkopa v spodnjem delu izkopa v prodno peščenih plasteh (foto Z. Bole)

Pri izkopu stene izkopa oblikujemo čim bolj vertikalno. Izkop mora biti v predelu, kjer bomo izvedli poizkus, oblikovan v obliki kvadra, ki mu natančno določimo dimenzije. Izkopov nepravilnih ali ovalnih oblik se pri izvajanju ponikalnih poizkusov izogibamo.

Način izvedbe ponikalnih poizkusov v izkopih in zaporedje opravil lahko strnemo v naslednje korake:

- a) Izvedemo izkop.
- b) Izmerimo dimenzije izkopa, izvedemo popis in fotografiramo izkop ter izkopan material.
- c) Izmerimo globino do podzemne vode.
- d) V izkop vstavimo merilno sondo, ki jo zaščiti-mo pred zruškom sten tako, da jo vstavimo v perforirano cev.
- e) V izkop nalijemo čisto vodo. če je le mogoče, skušamo izmeriti ali oceniti pretok vode, ki jo nalivamo v izkop. Z merilno sondo opa-zujemo dvig nivoja nalite vode v izkop.
- f) Pričnemo s ponikalnim poizkusom. Izvede-mo bodisi stacionarni bodisi nestacionarni ponikalni poizkus.
- g) Če izvajamo nestacionarni ponikalni poiz-kus, poizkus ponovimo. Priporočljivo je, da poizkus izvajamo toliko časa, da nivo nalite vode upade na nivo pred začetkom poizkusa



ali pa da se izkop posuši. Pri nizkih prepustnostih, kjer je znižanje nivoja nalite vode zelo počasno, posamezno fazo poizkusa – vsako nalivanje, izvajamo vsaj pol ure.

- h) Odstranimo merilno opremo.
- i) Preverimo geometrijo izkopa po končanem poizkusu.

### Teoretična izhodišča

Teorija ponikalnih (nalivalnih) poizkusov je zelo kompleksna in skoraj tako obsežna kot teorija črpalnih poizkusov. Tako kot v primeru slednjih, so tudi pri ponikalnih poizkusih na razpolago enostavne metode, kot tudi zelo kompleksne in zahtevne metode. Na tem mestu bomo podali le nekaj osnovnih in najpogosteje uporabljenih metod obdelave ponikalnih poizkusov v vrtinah ali izkopih, ki se prav zaradi enostavnosti uporabljajo v vsakdanji praksi dimenzioniranja ponikalnih objektov.

#### Teorija nestacionarnih ponikalnih poizkusov v vrtinah

Stacionarni tok vode v zasičenem poroznem mediju opišemo z Darcyevim zakonom, ki podaja odvisnost med volumskim pretokom  $Q$  vode skozi dano površino  $A$  in hidravličnim gradientom  $dh/dr$ , kjer je  $h$  hidravlična ali piezometrična višina in  $r$  razdalja v cilindričnem koordinatnem sistemu. Če Darcyjevo enačbo v skladu z Dupuitovo hipotezo zapišemo v cilindričnem koordinatnem sistemu sledi:

$$Q = -KA \frac{dh}{dr} = -2\pi rh(r)K \frac{dh}{dr} \quad (1)$$

Za nestacionarne ponikalne poizkuse v praksi najpogosteje uporabimo enačbo Hvorsleva, ki temelji na predpostavki, da voda, nalita v testirani odsek cilindrične oblike, odteka skozi linearni rezervoar. Zanj je značilno, da je hitrost upadanja nivoja vode premosorazmerna višini nalite vode. Pri izpeljavi enačbe po Hvorslevu izhajamo iz bilančne enačbe, ki podaja pretok v vrtalnem drogovju in pretok ponikanja v testiranem odseku. Pretok vode v vrtalnem drogovju  $Q_{drog}$ , skozi katerega nalivamo vodo opredelimo kot:

$$Q_{drog} = A_{drog} \frac{dh}{dt} = \pi \frac{d_{drog}^2}{4} \frac{dh}{dt} \quad (2)$$

kjer je  $A_{drog}$  prečni presek drogovja, v katerega nalivamo vodo, in  $d_{drog}$  premer drogovja. Pretok skozi testirani odsek  $Q_{odsek}$  določimo s pomočjo Darcyevega zakona po enačbi (1):

$$Q_{odsek} = -KA \frac{dh}{dr} \quad (3)$$

Ker imamo pri ponikalnih poizkusih v testiranih odsekih pogosto opraviti z zelo raznolikimi

geometrijami, Darcyev zakon zapišemo nekoliko drugače. Uvedemo faktor oblike  $F$  in enačbo (3) poenostavimo:

$$Q_{odsek} = -KFh \quad (4)$$

$F$  zajame tako obliko testiranega odseka kot tudi vpliv hidravličnega gradienta na tok vode. Gradient tako v zgornji enačbi zajamemo le posredno s hidravlično višino  $h$ , ki predstavlja razliko med tlakom v vrtini in tlakom v nemotenem vodonosniku. Iz načela zveznosti izhaja, da sta  $Q_{drog} = Q_{odsek}$  in od tod iz enačb (3) in (4) sledi:

$$\pi \frac{d_{drog}^2}{4} \frac{dh}{dt} = -KFh \quad (5)$$

Enačba (5) je preprosta diferencialna enačba z ločljivimi spremenljivkami. Če imamo opraviti z robnimi pogoji, kjer je ob času  $t = t_1$ ,  $h = h_1$  in ob času  $t = t_2$ ,  $h = h_2$  sledi:

$$\pi \frac{d_{drog}^2}{4} \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = -KF \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (6)$$

in rešitev enačbe (6) se glasi:

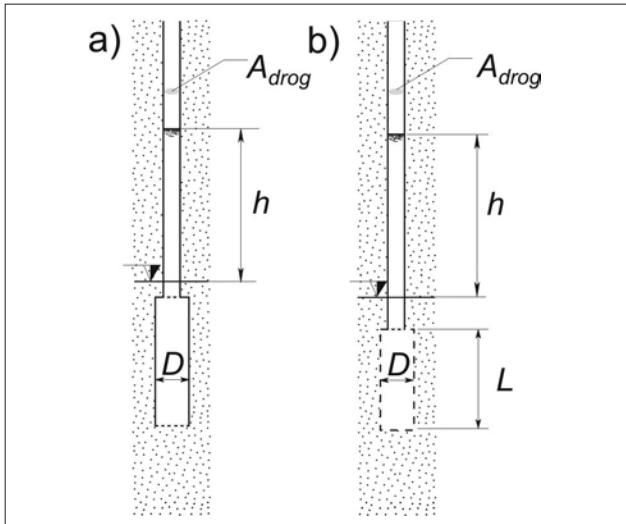
$$K = \frac{A_{drog}}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} = \frac{\pi d_{drog}^2}{4F\Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (7)$$

Nekoliko poenostavljeno enačbo (7) zapišemo v bolj tradicionalni obliki zapisa po Hvorslevu:

$$K = \frac{A_{drog}}{F\Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (8)$$

Faktor  $F$  je odvisen od geometrije vrtine in testiranega odseka. Teoretično faktor oblike določimo z rešitvijo osnovne enačbe toka podzemne vode v cilindričnem ali eliptičnem koordinatnem sistemu, vendar na tem mestu zaradi matematične zahtevnosti izpeljave ne bomo podali. Velik del faktorjev oblike, na katere bomo naleteli v literaturi, je določen eksperimentalno. V vsakdanji praksi uporabljamo le nekaj faktorjev oblike  $F$ , ki jih najdemo v ustreznih priročnikih. Najpogostejše geometrije testiranih odsekov v vrtinah so prikazane na sliki 6. Na levi strani (sl. 6a), je prikazana geometrija v primeru, ko vodo nalivamo le skozi dno vrtine, v tem primeru potrebujemo le podatek o premeru testiranega odseka  $D$ , o višini nalite vode  $h$  nad statičnim nivojem podzemne vode in površini prečnega prereza  $A_{drog}$  vrtalnega drogovja, v katerem opazujemo višino ali znižanje v vrtino nalite vode. Na desni strani (sl. 6b) je prikazana geometrija, ko nalivanje izvajamo v odprt odsek vrtine dolžine  $L$  in premera  $D$ , tudi tukaj imamo opraviti s prerezom  $A_{drog}$ . Za relativno grobo oceno hidravličnih značilnosti testiranega geološkega medija lahko prikazane sheme (sl. 6) uporabimo tako v primeru prisotnosti gladine podzemne vode, kot v primeru, da je vrtina suha. Če je vrtina suha, višino  $h$  računamo od sredine testiranega odseka  $L$ , pri ponikanju le v dno vrtine pa od dna.





Sl. 6. Prikaz najpogostejših geometrij pri izvajanju ponikalnih poizkusov

Vsaka od podanih geometrij testiranih odsekov ima svoj geometrijski faktor  $F$ . Za primer nalivanja vode v vrtino, kjer je odprto le dno (sl. 6a), preostali del vrtine pa je zacevljen, je primeren faktor oblike:

$$F = 2,75D \quad (9)$$

Zgornji faktor oblike (9) lahko uporabimo tudi v primeru, ko nalivamo v izkrop v katerega smo vstavili polno cev ali sod brez dna in ju nato obsuli z izkopanim materialom. V primeru, ko vodo nalivamo v odprt odsek vrtine, kot to prikazuje (sl. 6b), pa uporabimo geometrijski faktor:

$$F = \frac{2\pi L}{\ln(2L/D)} \quad (10)$$

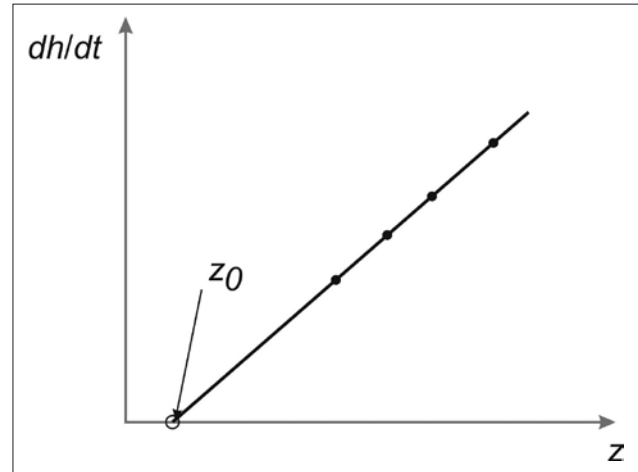
Obstajajo pa tudi drugačne geometrije testiranih odsekov in s tem tudi drugačni faktorji oblike  $F$ , ki jih lahko najdemo v literaturi. Pri nestacionarnih ponikalnih poizkusih velja omeniti še metodo za določitev nivoja gladine podzemne vode, za primer, ko je bila voda v vrtini prisotna, pa tega podatka nimamo na razpolago. Metoda izhaja iz enačbe (5) kjer imamo na levi strani podano hitrost znižanja v vrtino nalite vode  $dh/dt$  na desni strani pa višino  $h$ . Če enačbo preuredimo v nizu tako da je:

$$\frac{dh}{dt} = -\frac{K4F}{\pi d_{drog}^2} h \quad (11)$$

$$c = -\frac{K4F}{\pi d_{drog}^2} \quad (12)$$

$$\frac{dh}{dt} = -ch \quad (13)$$

Iz enačbe (13) vidimo, da je hitrost upadanja v vrtino nalite vode linearno odvisna od višine. Če nanesimo hitrost upadanja  $dh/dt$  v diagram odvisnosti od absolutne kote gladine vode  $z$  nalite



Sl. 7. Prikaz ocene začetnega nivoja podzemne vode

v drogovje, kot to prikazuje slika 7, bo odnos v tem diagramu opredeljen kot premica. Absolutna kota gladine podzemne vode je definiran kot  $z = z_0 + h$ , kjer je  $z_0$  gladina podzemne vode pred nalivanjem.

Iz enačbe (13) in definicije kote gladine podzemne vode izhaja, da je v primeru  $dh/dt = 0$ ,  $h = 0$ , ter  $z = z_0$ . Če nanesimo v diagram realno hitrost zniževanja v vrtino nalite vode v odvisnosti od kote in dobljeno premico ekstrapoliramo do  $dh/dt = 0$ , dobimo oceno začetne gladine podzemne vode. Ker lahko v praksi pri dejanski izvedbi meritvev izračunamo le hitrost med dvema meritvama  $dh/dt = h_2 - h_1 / (t_2 - t_1)$ , kot oceno trenutne višine  $h$  upoštevamo  $h_{\text{сред}} = (h_1 + h_2) / 2$ .

#### Teorija stacionarnih ponikalnih poizkusov v vrtinah

Pri podajanju teorije ponikalnih poizkusov v vrtinah pri stacionarnem režimu se v inženirski praksi praviloma uporablja le ena enačba, za katero pa literatura večinoma ne poroča o izpeljavi in njenem teoretičnem ozadju. Del literaturnih virov to enačbo razume kot empiričen obrazec, ki se je v praksi izkazal kot najustreznejši. Enačbo je možno izpeljati s pomočjo predpostavk o idealnem vodnjaku na podlagi Dupuitove teorije, vendar ta izpeljava ne zdrži resne teoretične presoje. Iz tega sledi, da je enačbo potrebno obravnavati predvsem kot empirično. Kljub temu si to izpeljavo zaradi razjasnitve narave enačbe oglejmo nekoliko podrobneje.

Predpostavimo, da imamo opraviti s hidrodinamsko zaprto vodonosno strukturo za katero velja Darcyev zakon, zapisan po Dupuitu:

$$Q = AK \frac{dh}{dr} = 2\pi rBK \frac{dh}{dr} \quad (14)$$

kjer imamo, poleg že uveljavljenih oznak, še debelino vodonosne strukture ali testnega odseka  $B$ . Zaradi lažje izpeljave, enačbo (14) pišemo kot pozitivno, za razliko od enačbe (1), ki jo pišemo kot negativno. Če so robni pogoji postavljeni v mejah od  $h = h$  in  $h = 0$  ter  $r = r_{\text{test}}$

$r = R$ , kjer je  $R$  radij vpliva vrtine, potem se ob dejstvu, da imamo ponovno preprosto diferencionalno enačbo z ločljivimi spremenljivkami, rešitev (14) glasi:

$$Q \int_{r_{test}}^R \frac{dr}{r} = 2\pi BK \int_0^h dh \quad (15)$$

in tako sledi:

$$Q = 2\pi KB \frac{h}{\ln(R/r_{test})} \quad (16)$$

Uvedemo še nekaj zelo grobih predpostavk. Dolžino testiranega odseka  $L$  izenačimo z debelino  $B$  in radij vpliva vrtine  $R$  prav tako z dolžino testiranega odseka  $L$ , polmer  $r$  pa nadomestimo s premerom  $D$  potem sledi izraz za stacionarni ponikalni poizkus:

$$K = \frac{Q}{2\pi Lh} \ln \frac{2L}{D} \quad (17)$$

kjer je  $Q$  – pretok nalivanja,  $L$  – dolžina testiranega odseka,  $D$  – premer testiranega odseka,  $h$  – višina nalite vode nad gladino podzemne vode. Po delu literaturnih virov naj bi bila enačba veljavna le v primeru, ko je dolžina testiranega intervala  $L$  večja od 5 premerov  $D$  testiranega odseka.

Poglejmo natančneje, kaj s tako grobo izpeljavo storimo. Predpostavimo, da je tok vode iz testiranega odseka v okolico vrtine horizontalen in da vpliv nalivanja seže le do radija  $R$ , ki ustreza dolžini testiranega odseka  $L$ . Že preprosta presoja dejanskih hidravličnih razmer v okolici testirane vrtine pokaže, da so to zelo grobe predpostavke in poenostavitve, ki deloma veljajo le za enostavne geometrije vodonosnih struktur.

Enačbo (17) bomo v literaturi srečali pod zelo številnimi imeni. V slovenski hidrogeološki praksi in tudi v delu anglosaksonske strokovne literature je najbolj poznana pod imenom Lefrancova enačba. Del nekdanje jugoslovanske hidrogeološke literature jo je po zgledu ruske imenoval Nasbergova enačba. V anglosaksonski literaturi to enačbo zasledimo kot enačbo USBR – *Earth Manual*. Nekatera od teh imen se občasno uporabljajo tudi za nestacionarne poizkuse.

V slovenski hidrogeološki praksi naletimo tudi na empirično enačbo imenovano Barbedette-jeva enačba:

$$K = 0,366 \frac{Q}{Lh} \log \frac{L}{r} \quad (18)$$

kjer je pomen oznak enak kot predhodno, v enačbi nastopa le polmer testiranega odseka  $r$ . Z malce aritmetike se izkaže, da gre za enak zapis enačbe kot pri (17). Enačbi (17) in (18) se med seboj razlikujeta le v pretvorbi konstant. Naravni logaritem  $\ln$  je pretvorjen v desetiški logaritem  $\log$  s konverzijskim faktorjem 2,3, upoštevani pa sta še konstanti  $2\pi$  v imenovalcu ulomka, namesto premera  $D$  pa je uporabljen polmer  $r$ .

## Teorija ponikalnih poizkusov v izkopih

Če izhajamo iz dejanske teorije toka vode v poroznem mediju, bomo ugotovili, da je zelo težko podati teoretično izvedene enačbe, ki bi bile v primeru izkopov enostavne in uporabne brez večjih računskih naporov. Zaradi tega pri testiranju ponikalnih sposobnosti v izkopih uporabljamo še nekoliko večje poenostavitve kot v primeru vrtin. Pri izkopih zaradi večje zanesljivosti težimo k izvedbi stacionarnih nalivalnih poizkusov. Pri ponikalnih poizkusih v izkopih opazujemo tudi volumen vode in pretok ponikle vode. Te podatke pri dimenzioniranju ponikalnih objektov uporabimo tako, da jih primerjamo s projektnim hidrogramom, to je razvojem pretoka vode, ki ga je potrebno ponikniti. Ponikalni poizkus uporabimo kot analogijo kasnejšega ponikanja, tako da skušamo v čim večji meri posnemati realno ponikanje. Tako opredelimo:

- povprečni pretok ponikanja  $Q_{pov}$ , ki ga izračunamo na podlagi poznavanja celotnega volumna vode  $V_{cel}$ , ki smo ga poniknili v času izvajanja poizkusa  $t$ :

$$Q_{pov} = \frac{V_{cel}}{t} \quad (19)$$

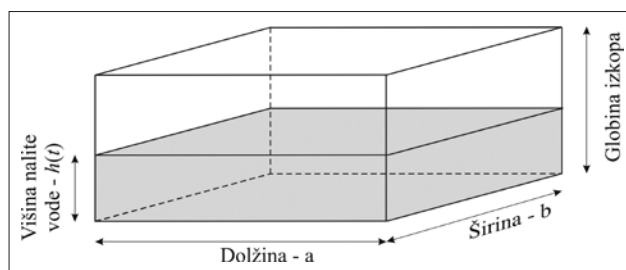
- specifično ponikalnost  $q_{spec}$ , ki podaja povprečni pretok  $Q_{pov}$  normiran na omočeno površino izkopa  $A$ :

$$q_{spec} = \frac{Q_{pov}}{A} \quad (20)$$

Omočena površina izkopa pri stacionarnem nalivalnem poizkusu je definirana kot:

$$A = ab + 2h_{max}(a + b) \quad (21)$$

kjer  $a$  in  $b$  določata širino in dolžino izkopa,  $h_{max}$  pa višino v izkop nalite vode. Geometrija izkopa je prikazana na skici (sl. 8).



Sl. 8. Prikaz geometrije izkopa

Za potrebe ocene hidravličnih lastnosti tal pri preprostejših ponikalnih objektih v nezasičenem območju uporabljamo modificirano Bindenmannovo metodo, ki izhaja iz Darcyvega zakona in zgornjih definicij (19) in (20). Koeficient prepustnosti pri stacionarnih ponikalnih poizkusih izračunamo po enačbi:

$$K = \frac{2V_{cel}}{At} = 2 \frac{Q_{pov}}{A} = 2q_{spec} \quad (22)$$

Poizkus podaja grobo oceno koeficienta prepustnosti  $K$ , zanesljivost ocene pa narašča s časom trajanja poizkusa. Med izvajanjem tega poizkusa težimo k vzpostavitvi stacionarnih pogojev; poizkus izvajamo toliko časa, da se pretok ponikanja  $Q$  in višina nalite vode  $h$  povsem umirita in stabilizirata. Podoben izraz bi dobili, če bi izhajali iz izkustvenega priporočila nekaterih avtorjev, da je v nezasičenem območju koeficient prepustnosti enak:

$$K = \frac{K_{sat}}{2} \quad (23)$$

kjer je  $K_{sat}$  koeficient prepustnosti nasičenega poroznega medija in iz definicije Darcyvega zakona ob predpostavki, da je hidravlični gradient enak 1. Slabost modificirane Bindmanove enačbe (22) je prav ta, da med izvajanjem ponikalnega poizkusa ne upošteva spreminjanja hidravličnega gradienta s časom.

Pri nestacionarnih ponikalnih poizkusih izkopih se najdemo še v večjih težavah, kot pri stacionarnih poizkusih. Predvsem zaradi tega, ker v primeru izkopov, za razliko od vrtin, ne moremo opredeliti konstantnega območja  $A$ , preko katerega poteka ponikanje, temveč se ta površina med upadanjem gladine neprestano spreminja. Torej velja  $A = A(t)$  in  $h = h(t)$ . Tako izhajamo iz Bindmanove metode (22) spremenjene definicije omočene površine  $A$  (21).

$$A(t) = ab + 2(a + b)h(t) \quad (24)$$

Enačbo (22) aritmetično preuredimo in namesto  $Q_{pov}$  vpeljemo  $Q(t)$

$$Q(t) = 2KA(t) \quad (25)$$

ker je pretok  $Q(t)$  v izkopu s pravokotnim izkopom tlorisa  $ab$  enak

$$Q(t) = abh(t) \quad (26)$$

sledi izraz

$$h(t) = \frac{2K}{ab} A(t) \quad (27)$$

Na podlagi enačbe (27) narišemo diagram z neodvisno spremenljivko  $h(t)$  in neodvisno spremenljivko  $A(t)$  ter poiščemo tisti del, v katerem lahko raztros podatkov meritev aproksimiramo z ravno črto, od tod pa ob poznavanju geometrije izkopa izračunamo koeficient prepustnosti  $K$ . Pri tem pa je potrebno poudariti, da gre za zelo grobo poenostavitev, in da pogosto podatkov ni mogoče interpolirati na takšen način. V takšnem primeru je izračun v veliki meri odvisen od sposobnosti in znanja interpretatorja poizkusa.

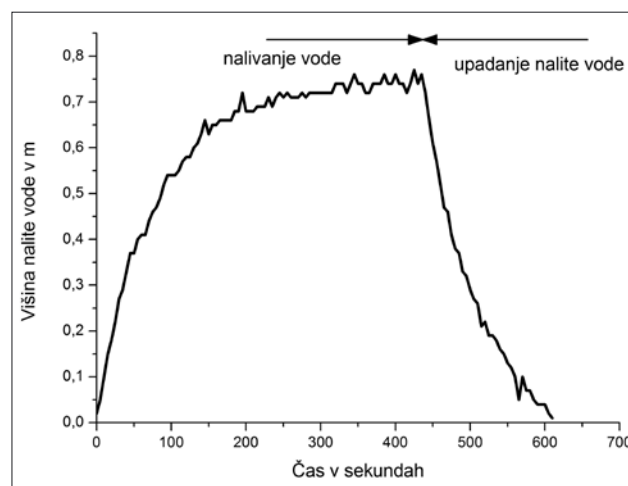
## Primeri izračunov

V nadaljevanju je prikazan postopek izračuna za predhodno opisane ponikalne poizkuse. Prikazani podatki izvirajo iz poizkusov, ki so bili opravljeni na terenu. Namen tega prikaza je ilustrirati postopek izračuna, ko se rezultati meritev skladajo s predpostavkami računskih modelov. Pred začetkom opisovanja in podajanja izračunov velja opozoriti, da so rezultati meritev in podatki o geometriji vrtin pogosto podani v različnih enotah. Neupoštevanje tega dejstva ima za posledico povsem napačen rezultat. čeprav gre pri uporabi enot za navidezno samoumevnost pa se pri recenzijah različnih tehničnih elaboratov prav to neupoštevanje enot izkaže za zelo pogosto napako.

### Izračun stacionarnega ponikalnega poizkusa v vrtini

V testiranem odseku vrtine dolžine  $L = 2$  m in premera  $D = 0,1$  m je bil opravljen stacionarni ponikalni poizkus pri katerem je bil dosežen pretok ponikanja  $Q = 0,23$  L/s. Pri tem je bila v vrtalno drogovje nalita voda v višini  $h = 0,76$  m. Premer vrtalnega drogovja znaša  $d_{drog} = 76$  mm.

Potek celotnega ponikalnega poizkusa je prikazan na diagramu na sliki 9. Diagram, kjer je podana višina nalite vode v vrtini nad začetno gladino podzemne vode v odvisnosti od časa, je sestavljen iz dveh delov. Prvi začetni del predstavlja nalivanje vode, drugi del pa predstavlja upadanje nalite vode, to je tisti del poizkusa, ki ga enačimo z nestacionarnim ponikalnim poizkusom, po tem, ko smo prenehali z nalivanjem vode v vrtino. Iz krivulje nalivanja lahko vidimo, da je nivo vode v vrtini sprva strmo naraščal, nato se je hitrost navkljub manjšim nihanjem ustalila. Ta ustalitev nivoja ustreza stacionarnemu ponikalnemu poizkusu, v skladu z zgoraj podanimi meritvami in podatki.



Sl. 9. Potek ponikalnega poizkusa v vrtini

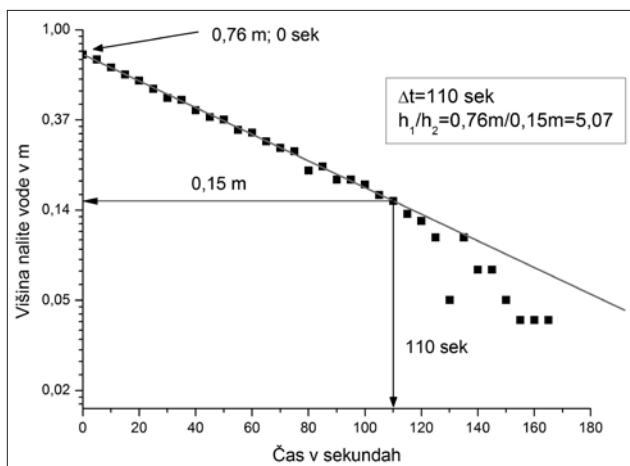
Ob upoštevanju enačbe (17) sledi izračun koeficienta prepustnosti  $K$ , ki v danem primeru znaša  $8,90 \times 10^{-5}$  m/s.



### Izračun nestacionarnega ponikalnega poizkusa v vrtini

V predhodnem podpoglavju smo podali krivuljo nalivanja in krivuljo znižanja (sl. 9). Izračunajmo koeficient prepustnosti  $K$  še iz krivulje znižanja. V semilogaritemski diagram, kjer je višina nalite vode  $h$  podana v logaritemskem merilu, vnesemo meritve iz krivulje znižanja. Če izmerjeni podatki ustrezajo modelu po Hvorslevu, bodo v semilogaritemskem diagramu nanizani vzdolž ravne črte, tako kot lahko to vidimo na sliki 10. Skoraj vedno bomo pri meritvah opazili odstopanja od predpostavljenega modela. Če so ta odstopanja, tako kot v našem primeru, manjša, jih zanemarimo, v nasprotnem primeru jih moramo interpretirati.

Iz diagrama odčitamo višine  $h_i$ . Te višine izberemo tako, da se nahajajo vzdolž ravnega dela krivulje znižanja, pri tem težimo k temu, da je časovna razlika  $\Delta t$  med odčitki čim večja. Na diagramu (sl. 10) smo izbrali začetno višino  $h_1 = 0,76$  m, ki ustreza času  $t_1 = 0$  sekund in višino  $h_2 = 0,15$  m, ki ustreza času  $t_2 = 110$  sekund. Zaradi majhne višine vode v zaključnem delu ponikalnega poizkusa podatke od  $t = 140$  sekund dalje zanemarimo. Sledi izračun faktorja oblike  $F$ , kjer glede na podane podatke o obliki testiranega odseka vrtine, izberemo enačbo (10). Ob upoštevanju podane geometrije je  $F = 3,40$ . Sledi izračun po enačbi Hvorsleva (8). Iz odčitanih podatkov in podane geometrije vrtine znaša izračun koeficienta prepustnosti  $K = 7,81 \times 10^{-5}$  m/s.



Sl. 10. Prikaz izračuna nestacionarnega ponikalnega poizkusa po Hvorslevu

Kot lahko vidimo, se izračuna za stacionarni del ponikalnega poizkusa in nestacionarni del poizkusa med seboj nekoliko razlikujeta. Vzrokov za takšne razlike je več. Glavne razlike izhajajo iz teoretičnih predpostavk, na podlagi katerih so izvedene enačbe za izračun koeficientov prepustnosti  $K$ . Med izvajanjem stacionarnega poizkusa in nestacionarnega poizkusa v vrtini vladajo drugačni hidravlični pogoji. Med izvajanjem stacionarnega poizkusa lahko pri višjih pretokih pride do turbulenc, s tem pa do odstopanja od predpostavk veljavnosti Darcyvega zakona, takšen tok lahko povzroči tudi manjše spremembe v geometriji testiranega odseka vrtine.

Katerega od koeficientov prepustnosti bomo uporabili, je odvisno od poteka poizkusa. Prav zaradi razlik v rezultatih je priporočljivo, da poizkus vsaj enkrat ponovimo. Če odstopanja med rezultati niso velika, izračunamo povprečen rezultat. Tako je v našem primeru koeficient prepustnosti  $K = (K_1 + K_2)/2 = 8,35 \times 10^{-5}$  m/s. Pri podajanju reprezentativne vrednosti koeficienta prepustnosti  $K$ , moramo imeti v mislih tudi namen rezultata. V primeru, ko bo rezultat namenjen dimensioniranju ponikanja, bomo uporabili nižjo – konzervativnejšo vrednost, v primeru napovedovanja dotokov vode med gradnjo objekta, ko varujemo izkop in zagotavljamo varnost, pa višjo vrednost. S takšnim pristopom na posreden način upoštevamo varnostni faktor, kar je potrebno pri podajanju rezultatov tudi navesti.

### Izračun stacionarnega ponikalnega poizkusa v izkopu

Opraviti imamo z izkopom v tla tlorisne površine  $1,5 \times 1,0$  m, ki smo ga izkopali do globine  $1,0$  m. Sediment v katerem izvajamo poizkus se razlikuje od zgornjega primera v katerem smo prikazali obdelavo nestacionarnega nalivalnega poizkusa. Stene izkopa so vertikalne. V izkop smo nalili vodo in vzdrževali konstanten nivo nalite vode na globini  $0,4$  m. V izkop smo vodo nalivali  $19$  minut, od tega smo  $10$  minut vzdrževali konstanten nivo nalite vode s pretokom  $Q = 3$  L/s.

Iz enačbe (24) izhaja, da je pri višini nalite vode  $h = 0,6$  m površina omočenega dela sten izkopa  $A = 4,5$  m<sup>2</sup>. Od tod iz enačbe (22) sledi izračun koeficienta prepustnosti  $K = 1,33 \times 10^{-3}$  m/s.

### Interpretacija krivulj znižanja

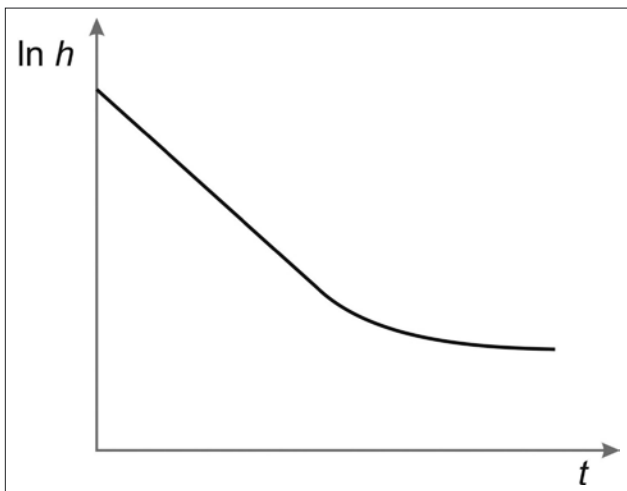
Interpretacija stacionarnih ponikalnih poizkusov je premočrtna. Ko v vrtini ali izkopu dosežemo ustaljeno ponikanje in stabilen nivo nalite vode, je izračun le še preprosta aritmetična operacija. Veliko več problemov in težav nastopa pri interpretaciji krivulj znižanja nalite vode pri nestacionarnih poizkusih. Odstopanja od teoretične krivulje po Hvorslevu lahko razdelimo v štiri osnovne skupine, ki jih na kratko interpretiramo in razlagamo v nadaljevanju. Skupine krivulj smo poimenovali z oznakami od A do D in so predstavljene na slikah od 11 do 14. Obliko krivulj interpretiramo podobno kot pri črpalnih poizkusih, kjer opazujemo odstopanje izmerjenih krivulj znižanja od teoretično predpostavljenih krivulj. Krivulje, ki so podane v nadaljnji razlagi, so prikazane shematsko v semilogaritemskem diagramu in brez navajanja dejanskih vrednosti.

Podana interpretacija je lahko v pomoč pri razlagi realnih, v naravi izvedenih poizkusov, ne more pa biti obvezno vodilo. Zavedati se je potrebno, da je vsak ponikalni poizkus samosvoji in da je njegovo interpretacijo potrebno izvesti na podlagi vseh razpoložljivih terenskih podatkov in ne zgolj

meritev znižanja nivojev nalite vode. Prav tako se moramo zavedati, da so nekatere podane razlage le interpretacije, ki jih je potrebno z nadaljnjim teoretičnim delom še preveriti.

### Krivulja A

Pri krivulji, ki je podana na sliki 11, vidimo, da nivo v testni objekt nalite vode sprva upada eksponentno (ravni del črte), nato pa se s časom hitrost upadanja nivoja zmanjša in ustali. Če izhajamo iz enačbe Hvorsleva (8) bi to pomenilo, da se je med izvajanjem opazovanja koeficient prepustnosti  $K$  v testiranem odseku zmanjšal. Kadar se znižanje nalite vode obnaša tako, se nalita voda ustali nad nivojem vode, pri katerem smo začeli z nalivanjem ali pa v sicer predhodno suhem odseku voda obstoji. Vzrokov za takšno obnašanje krivulje je več. Eden od vzrokov je, da poizkus ni bil izveden s čisto vodo zaradi česar so se med izvajanjem poizkusa pore zamašile – kolmatirale. Takšno znižanje se lahko pojavi tudi pri testiranju predhodno zelo suhega sedimenta.



Sl. 11. Krivulja A – krivulja znižanja ne doseže začetnega nivoja

Podobno obliko krivulje dobimo tudi takrat, ko poizkuse izvajamo v sedimentih z muljasto oporo. Med pripravo testnega odseka in med kasnejšim nalivanjem s sten odprtega dela vrtine speremo melj in glino, kar ima za posledico, da se znotraj vrtine tvori suspenzija. Ko hidrostatični tlak  $h$ , ki ga povzroči nalita voda pade, in s tem hitrost strujanja vode iz testnega odseka v okoliški geološki medij, se pričnejo drobno zrnati delci nabirati na stene testnega odseka, in ne prodirajo več globlje v testirani odsek, zaradi česar upade prepustnost na meji med vrtino in testiranim medijem. Na obodu vrtine se tvori film podoben izplačnemu kolaču pri vrtanju z izplako.

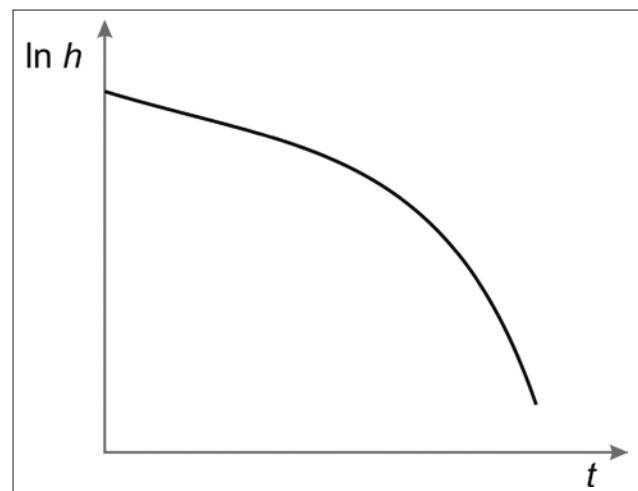
Poleg naštetih glavnih vzrokov do takšne oblike krivulje pride tudi takrat, ko smo z nalivanjem pričeli pred stabilizacijo in uravnoteženjem nivoja vode z okolico. Zaradi tega je končni, stabilizirani nivo po zaključku poizkusa višji od začetnega.

V vseh treh primerih izračun izvedemo le na začetnem delu krivulje, če pa je takšno obnašanje

krivulje opaženo že med izvajanjem poizkusa na terenu, je potrebno ustrezno ukrepati. Če je vzrok onesnažena, kalna voda, ki jo nalivamo v vrtino, je vodo potrebno zamenjati in vrtino ponovno očistiti, če pa je vzrok v naravi sedimenta, ki ga testiramo ali pa v spreminjanju nivoja in njegovega uravnoteženja z okolico, je poizkus potrebno večkrat ponoviti.

### Krivulja B

Na sliki 12 je prikazan primer, ko v začetnem delu zniževanje v testni objekt poteka v skladu s teoretičnim modelom po Hvorslevu (8), nato pa se koeficient prepustnosti prične navidezno povečevati. Do takšnih krivulj prihaja v zaključnem delu ponikalnega poizkusa. Najpogostejši vzrok za takšno obnašanje krivulje je način opazovanja zniževanja nivoja nalite vode. Začetni – eksponentni del krivulje je zabeležen v predelu, ko je bila nalita voda še znotraj vrtalnega drogovja, nato pa je nivo vode padel v testirani odsek pod vrtalno drogovje, zaradi česar se je spremenila geometrija prečnega profila, v katerem opazujemo znižanje in narava odtoka vode iz vrtine v medij. Redko se takšna oblika krivulje znižanja pojavi takrat, kadar testiranje ponikalnih sposobnosti opravljamo v nezasičenem poroznem mediju.

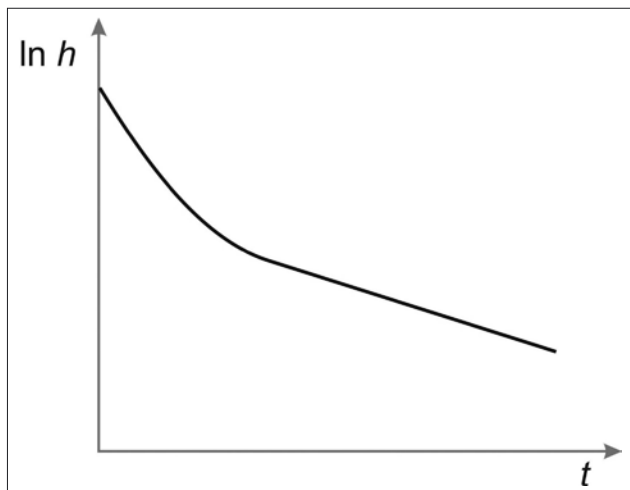


Sl. 12. Krivulja B – prepustnost se proti koncu poizkusa navidezno poveča

### Krivulja C

Na sliki 13 je prikazan primer, ko se med opazovanjem znižanja vode nalite v vrtino prepustnost med poizkusom s časom navidezno zmanjša. Iz krivulje izhaja, da imamo sprva navidez visoko prepustnost, nato pa ta prepustnost upade in se ustali, postane konstantna. Opisana krivulja je tipična krivulja znižanja za testirane objekte, ki se nahajajo v nezasičenem območju. Ta krivulja je po obliki zelo podobna nekaterim infiltracijskim krivuljam (npr. Hortonova infiltracijska krivulja).

V začetnem delu izvajanja poizkusa je prepustnost navidezno višja, ker voda pri svojem toku ne vzpostavlja zgolj toka, temveč tudi polni si-



Sl. 13. Krivulja C – prepustnost se proti koncu poizkusa navidezno zmanjša

cer prazne ali le deloma zasičene pore. Ko se delež zasičenih por zmanjša, se prične zmanjševati navidezni koeficient prepustnosti, dokler ne doseže končne vrednosti, kjer se krivulja približa eksponentni krivulji. Pri interpretaciji takšnih krivulj izvedemo izračun po Hvorlsevu (8) na končnem delu krivulje. Takšno interpretacijo lahko po analogiji primerjamo s klasično interpretacijo črpalnih poizkusov, po kateri nas zanima tisti del črpalnega poizkusa, pri katerem je prišlo do stabilizacije, ustaljenih pogojev in pretoka. Pri obsežnejših nezasičenih območjih, kjer se nahajamo visoko nad gladino podzemne vode, se je potrebno zavedati, da je izračunani koeficient prepustnosti nekoliko nižji od koeficienta prepustnosti zasičenega območja (glej enačbo (23)).

Pridobljeno obliko krivulje pri dimenzioniranju ponikalnih objektov izkoristimo v celoti. Izhajamo iz ocenjenega koeficienta prepustnosti, poleg tega pa upoštevamo tudi dodatni volumen, ki je rezultat začetne hitre infiltracije.

V primeru, da je začetni del krivulje relativno kratek imamo lahko s tako oblikovano krivuljo opraviti tudi v primeru, ko smo v vrtalno drogovje nalivali vodo s pomočjo batne črpalke in sesalnega koša. V takšnem primeru je v vodi prisotnih veliko zračnih mehurjev. Zaradi tega je, dokler se voda ne odzrača in ne začne prodirati v testirani odsek, v začetnem delu poizkusa tlak vode navidezno višji. Če tako z zračnimi mehurčki nasičeno vodo nalivamo v dobro prepusten sediment ali razpokano kamnino, bo izračunani koeficient prepustnosti nekoliko pristranski, praviloma nižji od dejanskega.

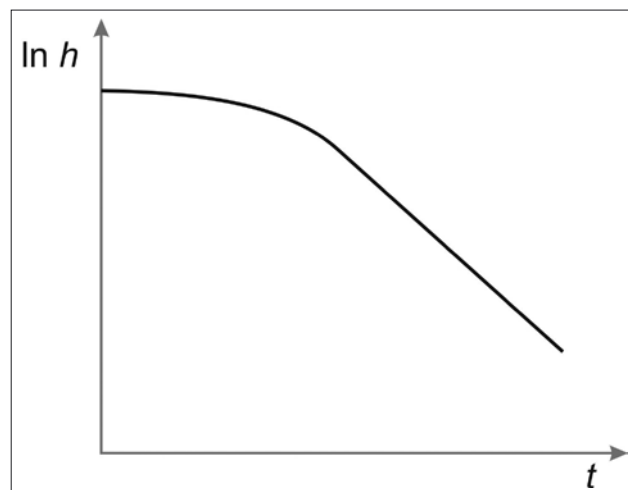
Podobno obliko krivulje dobimo tudi takrat, ko ponikalni poizkus v vrtini izvajamo s pomočjo pnevmatičnega tesnila (packerja) aličasne cevovitve (obložne kolone). Ti so napihnjani s pomočjo stisnjene zrak, ki ustreza nekemu tlaku. Če v vrtalno drogovje nalijemo vodo do hidravlične višine  $h$ , ki je blizu tlaku v tesnilu ali pa celo višje, bo voda pričela prodirati navzgor ali navzdol pod tesnilom, tesnilo bo spustilo. Zaradi tega bo prepustnost na začetku poizkusa, ko imamo večje hidravlične višine, navidezno višja, kot kasneje,

ko bodo zaradi nižjega hidrostatičnega tlaka, tesnila ponovno prijela.

#### Krivulja D

Oblika krivulje, podana na sliki 14, je praviloma rezultat neustrezno pripravljene testnega odseka kar je najpogosteje, posledica vrtnanja z izplačnim medijem in tvorba izplačnega kolača na stenah vrtine. Iz poteka krivulje vidimo, da je na začetku hitrost znižanja vode skoraj zanemarljiva, nato pa se počasi poveča in stabilizira.

Do navideznega povečanja prepustnosti pride zaradi luščenja izplačnega kolača s sten vrtine; če se ta med poizkusom odlušči in pade na dno se prepustnost testiranega odseka poveča. Med vrtnanjem se izplačni kolač ne tvori le na stenah vrtine, temveč izplaka prodira tudi v notranjost sedimenta ali kamnine. Zaradi tega lahko med izvajanjem poizkusa, zlasti pri višjih hidravličnih višinah  $h$ , na začetku poizkusa pride tudi do sprememb v izplačnem kolaču v neposredni okolici vrtine. Koeficienti prepustnosti, ki jih izračunamo iz takšnih podatkov, so pristranski in odražajo nižje prepustnosti od dejanskih.



Sl. 14. Krivulja D – prepustnost se s časom navidezno zmanjšuje

Podobno obliko krivulje dobimo tudi v primeru testiranja razpokanih kamnin, v katerih so razpoke zaglinjene ali zameljene. Zaradi relativno visoke hidravlične višine  $h$  na začetku poizkusa se razpoke postopoma izpirajo in prepustnost se navidezno poveča, ko višina nalite vode upade, se izpiranje razpok ustavi in prepustnost testiranega odseka se navidezno ustali.

#### Sklep

Kvalitetna interpretacija in izračun ponikalnih poizkusov je odvisna od sposobnosti in izkušenosti interpretatorja – hidrogeologa ter od kakovosti terenskih podatkov, ki so rezultat meritev in natančnega zbiranja informacij o izvedenih sondažnih izkopih ali vrtinah. Pri tem je potrebno poudariti, da je vsak ponikalni poizkus samosvoj



in terja natančen premislek o tem, kako je bil poizkus izveden, kakor tudi o tem, kako lahko pridobljene rezultate interpretiramo, in nenazadnje, kakšne praktične posledice bodo imeli naši rezultati. Interpretatorjeva odgovornost je odvisna od narave objekta, za potrebe katerega se izvedejo poizkusi. Napačna interpretacija ponikalnih poizkusov privede do napačnega dimenzioniranja ponikalnih objektov, to pa lahko ima v skrajnem primeru za posledico ogrožanje varnosti stavb.

Prav tako velja opozoriti, da je namen v članku opisanih ponikalnih poizkusov testiranje ponikalnih sposobnosti tal – sedimentov in izjemoma kamnin. Ponikalni poizkusi ne morejo predstavljati nadomestila za črpalne poizkuse s katerimi bolj reprezentativno določamo koeficiente prepustnosti večjega dela vodonosnika. Ne smemo jih uporabiti kot osnovo za dimenzioniranje odvodnje gradbenih jam ali za ugotavljanje lastnosti vodonosnikov. Črpalni poizkusi so mnogo bolj zanesljivi kot ponikalni (nalivalni) poizkusi. Slednji lahko pri regionalnih raziskavah in zahtevnejših geotehničnih projektih predstavljajo le dopolnilo in komplementarno informacijo. V primeru, ko izvajamo hidrogeološke raziskave nad gladino podzemne vode, pa so ponikalni poizkusi edini poizkusi, s katerimi lahko ugotavljamo hidravlične lastnosti kamnin in sedimentov.

Praksa kaže, da pri ponikalnih poizkusih težimo le k oceni koeficienta prepustnosti, vse pre malo pa se zavedamo, da nam ti poizkusi omogočajo mnogo več. Pravilno izvedeno nalivanje, pri katerem posnemamo projektni hidrogram ponikanja, to je količino in dinamiko vode, ki jo bo objekt, za potrebe katerega izvajamo poizkus, ponikal, nam pove tudi kakšen mora biti volumen ponikalnega objekta in kako se bo ta objekt med odtokom padavin z vodo polnil in praznil. To pa so podatki, ki jih zgolj iz poznavanja koeficienta prepustnosti ne dobimo.

Ker so ponikalni objekti z gradbeno tehničnega vidika enostavni, in zaradi tega tudi poceni, se jim v vsakdanji praksi ne posveča dovolj pozornosti. To je razvidno že iz vpogleda v teorijo ponikalnih poizkusov in teoretičnih osnov za dimenzioniranje ponikalnih objektov, ki so daleč od tega, da bi bili konsistentni in ustrezni. Prav tako so z neustreznim ponikanjem povezani številni praktični problemi, ki jih opazimo šele čez čas, ko so stavbe že nekaj časa v svoji funkciji. Najpogostejši problem je zamakanje temeljev stavbe in vdiranje vode v kletne prostore. Prav tako ni malo primerov, ko zaradi napačno izvedenega ponikanja pride do posedkov ali celo do sprožitve pobočnih nestabilnosti. Pri tem velja omeniti tudi zmanjšanje ponikovalne sposobnosti, ki se zaradi procesov kolmatacije s časom pojavi skoraj pri vsaki ponikalnici. Vse naštetu terja od hidrogeologov, da se

v prihodnje problematiki ponikanja padavinskih voda temeljiteje posvetijo, tako s teoretičnega vidika, kot tudi s stališča razvoja praktičnih metod. Dodatno spodbudo tem naporom lahko predstavlja tudi sodobna zakonodaja s področja zaščite voda, ki zahteva ohranjanje kemijskega in količinskega stanja podzemne vode.

### Zahvala

Članek je rezultat večletnega dela na problematiki ponikanja, pri katerem je avtor sodeloval s tehnično ekipo Oddelka za hidrogeologijo Geološkega zavoda Slovenije. Kolegom Zmagu Boletu, Tomislavu Matozu, Jožetu Heriču in Marku Hötzlu gre zahvala za marsikatero idejo, za kritičen pregled članka in diskusijo, predvsem pa zahvala za sodelovanje pri izvedbi številnih poizkusov na terenu. Hvala tudi Marjanu Grmu za pomoč pri risanju skic. Zahvala gre tudi Jožetu Janežu in Jožetu Rateju, recenzentoma, ki sta znatno prispevala k izboljšanju članka.

Članek je nastal v okviru dejavnosti programske skupine P1-0020 »Podzemne vode in geokemija«, ki deluje na Geološkem zavodu Slovenije in jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS.

### Priporočeno branje

Zainteresirani bralec se lahko o ponikalnih poizkusih pouči podrobneje tudi v specializirani literaturi. Za nadaljnji študij priporočam zlasti spodaj navedeno literaturo. V teh knjigah je podrobneje obdelana teorija, poizkusi pa so umeščeni v širši kontekst toka vode v poroznem mediju. V večini citiranih knjig je problematika ponikalnih poizkusov deloma obdelana v poglavju o impulznih poizkusih – slug testih, katerih metodologijo lahko uporabimo tudi pri ponikalnih poizkusih, Butlerjeva knjiga jim je posvečena v celoti. Seveda pa je veliko člankov o tej problematiki raztresenih tudi po znanstveni periodiki.

- BATU, V. 1998: *Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis*, John & Wiley & Sons, New York: 727 p.
- BUTLER, J.J. 1998: *The Design, Performance and Analysis of Slug Test*. Lewis Publishers, Boca Raton: 252 p.
- CEDERGREN, H, R. 1989: *Seepage, Drainage, and Flow Nets*. John & Wiley & Sons, New York: 465 p.
- KRUSEMAN, G.P. & DE RIDDER, N.A. 1990: *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen: 377 p. (dostopno tudi na [http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/Kruseman\\_and\\_De\\_Ridder\\_2000.pdf](http://www.hydrology.nl/images/docs/dutch/key/Kruseman_and_De_Ridder_2000.pdf))

**Simboli in oznake**

$a$	širina izkopa [m]
$A$	površina [m <sup>2</sup> ]
$A_{drog}$	površina prečnega preseka vrtnega drogovja [m <sup>2</sup> ]
$b$	dolžina izkopa [m]
$B$	debelina vodonosne strukture [m]
$c$	konstanta
$d_{drog}$	notranji premer vrtnega drogovja [m]
$D$	premer testiranega odseka [m]
$F$	faktor oblike [m]
$h, h_1, h_2$	višina nalite vode; hidravlična višina; piezometrična višina [m]
$h_{sred}$	ocena srednje višine v vrtino nalite vode [m]
$h_{max}$	maksimalna višina nalite vode [m]
$dh/dr$	hidravlični gradient
$dh/dt$	hitrost zniževanja v vrtino nalite vode [m/s]
$\Delta h$	znižanje [m]
$K$	koeficient prepustnosti (splošna oznaka) [m/s]
$K_{sat}$	koeficient prepustnosti nasičenega poroznega medija [m/s]
$L$	dolžina testiranega odseka [m]
$q_{spec}$	specifična ponikalnost [m/s]
$Q$	volumski pretok [m <sup>3</sup> /s]
$Q_{drog}$	volumski pretok skozi vrtno drogovje [m <sup>3</sup> /s]
$Q_{odsek}$	volumski pretok skozi testirani odsek [m <sup>3</sup> /s]
$Q_{pov}$	povprečni pretok ponikanja [m <sup>3</sup> /s]
$R$	radij vpliva vrtine [m]
$r$	polmer [m]
$r_{test}$	radij testiranega odseka vrtine [m]
$t, t_1, t_2$	čas [sek]
$\Delta t$	razlika časa [sek]
$V_{cel}$	celotni volumen ponikle vode [m <sup>3</sup> ]
$z$	absolutna kota v vrtno drogovje nalite vode [m]
$z_0$	absolutna kota začetne gladine podzemne vode [m]





# Latest Triassic conodonts of the Slovenian Basin and some remarks on their evolution

## Zgornjetriasni konodonti Slovenskega bazena in njihov evlucijski razvoj

Tea KOLAR-JURKOVŠEK

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

Prejeto / Received 7. 4. 2011; Sprejeto / Accepted 5. 5. 2011

*Key words:* conodonts, Late Triassic, biostratigraphy, Mt. Koblja, Slovenian Basin

*Ključne besede:* konodonti, zgornji trias, biostratigrafija, Koblja, Slovenski bazen

### Abstract

A stratigraphical importance of some latest Triassic conodont taxa from the Slovenian Basin with special regard on their distribution in the Slatnik Formation of the Mt. Koblja section (Julian Alps) is presented. Description of a new species *Misikella buseri* n. sp. is given. It is marked by a reduced segminate element and it represents a distinct stage at the decline of *Misikella* evolution.

### Izveček

Prikazan je stratigrafski pomen nekaterih pomembnih zgornjetriasnih konodontnih rodov v Slovenskem bazenu s posebnim poudarkom na njihovem pojavljanju v Slatenski formaciji profila Koblja (Julijske Alpe). Opisana je nova vrsta *Misikella buseri* n. sp., za katero je značilen zmanjšan segminatni element in predstavlja eno od zaključnih stopenj ob koncu razvoja rodu *Misikella*.

### Introduction

The phylum Conodonta was one of the groups that became extinct at the Triassic–Jurassic boundary (TJB) when one of the five largest mass extinctions of the Phanerozoic marine record occurred (SEPKOSKI & RAUP, 1986). There are very few reports of Jurassic survivals and KOZUR (1993) documented *Neohindeodella detrei* from the earliest Hettangian of Csóvár in Hungary. During the latest Triassic conodonts therefore suffered major decline in diversity and their extinction can be interpreted as the cumulative result of several causal factors and not of a single catastrophic event (CLARK, 1983). There is an evident decline of conodont taxa from Carnian–Norian boundary strata. Many gondolellids last appeared in the Norian, but a few range into the lower Rhaetian, for example *E. bidentata* as the last epigondolellid representative. Only few gondolellids, such as *Norigondolella* and the platform-less *Parvigondolella* and *Misikella*, persisted during the latest Triassic.

The study of conodonts has resulted in the recognition of several stratigraphically significant conodont species belonging to the genera: *Budurovignathus*, *Epigondolella*, *Gladigondolella*,

*Metapolygathus*, *Misikella*, *Neogondolella*, *Nico-raella*, *Norigondolella* and *Paragondolella* in the Middle and Late Triassic strata of the Slovenian Basin (BUSER et al., 2007, 2008). The youngest Triassic conodont assemblages are marked by the presence of *Misikella*, a genus already described from western Slovenia of the Pokljuka plateau and from the Mt. Šija area (KOLAR-JURKOVŠEK et al., 1983; KOLAR-JURKOVŠEK, 1994).

The aims of this paper are to give a brief review of the Upper Triassic conodont genera known from Slovenia (KOLAR-JURKOVŠEK, 1991; BUSER et al., 2007, 2008), and to describe a new *Misikella* species, *Misikella buseri* n. sp., from the Rhaetian strata of the Slovenian Basin, sampled in the Mt. Koblja section (Fig. 1).

### Previous research

The existence of Late Triassic deep-water sediments in western Slovenia was recognized by many authors (WINKLER, 1923; AUBOUIN, 1960; COUSIN, 1973). They were later object of several basic studies conducted by Buser (BUSER, 1986, 1987, 1989, 1996, 2003; BUSER & DEBELJAK, 1996; BUSER et al., 2007, 2008; BUSER & OGORELEC, 2008)

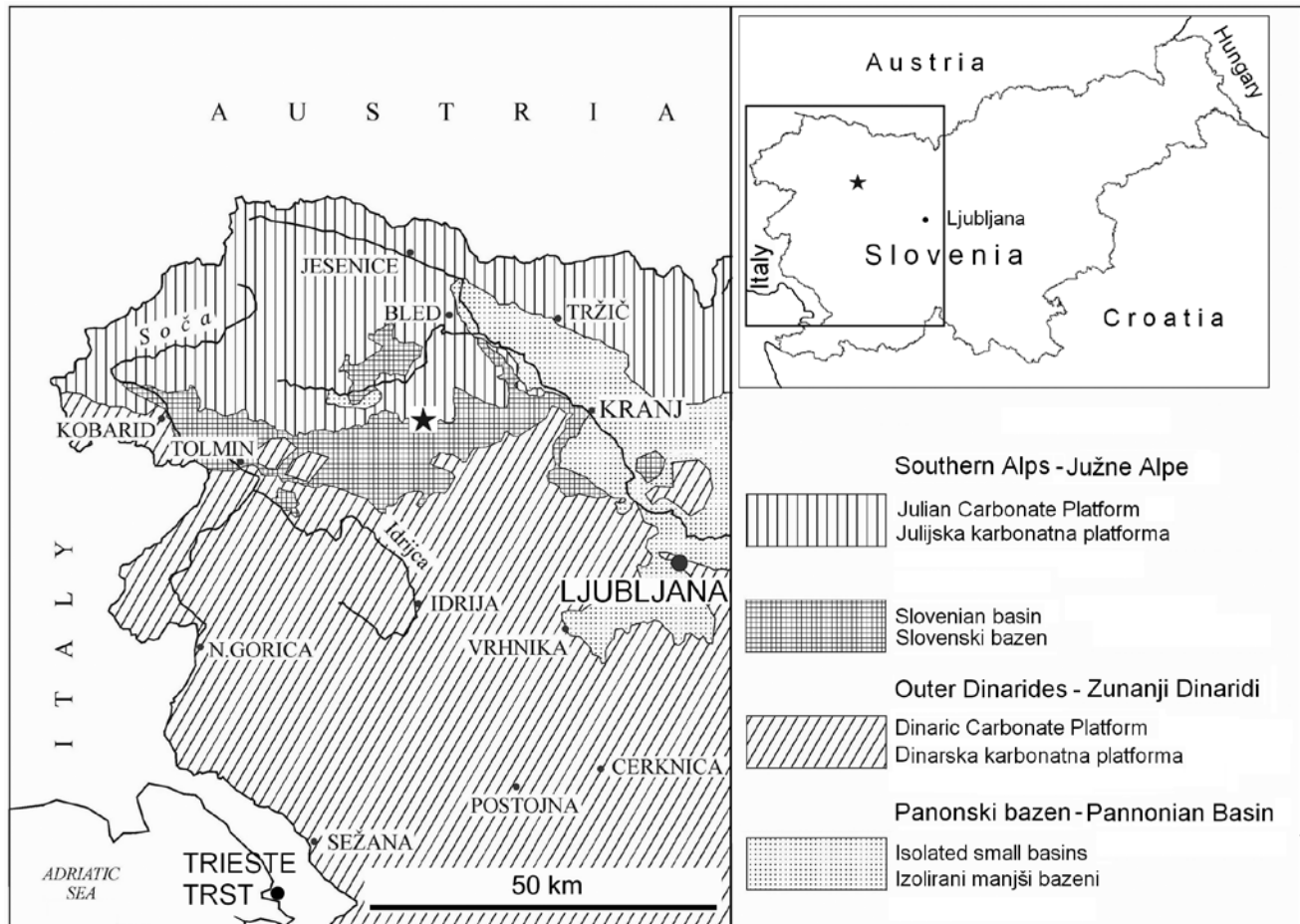


Fig. 1. Actual position of geotectonic units in western Slovenia with extension of sediments of the ancient Julian and Dinaric Carbonate Platforms and the intermediate Slovenian Basin with the position of the Mt. Koba section (star). Modified by BUSER et al. (2007).

and are currently object of multidisciplinary study carried out by Rožič and co-workers (Rožič, 2008, 2009; Rožič & KOLAR-JURKOVŠEK, 2007; Rožič et al., 2009; GALE, 2010).

The Slovenian Basin extends in an east-west direction of central Slovenia and became established during the Ladinian following disintegration of the Slovenian Carbonate Platform and it persisted continuously until the Late Cretaceous (BUSER, 1989; BUSER et al., 2007, 2008). The basin pinched out in the Soča river valley and was not connected to the Belluno Basin (BUSER, 1986). From the eastern part of present Slovenia, it continues across Croatia north of Zagrebačka gora to Hungary. The present exposed parts of the Slovenian Basin measure in length about 170 km and in width about 40 km (BUSER et al., 2007, 2008).

After the basic research by BUSER (1986, 1987; BUSER & OGORELEC, 2008) the Mt. Koba section was sampled and measured also by Rožič et al. (2009). They discriminated the non-dolomitized uppermost part of the Bača Dolomite Formation by formalizing this unit and introducing the Slatnik Formation formed of hemipelagic limestone alternating with resedimented limestone indicating a progradation of sedimentary environments from the the basin plain to the lower slope (Rožič, 2008). The Slatnik Formation is preserved in the

northern part of the basin where the latest Triassic succession experienced less intense diagenetic alteration. The Late Triassic part of the Mt. Koba section is documented by three upward prograding high-frequency cycles. The Triassic part of the section is followed by the Krikov Formation of Jurassic age. The authors also provided conodont data and they recognized three latest Triassic conodont zones: *Epigondolella bidentata*, *Parvigondolella andrusovi-Misikella hernsteini* and *Misikella hernsteini-Misikella posthernsteini* Zones (Rožič et al., 2009). A more detailed sampling of the interval with the finding of *M. posthernsteini* provided new data and enabled a more precise documentation of the latest zone. Thus, the *Misikella posthernsteini* Assemblage Zone can be divided into two units: the *Misikella hernsteini-Misikella posthernsteini* and the *Misikella koesenensis* Subzones (GALE et al., submitted). The recovered conodont faunas include representatives of *Epigondolella*, *Misikella*, *Norigondolella*, *Oncodella*, *Parvigondolella* and *Zieglerioconus*. The new species of *Misikella* was collected in the interval from 76,0 to 77,8 m of the Mt. Koba section (Fig. 2). A detail description of the investigated section along with biostratigraphic conclusions based on conodonts and foraminifers is given in GALE et al. (submitted).

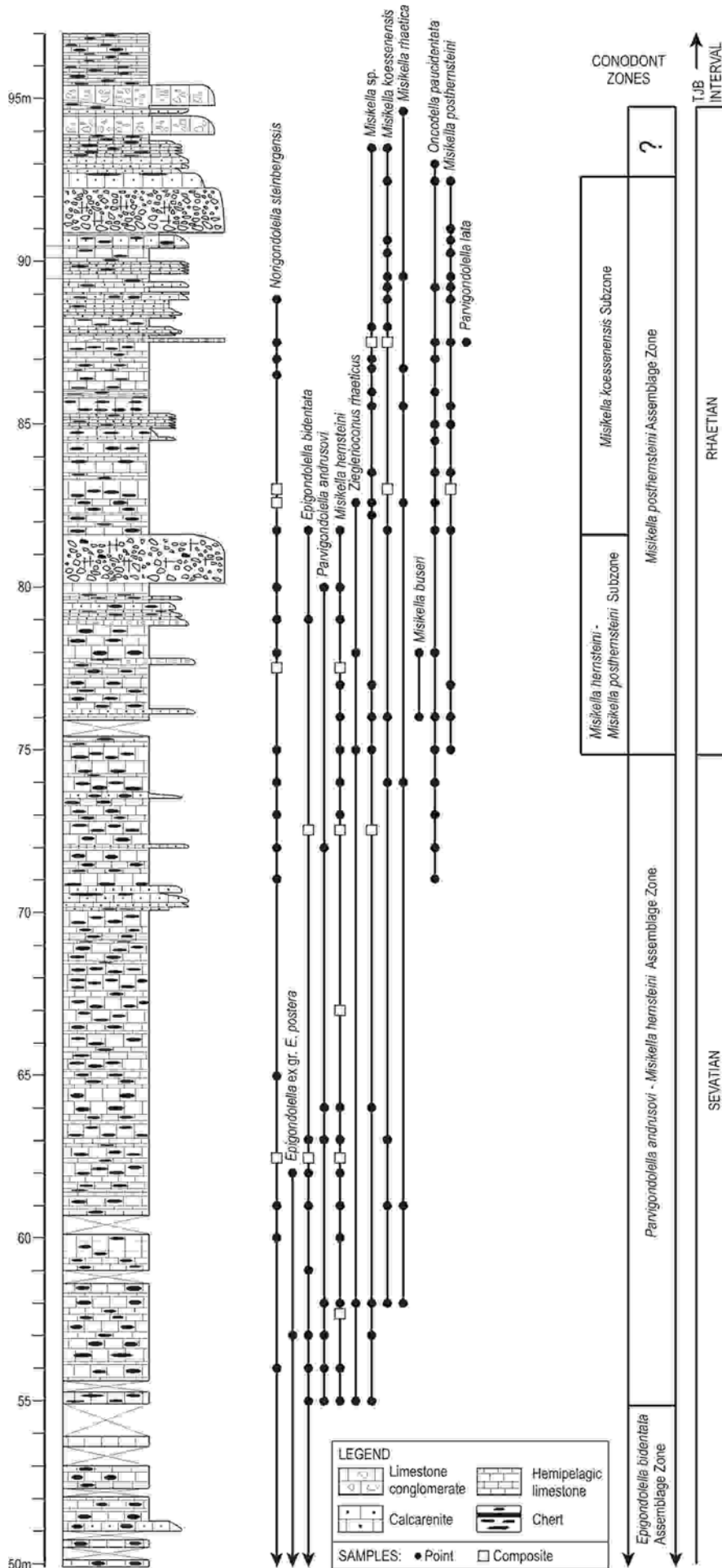


Fig. 2. Geological column of the Mt. Kobra section with conodont distribution. Modified after GALE et al. (submitted).

### Geological setting

The Mt. Kobra section (x = 5121,590, y = 5420,550, z = 1498 m) is located on the southern brim of the the Julian Alps (Fig. 1, 2) and preserves the Upper Norian – Lower Jurassic succession of the Slovenian Basin (Rožič et al., 2009). This area is part of the Tolmin Nappe that together with the overlying Julian Nappe structurally forms the eastern part of the Southern Alps (PLACER, 1999, 2008). The Slovenian Basin is one of the three paleogeographic units that existed during the Late Triassic in the territory of Slovenia. These are (from north to south): the Julian Carbonate Platform, the Slovenian Basin and the Dinaric Carbonate Platform (BUSER, 1986, 1989, 1996) (Fig. 1).

### Significant conodont taxa in the latest Triassic

*Norigondolella* is represented by the long-ranging species *N. steinbergensis*. It is an extremely facies dependant species that can be found in fully pelagic sediments of open sea (cherty limestone) of the latest Triassic and therefore it is not stratigraphically important outside this facies (KOZUR & MOCK, 1991). In the Mt. Kobra section in Slovenia, the LAD of *N. steinbergensis* is documented in the upper *Misikella posthernsteini* A. Z. (= *Misikella koessenensis* – *Misikella posthernsteini* Subzone) at 88,7 m.

Genus *Parvigondolella* evolved from *Epigondolella bidentata* as the ultimate stage in epigondolellid evolution. The genus however is quite rare as can be explained by its existence at the end of evolution of an important stock and it is represented by only few species: *P. andrusovi*, *P. ? lata*, *P. rhaetica*, *P. vrielyncki*. Some authors regard the platform-less gondolellid forms as juvenile forms of *E. bidentata*



named as the *andrusovi* stage (KRYSZYN, 1980; KRYSZYN et al., 2007). However, such a view was rejected based on different stratigraphic occurrences, as *Parvigondolella* ranges up high in the Rhaetian interval that is beyond the highest occurrence of *E. bidentata* or any other platform-bearing metapolygnathid (KOZUR & MOCK, 1991). The latter authors also supported their statement by noting the size of the different stages and that certain parameters (size and number of denticles, height of blade) of younger ontogenetic stages cannot exceed the parameters of the largest adult specimens. KOZUR & MOCK (1991) documented their view based on reports of the quite widespread appearance of *Parvigondolella* in the Rhaetian of Alps, Carpathians, Hungary, Lagonegro Basin that is also confirmed now with data from Slovenia.

Some **ramiform elements** are also present but are rather rare. Nevertheless in a few cases they permit apparatus reconstruction. Among them KOZUR & MOSTLER (1991) reported also a stratigraphically most important species *Neohindeodella detrei* as an index species for the youngest strata above the last occurrence of *Misikella* and these authors stated the form seems to be homeomorph with forms known from older strata of the Late Triassic.

**Zieglerioconus** has been known to appear with only one representative, *Z. rhaeticus*, but new Norian species have yet not been described (CHANNELL et al., 2003). It is a secondary single cone conodont with a widely expanded and excavated basal cavity. *Zieglerioconus* was first described from the Rhaetian (*M. koessenensis* Subzone) of Csővár in Hungary, and it is rare species that has been so far reported only from Great Britain what means it appears in sediments of the pelagic Tethys and non-pelagic of outer Tethys in the Germanic Basin (KOZUR & MOCK, 1991; SWIFT, 1989; PÁLFI et al., 2007). The hitherto known occurrences of the species are quite typical for the *M. koessenensis* Subzone, but *Zieglerioconus* begins in the uppermost Carnian and occurs throughout the Norian (CHANNELL et al., 2003; KOZUR, pers. comm.). New data from Slovenia confirm the existence of *Zieglerioconus* in the late Sevatian. In the Kobla section, *Zieglerioconus* ranges from *Parvigondolella andrusovi-Misikella hernsteini* A. Z. to lower *Misikella koessenensis* Sz. of the *Misikella posthernsteini* Zone. The origin of *Zieglerioconus* is still yet not known, but KOZUR & MOCK (1991, p. 277) suggested its forerunner could be a *Misikella* of the *M. longidentata* group or *Oncodella paucidentata*. According to recent data from Slovenia, *Zieglerioconus* and *M. hernsteini* made their first appearance together in the *Misikella hernsteini-Parvigondolella andrusovi* A. Z. in absence of *Oncodella* and thus, documenting the existence of *Zieglerioconus* in the latest Norian strata (Fig. 2; Pl. 1, Fig. 2). The forerunner of *Zieglerioconus* and *M. hernsteini* is therefore supported to be linked with the *M. longidentata* group.

***Oncodella paucidentata*** is a characteristic element that already appeared in the uppermost Sevatian and it is also a facies controlled species (KOZUR & MOCK, 1991). In Slovenia, it ranges from the upper part of the *Parvigondolella andrusovi-Misikella hernsteini* A.Z. up to an un-named *Misikella* Zone that corresponds to the known range of the species elsewhere.

Genus ***Misikella*** is most important for the stratigraphy of the Late Sevatian-Rhaetian interval. Some biostratigraphic schemes have been reported so far and they are slightly different (MOSTLER et al., 1978; GAZDZICKI et al., 1979; KRYSZYN, 1980, 1987; KOZUR, 2003; KRYSZYN et al., 2007). In 1991, KOZUR and MOCK made a report on stratigraphic value of certain conodont taxa. The main intent was to eliminate *M. rhaetica* (it appeared already in the uppermost Sevatian) as an index form for the zone introduced by MOSTLER et al. (1978) as it is strongly facies controlled and occurs already at levels with frequent *M. hernsteini*. From the upper part of the *M. posthernsteini* A.Z. they gave a description of the *Misikella koessenensis* Subzone (originally described by Kozur 1989) as a substitute of the *M. rhaetica* Zone of earlier schemes, and the author noted also to a shorter range of *Misikella koessenensis*. The first appearance of *Misikella posthernsteini* is an important biomarker used to define the Norian-Rhaetian boundary (KOZUR & MOCK, 1974b, 1991; KOZUR, 1996; KRYSZYN, 1980, 1987; BIRKENMAJER et al., 1990). On the other hand, *M. ultima* is a facies independent species and therefore it is very good boundary marker of the *M. ultima* A. Z. (the lower boundary is defined by FAD of the index species, but the upper boundary is marked by the disappearance of *Parvigondolella* and *Misikella*) (KOZUR & MOCK, 1991).

### Evolution of *Misikella*

The evolutionary trend *M. hernsteini* – *M. posthernsteini* – *M. ultima* is well known (KOZUR & MOCK, 1991). The phylomorphogenetic line between *M. hernsteini* and *M. posthernsteini* was documented first by MOSTLER et al. (1978) and was recently studied by GIORDANO et al. (2010) in which transitional forms are arranged in three evolutionary steps. *Misikella hernsteini* is characterized by a long blade composed of 5–6 denticles and an appropriately long and narrow basal drop-shaped basal cavity. The step 1 in the evolution of *M. hernsteini* – *M. posthernsteini* is marked by a shorter blade with a decreased number of denticles (four in number); the basal cavity is enlarged and has a markedly expanded posterior part with a rounded or triangle-like outline but is devoid of any incision. The increase of the height of denticles is obvious. The length : height ratio (L : H) in *M. hernsteini* is 2 : 1,5 whereas in the step 1 of the *H. hernsteini* – *H. posthernsteini* evolutionary trend is almost 1 : 1. This step corresponds descrip-

tion of *H. koessenensis*. In general, there are very rare *Misikella* specimens bearing denticles behind the cusp and all of them belong to *M. rhaetica*. The size of *M. koessenensis* is comparable to the size of *M. hernsteini*, whereas in the *M. posthernsteini* an increase in height may be seen. In this study, short and high elements that reveal no posterior denticle, composed of 3–5 denticles and an appropriate ratio L : H are included to *M. koessenensis* sensu lato rather than make a compromise to regard these forms as *Misikella* n. sp. B, as suggested by Kozur (pers. comm.). Mostler originally wrote that most specimens of *M. koessenensis* have slender denticle behind the cusp. Thus, the Slovenian specimens fit the original diagnosis of the taxon. However, most conodont workers so far included only specimens with posterior denticle(s) to this species, and therefore an emendation of *M. koessenensis* should be done. In the faunas of the investigated Kobla section such elements make their first appearance at 58 m, 3 metres above the first occurrence of *M. hernsteini*. The following two evolutionary steps 2 and 3 leading towards *M. posthernsteini* are marked by a progressive degree of incision in the posterior part of the basal cavity that causes a heart-shaped lower outline, and parallel to this also a reduction of denticles ending in three-dentate elements with a noticeable larger size.

Two lines can be seen in evolution of *Misikella*. They are represented by *M. hernsteini* and *M. posthernsteini*. The *M. hernsteini* evolutionary line is marked by a slight reduction of overall unit size, whereas in the *M. posthernsteini* line an enlargement of overall size is evident. Both lines are marked by a reduction in the number of denticles. The evolutionary trend in the two lines is practically identical if one takes into consideration the outline of the lower side that is drop-shaped in *M. hernsteini* and heart-shaped in *M. posthernsteini*, respectively.

We agree with observation of GIORDANO et al. (2010) that the outline of the basal side is important and it is used as the main criterion to distinguish *M. hernsteini* and *M. posthernsteini*. Their evolution from units with an oval basal area in *M. hernsteini* is documented with a series of transitional forms leading to elements with an evident inflexion ending in a heart-shaped basal side of *M. posthernsteini*. Arguments of MOIX et al. (2007) claiming that the lower area is important for recognition of Sevatian-Rhaetian taxa is in general supported. They argued the lower side of *M. rhaetica* does not extend to the full length of the lower side of the element but extends only 2/3. Therefore they assigned »M.« *rhaetica* to *Parvigondolella*. The original diagnosis of *M. rhaetica* includes elements bearing 1–3 smaller denticles behind the cusp and the basal cavity extends only 2/3 of the lower side in most specimens (MOSTLER et al. 1978). In this study, the elements of *Misikella* with 1–2 denticles of smaller size behind the cusp and with a widely opened

basal area extending nearly the full length are attributed to *M. rhaetica* as illustrated in Rožič et al. (2009, Fig. 9e). Thus, the species name *Misikella rhaetica* sensu lato is used herein. Similar specimens are regarded as long *M. hernsteini* by Kozur (pers. comm.) or are assigned to *Misikella* n. sp. A by MUTTONI et al. (2010). Emendation of *M. rhaetica* is therefore needed as the original diagnosis includes also specimens with longer basal area. However, based on the material from Slovenia, we may conclude that there exists a strong homeomorphism in morphology of *Misikella rhaetica* and *Parvigondolella rhaetica*.

The known origin of *Misikella* started with *M. hernsteini*, as its forrunner is yet still not known. However, it could be linked with *M. longidentata*. *M. hernsteini* appeared during the late Sevatian in the *M. hernsteini* – *P. andrusovi* A. Z. Soon after appearance of *M. hernsteini* two lines of evolution can be noted that markedly differ in outline of the basal area. One line retained the drop-shaped basal area, whereas a heart-shaped basal area is evident in the second:

1. Evolutionary line: *M. hernsteini* – (*M. rhaetica*) – *M. koessenensis* – *M. buseri*. Already in the lower *M. hernsteini* – *P. andrusovi* A. Z. two species, *M. koessenensis* and *M. rhaetica* evolved. According to data from Slovenia the two taxa appeared simultaneously where specimens of *M. koessenensis* with no denticles posterior to the cusp were collected. Such forms gave rise to *M. buseri* that represents a final step in this evolutionary line marked by obvious reduction of the overall size, decrease in number of denticles and proportional increase of the height of denticles.
2. Evolutionary line: *M. hernsteini* – *M. posthernsteini* – *M. ultima* – *M. kovacsi*:

This evolutionary line is marked by the evolution of a heart-shaped basal area in *M. posthernsteini* that was followed by *M. ultima* and *M. kovacsi*. *Misikella posthernsteini* evolved from *M. hernsteini* through several transitional forms and marks the lower bounday of the *M. posthernsteini* A. Z. The evolutionary trend *M. posthernsteini* – *M. ultima* – *M. kovacsi* is characterized by a decrease of overall size and in a marked reduction of number of denticles.

The two phylogenetic lineages share similar stages of evolution. *M. koessenensis* and *M. posthernsteini* evolved after common ancestor of both lines. At this stage two lines with a distinct forming of the basal area are evident. According to the Slovenian data, *M. koessenensis* and *M. rhaetica* evolved simultaneously from *M. hernsteini*. The intermediate stage is represented by *M. rhaetica* and *M. ultima*. The two species have been so far reported as a parallel step in *Misikella* evolution as they both reveal a secondary bar, but they

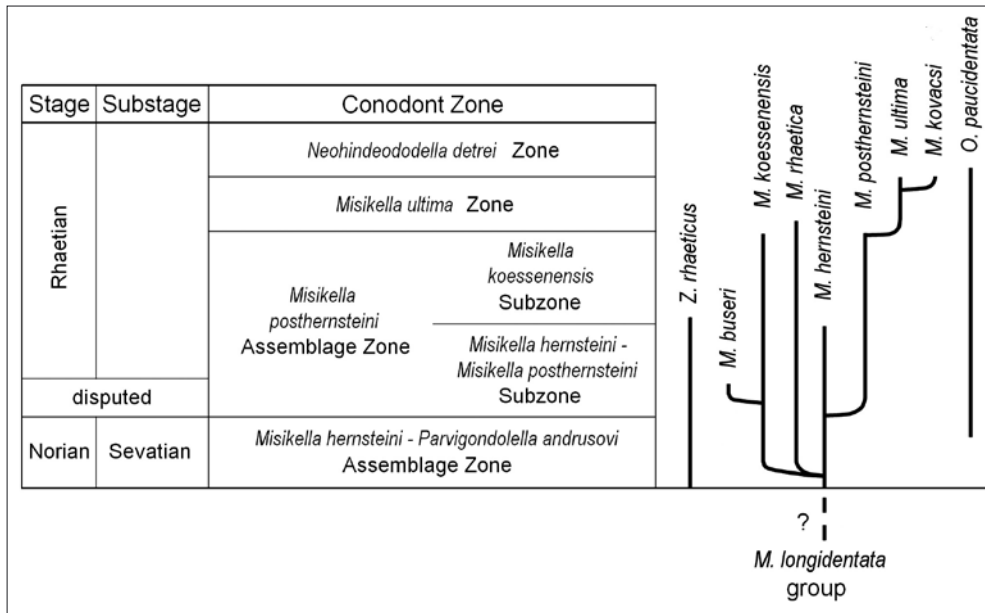


Fig. 3. Possible evolution of *Zieglerioconus* and *Misikella* from an unknown origin in the Middle Norian. The chart is based on occurrences in the Slovenian Basin except for the *M. ultima* and *M. kovacsi* occurrences are after KOZUR & MOCK (1991) and PÁLFY et al. (2007); conodont zonation after KOZUR & MOCK (1991). Abbreviations: *M.* – *Misikella*, *O.* – *Oncodella*, *Z.* – *Zieglerioconus*.

retained the similar outline of its ancestor. Based on available data it seems that *M. rhaetica* was a parallel step in *Misikella* evolution. The final step in evolution of both lines is represented by *M. buseri* and *M. kovacsi* with forms characterized by very reduced elements bearing only two denticles. As the following expressed trend in evolution of *Misikella* its ultimate stage could be expected in secondary single cone forms, similar to *Zieglerioconus*. However, their direct relationship is excluded due to their co-occurrences in the Slovenian section. Available data suggest the origin of *Zieglerioconus* and *Misikella* from a common and still unknown ancestor (Fig. 3).

The evolution of the last representatives of gondolellid stock in the latest Triassic (platform type *Epigondolella* and non-platform types *Misikella* and *Parvigondolella*) share certain similarities. The evolutionary steps of *Epigondolella* have already been studied by TRAMMER (1974) who documented a trend in reduction of element size, reduction of platform length, decrease in number of lateral denticles along with increasing height of denticles in the carina. A strong reduction in size and total reduction of the platform was shown in the Middle Triassic lineage *Neogondolella* – *Celsigondolella* by KOZUR (1968). The end form, *Celsigondolella watznaueri* is very similar to *Parvigondolella*. A similar evolutionary trend can be observed also in the non-platform types, *Misikella* and *Parvigondolella*. Our study documents that a strong homeomorphism occurred in the evolution of the three genera leading to very reduced forms. This phenomenon was observed in the evolution of certain Late Triassic genera as has already been pointed out by KOZUR & MOCK (1974a). The specimen here illustrated (Pl. 1, Fig. 1) reveals a narrow basal area that is not typical for representatives of the genus *Misikella* at this level and morphologically stands close to *Parvigondolella*, therefore this element is here assigned to the genus »*Misikella*«.

### Systematic paleontology

Genus *Misikella* Kozur & Mock 1974

Type species: *Spathognathodus hernsteini*  
Mostler 1967

#### *Misikella buseri* n. sp.

Pl. 1, Fig. 3

Derivatio nominis. In honour of Prof. Dr. Stanko Buser, a Slovenian geologist for his outstanding contribution to the knowledge of the Slovenian Basin and the Slovenian geology in general.

Holotypus. The specimen on Pl. 1, Fig. 3, sample K2/ 76,0, repository number GeoZS 4242.

Locus typicus. The Kobla section, Tolmin Nappe, western Slovenia.

Stratum typicum. Sample K2/ 76,0, Rhaetian, lower *Misikella posthernsteini* A. Z. (= *Misikella hernsteini* – *Misikella posthernsteini* Subzone), Slatnik Formation.

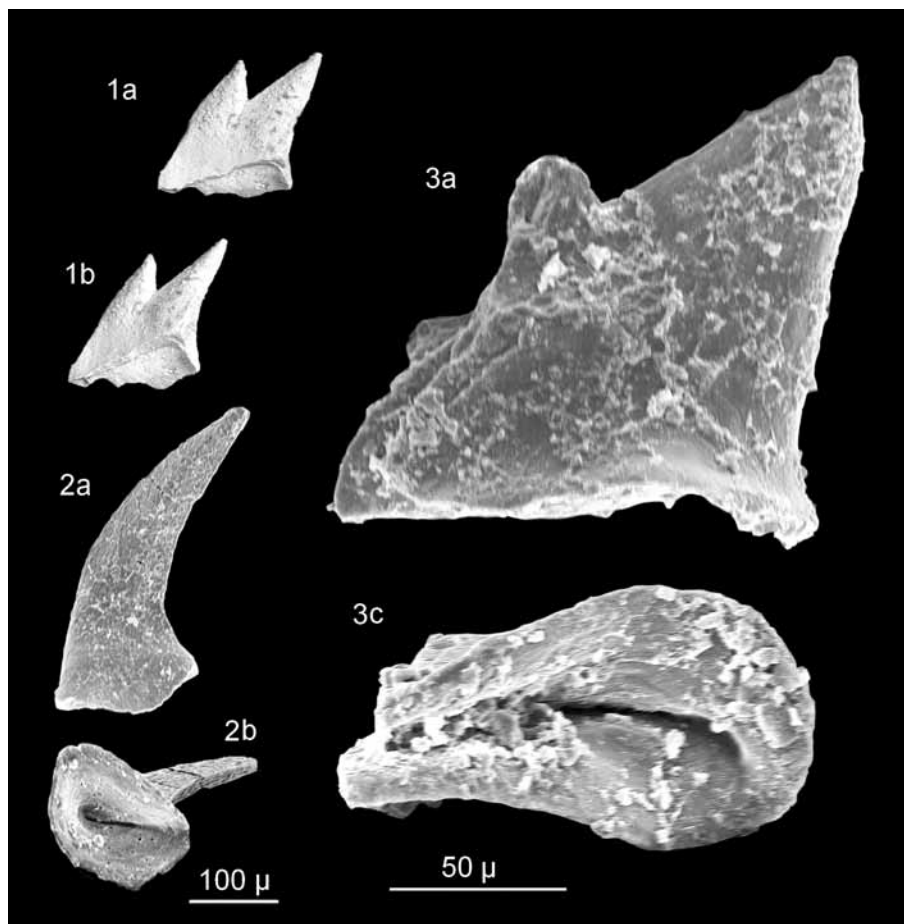
Material. 5 specimens.

Diagnosis. The P1 element is a very reduced segminate element comparable to other species in *Misikella* marked by a big cusp and one more small denticle, a basal cavity rounded posteriorly and devoid of any incision.

Description. This species is characterized by very reduced segminate element with a large cusp and one more small denticle: in the holotype the denticle next to the cusp is very reduced. The basal area is very opened and has an oval posterior edge. The basal cavity is widely expanded appropriately to the large size of the cup.

Occurrence. Late Triassic: early Rhaetian, lower *Misikella posthernsteini* A. Z. (= *Misikella hernsteini* – *Misikella posthernsteini* Subzone), Slatnik Formation.





### PLATE 1

Conodonts from the Mt. Kobla section, Julian Alps, Slovenia; Slatnik Formation; Figs. 1, 2 – scale bar 100  $\mu\text{m}$ , Fig. 3 – scale bar 50  $\mu\text{m}$ .

1 *Misikella* sp., Pa – element, sample K2/64,0 (GeoZS 4234); *Parvigondolella andrusovi-Misikella hernsteini* A. Z.

2 *Zieglerioconus rhaeticus* Kozur & Mock, Pa – element, sample K2/58,0 (GeoZS 4228); *Parvigondolella andrusovi-Misikella hernsteini* A. Z.

3 *Misikella buseri* n.sp., Pa – element, holotype, sample K2/76,0 (GeoZS 4242); lower *Misikella posthernsteini* A. Z. (= *Misikella hernsteini* – *Misikella posthernsteini* Subzone).

a – lateral view, b – oblique lower view, c – lower view.

The illustrated conodont specimens were photographed at the JEOL JSM 6490LV Scanning Electron Microscope at the Geological Survey of Slovenia / Geološki zavod Slovenije and are housed in the micropaleontological collection of the same institution.

### Acknowledgements

The author is indebted to Merlynd Nestell (Arlington, Texas) for editing the manuscript and wishes to extend her thanks to Heinz Kozur (Budapest, Hungary) for helpful suggestions and communications on conodonts. Milan Sudar (Belgrade, Serbia) and Bojan Ogorelec (Ljubljana, Slovenia) provided constructive reviews of the manuscript. Facilities and technical staff of the Geological Survey of Slovenia are gratefully acknowledged. The investigation was financially supported by the Slovenian Research Agency (programme number P1-0011).

### References

- AUBOUIN, J. 1960: Essai sur l'ensemble italo-dinarique et ses rapports avec l'arc alpin. *Bull. Soc. Geol. France*, 7/2: 487–526.
- BIRKENMAJER, K., KOZUR, H. & MOCK, R. 1990: Exotic Triassic limestone pebbles from the Pieniny Klippen Belt of Poland. *Ann. Soc. Geol. Polon.*, 60: 3–44.
- BUSER, S. 1986: Explanatory book, Sheet Tolmin and Videm (Udine) L33-64, L33-63. Basic geological map of SFRY 1 : 100,000. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1987: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000, list Tolmin. 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. It.*, 40: 313–320.
- BUSER, S. 1996: Geology of Western Slovenia and its paleogeographic evolution. In: DROBNE, K., GORIČAN, Š. & KOTNIK, B. (Eds.): The role of impact processes and biological evolution of Planet Earth: International workshop, Postojna, 27. 9. – 2. 10. 1996, ZRC SAZU, Ljubljana, 111–123.
- BUSER, S. 2003: Géologie de la Slovénie occidentale. In: DROBNE, K., PUGLIESE, N. & TAMBAREAU, Y. (Eds.): De la mer Adriatique aux Alpes Juliennes (Italie nord-orient et Slovénie occidentale) – un parcours géologique sans frontières. Ljubljana: Znanstveno raziskovalni center SAZU; Trieste: Dipartimento di scienze geologiche, ambientali e marine, Università, 27–31.
- BUSER, S. & DEBELJAK, I. 1996: Lower Jurassic beds with bivalves in south Slovenia. *Geologija*, 37/38 (1994/95): 23–62.
- BUSER, S., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2007: Triasni konodonti slovenskega bazena = Triassic conodonts of the Slovenian Basin. *Geologija*, 50/1: 19–28.
- 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.
- 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.
- CHANNELL, J. E. T., KOZUR, H. W., SEEVERS, T., MOCK, R., AUBRECHT R. & SYKORA, M. 2003: Carnian - Norian biomagnetostratigraphy at Silická Brezová (Slovakia): correlation to other Tethyan sections and to the Newark Basin. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 191: 65–109.
- COUSIN, M. 1973: Le sillon slovène: les formations triasiques, jurassiques et neocomiennes au Nord-Est de Tolmin. *Bull. Soc. geol. Fr.*, 7/15: 326–339.
- CLARK, D. L. 1983: Extinction of conodonts. *J. Paleont.*, 57: 652–661.
- GALE, L. 2010: Microfacies analysis of the Upper Triassic (Norian) “Bača Dolomite”: early evolution of the western Slovenian Basin (eastern Southern Alps, western Slovenia). *Geol. Carpath.*, 61: 293–308.
- GALE, L., KOLAR-JURKOVŠEK, T., ŠMUC, A. & ROŽIČ, B. (submitted): Integrated foraminiferal and conodont biostratigraphy from the Rhaetian strata of the Slovenian Basin: new data from the Mt Kobla section (eastern Southern Alps, western Slovenia).
- GAŹDZICKI, A., KOZUR, H. & MOCK, R. 1979: The Norian-Rhaetian boundary in the light of micropaleontological data. *Geologija*, 22: 71–112.
- GIORDANO, N., RIGO, M., CIARAPICA, G., BERTINELLI, A. 2010: New biostratigraphical constraints for the Norian/Rhaetian boundary: data from Lagonegro Basin, Southern Apennines, Italy. *Lettaia*, 43/4: 573–586, doi:10.1111/j.1502-3931.2010.00219.x
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. 1994: Mikrofauna from the Upper Triassic of Karavanke Mts. (Slovenia). *Mém. de Géol.*, 22, Proceedings of the Triassic Symposium, Lausanne, 20–25 October 1991: 53–62.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. 1991: Mikrofauna srednjega in zgornjega triasa Slovenije in njen biostratigrafski pomen. *Geologija*, 33: 21–170.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T., BUSER, S. & JURKOVŠEK, B. 1983: Zgornjetriasne plasti zahodnega dela Pokljuke. *Rud.-metal. zb.*, 30/2-3: 151–185.
- KOZUR, H. 1968: Conodonten aus dem Muschelkalk des germanischen Binnenbeckens und ihr stratigraphischer Wert. Teil I: Conodonten vom Plattformtyp und stratigraphische Bedeutung der Conodonten aus dem oberen Muschelkalk. *Geologie*, 17/8: 930–946.
- KOZUR, H. 1989: Significance of Events in Conodont Evolution for the Permian and Triassic Stratigraphy. *Courier Forsch., Inst. Senckenberg*, 117: 385–408.
- KOZUR, H. 1993: First evidence of Liassic in the vicinity of Csövár (Hungary) and its paleogeographic and paleotectonic significance. *Jb. Geol. B.-A.*, 136/1: 89–98.
- KOZUR, H. 1996: The Conodonts *Hindeodus*, *Isarcicella* and *Sweetohindeodus* in the Uppermost Permian and Lowermost Triassic. *Geol. Croat.*, 49/1: 81–115.
- KOZUR, H. 2003. Integrated ammonoid-, conodont and radiolarian zonation of the Triassic. *Hallesches Jahrb. Geowiss.*, 25: 49–79.
- KOZUR, H. & MOCK, R. 1974a: Zwei neue Conodonten-Arten aus der Trias des Slowakischen Karstes. *Čas. Min. Geol.*, 19: 135–139.

- KOZUR, H. & MOCK, R. 1974b: *Misikella posthernsteini* n.sp., die jüngste Conodontenart der tetrahyalen Trias. Čas. Min. Geol., 19: 245–250.
- KOZUR, H. & MOCK, R. 1991: New Middle Carnian and Rhaetian conodonts from Hungary and the Alps. Stratigraphic importance and tectonic implications for the Buda Mountains and adjacent areas. Jb. Geol. B.-A., 134: 271–297.
- KRYSTYN, L. 1980: Triassic conodont localities of the Salzkammergut region (Northern Calcareous Alps). In: SCHÖNLAUB, H.P. (Ed.): Second European conodont symposium – ECOS II, Guidebook, Abstracts. Abh. Geol. B.-A., 35: 61–98.
- KRYSTYN, L. 1987: Zur RHÄT-Stratigraphie in den Zlambach-Schichten (vorläufiger Bericht). Sitz. Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., 196: 21–36.
- KRYSTYN, L., BOUQUEREL, H., KUERSCHNER, W., RICHOUZ, S. & GALLET, Y. 2007: Proposal for an australian candidate GSSP for the base of the Rhaetian stage. In: LUCAS, S. G. & SPIELMANN, J. A. (Eds.): The Global Triassic. New Mexico Museum. Nat. Hist. & Sc. Bull., 41: 189–199.
- MOIX, P., KOZUR, H. W., STAMPFLI, G. M. & MOSTLER, H. 2007: New paleontological, biostratigraphic and paleogeographic results from the Triassic of the Mersin Mélange, SE Turkey. In: LUCAS, S. G. & SPIELMANN, J. A. (Eds.): The Global Triassic. New Mexico Mus. Nat. Hist. Sci. Bull., 41: 282–311.
- MOSTLER, H. 1967: Conodonten und Holothuriensklerite aus den norischen Hallstätterkalken von Hernstein (Niederösterreich). Verh. Geol. Bundesanst., 1–2: 177–188.
- MOSTLER, H., SCHEURING, B. & ULRICH, M. 1978: Zur Mega- und Mikrofauna und Mikroflora der Kössenerschichten (alpine Obertrias) vom Weissloferbach in Tirol unter besondere Berücksichtigung der in der suessi- und marshi- Zone auftretenden Conodonten. Schrift. Erdwiss. Komm. Österr. Akad. Wiss., 4: 141–174.
- MUTTONI, G., KENT, D. V., JADOUL, F., OLSEN, P. E., RIGO, M., GALLI, M. T., NICORA, A. 2010: Rhaetian magneto-biostratigraphy from the Southern Alps (Italy): constraints on Triassic chronology. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 285: 1–16.
- PÁLFY, J., DEMÉNY, A., HAAS, J., CARTER, E. S., GÖRÖG, Á., HALÁSZ, D., ORAVECZ-SCHEFFER, A., HETÉNYI, M., MÁRTON, E., ORCHARD, M. J., OZSVÁRT, P., VETŐ, I. & ZAJZON, N. 2007: Triassic-Jurassic boundary events inferred from integrated stratigraphy of the Csóvár section, Hungary. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 244: 11–33.
- PLACER, L. 1999: Contribution to the macro-tectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. Geologija, 41 (1998): 223–255.
- PLACER, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. Geologija, 51/2: 205–217.
- 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. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2007: Zgornjetriasni apnenčevi razvoji Slovenskega bazena na Kobli in Slatniku. Geološki zbornik, 19: 96–99.
- 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.
- SWIFT, A. 1989: First records of conodonts from the Late Triassic of Britain. Palaeontology, 32: 325–333.
- SEPKOSKI, J. J. & RAUP, D.M. 1986: Periodicity in marine extinction events. In: ELLIOT D.K. (Ed.): Dynamics of Extinction. Wiley, New York: 3–36.
- TRAMMER, J. 1974: Evolutionary Trends and Pattern of Extinction of Triassic Conodonts. Acta Pal. Polonica, 19/2: 251–264.
- WINKLER, A. 1923: Über den Bau der östlichen Südalpen. Mitt. Öster. Geol. Gesellschaft, 16: 1–272.





# Devonian conodonts from the Foča–Prača Paleozoic complex (Durmitor Nappe, southeastern Bosnia and Herzegovina)

## Konodonti iz fočansko-pračanskega paleozojskega kompleksa (durmitorski pokrov, jugovzhodna Bosna in Hercegovina)

Tea KOLAR-JURKOVŠEK<sup>1</sup>, Hazim HRVATOVIĆ<sup>2</sup>, Ferid SKOPLJAK<sup>3</sup> & Bogdan JURKOVŠEK<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana;  
e-mail: tea.kolar@geo-zs.si, bogdan.jurkovsek@geo-zs.si,

<sup>2,3</sup>Federalni zavod za geologiju, Ustanička 11, 71000 Sarajevo, e-mail: zgeolbih@bih.net.ba

Prejeto / Received 15. 3. 2011; Sprejeto / Accepted 13. 4. 2011

*Key words:* conodonts, Devonian, CR-17 borehole, Crna Rijeka, Bosnia and Herzegovina

*Ključne besede:* konodonti, devon, vrtina CR-17, Crna rijeka, Bosna in Hercegovina

### Abstract

Conodont study of the Crna Rijeka borehole CR-17, positioned in the frontal part of the Durmitor Nappe (Foča – Prača Paleozoic complex, SE Bosnia and Herzegovina) is presented. The obtained fauna indicates an Early-Middle Devonian age and due to poor preservation an identification at a generic level is possible only. The recovered conodont elements have a high Color Alteration Index (CAI = 6,5–7) indicating a degree of metamorphism corresponding to a temperature interval from 440 °C to 720 °C.

### Izvelek

Predstavljene so konodontne raziskave vrtine Crna rijeka CR-17 v čelnem delu pokrova Durmitor (paleozojski kompleks Foča – Prača, jugovzhodna Bosna in Hercegovina). Konodontna favna dokazuje spodnje-srednjo devonsko starost, vendar je zaradi slabe stopnje ohranjenosti mogoča le določitev na stopnji rodov. Dobljeni konodontni elementi imajo visok barvni indeks (CAI = 6,5–7), ki kaže na stopnjo metamorfoze v temperaturnem intervalu od 440 °C do 720 °C.

### Introduction

The goal of the CR-17 borehole (Fig. 1) was to acquire knowledge about the thickness of Devonian carbonate in the Crna Rijeka area of Bosnia and to recognize the geological characteristics of the area to support the project of the »Crna Rijeka Dam«, near Sarajevo (BAŠAGIĆ & SKOPLJAK, 2007).

In this short report a documentation is presented of a conodont study carried out in Paleozoic strata of the Crna Rijeka CR-17 borehole, interval from 12 to 203 meters. The obtained conodont fauna indicates an Early-Middle Devonian age of the investigated samples present in some of the oldest strata in Bosnia and Herzegovina.

### Geological setting

Geographically, the Crna Rijeka is located southeast of Sarajevo (Fig. 1). The area of Crna Rijeka is included in the Foča-Prača Paleozoic



Fig. 1. Location map of the Crna Rijeka CR-17 borehole.

complex of southeastern Bosnia and Herzegovina and is positioned in the frontal part of the Durmitor Nappe, which tectonically overlies the Bosnia Flysch Nappe (Fig. 2).

Southeastern Bosnia and Herzegovina comprises the areas of Foča, Goražde and Prača. In the between the Foča and Goražde areas the oldest Paleozoic formations crop out in which Variscian age structures are preserved. Thick-bedded limestone occurs at Ustikolina with Late Silurian conodonts *Ozarkodina* and *Panderodus* present (BUZALJKO, 1971; RAMOVŠ, 1989).

Lower Devonian strata are represented by dark gray platy limestone with conodonts (*Neoprioniodus*, *Plectospathodus*) and Upper Devonian limestone are marked by the presence of conodonts (*Palmatolepis*), bryozoans and crinoids (BUZALJKO, 1971; RAMOVŠ, 1989).

In the area of Klek on the easternmost slopes of Mt. Jahorina, "Orthoceras limestone" with Early and Late Silurian conodonts and tentaculides are present in the Prača thrust below Triassic formations (KOSTIĆ-PODGORSKA, 1958). Here, a rich fauna of corals, stromatoporoids, hydrozoans, bryozoans, brachiopods and crinoids was collected in

Lower and Middle Devonian limestone (KOSTIĆ-PODGORSKA, 1958; ŽIVANOVIĆ, 1963; PANTIĆ, 1963). Some Paleozoic formations of the Foča area are of a presumed Devonian age. The thickness of the Paleozoic formations attains up to 800 m in the area (BUZALJKO, 1971).

Devonian formations are overlain by Early Carboniferous flysch that is up to 1000 m thick. The flysch sediments contain ammonoids (goniatites, orthoceratides), mollusks, gastropods, brachiopods and corals. At Podkoran, an occurrence of Early Carboniferous strata containing goniatites was studied in detail by KITTL (1904). Based on the goniatite data, FRECH (1906) and SCHMIDT (1924) supported a Visean age of some Paleozoic formations. PODGORSKA (1939) published data on fauna from crinoidal limestone from the area of Prača.

KRSTIĆ et al. (1988) gave explanation of the origin for the Silurian and Devonian limestones in the Prača area of SE Bosnia considering them as allochthonous clasts and olistoliths in the Lower Carboniferous „Culm“ flysch. FILIPOVIĆ & JOVANOVIĆ (1994) later provided new data for age and characteristics of the same rocks in the Prača (SE

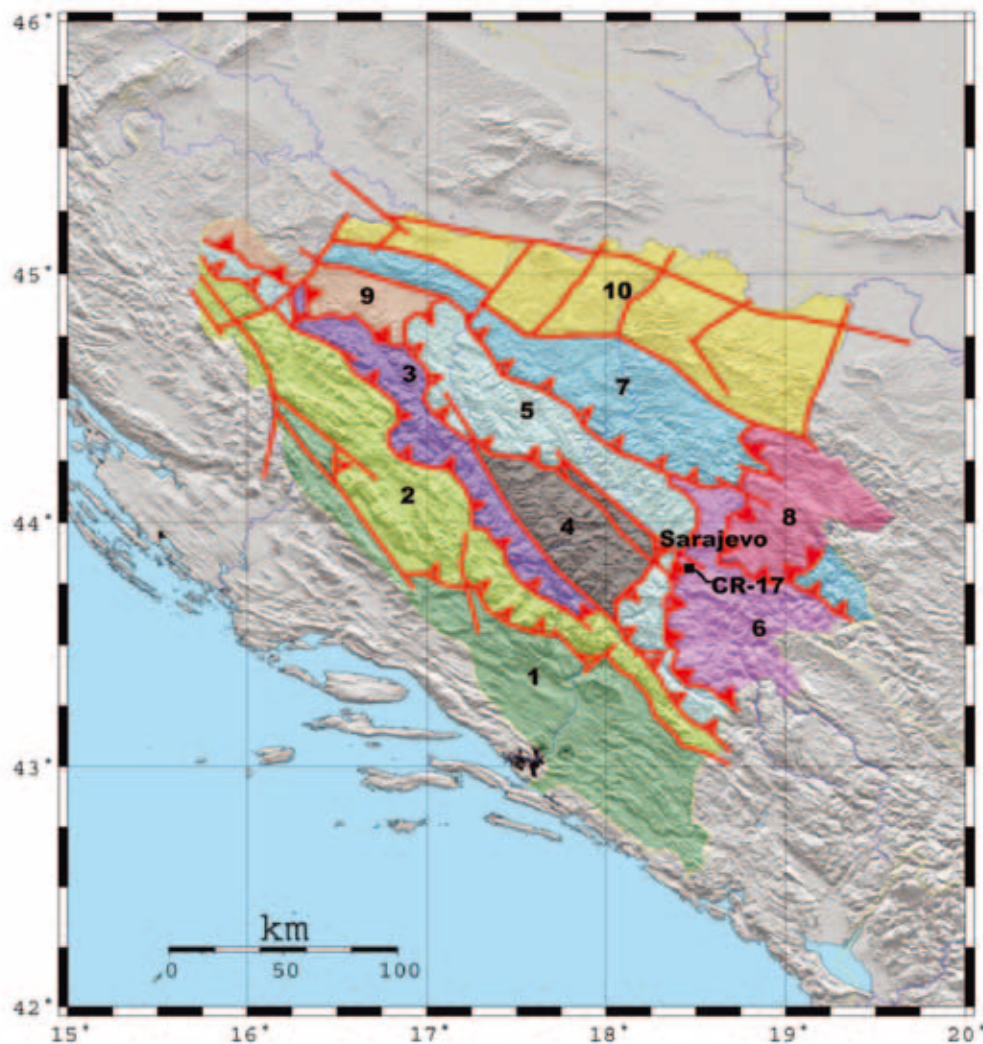


Fig. 2. Main structures of the Dinarides of Bosnia and Herzegovina (HRVATOVIĆ, 2006): ■ - CR-17 borehole. 1. Karst Nappe, 2. Una-Drežnica-Gacko Nappe, 3. Ključ-Raduša Nappe, 4. Mid-Bosnian Schists Mts., 5. Bosnian Flysch Nappe, 6. Durmitor Nappe, 7. Ophiolite Nappe, 8. Golija Nappe, 9. Sana-Una Nappe, 10. Sava-Vardar Nappe.



Bosnia) and Vlasenica (NE Bosnia) areas, and they interpreted them as Upper Carboniferous olistostromes connected with Asturian phase of Variscan orogenesis.

A break in sedimentation took place during the Late Carboniferous and Early Permian. The Upper Permian is represented by reddish clastics overlain by Bellerophon limestone bearing gastropods (*Bellerophon*) and calcareous algae (*Gymnocodium*). The Bellerophon limestone was first recorded by BITTNER (1880) and documented later by KITTL (1904) at Han Orahovica, KATZER (1926) at Zbišće and Musići, and KOSTIĆ-PODGORSKA (1958) at Vihor, Lunji and Razbojište. In the area of Tjentište, CADET (1966) reported finding of brachiopods, mollusks and gastropods in dark gray thick bedded limestone of Latest Permian age. In the area of the Kolina Valley, Fočanska Jabuka and further towards Prača sideritic-ankeritic limestone were discovered with sulphides: pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, galena and antimonite. BUZALJKO (1971) made a detailed stratigraphic subdivision of the Permian rocks of the Southeast Bosnia area (Fig. 3).

### Conodont study

The present study is based on collections from the borehole CR 17 of Crna Rijeka and made in 2006 (KOLAR-JURKOVŠEK & JURKOVŠEK, 2006). Ten carbonate samples were collected, averaging approximately 2 kg each. They were processed for

conodont analyses. All of them are composite samples, covering over one meter of the most perspective divisions, i. e. in the less recrystallized and less tectonized parts of the drill hole. Three samples were composite samples embracing over three to six meters of the borehole in order to obtain positive results. A standard technique for conodont extraction was applied by use of acetic acid and then heavy liquid separation. The samples were dissolved at the Geološki zavod Slovenije / Geological Survey of Slovenia.

Out of the 10 examined samples from the investigated interval, six samples were productive for conodonts. However, conodont yields are rather low (Fig. 4). The obtained elements are largely fragmented. An identification at a generic level is possible only due to poor state of preservation. The conodont elements recovered have a high Color Alteration Index (CAI = 6.5–7) indicating a degree of metamorphism corresponding to a temperature interval from 440 °C to 720 °C (REJEBIAN et al., 1987).

Most of the forms are indeterminate and only the elements of the two samples (CR 74–79 m and CR-17 193–195 m) enable comparison with Early–Middle Devonian taxa.

### Materials and methods

Photographs of all illustrated conodont elements presented herein were taken on the JSM-

M	Age	Lithology	Environments	Fossils
<100	P <sub>3</sub>	Bellerophon limestone, – sandstone, – gypsum, – reddish schist, – siltstone	Shallow marine-lagoonal	<i>Bellerophon</i> sp., <i>Archaeocidaris ladina</i> , <i>Gymnocodium</i> sp.
			Land?	
850	P <sub>1,2</sub>	– redish conglomerate, and quartz sandstone, – gray schist, marble, bedded limestone, – breccia	Shallow marine to fluvial	<i>Naneionella</i> , <i>Mizzia cornuta</i> , <i>Globivalvulina</i> , <i>Tubertina</i> sp.
100	C <sub>3</sub>	Sandstone, claystone, conglomerate, schist	Trench	<i>Lepidodendron weltheimianum</i>
	C <sub>2</sub>	<b>Flysch:</b>	Trench	<i>Verneulites librovitchi</i>
700	C <sub>1</sub>	<b>Flysch:</b> Subgraywacke, sandstone, claystone, clayey-quartz-sericite schist, microconglomerate, massive limestone	Trench	<i>Lepidodendron lassenii</i> , <i>Glyphyoceras sphaericum</i> , <i>Aviculopecten pračaensis</i> , <i>Cyathocarinia rasiliana</i> , <i>Chonetes</i> , <i>Nereites</i>
200	D <sub>3</sub>	Bedded limestone	Marine platform	<i>Hindeodella</i> sp., <i>Palmatolepsis glabra pectinata</i> , <i>P. rhomboidea</i> , <i>Belodella triangularis</i>
450	D <sub>2</sub>	Massive reefal limestone	Marine platform	<i>Favosites</i> sp., <i>Polygnathus linguiformis</i>
200	D <sub>1</sub>	Bedded limestone, layered schist	Marine platform	<i>Neoprioniodus bicurvatus</i> , <i>Plectospathodus</i> , <i>Panderodus unicostatus</i>
100	S <sub>3</sub>	Massive limestone	Marine platform	<i>Ozarkodina</i> , <i>Panderodus</i>

Fig. 3. Geological description of Paleozoic strata of SE Bosnia (HRVATOVIĆ, 2006; after BUZALJKO 1971; KULENOVIĆ, 1985).

5500 LV Scanning Electron Microscope of the Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG Ljubljana). The conodont material is stored in the micropaleontological collection of Geological Survey of Slovenia (Geološki zavod Slovenije) under the inventory numbers GeoZS 4072-4080, 4085.

#### *Sample CR-17 74-79 m (GeoZS 4077)*

A single element was recovered from this sample. It is a spathognathodiform element (Pl. 1, Fig. 1) but the upper part of the denticles is broken away but it appears to represent an Early-Middle Devonian species of *Ozarkodina* or *Pandorinellina* (ROBISON, 1981; SUTTNER 2007). However, the form also has certain similarities to *Ozarkodina pandora* Murphy, Matti & Walliser, an important Lockhovian datum (MURPHY et al., 1981).

#### *Sample CR-17 193-195 m (GeoZS 4080)*

The sample yielded two fragments of coniform elements with distinct longitudinal striation, yet partly etched (Pl. 1, Fig. 2). The specimens are marked by fine striation characteristic for *Neopanderodus* that ranges from the Lower to the Middle Devonian (ROBISON, 1981). Nevertheless, the specimens can be compared with *Belodella striata* Kozur, the only belodellid representative with fine striated ornamentation. This species was first described from the basal Pragian of the Uppony Mts. in Hungary (KOZUR, 1984).

### Remarks on the Early-Middle Devonian conodont faunas of Bosnia and Herzegovina

The first Lower Devonian conodont faunas in Bosnia were described from the Dvor na Uni area on the Croatian-Bosnian border (ĐURĐANOVIĆ, 1968, 1973). Later, a few localities with equivalent

faunas were reported from Jezera area near Jajce in western Bosnia (MUDRENOVIĆ et al. 1969) and from the platy limestones of SE Bosnia and Herzegovina (KULENOVIĆ, 1983). All faunas are characterized by the presence of *Belodella*. Near the village of Kolakovići in SE Bosnia, Early Devonian apparatuses of *Belodella bosniensis* Ramovš and *B. elegans* Ramovš were reconstructed that are accompanied by *Ozarkodina remscheidensis* (Ziegler), *Ozarkodina wurmi* (Bischoff & Sanne-mann), and *Icriodus steinachensis* (Al Rawi) (RAMOVŠ, 1989).

Conodont faunas of Early Devonian age are also well documented from eastern Serbia and are marked also by the presence of the genera *Belodella* and *Ozarkodina* (KRSTIĆ et al. 1970, 1995; KRSTIĆ & SUDAR, 1992, 1994).

The studied conodonts are strongly affected by metamorphism as indicated by a high CAI. Furthermore, most recovered conodonts are fragmented, corroded and recrystallized. This state of preservation is a result of the regional metamorphism and it markedly differs from the preservation of Triassic conodonts of Bosnia and Herzegovina that show a lower CAI (ALJINOVIĆ et al., 2006, 2011) and have lesser alteration. The comparison with observations made on conodonts of the Albanides is obvious (SCHÖNLAUB & MEČO, 1986).

### Conclusions

A brief geologic overview of southeastern Bosnia and Herzegovina is presented and the results of a micropaleontological study carried out in the Crna Rijeka are documented herein. Conodonts were recovered from the Paleozoic strata of the CR-17 borehole. The scant conodont fauna indicates an Early-Middle Devonian age of the studied interval. The presence of conodonts in the tectonized carbonate facies is of significant importance for further study. The obtained results provide a reliable basis for a detailed biostratigraphic study aiming at a precise time assignment of the studied Devonian strata.

Taxon	Depth (m)										
	12	68	74-79	136	144/2	164	180-185	188	193-195	203	
<i>Ozarkodina</i> sp. or <i>Pandorinellina</i> sp.	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Neopanderodus</i> sp. or <i>Belodella</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
conodont fragments	1	-	-	-	-	-	2	3	-	1	
crinoid ossicles	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	

Fig. 4. Numerical distribution of recovered conodonts and presence of crinoids in the studied samples of the Crna Rijeka CR-17 borehole.

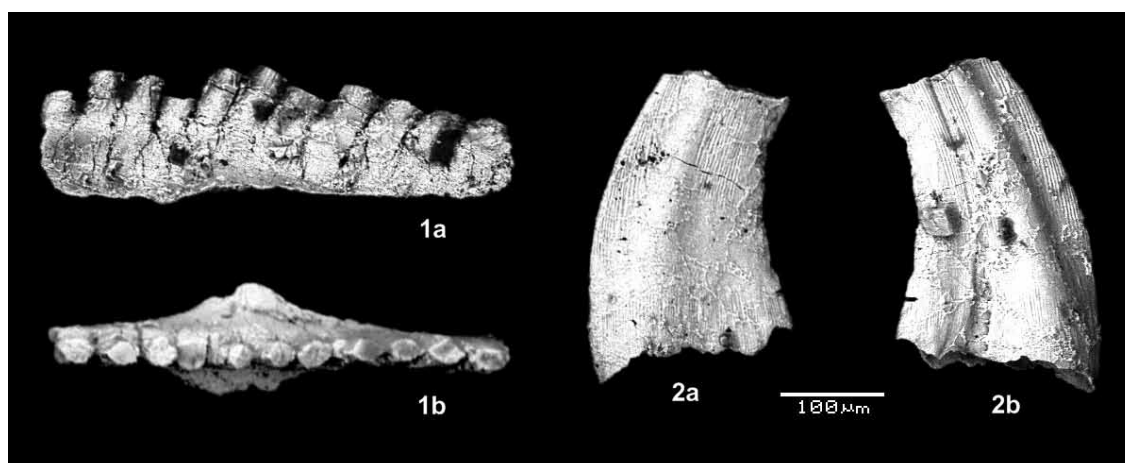


PLATE 1

Conodonts from the Crna Rijeka CR-17 borehole, Bosnia and Herzegovina, Early-Middle Devonian.

- 1 a–b *Ozarkodina* sp. or *Pandorinellina* sp. Sample CR-17 74–79 m (GeoZS 4077). a – lateral view, b – upper view.
- 2 a–b *Neopanderodus* sp. or *Belodella* sp. Sample CR-17 193–195 m (GeoZS 4080). a – b – lateral views.

#### Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge Merlynd Nestell for reading the manuscript and making linguistic corrections, Heinz Kozur and Mike Orchard made helpful and valuable comments on the conodont part. Reviews of Sejfudin Vrabac and Milan Sudar are acknowledged. This study was partly carried out at the Geological Survey of Slovenia through the program P1-0011 financially supported by the Slovenian Research Agency. This study was also supported through the program of bilateral cooperation in science and technology in Slovenia-Bosnia and Herzegovina (2010–2011). Photographs were taken by Mateja Golež and prepared by Stanko Zakrajšek.

#### References

- ALJINOVIĆ, D., HRVATOVIĆ, H., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2006: Early Triassic shelf sedimentation of External Dinarides (Bosnia and Herzegovina) and conodonts based biostratigraphic revision. *Norsk Geologisk Forening (NFG) Abstracts and Proceedings*, 3, 39, Boreal Triassic 2006, Longyearbyen 16–19 August 2006, Norway.
- ALJINOVIĆ, D., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B. & HRVATOVIĆ, H. 2011: Conodont dating of the Lower Triassic (Scythian) sedimentary rocks in the External Dinarides (Croatia and Bosnia and Herzegovina). *Riv. Ital. Paleont. Stratigr.*, 117/1: 135–148.
- BAŠAGIĆ, M. & SKOPLJAK, F. 2007: Hidrogeološka istraživanja za potrebe izrade glavnog projekta višenamjenskog vodoprivrednog podsistema Crna Rijeka – II faza. Institut za geologiju Građ. Fakulteta u Sarajevu.
- BITTNER, A. 1880: Die Herzegovina und die östliche Theile von Bosnien. *Jb. Geol. R. A.*, 30/2: 353–458.
- BUZALJKO, R. 1971: Geološka građa područja između Goražda i Rudog (jugoistočna Bosna). *Geol. glasnik*, 15: 69–88.
- CADET, J. 1966: Sur des niveaux permien associés à des gypses en Bosnie méridionale (Yugoslavie). *Seances de la Soc. geol. de France*, Paris: 409 p.
- ĐURĐANOVIĆ, Ž. 1968: Konodonti donjeg devona i donjeg karbona zapadno od Dvora na Uni (Hrvatska – Jugoslavija) / Conodonten des unterdevons und Unterkarbons westlich von Dvor na Uni (Kroatien-Jugoslawien). *Geol. Vjesn.*, 21: 93–103.
- ĐURĐANOVIĆ, Ž. 1973: O paleozoiku i triasu Medvednice (Zagrebačke Gore) i područja Dvora na Uni na temelju konodonta / About the Paleozoic and the Triassic of Medvednica Mountain and the area Dvor na Uni on the basis of conodonts. *Geol. Vjesn.*, 25: 29–49.
- FILIPOVIĆ, I. & JOVANOVIĆ, D. 1994: Variscan olistostromes of Western Serbia and Eastern Bosnia. *Geol. an. Balk. poluos.*, 58/2: 65–72.
- FRECH, F. 1906: Das marine Karbon in Ungarn. *Föld. Kozlony (Budapest)* 36.
- HRVATOVIĆ, H. 2006: Geological guidebook through Bosnia and Herzegovina. *Geol. Glasnik*, 28: 1–172.
- KATZER, F. 1926: Geologija Bosne i Hercegovine. Direkcija državnih rudarskih preduzeća u Sarajevu.
- KITTL, E. 1904: Geologie der Umgebung von Sarajevo. *Jb. Geol. R. A.*, Wien 53: 515–748.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2006: Izveštaj o konodontskim analizama »Projekt hidrogeoloških i hidroloških istražnih radova i



- ispitivanja za potrebe izrade Glavnog projekta višenamjenskog vodoprivrednog podsistema Crna Rijeka – II. Faza«. Arhiv Geološki zavod Slovenije: 1–3.
- KOSTIĆ-PODGORSKA, V. 1958: Fauna i biostratigrafski odnosi paleozojskih tvorevina u okolini Prače. Geol. glasnik, 4: 1–210.
- KOZUR, H. 1984: Preliminary report about the Silurian to Middle Devonian sequences near Nekézseny (southernmost Uppony Mts., northern Hungary). Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 13/7: 149–176.
- KRSTIĆ, B., FILIPOVIĆ, I. & MASLAREVIĆ, Lj. 1988: Palaeozoic olistostromes of Prača area, SE Bosnia. Geol. an. Balk. poluos., 51: 223–229.
- KRSTIĆ, B., SPASOV, H., STOJANOVIĆ-KUZENKO, S. & PAJIĆ, V. 1970: Prilog poznavanju donjeg i srednjeg devona u istočnoj Srbiji. Vesnik Zavoda geol. geofiz. istraž. 28, Ser. A: 307–326.
- KRSTIĆ, B. & SUDAR, M. 1992: Paleozojski kono-donti istočne Srbije, Jugoslavija (V). Ann. Geol. Penins. Balk., 56/1: 185–210.
- KRSTIĆ, B. & SUDAR, M. 1994: Paleozojski kono-donti istočne Srbije, Jugoslavija (VII). Ann. Geol. Penins. Balk., 58/1: 139–148.
- KRSTIĆ, B., SUDAR, M. & MASLAREVIĆ, L. 1995: Paleozojski konodonti istočne Srbije, Jugoslavija. VIII. Alohtoni silurski, devonski i donjo-karbonski krečnjaci u paleozojskom flišu istočne Srbije. Ann. Geol. Penins. Balk., 59/1: 149–163.
- KULENOVIĆ, E. 1983: Paleozoik u Bosni i Hercegovini / The Paleozoic era in Bosnia and Herzegovina. Akad. Nauka Umjet. BiH. Pos. izd. 59, Odjelj. Tehn. Nauka, 12: 89–107.
- MUDRENOVIĆ, V., STOJANOVIĆ-KUZENKO, S. & PAJIĆ, V. 1969: Razvoj silura i devona u području Jezera kod Jajca (Z. Bosna). III simpozijum Dinarske asocijacije, Institut za geološka istraživanja Zagreb: 135–146.
- MURPHY, M. A., MATTI, J. C. & WALLISER, O. H. 1981: Biostratigraphy and evolution of the *Ozarkodina remscheidensis* – *Eognathodus sulcatus* lineage (Lower Devonian) in Germany and central Nevada. J. Paleont., 55/4: 747–772.
- PANTIĆ, S. 1963: Rezultati mikropaleontoloških ispitivanja uzoraka iz šire okoline Prače, FSD Geol. zavoda Srbije, Beograd.
- PODGORSKA, V. 1939: Novi prilozi za poznavanje paleozoika u okolini Prače nedaleko od Sarajeva. Geol. Anali. Balk. Pol., Beograd: 16 p.
- RAMOVŠ, A. 1989: Two new *Belodella apparatuses* (Conodonta) from the Lower Devonian of Bosnia, Yugoslavia. Geol. Palaeontol., 23: 39–51.
- REJEBIAN, V.A., HARRIS, A.G. & HUEBNER, J. S. 1987: Conodont color alteration and textural alteration: An index to regional metamorphism, contact metamorphism and hydrothermal alteration. Geol. Soc. Am. Bull., 99: 471–497.
- ROBISON, R. A. (Ed.) 1981: Conodonta. In: Treatise on Invertebrate Paleontology. Part W. Miscellaneous, Supplement 2, W202 pp., 119 fig., Univ. Kansas & Geol. Soc. Am. Press, Lawrence.
- SCHMIDT, H. 1924: Die Carbonischen Goniatiten Deutschland. Jahrb. Preuss. Geol. Landesanst., Berlin: 45 p.
- SCHÖNLAUB, H. P. & MEČO, S. 1986: Lower Paleozoic Conodonts from Albania. Jb. Geol. B.A., 128/3+4: 439–447.
- SUTTNER, T. J. 2007: Conodont Stratigraphy, Facies-Related Distribution Patterns and Stable Isotopes (Carbon and Oxygen) of the Uppermost Silurian to Lower Devonian Seewarte Section (Carnic Alps, Carinthia, Austria). Abh. Geol. B.A., Band, 59: 1–111.
- ŽIVANOVIĆ, M. 1963: Značaj nalaska *Karpinskia consuelo geyeri* Gortani na Kleku (jugoistočna Bosna). Geol. Glasnik, 8: 41–45.

# Premog v Murški formaciji (pontij) med Lendavo in Murskim Središčem ter v širšem prostoru SV Slovenije

## Coal in the Mura Formation (Pontian) between Lendava (Slovenia) and Mursko Središće (Croatia), and in the wider area of NE Slovenia

Miloš MARKIČ<sup>1</sup>, Velimir TURK<sup>2</sup>, Boris KRUK<sup>3</sup>, & Slavko V. ŠOLAR<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica, 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija;  
e-mails: milos.markic@geo.zs.si; slavko.solar@geo-zs.si

<sup>2</sup>Nafta – Geoterm, Mlinska ulica 5, SI-9220 Lendava, Slovenija; e-mail: velimir.turk@nafta-lendava.si

<sup>3</sup>Hrvatski geološki institut, Sachsova 2, HR-10000 Zagreb, Hrvatska; e-mail: boris.kruk@hgi-cgs.hr

Prejeto / Received 25. 3. 2011; Sprejeto / Accepted 8.5.2011

*Ključne besede:* rjavi premog, Murska formacija (pontij), Mursko-zalski bazen, Lendava, Mursko Središće, Slovenija, Hrvaška

*Key words:* brown coal, Mura Formation (Pontian), Mura-Zala Basin, Lendava, Mursko Središće, Slovenia, Croatia

### Izvleček

V članku so predstavljene osnovne geološke značilnosti premogonosnih plasti ter kvaliteta in zaloge premoga v Murški formaciji pontijske starosti na ozemlju severovzhodne (SV) Slovenije. Murska formacija, ki zapolnjuje zgornji del Mursko-zalskega bazena, je debela dobrih 1000 m in vsebuje mnogoštevilne (10–30), a razmeroma tanke plasti premoga. Veliko število tankih plasti premoga, razvitih v pretežno glinasto-meljasto-peščenih sedimentih, je splošna značilnost paraličnih premogišč. Prvotna obsežna šotišča, iz katerih so nato nastale plasti premoga, so se razvijala v sladkovodnih okoljih, večina vmesne sedimentacije pa je potekala v brakičnih okoljih. Na najbolje raziskanem ozemlju (okoli 60 km<sup>2</sup>) med Lendavo in Murskim Središčem ležijo plasti premoga praktično od površine do globine 300–400 m. Na območju Lendave je premogonosni člen debel 130 m, vsebuje pa le tri plasti premoga, ki so debele med 1,0 in 2,2 m. Kurilna vrednost lendavskega rjavega premoga znaša okoli 14,5 MJ (*»na dostavljeno stanje«* pri 25–30 % vlage in 15–20 % pepela). Povprečna vsebnost skupnega žvepla se giblje okrog 1.6 %. Premog z območja Murskega Središća je podobne kakovosti.

Tektonika premogonosnih plasti je enostavna. Na območju Ormoško-selniške antiforne sledi plastnatost njenim blagim pobočjem, podobno verjetno tudi v primeru drugih antiform in sinform v širšem prostoru SV Slovenije. vzdolž pobočij Ormoško-selniške antiforne so bili v preteklosti, med leti okoli 1850 in 1970, razviti številni, a zelo majhni premogovniki in premogokopi. Edini nekoliko večji med njimi je bil premogovnik Mursko Središće.

Nastopanje plasti premoga v širšem prostoru SV Slovenije je povsem odprto vprašanje. Dejstvo je, da so na premog naletele malodane vse vrtime, ki so bile vrtane na nafto in plin, ter hidrogeološke in geotermalne vrtime, vendar pa je bilo to vrtanje izvedeno malodane brez pridobivanja jedra. Če upoštevamo na območju SV Slovenije po analogiji z lendavskim prostorom le plasti premoga, ki so debelejšje od 1 m in privzamemo, da je skupna debelina takih plasti 5 m, ugotovimo, da je »premoški potencial« SV Slovenije pri površini okoli 1000 km<sup>2</sup> in gostoti premoga 1,3 t/m<sup>3</sup> reda velikosti 6500 Mt. Pri kurilni vrednosti 14,5 MJ/kg to znaša 10<sup>14</sup> MJ v premogu shranjene energije.

### Abstract

Geological setting, occurrences, extent, quality and reserves of coal seams in the Mura Formation of the Mura-Zala Basin in NE Slovenia are presented in the paper. The Mura-Zala Basin consists of antiformal and synformal structures bounded by normal and reverse faults. It is filled in its deepest parts by more than 4000 m of clastic sediments from the late lower Miocene upwards. It represents one of the western basins of the Pannonian Basin System. The coal-bearing Mura Formation is of the Pontian age. It is more than 1000 m thick and consists of marls, silts and sands, and of numerous (10–30) beds of brown coal which are relatively thin. The coal-bearing depositional system is clearly paralic. Original peat-lands developed in freshwater environments while bulk sedimentation in-between (according to paleontological investigations of the *Ostracoda* microfauna) took place under influence of brackish waters. Well ascertained coal beds are only those in a restricted area (ca. 60 km<sup>2</sup>) between Lendava (Slovenia) and Mursko Središće (Croatia), where the coal beds dip almost from the surface (under 10–20 m of Quaternary gravel) downwards to depths of not more than 400 m. The whole coal-bearing bed-set in the Lendava area is about 130 m thick but contains only three coal seams which are generally 1.0–2.2 m thick. At the "as received basis" (25–30 % moisture content, 15–20 % ash yield), the net calorific value of the Lendava coal reaches ca. 14.5 MJ/kg, and the average sulphur content is ca. 1.6 %. The Mursko Središće coal is of a similar quality.

Tectonic structure of coal beds is simple and uniform. In the Ormož-Selnica Antiform (which continues to the Budafa – Lovász Antiform in Hungary), strata inclination follows gentle flanks of this antiform and similar is true

for other sinforms and antiforms throughout the Mura-Zala Basin. Several very small collieries were in operation in the area of the Ormož-Selnica Antiform between the 1850s and 1970s. The only a little larger was the Mursko Središće colliery, with the highest production of 170,000 tonnes in 1965, and closed in 1972.

Coal beds in the broader area of NE Slovenia (ca 1000 km<sup>2</sup>) are not explored enough. They were encountered by almost all deep oil, gas, and hydrogeological wells but these wells were not core-drilled. The existing data are originating only from master-logs and geophysical logs, by which, coal thicknesses are most probably exaggerated – telling us about thicknesses of single coal beds of 4 metres and even more. Therefore, realistically speaking, if analogy with the Lendava coal-bearing area is taken into consideration, and taking into account that the coal seams thicker than 1 m are in total 5 m thick, than the total coal resources (at the 1.3 t/m<sup>3</sup> density) in the entire NE Slovenia amount to around 6500 Mt. In terms of energy, at calorific value of coal of 14.5 MJ/kg, it represents nearly 10<sup>14</sup> MJ of energy stored.

## Uvod

V 70-ih letih prejšnjega stoletja je svet zajela energetska kriza, ki je z dvema »naftnima šokoma« močno prizadela oskrbo z nafto in dvignila ceno le-te na takratnih izredno visokih 40 ameriških dolarjev za sodček (za primerjavo, danes, v letu 2011, je okrog 100 dolarjev). To je bil splošni vzrok, da smo tudi v takratni Jugoslaviji in Sloveniji v 80-ih letih pristopili k politiki zanesljivejše in znatnejše oskrbe z domačimi energetskimi viri, med katerimi je igral najpomembnejšo vlogo premog, pa tudi domača nafta in plin. V tem kontekstu je prišlo do obširnih raziskav premogov tudi na območju severovzhodne (SV) Slovenije in sosednje severozahodne (SZ) Hrvaške. Na slovenski strani je bilo kot najperspektivnejše izbrano območje med kraji Lendava – Petišovci – Pince – Benica – Murski gozd. Premogonosne plasti na tem območju predstavljajo nadaljevanje tovrstnih plasti z območja Murskega Središča na hrvaški strani, kjer je v preteklosti, do začetka 1970-ih let, deloval v celotnem tem prostoru SV Slovenije in SZ Hrvaške največji premogovnik. Premogovnik Mursko Središće je dosegel najvišjo proizvodnjo leta 1965, to je bilo 170.000 ton, zaprli pa so ga leta 1972.

V naslednjem desetletju, med leti 1981 in 1988, je bilo na prej omenjenem ozemlju južno in jugozahodno od Lendave, ki je zajemalo površino okoli 20 km<sup>2</sup>, izvrtanih 25 strukturnih vrtin (oznake Pp in Bp), ki so bile globoke od 150 do 485 m. Dodatno je bilo izvrtanih še 27 tako imenovanih »projektantskih« vrtin z različnimi oznakami (Bo, Zp, Pk, V, Vk.), ki so bile globoke do 125 m, a večinoma nekaj deset metrov. Skupna dolžina prvo omenjene skupine vrtin je znašala 7.396 m, druge pa 1.128 m, v celoti torej 52 vrtin skupne dolžine 8.524 m. Za poizkusno odpiranje premogovnika je bilo med leti 1986 in 1988 izdelanih 420 m odpiralnih rudarskih del, to je dveh vpadnikov in proge v sloju premoga. Tako obsežen obseg raziskav z vrtanjem, podrobna geološka obravnavanja jeder vrtin, spremljajoča laboratorijska analiza, spremljajoče hidrogeološke in geomehanske raziskave, izvedena strukturno-geološka interpretacija plasti premogov in začetna odpiralna rudarska dela uvrščajo obravnavano ozemlje med najboljše raziskana območja nahajališč premogov v Sloveniji in hkrati tudi model za prognozo nastopanja plasti premogov in njihovih lastnosti v celotnem prostoru »Murske depresije« oziroma »Mursko-zalskega bazena«, kot ta strukturno-

-geološki prostor vse pogosteje imenujemo v zadnjem času.

Na sosednjem ozemlju SZ Hrvaške, na tako imenovanem območju Murskega Središča, je bilo na podobno velikem ozemlju kot na slovenski strani izvrtanih med leti 1984 in 1988 kar 66 do 400 m globokih vrtin skupne dolžine 12.758 m in izdelan je bil tudi končni elaborat o zalogah premoga (KRUK et al., 1988). Za plasti premogov na slovenski strani pa zaključni elaborat o zalogah ni bil nikoli naročen in izdelan. Zadnje obsežnejše geološko delo o premogih na območju Lendave tako predstavlja delo z naslovom »Študija montan-geoloških in hidrogeoloških razmer na območju bodočega premogovnika Lendava na podlagi rudarskih raziskovalnih del kot osnova za rudarski projekt« (MARIN et al., 1989a). Iz navedenega naslova je torej jasno razbrati, da se je v tistem času nameravalo dejansko že začeti s širšim odpiranjem premogovnika in tudi proizvodnjo, ki naj bi predvidoma znašala okoli 1 milijon ton premoga letno. V Enciklopediji Slovenije (ES, 1995, 9. zv, p. 293) je avtor karte nahajališč premoga in premogovnikov na Slovenskem I. LONGYKA odpiranje premogovnika na območju Lendave označil s krajevnim imenom Benica in dodal letnico 1989. Ta oznaka popolnoma ustreza krajevnosti (lokaciji) tamkajšnjih odpiralnih raziskovalnih rudarskih del, namenjenih poizkusnemu odpiranju premogovnika.

Zaradi padca cen zemeljskega plina in nafte, vprašljive rentabilnosti pridobivanja premoga in v zvezi z vse bolj izpostavljenimi vprašanji glede negativnih vplivov zaradi odkopavanja in rabe premogov na okolje in prostor, je zanimanje za izkoriščanje domačih premogov, predvsem v na novo odkritih nahajališčih, malodane čez noč močno upadlo. To se je zgodilo v letu 1988/89. Raziskave pri Lendavi so bile ustavljene dne 27. 2. 1989 na sestanku »Komisije začasno ustavitve rudarsko-geoloških raziskovalnih del v nahajališču rjavega premoga v Lendavi in za tehnični pregled rudarskih objektov in naprav predčasno zaustavitvijo rudarsko-geoloških raziskovalnih del«. Sestanek je bil omenjenega dne v Velenju in je bil zapisniško dokumentiran (REK RLV, 1989).

Za celotno SV Slovenijo je bila nato izdelana še študija z naslovom »Potencialna območja nahajališč premogov v severovzhodni Sloveniji« (MARIN et al., 1992). Iz omenjenih dveh del (MARIN et al. 1989a, 1992) je povzet velik del vsebine tudi v pričujočem prispevku.



Vprašanje, kako krajevno imenovati območje raziskav na premog na slovenskem ozemlju južno in jugovzhodno od Lendave, je bilo prisotno že v času samih raziskav. Uporabljala so se različna poimenovanja – tudi v naslovih posameznih poročil in elaboratov. Najpogosteje so bila to krajevna imena Petišovci, Benica, Murski gozd in Pince. Predlagamo, da v nadaljevanju imenujemo to območje po mestu in občini Lendava, za imenovanje posameznih predelov pa lahko uporabljamo kombinacije krajevnih imen, npr. Lendava – Benica, Lendava – Petišovci, Lendava – Pince, Lendava – Murski gozd itd.

V prispevku se omejujemo večinoma na opis nastopanja in lastnosti premogov pontijske starosti v Pomurju na ozemlju Slovenije. Ker pa del tu objavljenih geoloških kart in prerezov zajema tudi sosednje hrvaško ozemlje, vključno z nekdanjim premogovnikom Mursko Središče, smo se odločili, da prispevek objavimo v sodelovanju med slovenskimi in hrvaškimi geologi.

V uvodu naj pojasnimo še izraz »premogišče«, ki smo ga kar pogosto uporabljali v raznih poročilih in elaboratih. Z njim smo označevali celotno skladovnico plasti premogov in spremljajočih talninskih, vmesnih in krovinskih plasti, pri čemer so imele plasti premoga določen ekonomski pomen, kar smo ugotovili z različnimi geološkimi in rudarskimi raziskovalnimi deli, analizami in razlagami. Izraz »premogišče« je nekako sprejemljiv v rudarsko-ekonomskem smislu, ni pa to najboljši izraz v geološko-stratigrafskem in lito-facielnem smislu, v katerem je bolje govoriti o premogonosnih plasteh oziroma o premogonosnih členih znotraj posameznih formacij. Premogonosne plasti, ali, bolje, premogonosni členi, so torej sestavljeni iz plasti premogov ter spremljajočih »nepremoških« plasti.

Glede na raziskanost so premogišča (v smislu ekonomsko zanimivih območij premogonosnih členov) lahko geološko-prostorsko omejena, delno omejena ali pa neomejena. Za premogišče Lendava – če ga tako imenujemo – velja, da je omejeno le z izdanjanjem oziroma s plitvo ležečo kotno diskordanco ob obronkih Ormoško-selniške antiforme, v vse ostale smeri pa z raziskovalnimi deli ni omejeno. Zato menimo, da se plasti premogov, kot jih poznamo iz dobro raziskanega ozemlja južno in jugovzhodno od Lendave, razprostirajo še daleč v stran, leže pa znatno globlje.

### **Nekatere splošne značilnosti pontijskih premogov in premogonosnih plasti v Panonskem bazenu v Sloveniji**

Najbolje raziskani območji pontijskih premogov v Sloveniji sta območji Lendave v Pomurju (pričujoči prispevek) in Globokega na severnem obrobju Krško-brežiškega polja (MARIN et al., 1989b; MARKIČ & ROKAVEC, 2002) (sl. 1), na Hrvaškem pa je to območje Murskega Središča (TAKŠIČ, 1967; KRUK et al., 1988). Za vsa ta tri območja, ki pripadajo v najširšem tektonsko-sedimentnem smislu jugozahodnemu obrobju Pa-

nonskega bazenskega sistema, je splošno znano, da so pontijske premogonosne plasti sestavljene iz večjega števila razmeroma tankih, od manj kot 0,1 do največ 2,5 m debelih plasti rjavega premoga (orto in meta-lignita) ter vmesnih decimetrsko, metrsko, do deset-metrsko debelih plasti klastitov, po zrnivosti od glin do peskov, ponekod, a redko, tudi prodov. Debelejše-zrnati klastiti pripadajo tako imenovanim silici-klastitom, po naše kremenovim peskom, drobnozrnati pa karbonatnim, prevladujoče kalcitnim klastitom, tako imenovanim karbonatnim meljem, karbonatnim glinastim meljem in laporjem.

Celotni pontijski premogonosni člen pri Lendavi je debel dobrih 130 m, vsebuje pa le tri debelejšje plasti lignita – dve, ki sta debeli dobra 2 metra in eno, ki je debela dober 1 m. Poleg teh treh je razvita še cela vrsta (okoli 20) tanjših plasti lignita.

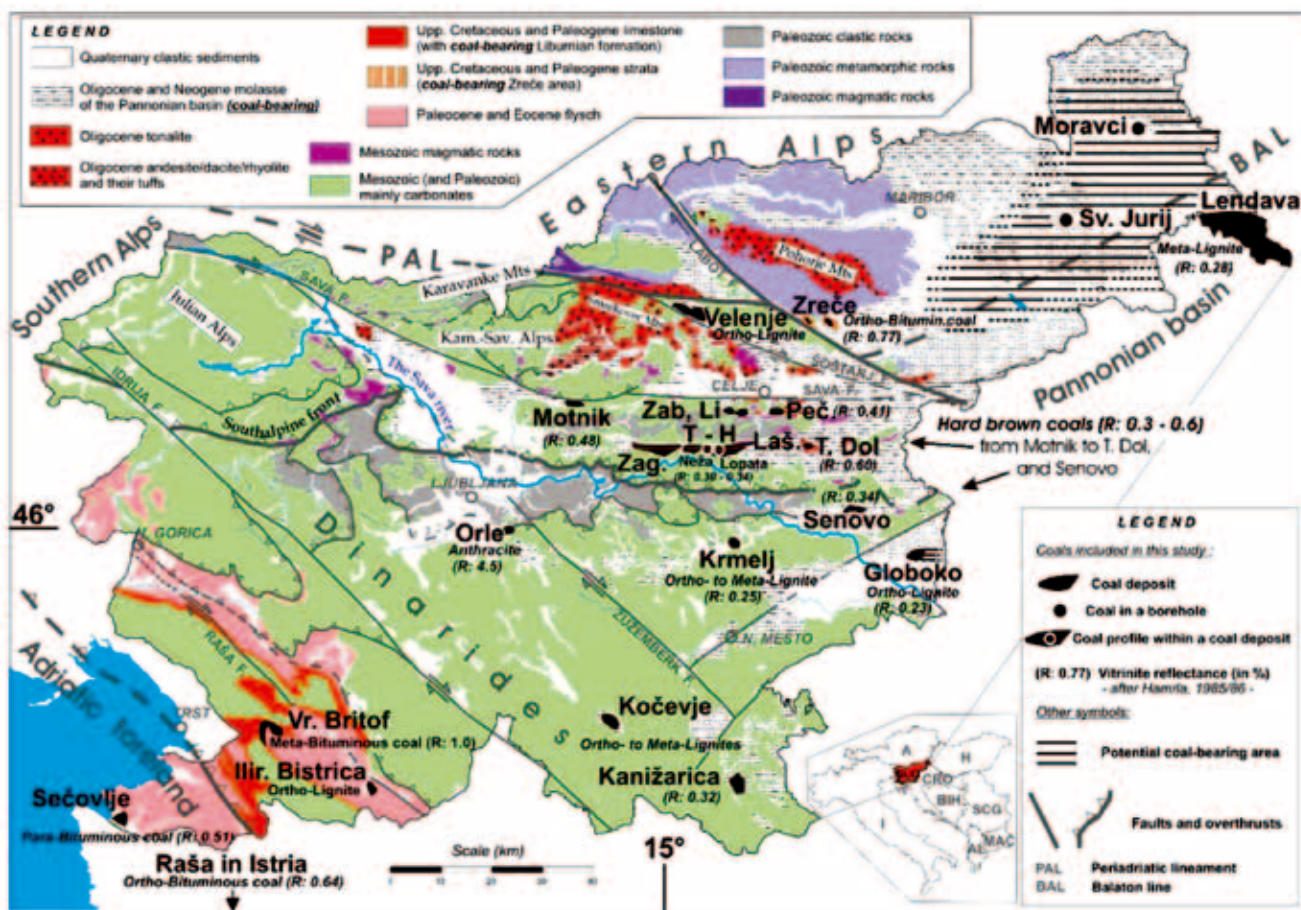
Kot plast premoga, ali plast kakršnegakoli drugega litološkega različka, upoštevamo vsako homogeno plastovito sedimentno enoto, ki je debelejša od 1 cm, medtem ko tanjše imenujemo lamine.

Na območju Globokega na obrobju Krško-brežiškega polja nastopajo plasti premoga v treh skupinah. Imenujemo jih spodnja, glavna in zgornja skupina plasti premoga, pri čemer je premog po stopnji karbonizacije (rangu) lignit. Med plastmi lignita nastopa zelo značilna simetrično ciklična klastična sedimentacija. Debeline posameznih plasti lignita so podobne kot pri Lendavi, do dobra 2 metra. Podobno velja tudi za število nad okoli 0,1 m debelih plasti lignita, ki jih je okoli 20. Celotna debelina premogonosnega člena s tremi skupinami plasti lignita in vmesnimi plastmi peskov, meljev, glin in laporjev znaša na območju Globokega dobrih 150 m (MARIN et al., 1989b; MARKIČ & ROKAVEC, 2002).

Med pontijskima premogonosnima členoma Lendave in Globokega torej obstoja kar veliko podobnosti, a tudi razlik (MARKIČ & GRAD, 1991). O razlikah med obema območjema naj povemo, da je lendavski lignit nekoliko višje stopnje karbonizacije, in sicer je to meta-lignit, globoški lignit pa je orto-lignit (MARKIČ et al., 2007). V Globokem so drobnozrnati sedimenti po mineralni sestavi nekoliko bolj glineni kot na območju Lendave. Za tektonsko zgradbo območja Globokega je značilnih kar nekaj tektonskih elementov, kot so normalni, reverzni in zmični prelomi, gube, fleksure in odebeljevanje sedimentne zapolnitve od severa proti jugu, v lendavskem prostoru pa tovrstnih deformacij malodane ni.

Nastopanje velikega števila tankih plasti premogov v razmeroma debelih skladovnicah premogonosnih plasti je značilno za paralična, to je obmorska okolja obsežnih (paleo)šotišč, bodisi z dejansko morskimi ali brakičnimi, lahko pa tudi z znatno sladkovodnim (zaradi dotoka rek) značajem vodnega okolja (*sensu* DIESSEL, 1992, p.16).

Paralična šotiščna okolja so se razvijala časovno ciklično, v fazah tektonsko-sedimentno in klimatsko ugodnih razmer uravnoveženja med ustvarjanjem sedimentacijskih prostorov zaradi bazenskega pogrezanja, prirastkom biomase in



Sl. 1. Karta nekaterih izbranih nahajališč premogov v kontekstu strukturno-geološke zgradbe Slovenije, sestavljene po različnih avtorjih. Karta nazorno prikazuje velik potencial zalog premogov v SV Sloveniji. Kamninska zgradba karte je grafično povzeta po konceptu Šolarja, Jagodica, Strgarja in Šajna (ŠOLAR, 1999; ŠAJN, 1999), tektonska zgradba večinoma po PLACER-ju (1998), vrednosti za odsevnost vitrinita premogov pa po HAMRLI (1985/86); (IZ: MARKIČ, 2007; MARKIČ et al., 2007).

Fig. 1. Selected coal deposits in Slovenia on a simplified geological map compiled from 23 sheets and guidebooks of the Basic Geological Map of Yugoslavia 1 : 100.000. Shown is high coal potential in NE Slovenia. Lithology on the map is from ŠOLAR (1999) and ŠAJN (1999), tectonics after PLACER (1998), and vitrinite reflectance data after HAMRLI (1985/86) (compilation by MARKIČ et al., 2007). In NE Slovenia, thin coal layers are known from numerous boreholes, but only two are shown on the map (for all boreholes see Figs. 16 and 18). Due to different strata inclination, black areas showing the coal deposits are not representative in sense of coal deposit dimensions and reserves, respectively.

njenim ohranjanjem v vodno-sedimentacijskih okoljih. Nastanek paraličnih premogov v tej luči sta teoretično, v smislu sekvenčne stratigrafije, razložila BOHACH & SUTER (1997). Iz njenega članka tu prikazujemo le enega od njenih ključnih diagramov (sl. 2). Omenimo naj še, da je za paralična okolja premogonosnih členov lahko značilno diferencialno pogrezanje, torej različna dinamika pogrezanja v različnih predelih danega sedimentacijskega prostora in v različnih časovnih obdobjih (NEMEC, 1988; za Globoko MARKIČ & SKABERNE, 1993).

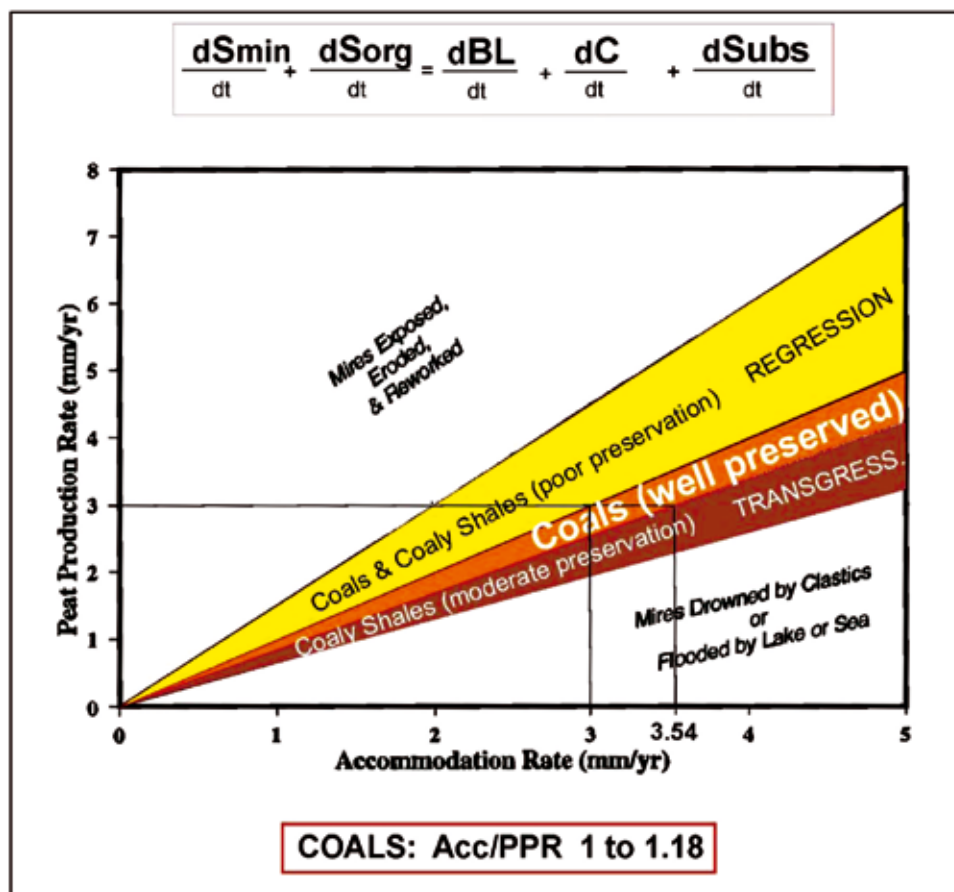
V obeh primerih pontijskih premogonosnih členov, Lendave in Globokega, je bila njihova starost določena na podlagi ostrakodne mikrofavne, ki jo je v številnih vrtnah, predvsem v vmesnih karbonatnih drobnejše-zrnatih plasteh določala in v poročilih (arhiv GeoZS) podrobno dokumentirala Živadina ŠKERLJ. Še posebej je želela, da bi z vrtnami na premog na obeh območjih prevrtali tudi starejše panonijske plasti in skušali določiti mejo oziroma prehod med panonijskimi in pontijskimi plastmi, a nam to žal ni uspelo. Omenjeni prehod ostaja na ozemlju Lendave in Globokega torej še vedno odprto vprašanje, bil pa je ugotovljen v vr-

tini PsV-1/83 pri Presiki (ŠKERLJ, 1987). Litološko gledano velja, da so pontijske plasti pri nas razvite bolj peščeno kot spodaj ležeče panonijske plasti, ki večinoma niso premogonosne. Panonijske in pontijske plasti širšega območja Globokega sta paleontološko nazadnje obdelala STEVANOVIČ in ŠKERLJ-eva (1985). Glavne rezultate večletnih biostratigrafskih raziskav zgornjega miocena in pliocena na območju Murske depresije je ŠKERLJ-eva (1987) opisala tudi v posebnem zbirnem poročilu, v katerem je med drugim priložila značilne litološke stolpce treh reprezentativnih vrtn, to je PsV-1/83 (Presika), Pp-22/85 (Lendava) in Mt-6/83 (Moravci) (glej opis za Presiko v nadaljevanju članka in sl. 8). V stolpcih je jasno prikazala premogonosne člene ter odseke z brakično oziroma sladkovodno ostrakodno mikrofavno.

Ž. ŠKERLJ-eva je nazorno ugotovila, da so šotišča (premogi) Lendave in Globokega nastajala v sladkovodnih fazah, vmesna sedimentacija klastitov z značilno brakično ostrakodno favno in brez znatnejših plasti premogov pa je potekala v brakičnih vodnih okoljih.

V celoti gledano so bila okolja nastajanja pontijskih premogov na sedanjem ozemlju Slovenije





Sl. 2. BOHACH & SUTER-jev (1997) diagram, ki prikazuje razmerje med hitrostjo nastajanja šote in hitrostjo širjenja sedimentacijskega prostora, v katerem nastajajo premogi oziroma premoške gline.

Fig. 2. BOHACH & SUTER's (1997) diagram showing the relationship between peat production rate versus accommodation rate decisive for formation of coals and coaly shales.

in Hrvaške okolja priobalnih ravnin Panonskega morja oz. Panonskega jezera (»Lake Pannon«) in delt pritekajočih vodá z menjavajočim se progradacijskim (v smeri proti centru bazena napredujočim) in retrogradacijskim (od centra bazena umikajočim) režimom sedimentacije. Glede na slanost/alkalnost so bila okolja v primeru prevladujoče morskih vplivov, med retrogradacijsko sedimentacijo, brakična, v času rečnih vplivov, med progradacijsko sedimentacijo, pa sladkovodna.

Splošno znano je, da je za premoge z brakičnim geokemičnim vplivom značilna razmeroma povišana (že nad 1 %) vsebnost skupnega žvepla (npr. STACH et al., 1982; TAYLOR et al., 1998; DIESSEL, 1992; in mnogi drugi), kakor ga ugotavljamo že z navadno kemično analizo premoga, podrobneje (za nekatere slovenske premoge ŠTURM et al., 2009) pa še z dodatno obravnavo oblik žvepla (sulfatnega, sulfidnega in organskega) in njegove izotopske sestave. To velja tudi za premoge na območjih Globokega in Lendave. Globoški lignit vsebuje 1–2 %, lendavski (upoštevaje tudi redke vzorce iz globokih vrtin SV Slovenije) pa okoli 1,8–2,5 % celotnega žvepla (preračunano na suho stanje) (po podatkih RKURMSV, 2002; v MARKIČ et al., 2007), vendar lahko celo do 3 % (MARKIČ et al., 2007 – tab. 2). Za primerjavo naj omenimo, da vsebujejo/so vsebovali v Sloveniji večje vsebnosti žvepla, 2,5–4 %, v celoti gledano nekateri oligocenski »zasavski« premogi (Trbovlje, Hrastnik, Senovo), pliocenski premog v Kanižarici, in mio-pliocenski premog v Kočevju. Ekstremne vsebnosti žvepla so imeli tako imenovani kraški oziroma primorski premogi v Dinari-

dih (npr. Sečovlje 11,3 %, podobno tudi Vremski Britof, Lipica, Raša na Hrvaškem) (HAMRLA, 1959; MARKIČ et al., 2007).

Relativno višje vsebnosti žvepla so tudi sicer značilne za morske sedimente v primerjavi s sladkovodnimi (BERNER & RAISWELL, 1983, 1984). Povprečna koncentracija žvepla je v današnji morski vodi približno 240-krat večja kot v rečni vodi (za primerjavo: Na je v morski vodi okoli 1715-krat več kot v sladki vodi, B 340-krat, Mg 315-krat, K 170-krat in Sr 160-krat) (DIESSEL, 1992, tab. 5.7; po WEDEPHOHL-u, 1969 in WARBROCKE-u, 1981).

V sosednji Avstriji so največje zaloge lignita v Dunajskem bazenu in sicer gre za zgornjemiocenski lignit, ki je visokopepeln, vsebuje kar okoli 4–12 % žvepla (preračunano na suho stanje) in kaže v karotažnih zapisih znatno radioaktivnost, kot posledico znatnih vsebnosti urana (77–100 g/t) (BECHTEL et al., 2007; podatek za U po BRODA et al., 1956).

Glede žvepla naj omenimo, da vsebujejo evropski »čisti« ligniti, ki jih v največji meri danes odkopavajo v Nemčiji (s proizvodnjo okoli 200 Mt lignita letno je ta največji svetovni proizvajalec lignitov) izredno malo žvepla, pod 0,2 %. Nizke so tudi vsebnosti pepela, pod 10 %, vsebnost vode v »in-situ« stanju pa znaša okoli 50 %. Podobno velja za nekatere lignite na Češkem. V naši energetski rabi je podobne kakovosti glede žvepla in pepelnosti indonezijski rjavi premog, ki ga kuri TE-TO Ljubljana.

In zakaj so pri nas, v Sloveniji, vsi terciarni premogi razmeroma visoko-pepeln in vsebujejo



razmeroma veliko žvepla? Odgovor je v tem, da so večinoma nastali iz nizko-ležečih (topogenih) šotišč z znatnim dotokom anorganskega materiala, z bolj ali manj posrednim/neposrednim vplivom brakičnih vodá in, v primeru medgorskih (intramontanah) sladkovodnih premogišč, da so le-ta večinoma razvita v regionalno karbonatnih geoloških območjih. Vsi ti dejavniki so vplivali na razmeroma visoko alkalnost šotiščnih okolij. Zaradi teh razlogov kažejo nekateri naši premogi dokaj nazorne pozitivne povezave med bližino karbonatnih kamnin, sedimenti brakičnih okolij sedimentacije, vsebnostmi žvepla, stopnjo gelifikacije in vsebnostjo radioaktivnih elementov, predvsem urana (za velenjski lignit opisano npr. v MARKIČ & SACHSENHOFER, 2010).

Po najnovejši klasifikaciji ECE-UN (Energy 1998/19 document), ki razvršča premoge glede na stopnjo karbonizacije (»coalification rank«, po naše tudi tako imenovana »zrelost premogov«, kar pa ni najbolj ustrezen izraz – boljši izraz je »stopnja karbonizacije«) preide šota v lignit, ko količina vode v njej zaradi pritiska zgoraj ležečih sedimentov pade pod 75 % (preračunano na stanje brez pepela). Vsebnost vode nato skozi fazo zgodnje diagenoze organske snovi, oziroma začetne faze karbonizacije, katere rezultat je nastanek lignita (oziroma, po različnih izrazoslovjih, mehkega in medlega rjavega premoga ali premoga nizke stopnje karbonizacije), hitro upada. Pri okoli 25 % vlage ligniti oziroma rjavi premogi preidejo v stadij premogov srednje stopnje karbonizacije, najprej v tako imenovane sub-bituminozne (tradicionalno anglo-saško izrazoslovje) ali svetleče trde rjave premoge (tradicionalno nemško izrazoslovje, v rabi tudi pri nas) in nato še naprej v »črne« premoge. Zaradi omenjenega razpona v vsebnosti vlage, je vlaga za lignite boljši parameter stopnje karbonizacije, kot je to odsevnost huminita/vitrinita in boljši parameter stopnje karbonizacije od odsevnosti je tudi zgornja kurilna vrednost čiste organske snovi premoga (na stanje brez pepela in vode) (STACH et al., 1982; ALPERN et al., 1989).

Prostor SV Slovenije oziroma tamkajšnji prostor Panonske nižine, kar sta oboje geografska pojma, smo do pred kratkim v geološkem smislu večinoma imenovali Murska depresija, po hrvaško tudi »Murska potolina« (MIOČ & MARKOVIĆ, 1998a, 1998b; ), za katero pa je veljalo, da se razteza tudi na ozemlje sosednje Madžarske, kjer so podaljške »slovenskega« dela Murske depresije imenovali Zala bazen. Ker gre za razmeroma enoten prostor s skupno pojasnljivimi geološkimi procesi njihove tektonske in sedimentno-okoljske geneze, se je v novejšem času uveljavilo poimenovanje tega geološkega prostora z imenom Mursko-zalski bazen (FODOR et al., 2002). Ne glede na omenjeni poimenovanji gre za enega od zahodnih obrobnihih bazenov tako imenovanega Panonskega bazenskega sistema, podobno kot sta to na primer Štajerski bazen in Dunajski bazen. Definiranje Mursko-zalskega bazena in predloga opustitve izraza Murska depresija so se pred nekaj leti lotili JELEN in sodelavci (2006). Ker me-

nimo, da je uvedba pojma Mursko-zalski bazen povsem umestna, in se je to ime dobro uveljavilo na primer tudi v novejših avstrijsko-madžarsko-hrvaško-slovenskih regionalnih hidrogeoloških projektih (LAPANJE, ustno), ga uporabljamo tudi v pričujočem prispevku.

Podrobnejši vpogled v celovito obravnavo tektonike, tektogeneze, sedimentne zapolnitve in stratigrafije Mursko-zalskega bazena nam ponujajo predvsem naslednja dela iz zadnjih 25-ih let: ŠKERLJ (1985), GRANDIĆ & OGORELEC (1986), ĐURASEK (1988), SADNIKAR (1993), GOSAR, (1996), KRALJ (2001), SACHSENHOFER et al. (1998), TOMLJEVIĆ & CSONTOS (2001), FODOR et al. (2002), JELEN & RIFELJ (2002), PREMUR (2005), JELEN et al. (2006).

Enostavneje je s pojmom Murska formacija. Izhaja iz naftno-geološke terminologije in so ga privzeli malodane vsi raziskovalci tega prostora. Ravno na Mursko formacijo so vezane tudi premogonosne plasti, o katerih govorimo v tem prispevku in kot jih najbolj poznamo na že omenjenih območjih Lendave, Murskega Središča, Presike, Moravec, pa tudi Slovenskih gorici in Goriškega. Kako imenovati ta premogonosni člen v Murski formaciji, ki ga je na primer ŠKERLJ-eva (1987) opredelila, da je zgornjepontijske starosti, ga nekateri starejši raziskovalci (npr. PLENIČAR, 1954, 1968, 1970; TAKŠIĆ, 1967) vezali na horizont s školjko Unio Wetzleri in nekateri drugi na zgornje-kongerijske plasti, ter ga je TURK (1993) imenoval kot premogovni horizont v Murski formaciji je nekoliko odprto vprašanje. Naš predlog je, da ta člen enostavno imenujemo »**premogonosni člen v Murski formaciji**«. Morda bi ga lahko imenovali tudi »Lendavski premogonosni člen« (tudi člene, podobno kot formacije, po navadi imenujemo s krajevnim imenom), a odločitev o tem prepuščamo ustreznim stratigrafskim komisijam.

JELEN in sodelavci (2006) so svoji razpravi priložili osem stratigrafskih razpredelnih sedimentne zapolnitve »jugoslovanskega dela« Murske depresije, ki kažejo razvoj tovrstnih opredelitev, do katerih so v obdobju od 1950 do 1990 prišli različni raziskovalci. Najnovejša razpredelnica, ki se je držimo tudi v tem prispevku, je TURK-ova iz leta 1990. Objavljena je bila tri leta kasneje (TURK, 1993).

Splošno gledano ležijo plasti premoga v pretežnem delu Mursko-zalskega bazena razmeroma globoko pod površino, oziroma je razmerje med nepremoškimi in premoškimi plastmi zelo veliko, kar seveda zmanjšuje pomen tukajšnjih plasti premoga s stališča konvencionalnega rudarjenja z odkopavanjem premoga. Tudi globoko ležeče plasti premogov, ki niso primerne za izkoriščanje z ustaljenimi rudarskimi metodami odkopavanja in jih imenujejo v anglosaški literaturi »unmineable coal seams«, pa niso povsem brez ekonomskega pomena. Meni se namreč, da bi bile tovrstne plasti primerne za energetska izkoriščanja z nekaterimi novimi tehnologijami, kot so podzemno uplinjanje premoga, vtiskanje ogljikovega dioksida in izkoriščanje metana iz plasti premogov. Zato imajo razvite dežele za tovrstne plasti pre-

mogov večinoma tudi izdelane študije o njihovem geološkem nastopanju, petroloških lastnostih in energetskem potencialu. Premog, ki naj bi ga v energetske (in morda tudi nekatere druge) namene izkoriščali z uporabo novih tehnologij, imenujemo »novi premog« (»new coal«). Tem dejstvom in usmeritvam se skušamo torej približati tudi z nekaterimi temeljnimi geološkimi podatki v pričujočem prispevku.

Pomembno je upoštevati, da se je večina dosejanih ocen zalag nanašala na možnosti konvencionalnega rudarjenja, torej na rudarjenje z odkopavanjem premoga bodisi podzemno bodisi z dnevnimi kopi. Območja globlje ležečih plasti smo imenovali kot potencialna območja zalag oziroma virov premoga.

### Metode geoloških raziskav na premog na območju Lendave

Premogišče Lendava je bilo na slovenski strani, kot že omenjeno v uvodu, raziskano s 25-imi do skoraj 500 metrov globokimi strukturnimi in 27-imi plitvimi »projektantskimi« vrtinami skupne dolžine 8.524 m. Največja vrednost teh vrtin je, da so bile v celoti izvrtane s pridobivanjem jedra. Izjemoma, le v nekaj vrtinah, jedro ni bilo pridobljeno v najbolj zgornjem delu prevrtanih plasti, to je v kvartarnem produ. Debelina kvartarnega produ znaša na tem ozemlju 7–13 m, celotno prevrtano zaporedje plasti pod kvartarjem pa so plasti pontijske starosti.

Vsa jedra vrtin so bila na terenu podrobno geološko popisana, nato izrisana v obliki litoloških stolpcev v merilu 1 : 200 ter večinoma opisana v poročilih o posameznih vrtinah. Med vrtinami so bili izdelani geološki prerezi ter v povečanem merilu še podrobni prikazi plasti premogov in njihovih lastnosti. Za pomembnejše tri plasti premogov (ena debeline dober 1 m in dve debeline po dobra 2 m) so bile izdelane strukturne karte v obliki izohips in karte debelin. Omenjene karte so služile za izračun zalag in za načrtovanje raziskovalnih rudarskih del. Podrobno geološko kartiranje so bile tudi plasti premoga in spremljajoče plasti, vidne v izdelanih raziskovalnih rudarskih delih. Skupna dolžina teh del je znašala 420 m.

Karotažne meritve so bile izvedene na 22-ih od skupno 25 strukturnih vrtin in dodatno še na 4-ih »projektantskih« vrtinah.

Premog iz jeder vrtin je bil analiziran v največji meri s tako imenovano standardno osnovno kemično analizo premoga, ki zajema določitev vsebnosti vlage, pepela, gorljivih snovi, hlapnih snovi in žvepla ter določitev kurilne vrednosti. Skupno je bilo opravljenih 147 takih analiz. Dodatno je bilo opravljenih še 84 analiz kemične sestave pepela (vsebnosti glavnih pepelotvornih prvin Al, Si, Ca, Mg, K ... v oksidni obliki).

Posebna pozornost je bila namenjena mikropaleontološkim preiskavam na ostrakodno mikrofavno. Iz malodane vseh strukturnih in tudi nekaj projektantskih vrtin je bilo skupno pregledanih pod mikroskopom 874 vzorcev (izpir-

kov) in za vsako vrtino je bilo napisano posebno mikropaleontološko poročilo.

Iz treh vrtin je bilo obdelanih tudi 95 palinoloških vzorcev.

Sedimentološke preiskave so zajemale kalcimetrijo in kompleksometrijo (skupaj 374 vzorcev), določitev težke in lahke mineralne frakcije (skupaj 200 vzorcev) ter granulometrijo (659 vzorcev). Samo v eni vrtini, Pp-2/81, pa so bile izvedene rentgenske mineraloške preiskave (11 vzorcev in vprašeni in v orientirani pripravi).

Za določitev različnih geomehanskih parametrov je bilo analiziranih 393 vzorcev, za določitev hidrogeoloških parametrov pa 91 črpalnih poizkusov. V ta namen je bila s filternimi odseki (kot piezometri) za ugotavljanje gladine in nihanja podzemne vode v različnih vodonosnikih opremljena dobra polovica (13) strukturnih vrtin in vse »projektantske« vrtine, med katerimi je bilo 6 vodnjakov.

Celoten fond izdelane strokovne dokumentacije o zgoraj navedenih delih in preiskavah hrani mo v obliki poročil, zaključnih študij in matrične grafične dokumentacije v arhivu sedanjega Geološkega zavoda Slovenije (GeoZS).

Osnovo za začetek raziskav z vrtanjem na premog na obravnavanem ozemlju so predstavljali dokaj številni stari podatki, še iz 19. stoletja, o pojavljanju in tudi manjšem izkoriščanju premoga na izdankih ob obronkih Ormoško-selniške anti-forme, v strugi reke Mure in v nekaterih plitvih jaških na območju Selnice in Peklenice, ki je že v 19. stoletju postalo znano kot nahajališče nafte – eno najstarejših v Evropi.

Še do danes eno temeljnih preglednih del o tako imenovanih »obmurskih nahajališčih nafte in plina« je napisal PLENIČAR (1954). V njegovem delu je med drugim za pričujoči prispevek o premogu zanimiva navedba, da so premog tukaj poznali že v času prvih začetkov »iskanja« in nato vrtanja na nafto. Po letu 1860 so v okolici Selnice in Peklenice namreč kopali za zbiranje nafte okoli 10 m globoke jaške, od katerih so bili nekateri prvotno namenjeni premogu. Iz najzgodnejšega obdobja raziskav na nafto in plin ter o tedanjem poznavanju premoških plasti navaja omenjeni avtor še zanimivo sklepanje madžarskega geologa Matyasovskega, ki je v te kraje prišel leta 1877. Menil je namreč, da je nafta povezana s plastmi premoga, kar pa se seveda kasneje ni potrdilo, vsaj ne za tovrstne plasti pri Lendavi. Plasti premoga nastopajo namreč v tako imenovani Murski formaciji, nafta in plin pa v Lendavski formaciji.

Številni podatki o plasteh premoga v pontijskih plasteh Murske formacije so bili pred pričetkom raziskav na premog pri Lendavi v 1980-ih letih znani tudi iz številnih vrtin na nafto in plin (zlasti v poljih Petišovci in Dolina), vrtin za skladiščenje plina, ter hidrogeoloških in hidrogeotermičnih vrtin. Plasti premoga v Murski formaciji so bile shematično prikazane v nekaterih geoloških profilih.

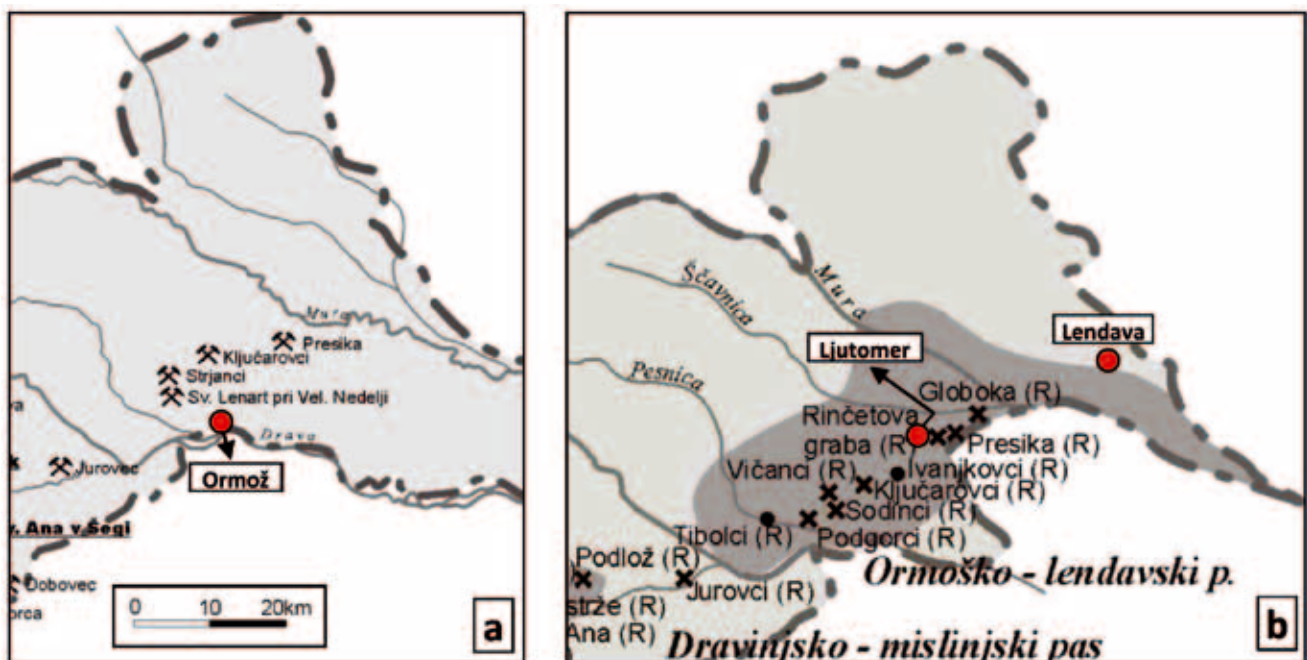
### Opis posameznih bolj znanih nahajališč premogov, vezanih na Ormoško-selniško antiformo

V SV Sloveniji se v preteklosti nikjer ni razvilo pomembnejše premogovništvo, znano pa je, da je bila cela vrsta premogokopov in malih premogovnikov (sl. 3–5) odprta v danes tako imenovanih pontijskih plasteh vzdolž obeh kril v smeri SW-NE potekajoče Ormoško-selniške antiforme. Omenjeno strukturo so nekateri predhodni avtorji imenovali Ormoško-selniška antiklinala (npr. PLENIČAR, 1954; TAKŠIĆ, 1967), v novejšem času pa se zanjo uveljavlja tudi izraz Ormoško-selniški antiformalni niz. Izraz antiformalni niz izhaja iz dejstva, da je bila antiformalna v času svojega dvigovanja zaradi regionalne kompresije (v post-pontiju) in kasneje (v pliocenu) razsekana v posamezne bloke, omejene z vzdolžnimi in prečnimi prelomi. V pričujočem prispevku bomo večinoma uporabljali izraz Ormoško-selniška antiformalna, kot sta ga na Osnovni geološki karti (OGK) Slovenije in Hrvaške 1 : 100.000 – List Čakovec in v pripadajočem tolmaču uporabljala tudi MIČ in MARKOVIĆ, (1998a, 1998b).

Različna imena nekdanj odprtih rudarskih del na različnih kartah, ki zajemajo Ormoško-selniško antiformalno (sl. 3–5), nam dejansko govorijo o tem, da so bili ti premogokopi majhni, z razdrobljenim lastništvom, da so služili večinoma za lokalne potrebe in, kar je morda bolj pomembno, da so premog našli malodane na vsakem mestu, kjer so v pasu ostalih premogokopov odprli novo rudarsko delo. Plasti premoga, ki so jih izkoriščali v teh premogokopih, najverjetneje pripadajo enotnemu horizontu, sestavljenemu iz več plasti premoga. Premog so odkopavali od površine proti globini, pod blagimi vpadi (do ~ 25°) in do majhnih glo-

bin, ker so se nato začeli pojavljati povišani pritiski, ki jim niso bili kos, ter zlasti problemi z dotoki vode. Linija lokacij opuščenih premogokopov in premogovnikov na sl. 3–5 predstavlja v regionalnem smislu izdanično linijo premogonosnega člena v Murski formaciji, ki pa ga lahko morda imamo le za enega od številnih drugih potencialnih v celotnem Mursko-zalskem bazenu. Koliko premoga je dejansko v Murski formaciji v celotnem Mursko zalskem bazenu, kako je razvit (debelina, razprostranjenost, kontinuiranost plasti premoga itd.) in kakšna je njegova kakovost – tega še danes ne vemo, oziroma imamo o tem le indikativne informacije iz naftnih vrtin na podlagi drobcev izvrtanine in karotažnih diagramov. Na to vprašanje bi zanesljivo odgovorili le z vsaj nekaj globokimi vrtinami (med 600 in 1000 m) na jedro.

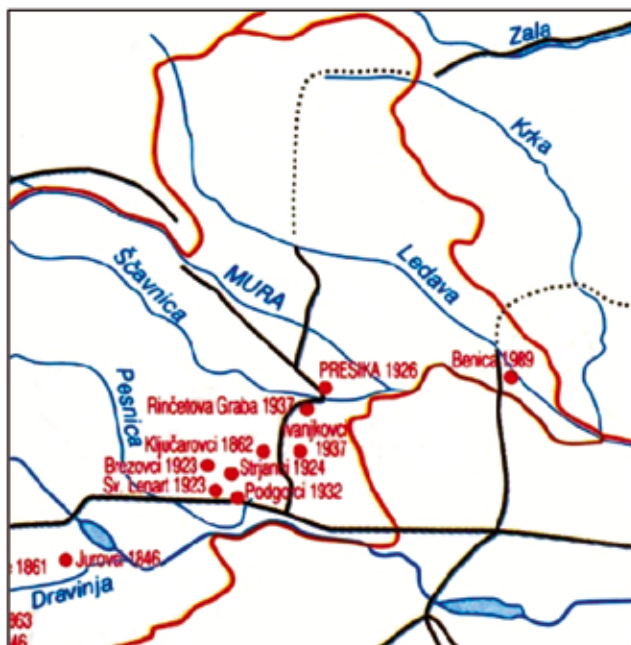
Karte na sl. 3–5 so podane v kronološkem zaporedju njihove izdaje po letu 1929. Najprej je prikazana »zemljepisna« karta (sl. 3a), ki jo je v časopisu Ilustrirani Slovenec 5. maja 1929 objavil V. BOHINEC (posredoval T. BUDKOVIČ iz privatnega časopisnega arhiva) in nato Jelenčeva iz leta 1953 (JELENC, 1953) (sl. 3b). Sledi podrobna »faktografska« karta (sl. 4), ki jo je izdelal I. LONGYKA (ES, 1995, 9. zv, p. 293). Naslednja sl. 5 prikazuje premogovnike na geološki karti OGK – List Čakovec (MIČ & MARKOVIĆ, 1998a) z jasno prikazano Ormoško-selniško antiformalno strukturo in »opuščenimi premogokopi« na njenih obronkih. Geološko karto tega ozemlja ter dva nazorna profila prečno na Ormoško-selniško antiformalno je v svoji »klasični« razpravi o obmurskih naftnih nahajališčih objavil že PLENIČAR (1954), obsežno geološko dokumentacijo, ki večinoma ni bila objavljena, pa hranijo še podjetja, ki so raziskovala potencialnost plinsko-naftnih nahajališč in geotermalne energije v tem



Sl. 3. Dve starejši karti, ki prikazujeta opuščene premogokope oziroma manjše premogovnike v značilnem pasu od Ormoža proti Ljutomeru (a – po V. BOHINEC-u iz leta 1929; b – po D. JELENC-u iz leta 1953).

Fig. 3. Two older maps showing small abandoned collieries in a belt from Ormož towards Ljutomer (a – after V. BOHINEC, 1929; b – after D. JELENC, 1953).





delu Slovenije (Nafta – Lendava, Nafta - Geoterm, INA Zagreb).

V danes tako določenih pontijskih ( ${}_2M_r^2$ ) plasteh nastopajoče plasti premoga in njihovo razprostranjenost vzdolž severnega krila Ormoško-selniške antiforme je JELENC (1953) imenoval Ormoško-lendavski pas (sl. 3b), HAMRLA (1985/86) pa ga je

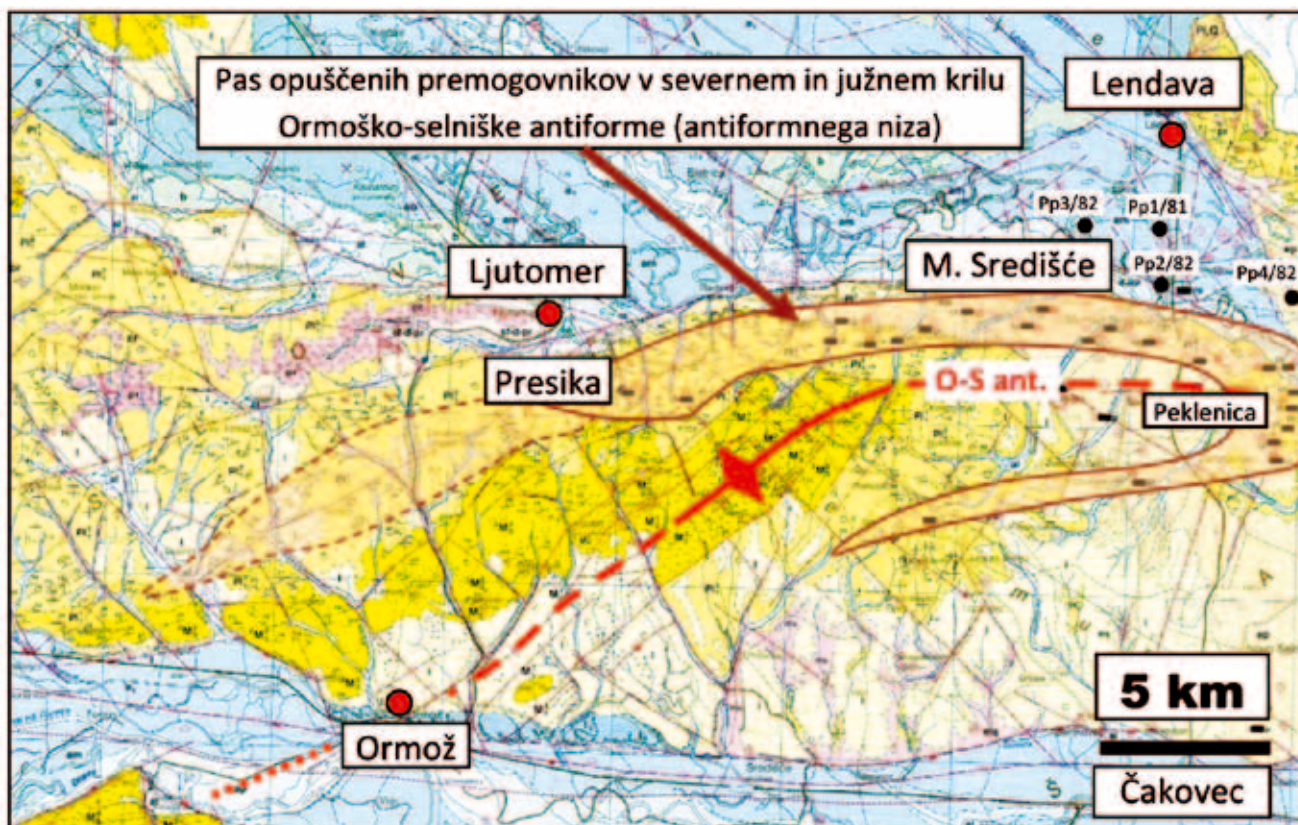
Sl. 4. Podobna karta kot na slikah 3a in 3b. Navedene so letnice začetkov odkopavanja premogov, ki sodijo večinoma v obdobje med svetovnjima vojnama. Najstarejši letnici imata Jurovci (1846) in Ključarovci (1862). Prikazana je tudi že Benica pri Lendavi, ki je bila odprta z raziskovalnimi rudarskimi deli med leti 1986 in 1989. (Avtor karte I. LONGYKA v ES, 1995, 9. zv, p. 293).

Fig. 4. Similar maps as in figs. 3a and 3b. Written are years, mostly from the first half of the 20<sup>th</sup> century when coal started to be excavated at the cited localities. However, the oldest openings of coal seams in the area date to the mid of the 19<sup>th</sup> century (Jurovci – 1846, Ključarovci – 1862). Note that Benica at Lendava is also marked on the map, where 420 m of underground exploration mine workings have been made between 1986 and 1988. (Author of the map: I. LONGYKA in ES, 1995, book 9, p. 293).

imenoval Ptujski premogovni pas. Temu pasu pripadajo tudi vsa tri pomembnejša nahajališča, ki jih bomo opisali v nadaljevanju – to so Presika, Mursko Središče in Lendava.

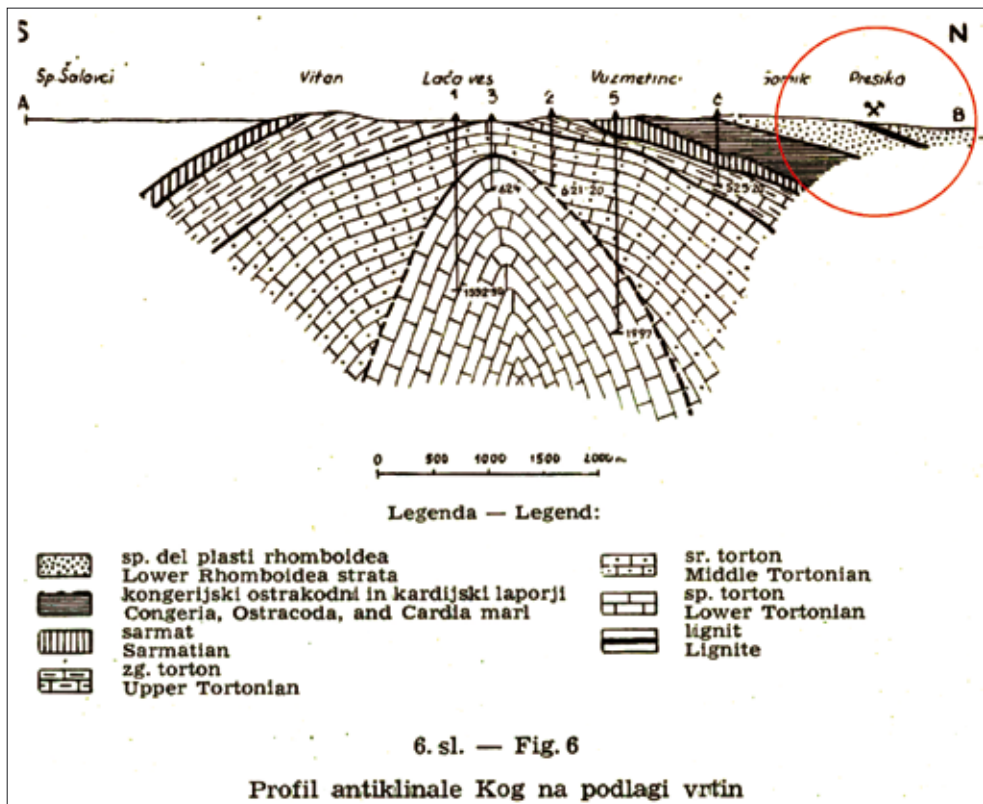
### Presika

Premogovnik Presika (sl. 6 in 7) je bil največji premogovnik na slovenskem ozemlju v tako imenovanem Ormoško-lendavskem (ali Ptujskem) pasu. Po podatkih Krajevnega leksikona Slovenije (1980, IV. Knjiga) so premogovnik Presika odprli leta 1918, medtem ko LONGYKA (ES, 1995) navaja letnico 1926 (sl. 4). V Statističnih letopisih energetskega gospodarstva R. Slovenije najdemo zanj podatek, da je med leti 1953 in 1970 obratoval z



Sl. 5. Prikaz opuščanih rudarskih del na premog (črni kvadratici) v značilnem loku od Presike južno od Ljutomera proti Murskemu Središču in Peklenici (znani po nafti) ter »nazaj« do Vratišinca in po južnem krilu Ormoško-selniške antiklinale (O-S ant.) proti Ormožu. »Premogovni pas« je označen z rjavo barvo. Geološka podloga je izsek iz OGC - List Čakovec 1 : 100.000 (MIOČ & MARKOVIČ, 1998a).

Fig. 5. Abandoned collieries (signed by black rectangles) in a characteristic arc following the flanks of the Ormož-Selnica anticline. The coal belt is in brown. Geological background and coal localities are from Basic Geological Map of Slovenia and Croatia in Scale 1 : 100.000 – Sheet Čakovec (MIOČ & MARKOVIČ, 1998).

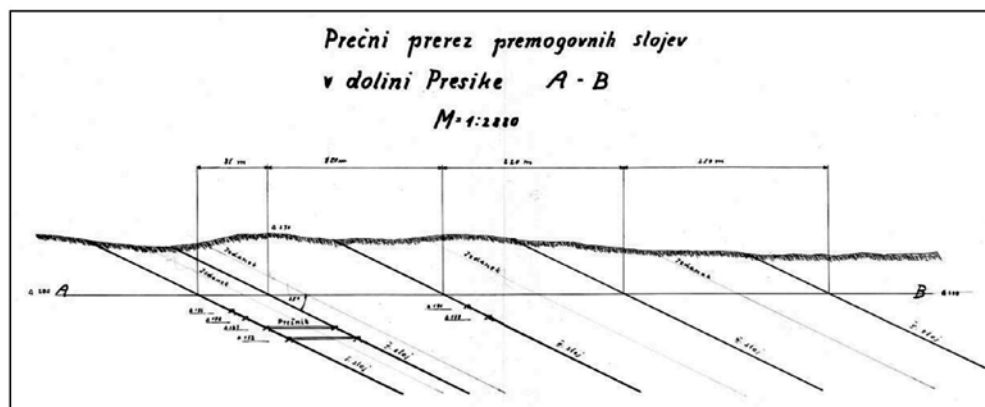


letnimi proizvodnjami med le 5.000 in 9.000 tonami. Na sl. 6 je prikazana situacija plasti premoga pri Presiki glede na zgradbo Ormoško-selniške antiklinale po PLENIČAR-ju (1954). Iz obdobja obratovanja premogovnika pa obstaja tudi pregleden geološko-rudarski opis premogišča, ki ga je napisal KARNIČNIK, (ok. 1965). Omenjeni avtor nas seznanja, da so premog v dolini Presike pridobivali že pred in med drugo svetovno vojno, da premogišče sestavlja pet plasti premoga (sl. 7), ki so debele do 1 m in da je to rjavi premog dobre kakovosti. Analiza vzorca premoga (KARNIČNIK, ok. 1965) je pokazala, da le-ta vsebuje pri 25 % vlage manj kot 17 % pepela in pod 1.6 % skupnega žvepla. Njegova spodnja kurilna vrednost znaša 3732 kkal ali 15,6 MJ/kg, kar je skoraj 26,9 MJ/kg na stanje brez vode in pepela. To je popolnoma enaka vrednost kot smo jo dobili tudi z analizo premoga iz vrtine TER-1/03 (globinski interval 141,0–155,0 m) (MARKIČ, 2003).

V Presiki so najgloblji vpadnik po sloju izdelali do kote +139 (s površine na koti +202). Proge

po sloju za pripravo odkopnih etaž, ki so bile štiri, pa so bile dolge več kot 1400 m. Premogišča niso nikoli raziskali z vrtinami, ker za to sami niso imeli denarja (KARNIČNIK, ok. 1965). Predvidevali so, da bi z rudarjenjem v večjih globinah naleteli na težave z dotoki vode iz peščenih plasti.

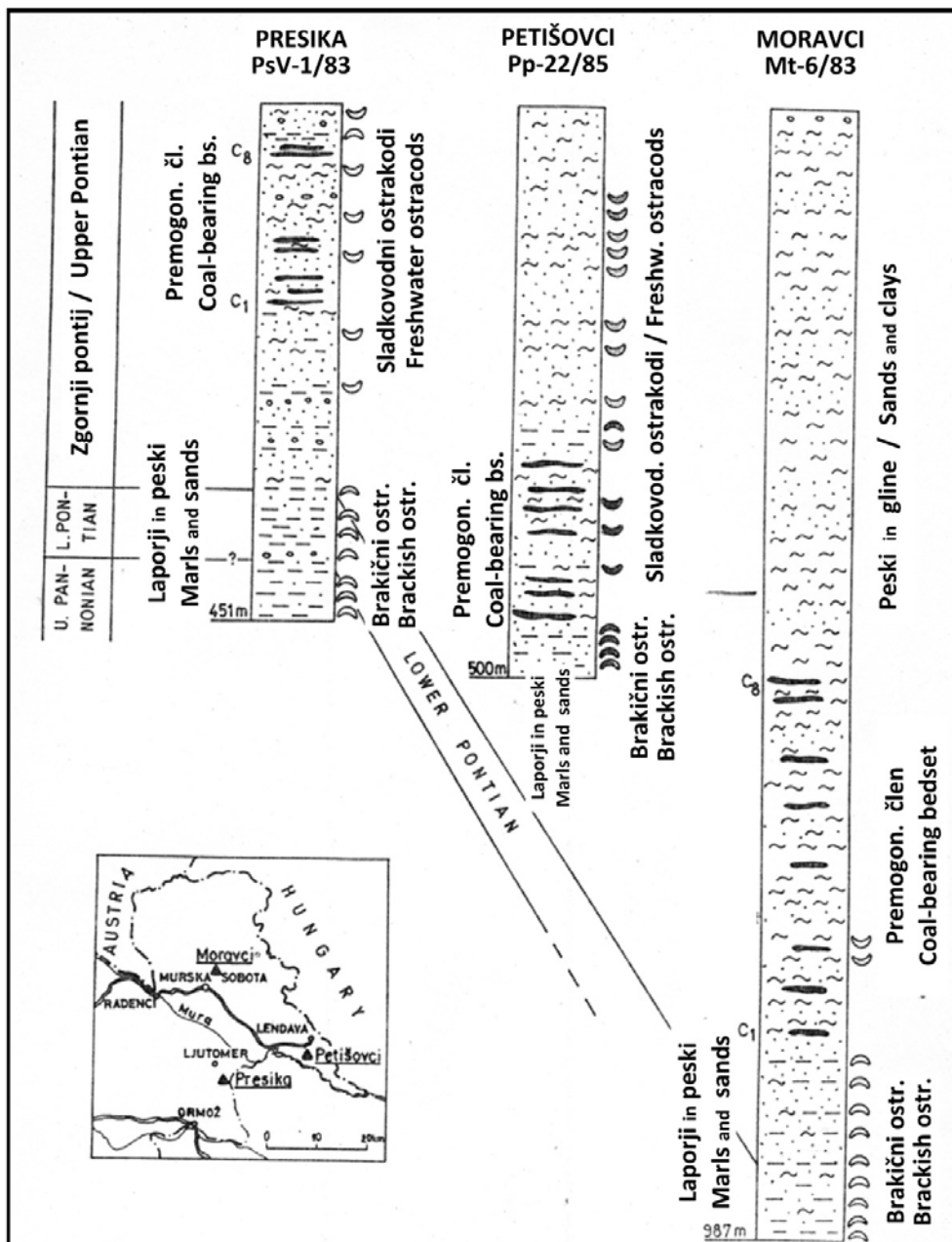
Omenili smo že, da je bila leta 1983 pri Presiki, v bližini tukajšnjega nekdanjega premogovnika izvrtana vrtina PsV-1/83. Globoka je bila 451 m, po pripovedovanju nekaterih kolegov je bila geološko popisana, a zanjo v arhivu GeoZS, kakor tudi v posameznih bazah ter seznamih, žal nismo našli niti litološkega popisa niti geološkega poročila. Obstoj pa o njej podrobno mikropaleontološko poročilo o rezultatih preiskav na ostrakodno mikrofavno v 90-ih vzorcih (ŠKERLJ, 1984) in tudi že omenjeni stolpec v sinteznem poročilu ŠKERLJ-eve (1987), v katerem je avtorica med seboj korelirala plasti iz vrtin PsV-1/83 (Presika), Pp-22/85 (Lendava) in Mt-6/83 (Moravci) ter v njih jasno prikazala premogonosne člene ter odseke z brakično oziroma sladkovodno ostrakodno mikrofavno (sl. 8).



Sl. 7. Lega slojev premoga in rudarska dela v premogišču Presika (KARNIČNIK, okoli leta 1965?). Prerez poteka približno od juga (A) proti severu (B) (op.p.). Nagib plasti je 25°. Globina najglobljšega rudarskega dela je okoli 100 metrov pod površino.

Fig. 7. Coal beds and mine workings at Presika (KARNIČNIK, 1965) in a cross-section running approximately from south (A) to north (B). The strata inclination is around 25°. The deepest mine working was ca 100 m underground.





Sl. 8. Korelacija plasti iz vrtin PsV-1/83 (Presika), Pp-22/85 (Lendava) in Mt-6/83 (Moravci) (ŠKERLJ, 1987).

Fig. 8: Strata correlation between the boreholes PsV-1/83 (Presika), Pp-22/85 (Lendava) and Mt-6/83 (Moravci) (ŠKERLJ, 1987).

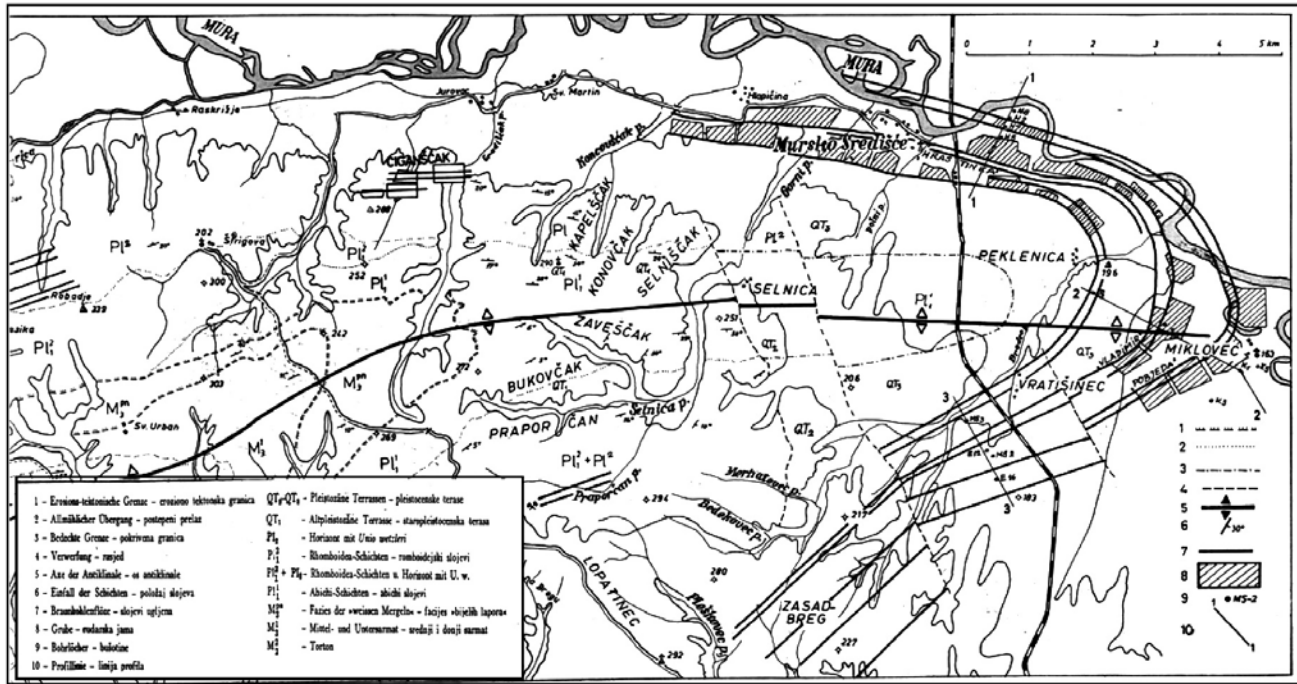
### Mursko Središče

Hrvaški premogovnik Mursko Središče je bil največji obratujoči premogovnik na območju celotne Ormoško-selniške antiforne. Obratoval je od konca 19. stoletja do leta 1972. Največjo proizvodnjo je imel leta 1965 in sicer 170.000 ton (Kruk et al., 1988). Pregledno ga je opisal Takšič (1967) (sl. 9 in 10). Celotna skladovnica ekonomsko pomembnih premogonosnih plasti je na območju Murskega Središča debela 200 do 300 m in vsebuje okoli 30 plasti premoga. Premog je pridobivalo podjetje »Medjimurski ugljenokopi« in sicer z dnevnimi kopi in podzemno. Odkopavali so 6 do 7 slojev debeline od 0,5 do 1,2 m. Pri dnevnih kopih je odkrivko predstavljal 10 do 20 m (odvisno od površinske morfologije) debel kvartarni murski prod. Podzemna rudarska dela so po blagem vpadu plasti, okoli 15°, segala približno do dolžine 300 m od diskordantnega stika s kvartarnim prodom. Globlje rudarjenje pri tedanji ekonomiki

in tehnologiji ni bilo uspešno zaradi povišanih dotokov vode. To je bil tudi glavni vzrok za zaprtje tega premogovnika.

Do konca 1960-ih let je bilo v raziskovalnem območju premogovnika izvrtanih s površine okoli 330 vrtin, globokih večinoma med 100 in 150 m. Odkopavanje premoga naj bi se koncem šestdesetih let osredotočilo na območje vzhodno od Peklenice oziroma južno od Murskega gozda, za katero je bilo v okviru B zalag ovrednoteno, da ima premog spodnjo kurilno vrednost (na dostavljeno stanje) dobrih 15 MJ/kg in sicer ob skupni vlagi 34 % ter vsebnosti pepela 9 %. Do odkopavanja teh zalag ni prišlo, kot smo že navedli, pa je nadaljnjih 66 do 400 metrov globokih vrtin skupne dolžine 12.758 m nato Geološki zavod Zagreb izvrtal v 1980-ih letih. V elaboratu o zalogah premoga na območju Murskega Središča (Kruk et al., 1988) so zaloge izračunane za tako imenovane sloje I, Ia in II. Za navedene tri sloje je ugotovljeno, da znaša spodnja kurilna vrednost premoga v





Sl. 9. Strukturna karta premogišča Mursko Središče (TAKŠIČ, 1967).

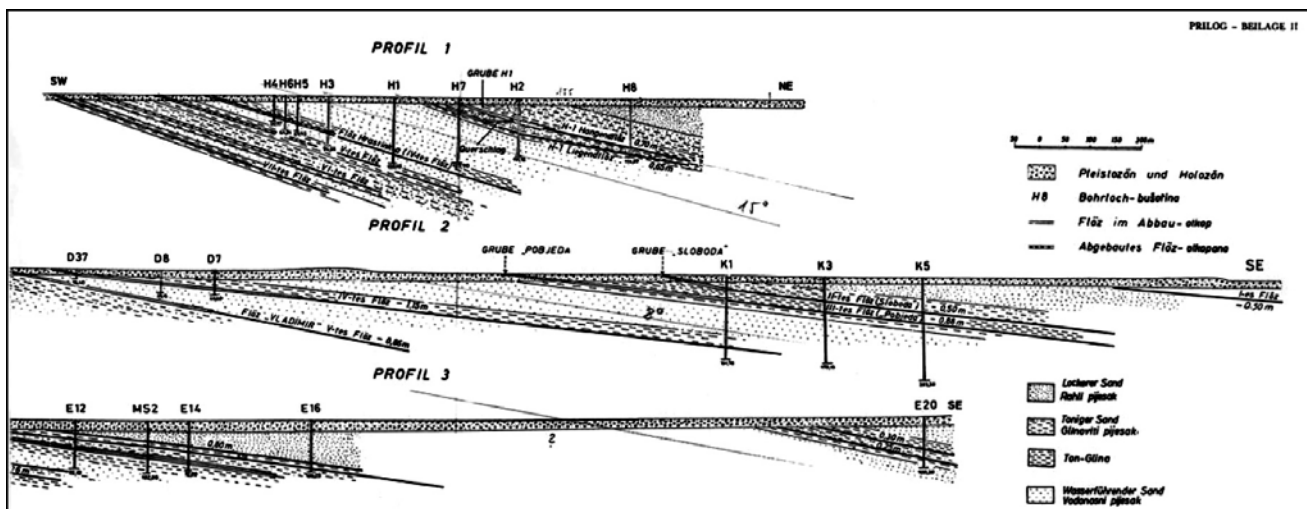
Fig. 9. Structural map of the Mursko Središče coal deposit (TAKŠIČ, 1967).

njih na stanje brez vlage in pepela (stanje »bvp«) 6000 do 6200 kcal/kg, kar ustreza 25,12 do 25,95 MJ/kg. Spodnja kurilna vrednost »čistega« premoga (brez jalovinskih vložkov) na dostavljeno stanje (pri 30–40 odstotni celotni vlagi in 15–20 odstotni pepelnosti) znaša po omenjenem elaboratu med 13,7 (sloj Ia) in 14,9 (sloj II) MJ/kg. Srednje vrednosti celotnega žvepla variirajo med 1,80 (sloj Ia) in 2,35 % (sloj I), od tega je »gorljivega žvepla« 75–80 % (med 1,40 in 1,75 %).

## Lendava

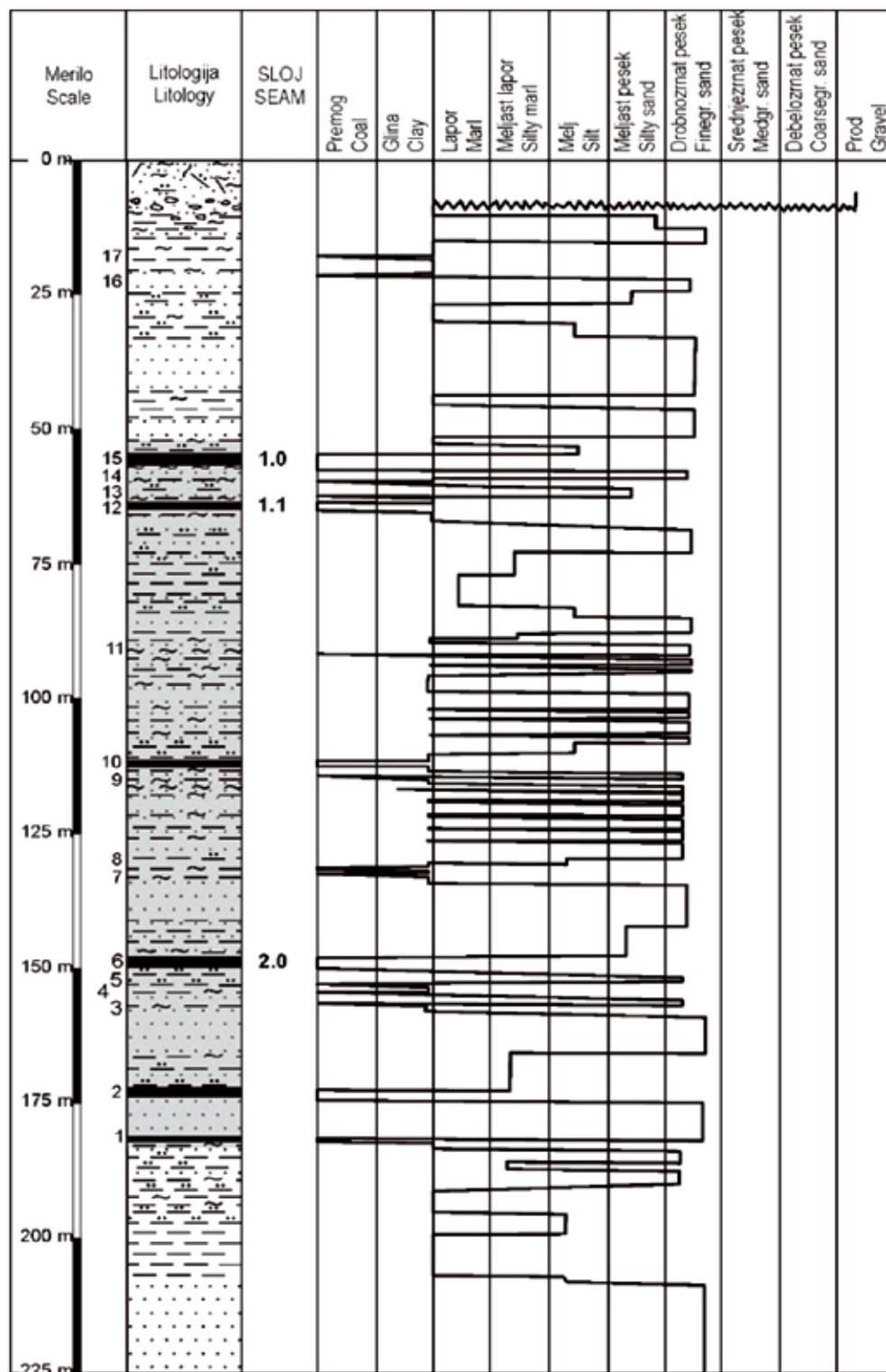
Na območju Lendava – Petišovci – Murski gozd so bili z raziskavami v 1980-ih letih ugotovljeni v Murski formaciji trije ekonomsko pomembni sloji rjavega premoga, imenovani z oznakami 1.0 (de-

belina 2,1 m), 1.1 (debelina 1,1 m) ter 2.0 (debelina 2,2 m). To so dejansko iste plasti premoga, kot so jih odkopavali v Murskem Središču, oziroma natančneje rečeno, iste plasti, kot so na območju Murskega Središča v elaboratu o zalogah (KRUK, 1988) imenovane kot sloji I, Ia in II. Zgornja dva sloja, 1.0 in 1.1, ležita v medsebojni razdalji 10 m, spodnji sloj 2.0 pa okoli 80 m pod njima. Celotni premogonosni člen (omenjene tri glavne premoške plasti, spremljajoče tanjše premoške plasti ter vmesni laporji in peski) je debel okoli 130 m. Značilen stratigrafski stolpec je prikazan na sl. 11, strukturno-tektonska slika premogonosnega člena v obliki strukturne karte in enega od značilnih prerezov pa je prikazana na sl. 12 (karta) in 13 (prerez). Strukturna lega plasti premoga je izredno enostavna, debeline plasti premoga so stalne, tako tudi njihove značilnosti, vključno z



Sl. 10. Značilni geološki prerezi premogišča Mursko Središče (TAKŠIČ, 1967).

Fig. 10. Some typical cross-sections of the Mursko Središče coal deposit (TAKŠIČ, 1967).



Sl. 11. Litološki stolpec pontijskih premogonosnih plasti v Murski formaciji na območju Lendave – posplošeno iz podatkov številnih vrtin. V stolpcu »litologija« so prikazane le debelejšje plasti premoga (MARKIČ & GRAD, 1991).

Fig. 11. Lithologic column of pontian coal-bearing strata within the Mura formation in the Lendava area – generalized from numerous boreholes. Only relatively thick coal beds are shown in the "lithology" column (MARKIČ & GRAD, 1991).

osnovnimi parametri kakovosti (kurilnost, vlaga, pepelnost).

Kot končni rezultat raziskav na premog na območju Lendave so MARIN in sodelavci (1989a) izračunali, da znašajo zaloge premoga vrste (A + B + C<sub>1</sub>) + (C<sub>2</sub> + D<sub>1</sub>) na območju Lendava – Petišovci – Murski gozd v treh glavnih slojih 1.0, 1.1 in 2.0 skupne debeline dobrih 5 metrov 150 milijonov ton (150 Mt). Od tega znašajo ugotovljene zaloge vrste (A + B + C<sub>1</sub>) dobrih 20 Mt. Ocenjene so bile tudi domnevne zaloge vrste D<sub>2</sub> in sicer na 50 Mt. Tako lahko skupne geološke zaloge premoga vrste (A + B + C<sub>1</sub>) + (C<sub>2</sub> + D<sub>1</sub>) + D<sub>2</sub> samo v treh

glavnih slojih premoga na območju Lendave ocenimo na več kot 200 Mt.

Za glavne tri sloje premoga na območju jugovzhodno od Lendave je bila ugotovljena kakovost premoga, kot je prikazana v tabeli 1. Za žveplo so podatki podani za tako imenovano gorljivo žveplo. Za celotno žveplo (»gorljivo« in »v pepelu«) velja, da le-to znaša v povprečju za vse sloje 1,80 % (MARIN et al., 1992). V večjih globinah je kakovost premoga verjetno še višja, na kar kaže na primer podatek o premogu iz globine 781,5 m v vrtini MT-6/82, katerega spodnja kurilna vrednost je znašala kar 17,5 MJ/kg (pri 21,7 % vlage





Tabela 1. Kakovost glavnih treh slojev premoga v Murski formaciji na območju Lendava – Petišovci – Murski gozd. Vrednosti se nanašajo na »čisti« premog brez jalovinskih vložkov in so podane na dostavljeno stanje (MARIN et al., 1989). Spodnja kurilna vrednost je podana tudi na stanje brez vlage in pepela (»bvp«).

Table 1. Coal quality of the three main coal seams in the Mura Formation of the Lendava area. Values refer to »clean« coal (excluding non-coaly partings) and are given at the as received basis (»arb«) (MARIN et al., 1989a). Only net calorific value is given also at the dry, ash-free basis (»daf«).

	Sloj premoga (»čisti premog«) Coal seam (»clean coal«)		
	1.0	1.1	2.0
Vsebnost vlage (%) Moisture	25,90	29,45	26,05
Vsebnost pepela (%) Ash content	18,45	13,50	17,25
Vsebnost gorljivega žvepla (%) Content of combustible sulphur (%)	1,17	1,28	1,18
Spodnja kurilna vrednost (MJ/kg) Net calorific value (MJ/kg) (»arb.«)	14,46	14,37	14,53
Sp. kuril. vr. (MJ/kg) (»bvp«) Net calorific value (MJ/kg) (»daf«)	26,00	25,20	25,62

in 15,4 % pepela) ali dobrih 28 MJ/kg na stanje brez vlage in pepela (MARIN et al., 1992).

Kot kažeta strukturna karta in prerez na sl. 12 in 13, leže sloji premoga najgloblje v sinformi med Petišovci in Pincami, in sicer v globini okoli 300 (sloja 1.0 in 1.1) do 400 (sloj 2.0) metrov pod površino. Kot je razvidno iz stolpca, leže plasti premoga v sedimentih vrste glina/lapor – melj – pesek. Stopnja litifikacije narašča z zmanjševanjem zrnivosti in višanjem vsebnosti karbonatne komponente. Po podatkih iz vrtin so peski nesprijeti, melji in karbonatni melji so slabo do srednje sprjeti, laporje pa lahko lomimo z roko ali kladivom in se koljejo po ploskvah plastovitosti, kot je to značilno za večino terciarnih laporjev. Laporji so pomembni za določanje starosti plasti, ker pravi vsebujejo dobro ohranjene fosilne ostanke (zlasti »uporabno« ostrakodno favno). Hidrogeološki in geomehanski podatki so zbrani v že omenjeni zaključni študiji (MARIN et al., 1989a) in v nekaterih separatnih poročilih. Debelina drobnozrnatih hidroizolacijskih plasti (laporjev in karbonatnih meljev) v neposredni krovlini in talnini posameznih slojev premoga je razmeroma majhna, od nekaj decimetrov do enega, dveh ali treh metrov, redkeje več (sl. 11 in 13). Pogosto pa so lahko v stiku s premogom tudi peski, ki sicer prevladujejo v večmetrskih debelinah v zaporedjih plasti med pomembnejšimi sloji premoga.

Iz do sedaj prikazanega geološkega gradiva je razvidno, da zaloge premoga v nobenem od obravnavanih nahajališč niso omejene, razen seveda z njihovo izdančno linijo. Glavna omejitev pri obravnavi zalog posameznih nahajališč je bila globina premoških slojev in s tem največkrat v zvezi predvidene težave z odvodnjavanjem. Tako je bila na primer za Lendavo – Murski gozd privzeta kot meja med bilančnimi in izvenbilančnimi zalogami globina 300 m. V primeru »starejših« premogov-

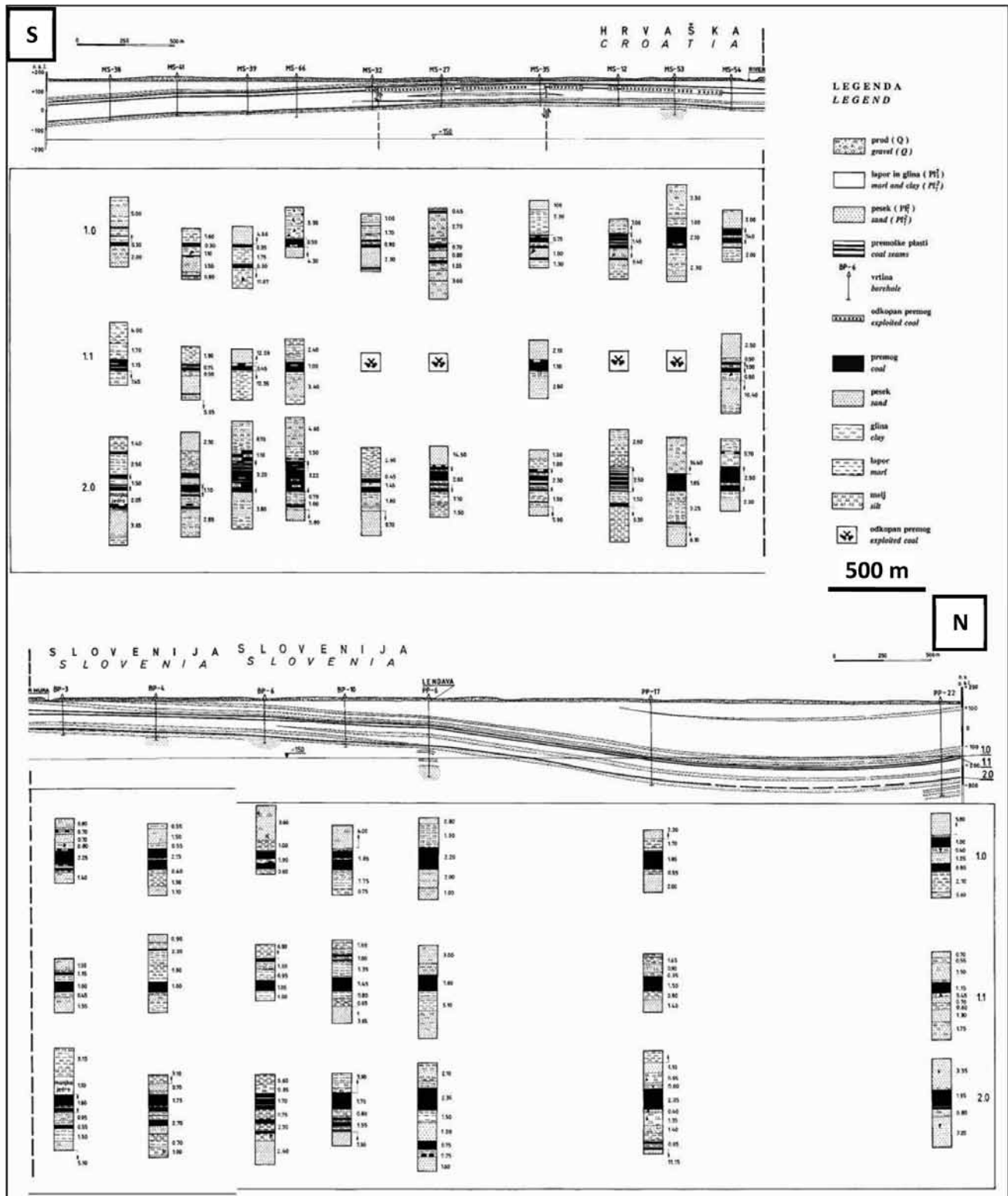
nikov je bila omenjena meja znatno »plitvejša«. Znano je, da se bilansiranje zalog na daljše časovno obdobje lahko spreminja. Med drugim je odvisno od metod in tehnologij rudarjenja, pa tudi nenazadnje od cene premoga.

### Potencialne zaloge premoga v širšem prostoru SV Slovenije

Pregledno karto perspektivnih in potencialnih zalog premoga v SV Sloveniji je leta 1984 izdelal K. GRAD (sl. 14). Na njej je prikazal dve perspektivni območji – eno vzdolž severnega krila Ormoško-selniške antiforme, katerega premogovnike in območje raziskav Lendava smo že opisali, in drugo na območju od vzhodnega dela Slovenskih goric proti zahodnemu Goričkemu. To drugo območje do danes ni bilo preiskano z nobeno strukturno vrtino na premog, ki bi dejansko potrdila debelino, kakovost in geološko lego plasti premoga. Prikazuje pa GRAD (1984) na tem ozemlju štiri izdanke premoga – dva pri Pertoči in po enega pri Šalamencih (ali Pečarovcih po PLENIČAR-ju, 1970) in pri Puconcih. Za slednjega smo se pozanimali tudi pri kolegu T. LAPAJNE-tu, ki je pred kratkim (leta 2008/09) ravno izdeloval elaborat o zalogah kremenovih peskov za podjetje iz Pucconec. Izdanek smo na eni od kart dejansko našli in bi ga bilo mogoče enostavno najti tudi na terenu. Za ostale izdanke, ki jih navaja GRAD (1984), (še) nismo našli ustreznega dokaznega gradiva. PLENIČAR (1970; p. 29) navaja še izdanjanje črne premogovne glin pri Ocincu (sl. 14).

V tolmaču OGC za List Goričko PLENIČAR (1970) piše, da je za nastopanje plasti premoga na Goričkem – in to velja tudi za celotno SV Slovenijo (op.p.) – pomemben horizont s polžem *Unio wetzleri* v zgornjem delu tako imenovanih *rhomboidea* plasti. Po TURK-ovi (1993) kronostratigrafski razpredelnici neogenskih plasti Murske udorine (po novem Mursko-zalskega bazena) je horizont *Unio wetzleri* istoveten s »premogovnim horizontom«, oboje pa je uvrščeno v spodnji del Murske formacije (sl. 15). Po PLENIČAR-ju (1954) je horizont *Unio wetzleri* na območju Lendave debel 400 do 500 m – in zato so bile, kot smo omenili že predhodno, do največ toliko globoke tudi tamkajšnje vrtine na premog v 1980-ih letih. Sklepamo, da je skupna debelina premogonosnih plasti *Unio wetzleri* debela nekaj sto metrov tudi na ostalem območju celotne SV Slovenije. Zagotovo to velja za območja tektonskih depresij (Ptujsko-ljutomerska sinforma in Radgonska depresija), medtem ko je na območju Mursko-soboškega masiva lahko debelina premogonosnih plasti manjša, vendar se najverjetneje v celoti ne izklinja.

Rhomboidea plasti so na Goričkem razvite pretežno peščeno in prodno in so torej rezultat rečne in (podrejeno) jezerske sedimentacije zaključnega zasipavanja panonskega bazena (PLENIČAR, 1970; KRALJ, 2001). Regionalno-geološko velja, da se v njih tanke plasti premoga nahajajo v vmesnih glinastih plasteh, ki so se usedale v jezersko-močvirskih okoljih obrežnih ravnin in/ali distal-



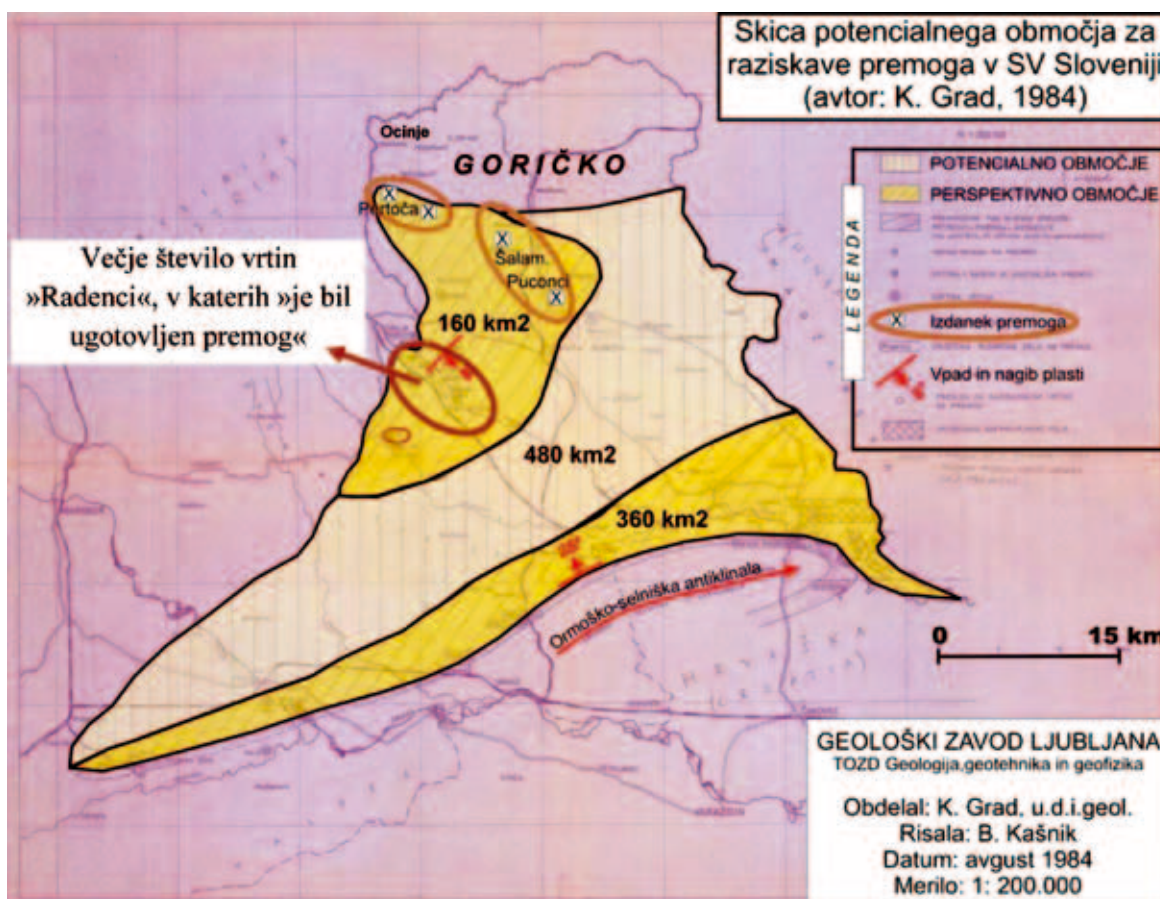
Sl. 13. Geološki prerez premogonosnih plasti na območju Lendava – Mursko Središče (označen na karti na sliki 12) od juga (zgoraj levo) proti severu (spodaj desno). Po podatkih iz vrtn so podrobno prikazani stolpci glavnih treh slojev premoga (1.0, 1.1 in 2.0) z njihovo neposredno talnino in krovino (MARIN et al., 1989a).

Fig. 13. Geological cross-section of the Lendava – Mursko Središče coal-bearing strata (see Fig. 12 for its direction) from the south (top left) to the north (bottom right). In detail, shown are columns for the three main coal seams (1.0, 1.1. and 2.0) and their directly underlying and overlying sediments.

nih predelov rečnih sistemov. Rečni peski in prodi so sedimenti visoko-energetskih okolij, medtem ko so gline, laporji in premoške plasti produkt nizko-energetskih okolij. Na območju Lendave in tudi v celoti na območju Ormoško-selniške anti-forme nimamo prodnatih, temveč le peščene sedi-

mente – vsaj kakor to velja v okviru prevrtanih in pri Murskem Središču tudi eksploatiranih premogonosnih plasti.

Za območje Goričkega, kjer v preteklosti ni deloval noben premogovnik, so razen podatkov o izdankih (sl. 14) znane samo navedbe, da nastopajo



Sl. 14. Pregledna karta območij zalog premoga v SV Sloveniji (neobjavljena karta iz arhiva GeoZS, avtor K. GRAD, 1984).

Fig. 14. A general map of potential (light brown) and perspective (brown) areas for possible coal reserves in NE Slovenia. Cross marks (within brown ellipses) south of Goričko indicate known coal outcrops. (Unpublished map by K. GRAD from 1984; archive of conceptual maps at the Geological survey of Slovenia).

v horizontu *Unio wetzleri* le decimetrski vložki lignita (PLENIČAR, 1970; p.16). Tako tanke plasti premoga na območju Goričkega gre v splošnem pripisati izrazitejši prodno-peščeni (višje-energetski) sedimentaciji na Goričkem, ki je za razvoj debelejših plasti premoga večinoma manj ugodna kot drobnozrnata (nižje-energetska) sedimentacija. O premogu na Goričkem pravi PLENIČAR (1970; p.29) še naslednje: »Ker podobni skladi srednjega pliocena (kot pri Murskem Središču, pri Ljutomeru in v Slovenskih goricah – op.p.) segajo tudi na območje Goričkega, domnevamo, da bi morali najti premog tudi na tem območju«. Od te preliminarnе ugotovitve naprej do danes ni bilo ugotovljenega nič bistveno novega.

Na območju Radencev je bila izvrtana cela vrsta vrtin za potrebe Radenske in tamkajšnjega zdravilišča. To so vrtine z oznakami T in V (ter številko in letnico). V arhivu GeoZS nismo dobili podatkov o litologiji teh vrtin, tako da bi se bilo glede tega potrebno obrniti neposredno na podjetje Radenska, ki je tudi lastnik teh podatkov. Vrtine »V« so bile globoke do okoli 300 metrov in na GRAD-ovi (1984) karti (sl. 14) so prikazane tiste med njimi, v katerih je bil »ugotovljen« premog. Vrtine »T« so bile globoke od okoli 550 do 830 m. V najnovejši vrtini T-5/03 nekoliko jugovzhodno od hotela Radin sta bila ugotovljena dva odseka z drobci premoga, zgornji le v globini nekaj metrov, spodnji pa v globini okoli 90 m.

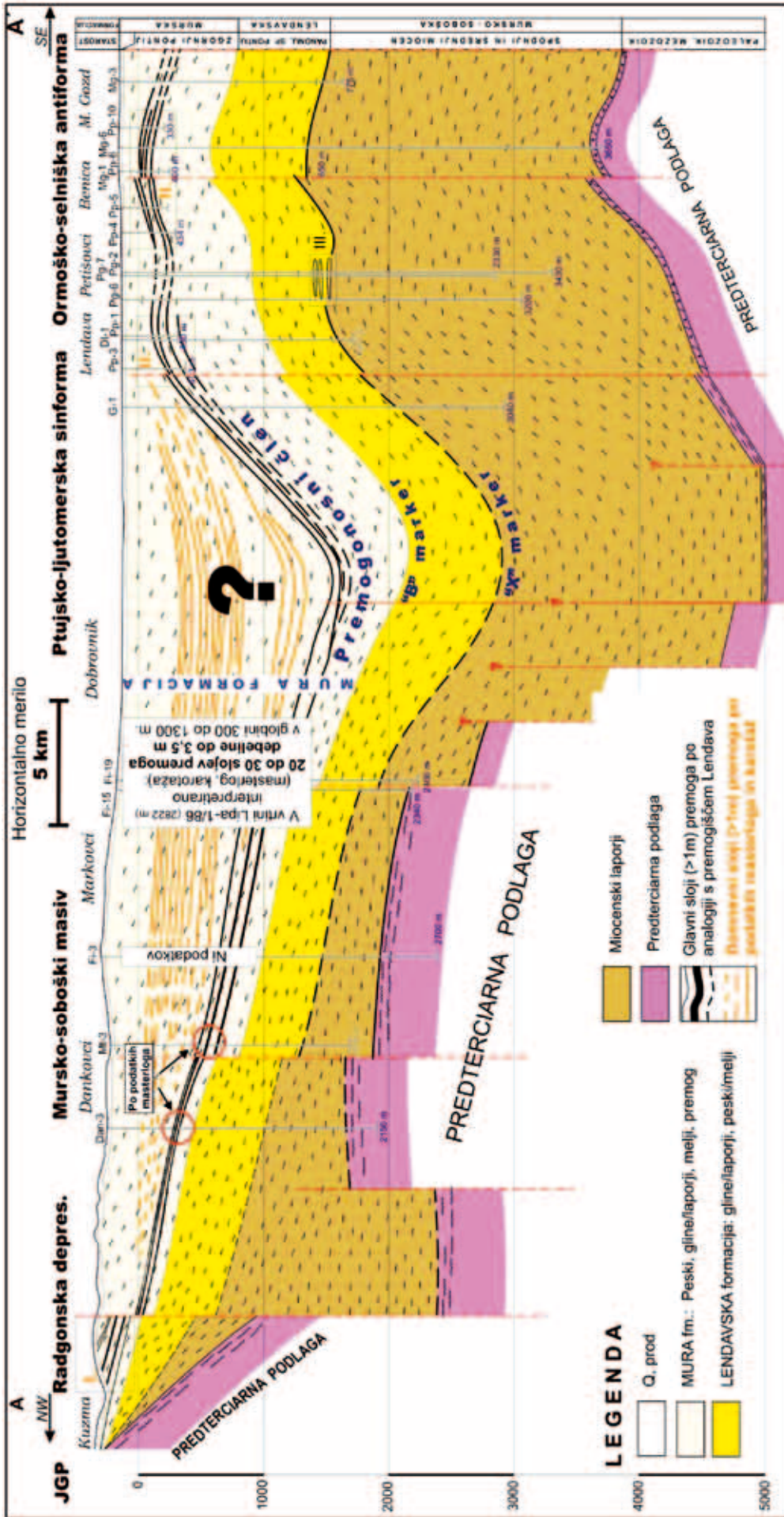
Problem teh vrtin za merodajnost ocene o premogonosnosti območja Radenci je zopet v tem, da so bile te vrtine vrtane s kotalnimi dletmi, torej brez pridobivanja jedra.

#### Ocena zalog premoga na celotnem ozemlju SV Slovenije

Za oceno zalog premoga na celotnem ozemlju SV Slovenije imamo torej na razpolago le razmeroma malo zanesljive podatke. Enega od pristopov za to oceno lahko izvedemo na podlagi analogije s podatki za območje Lendava – Petišovci – Murski gozd. Če privzamemo v izračun zalog skupno debelino premoga 5 m, to je skupno debelino premoga v treh nad 1 m debelih slojih, in če upoštevamo gostoto premoga  $1,3 \text{ t/m}^3$ , dobimo za celotno premogonosno perspektivno in potencialno ozemlje SV Slovenije, kot je prikazano na sl. 14, in ki meri okoli  $1000 \text{ km}^2$ ,  $6,5 \times 10^9 \text{ t}$  (ali  $6500 \text{ Mt}$ ) domnevnih zalog premoga. Pri spodnji kurilni vrednosti  $14,5 \text{ MJ/kg}$  (iz tabele 1 za »čisti premog«) pomenijo omenjene zaloge energetski potencial v višini skoraj  $10^{14} \text{ MJ}$ . Navedene zaloge in njihov energetski potencial je približno primerljiv z današnjo enoletno svetovno proizvodnjo premogov. Omenjene zaloge se nanašajo na sloje premoga, katerih lega sega praktično od površine (pod kvartarnim prodrom) do globine okoli 2000 m.



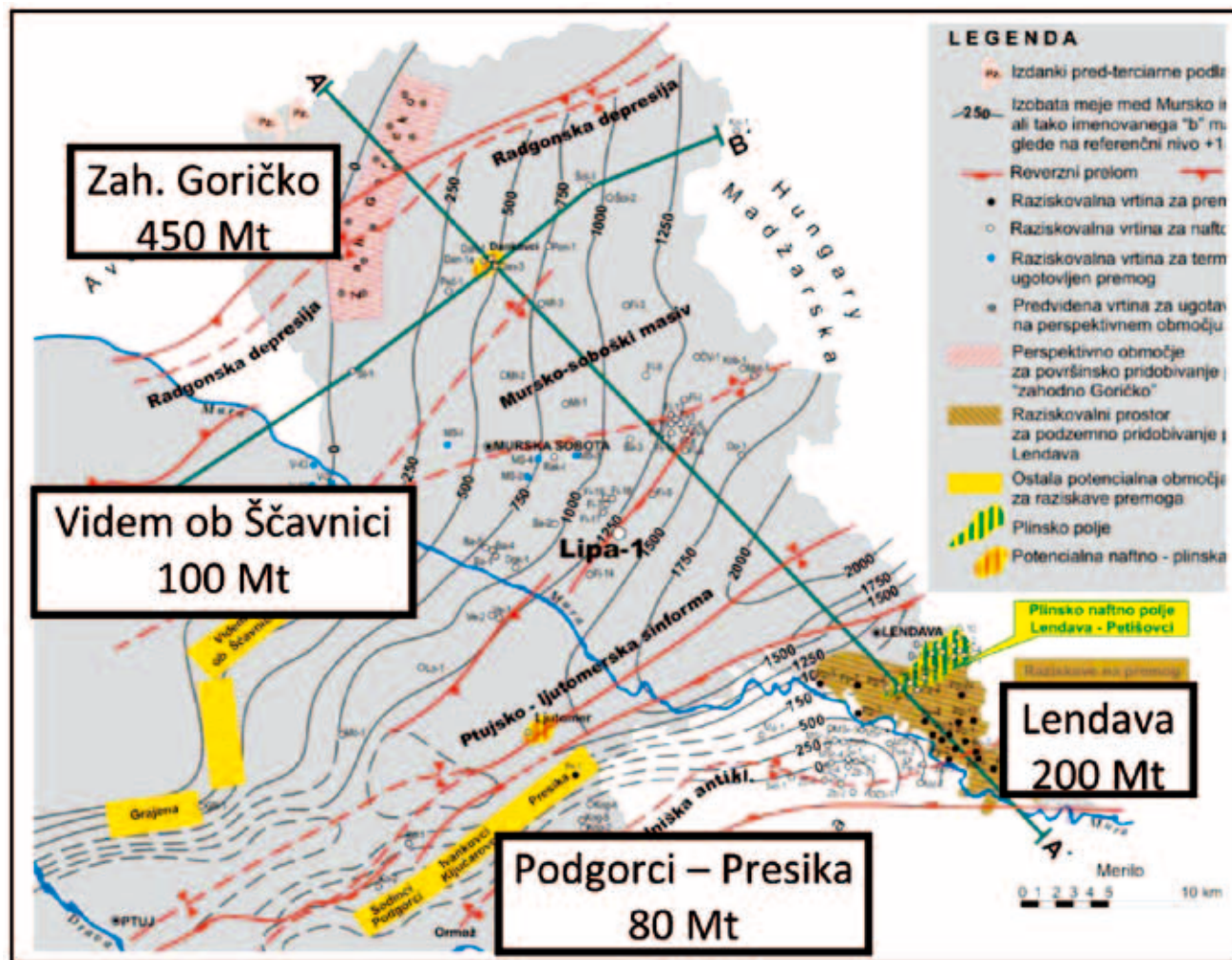




Sl. 17. Regionalni geološki prerez A-A' skozi Mursko-zalski bazen (horizontalno in vertikalno merilo je različno) (za potek glej sliko 16). Premoški »horizont« je prikazan shematično po analogiji s premogonosnimi plastmi na območju Lendava – Mursko Središče – Murski gozd (Prirejeno po MARIN-u et al. 1992). Podatki o izjemnem številu do 3,5 m debelih plasteh premoga obstajajo za vrtno Lipa-1, ki v projekciji na obravnavani prerez odgovarja približno situaciji v območju vrtin Filovci F1-15 in F1-19.

Fig. 17. Regional cross-section A-A' via the Mura-Zala Basin (horizontal and vertical scales are different!) (for direction see Fig. 16). The coal-bearing horizon is shown schematically, analogous to coal horizon at Lendava (adopted after MARIN et al. 1992). Data on numerous coal beds, up to 3.5 m thick, exist for the Lipa-1/86 well.





Sl. 18. Štiri potencialna območja za morebitno konvencionalno pridobivanje premogov v SV Sloveniji in ocenjene zaloge v njih (v slojih debeline nad 1 m). (Iz študije MARIN-a et al. 1992).

Fig. 18. Four potential areas and estimated coal reserves (in thicker than 1 m seams) for possible conventional coal mining in NE Slovenia.

masiva in Radgonske depresije, enakomerno pa se dviga proti SZ na območje Južno-gradiščanskega praga (JGP) na avstrijskem ozemlju. To kaže na dejstvo, da sta Radgonska depresija in Mursko-soboški masiv starejši tektonski formi (pred-miocenski) ostale tri pa so mlajše (pontijske in post-pontijske). Dvigovanje Južno-gradiščanskega praga je verjetno nekoliko starejše od Ptujsko-ljutomerske sinforme (oz. Ormoško-selniške antiforme) in je bilo aktivno v času sedimentacije Lendavske ter verjetno tudi Murske formacije. Lendavska formacija namreč kaže izrazito odebeljevanje v smeri od Južno-gradiščanskega praga proti Radgonski depresiji, Murska formacija pa je na zahodnem Goričkem na površini obsežno erodirana in takega odebeljevanja kot v primeru Lendavske formacije ne moremo videti tako jasno.

Po pregledu obstoječih podatkov iz naftnih in geotermičnih vrtin v arhivih podjetja Nafta Geoterm in Geološkega zavoda Slovenije je bilo mogoče oceniti, da je ena najzanimivejših vrtin s podatki o premogu vrtna **Lipa-1/86**, ki ustreza, če jo projiciramo na prerez na sl. 17, približno situaciji okoli vrtin Fi-15 in Fi-19 v Filovcih. Po podatkih popisa drobcev in karotažnih meritev nastopajo v tej vrtni plasti premoga praktično

v celotnem zaporedju plasti Murske formacije v globini od 300 do 1300 m. Skupno število plasti premoga, domnevno debelih od 1 do 3 ali 4 m, je okoli 20 (po karotaži) ali morda celo več kot 30 (po drobcih izvrtanine – masterlogu). Podatki iz vrtnice Lipa-1/86 bi bili vsekakor vredni preverbe z vrtanjem na jedro.

Iz podatkov o plasteh premoga v vrtnici Lipa-1/86 in podatkov o premogonosnih plasteh na območju Lendave je mogoče sklepati, da je bil na območju Lendave ugotovljen le spodnji del premogonosnih plasti. Murska formacija je v mnogo večji debelini ohranjena v Ptujsko-ljutomerski sinformi, in tu je zato tudi možnost nastopanja večjega števila plasti premoga večja kot pa na območjih antiform kot sta Ormoško-selniška antiforma in Mursko-soboški masiv.

Na karti na sl. 16 in 18 so poleg lendavskega prikazana še tri območja potencialno zanimivega raziskovanja premogov, pri čemer je bilo predvideno le konvencionalno rudarjenje na premog bodisi z dnevnimi kopi bodisi podzemno do »zmernih globin« (ca 300 m). Za vsa štiri območja so bile na podlagi razpoložljivih starih podatkov in analogije s plastmi na območju Lendave ocenjene naslednje geološke zaloge premoga (MARIN et al., 1992):



Podgorci – Presika	80 Mt
Grajena – Videm ob Ščavnici	100 Mt
Zahodno Goričko	450 Mt
Lendava – Petišovci	200 Mt

Skupna količina geoloških zalog kakovostnega rjavega premoga v plasteh debelejših od 1 m je na navedenih štirih območjih, ki pripadajo le obrobju celotnega premogonosnega prostora SV Slovenije, torej ocenjena na 830 Mt. To predstavlja le slabih 13 % celotnih domnevnih zalog v tovrstnih plasteh celotne SV Slovenije, ki znašajo 6500 Mt. Pri vseh teh številkah je potrebno upoštevati, da pa je z vrtnami razmeroma dobro dokazanih le 150 (od skupno 200) Mt zalog na območju Lendava – Petišovci – Murski gozd.

Na Zahodnem Goričkem je ocenjeno, da leži zaradi majhne vpadne plasti znaten del zalog do »zmerne globine«, to je 250 (od skupno 450) Mt domnevnih zalog, do globine 150 m pod površino (MARIN et al., 1992). Zato je splošno privzeto, da je Zahodno Goričko v SV Sloveniji najperspektivnejše območje za morebitno prihodnje raziskovanje na premog.

#### Zahvala

Sestava tega prispevka za revijo *Geologija* je bila izdelana v okviru dela znanstveno-raziskovalne programske skupine P1-0025(D) »Sedimentologija in mineralne surovine« (za obdobje 2009–2011), financirane s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost R Slovenije. Operativne raziskave na premog v 1980-ih letih, katerih rezultate smo v veliki meri upoštevali v tem prispevku, je financirala tedanja SR Slovenija preko tako imenovanega »bencinskega dinarja«. Dokumentacijsko gradivo smo črpali iz arhiva sedanjega Geološkega zavoda Slovenije, za območje Murskega Središča tudi iz arhiva tedanjega Geološkega zavoda Zagreb, podatke o plasteh premogov v naftnih vrtnah (na podlagi popisov drobcev izvrtanine in geofizikalnih meritev) pa iz dokumentacije, ki jo hrani Nafta – Geoterm.

Vsem zgoraj omenjenim ustanovam ter seveda recenentoma gre naša velika zahvala, da je bila z njihovim financiranjem, pomočjo in sugestijami omogočena izdelava tega prispevka o geologiji premogov na območju severovzhodne Slovenije. Ravno tako gre naša iskrena zahvala vodstvu, kolegom in sodelavcem naših obeh še delujočih premogovnikov, Rudnika Trbovlje–Hrastnik in Premogovnika Velenje, ter učiteljem in kolegom na Oddelku za geotehnologijo in rudarstvo in Oddelku za geologijo na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani, s katerimi vsemi na področju različnega raziskovanja domačih premogov trajno sodelujemo in si uspešnega sodelovanja želimo tudi v prihodnosti.

#### Literatura in viri:

ALPERN, B., LEMOS DE SOUSA, M. J. & FLORES, D. 1989: A progress report on the Alpern Coal Classification. *International Journal of Coal Geology*, 13: 1–19.

BECHTEL, A., REISCHENBACHER, D., SACHSENHOFER, R. F., GRATZER, R. & LÜCKE, A. 2007: Paleogeography and paleoecology of the upper Miocene Zillingdorf lignite deposit (Austria). *International Journal of Coal Geology*, 69: 119–143.

BERNER, R. A. & RAISWELL, R. 1983: Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over Phanerozoic time: a new theory. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47: 855–862.

BERNER, R. A. & RAISWELL, R. 1983: C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rocks. *Geology*, 12: 365–369.

BOHACS, K. & SUTER, J. 1997: Sequence stratigraphic distribution of coaly rocks: fundamental controls and paralic examples. *AAPG Bulletin*, 81/10: 1612–1639.

BOHINEC, V. 1929: Rudniki v Sloveniji – karta kot priloga v časopisu *Ilustrirani Slovenec* z dne 5. maja 1929, Ljubljana.

BRODA, E., NOWOTNY, K., SCHÖNFELD T. & SUCHNY, O. 1956: Urangelhalte österreichischer Braunkohlenaschen. *Berg. Hüttenmänn. Monatschrift*, 101:121–124.

DIESEL, C. F. K. 1992: Coal-Bearing Depositional Systems. Springer-Verlag, Berlin: 721 p.

ĐURASEK, S. 1988: Rezultati suvremenih geofizičkih istraživanja u SR Sloveniji (1985–1987). *Nafta*, 6: 311–326.

ECE-CSE-UN (Economic Commission for Europe – Committee on Sustainable Energy – United Nations) Energy/1998/19 document: International Classification of in-Seam Coals. United Nations, New York and Geneva: 14 p.

ES (Enciklopedija Slovenije) 1995: „Premog“, „Premogovnik“, „Premogovništvo“. Mladinska knjiga Ljubljana, (enciklopedični opisi gesel), 9. Zvezek: 289–296.

FODOR, L., JELEN, B., MÁRTON, E., RIFELJ, H., KRALJIČ, M., KEVRIĆ, R., MÁRTON, P., KOROKNAI, B. & BÁLDI-BEKE, M. 2002: Miocene to Quaternary deformation, stratigraphy and paleogeography in Northeastern Slovenia and Southwestern Hungary = Deformacije, stratigrafija in paleogeografija severovzhodne Slovenije in jugozahodne Madžarske od miocena do kvartarja. *Geologija*, 45/1: 103–114.

GOSAR, A. 1996: Modeliranje refleksijskih seizmičnih podatkov za podzemno skladiščenje plina v strukturah Pečarovci in Dankovci – Murska depresija = Modelling of seismic reflection data for underground gas storage in the Petišovci and Dankovci structures – Mura Depression. *Geologija*, 37/ 38: 483–549.

GRAD, K. 1984: Skica potencialnega območja za raziskave premoga v SV Sloveniji. Karta v merilu 1 : 200.000 (mapni arhiv GeoZS).

GRANDIĆ, S. & OGORELEC, B. (ur.) 1986: Plan in program raziskav ležišč nafte in plina v SR Sloveniji za obdobje 1986–1990, Murska depresija. Geološki zavod Zagreb in Geološki zavod Ljubljana, arhiv GeoZS, 1–206, 8 pril.

HAMRLA, M. 1959: O pogojih nastanka premogišč na krasu = On the conditions of origin of the coal beds in the karst region. *Geologija*, 5: 180–264.

JELEN, B. & RIFELJ, H. 2002: Stratigraphic structure of the B1 Tertiary tectonostratigraphic unit in eastern Slovenia = Stratigrafska zgradba terciarne tektonostratigrafske enote B1 v vzhodni Sloveniji. *Geologija*, 45/1: 115–138.

- JELEN, B., RIFELJ, H., BAVEC, M. & RAJVER, D. 2006: Opredelitev dosedanega konceptualnega geološkega modela »Murske depresije«. Geološki zavod Slovenije, GeoZS arh. št. R-II-30d-1/115, poročilo, 28 str., 22 slik (kot priloge).
- JELENC, D. 1953: O raziskovanju mineralnih surovin v LR Sloveniji. Searching for Mineral Raw Materials in Slovenia. *Geologija*, 1: 11–36.
- KARNIČNIK, A., okoli 1965: Poročilo o geološko-rudarskih razmerah in zalogah premoga v premoški rudnika Presika. Tipkano poročilo, 5 str., 4 graf. pril. (neoštevilčene), arhiv GeoZS (C-II-30d/a2-4/32-b).
- KRUK, B., JAKOVAC, I. & JOVIĆ, S. 1988: Elaborat o istraživanju i proračunu rezervi ugljena ležišta Križovec – Miklavac nekadašnjeg eksploatacionog polja »Pobjeda« unutar istražnog prostora »Mursko Središće«. Tipkani elaborat (209 str.), arhiv Geološkega zavoda Zagreb.
- KRALJ, Po. 2001: Pliocene clastic sediments in Western Goričko, Northeastern Slovenia. = Pliocenski klastični sedimenti zahodnega dela Goriškega. *Geologija*, 44/1: 73–79.
- MARIN, M., MARKIČ, M., ŠOLAR, S.V., PEČEK, D., OREHEK, S. & MIŠIČ, M. 1989a: Študija montan-geoloških in hidrogeoloških razmer na območju bodočega premoškovnika Lendava na podlagi rudarskih raziskovalnih del kot osnova za rudarski projekt. Geološki zavod Ljubljana, GeoZS arhiv, poročilo, 39 str., 3 tekstne priloge, 24 graf. priloge.
- MARIN, M., MARKIČ, M., ZAKRAJŠEK, S., ŽUŽA, T., MIŠIČ, M. & PEČEK, D. 1989b: Spremljava in obdelava podatkov geotehničnih lastnosti hribin, strukturnih in hidrogeoloških razmer na območju rudnika Globoko pri poizkusnem odkopavanju za izdelavo glavnega rudarskega projekta in investicijskega programa – III del. Geološki zavod Ljubljana. GeoZS arhiv št. C-II-30d/a3-17/2-k, poročilo 36 str., 34 pril.
- MARIN, M., GRAD, K. & MARKIČ, M. 1992: Potencialna območja nahajališč premogov v severovzhodni Sloveniji. Geološki zavod Ljubljana, GeoZS arh.št. C-II-30d/a2-12/68k, poročilo, 15 str., 7 graf. priloge.
- MARKIČ, M. 2003: Poročilo o analizi vzorca premoga – Lokacija Sv. Jurij (glob.: 141,0–155,0 m) Vrtina TER-1/03. Tipkano poročilo, 4 str., 1 karta, 2 pril., Arhiv GeoZS C-II-30d/a3-1/10.
- MARKIČ, M. 2007: Premogi v Sloveniji ter prikaz njihovih nahajališč na šestih izbranih kartah. (V: ŠOLAR, S. V. & SENEGAČNIK, A. (ur.): Bilten Mineralne surovine v letu 2006, 149–165, Geološki zavod Slovenije).
- MARKIČ, M. & GRAD, K. 1991: Korelacija pliocenskih premoškovnih slojev v nahajališčih Lendava, Globoko in Kanižarica. Arhiv GeoZS, 21 str., 15 graf. priloge.
- MARKIČ, M. & SKABERNE, D. 1993: Tectonically controlled sedimentary evolution of the Globoko coal-bearing area. 8<sup>th</sup> Meeting of the Association of European Geological Societies. Hungarian Geological Society (Budapest), Abstract of Papers: 67.
- MARKIČ, M. & ROKAVEC, D. 2002: Geološka zgradba, nekovinske mineralne surovine in lignit okolice Globokega (Krška kotlina) = Geological setting, non-metallic raw materials and lignite in the area of Globoko (Krško Basin, E Slovenia). *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 49/2: 229–266.
- MARKIČ, M., KALAN, Z., PEZDIČ, J. & FAGANELI, J. 2007: H/C versus O/C atomic ratio characterization of selected coals in Slovenia. *Geologija*, 50/2: 403–426.
- MARKIČ, M. & SACHSENHOFER, R. F. 2010: The Velenje Lignite – Its Petrology and Genesis. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 218 p.
- MIOČ, P. & MARKOVIĆ, S. 1998a: Osnovna geološka karta R Slovenije in R. Hrvaške – List Čakovec 1 : 100.000. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana in Inštitut za geološka istraživanja, Zagreb.
- MIOČ, P. & MARKOVIĆ, S. 1998b: Tolmač za List Čakovec Osnovne geološke karte R Slovenije in R. Hrvaške. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, Ljubljana in Inštitut za geološka istraživanja, Zagreb: 84 p.
- NEMEC, W. 1988: Coal Correlations and Intrabasin Subsidence. In: KLEINSPEHN, K. L. & PAOLA C. (eds.): *New Perspectives in Basin Analysis*. Springer-Verlag: 161–188.
- PLACER, L. 1998: Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides = Prispevek k makrotektonski rajonizaciji mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. *Geologija*, 41: 223–255.
- PLENIČAR, M. 1954: Obmurska naftna nahajališča = Oil fields in the Obmurje. *Geologija*, 2: 36–93.
- PLENIČAR, M. 1968: Osnovna geološka karta SFRJ – List Goričko 1 : 100 000. Zvezni geološki zavod Beograd.
- PLENIČAR, M. 1970: Tolmač lista Goričko Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100 000. Zvezni geološki zavod, Beograd: 39 p.
- PREMRU, U. 2005: Tektonika in tektogeneza Slovenije – Geološka zgradba in geološki razvoj Slovenije = Tectonics and Tectogenesis of Slovenia. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 518 p.
- REK RLV (Rudarsko-energetski kombinat Rudnik lignita Velenje) 1989: Zapisnik komisije za začasno ustavitev rudarsko-geoloških raziskovalnih del v nahajališču rjavega premoga v Lendavi in za tehnični pregled rudarskih objektov in naprav pred začasno zaustavitvijo rudarsko-geoloških raziskovalnih del. Rudnik lignita Velenje (12 strani zapisnika) (arhiv GeoZS).
- RKURMSV (Republiška komisija za ugotavljanje zaloga mineralnih surovin in vodá), 2002: Letna bilanca zaloga in virov mineralnih surovin v Sloveniji – I Energetske surovine.
- SACHSENHOFER, R. F., DUNKL., I., HASENHÜTTL, Ch. & JELEN, B. 1998: Miocene thermal history of the southern margin of the Styrian Basin: vitrinite reflectance and fission track data from the Pohorje / Kozjek area (Slovenia). *Tectonophysics*, 297: 17–29.

- SADNIKAR, J. 1993: Raziskave za podzemno skladiščenje plina v Sloveniji. Rudarsko-metalurški zbornik, 40/1–2: 149–167.
- STACH, E., MACKOWSKY, M.-Th., TEICHMÜLLER, M., TAYLOR, G. H., CHANDRA, D. & TEICHMÜLLER R. 1982: Stach's Textbook of Coal Petrology (Third edition). Gebrüder Borntraeger: 535 p.
- STEVANOVIĆ, P. & ŠKERLJ, Ž. 1985: Prilog biostratigrafiji panonsko-pontskih sedimentata u okolini Videma-Krškog (Štajerska). Zbornik Ivana Rakovca. Razprave IV. razr. SAZU, XXVI: 281–304.
- ŠAJN, R. 1999: Geokemične lastnosti urbanih sedimentov na ozemlju Slovenije = Geochemical properties of urban sediments on the territory of Slovenia. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 136 p.
- ŠKERLJ, Ž. 1984: Poročilo o mikropaleontološki raziskavi vzorcev iz vrtine PsV-1/83 v Presiki. Poročilo Geološkega zavoda Ljubljana, GeoZS arh, št. O-II-30d/a-1/169, 11 str.
- ŠKERLJ, Ž. 1985: Ablagerungen des Pannonien in Slowenien (Jugoslawien). In: PAPP, A., JÁMBOR, Á. & STEININGER, F.F. (eds.): Pannonien M<sub>6</sub>, Chronostratigraphie und Neostatotypen, Miozän der Zentralen Paratethys. Akadémiai Kiadó, 7: 85–89.
- ŠKERLJ, Ž. 1987: Biostratigrfske raziskave zgornjega miocena in pliocena v Sloveniji – Pontij Murske depresije. Poročilo v arhivu GeoZS, 10 str.
- ŠOLAR, S. V. 1999: Program izkoriščanja mineralnih surovin. Geološki zavod Slovenije, GeoZS arhiv št. E-II-30d/a-2/142a: 1–30.
- ŠTURM, M., LOJEN, S., MARKIČ, M. & PEZDIČ, J. 2009: Speciation and Isotopic Composition of Sulphur in Low-rank Coals from Four Slovenian Coal Seams. Acta Chimica, Slovenica, 56: 989–996.
- TAKŠIĆ, A. 1967: Das Braunkohlenlager von Mursko Središće. Geološki vjesnik, 20: 303–315.
- TAYLOR, G. H., TEICHMÜLLER, M., DAVIS, A., DIESEL, C. F. K., LITTKKE, R. & ROBERT, P., 1998: Organic Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin: 704 p.
- TOMLJENOVIC, B. & CSONTOS, L. 2001: Neogene-Quaternary structures in the border zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin (Hrvatsko Zagorje and Karlovac Basins, Croatia). International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau) 90/3: 560–578.
- TURK, V. 1993: Reinterpretacija kronostratigrafskih in litostratigrafskih odnosov v Murski udorini. Rud.-metal. zb., 40/1–2: 145–148.
- WARBROOKE, P. R., 1981: Depositional environments of the Upper Tomago and Lower Newcastle Coal Measures, New South Wales. PhD Thesis, Univ. Newcastle, NSW.
- WEDEPOHL, K. H. (ed.) 1996: Handbook of geochemistry, vol. 1 Springer Berlin, Heidelberg, New York.





# Ugotavljanje sedimentacijskih vrzeli v jamskih sedimentih – primer iz jame Divje babe I (Slovenija)

## Identification of depositional hiatuses in karst infillings – Example from Divje babe I cave (Slovenia)

Janez TURK

Inštitut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Titov trg 2, SI-6230 Postojna, Slovenija  
e-mail: janez.turk@zrc-sazu.si

Prejeto / Received 7. 4. 2011; Sprejeto / Accepted 5.5.2011

*Ključne besede:* pleistocen, sedimentacijska vrzel, klastični sedimenti, morfologija klastov, datacije, Slovenija  
*Key words:* Pleistocene, hiatus, clastic sediments, morphology of clasts, datings, Slovenia

### Izvleček

Jama Divje babe I je svetovno znano paleolitsko najdišče v Cerkljanskem hribovju. V prispevku pozornost posvečam pomenu ugotavljanja sedimentacijskih vrzeli, ki se pojavljajo med odloženimi sedimenti. Na vrzeli najbolj zanesljivo sklepamo z radiometričnim datiranjem, vendar je to cenovno draga metoda. V Divjih babah I je bila razvita nova metoda ugotavljanja sedimentacijskih vrzeli, ki temelji na preučevanju morfoloških oblik klastov. S to metodo smo v jami Divje babe I sklepali na štiri sedimentacijske vrzeli v sedimentih globine od - 207 do - 481 cm pod današnjimi jamskimi tlemi. Primerjava z radiometrično določenimi vrzeli je potrdila obstoj dveh sedimentacijskih vrzeli, medtem ko je obstoj ostalih dveh dvomljiv. Vendar je prepoznavanje vrzeli z radiometričnimi datacijami v veliki meri odvisno od gostote datacij v sedimentnem zaporedju. Obstoj dveh domnevnih vrzeli bi lahko zanesljivo potrdili ali ovrgli z dodatnimi datacijami ali pa z drugimi analizami, predvsem preučevanjem preperelosti klastov na njihovih, kjer sklepamo da se vrzeli pojavljata.

### Abstract

The Divje babe I cave is world known Paleolithic site in western Slovenia. In this paper, special interest is given to the identification of sedimentary hiatuses in karst infillings. Hiatuses can be the most reliably identified by detailed radiometric dating throughout the profile. However, this method is very expensive from economical point of view. New approach was developed in Divje babe I cave. Study of morphological characteristics of clast, may reveal the position of hiatuses. Four presumable hiatuses were assessed in sedimentary profile ranging from depth - 281 cm to - 481 cm below the contemporary ground floor in Divje babe I cave. Two hiatuses can be confirmed by results of radiometric datings, but another two hiatuses are doubtful. However, the identification of hiatuses by radiometric dating greatly depends on vertical length between two dated levels. Larger the length, greater the probability that hiatus was overlooked. Reliability of two presumable hiatuses can be confirmed by additional radiometric datings or with another analysis, such as measurement of degree of weathering.

### Uvod

Jamski sedimenti so za arheologe in geologe zelo pomembni, saj hranijo podatke o paleo-ekoloških razmerah, ki so vladale v času, ko so se ti odlagali na jamska tla (FARRAND, 2001; WOODWARD & GOLDBERG, 2001; QUINF, 2006; TURK & TURK, 2010). S pomočjo radiometričnih datacij, ki se opravljajo predvsem na kosteh, zobeh (npr. jamskega medveda), oglju in ožganih kremenovih artefaktih (ti se nahajajo v bližini ognjišč) lahko razmeroma zanesljivo ugotavljamo čas v katerem se je sedimentni nivo z datirano najdbo odložil na jamskih tleh. Z datacijami torej določamo kronološki potek in-

terpretiranih ekoloških sprememb in ugotavljamo časovna obdobja v katerih je jamo obiskoval človek. Časovni obseg paleo-ekoloških rekonstrukcij je odvisen od starosti sedimentov, ti v arheoloških jamskih najdiščih običajno dosegajo starost vsaj nekaj 10.000 let. Vendar se sedimenti ne odlagajo ves čas zvezno, upoštevati je potrebno dejstvo da se hitrost sedimentacije spreminja, v določenih obdobjih pa se sedimentacija lahko zaustavi. Tedaj govorimo o t.i. sedimentacijski vrzeli ali hiatusu, ki lahko traja tudi 10.000 let in več. Del sedimentov lahko v jami manjka zaradi erozijskih procesov ali soliflukcije. Sedimenti so lahko erodirani zaradi hidrološke aktivacije kraških kana-

lov v jamskem sistemu (npr. v zelo vlažnih časovnih obdobjih, kakršne so bile ledene dobe) (CAMPY et al., 1994).

V kolikor del sedimentnega zaporedja zaradi omenjenih razlogov manjka, potem za določeno časovno obdobje ni možno izdelati rekonstrukcije ekoloških razmer. Ugotavljanje sedimentacijskih vrzeli v sedimentnem zaporedju je težavno. V tem prispevku obravnavam analize, s katerimi sklepamo na sedimentacijske vrzeli.

Osredotočam se na tiste sedimentacijske vrzeli, ki so posledica zastojev v sedimentaciji. V kraških jamah in spodmolih, kjer so znana nekatera najbolj tipična paleolitska najdišča, je navadno večina klastičnega materiala avtohtonega izvora. V zmernih in severnih geografskih širinah prihaja do intenzivnega krušenja jamskega oboda ob vhodu v jamo zaradi zmrzovanja. Tu je vpliv zunanje klime na jamsko največji. Zaradi delovanja zmrzali se obod kruši in na jamskih tleh se kopiči krioklastični grušč. Hitrost tovrstne sedimentacije je odvisna predvsem od klimatskih razmer, oziroma od pogostosti menjavanja zmrzovanja in taljenja (ko temperatura pogosto niha okoli 0 °C) in fizikalnih lastnosti kamnin predvsem pojavljanja nezveznosti (razpoke, plasti). Razlogi za krušenje jamskega oboda so tudi drugi, na primer rast sekundarnih mineralov med plastmi v matični kamnini, ter potresi itd. (OSBORNE, 2002; SASOWSKY, 2007). Jamski sedimenti so tudi alohtoni in paravtohtoni, vendar je v arheoloških najdiščih delež teh sedimentov običajno majhen v primerjavi z avtohtonimi klastičnimi sedimenti. Alohtoni sedimenti so bili prineseni v jamsko okolje od zunaj, z vodo, vetrom lahko pa jih je prinesel človek ali pa živali (npr. prah). Fluvialne sedimente najdemo le v aktivnih jamskih sistemih, kjer ima voda tudi znaten erozijski vpliv na avtohtone sedimente (WHITE, 2007; WOODWARD & GOLDBERG, 2001). Najbolj pogosti paravtohtoni jamski sedimenti so kosti.

Ugotavljanje morebitnih sedimentacijskih vrzeli v sedimentni skladovnici je ena izmed pomembnih nalog strokovnjakov (arheologov, geologov), ki te sedimente preučujejo. Najzanesljiveje lahko na pojav vrzeli sklepamo s pomočjo radiometričnih datacij. V kolikor se v profilu med dvema sosednjima datiranimi nivojema pojavlja velik časovni skok, potem lahko sklepamo, da se nekje vmes pojavlja sedimentacijska vrzel. Bolj pogoste kot so datacije po globini profila, bolj zanesljiva je metoda. Če so datacije v profilu razmeroma redke (vertikalna razdalja med datiranimi nivoji velika), potem je večji časovni skok lahko tudi posledica izrazite spremembe v hitrosti sedimentacije. Hitrost sedimentacije se lahko spreminja tudi za faktor sto (FARRAND, 2001). Problem te metode je da so goste (številne) datacije v profilu cenovno drage, zato so jame, kjer so profili jamskih sedimentov tako detajlno datirani redke.

Obstajajo tudi nekatere druge metode ugotavljanja sedimentacijskih in erozijskih vrzeli v jamskih sedimentih, vendar so manj zanesljive. Kemično močno preperel sedimentni nivo je lahko kazalec sedimentacijske vrzeli. Kemično prepe-

revanje je močnejše v sedimentih, ki so dalj časa izpostavljeni površinskim pogojem (to se pravi v vrhnjem sloju jamskih tal). Z zasutjem sedimentov pa se preperevanje zaustavi. Na močno preperevanje v nekdanjih jamskih tleh kažejo barva sedimentov, klasti so razmeroma dobro zaobljeni, delež glinene komponente je povečan, delež karbonatne komponente (CaCO<sub>3</sub>) pa znižan v primerjavi s sosednjimi nivoji, manjša je tudi pH vrednost (FARRAND, 2001).

Temnejši ali rdečkasti sedimentni nivo, ki se pojavlja v sedimentni sekvenci je lahko kazalec dolgotrajnega preperevanja na nekdanjih jamskih tleh. Kemična korozija poteka predvsem z vodo (npr. preniklo vodo). V primeru, ko je sedimentacija prekinjena za daljše časovno obdobje, ima voda na razpolago dovolj časa, da selektivno raztaplja ostre robove klastov. Ti sčasoma postanejo vse bolj zaobljeni. Kemična korozija povzroča tudi razne razjede na klastih in kosteh. Površina karbonatnih, predvsem dolomitnih klastov postane drobljiva, oziroma »mokasta« (FARRAND, 2001; TURK et al., 2007).

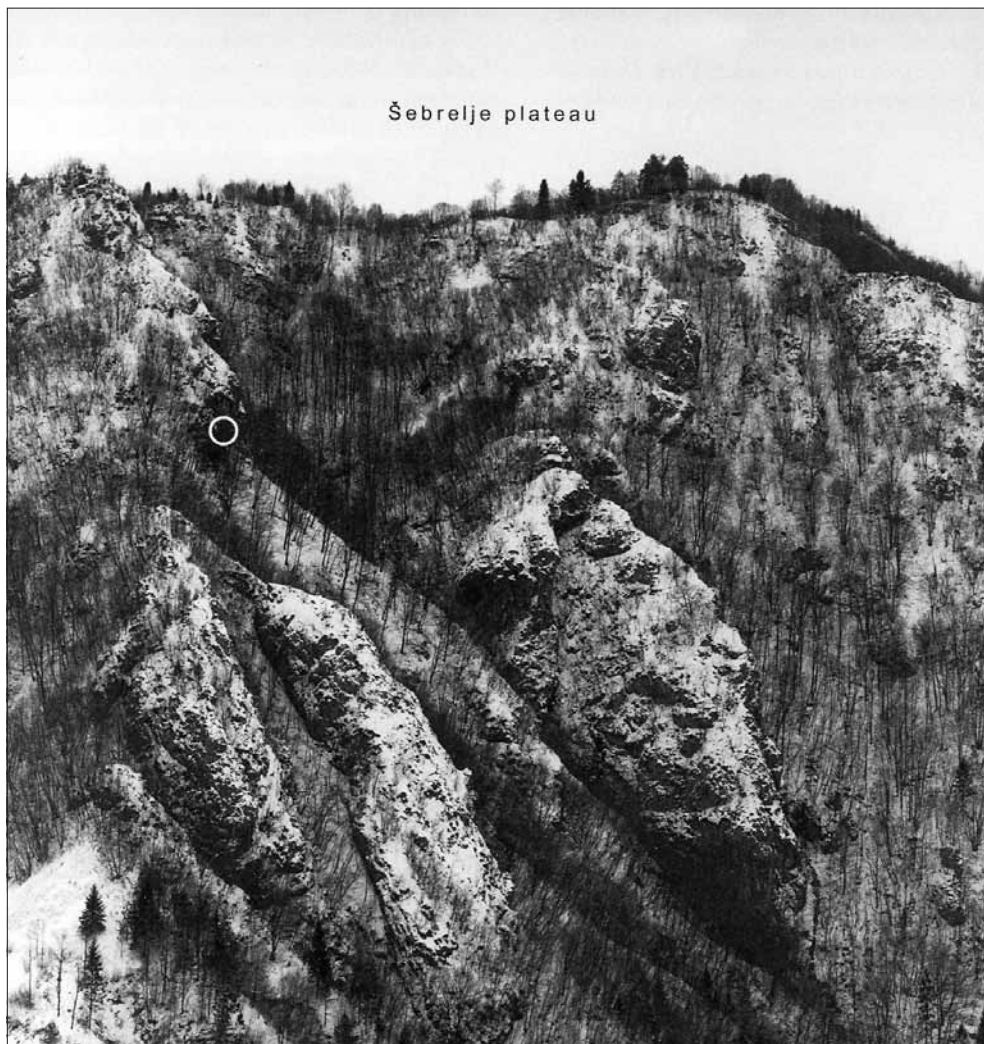
Vse opisane spremembe potekajo le v tistih sedimentih, ki so daljše časovno obdobje izpostavljeni preperevanju v vrhnjem sloju jamskih tal. To se pravi, da je bila tedaj nadaljnja sedimentacija prekinjena za daljše časovno obdobje, pomembno pa je tudi, da sedimenti niso bili podvrženi eroziji in izrazitejšemu premeščanju (kot je na primer v hidrološko aktivnih jamah). Jakost pedogenih procesov in post-sedimentacijskih sprememb ni odvisna zgolj od trajanja sedimentacijske vrzeli, pač pa tudi od klimatskih razmer. Vpliv zunanje klime je največji ob samem jamskem vhodu. V kolikor želimo sedimentacijsko vrzel v sedimentnem zaporedju tudi prepoznati, naj bi ta po nekaterih podatkih morala trajati vsaj nekaj sto let, še bolj verjetno pa vsaj tisoč let. V tem primeru preperevanje odloženih sedimentov na jamskih tleh napreduje do te mere, da so spremembe v sedimentu tudi po njegovem zasutju dovolj prepoznavne oziroma značilne (FARRAND, 2001).

Opisane metode prepoznavanja sedimentacijskih vrzeli so bolj ali manj kvalitativne. Alternativno metodo je razvil I. Turk, v času arheoloških izkopavanj v jami Divje babe I (TURK et al., 2007). V nadaljevanju se osredotočam na podrobno razlago te metode, ki temelji na preučevanju morfoloških značilnosti klastov v sedimentnem zaporedju. Preučuje se delež kemično korodiranih klastov v različnih sedimentnih nivojih.

### Jama Divje babe I

Jama Divje babe I se nahaja na pobočju med dolino Idrijce in Šebreljsko planoto v Cerkljanskem hribovju (sl. 1). Vhod v horizontalno jamo je na nadmorski višini 450 m, dolina reke Idrijce je 230 m nižje. Jama, ki je dolga 45 m in široka do 15 m, se je izoblikovala v triasnem dolomitu. Širše območje ima danes submediteransko klimo. Povprečna letna temperatura znaša okoli 9 °C, količina letnih padavin pa okoli 1800 mm (TURK et al., 2005).





Slika 1.  
Lega jame Divje babe I pod robom Šebreljske planote. Vhod v jamo je označen s krogcem (povzeto po TURK et al., 2005).

Figure 1.  
The Divje babe I cave on the slope below the Šebrelje plateau. Entrance to the cave is marked with circle (from TURK et al., 2005).

Jama Divje babe I je poleg Potočke zijalke najpomembnejše paleolitsko najdišče v Sloveniji. Kamene najdbe pripadajo večinoma mousterieniu, v manjši meri tudi aurignacieniu. Jama je v svetovnem merilu zaslovela predvsem po najdbi koščene piščali iz obdobja neandertalca (datirana okoli 60.000 let pred sedanostjo) (TURK et al., 2006; TURK, 2010; TURK & DIMKAROSKI, 2011), vendar tudi sicer velja za eno izmed najbolj sistematično in interdisciplinarno preiskanih paleolitskih najdišč na svetu. Jama je bila predvsem brlog jamskemu medvedu, o čimer pričajo številni kostni ostanki, občasno jo je obiskoval tudi neandertalec in kasneje moderni človek, vendar številnim antropogenim sledovom navkljub, kostnih ostankov človeka v času izkopavanja (1980–1999) niso našli. Poleg obširnih arheoloških raziskav so najdbe preučevali tudi paleontologi, palinologi, sedimentologi in drugi strokovnjaki. Izdelane so bile ekološke, ter tudi temperaturne in vlažnostne rekonstrukcije okolja iz obdobja poznega pleistocena (TURK et al., 2006; TURK & TURK, 2010). Ob pomoči številnih radiometričnih datacij so bile te rekonstrukcije dobro kronološko uvrščene v pleistocensko dogajanje. Nekatere izmed rekonstrukcij so bile popolnoma inovativne in nudijo nov, natančnejši vpogled v klimatske razmere v pleistocenu na območju slovenskega predalpskega sveta in tudi srednje Evrope.

Sedimentna skladovnica sestoji v 99 % iz dolo- mitnih klastičnih kamnin avtogenega izvora. Izkopanih je bilo 12 m sedimentov, vendar kamninsko dno jame ni bilo doseženo. Sklepajo, da se to nahaja več deset metrov globlje. Izkopavanja so potekala v več jamskih sektorjih, v prvi fazi ob samem vhodu v jamo in v kasnejši fazi tudi v notranjosti jame. Ohranjenih je večje število profilov. Prav ti nudijo možnost nadaljnjih raziskav tudi za geologe in palinologe, saj je detajlno vzorčenje možno le po profilih.

Jama je radiometrično zelo dobro datirana (BLACKWELL et al., 2009). Najstarejši izkopani sedimenti so stari okoli 120.000 let. V času od približno 40.000 oziroma 35.000 let pred sedanostjo pa do danes v jami ni bilo odlaganja novih klastičnih sedimentov, pač pa se na tleh lokalno izloča siga. Torej gre za dolgotrajno sedimentacijsko vrzel, ki še vedno traja.

#### Metoda dela in znanstvene osnove

Zvezno vzorčenje sedimentnih vzorcev za potrebe tu obravnavane raziskave je potekalo v dveh profilih. Profila skupno obsegata 2,8 m debelo sedimentno zaporedje, na štirih različnih globinah razpolagamo z radiometričnimi datacijami. Sediment na globini približno - 250 cm se

je odložil pred okoli 50.000 leti, kot so pokazale radiometrične datacije. Vrhnji nivo v obravnavanem sedimentnem zaporedju se nahaja 43 cm višje (- 207 cm pod današnjimi jamskimi tlemi), sklepamo da se je odložil pred približno 45.000 leti. Sedimentni nivo na globini - 445 cm je bil datiran z elektronsko spinsko resonanco na 79.000 let. Skrajno spodnji nivo v obravnavanih profilih je na globini - 481 cm, torej lahko sklepamo da je star vsaj 80.000 let ali več. V grobem lahko trdimo, da so se sedimenti v vzorčenih profilih odlagali v časovnem obdobju med 80.000 in 45.000 leti pred sedanostjo. V omenjenem sedimentnem zaporedju smo poskušali prepoznati morebitne sedimentacijske vrzeli.

Sedimentno zaporedje, debelo 2,8 m smo poljubno razdelili na 28 vzorčnih nivojev, povprečne debeline 10 cm ( $\pm$  3 cm). Iz vsakega vzorčnega nivoja smo pobrali vse klaste, večje od 4 cm. Vse klaste iz vsakega izmed nivojev smo nato pregledali in se osredotočili na tiste klaste, ki so vsebovali značilne površinske morfološke oblike, nastale kot posledica primarne kemične korozije. To se pravi, da je kemična korozija potekala na jamskem obodu, kjer so nastale značilne reliefne korodirane oblike. Ko se je obod zaradi zmrzali krusil pa so se v sedimentu odložili fragmenti, na katerih najdemo reliefne oblike nastale s primarno korozijo oboda (sl. 2).

Kemična korozija jamskega oboda poteka zaradi delovanja kondenzne vlage. Ta se na obodu odlaga zaradi zračne cirkulacije. Topli (ali mrzli) zrak, ki v jamo vstopa iz zunanjega okolja, ob stiku s hladnejšo (toplejšo) kamnino tej odda vlago. Takšna kondenzna voda običajno ni zasičena s kalcijevim karbonatom, zato je agresivna in raztaplja karbonatno kamnino na kateri se odlaga.

Na jamskem stropu in stenah nastanejo značilne morfološke oblike, kakršne so fasete in razjede (SLABE, 1995; TARHULE-LIPS & FORD, 1998).

Selektivna kemična korozija, ki poteka sekundarno v jamskih tleh, povzroča predvsem zaoblevanje klastov. Če pa prenikla voda dalj časa kaplja na točno določeno točko na klastu, potem tam z raztapljanjem izdolbe razjedo. Vendar mora biti prenikla voda nenasičena s kalcijevim karbonatom.

Sedimentacijske vrzeli smo poskušali prepoznati po deležu reliefno korodiranih klastov v vzorčenih nivojih. V primeru, ko je jamski strop stabilen daljše časovno obdobje je hkrati tudi bolj izpostavljen raztapljanju s kondenzno vlago. Ta ima na razpolago dovolj časa, da se na stropu oblikujejo številne reliefne oblike. Jamski strop je običajno stabilen v obdobjih tople klime, ko je delovanje zmrzali in mehansko preperevanje majhno (TURK et al., 2007).

Vendar je potrebno upoštevati, da ni samo čas tisti, ki vpliva na oblikovanje reliefnih oblik na obodu ob prisotnosti kondenzne vlage. Vsebnost vlage je večja v vlažnih časovnih obdobjih in kondenzna vlaga lahko bolj raztaplja jamski obod že ob neki zmerni hitrosti krušenja in sedimentacije. Na splošno naj bi bila vodna korozija najbolj intenzivna prav ob pogojih vlažne in hladne klime (DREYBRODT et al., 2005). Podatki kažejo, da so bile hladne klimatske faze v povprečju tudi bolj vlažne (TURK et al., 2005), zato je večji delež reliefno korodiranih klastov pričakovati tudi v tistih sedimentnih nivojih, ki so se odlagali v mrzli klimi in kjer je torej potekala razmeroma hitra sedimentacija.

Sedimentacijska vrzel se konča s ponovno vzpostavitev postopnega krušenja jamskega oboda, kar je običajno posledica zaostitve klimatskih



Slika 2.

Reliefno korodiran klast. Značilne reliefne oblike so nastale na jamskem obodu, zaradi korozije s kondenzno vlago. Ko se je strop odkrusil, najdemo klaste s takšnimi oblikami v sedimentu (foto Drago Valoh).

Figure 2.

Cavernously corroded clast. Characteristic morphologic features are formed on the cave ceiling and walls, due to the condensation corrosion. Such clasts can be found in sediments, because of the breaking down of the ceiling (photo Drago Valoh).



razmer. Po naši razlagi naj bi se v sedimentnem nivoju, ki se je odložil takoj po ponovni vzpostavitvi krušenja, odložilo precej večje število klastov z značilnimi reliefnimi oblikami (nastalimi kot posledica primarne korozije jamskega oboda), kot pa v sedimentnem nivoju ki se je odložil tik pred nastopom sedimentacijske vrzeli. Delež reliefno korodiranih klastov naj bi bil v vseh nadaljnjo odloženih nivojih razmeroma velik. Mrzla in vlažna klima je narekovala hitro sedimentacijo, hkrati pa tudi intenzivno korozijo jamskega stropa. Navkljub razmeroma hitremu krušenju jamskega stropa, naj bi na njem nastajale značilne reliefno korodirane oblike, ki jih po odkrušitvi najdemo v sedimentu.

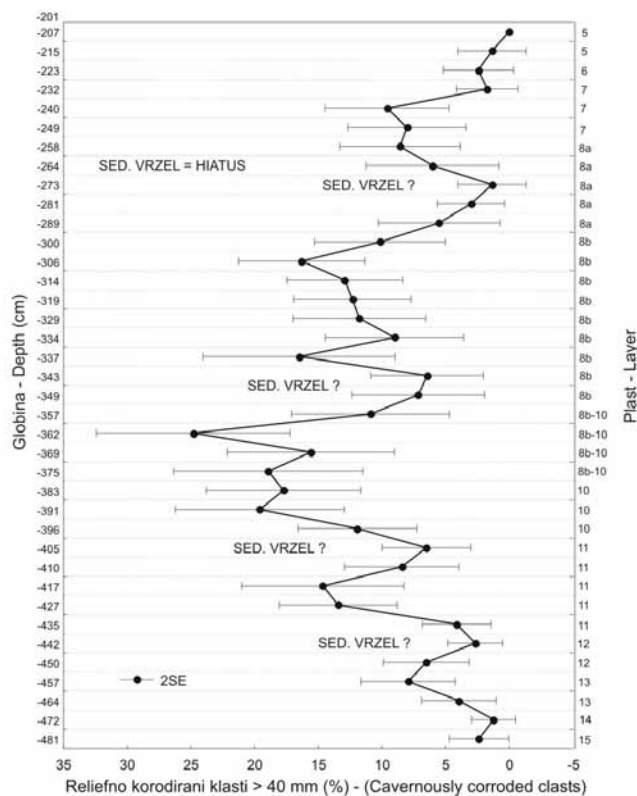
### Rezultati in razprava

Rezultat morfološke analize klastov iz zvezno vzorčenih profilov je krivulja, ki prikazuje delež reliefno korodiranih klastov v posameznih nivojih. Delež reliefno korodiranih klastov izrazito upade v štirih sedimentnih (vzorčnih) nivojih, na globinah - 442 do - 435, - 410 do - 405 cm, - 349 do - 343 cm in - 273 cm. Po interpretaciji opisani pod poglavjem metode naj bi se nekje znotraj štirih omenjenih globin nahajale sedimentacijske vrzeli (sl. 3).

Rezultate smo poskušali preveriti z neodvisno metodo, ki temelji na radiometričnih datacijah. Te sicer niso bile opravljene zvezno v dveh obravnavanih profilih, pač pa so bile datacije AMS  $^{14}\text{C}$  (datacije ogljikovega izotopa  $^{14}\text{C}$  z metodo pospeševalnega masnega spektrometra), ESR (elektronska spinska resonanca) izvedene v številnih drugih profilih. Datacije so potekale po izdvojenih plasteh. Iz grafa (sl. 4), ki prikazuje starost določene plasti (glede na datacijo), lahko sklepamo na hitrost sedimentacije. Nenavadno velik horizontalni (časovni) premik med dvema sosednjima plastema predstavlja spremembo v hitrosti sedimentacije, oziroma obstaja zelo veliko verjetnost, da je premik posledica sedimentacijske vrzeli. Značilnejši časovni premiki se pojavljajo znotraj plasti 17, med plastema 12 in 13 ter nekje znotraj plasti 7 (sl. 4). V teh primerih torej sklepamo, da gre za sedimentacijske vrzeli.

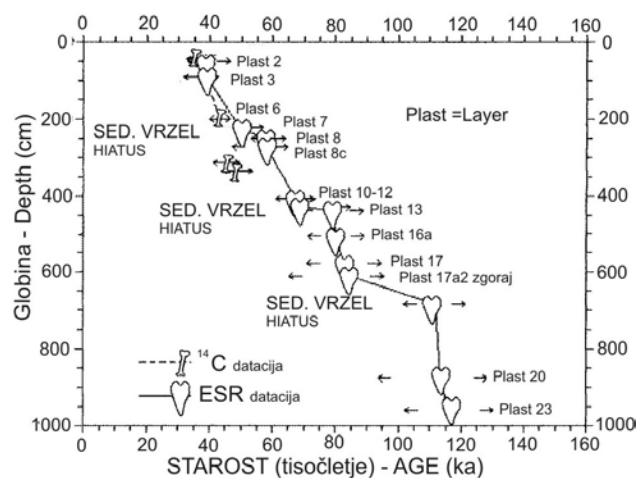
Domnevne sedimentacijske vrzeli, na katere smo sklepali na podlagi zveznega vzorčenja oziroma deleža reliefno korodiranih klastov v sedimentnih (vzorčnih) nivojih, smo primerjali s sedimentacijskimi vrzelmi, določenimi s pomočjo radiometričnih datacij. Prva metoda nakazuje pojav štirih sedimentacijskih vrzeli v sedimentih globine - 281 do - 481 cm pod današnjimi jamskimi tlemi. Nasprotno radiometrične datacije nakazujejo le dve izraziti vrzeli v obravnavanem sedimentnem zaporedju. Tretja vrzel, ki jo nakazujejo radiometrične datacije se pojavlja v plasti 17, na globini okoli 650 cm. Profila, ki smo ju preučevali v tem prispevku do te globine ne segata.

Radiometrične datacije kažejo, da se je vrzel pojavila nekje med sedimenti okoli globine - 430 cm. Ta vrzel naj bi trajala približno 8000 let



Slika 3. Krivulja prikazuje odstotek reliefno korodiranih klastov po različnih vzorčnih nivojih v jami Divje babe I. Znotraj nivojev, kjer odstotek reliefno korodiranih klastov izrazito upade, sklepamo da se pojavlja sedimentacijska vrzel.

Figure 3. Curve of relative abundance of cavernously corroded clasts, collected from various sedimentary (sampling) levels. Sedimentary hiatuses presumably occur somewhere within levels, that contain significantly low percentage of cavernously corroded clasts in comparison with adjacent levels.



Slika 4. Datacije po plasteh v jami Divje babe I. Velik časovni preskok (velika horizontalna razdalja) med dvema datacijama nakazuje, da se nekje vmes pojavlja sedimentacijska vrzel. V sedimentih globine do 10 m pod današnjimi jamskimi tlemi sklepamo na tri sedimentacijske vrzeli, ki jih nakazujejo radiometrične datacije. Te so potekale predvsem z metodo elektronske spinske resonance opravljene na zobeh (ESR) in deloma z metodo  $^{14}\text{C}$  na kostnih ostankih (povzeto po TURK, 2007).

Figure 4. Radiometric dates in Divje babe I cave. All layers were dated. Great horizontal steps are interpreted as sedimentary hiatuses. Greater the step, greater the temporal span between the deposition of two adjacent layers. There are presumably three significant sedimentary hiatuses in 10 m thick sedimentary sequence, due to the result of radiometric datings. Enamel of cave bear teeth was dated by electron spin resonance (ESR), bones were dated by  $^{14}\text{C}$  method (from TURK, 2007).



(78.000 do 70.000 pred sedanostjo). To sedimentacijsko vrzel lahko povežemo z vrzeljo določeno z morfološko analizo klastov. Slednja se pojavljala na podobni globini, nekje med - 442 in - 435 cm pod današnjimi jamskimi tlemi (sl. 3 in 4).

Sedimentacijsko vrzel, ki naj bi se glede na radiometrične datacije pojavljala nekje okoli globine - 250 cm, lahko dokaj zanesljivo povežemo z vrzeljo na globini okoli - 273 cm ugotovljeno z morfološko analizo (sl. 3 in 4).

Kvantitativna metoda preučevanja morfoloških značilnosti klastov v zvezno vzorčenem profilu je nakazala še dve sedimentacijski vrzeli, ki pa ju do sedaj opravljene radiometrične datacije niso potrdile. Ena hipotetična vrzel naj bi se nahajala nekje v globini okoli - 405 cm in druga med globinama - 349 do - 343 cm (sl. 3).

### Sklep

Metoda ugotavljanja sedimentacijskih vrzeli z zastopanostjo reliefno korodiranih klastov je pokazala razmeroma dobro ujemanje z drugo neodvisno metodo, ki temelji na radiometričnih datacijah in velja za najbolj zanesljivo metodo ugotavljanja vrzeli. S primerjavo smo potrdili obstoj dveh izmed štirih sedimentacijskih vrzeli, na katere sklepamo na podlagi preučevanja morfoloških značilnosti klastov, ki so bili zvezno vzorčeni v dveh profilih. Čeprav se vrzeli ugotovljene z obema metodama, ne pojavljajo natančno v istih globinah, so primerjave zanesljive. Upoštevati je potrebno, da so radiometrične datacije potekale v različnih jamskih profilih in da so plasti v jami nagnjene pod kotom 8°. Zato lahko prihaja do manjših neskladnosti, ko primerjamo globine v različnih jamskih lokacijah.

Obstoj ostalih dveh sedimentacijskih vrzeli na globinah okoli - 405 cm in - 349 do - 343 cm je zaenkrat še vprašljiv. Dokazati bi jih bilo potrebno z drugimi neodvisnimi metodami, kakršno je detajlno datiranje sedimentacijskih horizontov okoli globin, kjer naj bi se ti dve vrzeli nahajali. Preverili bi jih lahko tudi z analizo preperelosti klastov in kosti v teh nivojih. Preperevanje v času sedimentacijske vrzeli je bistveno povečano.

V prispevku obravnavana metoda ugotavljanja sedimentacijskih vrzeli (kvantitativna morfološka analiza klastov) ni uporabna v vseh jamskih okoljih. Večinski sediment mora predstavljati krioklastični grušč, ki se je odkrušil z jamskega oboda.

## Identification of depositional hiatuses in karst infillings – Example from Divje babe I cave (Slovenia)

### Summary

Hiatuses as a result of breaks in sedimentation are discussed in the paper. Sediments in karst infillings as Palaeolithic caves and rock shelters usually derive mainly from breaking of cave wall and

ceiling due to frost action, such clastic sediments are autochthonous. The rate of sedimentation in caves depends on climate conditions, especially on frequency of freeze-thaw action and properties of the rock (especially, fracturing).

It is a crucial work and also challenges for archaeologists and geologists to identify a depositional hiatuses through sedimentary sequence. The most reliable method to identify depositional gaps is based on radiometric dates. Significant offset in a series of radiometrically dated levels may be interpreted as a hiatus. Dates should be taken at sufficiently short distance through sedimentary sequence, to find such offsets. If the vertical distance between two dates is high, the offset may be a result of change of sedimentation rate. However radiometric dates are expensive and there are a few sites where sedimentary profiles were dated well enough for such interpretations of sedimentation.

Hiatuses were studied in Divje babe I cave. The cave is situated at an elevation of 450 m a. s. l. and 230 m above the Idrija Valley in western Slovenia (Fig. 1). The horizontal cave is 45 m long and up to 15 m wide. It developed in massive Cordevolian dolomite (Triassic). The host rock is crystalline, very porous, late diagenetic dolomite. The climate of the area today is submediterranean, with a mean annual temperature around 9 °C. The precipitation maximum occurs in the late autumn (November), the mean annual precipitation is around 1,800 mm, and the mean annual evapotranspiration is around 570 mm. The climate of the area is therefore very humid today (TURK et al., 2005).

Divje babe I cave is one of the most investigated Paleolithic site in Slovenia. The second biggest artifact assemblage (mostly Mousterian, with only a small part belonging to the Aurignacian) in Slovenia was collected in this cave, including a Neanderthal flute (TURK et al., 2006; TURK, 2010; TURK & DIMKAROSKI, 2011). The cave is also a rich paleontological site, with 99% of its excavated fossil bones belonging to the cave bear (*Ursus spelaeus*).

A 280 cm thick sedimentary sequence, composed from two sequential profiles, was studied in Divje babe I cave. The sequence was arbitrarily divided into 28 levels or samples, each of which was around 10 cm thick. According to available radiometric dates from the profiles, the studied sedimentary sequence was deposited in the period from 80,000 BP (the base part) to 45,000 BP (the top part). In each of the 28 levels, all the clasts larger than 40 mm from 0.02 m<sup>3</sup> of bulk sediment were collected and studied. We were interested in clasts whose surfaces were pre-depositionally chemically corroded by condensed water (Fig. 2). Condensed moisture occurs in caves due to the circulation of warmer air over the colder walls and ceiling. Where water condensing on the soluble rock of cave walls and ceilings is not saturated with respect to the carbonate, the potential exists for dissolution to occur. Condensation corrosion creates characteristic rock relief forms in caves. Condensation corrosion to a large extent affects

the cave ceiling and walls when the ceiling and walls remain stable for a significantly long period and also when the climate is very humid. Ceiling and walls are stable during warm climate phases, when the rate of sedimentation is low. Climate can be very humid during cool climate phases, when the rate of sedimentation is high, but condensation corrosion can still affect cave ceiling and walls greatly due to the higher intensity of the corrosion (TURK et al., 2007).

Our hypothesis is based on the fact that, the sedimentary layer that corresponds to the resumption of the sedimentation process after a hiatus should contain a significantly higher percentage of clasts with surfaces affected by pre-depositional condensation corrosion in comparison with the adjacent lower layer that was deposited much more slowly. Hiatuses can therefore be identified by the relative abundance of pre-depositionally corroded clasts along a sedimentary profile.

Depositional hiatuses within the studied profiles were determined from the graph representing the relative abundance of chemically (condensation) corroded clasts in all 28 levels (Fig. 3). According to our hypothesis, hiatuses occur somewhere within levels in which the relative abundance of chemically corroded clasts is low in comparison with adjacent levels. These levels are found at depths from - 442 cm to - 435 cm, at - 405 cm, from - 349 cm to - 343 cm, and at - 273 cm.

Hiatuses assumed from the curve of the abundance of chemically (condensation) corroded clasts (Fig. 3) were compared with hiatuses that were determined by more reliable radiometric dates from other studies in the cave in which faunal and other organic remains within layers were dated using AMS  $^{14}\text{C}$  (accelerator mass spectrometry) and ESR (electron spin resonance) methods (Fig. 4).

According to radiometric dating, one hiatus occurred at a depth of approximately - 430 cm (Fig. 4). This hiatus lasted from around 78,000 BP to 70,000 BP. This hiatus was also determined by studying the abundance of chemically corroded clasts, and in our profile it appears somewhere between depths - 442 cm and - 435 cm (Fig. 3).

Another hiatus occurred around a depth of - 250 cm that lasted approximately from 58,000 BP to 50,000 BP according to radiometric dates (Fig. 4). This hiatus appears at a depth of around - 273 cm in our profile (Fig. 3).

The hiatuses that were assumed to have occurred around the depth of - 405 cm and somewhere between depths - 349 cm and - 343 cm in our profile (Fig. 3) were not confirmed by radiometric data. They remain questionable until they are proven by another independent measurement such as the magnitude of weathering of topsoil and its content (bones).

## Literatura

- BLACKWELL, B. A. B., YU, E. S. K., SKINNER, A. R., TURK, I., BLICKSTEIN, J. I. B., SKABERNE, D., TURK, J., LAU, B. 2009: Dating and Paleoenvironmental Interpretation of the Late Pleistocene Archaeological Deposits at Divje babe I, Slovenia. In: CAMPS, M., SZMIDT, C. (eds.): *The Mediterranean from 50 000 to 25 000 BP: Turning points and new directions*. Oxbow books, Oxford : 179–210.
- CAMPY, M., BINTZ, P., EVIN, J., LAVILLE, H. & CHALINE, J. 1994: Sedimentary record in French karstic infillings during the last climatic cycle. *Quaternaire*, 5/3–4: 157–163.
- DREYBRODT, W., GABROVŠEK, F. & PERNE, M. 2005: Condensation corrosion: a theoretical approach. *Acta carsologica*, 34/2: 317–348.
- FARRAND, W.R. 2001: Sediments and Stratigraphy in Rockshelters and Caves: A personal Perspective on Principles and Pragmatics. *Geoarchaeology*, 16/5: 537–557.
- OSBORNE, R.-A.-L. 2002: Cave breakdown by vadose weathering. *International journal of speleology*, 31/1–4: 37–53.
- SASOWSKY, I.-D. 2007: Clastic sediments in caves – imperfect recorders of processes in karst. *Acta carsologica*, 36/1: 143–149.
- SLABE, T. 1995: Cave Rocky Relief and its Speleogenetical Significance. Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Ljubljana: 128 p.
- QUINF, Y. 2006: Complex stratigraphic sequences in Belgian caves correlation with climatic changes during the Middle, the Upper Pleistocene and the Holocene. *Geologica Belgica*, 9/34: 231–244.
- TARHULE-LIPS, R. F. A. & FORD, D. C. 1998: Condensation corrosion in caves on Cayman Brac and Isla de Mona. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60/2: 84–95.
- TURK, I. 2007: Kronologija najdišča Divje babe I (Chronology of the Divje babe I). In: TURK, I. (ed.): *Divje babe I: Paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji*, I.del: *Geologija in paleontologija (Divje babe I: Upper Pleistocene Palaeolithic site in Slovenia, Part 1: Geology and Paleontology)*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 13, Ljubljana: 159–166.
- TURK, M. 2010: Il flauto di Divje babe I – un manufatto del Neanderthal. *Histoire des Alpes*, 15: 133–149.
- TURK, I., SKABERNE, D., BLACKWELL, B. A. B. & DIRJEC, J. 2005: Ocena vlage v mlajšepleistocenskem kraškem okolju: paleoklima in paleomikrookolje v Divjih babah I, Slovenija (Assesing Humidity in the Upper Pleistocene Karst Environment: palaeoclimates and Palaeomicroenvironments at Divje Babe I, Slovenia). In: MIHEVC, A. (ed.): *KRAS: voda in življenje v kamniti pokrajini (KRAS: Water and life in a rocky landscape)*. Založba ZRC, Ljubljana: 173–198.
- TURK, I., BLACKWELL, B. A. B., TURK, J. & PFLAUM, M. 2006: Résultats de l'analyse tomographique informatisée de la plus ancienne flûte découverte à Divje babé I (Slovénie) et sa position chronologique dans le contexte des changements

- paléoclimatiques et paléoenvironnementaux au cours du dernier glaciaire (Results of computer tomography of the oldest suspected flute from Divje babé I (Slovenia) and its chronological position within global paleoclimatic and palaeoenvironmental change during Last Glacial). *L'antropologie*, 110: 293–317.
- TURK, I., SKABERNE, D., OREL, B., TURK, J., KRAJNC, A., SLEMENIK-PERŠE, L., & MEDEN, A. 2007: Sedimenti v najdišču Divje babe (Sediments at the Divje babe I site). In: I. TURK (ed.): *Divje babe I: Paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji*, I.del: Geologija in paleontologija. (Divje babe I: Upper Pleistocene Palaeolithic site in Slovenia, Part 1: Geology and Paleontology). Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 13, Založba ZRC, Ljubljana: 63–121.
- TURK, J. & TURK, M. 2010: Paleotemperature record in late pleistocene clastic sediments at Divje babe 1 cave (Slovenia). *Journal of archaeological science*, 34: 3269–3280, doi:10.1016/j.jas.2010.07.030.
- TURK, M. & DIMKAROSKI, L. 2011: Neandertalska piščal iz Divjih bab I: stara in nova spoznaja. In: B. TOŠKAN (ed.): *Drobci ledenodobnega okolja – zbornik ob življenjskem jubileju Ivana Turka*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 21, Založba ZRC, Ljubljana: 251–265, http://www.cpa.si/tidldibab.pdf.
- WHITE, W.-B. 2007: Cave sediments and paleoclimate. *Journal of Cave and Karst Studies*, 69/1: 76–93.
- WOODWARD, J.C. & GOLDBERG, P. 2001: The Sedimentary Records in Mediterranean Rockshelters and Caves: Archives of Environmental Change. *Geoarchaeology*, 16/4: 327–354.



# Isotopic composition of precipitation in Portorož (Slovenia)

## Izotopska sestava padavin v Portorožu (Slovenija)

Polona VREČA<sup>1</sup>, Ines Krajcar BRONIĆ<sup>2</sup> & Albrecht LEIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Environmental Sciences, Jožef Stefan Institute, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenia;  
e-mail: polona.vreca@ijs.si

<sup>2</sup> Rudjer Bošković Institute, Bijenička 54, 10000 Zagreb, Croatia

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

Prejeto / Received 15. 3. 2011; Sprejeto / Accepted 5. 5. 2011

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

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

### Abstract

The stable isotopic composition of hydrogen and oxygen ( $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ ) and tritium activity ( $^3\text{H}$ ) have been monitored in monthly precipitation at Portorož airport meteorological station since October 2000. Here we present a complete set of numerical data and a statistical analysis for the period 2000–2006. Seasonal variations of  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  were observed but are much less pronounced than for continental stations of the Northern Hemisphere. The weighted mean  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values are  $-43\text{‰}$  and  $-6.6\text{‰}$ , respectively. The relation between hydrogen and oxygen isotopic composition is expressed by the orthogonal Local Meteoric Water Line as  $\delta^2\text{H} = (8.05 \pm 0.22) \delta^{18}\text{O} + (9.35 \pm 1.55)$ , and the temperature coefficient of  $\delta^{18}\text{O}$  is  $0.13\text{‰}/^\circ\text{C}$ . The deuterium excess weighted mean value is  $9.8\text{‰}$  and shows some seasonal variations that reflect the variable influence of air masses of different origin (either Atlantic or Mediterranean). Tritium activity in monthly precipitation also showed seasonal variations, with a weighted mean value of  $6.9\text{ TU}$ .

### Izvleček

Na meteorološki postaji Letališče Portorož poteka spremljanje izotopske sestave kisika in vodika ( $\delta^2\text{H}$  in  $\delta^{18}\text{O}$ ) ter aktivnosti tricija ( $^3\text{H}$ ) v mesečnih vzorcih padavin od oktobra 2000. V prispevku je predstavljen celoten niz pridobljenih podatkov in osnovne statistične obdelave za obdobje 2000–2006. Spreminjanje  $\delta^2\text{H}$  in  $\delta^{18}\text{O}$  je sezonsko, a ne tako izrazito kot je značilno za kontinentalne postaje severne poloble. Srednje tehtane  $\delta^2\text{H}$  in  $\delta^{18}\text{O}$  vrednosti znašajo  $-43\text{‰}$  oziroma  $-6.6\text{‰}$ . Odnos med izotopsko sestavo vodika in kisika podajamo kot ortogonalno lokalno padavinsko premico (LMWL) z enačbo  $\delta^2\text{H} = (8.05 \pm 0.22) \delta^{18}\text{O} + (9.35 \pm 1.55)$ , temperaturni koeficient za  $\delta^{18}\text{O}$  pa znaša  $0,13\text{‰}/^\circ\text{C}$ . Srednja tehtana vrednost devterijevega presežka (deuterium excess) znaša  $9,8\text{‰}$  in se spreminja sezonsko ter odraža vpliv različnih zračnih mas (atlantskih ali sredozemskih). Tudi aktivnost tricija v mesečnih padavinah kaže sezonske spremembe. Srednja tehtana vrednost znaša  $6,9\text{ TU}$ .

### Introduction

An improved scientific understanding of the water cycle to better manage water resources under current and future climatic conditions is an internationally recognized goal. Stable isotopes of oxygen ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) and hydrogen ( $^1\text{H}$ ,  $^2\text{H}$ ), and the radioactive isotope tritium ( $^3\text{H}$ ), provide unique insights into hydrological and climatic processes on local, regional and global scales, including the role of groundwater in rivers and lakes, groundwater recharge rates, and sources and recycling rates of atmospheric moisture (e.g. CLARK & FRITZ, 1997, ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000, IAEA/WMO, 2011). Precipitation is of major interest in the hydrological cycle as it is the ultimate source of water to catchments. Therefore, understanding of the for-

mation of precipitation, as well as a knowledge of temporal and spatial variations in the amount and mode of precipitation are important for basin-wide balance studies (e.g. GAT, 1996). Similarly, understanding how isotopic composition is controlled by the formation of precipitation and knowledge of the temporal and spatial variations in the isotopic composition of precipitation are equally important. The observed variations of stable isotopic composition of hydrogen and oxygen in natural waters are closely related to isotopic fractionation occurring during the evaporation and condensation of water, when the heavy water molecules preferentially remain in or pass into the liquid (solid) phase, respectively (ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000). In addition, the geographical distribution observed in isotopic composition of precipita-

tion is related to many environmental parameters, such as latitude (latitude effect), altitude (altitude effect), distance from the coast (continental effect), amount of precipitation (amount effect) and surface air temperature (DANSGAARD, 1964).

Tritium is the radioactive isotope of hydrogen (half-life of 12.32 years; LUCAS & UNTERWEGER, 2000), which is naturally produced in the upper atmospheric strata by the reaction of cosmic radiation (thermal neutrons) with nitrogen atoms. Tritium reacts in the atmosphere with oxygen to form water and may precipitate on earth as rain and thus reach groundwater. The seasonality of the stratosphere-to-troposphere transport results in the marked seasonal cycle of the tritium content in precipitation (GAT et al., 2001). The natural atmospheric tritium concentration increased about  $10^3$  times (INGRAHAM, 1998) after the nuclear weapon tests in the early 1960s. Since 1963 it has been constantly decreasing, partly due to radioactive decay of tritium and partly due to its redistribution in other water reservoirs, such as the oceans (INGRAHAM, 1998; GAT et al., 2001). The tritium concentration in water is commonly expressed in Tritium Units (TU): 1 TU corresponds to 1 atom  $^3\text{H}$  per  $10^{18}$  atoms  $^1\text{H}$ . Tritium may also be reported in terms of its activity concentration in  $\text{BqL}^{-1}$  (1 TU =  $0.118 \text{ BqL}^{-1}$ ; INGRAHAM, 1998; GAT et al., 2001).

Some European countries have established networks of stations where the isotopic composition of precipitation and rivers is regularly determined on a monthly basis (e.g. SCHÜRCH et al., 2003). In Slovenia, a precipitation and river flow monitoring programme is performed in the framework of the regular activities of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. However, monitoring of the isotopic composition of precipitation and rivers is not yet included in the regular national monitoring programme. It has been performed in the past by different institutions, such as the Jožef Stefan Institute (IJS) at Ljubljana, Kozina and Portorož airport (KRAJCAR BRONIĆ et al., 1998; PEZDIČ, 2003; VREČA et al., 2005, 2006, 2007, 2008) and along the River Sava (OGRINC et al., 2008). The data obtained are partly reported to the International Atomic Energy Agency (IAEA) and included in the Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP) and the Global Network of Isotopes in Rivers (GNIR). Furthermore, the isotopic composition of water is also determined in the framework of other hydrological investigations performed in Slovenia, but the data are not reported to GNIP and GNIR databases.

Monitoring of isotopes in precipitation performed by IJS started in Slovenia in 1981 and was carried out systematically until 2000 only in Ljubljana (VREČA et al., 2008). Due to the geographical diversity which influences the climate of Slovenia considerably (PUČNIK, 1980) sampling was extended to two stations in the SW part of Slovenia, namely to the meteorological station at Portorož airport and the precipitation station at Kozina in October 2000 (VREČA et al., 2005, 2006,

2007). Both stations are positioned in an area where large karstic aquifers important for the water supply of SW Slovenia are present. Investigation of the isotopic composition of precipitation in this area is therefore important not only for studying the isotopic patterns of local meteorological conditions, but also for improvement of the knowledge of the isotopic input signal needed for hydrogeological studies of the large karstic springs in the area (VREČA et al., 2007). Data were published only until the end of 2003 (VREČA et al., 2005, 2006, 2007) and were used in different hydrogeochemical investigations of aquifers in Slovenia (BRENČIČ, 2009), Croatia (MANDIĆ et al., 2008) and in Italy (CUCCHI et al., 2008), as well as in investigations of precipitation events (LIOTTA et al., 2008) and moisture recycling (FROELICH et al., 2008). Unfortunately, since 2004, due to lack of financial support monitoring continues only at Portorož airport.

Therefore, the main purposes of this paper are: 1) to present the 2000–2006 monthly record from Portorož airport, 2) to present a basic statistical evaluation of available data and compare them with data for Ljubljana, and 3) to provide a better background for understanding the hydrological cycle in the SW part of Slovenia.

## Materials and methods

Sampling is performed at the meteorological station of Portorož airport ( $45^{\circ}28'\text{N}$ ,  $13^{\circ}37'\text{E}$ ; 2 m a.s.l.) which is a part of the Slovene national meteorological network and therefore also provides meteorological data necessary for isotope data analyses. Detailed site characteristics of the location were described in VREČA et al. (2007). Monthly composite precipitation samples were collected according to IAEA guidelines for precipitation sampling (IAEA, 1996), available at <http://www-naweb.iaea.org/NAAL/HL/publications1.shtml>. Samples were collected until October 2002 in a separate rain gauge with a diameter of 16 cm connected with a funnel to a plastic bottle filled with a 0.5 cm film of paraffin oil to prevent evaporation. The collected water was separated from the oil at the end of the month. Since October 2002 the staff of the meteorological station have collected the samples from standard precipitation gauge three times daily. After measuring the amount of precipitation the sample was poured into a 5-litre plastic bottle with a well tight cap to avoid evaporation and kept in a dark place. After bringing the samples to the lab the amount of collected sample was again measured and a 50 mL bottle for the stable isotope analysis was filled. The rest of the water was transferred to 1L bottles (or less if the sample was insufficient) for tritium analysis.

Meteorological data (amount of precipitation and temperature) were obtained from the Environmental Agency of the Republic of Slovenia and are available on the internet (<http://meteo.arso.gov.si/>).

## Isotopic analyses

The stable isotopic composition of water samples was determined on a Varian MAT 250 mass spectrometer at the Jožef Stefan Institute until the end of 2003. The oxygen isotopic composition ( $\delta^{18}\text{O}$ ) was measured by means of the water- $\text{CO}_2$  equilibration technique (EPSTEIN & MAYEDA, 1953). The isotopic composition of hydrogen ( $\delta^2\text{H}$ ) was determined by means of the  $\text{H}_2$  generated by reduction of water over hot chromium (GEHRE et al., 1996). The stable isotopic composition of water samples collected since the beginning of 2004 to the end of 2006 was determined at Joanneum Research. The oxygen isotopic composition was determined on a dual inlet Finnigan DELTA<sup>plus</sup> by means of the fully automated equilibration technique and the isotopic composition of hydrogen determined on a continuous flow Finnigan DELTA<sup>plus</sup> XP mass spectrometer with HEKAtech high-temperature oven by reduction of water over hot chromium (MORRISON et al., 2001).

Results are reported as  $\delta$  values in units of parts per thousand (‰) relative to the V-SMOW (Vienna-SMOW) standard.  $\delta$  values are calculated by:

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

where  $\text{YZ}$  is  $^{18}\text{O}$  or  $^2\text{H}$ ,  $R$  denotes the ratio of the heavy (less abundant) to light (more abundant) isotope (e.g.,  $^2\text{H}/^1\text{H}$ ,  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ), and  $R_x$  and  $R_s$  are the ratios in the sample (x) and standard (s), respectively. All measurements were carried out against laboratory standards that were periodically calibrated against international standards recommended by the IAEA. Measurement precision was better than  $\pm 0.1$  ‰ for  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\pm 1$  ‰ for  $\delta^2\text{H}$ .

Tritium activity (A) in collected monthly samples was determined at the Rudjer Bošković Institute in Zagreb by the gas proportional counting technique. Methane obtained in the reaction of water with  $\text{Al}_4\text{C}_3$  at  $150$  °C was used as the counting gas (HORVATINČIĆ, 1980). Gas quality control was performed by simultaneous monitoring of the count rate above the tritium channel, i.e., above  $20$  keV (KRAJCAR BRONIĆ et al., 1986). Results are expressed in Tritium Units (TU), and the limit of detection is  $1.5$  TU. Tritium in some samples (second half of 2003) was determined at the Isotope Hydrology Section Laboratory at the IAEA by the liquid scintillation counting technique (VREČA et al., 2008).

## Data reduction

Basic descriptive statistics, i.e. mean, minimum value and maximum value, were calculated to describe variation of the data. Furthermore, mean  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and deuterium excess values (see below) weighted by the amount of precipitation were calculated. The summations were over samples collected per year and per month over the period 2001–2006. During this period March 2002 was very dry with only  $0.1$  mm precipitation

which was not sufficient for isotope analyses. In addition, the amount of precipitation collected in March 2003 and June 2006 was sufficient only for determination of the stable isotopic composition of oxygen and hydrogen.

Further, to characterize the relation between hydrogen and oxygen isotopes in precipitation and to determine the deviation from Craig's (1961) "Global Meteoric Water Line" (GMWL:  $\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10$ ), local meteoric water lines (LMWL) were calculated. Two methods of linear correlation between  $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  were applied: the least squares fit (LSF) and orthogonal regression, known as the reduced major axis (RMA) line (IAEA, 1981).

Finally, to characterize the deviation of isotopic composition of precipitation from the GMWL, the deuterium excess ( $d$ ) proposed by DANSGAARD (1964) was also calculated as  $d = \delta^2\text{H} - 8\delta^{18}\text{O}$ .

## Results and discussion

Seasonal variations of amount of precipitation and temperature for the period 2000–2006 are presented in Figure 1. During the period 2001–2006 the average amount of precipitation was  $944$  mm which is lower than during the reference period of 1961–1990 ( $1046$  mm). The decrease in precipitation in this area is similar to the trend observed over the central-western Mediterranean basin (PIERVITALI et al., 1998). The lowest amount of precipitation was recorded in 2003 ( $790$  mm) and the highest in 2002 ( $1205$  mm). Very low precipitation was recorded in March 2002 ( $< 1$  mm), in March 2003 ( $4$  mm) and in June 2006 ( $5$  mm). The highest precipitation was recorded in August 2006 ( $325$  mm) which was much greater than the monthly mean amount of precipitation ( $101$  mm) in the reference period 1961–90 (CEGNAR, 2002). In addition, extremely high precipitation was recorded in autumn 2000 with  $241$  mm in October and  $296$  mm in November. The temperature varies seasonally as shown in Figure 1 and its mean value in the investigated period was  $13.6$  °C, which is  $1.1$  °C higher than in the reference period of 1961–90 (CEGNAR, 2002). The most extreme was the year 2003, with a winter minimum in February ( $2.4$  °C) and a summer maximum in August ( $26.1$  °C); the mean annual temperature was  $13.8$  °C.

The results for the monthly isotopic composition of precipitation ( $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , deuterium excess and tritium activity) obtained from October 2000 to December 2006 are summarized in Table 1 and shown in Figures 2 and 3. Seasonal variations of  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  were observed but are less characteristic than for continental stations like Ljubljana (VREČA et al., 2008). The minimum  $\delta^{18}\text{O}$  value was observed in February 2005 ( $-15.2$  ‰) and the maximum in July 2003 ( $-1.6$  ‰). Variations in  $\delta^2\text{H}$  followed the  $\delta^{18}\text{O}$  variations. The minimum  $\delta^2\text{H}$  value was also observed in February 2005 ( $-106$  ‰), while the maximum was recorded in July 2003 ( $-8$  ‰). The mean calculated  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values for the observed period were  $-6.5$  ‰



Table 1. Isotopic composition of precipitation at Portorož airport ( $d$  – deuterium excess,  $A$  – tritium activity, \* – the numerical values are below the detection limit, and are given here only for the purpose of statistical evaluation of data).

Month/ Year	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$d$ (‰)	$A$ (TU)
10/2000	-50.1	-7.84	12.6	5.2
11/2000	-27.8	-4.63	9.2	6.5
12/2000	-75.4	-10.52	8.7	1.9
01/2001	-34.4	-4.89	4.7	1.5
02/2001	-40.7	-5.45	2.8	5.7
03/2001	-39.3	-5.25	2.7	5.9
04/2001	-21.6	-3.77	8.5	6.8
05/2001	-20.4	-3.58	8.3	16.0
06/2001	-66.8	-9.53	9.5	15.7
07/2001	-37.0	-5.68	8.5	12.5
08/2001	-63.5	-8.24	2.4	18.3
09/2001	-48.4	-7.20	9.2	13.2
10/2001	-18.8	-3.64	10.3	9.8
11/2001	-23.7	-4.45	11.8	5.9
12/2001	-45.6	-8.07	18.9	8.1
01/2002	-44.6	-6.06	3.9	0.8*
02/2002	-39.7	-5.58	4.9	0.0*
03/2002	-	-	-	-
04/2002	-41.3	-6.04	7.0	6.4
05/2002	-17.7	-3.15	7.5	6.8
06/2002	-32.6	-5.30	9.8	8.9
07/2002	-39.5	-5.93	7.9	9.0
08/2002	-44.7	-6.84	9.9	3.9
09/2002	-49.1	-7.73	12.7	3.7
10/2002	-23.6	-5.31	18.9	1.4*
11/2002	-24.6	-5.27	17.5	0.0*
12/2002	-58.0	-9.06	14.4	0.6*
01/2003	-68.5	-10.20	13.1	1.6
02/2003	-80.0	-10.65	5.2	2.6
03/2003	-16.9	-3.15	8.4	-
04/2003	-45.6	-6.58	7.0	5.6
05/2003	-20.5	-2.97	3.3	13.2
06/2003	-30.8	-4.47	5.0	11.6
07/2003	-7.7	-1.56	4.9	11.5
08/2003	-20.8	-3.15	4.4	12.1
09/2003	-30.4	-5.62	14.5	5.4
10/2003	-53.5	-8.56	15.0	5.3
11/2003	-30.1	-5.72	15.7	3.5
12/2003	-34.6	-6.07	13.9	5.1
01/2004	-92.6	-10.30	-10.2	6.6
02/2004	-46.2	-6.84	8.5	6.7
03/2004	-75.4	-9.77	2.8	6.3
04/2004	-44.3	-6.05	4.1	9.9
05/2004	-44.3	-6.49	7.6	11.8
06/2004	-39.7	-6.16	9.6	11.3
07/2004	-16.5	-3.35	10.3	17.2
08/2004	-21.8	-3.81	8.7	17.3
09/2004	-36.5	-5.48	7.3	10.5
10/2004	-34.5	-5.79	11.8	1.6
11/2004	-58.3	-9.04	14.0	7.0
12/2004	-55.7	-8.37	11.2	7.9
01/2005	-77.9	-10.88	9.2	3.0
02/2005	-105.9	-15.18	15.5	7.8
03/2005	-31.4	-5.47	12.4	3.3
04/2005	-36.5	-5.37	6.5	3.6
05/2005	-47.4	-5.94	0.2	8.8
06/2005	-34.4	-5.22	7.4	7.4
07/2005	-28.0	-4.52	8.1	9.8
08/2005	-37.6	-5.78	8.6	10.7
09/2005	-44.2	-6.47	7.6	9.3
10/2005	-49.0	-7.43	10.4	10.9
11/2005	-67.1	-10.22	14.7	5.4
12/2005	-39.6	-6.87	15.3	6.2
01/2006	-82.3	-11.54	10.0	6.3
02/2006	-74.2	-10.47	9.6	1.4*
03/2006	-61.4	-8.25	4.6	6.1
04/2006	-31.3	-4.48	4.5	9.5
05/2006	-49.9	-6.96	5.8	8.5
06/2006	-66.5	-8.95	5.1	-
07/2006	-16.9	-3.48	10.9	14.7
08/2006	-36.5	-6.14	12.7	5.6
09/2006	-34.8	-5.44	8.7	7.0
10/2006	-10.6	-3.46	17.0	3.6
11/2006	-44.2	-7.08	12.4	4.7
12/2006	-46.0	-7.17	11.4	1.1*

and -43 ‰ ( $n = 74$ ). Taking into account the data for Ljubljana (VREČA et al., 2008), a continental effect, i.e., a decrease of isotopic composition of precipitation over the continent, of approximately 2‰ in  $\delta^{18}\text{O}$  and 17 ‰ in  $\delta^2\text{H}$  was observed.

Deuterium excess variations are presented in Figure 2. The lowest  $d$  value for an individual month was observed in January 2004 (-10 ‰) and probably indicates secondary evaporation processes (ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000, PENG et al., 2004). The highest  $d$  values observed in December 2001 and October 2002 (19 ‰) are characteristic of the autumn rainy period and can be attributed to the influence of Mediterranean cyclogenesis that often prevails in south-western Slovenia during October-December (VREČA et al., 2007). Values around 10 ‰ can be attributed to air masses from the Atlantic (GAT & DANSGAARD, 1972; ROZANSKI et al., 1993). The calculated mean  $d$  value is 9.0 ‰.

The LSF regression equation between the isotopic values of individual monthly samples representing LMWL<sub>(LSF)</sub> for Portorož is:

$$\delta^2\text{H} = (7.82 \pm 0.23) \delta^{18}\text{O} + (7.84 \pm 1.57); \quad (2)$$

$$r = 0.97, n = 74$$

The RMA regression equation between the isotopic values of individual monthly samples representing LMWL<sub>(RMA)</sub> for Portorož is:

$$\delta^2\text{H} = (8.05 \pm 0.22) \delta^{18}\text{O} + (9.35 \pm 1.55); \quad (3)$$

$$r = 0.97, n = 74$$

The LMWLs obtained are close to the Global Meteoric Water Line (GOURCY et al., 2005) and also to LMWLs for Ljubljana (VREČA et al., 2008).

The annual weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $d$  excess values for the period 2001–2006 are summarized in Table 2. The minimum annual weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values were observed in 2006 and the maximum in 2002. The lowest annual weighted mean  $d$  excess value was observed in 2001 and the highest in 2003. At a given location, the weighted average annual  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values of precipitation remain fairly constant

Table 2. Annual weighted mean  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , deuterium excess ( $d$ ) values (in ‰) and tritium activity ( $A$  in TU), \* denotes for  $n = 11$ .

Year	n	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$d$	A
2001	12	-41.4	-6.15	7.8	9.7
2002	11	-37.0	-6.05	11.4	4.0
2003	12	-42.0	-6.70	11.6	5.4*
2004	12	-45.4	-6.71	8.3	8.6
2005	12	-46.2	-7.01	9.9	7.6
2006	12	-47.5	-7.16	9.8	5.9*
	min	-47.5	-7.16	7.8	4.0
	max	-37.0	-6.05	11.6	9.7
	mean	-43.2	-6.63	9.8	6.9

from year to year because the annual range and sequence of climatic conditions (temperatures, vapour source, direction of air mass movement, etc.) do not change significantly from year to year (INGRAHAM, 1998). However, the annual weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values for Portorož show a decreasing trend since 2002. Annual weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $d$  values for the whole period 2001–2006 are -6.6 ‰, -43 ‰ and 9.8 ‰, respectively and are similar to the mean values.

Monthly weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $d$  values are summarized in Table 3. The  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  values show seasonal variation with the highest values in July, when also the highest mean temperature for the period 2001–2006 was recorded. The lowest values were observed in January and February when the lowest temperatures were recorded. This change in average isotopic composition is principally caused by seasonal temperature differences but is also affected by seasonal changes in moisture sources and storm tracks (INGRAHAM, 1998). The  $d$  value varies around 9.3 ‰ with the lowest values in March and the highest in November. The observed pattern shows much higher  $d$  values in autumn precipitation, with weighted means between 13.5 and 15.1 ‰, and can be attributed to the influence of Mediterranean air masses over the region during this period (VREČA et al., 2006, 2007). In contrast, the low  $d$  values in winter and spring precipitation with weighted means between 5.1 and 8.7 ‰ probably indicate the influence of At-

Table 3. Monthly weighted mean  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ , deuterium excess ( $d$ ) values (in ‰) and tritium activity ( $A$  in TU), \* denotes for  $n = 4$ , \*\* denotes for  $n = 5$ .

Month	n	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	$d$	A
January	6	-59.8	-8.23	6.1	3.0
February	6	-59.1	-8.31	7.4	3.5
March	5	-49.9	-6.87	5.1	5.6*
April	6	-38.5	-5.62	6.4	6.6
May	6	-36.5	-5.30	5.9	10.2
June	6	-43.8	-6.57	8.7	11.3**
July	6	-26.3	-4.38	8.7	12.5
August	6	-37.1	-5.96	10.5	7.4
September	6	-44.3	-6.88	10.7	8.5
October	6	-35.1	-6.13	13.9	4.6
November	6	-42.6	-7.21	15.1	3.8
December	6	-45.8	-7.40	13.5	5.6
	min	-59.8	-8.3	5.1	3.0
	max	-26.3	-4.4	15.1	12.5
	mean	-43.2	-6.57	9.3	6.9

lantic air masses and secondary evaporation processes (ARAGUAS-ARAGUAS et al., 2000; PENG et al., 2004). Previous estimations showed that Mediterranean air masses probably contribute between 26 and 45% of precipitation in Portorož (VREČA et al., 2006); however, the mixing of different air masses and rapidly changing meteorological conditions in this area influence the isotopic composition considerably (VREČA et al., 2007).

The correlation between local surface air temperature and the isotopic composition of precipitation is of special interest mainly because of the potential importance of stable isotopes as paleoclimatic indicators (SCHOTTERER et al., 1996). The correlation between  $\delta^{18}\text{O}$  in monthly samples and mean monthly temperature (Figure 4) for the period October 2000 to December 2006 is:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.19 T - 9.14 \quad (n = 74, r = 0.54) \quad (4)$$

The correlation between monthly weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$  values and mean monthly temperature (Figure 4) for the period 2001–2006 is:

$$\delta^{18}\text{O} = 0.13 T - 8.33 \quad (n = 12, r = 0.79) \quad (5)$$

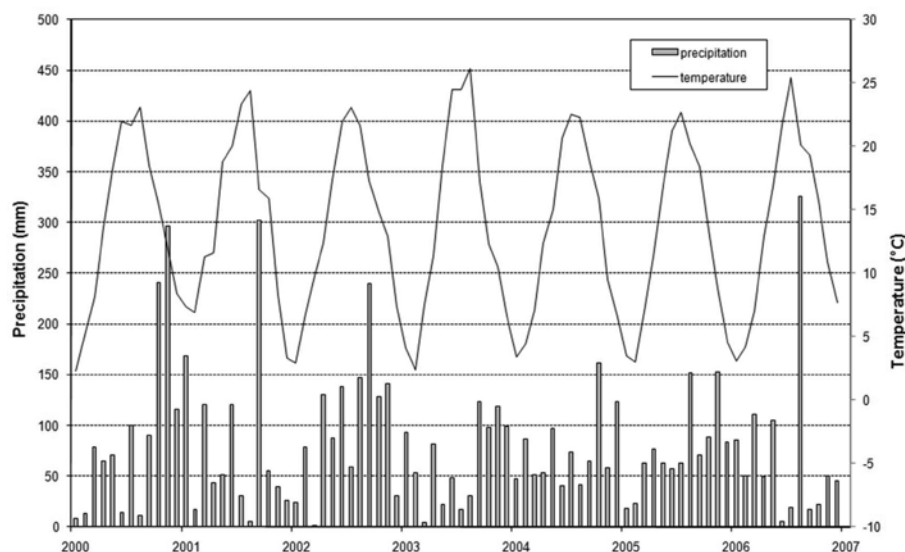


Figure 1. Monthly precipitation and mean monthly temperature at Portorož airport for period 2000–2006.

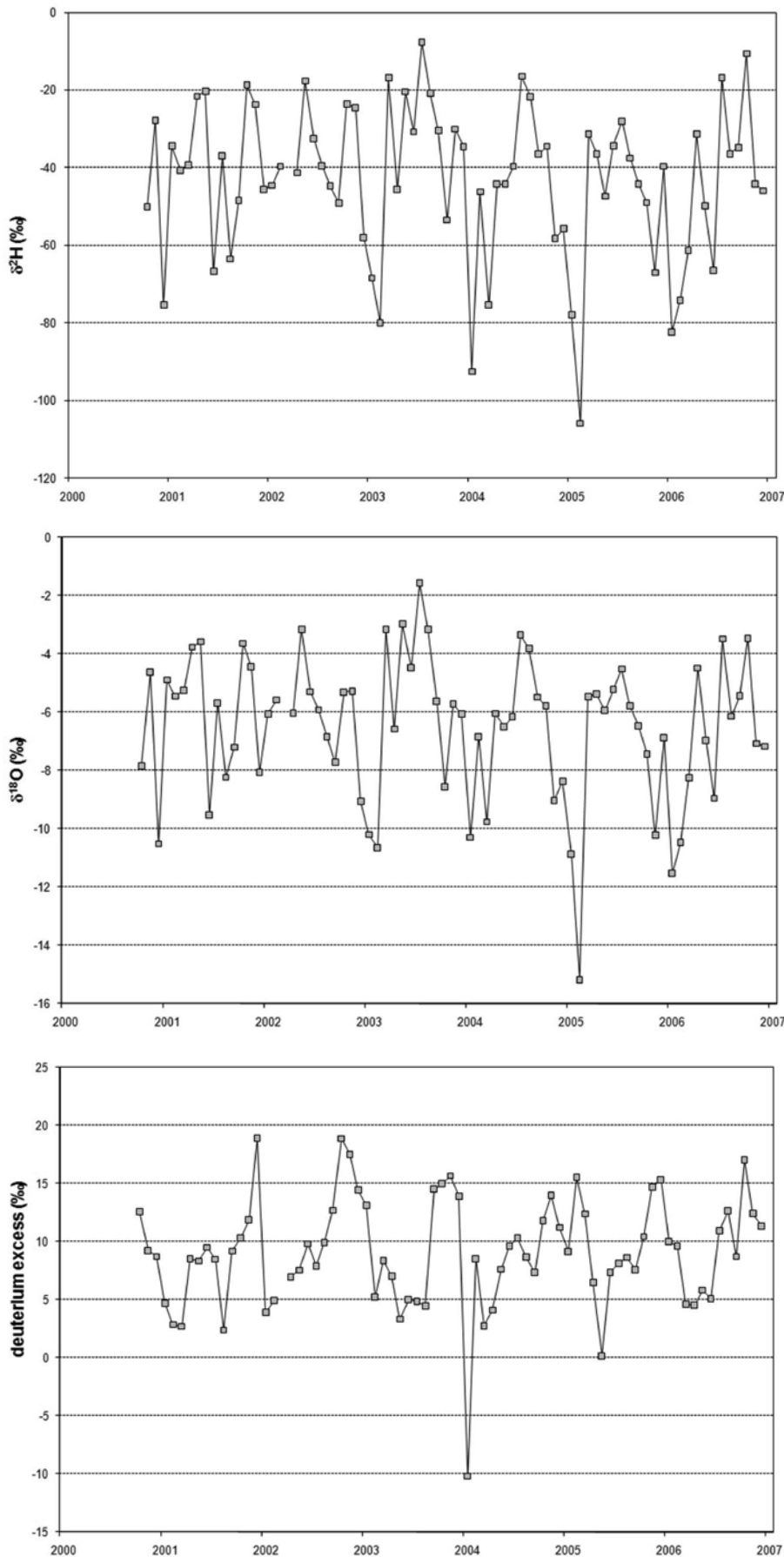


Figure 2.  
Monthly variations of isotopic composition of  $\delta^2\text{H}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  and deuterium excess, 2000–2006.

The temperature coefficients of 0.19 ‰/°C and 0.13 ‰/°C, respectively, are much lower than that of 0.29 ‰/°C obtained for Ljubljana and are typical of maritime stations with smaller tempe-

rature variations during the year and a mean temperature higher than 10°C (ROZANSKI et al., 1993; VREČA et al., 2006).



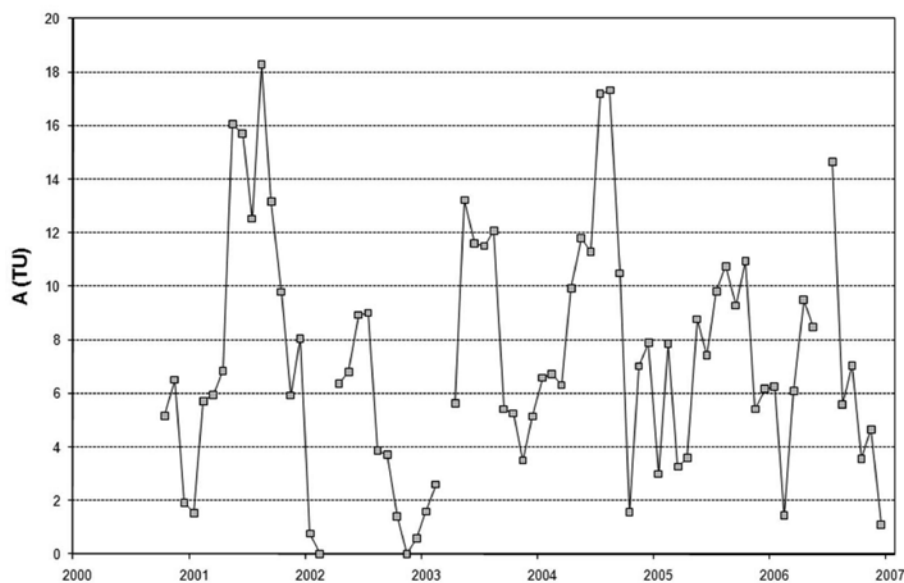


Figure 3. Monthly variations of tritium activity A (in TU), 2000–2006.

Tritium activity in monthly precipitation (Figure 3) shows seasonal variation typical of the Northern Hemisphere (ROZANSKI et al., 1991). Monthly activities vary between  $< 1.5$  TU and 18.3 TU; maximum activity is usually observed in the summer months, and minimum in the late autumn or winter (Figure 3, Table 3). The highest monthly weighted mean tritium activity is observed in July and the minimum in January. The mean annual tritium activity is 7.2 TU and the weighted mean annual tritium activity 6.9 TU and varies between 4.0 TU and 9.7 TU in the period 2001–2006, but without an observable trend. Since the ban of atmospheric nuclear and thermonuclear bomb-tests, the tritium activity in precipitation showed a basic decreasing trend with a superimposed seasonal structure. However, during the last two decades (approximately), the mean annual values in Zagreb and Ljubljana (KRAJCAR BRONIĆ et al., 1998; VREČA et al., 2006, 2008) remained stable/constant, at values of about 9 TU. The values observed at Portorož are lower than for Ljubljana and are typical of stations close to the sea (VREČA et al., 2006, 2008).

### Conclusions

Results for the isotopic composition of oxygen and hydrogen ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $^3\text{H}$ ) are presented and evaluated for monthly precipitation collected at Portorož airport for the period October 2000 to December 2006. Basic descriptive statistics (i.e. mean, minimum and maximum value), weighted means of the amount of precipitation and local meteoric water lines were calculated. The data obtained provide a better background for understanding the hydrological cycle in SW Slovenia than previously available from three-year long observations.

### Acknowledgements

The work of all colleagues who helped with sampling and analyses is gratefully acknowledged. Special thanks are due to the staff of the meteorological station at Portorož airport for their valuable help with sampling, and to S. Žigon, Z. Trkov, S. Lindbichler, B. Obelić, N. Horvatinčić, J. Barešić and A. Rajtarić for their help with analyses. The work was financially

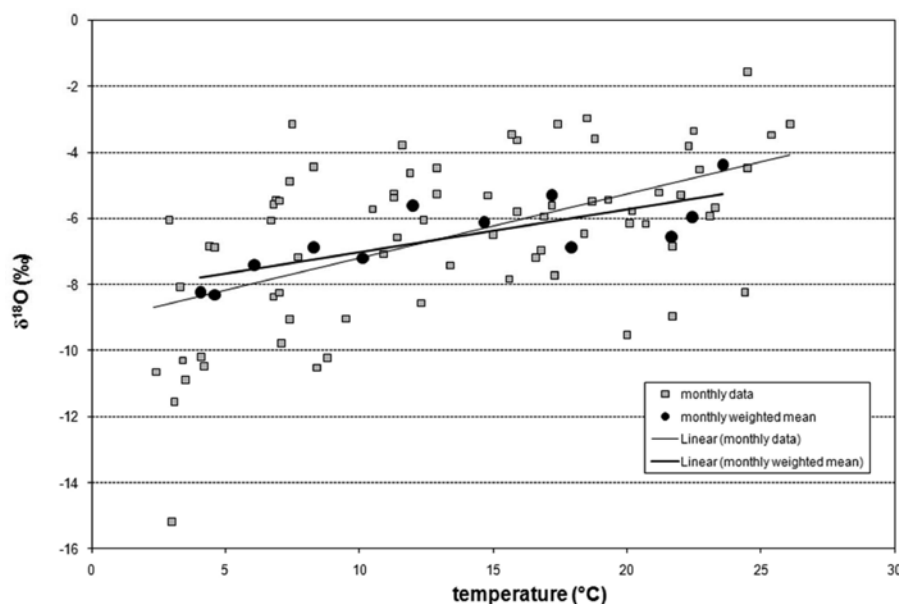


Figure 4. Relation between  $\delta^{18}\text{O}$  and local surface air temperature for monthly samples collected in the period 2000–2006 and monthly weighted mean  $\delta^{18}\text{O}$  values for the period 2001–2006.

supported predominantly by the Slovenian Ministry of Higher Education, Science and Technology and the Slovenian Research Agency (P0-0531-0106, P1-0143, BI-HR/01-03-011, BI-HR/09-10-032) and by the IAEA CRP F31002 (RC 11267). We are also grateful to L. Gourcy and the staff of the Isotope Hydrology Section Laboratory of the IAEA for performing some tritium activity measurements and for all the valuable information provided during the IAEA CRP F31002 (RC 11267). Special thanks are given to A. R. Byrne for editorial corrections.

## References

- ARAGUAS-ARAGUAS, L., FRÖHLICH, K. & ROZANSKI, K. 2000: Deuterium and oxygen-18 isotope composition of precipitation and atmospheric moisture. *Hydrological Processes*, 14: 1341–1355.
- BRENČIČ, M. 2009: Hydrogeochemistry of Coastal Carbonate Aquifer in Lucija-Portorož (Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea, Slovenia). *Acta Carsologica*, 38/2: 179–196.
- CEGNAR, T. 2002. Climate in year 2001. *UJMA*, 16: 12–23.
- CLARK, I. & FRITZ, P. 1997: Environmental isotopes in hydrology, CRC Press: 328 p.
- CRAIG, H. 1961: Isotope variations in meteoric waters. *Science*, 133: 1702–1703.
- CUCCHI, F., FRANCESCHINI, G. & ZINI, L. 2008: Hydrogeochemical investigations and groundwater provinces of the Friuli Venezia Giulia Plain aquifers, northeastern Italy. *Environmental Geology*, 55: 985–999, doi: 10.1007/s00254-007-1048-4.
- DANSGAARD, W. 1964: Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16: 436–468.
- Environmental Agency of the Republic of Slovenia 2011, <http://meteo.arso.gov.si/>, accessed 8.3.2011.
- EPSTEIN, S. & MAYEDA, T.K. 1953: Variations of  $^{18}\text{O}$  content of waters from natural sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4: 213–224.
- FRÖHLICH, K., KRÁLIK, M., PAPESCH, W., RANK, D., SCHEIFINGER, H. & STICHLER, W. 2008: Deuterium excess in precipitation of Alpine regions – moisture recycling. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 44/1: 61–70, doi: 10.1080/10256010801887208.
- GAT, J. R. & DANSGAARD, W. 1972: Stable isotope survey of the freshwater occurrences in Israel and the Jordan Rift Valley. *Journal of Hydrology*, 16: 177–211.
- GAT, J. R. 1996: Oxygen and hydrogen isotopes in the hydrologic cycle. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 24: 225–262.
- GAT, J. R., MOOK, W. G. & MELJER, H. A. J. 2001: Atmospheric water. In: MOOK, W.G. (ed.): Environmental isotopes in the hydrological cycle, principles and applications, IHP-V, technical documents in hydrology, 39/ II, UNESCO, Paris: 63–74.
- GEHRE, M., HOEFLING, R., KOWSKI, P. & STRAUCH, G. 1996: Sample preparation device for quantitative hydrogen isotope analysis using chromium metal. *Analytical Chemistry*, 68: 4414–4417.
- GOURCY, L. L., GROENING, P. K. & AGGARWAL, P. K. 2005: Stable oxygen and hydrogen isotopes in precipitation. In: AGGARWAL, P. K., GAT, J. R., FRÖHLICH, K. (Eds.) *Isotopes in the water cycle: past, present and future of a developing science*. Dordrecht: Springer, 39–51.
- HORVATINČIĆ, N. 1980: Radiocarbon and tritium measurements in water samples and application of isotopic analyses in hydrology. *Fizika* 12 / S2: 201–218.
- IAEA 1981: Statistical treatment of environmental isotope data in precipitation. IAEA Technical Report Series No. 206, Vienna.
- IAEA 1996: IAEA-WMO Programme on Isotopic Composition of Precipitation: Global Network of Isotopes in Precipitation (GNIP), Technical Procedure for Sampling, <http://www-naweb.iaea.org/NAALIHL/publications1.shtml>, accessed 8.3.2011.
- IAEA/WMO 2011: Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database, Accessible at: <http://nds121.iaea.org/wiser/>
- INGRAHAM, N. L. 1998: Isotopic variations in precipitation. In: KENDALL C. & McDONNELL J. J. (Eds.): *Isotope tracers in catchment hydrology*, Elsevier, 87–118.
- KRAJCAR BRONIĆ, I., OBELIĆ, B. & SRDOČ, D. 1986: The simultaneous measurement of tritium activity and the background count rate in a proportional counter by the Povinec method: Three years experience at the Ruđer Bošković Institute. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B17: 498–500.
- KRAJCAR BRONIĆ, I., HORVATINČIĆ, N. & OBELIĆ, B. 1998: Two decades of environmental isotope records in Croatia: Reconstruction of the past and prediction of the future levels, *Radiocarbon*, 40: 399–416.
- LIOTTA, M., BELLISSIMO, S., FAVARA, R. & VALENZA, M. 2008: Isotopic composition of single rain events in the central Mediterranean. *J. Geophys. Res.* 113: D16304, doi:10.1029/2008JD009996.
- LUCAS, L. L. & UNTERWEGER, M. P. 2000: Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium. *J. Res. Natl. Stand. Technol.*, 105: 541–549.
- MANDIĆ, M., BOJIĆ, D., ROLLER-LUTZ, Z., LUTZ, H. O. & KRAJCAR BRONIĆ, I. 2008: Note on the spring region of Gacka River (Croatia). *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 44/2: 201–208.
- MORRISON, J., BROCKWELL, T., MERREN, T., FOUREL, F. & PHILLIPS A.M. 2001: On-line high-precision stable hydrogen isotopic analyses on nanoliter water samples. *Analytical Chemistry*, 73: 3570–3575.
- OGRINC, N., KANDUČ, T., STICHLER, W. & VREČA, P. 2008: Spatial and seasonal variations in  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  values in the River Sava in Slovenia. *Journal of Hydrology*, 359: 303–312, doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.010.
- PENG, H., MAYER, B., HARRIS, S. & KROUSE, H. R. 2004: A 10-yr record of stable isotope ratios of hydrogen and oxygen in precipitation at Calgary, Alberta, Canada. *Tellus*, 56B: 147–159.

- PEZDIČ, J. 2003: Isotope fractionation of long term precipitation averages in Ljubljana (Slovenia). *RMZ – Materials and Geoenvironment*, 50/3: 641–650.
- PIERVITALI, E., COLACINO, M. & CONTE, M. 1998: Rainfall over the central-western Mediterranean basin in the period 1951–1995. Part I: Precipitation trends. *Il Nuove Cimento*, 21C/3: 331–344.
- PUČNIK, R. 1980: *Velika knjiga o vremenu*. Cankarjeva založba, Ljubljana: 368 p.
- ROZANSKI, K., GONFIANTINI, R. & ARAGUAS-ARAGUAS, L. 1991: Tritium in the global atmosphere: distribution patterns and recent trends. *Journal of Physics G – Nuclear and Particle Physics*, 17: 523–536.
- ROZANSKI, K., ARAGUAS-ARAGUAS, L. & GONFIANTINI, R. 1993: Isotopic patterns in modern global precipitation. *Geophys. Monogr.* 78: 1–36.
- SCHOTTERER, U., OLDFIELD, U. & FROEHLICH, K. 1996: *GNIP – Global Network for Isotopes in Precipitation*, IAEA, 48 p.
- SCHÜRCH, M., KOZEL, R., SCHOTTERER, U. & TRIPET, J. P. 2003: Observation of isotopes in the water cycle – the Swiss National Network (NISOT). *Environmental Geology*, 45: 1–11.
- VREČA, P., KANDUČ, T., ŽIGON, S. & TRKOV, Z. 2005: Isotopic composition of precipitation in Slovenia. In: *Isotopic composition of precipitation in the Mediterranean basin in relation to air circulation patterns and climate*, L. GOURCY (Ed.): 157–172, IAEA-TECDOC-1453, IAEA, Vienna.
- VREČA, P., KRAJCAR BRONIĆ, I., HORVATINČIĆ, N. & BAREŠIĆ, J. 2006: Isotopic characteristics of precipitation in Slovenia and Croatia: Comparison of continental and maritime stations. *Journal of Hydrology*, 330: 457–469, doi:10.1016/j.jhydrol.2006.04.005.
- VREČA, P., BRENČIČ, M. & LEIS, A. 2007: Comparison of monthly and daily isotopic composition of precipitation in the coastal area of Slovenia. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 43/4: 307–321, doi:10.1080/10256010701702739.
- VREČA, P., KRAJCAR BRONIĆ, I., LEIS, A. & BRENČIČ, M. 2008: Isotopic composition of precipitation in Ljubljana (Slovenia). *Geologija*, 51/2: 169–180, doi:10.5474/geologija.2008.018.





## Nove knjige

Uredniki / Editors: Mario PLENIČAR, Bojan OGORELEC & Matevž NOVAK, 2009:  
**Geologija Slovenije.** Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 612 str.  
(The Geology of Slovenia, Geological Survey of Slovenia, Ljubljana: 612 p.)

Pred kratkim se je številni in pestri geološki literaturi zadnjega desetletja pridružila monografija *Geologija Slovenije*. Zamisel o celovitem prikazu geološke zgradbe Slovenije se je porodila že pred več kot dvajsetimi leti, takoj po zaključku Osnovne geološke karte v merilu 1 : 100.000, ki je bila izdelana v sklopu nekdanje Jugoslavije. Prvotno je bila monografija zamišljena kot obsežen tolmač h karti, v katerem bi bile na enem mestu zajete vse geološke značilnosti Slovenije, vendar do uresničitve načrta kljub večkratnim poizkusom ni prišlo.

Za izdajo monografije v takšni obliki, kakršna je pred nami, so se slovenski geologi odločili pred desetletjem, dokončno pa pred tremi leti, ob mednarodnem letu planeta Zemlja. Uredništvo je prevzel akad. prof. dr. Mario Pleničar, ki sta se mu kot sourednika pridružila še prof. dr. Bojan Ogorelec in dr. Matevž Novak.

Pri pisanju monografije je sodelovalo 32 geoloških strokovnjakov različnih profilov iz različnih raziskovalnih institucij; od Geološkega zavoda Slovenije, Naravoslovnotehniške fakultete

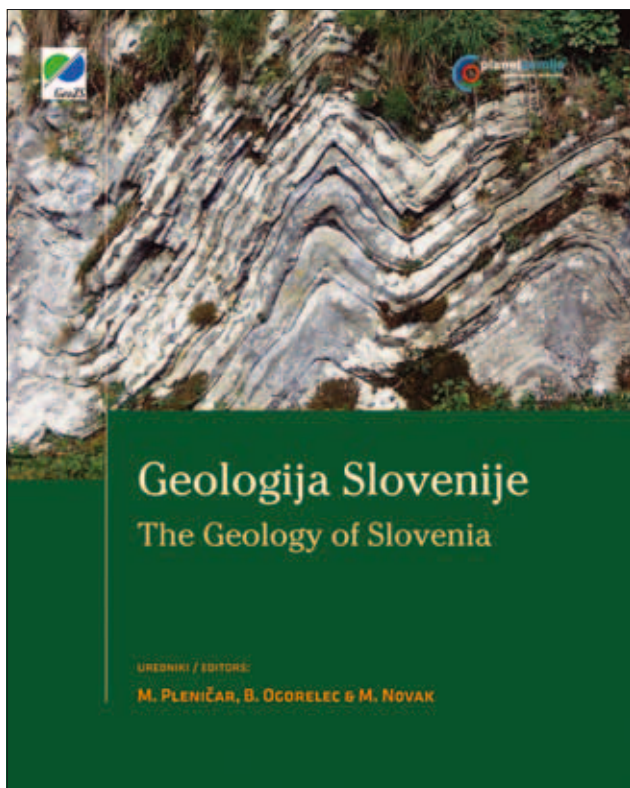
Univerze v Ljubljani, Paleontološkega inštituta Ivana Rakovca ter Inštituta za raziskovanje krasa pri ZRC SAZU, do Urada za seizmologijo in geologijo pri Agenciji RS za okolje.

V zadnjih dveh desetletjih po dokončanju Osnovne geološke karte je geološka veda tako v svetu kot pri nas razmeroma hitro napredovala. Nove raziskovalne metode, novi podatki, predvsem pa sodobni pogledi na geološke fenomene, so zahtevali dopolnitev in ponovno ovrednotenje raziskovalnih rezultatov. Zato je monografija močno prerasla okvir prvotno zamišljenega tolmača k Osnovni geološki karti.

Monografija, ki ima 612 strani formata 27 x 22 cm, je v celoti prevedena v angleški jezik. Bogata barvna grafična oprema s številnimi in raznovrstnimi geološkimi kartami, stratigrafskimi stolpci, diagrami ter terenskimi fotografijami izdankov, ležišč mineralnih surovin, fosilov, mikroskopskih preparatov in vsega kar sodi zraven, v marsičem dopolnjuje strokovno besedilo in delo približa najširšemu krogu uporabnikov. Sestavlja jo dvanajst samostojnih poglavij, vsako pa je opremljeno z obsežnim pregledom literature. V več kot 2.500 bibliografskih enotah so zbrana tako rekoč vsa natisnjena dela, ki obravnavajo geologijo našega prostora.

V uvodnem poglavju je podan kratek zgodovinski pregled geoloških raziskav slovenskega ozemlja, temu sledita zgoščen prikaz razvoja našega prostora v obliki povzetka in tektonska razčlenitev Slovenije. Naslednja poglavja, katerim je namenjenega največ prostora, si sledijo po časovnem zaporedju geoloških obdobij od najstarejših do najmlajših. Podrobnemu stratigrafskemu prikazu paleozoika, mezozoika in kenozoika sledita poglavji o magmatizmu in vulkanizmu ter o mineralnih in energetskih surovinah. Posebno poglavje je posvečeno podzemnim vodam, saj je Slovenija bogata s termalnimi in mineralnimi vodami, podzemni vodonosniki pa so glavni vir pitne vode v državi. Opisani so tudi potresna aktivnost, ranljivost ozemlja za naravne nesreče, ki so posledica geoloških dejavnikov (geohazard) ter kras, ki je slovenska geološka in krajinska posebnost.

Ne nazadnje lahko *Geologijo Slovenije* uporabljamo tudi kot razširjen tolmač h Geološki karti Slovenije v merilu 1 : 250.000, ki je izšla lansko leto. Pripravil jo je prof. dr. Stanko Buser na osnovi podatkov 24 listov Osnovne geološke karte v merilu 1 : 100.000, ki jih je posodobil z novimi



ugotovitvami. Priložena geološka karta je izdelana v digitalni obliki in je bila natisnjena v sklopu geoloških kart, ki jih izdaja Geološki zavod Slovenije.

Recenzenta knjige sta bila akademika prof. dr. Matija Drovenik in dr. Dragica Turnšek, pri pregledu posameznih poglavij pa so sodelovali tudi številni tuji in domači geološki strokovnjaki. Spremnino besedo sta monografiji posvetila evropski komisar za okolje Janez Potočnik in direktorica Direktorata za znanost Jana Kolar.

Morda je še prezgodaj za podajanje poglobljene analize novega dela, saj bo pravo sliko pokazal šele čas. Vsi, ki smo Geologijo Slovenije pregledali nekoliko bolj podrobno, pa smo si edini, da gre za monumentalno delo, v katerem je bolj ali manj korektno predstavljeno geološko znanje skoraj vseh generacij slovenskih geologov. Nekoliko moti neuravnoveženost poglavij, vendar je vzrok temu iskati predvsem v razmeroma dolgem pripravljalnem obdobju, saj je bila časovna razlika med pravočasno prispelimi deli v dogovorjenem roku in zadnjimi prispevki kar več let. Pri 32 sodelujočih avtorjih je treba vzeti v obzir tudi njihove različne pristope, strokovne nivoje in ne nazadnje korektnost pri upoštevanju navodil uredništva. V želji, da *Geologija Slovenije* čim prej izide, je uredniški odbor morda pri nekaterih avtorjih preveč odstopil od prvotno dogovorjenega obsega prispevkov.

Monografija *Geologija Slovenije* in priložena Geološka karta Slovenije 1 : 250.000 sta namenjena v prvi vrsti geologom in strokovnjakom različnih ved in profilov, ki se srečujejo z geologijo po službeni dolžnosti. Nedvomno bo postala nepogrešljiv pripomoček študentom geologije in drugih naravoslovnih usmeritev, dobrodošla pa bo tudi vsem, ki jih zanima geologija Slovenije s katerega druge-

ga naravoslovnega vidika. Z namenom, da bi geologijo Slovenije podrobneje spoznali in razumeli tudi tujci, je knjiga v celoti prevedena v angleški jezik in tako predstavlja osnovni vir informacij za usklajevanje geoloških podatkov in sintezne študije širšega prostora. Z njeno izdajo se Slovenci pridružujemo tistim evropskim narodom, ki so svoj »moralni dolg« do geološke znanosti, in ne nazadnje do davkoplačevalcev, izpolnili s celovitim prikazom geološke zgradbe svojih držav.

Izdajatelj monografije je Geološki zavod Slovenije, njen tisk pa so finančno podprli Javna agencija za knjigo Republike Slovenije, Slovenska nacionalna komisija za UNESCO v okviru programa IGCP ter Slovensko geološko društvo.

Vsekakor velja čestitati uredniškemu odboru, da je uspešno prebrodil vse probleme, ki so spremljali pripravo tega obsežnega dela z doslej najštevilnejšo skupino sodelujočih avtorjev pri nas. Danes, nekaj mesecev po izidu, smo že lahko povsem prepričani, da je *Geologija Slovenije* eno od najbolj pričakovanih in iskanih geoloških del v zgodovini Slovenije. Uspešna promocija tega dela na vseh nivojih, od strokovnih krogov do najvišjih političnih struktur v državi, ki jo je odlično izpeljal direktor Geološkega zavoda Slovenije doc. dr. Marko Komac s svojo ekipo, je pripomogla k bolj razpoznavni vlogi geologije v družbi. Pred nami je torej delo, polno dragocenih geoloških podatkov, ki so jih skozi desetletja zbirale cele generacije slovenskih geologov, polno je biserov in zmot, ki zaznamujejo čas t. i. klasične geologije, ki se je le navidezno umaknila v ozadje, v bistvu pa ostaja trden temelj vsemu, kar v sodobnem svetu združujemo pod pojmom geologija.

*Bogdan Jurkovšek*

Ronald T. MERRILL, 2010: **Our Magnetic Earth – The Science of Geomagnetism.**  
The University of Chicago Press, Chicago, London, 261 str.

Pojav magnetov, delovanje magnetne igle in izvor Zemljinega magnetnega polja so vprašanja s katerimi se človeštvo sooča že od vekomaj. Sprva si je človek magnet razlagal z mitologijo, številne razlage so mu pripisovale celo dušo. Novoveška znanost se je vprašanjem magnetizma posvečala že na svojem začetku, nenazadnje tudi zaradi tega, ker je v slabih vremenskih razmerah navigacija trgovskih in vojaških ladij na morju temeljila le na orientaciji s pomočjo kompasa. S stališča zgodovine znanosti je zanimivo, da so bile te raziskave med prvimi, ki so jih nekdanje svetovne vesile sistematično podpirale in financirale. Kljub temu, da gre za zelo star predmet preučevanja, pa pregled sodobne znanstvene literature pokaže, da se prav v zadnjem desetletju znotraj geofizikalnih ved dogajajo veliki premiki v razumevanju Zemljinega magnetnega polja in da je to področje raziskav še vedno znanstveno zelo živahno. Razvoj superračunalnikov je omogočil izračune, ki simulirajo tok staljene gmote med notranjim in zunanjim jedrom. Raziskovalci so uspeli opraviti

simulacije s katerimi so podali obrat Zemljinega magnetnega polja in prikazali konvekcijske celice, ki botrujejo temu obratu. Ti izračuni niso pomembni le s stališča razumevanja magnetnega polja, temveč imajo za posledico boljše razlago procesov pri kroženju astenosfere v plašču in s tem natančnejši vpogled v tektoniko plošč in celotno zgodovino Zemlje. Razumevanje Zemljinega magnetnega polja je pomembno tudi s povsem praktičnih vidikov vsakdanjega življenja, zlasti v današnjem svetu, v katerem smo odvisni od elektronike. Tudi marsikatera oblika današnjega življenja je odvisna od ustreznega zaznavanja magnetnega polja.

V knjigi *Our Magnetic Earth* nas po skrivnostih Zemljinega geomagnetizma vodi Ronald Merrill zaslužni profesor Univerze Washington, svetovna avtoriteta na področju raziskav geomagnetizma. Knjiga je sestavljena iz šestih poglavij, kratkega epiloga in dodatka v katerem so podrobneje razložena fizikalna dejstva o magnetizmu. Tekst je berljiv in tekoč. Avtor nam oriše kompleksno sli-



ko razvoja Zemlje in medsebojnih vplivov žive in nežive narave do katerih prihaja v tem razvoju. Vsebina knjige je preprejena s številnimi anekdotami in osebno naravnanimi komentarji o akterjih, ki so oblikovali današnjo zakladnico znanja na področju geomagnetizma.

V prvem poglavju knjige »Magnetizem in sedanje magnetno polje« avtor prikaže osnove magnetizma, razloži pojme dipolnih in mnogopolnih magnetnih polj ter osnove sferične harmonske analize. V naslednjem poglavju »Obrat magnetnega polja« je podan opis obratov magnetnega polja in zgodovina razlage tega pojava, ki je pripeljala do pojasnitve modela tektonike plošč. Sledi poglavje »Zgradba Zemlje in izvor njenega magnetnega polja« v katerem se avtor dotakne razlage magnetohidrodinamike in razmer, ki vladajo v zunanem delu jedra, hkrati s tem pa prikaže razvoj znanja o strukturi Zemljine notranjosti. V tem poglavju tudi razloži vzroke za obrat Zemljinega magnetnega polja. V poglavju z naslovom »Zveza Sonce Zemlja« se loti razlage magnetnih pojavov, ki so vezani na dinamiko Sonca in vplivov, ki izvirajo izven osončja. Čeprav je naslednje poglavje »Magnetna orientacija in navigacija pri živalih« usmerjeno predvsem v dognanja bioloških znanosti nam avtor kot geofizik nakaže na povezave med razvojem življenja in naravnim okoljem v katerem se to življenje razvija. Prav tako zanimiva je tudi razlaga vplivov Zemljinega magnetnega polja na evolucijo senzornih organov pri nekaterih ži-

valih in s tem povezane biomineralogije – pojavljanjem posameznih magnetnih mineralov v tkivih. V sklepnem poglavju »Učinki geomagnetizma in tektonike plošč na paleoklimo« se avtor vrne h geofiziki. Morda je naslov poglavja nekoliko zavajajoč, saj geomagnetizem nastopa predvsem kot eden od pojavov s pomočjo katerega je mogoče dodatno potrditi nekatere paleoklimatske interpretacije.

V začetnem delu knjige se avtor zavestno odloči, da pri svojih razlagah ne bo uporabljal enačb. Čeprav so te pogosto osovraženi del poljudnoznanstvenih knjig, pa je prav njihova odsotnost slaba stran knjige. Za bralce, ki so vsaj malo domači v abstraktnem svetu enačb, je prav mučno slediti razlagi, v kateri avtor enačbe opisuje. Bralec, ki so mu enačbe odveč, bo takšen tekst preskočil, prav tako pa tudi bralec, ki razume enačbe, saj se v gostobesednih opisih medsebojnih odvisnosti spremenljivk povsem izgubi. Prav tako bi nekatere razlage veliko pridobile, če bi bilo podanih več grafičnih ilustracij.

Knjigo priporočam v branjem vsem, ki jih zanima razvoj Zemlje in vesolja od njunih začetkov pa do danes. Prav tako je knjiga zelo dobro napotilo za nadaljnji študij pojavov geomagnetizma in zelo dobra štartna osnova za poglobljeni študij novejših dognanj s področja Zemljinega magnetizma in spremljujočih pojavov.

*Mihael Brenčič*

Seth STEIN, 2010: **Disaster deferred – how new science is changing our view of earthquake hazards in the Midwest.** Columbia University Press, New York: 282 p.

Knjiga obravnava znamenit niz katastrofalnih potresov na območju Novega Madrida (New Madrid) na Srednjem zahodu Združenih držav Amerike. Zaradi teh dogodkov je to območje obravnavano kot prostor z visokim seizmičnim tveganjem, kar sproža številne polemike in spodbuja zanimive raziskave. Naslov knjige nas lahko nekoliko zapelje, saj z očmi evropskega bralca nakazuje na regionalno omejeno problematiko. Kljub temu je knjiga zelo zanimivo branje, ki pritegne s svojo širino, argumentacijo in odprtim stilom pisanja. V knjigi so nanizana razmišljanja, ki so pomembna tudi širše. Da gre za aktualno in izzivalno knjigo, nakazujejo tudi recenzije objavljene v revijah *Nature* in *Science*.

Seth Stein je geološki javnosti znan po svojih številnih znanstvenih člankih, ki so objavljeni tudi v prestižnih naravoslovnih revijah, po soavtorstvih ter uredništvih številnih knjig. Sodi med najbolj citirane avtorje na področju geologije. Med drugim je kot strokovnjak za meritve premikov zemeljske skorje z GPS geodezijo s svojim delom posegel tudi na območje Jadranske mikroplošče (STEIN & SELLA, 2005).

Če si ogledamo karte tveganja za nastanek potresov na območju Severno Ameriške plošče, bomo opazili tri območja z visokim tveganjem. Gotovo je najbolj znano območje preloma Svete-

ga Andreja na stiku s Pacifiško ploščo na zahodu ZDA. Drugi dve območji sta vezani na osrednji del plošče. Najbolj izrazito je območje Srednjega zahoda ZDA s središčem v majhnem mestecu New Madrid. Drugo območje se nahaja na jugovzhodnem delu ZDA tik ob obali Atlantika, v okolici mesta Charleston. Prav območje Novega Madrida, ki leži ob reki Mississippi, je predmet zanimanja knjige, ki je pred nami. Na prehodu iz leta 1811 v leto 1812 je prišlo do niza močnih potresov, ki so povzročili zelo močno tresenje tal in zdrse bregov na reki Mississippi. Nekateri zgodovinski zapisi poročajo, da se je ponekod med potresom tok reke celo obrnil, drugod pa so na sicer leni reki nastali slapovi in brzice. Velike materialne škode ti potresi niso povzročili, ker je bilo to območje takrat še zelo redko poseljeno. To je tudi vzrok, zakaj se je o teh dogodkih ohranilo zelo malo pisnih pričevanj z natančnejšim prikazom razvoja dogodkov. Kljub temu ti dokumenti potrese prikazujejo s katastrofičnimi očmi. Žal je bilo to tudi obdobje, ko še niso poznali seizmoloških inštrumentov, zaradi česar je magnitudo tega potresa možno oceniti le s pomočjo paleoseizmoloških metod. Dodaten problem pri obravnavi niza potresov predstavlja dejstvo, da so makroseizmične učinke pričeli preučevati šele več desetletij kasneje, ko je bilo vidnih le še malo sledov. Paleoseizmološke analize,

predvsem analize izbruhov peskov so pokazale, da so se podobni dogodki zgodili tudi že pred tem. Zanesljivo sta določena vsaj dva zelo močna potresa okoli leta 1450 in leta 900, nekatere indikacije pa kažejo še na starejše potrese. Ocenjena povratna doba potresov s podobno magnitudo znaša 500 let.

Z razvojem moderne seizmologije v začetku dvajsetega stoletja, se je povečalo zanimanje za seizmotektonsko cono Novega Madrida. Poleg visoke magnitude so ti potresi zanimivi zaradi dejstva, da je do njih prišlo v osrednjem delu tektonske plošče, ki bi morala biti zelo stabilna. Seizmologi so se lotili ocenjevanja magnitude ter ocen tveganja, ki izhajajo iz potresov na tem območju. Zgodnje paleoseizmološke analize so podale ocene, da je znašala magnituda najmočnejših potresov vsaj 8,0. Kasnejše analize so to oceno postopoma zmanjševale, zadnja ocena magnitude, ki jo je na podlagi analize vseh razpoložljivih podatkov podala Susan Hough, znaša 6,8–7,0. Seveda se seizmologi v svojih ocenah še vedno zelo razhajajo. Največ polemik povzroča ocena povratne dobe potresov in njihovega nastanka. Prav s problematiko teh ocen se ukvarja knjiga. Avtor v knjigi razvije in podpre tezo, da so uradne ocene povratnih dob in izračuni tveganja napačni in zavajajoči. Podana kritika je v veliki meri uperjena proti predpisom o potresno varni gradnji, ki so na tem območju po avtorjevem mnenju pretirani, ekonomsko neustrezni in škodljivi za razvoj gospodarstva.

Stein velik del knjige nameni opisu geodetskih meritev premikov zemeljske skorje z GPS metodami. Bralcu na poljuden način razloži njihovo metodiko in teorijo ter njihov pomen pri razumevanju recentne tektonike. Zelo privlačni so njegovi opisi raziskav, ki jih prav na območju seizmogene cone Novega Madrida skupaj s svojimi sodelavci opravil v devetdesetih letih prejšnjega stoletja. Povzame tudi novejšo rezultate meritev s tega območja. Prav iz teh rezultatov in prikazov izvira njegova kritika. Izvedene meritve kažejo, da za razliko od drugih seizmogennih območij, na tem območju ni zaznani nobenih premikov. To je po avtorjevem mnenju dokaz, da prelomi na območju Novega Madrida niso več aktivni do te mere, da bi proizvedli potrese energij, ki so se sprostile v začetku devetnajstega stoletja. Po njegovem mnenju je verjetnost primerljivega potresa manjša kot kažejo napovedi.

Navkljub temu, da meritve z GPS v zadnjem desetletju in pol ne kažejo premikov, se je avtor s temi trditvami znašel na zelo spolzkem terenu. Kritike (Hamburger, 2011) oporekajo njegovemu statičnemu tolmačenju GPS meritev. Te meritve naj bi dokaze za potresno aktivnost podajale

le posredno, skozi interpretacijo geodinamskega modela, kar pomeni, da so odvisne od kvalitete slednjega. Prav tako naj bi bili premiki ob prelomih izrazito nelinearne narave, kar onemogoča napovedovanje. V kratkem času po potresih podajajo GPS meritve precenjene – prekratke povratne dobe, v daljšem času po potresu pa podcenjene – predolge povratne dobe. Veliko neznanko potresov predstavljajo tudi nenadne spremembe v globljih predelih Zemljine skorje, ki po mnenju nekaterih teoretikov lahko prožijo tudi močnejše potrese izven območij robov tektonskih plošč.

Stein se je postavil v vlogo napovedovalca potresov. Čeprav ne napoveduje kdaj in v kakšni obliki bo prišlo do sprožitve potresnega mehanizma, izvede zaključek, da se potresna aktivnost na območju Novega Madrida v daljšem časovnem obdobju umirja. S tem postavi drugačno paradigmo obravnave verjetnosti potresov. Pri ocenjevanju slednje seizmološka praksa uporablja princip stacionarnosti, kar pomeni, da je frekvenca potresov časovno stabilna. To v praksi pomeni, da v kolikor je na razpolago dovolj dolg niz podatkov o preteklih potresih, se na podlagi tega principa napove verjetnost pojavljanja novih potresov. Steinovo mnenje je, da je časovni niz potresov na območju Novega Madrida nestacionaren in z izrazitim trendom upadanja magnitud.

Knjiga Setha Steina je nedvomno vredna branja. S svojo provokativnostjo, navkljub nekaterim odprtim vprašanjem in nedoslednostim, lahko sproži tudi aktualni razmislek o nastanku potresov in potresni varnosti v našem in širšem prostoru. Knjiga je zanimiva tudi zaradi zanimivega zagovora geologije, ki je po avtorjevem mnenju kompleksnejša in zahtevnejša veda od fizike in kemije. Te vede predmet svojega opazovanja in eksperimentiranja nadzorujejo, za razliko od geologije, ki zaradi kompleksnega predmeta preučevanja, tega ne more.

#### Literatura:

- HAMBURGER, M. 2011: Is New Madrid Dead. *Science* 331/6018: 675–676, doi: [10.1126/science.1200487](https://doi.org/10.1126/science.1200487).
- STEIN, S. & SELLA, G. 2005: Pleistocene change from convergence to extension in the Apennines as a consequence of Adria microplate motion. In: PINTER, N., GRENERCZY G., WEBER, J., STEIN, S. & MEDAK, D. (Eds.): *The Adria Microplate: GPS Geodesy, Tectonics and Hazard*. 21–34. *Nato Science Series*, Springer.

Mihael Brenčič

Jan ZALASIEWICZ, 2010: **The Planet in a Pebble – A Journey into Earth's Deep History.**  
Oxford University Press, Oxford, New York, 234 str.

Na prvi pogled še ena od knjig v množici poljudnoznanstvenih knjig o zgodovini Zemlje. Branje knjige pa nam odkrije drugačno podobo. Avtor si za predmet svojega opisovanja izbere prodnik skrilavega glinavca iz silurskih plasti na obali zahodnega Welsa. V knjigi poda zgodovino prodnika od začetka, pa do danes. Že v prologu knjige se odloči za trinajst poglavij, ki jih utemelji z nenavadnim razlogom. Ko je bilo leta 1807 v Taverni prostozidarjev ustanovljeno Londonsko geološko društvo, je štelo trinajst ustanovnih članov.

Jan Zalasiewicz je profesor geologije na Univerzi v Leicesteru, pred tem pa je kot regionalni geolog deloval na Britanskem geološkem zavodu. Njegovo področje delovanja je paleontologija in stratigrafija, znanstveno pa se ukvarja s starejšim paleozoikom in v zadnjem času tudi s konceptom antropocena. Knjiga, ki jo imamo pred seboj, je njegova druga poljudnoznanstvena knjiga.

Zgodovino prodnika prične avtor opisovati v poglavju *Zvezdni prah*, v katerem opiše genezo elementov. Sledi poglavje *Iz globin Zemlje* v katerem nas seznanja s trkom Theie in Zemlje ter nastankom oceana magme in Meseca. V tem poglavju se prvič srečamo z opisom geokemičnih metod. Opiše nam neodij samarijevo geokronologijo in njeno povezavo z datacijo nastanka oceana magme preko katerega se naveže na nastanek prvega kopnega. Nastanku kopnega se podrobneje posveti v *Oddaljenih pokrajinah*, kjer nam osvetli raziskave zirkonov in informacij, ki nam jih o njih in prvih kontinentih ponudijo geokemijske metode. Osrednji del poglavja *Srečanje* je opis lamin skrilavega glinovca in njihovega izvora. Podrobno se posveti opisovanju turbiditnih tokov. Čeprav bi v poglavju *Morje* pričakovali opis življenja temu ni tako. Avtor nam poda razlago o prezračenosti oceanov in dinamiki meje med oksidacijskimi in redukcijskimi pogoji. Življenju se posveti v naslednjih poglavjih. V poglavju *Opaženi duhovi* nam opiše silurske mikrofosile, podrobno pa se posveti graptolitom, ki so tudi njegova paleontološka specializacija. V poglavju *Duhovi v odsotnosti* se spopade s teorijami, ki skušajo razložiti življensko okolje teh organizmov, zopet se nasloni na dognanja geokemije, tokrat na meritve stabilnih izotopov ogljika. Od vprašanj paleobiologije preide k problemom paleogeografije. V poglavju *Kje na Zemlji?* opiše potovanje kontinentov in na primeru silurskih plasti Welsa razloži paleomagnetno metodo določanja paleogeografskega položaja. Naslov poglavja *Zlato!* bi lahko v slovenščino prevedli kot »Ni vse zlato kar

se sveti«. V njem se avtor loti opisovanja geokemije železa in kroženja žvepla, seže pa vse do metanogeneze. Vse to poveže z življenskim okoljem različnih bakterij. S tem poglavjem nas prične seznanjati z začetkom diagenoze kamnin. Sediment tone globlje in geokemične spremembe postanejo izrazitejše. Poglavje *Oljno okno* je po mojem mnenju med vsemi poglavji knjige najbolj zanimivo. Avtor nam opiše nastanek monazita in genezo geokemične anomalije redkih zemelj preko katere se naveže na datacijo diagenoze organske snovi in nastanka nafte. Ta se v plasteh silurskih skrilavih glinavcih ni ohranila, vendar pa anomalije redkih zemelj v povezavi z uranovimi geokronologijami omogočajo datacijo tega dogodka. Sklepni poglavji *Ustvarjanje gorovja*, *Lomljenje površja* prikazeta orogenezo in geomorfološki razvoj današnjega površja. Poglavje *Prihodnost* je časovna ekstrapolacija vseh predhodno opisanih geoloških dogodkov in nekakšno ugibanje.

Bralcu, ki ne pozna regionalne geologije Welsa in Velike Britanije, bi ob spremljanju teksta prišla prav geološka karta, na kateri bi bile podane osnovne geološke formacije o katerih teče beseda, prav tako pa bi tekst veliko pridobil, če bi bil ilustriran s topografskimi kartami. Med nenavadnimi krajevnimi imeni Welsa se bralec pogosto izgubi. Prav tako je na trenutke brez ilustracij težko slediti razlagam, ki opisujejo paragenezo mineralov. Tudi tukaj bi tekst veliko pridobil, če bi bile razlage ilustrirane z ustreznim slikovnim gradivom, tako pa so slike zbruskov in izdankov združene le v eni grafični prilogi.

Navkljub naštetim manjšim pomankljivostim je knjiga zelo zanimivo branje. Odlikuje jo literarni slog z zelo bogatim besediščem, ki terja od bralca natančno branje. Knjigo priporočam v branje regionalnim geologom, stratigrafom in geokemikom, ter seveda vsem ostalim, ki jim je blizu dobra geološka knjiga. Zalasiewicz nam postreže z napetim branjem, ki odkriva njegovo široko geološko erudicijo in sposobnost povezovanja dognanj geološke zanosti zelo širokega razpona. Morda si lahko v Sloveniji knjigo vzamemo tudi kot dober zgled. Ne le kot primer zahtevnejše poljudno znanstvene knjige, ki že prestopa mejo znanstvenega eseja, temveč kot napotilo za začetek nekaterih podrobnejših raziskav na področju regionalne geologije, ki bi slonele na sodobnih analitskih metodah. Avtor nam na izzivalen način ilustrira kako navidez dolgočasen skrilavi glinavec skriva zelo zanimive informacije.

Mihael Brenčič



## Poročila

### Kongres Evropskega geoznanstvenega združenja na Dunaju (Avstrija)

3.–8. 4. 2011

Mihael BRENČIČ

Oddelek za geologijo, NTF, UL, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana; e-mail: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si  
Oddelek za hidrogeologijo, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

Za nami je še en kongres Evropskega geoznanstvenega združenja – EGU, ki je tudi tokrat, tako kot v zadnjih sedmih letih, potekal na Dunaju. Dogodek še naprej ostaja največja kongresna prireditelja v Evropi povezana z vedami o Zemlji. Po besedah organizatorjev je bilo tokrat v 707 sekcijah predstavljenih 4333 predavanj in 8430 posterjev, skupaj je bilo prijavljenih 10725 udeležencev iz 96 držav. Zelo visoke številke, ki pa skozi leta ostajajo podobne. Tudi letos je delo kongresa teklo v več deset strokovnih sekcijah vzporedno. V primerjavi s prejšnjimi leti je bilo na letošnjem dogodku več komercialnih razstavljalcev, ki so poleg knjig ponujali zelo raznovrstno raziskovalno opremo. Novost letošnjega kongresa je bila borza dela, kjer so različne ustanove in industrija ponujale delo in projekte. Morda vse to kaže na to, da so vede o Zemlji prešle krizo, ki se je kazala v preteklih letih. Še bolj kot v preteklosti so kongres zaznamovale moderne informacijske tehnologije. Kongres so spremljali spletni dnevnik, socialna omrežja, prav tako so bila s kamero posneta predavanja in diskusije v okviru simpozijev združenja (t.i. Union Symposia), ki so preko spleta dostopna tudi še po koncu kongresa. Tokrat je v okviru kongresa deloval tudi Geo kino v katerem so od jutra do večera vrteli različne dokumentarne filme o Zemlji.

Pri tako velikem dogodku si posameznik le stežka ustvari sliko o celoti. Še tako vnet udeleženec, ki preživi na kongresu vse dni od jutra do večera, pride v stik le z majhnim deležem dogodkov. Če odmislimo posamezne disciplinarne simpozije, kjer lahko zaradi obsežnosti le deloma zajamemo posamezno disciplino, najlažje ugotovimo, kaj se je dogajalo na kongresu, s pregledom skupnih kongresnih dogodkov in predavanj. Nedvomno so kongres zaznamovali zadnji katastrofalni potresi v Christchurchu na Novi Zelandiji in v provinci Sendai na Japonskem. Obema potresoma sta bila posvečena posebna simpozija z odličnimi predavanji, ki so jih predstavili raziskovalci, ki se s to problematiko neposredno ukvarjajo. Japonski seizmologi so predstavili tektoniko območja, rezultate meritev in prve preliminarne rezultate interpretacij potresa in cunamija. Noč pred predavanjem je na Japonskem prišlo do zelo močnega popotresnega sunka z magnitudo 7,1. Naslednje

jutro so nam bili na predavanju že predstavljeni prvi rezultati analiz. Predavanjem je sledila prav tako dobro obiskana panelna razprava, v kateri je poleg povabljenih razpravljalcev zelo intenzivno sodelovala tudi publika. Njeni komentarji in vprašanja so bili zelo zanimivi, saj so razpravljali strokovnjaki, ki se s podobno problematiko ukvarjajo drugod po svetu. Panel se je dotaknil tako potresa, kot cunamija ter tudi problema varnosti jedrskih elektrarn in njihovih učinkov na okolje. V navezavi na zadnje naravne katastrofe so se vzpostavila tudi vprašanja povezana s tveganji. Temu je bil posvečen poseben kongresni simpozij s panelno razpravo »Kako lahko znanost pomaga pri soočanju družbe z novimi tveganji?«. Sicer nekoliko populističen naslov je podal izredno zanimiv pregled. V predavanjih in razpravi so bili združeni znanstveniki, ki se s tveganjem ukvarjajo po teoretični plati, praktiki, ki se ukvarjajo z modeliranjem tveganja in zavarovalni agenti. Ta simpozij je odražal zelo izrazito težnjo po sodelovanju naravoslovno inženirskih ved s humanistično družboslovnimi vedami, težnjo ki jo poudarjajo tudi številne mednarodne organizacije. Tako so bili nekateri sekcijski dogodki posvečeni prav skupnemu analiziranju in modeliranju obeh vidikov.

V luči potresov so bile nekoliko na stran potisnjene spremembe podnebja, kar je bila aktualna tema prejšnjih kongresov. Temu vprašanju je bilo posvečenih le pet skupnih dogodkov kongresa, med tem ko se je v posameznih disciplinarnih sekcijah zelo veliko predavanj vrtelo prav okoli teh vprašanj. Zanimivo je, da v znanstveni skupnosti narašča število skeptikov, ki sicer ne zanikajo trenutnih sprememb klime, vedno bolj in bolj pa opozarjajo na napačne koncepte razumevanja prihodnjega razvoja klime in njene predvidljivosti. V okviru letošnjega kongresa so organizatorji izpostavili tudi problematiko oskrbe Evrope z mineralnimi surovinami in obnovljivimi viri, kot je geotermalna energija.

Na kongresu je sodelovalo kar 28 % študentov, predvsem doktorandov, kar daje dogodku iz leta v leto večji ton. To se na žalost pozna tudi v kvaliteti prispevkov. Marsikatero predavanje je namenjeno sebi in kaže na pomanjkanje raziskovalne domišljije, tako pri podiplomcih, kot tudi pri nji-

hovich mentorjih. Med predstavljenimi predavanji smo bili priča nekaterim teoretičnim simulacijam naravnih procesov na izbranih testnih poligonih, kjer so bili ti predstavljeni le na kartah, brez enega samega izmerjenega terenskega podatka. Vede o Zemlji brez stika s kamninami in sedimenti? Pri tem gotovo ne gre za temeljno znanost, kot tudi ne za normalno znanost v Khunovem pomenu, temveč zgolj za opravičevanje obstoja nekaterih raziskovalnih skupin in pomembnosti njihovih vodij. Pri tem se seveda lahko vprašamo, kaj počno recenzenti teh projektov? Več kot očitno je, da gre za relativno zaprte kroge znotraj posameznih disci-

plinarnih ved, ki se zagovarjajo in podpirajo med seboj.

Kljub vsemu ostaja kongres Evropskega geoznanstvenega združenja pomemben dogodek, ki znova in znova pritegne. Čeprav gre za obilico dogodkov lahko kritičen opazovalec in poslušalec zlahka loči zrnje od plev ter tako pride v stik s pomembnimi znanstvenimi dosežki. Glede na bližino Dunaja pa čudi relativno slaba zastopanost slovenskih raziskovalcev. Kongres na Dunaju je priložnost za merjenje utripa na področju aktualnih raziskav in za vzpostavljanje mednarodnega sodelovanja, ki nam tako zelo manjka.

## 2. Trienalni simpozij Naravne nesreče v Sloveniji

Neodgovorna odgovornost

25. 03. 2011 Igu in 26. 03. 2011 Idrija

Mihael BRENČIČ

Oddelek za geologijo, NTF, UL, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana; e-mail: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si  
Oddelek za hidrogeologijo, Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana

V letošnjem letu je že drugič potekal simpozij Naravne nesreče, ki ga je organiziral Geografski inštitut Antona Melika v soorganizaciji Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje, Urada za seizmologijo in geologijo, Rudnika živega srebra Idrija, Geološkega zavoda Slovenije in Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Sestavljen je bil iz dveh dogodkov, dogodka posvečenega splošnim vidikom naravnih nesreč v Izobraževalnem centru RS za zaščito in reševanje na Igu in dogodka, posvečenega petstoti obletnici največjega potresa na Slovenskem, ki je znan tudi pod imenom Idrijski potres. Ta dogodek je spremljala tudi republiška vaja civilne zaščite Potres 2011.

Naravne nesreče so posledica številnih naravnih pojavov, ki se vezani na dogajanja v ozračju, na endogene zemeljske procese ali pa na kombinacijo teh dogodkov. Zaradi tega se z naravnimi nesrečami soočajo in ukvarjajo številne stroke, ki segajo tako na humanistično družboslovna polja, kot tudi na polja naravoslovja in tehnike. Tako je simpozij Naravne nesreče eden redkih znanstvenih in strokovnih dogodkov v Sloveniji, kjer razprava poteka ne le na interdisciplinarnem nivoju, temveč tudi na transdisciplinarni ravni. S tem dobiva simpozij tudi širši pomen, saj na svojevrsten način omogoča komunikacijo med sicer zelo raznovrstnimi strokami.

V zadnjih desetletjih smo priča rasti škod, ki so posledica naravnih nesreč, priča smo rasti števila in obsega naravnih nesreč, spreminja pa se tudi odpornost in odzivnost družbe na te dogodke. Če je prisotno bolj ali manj jasno izraženo soglasje o naraščanju povprečnih temperatur ozračja, so prisotna razhajanja o razumevanju ostalih spremljajočih pojavov. O tem, kaj je vzrok za naraščajoče trende ni splošnega znanstvenega in družbenega konsenza. Dežurni krivec za vse dogodke so podnebne spremembe. V kakšni meri so te spremembe posledica spremenljivosti klime in

v kakšni meri posledica človekovih vplivov, je še vedno pomemben del široko zasnovanih razprav. Vse te dileme so bile zelo jasno izražene tudi med prvim dnevom simpozija.

Prvi simpozijijski dan je bil sestavljen iz dveh sklopov. V prvi sklop lahko uvrstimo številna predavanja, v drugi sklop pa okroglo mizo. Predavanj je bilo preveč, da bi jih lahko vse poimensko naštehi. Razdelimo jih lahko v več skupin. Glavna, najbolj številčna skupina, se je vrtela okoli septembrskih poplav v letu 2010. Sledila jim je skupina predavanj o potresih in spremljajočih pojavih. Poleg teh predavanj so bila predstavljena še predavanja o geografskih vidikih naravnih nesreč, o plazovih, o sušah, o naravnih nesrečah v gozdovih in o modeliranju naravnih nesreč. Zaradi velikega števila predavanj, je trpel diskusijski vidik simpozija. Žal je potrebno tudi zapisati, da so bila nekatera predavanja, prav po akademsko, namenjena sama sebi.

Med predavanji je bila organizirana vodena okrogla miza, na katero so povabili številne eminentne strokovnjake. Beseda je tekla o strategijah prostorskega razvoja s stališča varstva pred naravnimi nesrečami, o odpornosti družbe na naravne nesreče, o družbeni učinkovitosti in razumevanju naravnih danosti in o izobraževanju. A razpravljalci so se vrteli okoli že znanih dejstev in ugotovitev ter ponavljali že večkrat povedano. Navkljub začetnemu naboju ni bilo jasno, kaj je bil cilj okrogle mize in kakšna je bila osrednja, ožja tema tega dogodka. Zavedanje o prisotnosti in problemu naravnih nesreč je prisotno, tega ni potrebno ugotavljati ponovno, problemi povezani z naravnimi nesrečami so vezani na razumevanje njihovega nastanka na zmanjševanje posledic in preventivo.

Drugi simpozijijski dan se je od prvega zelo razlikoval. Predavatelji so bili vabljeni in osredotočeni le na en sam dogodek, potres leta 1511. Dogodek imenovan tudi Anno Domini 1511, je potekal na

gradu Gewerkenegg v Idriji, po predavanjih pa sta ministra za okolje in prostor in ministrica za obrambo v muzeju odprla še istoimensko razstavo. Predavatelji so najmočnejši zgodovinski potres na Slovenskem predstavili iz več vidikov, tako naravoslovnega, kot tudi zgodovinskega. Po otvoritvenih govorih je Blaž Komac v uvodnem predavanju predstavil različne vidike naravnih nesreč. Sledilo je predavanje Ine Cečić in sodelavcev o novih dognanjih v zvezi s potresom. Predstavljena je bila natančna analiza številnih ohranjenih arhivskih virov iz tedanjega časa, tako iz območja Slovenije, kot tudi iz arhivov sosednjih držav. Dognanja, ki so bila predstavljena niso temeljila zgolj na zgodovinskih dejstvih, temveč so bila interpretirana tudi s seizmološkega vidika in umeščena v prostor. Tako smo tudi v Sloveniji dobili študijo naravnih pojavov iz preteklosti, ki svoje podatke črpa iz arhivskih virov, interpretira pa jih z naravoslovnimi orodji. Sledilo je predavanje zgodovinarja Matevža Koširja o takratnih kulturno zgodovinskih razmerah v širšem prostoru, ki je na zanimiv način osvetlilo družbeni kontekst v katerem se je potres zgodil in na posreden način tudi to, zakaj se je spomin na potres ohranil na način, kot ga poznamo danes. Tudi naslednje predavanje o Idriji v začetku 16. stoletja, ki ga je predstavil Rafael Bizjak, je bil zelo privlačno. Po naslovu sodeč bi pričakoval podrobno poročilo predvsem o zgodovinskih dejstvih, toda predavatelj nam je orisal razvoj naselja Idrija v prostorski simulaciji skozi katero je predstavil nastanek zapornega plazu pod Obločnikom, ki se je sprožil kot posledica potresa in ki je povzročil nastanek poplavnega jezera ter preplavitev velikega dela ozemlja današnje Idrije. Drugi del predavanj je imel večji poudarek na

naravoslovnih vidikih potresov. Jože Čar in Andrej Gosar sta predstavila geološki kontekst Idrijskega preloma in prve osnutke paleoseizmoloških analiz. V naslednjem predavanju je Mladen Živčič s sodelavci predstavil katalog potresov ob Idrijskem prelomu in seizmološko interpretacijo teh dogodkov. Sklepno predavanje Petra Suadolca je bilo posebno presenečenje. Strukturo Zemlje in nastanek potresov je predstavil skozi svojo filatelistično zbirko. Predavanje ni bilo zgolj predstavitev naravnih pojavov vezanih na potrese, ki so prikazani na poštnih znamkah, bilo je zanimivo predvsem zaradi načina, kako je predavatelj iz drobnih sličic in priložnostnih žigov uspel naplesti izredno zanimivo poljudnoznanstveno predavanje. Predavanj o Idrijskem potresu se je udeležilo veliko poslušalcev, domačinov iz Idrije, dvorana je kar pokala po šivih. Žal je bilo prisotnih le nekaj udeležencev simpozija prvega dne, ki so tako zamudili izreden kulturni in intelektualni dogodek.

Celoten simpozij Naravne nesreče je bil zelo dobro podprt tudi z gradivom. Že pred začetkom dogodka je organizatorjem uspelo pripraviti zbornik referatov prvega dne z naslovom Neodgovorna odgovornost, ki je izšel tako v tiskani obliki, kot tudi na elektronskem nosilcu. Hkrati s tem je izšla tudi posebna številka Idrijskih razgledov, ki so v celoti posvečeni na simpoziju predstavljenim dognanjem o Idrijskem potresu. Udeležence so organizatorji založili tudi z nekaterimi drugimi tiskovinami. Simpozij Naravne nesreče je bil organiziran zgledno, za kar gre organizatorjem in soorganizatorjem vsa pohvala. Upajmo, da bo tudi naslednji simpozij, čez tri leta, prav tako intelektualno izzivalen, kot je bil tokratni.

## Letna skupščina Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko

Polona VREČA

Institut "Jožef Stefan", Odsek za znanosti o okolju, Jamova cesta 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenija;  
e-mail: polona.vreca@ijs.si

V Ljubljani je 27. januarja 2011 na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo potekala redna letna skupščina Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko (SZGG), v okviru katere je bilo organizirano tudi strokovno srečanje z naslovom »Raziskave s področja geodezije in geofizike – 2010«. Srečanja se je udeležilo 27 članov SZGG.

Na letošnji skupščini so bila najprej podeljena priznanja in sicer, S. Petanu iz področja hidrologije in J. Rošerju iz področja seizmologije (<http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/>). Sledilo je kratko poročilo predsednika združenja J. Rakovca. Sekcije v okviru združenja povezujejo zelo različne profile strokovnjakov od hidrologov, seizmologov, geologov, oceanografov, meteorologov do geodetov, kar nakazuje na interdisciplinarnost združenja. Zato so bila v skladu z najavo na skupščini januarja 2010, tekem leta 2010 organizirana štiri predavanja in sicer: P. Suhadolca o seizmologiji naše bližnje okolice, B. Grisogona o mehanizmih

burje, D. Koracina o modeliranju transporta atmosferskih polutantov ter J. Rakovca o močnih in dolgih nalivih, ki so se zgodili tudi jeseni 2010 in povzročili v Sloveniji obsežne poplave. Organizacija takšnih predavanj je zaželena tudi v bodoče, saj omogoča boljše spoznavanje problematike, s katero se ukvarjajo člani posameznih sekcij.

V okviru združenja deluje sedem sekcij, ki jih vodijo M. Kobold (Sekcija za hidrologijo), A. Gosar (Sekcija za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje), P. Kralj (Sekcija za vulkanologijo in kemijo Zemlje), V. Malačič (Sekcija za oceanografijo), N. Žagar (Sekcija za meteorologijo), B. Stopar (Sekcija za geodezijo) in R. Čop (Sekcija za geomagnetizem). Vodje posameznih sekcij so podali kratka poročila o delu v preteklem letu, ki so dostopna tudi na <http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/>.

Sledilo je strokovno srečanje, na katerem je osem predavateljev predstavilo svoje raziskovalno delo. S. Šebela nam je predstavila klimatske



značilnosti Postojnskega jamskega sistema. Sledili sta predstavitvi rezultatov raziskav za kate-re sta bili podeljeni priznanji SZGG. Iz področja seizmologije nam je J. Rošer predstavil rezultate raziskav vpliva lokalne geološke zgradbe na potresno nihanje tal na območju Ljubljane z metodami analize mikrotremorjev, A. Horvat pa zaradi odsotnosti predavatelja predstavila delo S. Petana o prostorski porazdelitvi erozivnosti padavin v Sloveniji, za katero je prejel priznanje iz področja hidrologije. Sledilo je predavanje R. Čopa o gradnji geomagnetnega observatorija pod Sinjim vrhom nad Ajdovščino in problemih, ki so se ob tem pojavili. Nadalje je J. Rakovec predaval o uporabi

vesoljskih tehnologij v zemeljskih aplikacijah in uporabi satelitskega daljinskega zaznavanja za napovedovanje in opazovanje poplav, N. Žagar pa je predstavila, kaj vse za potrebe napovedovanja in opazovanja vremena in klime merimo s sateliti ter izzive regionalnega klimatskega modeliranja.

Med člani SZGG je kar nekaj geologov, napisano pa bo morda pritegnilo še koga, saj gre dejansko za zelo interdisciplinarno združenje, katerega delovanje zajema precej področij geologije.

Več informacij o združenju in njegovem delovanju je dostopnih na: <http://www.fgg.uni-lj.si/sugg/>

## Predstavitve Slovenskega geološkega društva in letno poročilo za leto 2010

Timotej VERBOVŠEK

Oddelek za geologijo, NTF, UL, Aškerčeva 12, SI-1000 Ljubljana; e-mail: timotej.verbovsek@ntf.uni-lj.si

Slovensko geološko društvo (Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana) je strokovno združenje slovenskih geologov. Ustanovljeno je bilo leta 1951 in povezuje raziskovalce, učitelje, druge poklicne geologe in ljubitelje stroke. Njegov cilj je napredek znanosti in prakse na področju vseh vej geologije. Društvo zato prireja javna predavanja, strokovne ekskurzije, razstave in znanstvene sestanke, skrbi za popularizacijo geologije in za vključevanje geoloških ved v osnovnošolske in srednješolske učne programe. Sodeluje pri prizadevanjih za varstvo okolja in pri izdelavi zakonskih aktov in normativov s področja geologije. Sodeluje tudi z drugimi strokovnimi društvi v Sloveniji in tujini in je vključeno v mednarodne organizacije: Mednarodno združenje za geološke znanosti (IUGS), Evropsko zvezo geologov (EFG), Mednarodno mineraloško zvezo (IMA), ProGeo. V okviru društva deluje pet sekcij; *sekcija za geokemijo* (predsednica Mateja Gosar), *sekcija za sedimentarno geologijo* (predsednik Bojan Otoničar), *sekcija za mineralogijo* (predsednica Meta Dobnikar), *sekcija za geološko dediščino* (predsednica Martina Stupar) in *študentska sekcija* (predsednik Klemen Černič). Društvo sestavlja ožji izvršni odbor (predsednik Timotej Verbovšek, podpredsednica Nadja Zupan Hajna, tajnica Mirjam Vrabc, blagajničarka Bernarda Bole, Boštjan Rožič, Vladimir Vukadin, Suzana Fajmut Štrucelj, Bojan Režun, Matevž Novak), razširjeni izvršni odbor (predsedniki sekcij), nadzorni odbor (Špela Goričan, Franci Čadež, Bojan Ogorelec) in častno razsodišče (Katica Drobne, Dragica Turnšek, Pavle Florjančič).

Slovensko geološko društvo za uresničitev svojega cilja opravlja naslednje aktivnosti:

- povezovanje raziskovalnega, strokovnega in vzgojno-izobraževalnega dela na področju vseh vej geoloških ved in sorodnih strok,
- popularizacijo geoloških ved s pomočjo poljudnih člankov, z organizacijo ekskurzij, poletnih taborov, izdajanjem razglednic in brošur z geološko vsebino,

- sodelovanje z upravnimi službami in organi pri izdelavi zakonskih aktov ter pravnih in tehničnih normativov in pri drugih strokovnih vprašanjih z navedenih področij,
- sodelovanje z univerzami, raziskovalnimi organizacijami, javnimi ustanovami in zavodi, s podjetji in z osebami, katerih dejavnost sega na strokovno področje različnih vej geoloških ved,
- sodelovanje z drugimi strokovnimi društvi v Sloveniji in v tujini, ki delujejo na področju različnih vej geoloških ved,
- sodelovanje z mednarodnimi organizacijami; predvsem z Mednarodno zvezo geoloških društev (IUGS), Zvezo evropskih geoloških društev (AEGS), IUGS pridruženimi specializiranimi mednarodnimi strokovnimi zvezami in z drugimi sorodnimi nacionalnimi ali mednarodnimi strokovnimi organizacijami in društvi,
- sodelovanje pri prizadevanjih za varstvo okolja,
- obveščanje članov in širše javnosti v okviru možnosti z:
  - informacijami o najnovejših dosežkih znanosti in stroke,
  - organizacijo strokovnih seminarjev, simpozijev, kongresov in drugih znanstvenih sestankov, s področja delovanja društva,
  - organizacijo javnih predavanj, s področja delovanja društva,
  - organizacijo strokovnih ekskurzij,
  - publiciranjem v sredstvih javnega obveščanja, o pereh strokovnih in organizacijskih vprašanjih,
  - izdajanjem tiskanih Obvestil društva in drugih izdaj nekomercialnega značaja.

Redni član društva lahko postane vsak, ki se poklicno ali kako drugače ukvarja z vsaj eno od vej geoloških ved in s svojim raziskovalnim, strokovnim, pedagoškim ali ljubiteljskim delom in ki z

drugimi aktivnostmi prispeva k razvoju geoloških ved in z njimi povezanih strok. Častni člani lahko postanejo posamezniki, ki so pomembno prispevali k razvoju geoloških ved v Sloveniji in v mednarodnem prostoru. Častni člani ne plačujejo članarine. Pridruženi člani so fizične osebe, ki se ljubiteljsko ukvarjajo z zbiranjem mineralov in fosilov ali se drugače zanimajo za geologijo. Podporni člani so fizične in pravne osebe, ki finančno podpirajo delovanje društva, lahko sodelujejo na sejah skupščine, vendar nimajo pravice odločanja. Za **včlanjenje v društvo** je treba predložiti pisno pristopnico (dostopna na spletni strani), s katero se posameznik zaveže, da bo deloval v skladu s statutom in plačeval članarino. Članarina za leto 2011 za člane znaša 15 EUR, za študente 5 EUR. Izpolnjeno pristopnico s potrdilom o plačilu pošljite na naslov društva (Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana). Več informacij o društvu je dostopnih na spletni strani <http://www.geolosko-drustvo.si/>

V preteklih letih je društvo delovalo v skladu z določili društva in s programom dela, ki je sprejet na IO društva za vsako koledarsko leto posebej. Del zastavljenega programa s skupščine SGD v Idriji dne 26. 09. 2006 je bil realiziran, nekaj nalog pa nam še ni uspelo izvesti. Izvedeni so bili naslednji dogodki:

**Strokovna predavanja.** Namen predavanj na SGD je, da se slovenski geologi srečamo, predstavimo svoje strokovno delo na zelo različnih področjih geologije (sedimentologija, stratigrafija, paleontologija, mineralogija, petrologija, geochemija, hidrogeologija, inženirska geologija, GIS, ...) in razpravljamo o novih idejah ter o naši vpetosti v svetovne geološke tokove. Z rednimi predavanji na društvu smo začeli jeseni 2009 in z njimi smo nadaljevali v letu 2010 in 2011. V letu 2010 so bila izvedena naslednja predavanja:

1. *Geološka karta idrijsko-cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami 1 : 25.000* (prof. dr. Jože Čar, 13. 1. 2010).
2. *Srednjemiocenski nanoplankton iz Slovenskih goric: paleoekologija in paleogeografija* (dr. Miloš Bartol, 10. 2. 2010).
3. *Pohorski magmatizem kot miocenska pri-panonska intruzija* (Mirka Trajanova, 17. 3. 2010).
4. *Predstavitev karte verjetnosti pojavljanja zemeljskih plazov in karte podvrženosti pojavljanju drobirskih tokov* (doc. dr. Marko Komac, 7. 4. 2010).

5. *Pogled na kraški rob* (dr. Ladislav Placer, 12. 5. 2010).

6. *Heavy Metal Contamination, their Risk Assessment and Bioremediation in Korea* (dr. Hyo-Taek Chon, 8.12.2010).

**Strokovna ekskurzija.** Dne 24. 4. 2010 je bila organizirana strokovna ekskurzija v *Dovžanovo sotesko* pod vodstvom dr. Matevža Novaka.

**Organizacija kongresov in ostalih dogodkov.** Glavni dogodek v letu 2010 je bil vsekakor 3. slovenski geološki kongres, ki je potekal v času od 16. 9. do 18. 9. 2010 v Bovcu. Kongres je bil uspešen, saj se je dogodka udeležilo 119 udeležencev, izvedeni sta bili dve uvodni predavanji, 58 rednih predavanj, predstavljenih je bilo 56 posterjev, ob katerih so potekale številne strokovne diskusije. Zaradi velikega števila udeležencev so bila predavanja izvedena v dveh vzporednih sekcijah na dveh lokacijah. V času kongresa so bile 16. 9. in 18. 9. organizirane štiri strokovne ekskurzije v bližnjo okolico Bovca.

#### Za leto 2011 so načrtovane naslednje aktivnosti društva:

Predvidena so *strokovna predavanja* o indikatorjih morske gladine v karbonatih (Blaž Miklavčič), o pridobitvi naziva Evrogeolog o Evropski federaciji geologov (dr. Slavko Šolar, asist. dr. Uroš Herlec, predsednica EFG mag. Ruth Allington), o zaščiti geološke naravne dediščine (Sekcija za geološko dediščino), o XRF analitski tehniki na OG NTF (doc. dr. Matej Dolenc in dr. Nastja Rogan Šmuc) ter o nedestruktivni metodi za raziskovanje materialov RAMAN (dr. Sabina Kramar). Od *srečanj in prireditev* so predvideni organizacija okrogle mize na temo vključevanja geoloških vsebin v programe osnovnih in srednjih šol, posvetovanje o kvartarni geologiji Slovenije ter predstavitev SGD ob 60-letnici društva na posvetovanju slovenskih geologov. Predvidena je izvedba *strokovne ekskurzije* na Potočko zijalko in Olševo. Od ostalih aktivnosti je bilo sprejeto, da se v bodoče letno poročilo o delovanju SGD za minulo leto objavi v prvi številki revije *Geologija*, s Slovensko inženirsko zvezo oz. z Zvezo strojnih inženirjev Slovenije pa je se je pričelo sodelovanje v zvezi z projektom HE na srednji Savi.

Ker jedro društva tvorijo njegovi člani, pozivam vse izmed njih k večji aktivnosti, izvedbi predavanj in ekskurzij ter seveda k spodbujanju debat in reševanju odprtih problemov slovenske geologije.

## 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 (Introduction, Methods, Results, And Discussion).

#### Pregledni znanstveni članek

Pregledni znanstveni članek je pregled najnovejših del o določenem predmetnem področju, del posameznega raziskovalca ali skupine raziskovalcev z namenom povzemanja, analiziranja, evalvirati ali sintetizirati 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 v slikah 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, *Galearanella 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, 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.

### 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](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](mailto:bernarda.bole@geo-zs.si) ali [urednik@geologija-revija.si](mailto: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 (Introduction, Methods, Results, And Discussion).

#### *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 *Chlypeaster 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, L.J. 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote – Kredne in paleogene 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](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](mailto:bernarda.bole@geo-zs.si) or [urednik@geologija-revija.si](mailto:urednik@geologija-revija.si)

The Editorial Office







- 13 Radoičić, R., Jurkovšek, B. & Jovanović, D.  
*Clypeina teakolarae* sp. nov., a dasycladalean alga from Lower Eocene of Rakitovec (Čičarija, Slovenia)
- 31 Teršič, T.  
SEM/EDS analysis of soil and roasting vessels fragments from ancient mercury ore roasting sites at Idrija area
- 41 Oblak Brown, K.  
Badenian Pappinidae and Uvigerinidae from the South-western margin of the Pannonian Basin (Eastern Slovenia)
- 55 Kanduč, T.  
Characterisation of suspended matter in river systems: River Sava in Slovenia case study
- 65 Brenčič, M.  
Praktični napotki za ugotavljanje ponikalnih sposobnosti tal
- 81 Kolar-Jurkovšek, T.  
Latest Triassic conodonts of the Slovenian Basin and some remarks on their evolution
- 91 Kolar-Jurkovšek, T., Hrvatović, H., Skopljak, F. & Jurkovšek, B.  
Devonian conodonts from the Foča–Prača Paleozoic complex (Durmitor Nappe, southeastern Bosnia and Herzegovina)
- 97 Markič, M., Turk, V., Kruk, B. & Šolar, S. V.  
Premog v Murski formaciji (pontij) med Lendavo in Murskim Središčem ter v širšem prostoru SV Slovenije
- 121 Turk, J.  
Ugotavljanje sedimentacijskih vrzeli v jamskih sedimentih – primer iz jame Divje babe I (Slovenija)
- 129 Vreča, P., Krajcar Bronić, I. & Leis, A.  
Isotopic composition of precipitation in Portorož (Slovenia)