

RMZ

MATERIALS and GEOENVIRONMENT

MATERIALI in GEOOKOLJE



RMZ – M&G, **Vol. 61**, No. 2–3
pp. 75–208 (2014)

Ljubljana, November 2014

RMZ – Materials and Geoenvironment

RMZ – Materiali in geookolje

ISSN 1408-7073

Old title/Star naslov

Mining and Metallurgy Quarterly/Rudarsko-metalurški zbornik
ISSN 0035-9645, 1952–1997

Copyright © 2014 RMZ – Materials and Geoenvironment

Published by/Izdajatelj

Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana/
Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

Associated Publisher/Soizdajatelj

Institute for Mining, Geotechnology and Environment, Ljubljana/
Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje
Velenje Coal Mine/Premogovnik Velenje

Editor-in-Chief/Glavni urednik

Peter Fajfar

Guest Editor/Gostujoči urednik

Boštjan Rožič

Editorial Manager/Odgovorni urednik

Jakob Likar

Editorial Board/Uredniški odbor

Vlasta Čosović, Sveučilište u Zagrebu
Evgen Dervarič, Univerza v Ljubljani
Meta Dobnikar, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
Jan Falkus, Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie
Aleksandar Ganić, Univerzitet u Beogradu
Borut Kosec, Univerza v Ljubljani
Jakob Likar, Univerza v Ljubljani
David John Lowe, British Geological Survey
Ilija Mamuzić, Sveučilište u Zagrebu
Milan Medved, Premogovnik Velenje
Peter Moser, Montanuniversität Leoben
Primož Mrvar, Univerza v Ljubljani
Heinz Palkowski, Technische Universität Clausthal
Daniele Peila, Politecnico di Torino
Sebastiano Pelizza, Politecnico di Torino
Jože Ratej, Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje v Ljubljani
Andrej Šmuc, Univerza v Ljubljani
Milan Terčelj, Univerza v Ljubljani
Milivoj Vulić, Univerza v Ljubljani
Nina Zupančič, Univerza v Ljubljani
Franc Zupanič, Univerza v Mariboru

Editorial Office/Uredništvo

Secretary/Tajnica Ines Langerholc
Technical Editor/Tehnična urednica Helena Buh
Editor of website/Urednik spletne strani Timotej Verbovšek

Editorial Address/Naslov uredništva

RMZ – Materials and Geoenvironment
Aškerčeva cesta 12, p.p. 312
1001 Ljubljana, Slovenija
Tel.: +386 (0)1 470 45 00
Fax.: +386 (0)1 470 45 60
E-mail: rmz-mg@ntf.uni-lj.si

Linguistic Advisor/Lektor

Jože Gasperič

Design and DTP/Oblikovanje, prelom in priprava za tisk

IDEJA za ITGTO

Print/Tisk

Birografika BORI, d.o.o.
Printed in 200 copies./Naklada 200 izvodov.

Published/Izhajanje

4 issues per year/4 številke letno

Partly funded by Ministry of Education, Science and Sport of Republic of Slovenia./Pri financiranju revije sodeluje Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport Republike Slovenije.

Articles published in Journal "RMZ M&G" are indexed in international secondary periodicals and databases:/Članki, objavljeni v periodični publikaciji „RMZ M&G“, so indeksirani v mednarodnih sekundarnih virih: Civil Engineering Abstracts, CA SEARCH® – Chemical Abstracts® (1967–present), Materials Business File, Inside Conferences, ANTE: Abstract in New Technologies and Engineering, METADEX®, GeoRef, CSA Aerospace & High Technology Database, Aluminium Industry Abstracts, Computer and Information Systems, Mechanical & Transportation Engineering Abstracts, Corrosion Abstracts, Earthquake Engineering Abstracts, Solid State and Superconductivity Abstracts, Electronics and Communications Abstracts.

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

Annual subscription for individuals in Slovenia: 16.69 EUR, for institutions: 22.38 EUR. Annual subscription for the rest of the world: 20 EUR, for institutions: 40 EUR/Letna naročnina za posameznike v Sloveniji: 16,69 EUR, za inštitucije: 33,38 EUR. Letna naročnina za tujino: 20 EUR, inštitucije: 40 EUR.

Current account/Tekoči račun

Nova ljubljanska banka, d.d., Ljubljana: UJP 01100-6030708186

VAT identification number/Davčna številka
24405388

Online Journal/Elektronska revija

www.rmz-mg.com

Table of Contents

Kazalo

Ob 90-letnici prof. dr. Valerije Osterc Nina Zupančič	77
Merilni nadzor lebdečih plavin v reki Dravi Monitoring of suspended load in the Drava river Bojana Dolinar	79
Uporaba lehnjakov v paleotermometriji: primer iz Nacionalnega parka Krka, Hrvaška Palaeothermometry in tufa: a case study from the Krka National Park, Croatia Sonja Lojen, Matej Dolenc, Neven Cukrov	87
Vrednotenje slovenskih glinišč glede na njihovo perspektivnost Evaluation of clay deposits in Slovenia referring to their prospects Duška Rokavec	97
Akademik prof. dr. Mario Pleničar – devetdesetletnik Vasja Mikuž	105
Composition and importance of Upper Triassic (Upper Ladinian – Lower Carnian) breccia in stratigraphy of External Dinarides Sestava in pomen zgornje triasnih (zgornje ladinjskih – spodnje karnijskih) breč v stratigrafiji Zunanjih Dinaridov Luka Gale, Dragomir Skaberne	107
Ostanka hipuritov z Nanosa The hippuritids remains from Nanos Mountain, Slovenia Vasja Mikuž, Aleš Šoster	125
Kredna rudistna školjka iz Rogoznice v Dalmaciji na Hrvaškem Cretaceous rudist bivalve from Rogoznica in Dalmatia, Croatia Vasja Mikuž, Aleksander Horvat	129
Osemdeset let življenja in dela profesorice dr. Vide Pohar Irena Debeljak	135
Sledi uporabe na kamenih orodjih iz najdišča Pupičina peč Use-wear analysis of stone tools from Pupičina peč Simona Petru	137
Lost in time? Repatriated animal remains from Anelli's excavations at Betalov spodmol (SW Slovenia). Izgubljeni v času? Živalski ostanki z Anellijevih izkopavanj v Betalovem spodmolu pri Postojni Borut Toškan, Janez Dirjec, Alma Bavdek	141
Prispevek Divjih bab I k poznanju paleolitika in z njim povezanega znanja Contribution of Divje babe I excavations to palaeolithic research Ivan Turk	157
Ob 70-letnici prof. dr. Jerneja Pavšiča Boštjan Rožič	165
Some Early Jurassic brachiopod faunas from Slovenia Nekaj spodnjejurskih brahiopodnih favn iz Slovenije Katarina Pavla Anko	167
Palaeoecological changes through the Sarmatian based on calcareous nannofossils of North Croatia, Central Paratethys Paleoekološke spremembe v sarmatiju, temelječe na apnenčastih nanofosilih severne Hrvaške, centralna Paratetida Ines Galović	177

Ostanki zob piknodontnih rib (Actinopterygii, Pycnodontidae) iz krednih plasti Mrzleka pri Solkanu (Slovenija)	183
Pycnodont fishes teeth (Actinopterygii, Pycnodontidae) from Cretaceous site Mrzlek (Solkan, Slovenia)	
Matija Križnar	
Ammonites from Mt Koblja (Julian Alps, NW Slovenia) and their significance for precise dating of Pliensbachian tectono-sedimentary event	191
Amoniti s Koble (Julijske Alpe, SZ Slovenija) in njihov pomen pri natančnem datiranju pliensbachijskega tektonsko-sedimentarnega dogodka	
Boštjan Rožič, Federico Venturi, Andrej Šmuc	

Foreword

The University of Ljubljana is slowly but surely approaching a respectable jubilee – a hundred anniversary of its founding. The Department of Geology, which has been active since 1919 when the teaching of geological subjects began at the newly founded university, is also approaching the same honorable anniversary. Our department has witnessed many years of scientific, professional and pedagogical challenges. Today the department counts around 170 students and 27 pedagogic and other workers. All this would not be possible without those who were here before us, our professors and mentors who helped us pioneer in science and pedagogy. With their work, our professors have made an important contribution to the development of geological science in Slovenia and paved the way for present generation of Slovene geologists.

With the issue of RMZ – Materials and Geoenvironment Journal that is before you, the members of the Department of Geology pay respect to our professors during the week of the University of Ljubljana. Before us is an issue that is a modest tribute to the teaching and scientific contribution of Prof. Dr. Valerija Osterc, Prof. Dr. Mario Pleničar, Prof. Dr. Vida Pohar and Prof. Dr. Jernej Pavšič. These people we celebrate worked in very broad fields of geological science, from mineralogy, petrology, stratigraphy, regional geology, paleontology to Quaternary geology. This makes this issue interesting and diverse, as are the results of their work.

On behalf of the department, I would like to thank all contributors who kindly responded and thus honored an important anniversary of their teachers and mentors. Thanks also go to the journal's editor who invested a great deal of energy and time into its preparation. Last but not least, thanks go to the editorial board of RMZ – Materials and Geoenvironment Journal that listed the issue dedicated to our professors into their program. With this gesture they expressed not only respect for our professors and their work, but have also contributed to the reach scientific production of the department and Slovenian geological profession as a whole.

Assoc. Prof. Dr. Mihael Brenčič
Head of the Department of Geology

Predgovor

Univerza v Ljubljani se počasi, a zanesljivo približuje častitljivemu jubileju – stoti obletnici ustanovitve. Tej častitljivi obletnici se z enakimi koraki približuje tudi Oddelek za geologijo, ki deluje v različnih organizacijskih oblikah že od leta 1919, ko se je na novo ustanovljeni univerzi začelo poučevanje geoloških predmetov. Za našim oddelkom so dolga leta različnih znanstvenih, strokovnih in ne nazadnje pedagoških izzivov. Danes na oddelku študira nekaj več kot 170 študentov, za katere skrbi 27 pedagogov in drugih sodelavcev. A vsega tega ne bi bilo, če nam poti ne bi utirali naši prednamci, naši profesorji in mentorji, ki so nam pomagali zaorati znanstveno in pedagoško ledino. Naši profesorji so s svojim delom pomembno prispevali k razvoju in napredku slovenske geološke znanosti in šole ter utrli pot sedanjim aktivnim generacijam slovenskih geologov. S številko revije RMZ – Materiali in geokolje, ki je pred vami, se člani Oddelka za geologijo v tednu Univerze v Ljubljani poklanjamo častitljivim jubilejem naših profesorjev. Pred nami je zbornik, ki je skromen poklon učiteljskemu in znanstvenemu prispevku prof. dr. Valerije Osterc, prof. dr. Maria Pleničarja, prof. dr. Vide Pohar in prof. dr. Jerneja Pavšiča. Slavljenci so v času svojega dela na oddelku delovali na zelo širokih področjih geološke znanosti: od mineralogije, petrologije, stratigrafije, regionalne geologije, paleontologije pa vse do geologije kvartarja. Zaradi tega je zanimiv in pester tudi zbornik, kot so pestri rezultati njihovega dela.

V imenu oddelka se želim zahvaliti tudi vsem avtorjem prispevkov, ki so se prijazno odzvali in s tem počastili pomembno obletnico svojih učiteljev in mentorjev. Prav tako velja zahvala uredniku zbornika, ki je v njegovo pripravo vložili nemalo energije in časa. Ne nazadnje velja zahvala tudi uredništvu revije RMZ – Materiali in geokolje, ki je zbornik, posvečen našim jubilarantom, uvrstilo v svoj program. S tem so vsi skupaj izrazili ne le spoštovanje do jubilarantov in njihovega dela, temveč so s svojimi prispevki prispevali k bogati znanstveni produkciji oddelka in slovenske geološke stroke v celoti.

Izr. prof. dr. Mihael Brenčič
predstojnik Oddelka za geologijo

Ob 90-letnici prof. dr. Valerije Osterc

Nina Zupančič

Prof. dr. Valerija Osterc, univ. dipl. inž. geol., se je rodila 10. maja 1924 v Žlebiču pri Ribnici. V Ljubljani je najprej obiskovala nižjo gimnazijo in kasneje državno učiteljsko. Na ljubljanski univerzi se je leta 1947 vpisala na mineraloško-petrografsko smer Geološkega oddelka Filozofske fakultete. Že kot študentka je sodelovala pri pedagoškem delu, po diplomi leta 1954 pa je bila imenovana za redno asistentko. Zaradi političnih razmer je izgubila službo na ljubljanski univerzi in se 1958 zaposlila na Geološkem zavodu, kjer je vodila kartiranje Pomurja in Slovenskih goric. Na Zavodu za avtomatizacijo je 1960 začela raziskovati elektrotehnično keramiko.

V želji po širjenju znanja in spoznavanju novih tehnologij s področja nekovin se je leta 1963 vpisala na Rensko-westfalsko tehniško visoko šolo v Aachnu, kjer je kljub zelo težkim življenjskim razmeram uspešno študirala. Doktorsko nalogo, v kateri se je posvetila preučevanju reakcij med cirkonom in aluminotermičnimi žlindrami, je končala leta 1967 z odlično oceno in zanjo dobila Borchersovo plaketo. Po vrnitvi v domovino je na Zavodu za avtomatizacijo in Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij nadaljevala raziskave elektrotehnične in gradbene keramike.

Leta 1970 se je s habilitacijo v naziv docente vrnila na ljubljansko univerzo. Znanje, pridobljeno v tujini in praksi, ji je omogočilo, da je na Odseku za geologijo odprla popolnoma nova področja uporabne geologije. Uvedla je predmete Tehnična mineralogija, Preiskovalne metode v mineralogiji in Preiskava nekovinskih mineralov. Zasnovala in vodila je prenovi prostorov, uredila laboratorij za mikroskopijo in bila zaslužna za nakup rentgenskega difraktometra. Seminar o rentgenskem preiskovanju kristalnih snovi, ki ga je izvedla leta 1977, je obiskalo več kot 30 podiplomskih študentov iz

vse Slovenije. Zavedala se je pomena pretoka znanja iz tujine v domovino in organizirala izmenjavo slovenskih študentov geologije s študenti beloruske univerze v Minsku. Leta 1977 je postala izredna in 1984 redna profesorica. Leta 1982 je prevzela predavanja Kristalografije, Mineralogije in Petrologije. Prof. Osterčeva je bila mentorica 21 diplomantom, štirim magistrantom in enemu doktorandu.

Med letoma 1979 in 1981 je bila predstojnica Odseka za geologijo in od 1982 do 1986 delegatka v skupščini SR Slovenije. Leta 1988 se je upokojila.

Strokovno in znanstveno delo prof. Valerije Osterc je izredno široko. Raziskovala je gline, boksite, manganove minerale, nekovinske izdelke, sekundarne surovine, mikrostrukture ter arheološko keramiko. Svoje dosežke je predstavila na več domačih in mednarodnih srečanjih, v 17 znanstvenih in strokovnih sestavkih ter številnih poročilih. Za Rudarsko-geološko-metalurški zbornik je prispevala več kot 80 ocen novih inozemskih knjig. V revijo Proteus je redno pisala članke s področja mineralogije ter o geoloških zanimivostih predavala na Radiu Ljubljana.

Znanje, ki smo ga študentje pridobili pri predavanjih profesorice Osterčeve je bilo trden temelj za nadaljnje delo. Čeprav so bile nekatere teme precej zahtevne, jih je s svojim pedagoškim prijemom znala približati sluшатeljem. Njena predavanja so bila sistematična, jasna in razumljiva. Ni se zadovoljila z nizanem dejstev, temveč nam je znala pokazati, kako znanje povezovati ter ga uporabiti v praksi. Zagotovo nam je vsem ostala v spominu tudi njena skrb za pravilno izražanje in lep slovenski jezik. Ob visokem jubileju se prof. Osterčevi njeni študentje ter Oddelek za geologijo zahvaljujemo za vse njeno delo ter ji iskreno čestitamo!

Merilni nadzor lebdečih plavin v reki Dravi

Monitoring of suspended load in the Drava river

Bojana Dolinar

Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Smetanova ul. 17, 2000 Maribor, Slovenija

Vodilni avtor. E-mail: bojana.dolinar@um.si

Izvleček

V prispevku so prikazani rezultati merilnega nadzora lebdečih plavin v reki Dravi, ki ga je izvajala Fakulteta za gradbeništvo Univerze v Mariboru v okviru različnih projektov med letoma 2005 in 2013. Lebdeče plavine v vodotokih so delci, ki zaradi turbulence lebdiijo v vodi. Pri zmanjšani hitrosti vode se del teh delcev posede na dno struge oziroma, v primeru reke Drave, akumulacijskih jezer pred hidroelektrarnami, kar je velika težava. Za napovedovanje količine teh usedlin, njihovo odstranjevanje in nadaljnjo uporabo je treba poznati koncentracije lebdečih delcev v vodi, njihovo zrnnavost-no sestavo in vrsto. V prispevku so prikazani rezultati meritev navedenih parametrov na območju reke Drave med Labodom in Mariborom.

Ključne besede: rečni sedimenti, lebdeče plavine, vsebnost suspendiranih snovi, zrnnavost, mikro-organizmi

Abstract

This paper presents the results of suspended load monitoring in the Drava River performed by the Faculty of Civil Engineering, University of Maribor. Monitoring was held in the framework of various projects between 2005 and 2013. Suspended load in streams represent particles which floating in the water due to turbulence. In the case of a lower velocity of the water a part of these particles can settle to the bottom of the stream bed or reservoirs prior to hydropower plants. In case of the Drava River this represents a big problem. For forecasting the quantities of these sediments, their removal and subsequent use, it is necessary to know the quantities of suspended particles in the water, their grain size distribution and type. This paper presents the results of measurements of the mentioned parameters in the Drava River between Labod and Maribor.

Key words: fluvial sediments, suspended load, content of suspended solids, grain size distribution, micro-organisms

Uvod

Lebdeče plavine v vodotokih so delci, ki zaradi turbulence lebdiijo v vodi, njihova hitrost premeščanja pa je večinoma enaka hitrosti vodnega toka. Pri manjših hitrosti vode se del suspendiranih delcev posede na dno^[1]. Lebdeče plavine sestavljajo pretežno anorganski delci preperine velikosti melja in gline, ki jo reke in njihovi pritoki zaradi erozijskega delovanja odnašajo in premeščajo, ter organske snovi, kot so organski drobci, fitoplankton, zooplankton, bakterije in glive ter snovi, ki jih vnaša človek s svojim delovanjem. Poleg tega se v vodah nahajajo tudi neusedljive snovi, kot so raztopljene, koloidne in plavajoče snovi.

Koncentracije lebdečih anorganskih delcev se v vodah neprestano spreminjajo predvsem v odvisnosti od razpoložljivosti erodiranih materialov, količine padavin in pretokov vode. Delež organskih snovi je odvisen predvsem od fizikalno-kemičnih lastnosti vode. Spremljanje količin, vrst in velikosti lebdečih delcev je ključnega pomena za ugotavljanje korelacij med pretoki oziroma hitrostjo vode in količinami lebdečega materiala, za modeliranje gibanja teh snovi v strugah vodotokov ter določitev mehanizmov njihovega usedanja in dviganja.

Čeprav obstajajo številne metode, ki omogočajo neposredno ali posredno merjenje koncentracij lebdečih plavin, pa ostaja to še vedno zelo kompleksen problem. Razlog je, da se koncentracije hitro spreminjajo tako v prečnih prerezi kot globinah vodotokov, kar pomeni, da je treba za optimalen zajem podatkov uporabiti metode, ki v primernih časovnih intervalih merijo te parametre v ustreznih rastrih preko prečnih prerezov strug.

Pri neposrednih (direktnih) metodah določevanja koncentracij suspendiranih delcev se odvzemajo vzorci vode, ki se kasneje analizirajo v laboratoriju. Odvzem vzorcev je lahko ročen, pri čemer se steklena merilna posoda potopi v vodo, ali samodejni, kjer se posoda med poplavnim valom napolni sama. Lahko se vzorčuje tudi avtomatsko s črpanjem vode. V vseh teh primerih obstaja velika nevarnost, da zajemi vzorcev niso izokinetični. Da bi se izognili temu, se priporoča uporaba hidrodinamično oblikovanih vzorčevalnikov z nastavki ustreznih oblik. Direktne metode so preverjene

in omogočajo določitev tako koncentracij kot zrnivosti in sestave lebdečih delcev, prav tako pa tudi drugih kemičnih in bioloških parametrov vode. Mnogokrat se te metode uporabljajo za umerjanje in kontrolo rezultatov preiskav, pridobljenih s posrednimi metodami. Največja pomanjkljivost neposrednih metod je, da rezultati zaradi potrebnih laboratorijskih analiz niso znani takoj, obstaja pa tudi velika možnost nezokinetičnega vzorčevanja^[2].

Pri posrednih metodah se koncentracije in zrnavostna sestava suspendiranih delcev določajo posredno z uporabo merilnikov, ki oddajajo in sprejemajo mehansko valovanje (zvok, ultrazvok) ali elektromagnetno valovanje (infrardeča svetloba, vidna svetloba, laserska svetloba, rentgenski žarki, gama žarki). Ker ima vsaka od teh metod tako prednosti kot slabosti glede zahtevnosti uporabe in porabe časa ter natančnosti rezultatov, je za optimalen zajem terenskih podatkov priporočljivo metode kombinirati^[2].

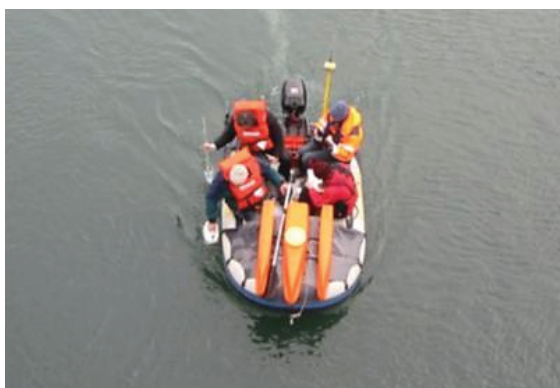
Merilni nadzor lebdečih plavin se že vrsto let izvaja zvezno ali občasno v številnih slovenskih vodotokih tako od Agencije Republike Slovenije za okolje kot v okviru različnih projektov in študij. Med slednjimi so v prispevku omenjene tiste, pri katerih smo sodelovali člani Fakultete za gradbeništvo Univerze v Mariboru in se nanašajo na podatke reke Drave med Labodom in Mariborom. Prikazani rezultati raziskav lebdečih plavin so bili pridobljeni med letoma 2005 in 2013 v okviru projektov Dra-Mur-Ci, Cross-borde Initiative for the River Drava and Mura, WP 3.1: Monitoring of suspended load and bedload^[3], Knet WRM - Area 4, Project 4.3: Wasser im Kraftwerks- und Tunnelbau., Optimierung der Kraftwerksnutzung im Hochgebirge (2009)^[4], Knet water -WP 4.4.2, Ned note 4: Water Storage Business and Environmental Impact of Kozjak Reservoir^[5] in študij Model obvladovanja sedimentov v akumulacijah HE na reki Dravi za ravnanje s sedimenti v akumulaciji ČHE Kozjak^[6] ter Sedimenti v akumulaciji ČHE Kozjak^[7]. V okviru omenjenih projektov in študij so bili merjeni pretoki reke Drave na mestih vzorčevanj, določene so bile koncentracije lebdečih in usedljivih delcev, njihova zrnavost ter mineralna in kemična sestava, istočasno pa tudi fizikalni in mikrobiološki parametri vode.

Terenske raziskave

Raziskave lebdečih plavin v reki Dravi so potekale ob hidroelektrarnah Dravograd in Mariborski otok na mestih optičnih merilnikov motnosti vode, v profilu preko Drave ob Šturmovem grabnu (6 merilnih točk) ter ob Studenškem mostu v Mariboru na sredini reke. Za potrebe kontrole rezultatov raziskav so bili vzorci odvzeti tudi v avstrijskem Labodu na lokaciji, kjer že vrsto let poteka merilni nadzor koncentracij lebdečih plavin.

Vzorčevanje je potekalo z odvzemom vode v steklenice. Istočasno je bila izmerjena temperatura zraka in vode, pH vode ter zabeležena barva in vonj vode, vidne nečistoče (plavje), mineralna olja in površinsko aktivne snovi ter opisano biološko stanje reke, kot na primer obarvanost litorala s potopljenimi makrofiti. Vzorci vode so bili odvzeti na različnih globinah, in sicer v območju HE Dravograd in Mariborski otok na globinah 4 m oziroma 5 m, v Šturmovem grabnu na površini ter v globinah 1 m, 2 m in 4 m, ob Studenškem mostu pa v globini 1 m. Z opisanih lokacij je bilo skupno odvzetih 140 vzorcev vode.

Podatke o pretokih reke Drave na lokacijah hidroelektrarn Dravograd in Mariborski otok ter ob Studenškem mostu v Mariboru so posredovale Dravske elektrarne Maribor. V profilu reke ob Šturmovem grabnu so bili pretoki merjeni z akustičnim Dopplerjevim merilnikom pretokov vrste RioGrande ZedHed 1 200 kHz (slika 1, povzeto po^[8]), ki omogoča merjenje pretokov v globinah od 0,4 m do 15 m in hitrosti toka vode do 10 m/s. Merilnik meri hitrost vode posredno, preko v vodi lebdečih delcev ali



Slika 1: Čoln z mersko opremo in osebjem med pripravi na meritve^[8]

zračnih mehurčkov, pri čemer izkorišča princip Dopplerjevega pojava, torej spremembo med oddano in prejeto frekvenco. Predpostavi se, da je hitrost toka vode enaka hitrosti gibanja suspendiranih delcev. Hkrati se izmeri tudi globina struge kot čas potovanja signala do dna struge in nazaj. Pri vseh meritvah se uporablja frekvenčno območje med 500 kHz in 2 000 kHz. Meritve globin struge in hitrosti vode se izvajajo sočasno, tj. z enim samim prečkanjem struge. Z uporabo pripadajoče programske opreme WinRiver in povezave med merilnikom in prenosnim računalnikom se lahko vse prenesene podatke o izmerjenih vrednostih preverja sproti in v realnem času. Z uporabo naprave GPS so bili profil in mesta vzorčevanja natančno umeščeni v prostor, kar je omogočalo, da so se vzorci vedno odvezali na istih mestih.

Laboratorijske preiskave

V laboratoriju je bila pri vseh odvzetih vzorcih vode preiskana koncentracija lebdečih in usedljivih snovi, pri reprezentativnih vzorcih pa tudi njihova kemična in mineralna sestava ter zrnastost. Mikrobiološki parametri vode so bili določeni pri vzorcih z lokacij HE Dravograd in HE Mariborski otok.

Vsebnost suspendiranih snovi

Vsebnost suspendiranih snovi v vodi je bila določena na dva načina, in sicer v skladu s slovenskim standardom SIST EN 872:2005^[9] in s postopkom gravitacije.

Pri prvi metodi se trdi delci v suspenziji izločijo s filtriranjem skozi filtre iz steklenih vlaken. Lahko se uporabi celoten odvzet vzorec (1 l) ali njegov del, kar je odvisno od količine suspendiranih snovi. Rezultati, označeni s simbolom ρ , so podani v miligramih trdnih delcev v litru vode.

Določanje količine snovi, ki se zaradi gravitacije posede v mirujoči vodi, je potekalo pri vzorcih, ki so vsebovali od 10 l do 20 l vode. Tako velika količina vode je omogočila pridobitev bolj točnih vrednosti, istočasno pa zagotovila dovolj materiala za nadaljnje preiskave zrnastosti ter kemične in mineralne sestave. Po odvzemu so vzorci vode mirovali najmanj 5 dni. V tem času so se na dno posode posedli vsi delci večji od

0,000 8 mm, ki so bili nato izloženi s skrbnim odlivanjem in v končni fazi izparevanja vode. Tako določena količina usedlin je v tekstu označena kot c_{sed} v mg/l. Čas, potreben za posedanje delcev, je bil izbran glede na izračunane hitrosti v (m/s) tonjenja le-teh s Stokesovo enačbo (1), kjer sta y_s in y_{WT} prostorninski teži zrn in vode, D (m) je premer kroglastih zrn in η_T viskoznost vode pri izbrani temperaturi.

$$v = \frac{y_s - y_{WT}}{18 \times \eta_T} \times D^2 \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

V izračunu je bila upoštevana povprečna prostorninska teža zrn $y_s = 27 \text{ kN/m}^3$ (glede na gostoto in zastopanost posameznih mineralov v sestavi), prostorninska teža vode pri temperaturi 20°C $y_{WT} = 9,98 \text{ kN/m}^3$ in dinamična viskoznost vode pri enaki temperaturi $\eta_{20} = 1,005 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$. Izračuni so pokazali, da se v petih dneh v posodi z višino 0,3 m posedejo vsa zrna $\geq 0,000 8 \text{ mm}$. Treba pa je poudariti, da se v praksi zrna $< 0,001 \text{ mm}$ zelo težko posedejo, razen v primeru, ko nastane kosmičenje^[2]. Čeprav opisana preiskava ni standardizirana, se je izvajala za ugotavljanje vsebnosti tistih lebdečih plavin, ki se lahko v mirujoči vodi posedejo. Ta podatek je bil pridobljen za potrebe ocene količine usedlin v akumulacijskem jezeru predvidene črpalne hidroelektrarne Kozjak z vtočnim objektom v območju Šturmovega grabna.

Mineralna in kemična sestava usedljivih snovi

Mineralna sestava usedljivih delcev je bila preiskana na Geološkem zavodu Slovenije z rentgenskim difraktometrom z žarkovjem CuK α ($\lambda = 0,154 18 \text{ nm}$) pri napetosti 40 kV in toku 20 mA ob uporabi nikljevega filtra, proporcionalnega števca in grafitnega monokromatorja. Za pregledno določitev mineralne sestave so bili uporabljeni celotni uprašeni vzorci. Preiskave so potekale na izbranih vzorcih s posameznih lokacij. Za pregled delcev velikosti večji od $20 \mu\text{m}$ je bil uporabljen optični mikroskop, za submikroskopske delce pa vrstični elektronski mikroskop z energijsko disperzijskim spektrom.

Kemične analize vzorcev so bile izdelane v referenčnem laboratoriju ACME Analytical Laboratories v Vancouvru. Za kvalitativno in kvantitativno določitev glavnih elementov je bila uporabljena metoda ICP-ES, za določitev slednih elementov pa metoda ICP-MS. Rezultati preiskav kemične sestave izbranih vzorcev suspendiranih snovi obsegajo okside najbolj zastopanih elementov, na osnovi katerih so bile določene količine posameznih mineralov v vzorcih.

Zrnavost usedljivih snovi

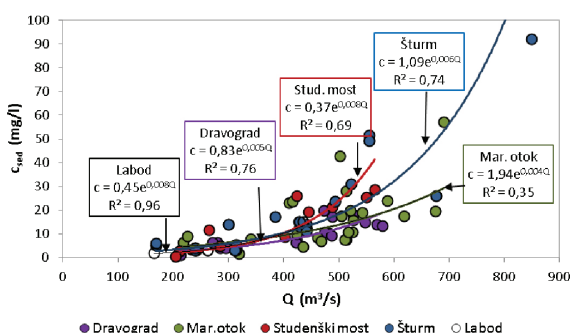
Razporeditev velikosti usedljivih delcev je bila določena na Geološkem zavodu Slovenije z laserskim analizatorjem Analysette 22 /Nano Tec proizvajalca FRITSCH GmbH - Manufacturers of Laboratory Instruments. Analitični inštrument za ugotavljanje zrnivosti temelji na laserski difrakciji. Preiskovani delci se z uporabo disperzijskega sredstva transportirajo skozi merilno celico in laserski žarek. Svetloba, ki se razprši proporcionalno z velikostjo delcev, se z lečami projicira v detektor. Razporeditev velikosti zrn se izračuna na osnovi razporeditve razpršene svetlobe.

Mikrobiološki parametri vode

Mikrobiološke preiskave so potekale pri vseh vzorcih vode, odvzetih na lokacijah HE Dravograd in HE Mariborski otok. Izvedel jih je Inštitut za uporabno ekologijo Maribor, obsegale pa so določitev fitoplanktona, zooplanktona, bakterij, gliv in organskega drobirja. Za določevanje fitoplanktona, zooplanktona in organskega drobirja sta bila uporabljena binokularna mikroskopa CETI in Leica. Pri mikroskopiranju je bil 1 ml vzorca vode opazovan pri 100-, 400- in 1 000-kratni povečavi. Za štetje je bila uporabljena abundančna komora proizvajalca Paul Marienfeld GmbH & Co KG. Določevanje alg in modro zelenih cepljivk je potekalo tudi z biodetektorjem ALGAE-BART™. Za določanje skupnega števila bakterij so bila uporabljena različna gojišča: potopne ploščice VWR Prolabo Total Count in tekstilne podlage RIDA®COUNT Total, za določanje skupnega števila gliv pa potopne ploščice VWR Prolabo Yeast/Mold in tekstilne podloge RIDA®COUNT Yeast/ Mold.

Rezultati preiskav

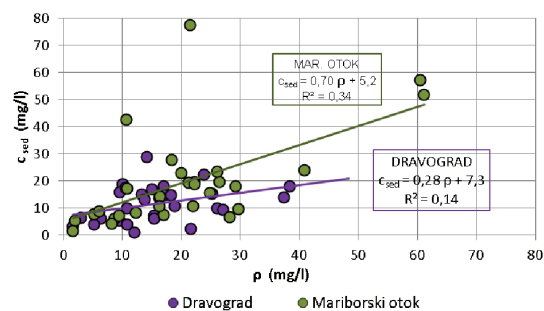
Rezultati preiskav kažejo, da so koncentracije suspendiranih snovi v preiskanem odseku reke Drave pri povprečnem letnem pretoku reke $Q = 297 \text{ m}^3/\text{s}$ pretežno manjše od 10 mg/l . Pri povečanem pretoku ta količina eksponentno narašča, kar je razvidno s slike 2. Na sliki so prikazane vrednosti koncentracij usedljivih snovi $c_{\text{sed}}/(\text{mg/l})$ v odvisnosti od pretoka reke $Q/(\text{m}^3/\text{s})$ za posamezne lokacije vzorčevanj vode. Prikazane soodvisnosti se lahko izrazi z naslednjimi eksponentnimi funkcijami (1–6).



Slika 2: Koncentracije usedljivih snovi v odvisnosti od pretoka reke Drave na mestih vzorčevanj vode

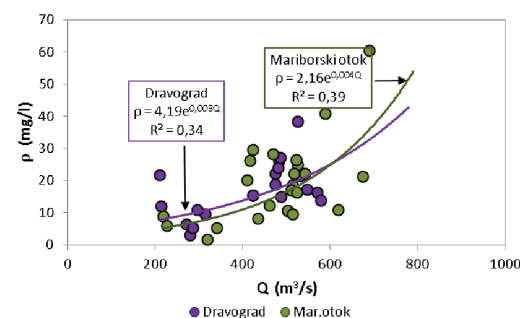
Labod	$c_{\text{sed}} = 0,45 e^{0,008 Q}$	(1)
HE Dravograd	$c_{\text{sed}} = 0,83 e^{0,005 Q}$	(2)
Šturm	$c_{\text{sed}} = 1,09 e^{0,006 Q}$	(3)
HE Mariborski otok	$c_{\text{sed}} = 1,94 e^{0,004 Q}$	(4)
Studenški most	$c_{\text{sed}} = 0,37 e^{0,008 Q}$	(5)
Vsi podatki Labod - Maribor	$c_{\text{sed}} = 1,0 e^{0,006 Q} \quad R^2 = 0,64$	(6)

Vsebnosti suspendiranih delcev, določenih po metodi s filtracijo, bi morale biti primerljive s tistimi, določenimi z gravitacijsko metodo, vendar rezultati preiskav tega ne potrjujejo (slika 3 – vzorci z lokacij HE Dravograd in HE Mariborski otok). Razlogov za to je lahko več. Kot najverjetnejši se zdi, da se pri metodi s filtracijo vsebnost suspendiranih snovi določa v majhni količini vode (1 l ali manj). Če v tem primeru vzorec ni odvzet izokinetično, se lahko pojavijo večji odmiki. Prav tako je problematično, kadar se ta preiskava opravi na delu odvzeta vzorca, saj je v tem primeru zaradi hitrega posedanja večjih delcev zelo težko pridobiti reprezentativen vzorec.



Slika 3: Razmerje med vrednostmi koncentracij suspendiranih delcev, določenih po metodi s filtracijo (ρ) in gravitacijski metodi (c_{sed}) za merilni mesti HE Dravograd in HE Mariborski otok

Slika 4 prikazuje soodvisnosti med pretoki reke Drave (Q) in koncentracijami suspendiranih snovi (ρ), določenimi s filtracijsko metodo na merilnih mestih HE Dravograd in HE Mariborski otok. Izraženi sta z eksponentnima funkcijama (7 in 8).



Slika 4: Koncentracije suspendiranih snovi v odvisnosti od pretoka reke Drave na lokacijah HE Dravograd in HE Mariborski otok

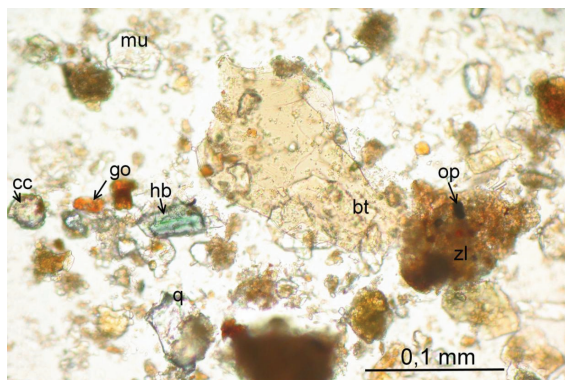
HE Dravograd	$\rho = 4,19 e^{0,003 Q}$	(7)
HE Mariborski otok	$\rho = 2,16 e^{0,004 Q}$	(8)

Iz prikazanih soodvisnosti med pretoki reke Drave in merjenimi koncentracijami suspendiranih delcev po filtracijski ali gravitacijski metodi je razvidno, da vsebnost slednjih s pretokom sicer narašča, vendar ta razmerja niso jasno izražena. To je mogoče razložiti z dejstvom, da je pri enaki količini padavin pretok reke sicer enak, količina erodiranih delcev pa v začetku padavin precej večja kot kasneje, ko so površine ob vodotokih že izprane. Podani izrazi (1–8) se zato lahko uporabijo le za približno oceno koncentracij lebdečih plavin v vodi.

Mineralna in kemična sestava usedljivih snovi je bila določena na združenem vzorcu z območja Šturmovega grabna. Rezultati rentgenske analize so pokazali, da v vzorcu prevladuje muskovit/illit (41 %), pojavljajo pa se še klorit (14 %), kremen (15 %), plagioklaz (8 %), kalcit (9 %) in dolomit (13 %). Optično mikroskopska preiskava, s katero so bili pregledani predvsem delci $> 20 \mu\text{m}$ je pokazala, da prevladujejo zrna muskovita, biotita, kremena in glincev. Med neprosojnimi minerali je bilo mogoče prepoznati limonit (goethit) in sledove hematita. Redkeje so se pojavljali karbonati in klorit. V zelo majhnih količinah je bilo opaziti zrna klinozoisita, v sledovih pa so bili še turmalin, stavrolit, cirkon in rutil ter ostanki organskega detritusa (slika 5).

Slika 6 prikazuje del posnetkov usledljivega materiala, preiskanega z vrstičnim elektronskim mikroskopom. S sekundarnimi elektroni (SE), ki dajejo sliko površine vzorca, in povratno sipanimi elektroni (BSE), ki dajejo sliko relativne kemijske sestave vzorca, so bile določene naslednje mineralne faze: illit, muskovit, klorit, kloritiziran biotit in kalcit.

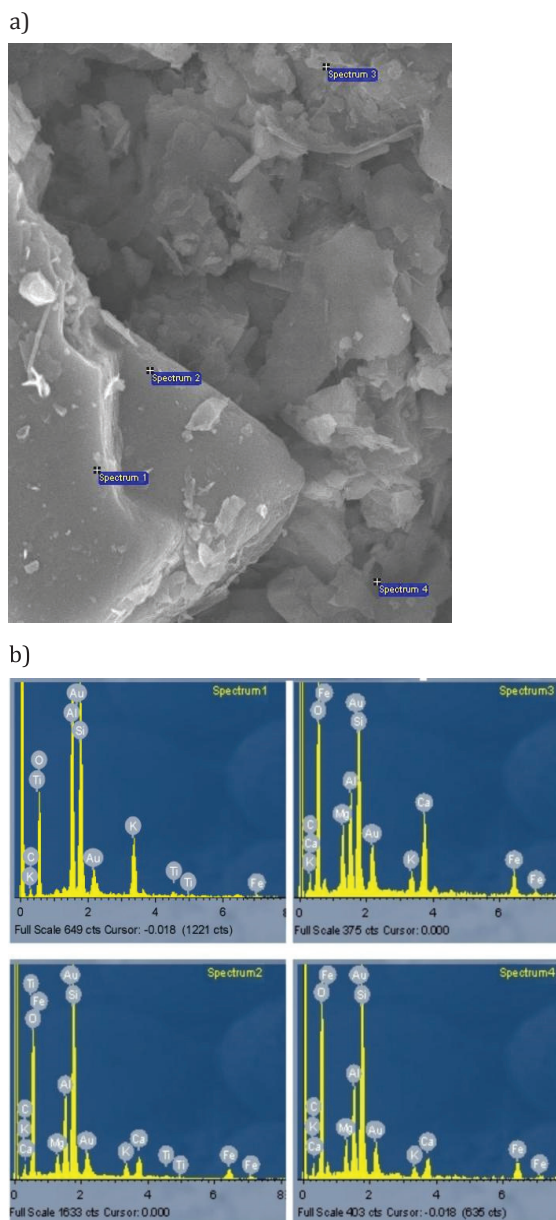
Preiskave zrnivosti usedljivih snovi so pokazale, da pri vzorcih z vseh odjemnih mest prevladujejo zrna velikosti melja, glinaste frakcije (zrna $< 2 \mu\text{m}$) je med 5 % in 21 %, medtem ko je zrno večjih od 63 μm od 0,3 % do 14,6 %. Iz rezultatov je razvidno, da so razporeditve velikosti delcev sicer odvisne od pretokov reke, vendar splošno veljavnega razmerja med tema spremenljivkama ni mogoče opredeliti. Primer prikazuje slika 7, na kateri so krivulje zrnivosti



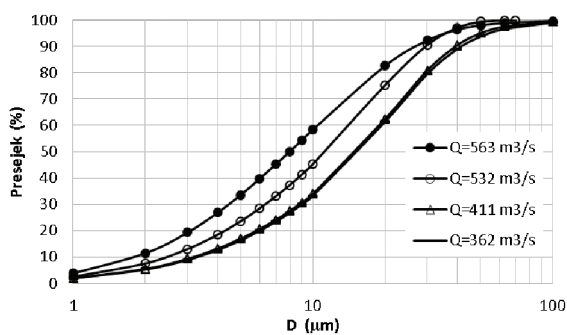
Slika 5: Drobci iz suspenzije pri vzporednih nikolih: bt – biotit, mu – muskovit, q – kremen, hb – amfibol, cc – kalcit, go – goethit, op – neprosojni minerali, zl – zlepljeni delci/grudice

usedljivih snovi z območja HE Dravograd in HE Mariborski otok in pripadajoči pretoki vode na omenjenih hidroelektrarnah.

Mikrobiološki parametri vode so bili preiskani pri vzorcih z območja HE Dravograd in HE Mariborski otok. Ker se količine različnih mikroorganizmov in organskega drobirja v vodi spreminjajo v odvisnosti od fizikalno-kemičnih lastnosti vode, na katere vplivajo številni dejavniki iz okolja, so preiskave potekale eno leto.



Slika 6: Vzorec, posnet s sekundarnimi (a) in povratno sipanimi elektroni (b), ter spektri označenih točk; spekter 1 in 2 – muskovit, spekter 3 – mešani odboji kalcita, illita in klorita, spekter 4 – predvidoma nekoliko kloritiziran biotit



Slika 7: Razporeditev velikosti zrn usedljivih snovi z območja HE Dravograd in HE Mariborski otok s pripadajočimi pretoki reke Drave

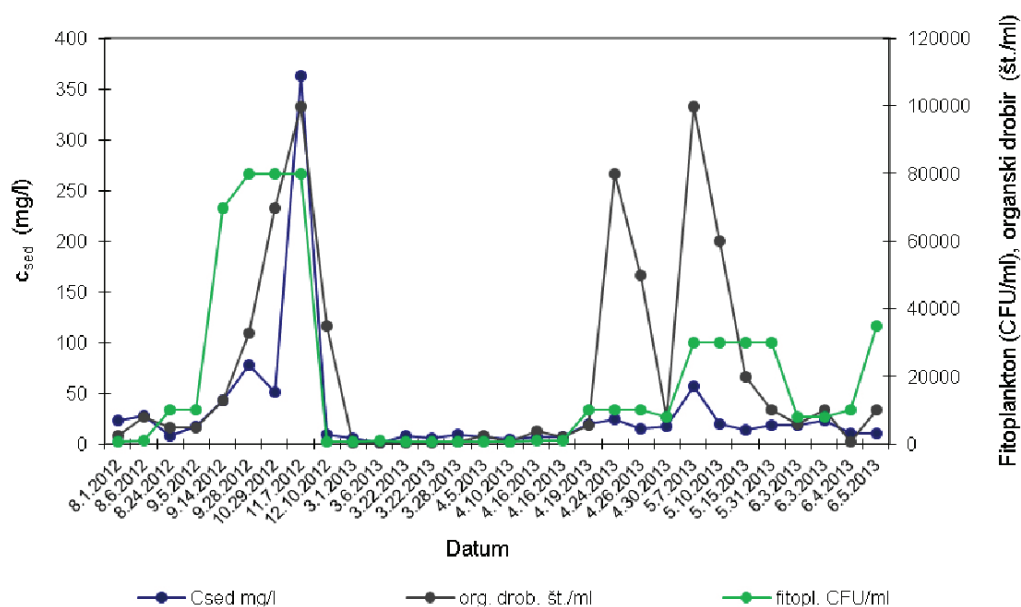
V tem času je bilo odvzetih 60 vzorcev vode. Količine fitoplanktona so se na obeh merilnih mestih gibale med > 600 CFU/ml in $100\,000$ CFU/ml (CFU/ml = Colony Forming Units v 1 ml vode). Gostota zooplanktona, ki se izraža s številom osebkov v določenem volumnu vode (no./ml), je bila med 0 no./ml in 30 no./ml, gostota bakterij med 100 CFU/ml in $10\,000\,000$ CFU/ml in gliv med 0 CFU/ml in $10\,000$ CFU/ml. Količina organskega drobirja se je spreminjala med 100 no./ml in $100\,000$ no./ml.

Iz primerjav podatkov raziskav je razvidno, da se povečane količine fitoplanktona in organskega drobirja skladajo s povečanimi koncentracijami usedljivih snovi, kar pa ne velja za zooplankton, glive in bakterije. Primer na sliki 8 je podan za merilno mesto HE Mariborski otok.

Sklepi

Prispevek prikazuje rezultate merilnega nadzora lebdečih plavin v reki Dravi med Labodom in Mariborom. Cilj preiskav je bil ugotoviti koncentracijo, velikost in sestavo suspendiranih delcev, prav tako pa tudi odvisnost teh parametrov od hitrosti vodnega toka.

Rezultati preiskav so pokazali, da je vsebnost lebdečih plavin v reki Dravi pri povprečnem letnem pretoku vode $Q = 297$ m³/s manjša od 10 mg/l. Razumljivo je, da z naraščanjem pretoka ta količina v splošnem narašča, vendar so preiskave pokazale, da so te soodvisnosti na različnih merilnih mestih različne in le približne, zato se lahko uporabljajo samo kot orientacijske vrednosti. To je bilo pričakovano, saj je pretok odvisen od količine meteornih, precejnih in ledeniških voda, vnos suspendiranih snovi pa od številnih dejavnikov, ki vplivajo na njihovo sproščanje in premeščanje. S hitrostjo vode se je spreminjala tudi velikost suspendiranih delcev. Za pretoke reke Drave do 850 m³/s (največji pretok v času vzorčevanja) je bilo ugotovljeno, da prevladujejo delci velikosti melja. Zrn manjših od 2 mm je bilo med 5 % in 21 %, njihova količina pa je naraščala z naraščanjem pretoka reke. Delcev večjih od 63 mm je bilo malo, pričakovati pa je, da se njihova količina v času poplavnih voda znatno poveča. V sestavi usedljivih lebdečih plavin je prevladoval



Slika 8: Prikaz vpliva fitoplanktona in organskega drobirja na koncentracijo usedljivega materiala na lokaciji Mariborski otok

muskovit, pojavljali pa so se tudi kremen, klorit, plagioklazi, kalcit, dolomit, limonit in v manjših količinah hematit, amfiboli, klinozoisit, titanit, turmalin, granat, cirkon in rutil.

Zahvala

Prispevek posvečam prof. dr. Valeriji Osterc, moji najljubši profesorici na dodiplomskem in magistrskem študiju geologije, smeri Mineralogija, na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani. Prof. Osterčevo sem vedno cenila zaradi njenega izjemnega poznavanja stroke in ljubezni do nje, ki jo je na njej edinstven način znala prenašati tudi na svoje študente. Verjamem, da sem tudi sama, prav zaradi nje, boljša strokovnjakinja in pedagoginja, za kar se ji iskreno zahvaljujem.

Viri

- [1] Rusjan, S., Mikoš, M. (2006): Dinamika premeščanja lebdečih plavin v porečjih. *Acta hydrotechnica*, 24, 40, str. 1–20.
- [2] Mikoš, M. (2012): Metode terenskih meritev suspendiranih sedimentov v rekah / Methods of field measurements of suspended sediments in rivers. *Gradbeni vestnik*, 61, 7, str. 151–158.
- [3] Trauner, L., Dolinar, B., Žlender, B., Vrecl - Kojc, H., Šketelj, E., Kramer Stajnko, J., Nekrep, M. P., Podlogar, G., Kamnik, R., Kovačič, B., Jecl, R. (2013): *Dra-Mur-Ci, Cross-border Initiative for the River Drava and Mura, WP 3.1: Monitoring of suspended load and bedload*. Fakulteta za gradbeništvo Maribor, zaključno poročilo projekta, 54 str.
- [4] Trauner, L., Dolinar, B., Kamnik, R., Kramer Stajnko, J., Kovačič, B., Macuh, B., Nekrep, M. P., Šketelj, E., Škrabl, S., Vrecl - Kojc, H., Žlender, B., Čuš, I. (2010): *Wasser im Kraftwerks- und Tunnelbau. Area 4, Project 4.3, Optimierung der Kraftwerksnutzung im Hochgebirge*, 1. 7. 2008–31.12.2009. Graz: Kompetenznetzwerk Wasserressourcen GmbH, Maribor: Faculty of Civil Engineering, final report, 30 str.
- [5] Trauner, L., Čuš, I., Dolinar, B., Greifoner, R., Gutmaher, A., Kirbiš, M., Klasinc, R., Lobnik, A., Macuh, B., Poberžnik, M., Prnaver, A., Reichl, P., Senica, H., Šketelj, E., Škrabl, S., Vovk Korže, A., Vrecl - Kojc, H., Žlender, B. (2008): *Water storage business and environmental impact of Kozjak Reservoir : Work Package 4.4.2, Net Node 4*. Graz: Kompetenznetzwerk Wasserressourcen, Maribor: Faculty of Civil Engineering: Faculty of Mechanical Engineering, final report, 2 zv.
- [6] Jecl, R., Kramer Stajnko, J., Nekrep, M. P., Grajfoner, B. (2013): *Model obvladovanja sedimentov v akumulacijah HE na reki Dravi za ravnanje s sedimenti v akumulaciji ČHE Kozjak*. Fakulteta za gradbeništvo Maribor, Katedra za hidrotehniko, zaključno poročilo študije, 86 str.
- [7] Dolinar, B., Škrabl, S., Senica, H. (2013): *Sedimenti v akumulaciji ČHE Kozjak*. Fakulteta za gradbeništvo Maribor, zaključno poročilo študije, 36 str.
- [8] Trauner, L., Dolinar, B., Jecl, R., Nekrep, M. P., Kramer Stajnko, J., Podlogar, G., Kovačič, B., Kamnik, R. (2012): *Interdisciplinarna meritev prenosa suspendiranih trdnih delcev v izbranih profilih na rekah Dravi in Muri (projekt DRA-MUR-CI)*. Mišičev vodarski dan 2012, Maribor, Zbornik referatov, str. 222–229.
- [9] SIST EN 872:2005 – Kakovost vode – Določevanje suspendiranih snovi – Metoda s filtracijo skozi filtre iz steklenih vlaken.

Uporaba lehnjakov v paleotermometriji: primer iz Nacionalnega parka Krka, Hrvaška

Palaeothermometry in tufa: a case study from the Krka National Park, Croatia

Sonja Lojen^{1,*}, Matej Dolenc², Neven Cukrov³

¹Institut »Jožef Stefan«, Odsek za znanosti o okolju, Jamova cesta 39, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva cesta 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

³Institut Ruđer Bošković, Zavod za raziskave morja in okolja, Bijenička cesta 54, 10000 Zagreb, Hrvaška

*Vodilni avtor. E-mail: sonja.lojen@ijs.si

Izvleček

V članku obravnavamo uporabnost lehnjaka iz reke Krke (Hrvaška) kot paleotemperaturnega arhiva na osnovi izotopske sestave kisika ($\delta^{18}\text{O}$) in razmerja Mg/Ca. Analizirali smo masivni lehnjak z glavnih pregrad in ga primerjali z laminirano skorjo iz hidroelektrarne Jaruga. Masivni vzorci zaradi velike količine litičnega karbonata (dolomita in kalcita) niso bili primerni za paleotemperaturno analizo. Kisikov geotermometer je precenil temperaturo obarjanja za več stopinj Celzija, medtem ko Mg-geotermometer zaradi neznane količine litičnega (morskega) karbonata ni bil uporaben.

Ključne besede: lehnjak, kalcit, Mg, stabilni izotopi, geotermometer

Abstract

This paper examines the applicability of tufa from the river Krka (Croatia) as palaeotemperature archive, based on the geochemical and isotopic records. Barrage tufas from the main cascades were analysed for isotopic ($\delta^{18}\text{O}$) and geochemical (Mg/Ca) composition and compared to the laminar crust from the Jaruga Power Plant. It was shown that barrage tufa was not suitable for palaeothermometry because of the presence of considerable amounts of lithic carbonate (both dolomite and calcite). The oxygen thermometer overestimated the precipitation temperature by several degrees C, while the Mg thermometer could not be used because of unknown content of lithic (marine) carbonate detritus.

Key words: tufa, calcite, Mg, stable isotope, geothermometer

Uvod

Kemični sedimenti so že desetletja predmet paleoklimatoloških raziskav, saj njihove morfološke, sedimentološke, geokemične in izotopske značilnosti neposredno odsevajo razmere v okolju na mestu njihovega nastanka; v to skupino sedimentov spadajo tudi lehnjaki^[1–6]. Za interpretacijo paleotemperaturnih razmer raziskovalci najpogosteje uporabljajo kisikov izotopski termometer, pa tudi geokemični magnezijev termometer^[1, 3, 7, 8]. Za paleoekološke raziskave so najbolj zanimivi laminirani karbonati oz. stromatoliti, ker vsebujejo praviloma zvezen niz od milimetrskih do centimetrskih plasti, ki ustrezajo sezonskemu ali letnemu ciklu rasti^[4, 9, 10]. Vendar pa je treba poudariti, da vse paleotemperaturne interpretacije temeljijo na treh predpostavkah:

- da karbonati nastajajo v izotopskem in geokemičnem ravnotežju z matično raztopino (rečno vodo),
- da sta izotopska in hidrochemična sestava vodne raztopine, iz katere so nastali, znani, in
- da je izotopska frakcionacija kisika med vodo in oborino odvisna samo od temperature.

Vse troje pa je v primeru rečnih karbonatnih tvorb prej izjema kot pravilo^[11–14]. Tako na primer lehnjakotvorne reke v poletnem času lahko presahnejo, hitrost obarjanja se sezonsko zelo spreminja, prav tako lahko ob velikih pretokih prihaja do močne erozije^[14–16]. Ker pa marsikje ni na razpolago drugih naravnih paleoekoloških arhivov, raziskave v veliki meri temeljijo prav na lehnjakih^[14, 17, 18].

Namen raziskave je bil oceniti uporabnost klasičnega kisikovega izotopskega in geokemičnega magnezijevega paleotermometra v lehnjakih iz Nacionalnega parka Krka (Hrvaška). Rezultate smo primerjali z vrednostmi, dobljenimi v laminirani karbonatni skorji, nastali v tunelu pri HE Jaruga ob Skradinskem buku na prehodu v estuar^[19]. Z dolgoletnim spremljanjem (2000–2013) smo ugotovili sezonsko in letno spremenljivost izotopske sestave rečne vode, koncentracijo raztopljenih kationov (Ca^{2+} , Mg^{2+}) in izotopsko ter elementno (Mg/Ca) sestavo lehnjaka na glavnih kaskadah. Izračunali smo temperature obarjanja lehnjaka z uporabo standardnih paleotemperaturnih enačb z izotopskim kisikovim in geokemičnim magne-

zijevim geotermometrom in jih primerjali z izmerjenimi temperaturami reke Krke na mestu obarjanja.

Območje raziskave

Hrvaška reka Krka (slika 1) je tipična kraška reka, ki jo v veliki meri napaja podzemna voda iz razpršenih virov, od katerih so le redki natančno locirani^[20–22]. Povprečni letni rečni pretok na prehodu v estuar je $53 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (med $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in $565 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ^[20]). Predhode raziskave so pokazale, da je reka razen v izrednih razmerah vse leto prenasočena s kalcitom in da se CO_2 iz nje razplinja po celotnem 50 km dolgem sladkovodnem toku^[23, 24] ter da obarjanje lehnjaka po celotnem toku poteka v neravnotežnih razmerah^[12, 23, 24].

Materiali in metode

Rečno vodo smo vzorčili sezonsko v letih med 2000 in 2013. Za hidrochemične analize smo vzorce na terenu prefiltrirali skozi $0,45 \mu\text{m}$ membranski filter (Sartorius Minisart). Za analizo koncentracije kationov (Ca^{2+} , Mg^{2+}) smo vodo nakisali s suprapurno dušikovo kislino (Merck, 1 ml/l) in jo do analize hranili v 50 ml HDPE plastenkah pri temperaturi 4°C . Vodo za analizo alkalnosti smo prefiltrirali skozi $0,20 \mu\text{m}$ membranski filter in analize opravili takoj po vzorčenju na terenu; če to ni bilo mogoče, so bili vzorci analizirani v laboratoriju v 24 h po odvzemu. Vodo za izotopsko analizo kisika in raztopljenega anorganskega ogljika smo prefiltrirali skozi $0,20 \mu\text{m}$ filter in jo hranili v do vrha polnih ampulah s septumom brez plinskih mehurčkov ali plinske kape (Exetainer® Labco, Velika Britanija).

Vsebnost kationov smo ugotovili z atomsko absorpcijsko spektrometrijo z aparaturom Varian SpectraAA 110. Interference, nastale pri ionizaciji, smo kompenzirali z dodatkom 2 g l^{-1} Cs. Ponovljivost meritve je bila boljša od $\pm 2 \%$.

Vzorci lehnjaka so bili odvzeti na glavnih pregradah (Bilušiča buk, Manojlovac, Miljacka, Roški slap in Skradinski buk).

Mineralno sestavo lehnjaka smo ugotovili z rentgensko difraktometrično analizo (Philips



Slika 1: Lokacije vzorčnih mest v dolini reke Krke (Hrvaška).

PW3710). Identifikacijo faz smo opravili s programskim paketom X'Pert HighScore Plus z bazo podatkov PAN-CSD. Negotovost meritve mineralne sestave je bila 10-odstotna.

Celokupno alkalnost vode smo določili s potenciometrično titracijo z 0,01 M HCl (Merck).

Izotopsko sestavo kisika smo določili z masnim spektrometrom za stabilne izotope z dvojnim uvajalnim sistemom Varian MAT 250 oziroma IsoPrime (VG Instruments, Velika Britanija) po uravnoteženju s CO₂ (40 °C, 3 h).

Izotopsko sestavo raztopljenega anorganskega ogljika v vodi smo določili s pretočnim masnim spektrometrom za stabilne izotope Europa 20-20 z ANCA TG preparativnim modulom za plinaste vzorce (Europa Scientific, Velika Bri-

tanija). V ampule s septumom (Labco Exetainer®) smo dozirali kapljico fosforne kisline in jih prepihali s helijem (6.0, Messer Slovenija). Vzorce (3 ml) smo injicirali v prepihane ampule in analizirali izotopsko sestavo CO₂, ki se je sprostil iz vode.

Izotopsko sestavo C in O v karbonatu smo določili z masnim spektrometrom Varian MAT v CO₂, ki je nastal z razkrojem 10 mg vzorca v 100 % H₃PO₄ pri 25 °C 24 h.

Rezultate izotopskih analiz podajamo kot δ -vrednost, ki pomeni relativni odmik razmerja težjega proti lažjemu izotopu (¹³C/¹²C, ¹⁸O/¹⁶O) vzorca glede na razmerje istih izotopov v standardu in to izražamo v promilih (‰). Kot standard smo uporabili VSMOW za kisik v vodi in VPDB za ogljik in kisik v karbonatu. Delovne standarde (voda, CO₂, nasičena raztopina NaHCO₃) smo kalibrirali s kalibracijskimi oz. referenčnimi materiali IAEA VSMOW2, GISP in s CO₂, ki je nastal pri razkroju standardov NBS19, IAEA CO1 in IAEA CO8 v 100-odstotni fosfori kislini pri temperaturi 25 °C 24 h.

Merilne negotovosti so bile 0,1 ‰ za $\delta^{18}\text{O}$ v vodi in karbonatu in $\delta^{13}\text{C}$ v karbonatu ter 0,2 ‰ za $\delta^{13}\text{C}$ v raztopljenem anorganskem ogljiku. Vse vzorce smo analizirali v treh paralelkah in rezultate sprejeli kot ustrezne, če so bile standardne deviacije ponovitev v predpisanih odmikih. Če so bili odmiki večji, smo analize ponavljali, dokler niso bile deviacije v predpisanih mejah.

Za obdelavo surovih podatkov meritev smo uporabili programski paket LIMS for Light Stable Isotopes^[25].

Rezultati in razprava

Rečna voda

Relevantni rezultati hidrokemičnih analiz vode iz obdobja od 2000 do 2013 so zbrani v tabeli 1. Rezultati za obdobje 2000–2007 so povzeti iz objav predhodnih raziskav. Kot je razvidno, je za reko značilen velik razpon temperature vode zlasti v poletnih mesecih, pri čemer je temperatura na izviru skozi vse leto med 8 °C in 9 °C (Čukrov, neobjavljeni podatki). Neenakomerno spreminjanje temperature z oddaljenostjo od izvira lahko pojasnimo s samo morfologijo toka, saj je reka zaradi intenzivnega obarjanja

lehnjaka na več mestih zajezena, tako da je njen tok danes zaporedje lotičnih in več kilometrov dolgih lentičnih odsekov. Poleg tega pa med Manojlovcem in Miljacko (slika 1) v reko priteka sorazmerno velika masa podzemne vode iz zlivnega področja Zrmanje^[22–24], ki ima občutno nižjo temperaturo in drugačno kemično sestavo. To potrjujeta tudi razmerje raztopljenih kationov (Mg/Ca) v vodi in izotopska sestava kisika, ki se zelo spremenita na istem odseku. Če primerjamo $\delta^{18}\text{O}$ -vrednost in povprečno temperaturo vode, potem ta na videz po toku navzdol sicer narašča s temperaturo, vendar pa sezonske meritve kažejo, da se najnižje $\delta^{18}\text{O}$ -vrednosti pojavljajo spomladi in poleti, ko je temperatura vode najvišja, medtem ko so bile najnižje vrednosti izmerjene v jesenskem obdobju – nasprotno od padavin, pri katerih se najnižje $\delta^{18}\text{O}$ -vrednosti konsistentno pojavljajo v obdobjih z najnižjo temperaturo in obratno^[26]. Dejansko med $\delta^{18}\text{O}$ -vrednostjo in temperaturo rečne vode nismo opazili nikakršne korelacije. Sorazmerno visoko razmerje med raztopljenim Mg^{2+} in Ca^{2+} je posledica raztapljanja karbonatnih vodonosnikov, ki napajajo reko: visok delež magnezija kaže na prisotnost dolomita, vendar pa razmerje Mg/Ca po toku navzdol pada. Največji skok se pojavlja med Manojlovcem in Miljacko, podobno pa velja tudi za $\delta^{18}\text{O}$ -vrednosti vode. Na množinsko razmerje Mg/Ca obarjanje lehnjaka očitno ne vpliva, saj bi v tem primeru po toku navzdol zaradi izločanja CaCO_3 moralo naraščati zaradi prednostnega odstranjevanja Ca^{2+} iz raztopine; očitno ima vir vode (sestava vodonosnika in zadrževalni čas podzemne

vode) mnogo večji vpliv na njeno hidrokemično sestavo kot temperatura. Na to kaže tudi dobra korelacija med $\delta^{18}\text{O}$ -vrednostmi vode in razmerjem Mg/Ca ($r = 0,75$, $p < 0,001$ pri $n = 25$). Med razmerjem Mg/Ca v vodi in temperaturo obstaja linearna korelacija ($p \leq 0,002$ pri $n = 25$) le na dveh vzorčnih mestih – na Bilušića buku in Skradinskem buku, in sicer:

– Bilušića buk:

$$\text{Mg/Ca} = (0,0107 \pm 0,0056) \times T + (0,10523 \pm 0,00635);$$

$$r = 0,55$$

– Skradinski buk:

$$\text{Mg/Ca} = (0,0053 \pm 0,0014) \times T + (0,09358 \pm 0,02379);$$

$$r = 0,73,$$

pri čemer je temperatura podana v stopinjah Celzija. Na drugih točkah ni bilo opaziti nobene zveze ($|r| < 0,1$).

Izotopska sestava raztopljenega anorganskega ogljika je sicer pomemben pokazatelj izvira le-tega (preperevanje karbonatnih kamnin vs. talni/biogeni CO_2), kar je pomemben podatek pri paleoekološki interpretaciji lehnjakov. Ker pa se v tej študiji omejujemo le na paleotermometrijo, je $\delta^{13}\text{C}$ -vrednost raztopljenega anorganskega ogljika pomembna le kot vhodni parameter za napoved $\delta^{13}\text{C}$ lehnjaka^[27, 28].

Lehnjak

S predhodnimi raziskavami smo ugotovili, da $\delta^{18}\text{O}$ -vrednost lehnjakovih pregrad ne izraža temperature nastanka lehnjaka in to pripisali neravnotežnemu obarjanju karbonata^[12]. Kemična in mineralna analiza lehnjaka pa sta po-

Tabela 1: Hidrokemična in izotopska sestava rečne vode in raztopljenega anorganskega ogljika; podana so povprečja in v oklepajih razpon vrednosti; del podatkov je povzet po referencah (Lojen in sod.^[12, 19]; Cukrov in sod.^[23, 24])

Lokacija	$T/^{\circ}\text{C}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}/\text{‰}$	Mg/Ca (at.)
Bilušića buk	11,5 (8,0 do 15,0)	-8,2 (-8,5 do -7,7)	-11,6 (-13,5 do -9,1)	0,23 (0,19 do 0,28)
Manojlovac	12,5 (8,6 do 18)	-8,0 (-8,2 do -7,7)	-11,5 (-13,5 do -9,3)	0,21 (0,19 do 0,22)
HE Miljacka	12,0 (8,8 do 14,5)	-7,7 (-8,0 do -7,0)	-11,8 (-14,0 do -9,5)	0,15 (0,11 do 0,20)
Roški slap	14,5 (8,4 do 19,5)	-7,8 (-8,2 do -7,1)	-10,9 (-12,7 do -8,9)	0,18 (0,12 do 0,23)
Skradinski buk	18,8 (11,0 do 25,0)	-7,4 (-7,9 do -6,8)	-10,9 (-12,9 do -8,3)	0,18 (0,11 do 0,24)

kazali, da je poleg neravnotežja, ki je v slapovih in kaskadah običajno, razlog za odmike tudi prisotnost nepričakovano velike količine litičnega karbonata v lehnjaku. Visoko množinsko razmerje Mg/Ca v vzorcih (tabela 2) kaže na prisotnost dolomita, saj obarjanje kalcita z 10-odstotnim ali večjim množinskim deležem (x) Mg^{2+} glede na Ca^{2+} v danih razmerah ni mogoče^[8]; to smo potrdili tudi z rentgensko difraktometrično analizo vzorcev, ki je pokazala prisotnost znatne količine dolomita. Dodatna potrditev je kemična in mineralna analiza karbonatne skorje iz tunela HE Jaruga, ki je nastala z obarjanjem iz vode enake sestave in vsebuje le kalcit z manj kot 1 % Mg^{19} , nasprotno od lehnjaka v slapu, ki vsebuje tudi sledove dolomita.

Dolomitna faza v lehnjaku je pričakovana glede na litološko sestavo povodja Krke, kjer se v prvih 15 km rečnega toka poleg plastovitih in masivnih apnencev v zgornjekredni formaciji ($K_2^{1,2}$) pojavljajo tudi vložki dolomita^[29, 30]. Predvidevamo, da je poleg dolomita v lehnjaku zanesljivo tudi nekaj detritičnega kalcita iz apnencev, vendar ga s kemično in rentgensko analizo ne moremo ločiti od rečnega avtogenega kalcita. Ocena deleža detritične karbonatne komponente v lehnjaku je tako lahko zelo problematična in povezana z veliko negotovostjo, zaradi česar je zanesljiva paleotemperaturna interpretacija – tako na osnovi izotopskega kot geokemičnega termometra – praktično nemogoča. Podobno velja za praktično vse masivne lehnjake z velikih pregrad od Bilušića buka do Roškega slapa. Zmanjšanje deleža litične karbonatne komponente nizvodno od HE

Miljacka je posledica številnih zajezev reke z lehnjakovimi pregradami. Akumulacijska jezera za njimi zadržijo velik del detritičnega materiala, ki ga reka nosi s seboj^[23, 24]. Tudi pogozdovanje pobočij doline Krke je močno zmanjšalo erozijo. Kot primerni kandidati za paelotermperaturne izračune tako ostajajo le lehnjaki z Roškega slapa in Skradinskega buka ter seveda laminirana skorja, ki je čist nizko magnezijev kalcit z manj kot 0,1 % Mg v karbonatni fazi (tabela 2).

Izotopski termometer

Za oceno temperature izločanja lehnjaka je v uporabi več t. i. paleotemperaturnih enačb, ki temeljijo na temperaturno odvisni izotopski frakcionaciji kisika med vodo in karbonatom. Najboljše ujemanje smo dobili z uporabo enačb Andersona in Arturja^[31] ter Haysa in Grossmana^[32]:

$$T = 16 - 4,4 \times (\delta^{18}O_{VPDB-ca} - \delta^{18}O_{VSMOW-H_2O}) + 0,13 \times (\delta^{18}O_{VPDB-ca} - \delta^{18}O_{VSMOW-H_2O})^2 [31]$$

in

$$T = 15,7 - 4,36 \times (\delta^{18}O_{VPDB-ca} - \delta^{18}O_{VSMOW-H_2O}) + 0,12 \times (\delta^{18}O_{VPDB-ca} - \delta^{18}O_{VSMOW-H_2O})^2 [32],$$

pri čemer je temperatura (T) izražena v stopinjah Celzija. Rezultati izračunov temperatur obarjanja so podani v tabeli 3.

Negotovosti temperatur obarjanja, izračunanih z izotopskim termometrom, nismo mogli

Tabela 2: Izotopska in elementna sestava lehnjaka z glavnih lehnjakovih pregrad in iz laminirane skorje pri HE Jaruga; podatki o izotopski sestavi so povzeti po objavah predhodnih raziskav^[12, 19]

Lokacija	$\delta^{18}O_{VPDB}/\text{‰}$	$\delta^{13}C_{VPDB}/\text{‰}$	Mg/Ca (at.)	Vsebnost dolomita (ocena XRD) %
Bilušića buk	-8,0	-8,4	0,1	18
Manojlovac	-8,7	-8,4	0,09	9
Miljacka	-7,8	-7,8	0,07	5
Roški slap	-8,5	-9,0	0,03	sledovi
Skradinski buk	-8,5	-9,2	0,05	sledovi
Jaruga (skorja, 62 parov lamin)	-8,8 (-10,8 do -7,5)	-9,3 (-10,0 do -8,4)	0,006 (0,004 do 0,012)	0

določiti, saj niso znane negotovosti ($\pm$) koeficientov v standardnih paleotemperaturnih enačbah v originalnih člankih, po katerih so povzete^[32, 33]. Obe uporabljeni enačbi dajeta zelo podobne rezultate, ki se v vsakem primeru odmikajo od povprečne temperature vode na posameznih kaskadah v obdobju 2000–2013, so pa blizu poletnim temperaturam vode. Vendar pa moramo upoštevati prisotnost detritičnega karbonata v vzorcih, ki $\delta^{18}\text{O}$ -vrednost lehnjakov zviša, saj naj bi imeli morski karbonati $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ -vrednost okoli 0 ‰^[34], meteogeni oz. rečni pa precej nižjo, pač blizu ravnotežja z rečno vodo. Če bi bila litična karbonatna komponenta samo dolomit, bi ga lahko pri izračunu preprosto odšteli, saj ima podobno izotopsko sestavo kot apnenec^[35, 36], vendar pa je poleg dolomita zanesljivo tam tudi precej litičnega kalcita, ki ga pa količinsko na podlagi kemične in rentgenske difraktometrične analize ne moremo določiti. Približna ocena bi bila mogoča iz izotopske sestave ogljika karbonatne faze, saj je znano, da je $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ -vrednost kalcita v ravnotežju z vodo, iz katere se izloča, približno enaka izotopski sestavi raztopljenega anorganskega ogljika oziroma so odmiki v okviru 1 ‰^[27, 28]. Če torej privzamemo, da je izotopska sestava karbonatne oborine enaka izotopski sestavi raztopljenega anorganskega ogljika v vodi, lah-

ko z enostavnim mešalnim modelom ocenimo delež litične karbonatne komponente v lehnjaku, in sicer na 28 % na Bilušića buku, 27 % na Manojlovcu, 33 % pri HE Miljacka, 18 % na Roškem slapu in 15 % na Skradinskem buku, kar bi lahko bila dokaj realna ocena, ki se tudi dokaj dobro sklada z rezultati rentgenske difraktometrične analize (tabela 2). Dolomit se namreč sporadično pojavlja le do Brljanskih jezer, kjer pa se znaten delež suspendirane snovi v jezerih odloži v sedimentu, medtem ko nizvodno od Brljanskih jezer dolomita v zlivnem področju Krke ni več, tako da najdemo v lehnjaku večinoma le fragmente apnenca, tj. kalcita. Podatkov o izotopski sestavi karbonatov z dinarske karbonatne platforme je v literaturi zelo malo^[37, 38]; $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ -vrednosti se gibljejo v velikem razponu med –4,4 ‰ in –1,18 ‰. Nekaj vzorcev karbonatov iz zaledja NP Krka (Miljevački plato, $n = 10$) je sicer bilo analiziranih. Povprečna izmerjena $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ -vrednost je bila okoli –2,2 ‰ (Lojen, neobjavljeno), kar ustreza podatkom iz literature, ne moremo pa z gotovostjo trditi, da je reprezentativna za celotno področje. Ne glede na to, katero vrednost iz omenjenega razpona $\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ -vrednosti upoštevamo za litično karbonatno komponento, pa dobimo previsoke temperature obarjanja (med 25,3 °C in 30,1 °C). Glede na negotovosti ocen so te vre-

Tabela 3: Poprečne temperature obarjanja lehnjaka in razpon vrednosti v °C, izračunane s paleotemperaturno enačbo po Andersonu in Arthurju^[31] (T_{AA}) in Haysu in Grossmanu^[32] (T_{HG}) ter izmerjene temperature vode

lokacija	$T_{\text{AA}}/^\circ\text{C}$	$T_{\text{HG}}/^\circ\text{C}$	$T_{\text{izm}}/^\circ\text{C}$
Bilušića buk	15,2 (12,8 do 14,0)	14,8 (13,6 do 17,0)	11,5 (8,0 do 15,0)
Manojlovac	19,0 (18,1 do 20,3)	18,8 (17,9 do 20,2)	12,5 (8,6 do 18)
HE Miljacka	16,4 (15,2 do 19,4)	16,1 (14,8 do 19,3)	12,0 (8,8 do 14,5)
Roški slap	19,0 (17,3 do 22,1)	19,8 (17,0 do 22,0)	14,5 (8,4 do 19,5)
Skradinski buk	20,7 (18,5 do 23,4)	20,6 (18,4 do 20,5)	18,8 (11,0 do 25,0)
Laminirana skorja	19,4 (12,8 do 27,6)	19,3 (19,3 do 27,8)	18,8 (11,0 do 25,0)
Mg-termometer ^[19] :			
21,1 (17,5 do 28,9)			

dnosti vsekakor spekulativne, vseeno pa lahko zatrdimo, da izotopski termometer daje previsoke vrednosti. Najenostavnejša razlaga je vsekakor obarjanje karbonatov v neravnostnih razmerah. Vendar pa moramo upoštevati, da ni fizikalne osnove, ki bi določala obliko paleotemperaturnih enačb, pač pa so vse dobljene s prileganjem polinoma drugega reda velikemu številu izmerjenih vrednosti. Izotopski faktorji obogatitve kisika ($1\ 000 \ln \alpha$) med karbonatom in vodo, objavljeni v literaturi, se pri različnih avtorjih razlikujejo za več kot 2 ‰^[39], poleg tega pa nanje vpliva ne le temperatura, ampak v enaki ali celo večji meri tudi hitrost obarjanja karbonata^[13]. Če upoštevamo vse naštet, lahko rečemo, da izotopski podatki v naravnih sistemih sicer dobro izražajo usmeritve temperaturnih sprememb, natančna paleotermometrija pa je v večini primerov nemogoča oziroma so dobljene vrednosti dokaj spekulativne in pravilno izračunane paleotemperature prej izjema kot pravilo; v bistvu bi morali za vsak sistem posebej s prileganjem določiti izotopsko paleotemperaturno enačbo. Vsebnost detritičnega karbonata in njegov vpliv na izračunane (paleo)temperature pa razen redkih izjem^[4] avtorji v glavnem zanemarjajo, čeprav se je v primeru NP Krka pokazala kot ključni problem. V literaturi se uporablja tudi Mg geokemični paleotermometer^[9], ki smo ga preizkusili na laminirani skorji iz HE Jaruga, vendar so negotovosti zaradi antropogenega onesnaženja reke iz industrijskih virov v zadnjih desetletjih tolikšne, da negotovost presega 10 °C^[19]. V laminah, nastalih v letih od 1937 do 1975, je bilo ujemanje izotopskega in Mg-termometra zelo dobro; Mg-termometer se je izkazal celo za bolj zanesljivega od izotopskega, saj so bila medletna nihanja precej manjša kot pri kisikovem termometru. V zadnjih 25 letih nastajanja skorje pa je prišlo do večjih odklonov proti višjim temperaturam zaradi industrijskega onesnaženja reke iz tovarne vijakov Tvik v Kninu (tabela 3). Ocenili smo, da bi ob neznani vsebnosti dolomita v masivnem lehnjaku, v katerem razmerje Mg/Ca presega 20 % (ob negotovosti rentgenske difraktometrične analize 10 %), in šibki ali neobstoječi korelaciji med temperaturo in razmerjem Mg/Ca v vodi, bili paleotemperaturni izračuni z Mg-termometrom nesmiselni.

Sklepi

Čeprav se lehnjaki pogosto uporabljajo kot paleoekološki indikatorji, je njihova uporaba v paleotermometriji lahko problematična. V kraških hidrogeoloških sistemih, kjer je hidrološka situacija navadno komplicirana in velikokrat ne dovolj dobro pojasnjena, so izračunane temperature obarjanja lahko zelo nezanesljive, z negotovostjo, ki zlahka presega 10 °C. Dokaj zanesljivo pa izražajo usmeritve temperaturnih sprememb v času in prostoru. Razlogov za to je navadno več. Različno dolgi in pogosto neznani zadrževalni časi podzemne vode, ki napaja lehnjakotvorne reke, imajo lahko za posledico, da med temperaturo in izotopsko sestavo kisika v vodi ni nobene korelacije. Izotopska frakcionacija kisika med vodo in karbonatno oborino v realnih sistemih ni odvisna samo od temperature, pač pa tudi od hitrosti obarjanja karbonata, kar je v nasprotju s temeljno predpostavko izotopske geotermometrije, da je le-ta odvisna samo od temperature obarjanja. V literaturi pri študiju lehnjakov pa avtorji navadno ne upoštevajo dejstva, da je lahko v lehnjaku tudi več ali manj litičnega karbonata, ki v reko prihaja s spiranjem površine in vetrom in lahko preseže 20 % celotnega karbonata v lehnjaku. Medtem ko je vsebnost dolomita mogoče dokaj natančno določiti, pa je ločitev litičnih in avtigenih zrn kalcita zelo težavna. Uporabnost lehnjakov v paleotermometriji je tako lahko zelo omejena.

Zahvala

Raziskavo so omogočili Javna agencija za raziskovanje Republike Slovenije (raziskovalni program P1-0143), Ministrstvo za znanost, izobraževanje in šport Republike Hrvaške (bilateralni raziskovalni projekt BI-HR/12-13-032) in Javna ustanova Nacionalni park Krka (Hrvaška).

Viri

- [1] Pazdur, A., Pazdur, M. F., Starkel, L., Szulc, J. (1988): Stable isotopes of Holocene calcareous tufa in southern Poland as palaeoclimatic indicators. *Quaternary Research*, 30, str. 177–189.

- [2] Andrews, J. E., Riding, R., Dennis, P. F. (1993): Stable isotopic compositions of recent freshwater cyanobacterial carbonates from the British Isles: local and regional environmental controls. *Sedimentology*, 40, str. 303–314.
- [3] Andrews, J. E., Riding, R., Dennis, P. F. (1997): The stable isotope record of environmental and climatic signals in modern terrestrial microbial carbonates from Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 129, str. 171–189.
- [4] Ihlenfeld, C., Norman, M. D., Gagan, M. K., Russell, N., Drysdale, R. M., Webb, J. (2003): Climatic significance of seasonal trace element and stable isotope variations in a modern freshwater tufa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, str. 2341–2357.
- [5] Vázquez-Urbes, M., Pardo, G., Arenas, C., Sancho, C. (2011): Fluvial diffuence episodes reflected in the Pleistocene tufa deposits of the river Piedra (Iberian Range, NE Spain). *Geomorphology*, 125, str. 1–10.
- [6] Arenas, C., Vázquez-Urbes, M., Augue, L., Sancho, C., Osácar, C., Pardo, G. (2014): Intrinsic and extrinsic controls of spatial and temporal variations in modern fluvial tufa sedimentation: A thirteen-year record from a semi-arid environment. *Sedimentology*, 61, str. 90–132.
- [7] Uzdowski, E., Hoefs, J., Menschel, G. (1979): Relationship between ^{13}C and ^{18}O fractionation and changes in major element composition in a recent calcite-depositing spring – a model of chemical variations with inorganic CaCO_3 precipitation. *Earth and Planetary Science Letters*, 42, str. 267–276.
- [8] Huang, Y., Fairchild, I. J. (2001): Partitioning of Mg and Sr into calcite under karst-analogue experimental conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65, str. 47–62.
- [9] Matsuoka, J., Kano, A., Oba, T., Watanabe, T., Sakai, S., Seto, K. (2001): Seasonal variation of stable isotopic compositions recorded in a laminated tufa, SW Japan. *Earth and Planetary Science Letters*, 192, str. 31–44.
- [10] Liu, Z., Li, H., You, C., Wan, N., Sun, H. (2006): Thickness and stable isotopic characteristics of modern seasonal climate-controlled sub-annual travertine laminae in a travertine depositing stream at Baishuitai, SW China: implications for paleoclimate reconstruction. *Environmental Geology*, 51, str. 257–265.
- [11] Emeis, K.-C., Richnow, H.-H., Kempe, S. (1987): Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control. *Sedimentology*, 34, str. 595–609.
- [12] Lojen, S., Dolenec, T., Vokal, B., Cukrov, N., Mihelčić, G., Papesch, W. (2004): C and O stable isotope variability in recent freshwater carbonates (River Krka, Croatia). *Sedimentology*, 51, str. 361–375.
- [13] Dietzel, M., Tang, J., Leis, A., Köhler, J. S. (2009): Oxygen isotopic fractionation during inorganic calcite precipitation – Effects of temperature, precipitation rate and pH. *Chemical Geology*, 268, str. 107–115.
- [14] Capezzuoli, E., Gandin, A., Pedley, M. (2014): Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. *Sedimentology* 61, str. 1–21.
- [15] Brasier, A. T., Andrews, J. E., Marca-Bell, A. D., Dennis, P. F. (2010): Depositional continuity of seasonally laminated tufas: Implications for $\delta^{18}\text{O}$ based palaeotemperatures. *Global Planetary Change*, 71, str. 160–167.
- [16] Zavadlav, S. (2013): *CO₂ dynamics in a river system: mass balance, hydrological, geochemical and biochemical impacts*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Mednarodna podiplomska šola J. Stefana, 196 str.
- [17] Horvatinčić, N., Čalić, R., Geyh, M. A. (2000): Interglacial growth of tufa in Croatia. *Quaternary Research*, 53, str. 185–195.
- [18] Horvatinčić, N., Krajcar Bronić, I., Obelić, B. (2003): Differences in the ^{14}C age, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ of Holocene tufa and speleothem in the Dinaric Karst. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193, str. 139–157.
- [19] Lojen, S., Trkov, A., Ščančar, J., Vázquez-Navarro, J. A., Cukrov, N. (2009): Continuous 60-year stable isotopic and earth-alkali element records in a modern laminated tufa (Jaruga, river Krka, Croatia): Implications for climate reconstruction. *Chemical Geology*, 258, str. 242–250.
- [20] Bonacci, O., Ljubenković, I. (2005): New insights into the Krka river hydrology. *Hrvatske vode*, 13, str. 265–281.
- [21] Bonacci, O., Jukić, D., Ljubenković, I. (2006): Definition of catchment area in karst: cases of the rivers Krčić and Krka, Croatia. *Hydrological Science Journal*, 51, str. 682–699.
- [22] Terzić, J., Marković, T., Lukač, Reberski, J. (2014): Hydrogeological properties of a complex Dinaric karst catchment: Miljacka Spring case study. *Environmental Earth Sciences*, DOI: 10.1007/s12665-013-3031-6, v tisku.
- [23] Cukrov, N., Cmuk, P., Mlakar, M., Omanović, D. (2008): Spatial distribution of trace metals in the Krka River, Croatia: An example of the self-purification. *Chemosphere*, 72, str. 1559–1566.

- [24] Cukrov, N., Tepić, N., Omanović, D., Lojen, S., Bura-Nakić, E., Vojvodić, V., Pižeta, I. (2012): Qualitative interpretation of physico-chemical and isotopic parameters in the Krka River (Croatia) assessed by multivariate statistical analysis. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92, str. 1187–1199.
- [25] USGS, Lims for Light Stable Isotopes [online]. Reston Stable Isotope Laboratory, obnovljeno 9. 10. 2014 [citirano 20. 10. 2014]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://isotopes.usgs.gov/research/topics/lims.html>>.
- [26] Dansgaard, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, str. 436–468.
- [27] Jiménez-López, C., Caballero, E., Huertas, F. J., Romanek, C. S. (2001): Chemical, mineralogical and isotope behavior, and phase transformation during the precipitation of calcium carbonate minerals from intermediate ionic solution at 25 °C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65, str. 3219–3231.
- [28] Romanek, C. S., Grossman, E. L., Morse, J. W. (1992): Carbon isotopic fractionation in synthetic aragonite and calcite: effects of temperature and precipitation rate. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56, str. 419–430.
- [29] Grimani, I., Šikić, K., Šimunić, A. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, list Knin, 1 : 100 000. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- [30] Mamužić, P. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ, list Šibenik, 1 : 100 000. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, Savezni geološki zavod, Beograd.
- [31] Anderson, T. F., Arthur, M. A. (1983): Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and palaeo-environmental problems. In: Arthur, M. A., Anderson, T. F., Kaplan, I. R., Veizer, J., Land, L. S. (Eds.), *Stable isotopes in Sedimentary Geology*, Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, Short Course Notes, Vol. 10.
- [32] Hays, P. D., Grossman, E. L. (1991): Oxygen isotopes in meteoric calcite cements as indicators of continental palaeoclimate. *Geology*, 19, str. 441–444.
- [33] O'Neil, J. R., Clayton, R. N., Mayeda, T. K. (1969): Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *Journal of Chemical Physics*, 51, pp. 5547–5558.
- [34] Mook, W. G., Vogel, J. C. (1968): Isotopic Equilibrium between Shells and Their Environment. *Science*, 159, pp. 874–875.
- [35] Firtz, P., Smith, D. G. W. (1970): The isotopic composition of secondary dolomites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 11, pp. 1161–1173.
- [36] Major, R. P., Lloyd, R. M., Lucia, F. J. (1992): Oxygen isotope composition of Holocene dolomite formed in a humid hypersaline setting. *Geology*, 20, pp. 586–588.
- [37] Dini M., Tunis, G., Venturini, S. (1998): Continental, brackish and marine carbonates from the Lower Cretaceous of Kolone-Barbariga (Istria, Croatia): stratigraphy, sedimentology and geochemistry. *Palaogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140, pp. 245–269.
- [38] Lužar-Oberiter, B., Hochuli, P. A., Babić, L., Glumac, B., Tibljaš, D. (2010): Climatic cycles recorded in the Middle Eocene hemipelagites from a Dinaric foreland basin of Istria (Croatia). *Geologia Carpathica*, 61, pp. 193–200.
- [39] Coplen, T. B. (2007): Calibration of the calcite–water oxygen isotope geothermometer at Devils Hole, Nevada, a natural laboratory. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, pp. 3948–3957.

Vrednotenje slovenskih glinišč glede na njihovo perspektivnost

Evaluation of clay deposits in Slovenia referring to their prospects

Duška Rokavec

Geološki zavod Slovenije, Oddelek za mineralne surovine in geokemijo okolja, Dimičeva 14, Ljubljana, Slovenija

Vodilni avtor. E-mail: duska.rokavec@geo-zs.si

Izvleček

Raznolika geološka zgradba našega ozemlja pogojuje obstoj določenih vrst mineralnih surovin, od katerih se nekatere pojavljajo v prostoru v relativno omejenem obsegu in niso raziskane do mere, ki bi zadoščala potrebam trga. Ena od slednjih je skupina glin (pri nas so to gline opekarske in keramične kakovosti, ki so v angl. literaturi poimenovane »brick clay« in »ball clay«), ki nastopajo v mlajših stratigrafskih enotah in le redko v ekonomsko izkoristljivih količinah.

Zaradi prednostnega upoštevanja varovanja kmetijskih zemljišč in druge rabe prostora so nahajališča glin, ki se nahajajo predvsem v ravninskih predelih blizu oz. na površini (z izjemo premoških glin), pogosto trajno nedostopna za gospodarsko izkoriščanje, kar je v slovenskih razmerah pomanjkanja prostora in nezadostne preskrbe z lastnimi naravnimi viri pereča problematika. In to kljub dejstvu, da je za njihovo pridobivanje potrebna le začasna degradacija večjih površin.

Delo zaobsega kompleten pregled znanih slovenskih glinišč. Vrednotenje nahajališč glin je bilo izpeljano z znano metodo večatributnega odločanja^[1], katere rezultat je katalog glinišč, ki so razvrščena glede na njihovo perspektivnost^[2].

Ključne besede: glina, glinišče, mineralna surovina

Abstract

The occurrence of mineral resources in Slovenia is closely related to its heterogeneous geological setting. Some of them can be found only locally and are explored to a certain degree, such as a group of common clays – brick clay, ball clay, and fire-clay – which appear in younger stratigraphic units and only in a few places. Nevertheless, their concentration reaches commercial quantities.

The advantage of clay exploitation over the exploitation of other mineral resources is that it causes spatial degradation only for a limited period of time. However, clay deposits remain inaccessible for exploitation far too often, mostly due to the prevalence of agriculture, forestry and other forms of land use. For this reason, clay exploitation has been aggravated, which has led to a difficult situation in Slovenia with its characteristic lack of space and insufficient domestic supply of mineral resources.

The work is completed review of the majority of known clay deposits in Slovenia. Clay deposit evaluation has been carried out by means of a model for Multi-Attribute-Decision^[1] making method. Using this method of assessment, a catalogue of clay deposits was produced in which the deposits are arranged according to their potential^[2].

Key words: clay, clay deposit, mineral resource

Uvod

Slovenska glinišča so razvrščena v šest izvornih območij s specifično geološko zgradbo, od česar je vsaj delno odvisna mineralna sestava glin glede na izvorna območja. Opisane so skupne lastnosti, razlike in uporabnost slovenskih glin kot surovin za opekarstvo ter primerjava njihove uporabe s preteklim obdobjem. Podrobneje so prikazana aktualna območja izkoriščanja, omejitve pri izkoriščanju v varovanih območjih, proizvodnja oz. odkop glin v njih ter zaloge in viri. Surovina iz njih je podrobno preučena tako v pogledu mineralne sestave, porazdelitve zrnatosti delcev kot tudi osnovnih fizikalno-mehanskih lastnosti žgane surovine (črepinje).

Izdvojenih ter podrobno opisanih je 47 slovenskih nahajališč glin, ki so bila vključena v analizo vrednotenja nahajališč z atributi, katerim je dodeljena določena teža glede na njihov vpliv na perspektivnost lokacije z uporabo modela vrednotenja za večparametrsko odločanje. Nahajališča so ovrednotena in obravnavana na podlagi izbranih meril: geološki faktorji, kakovost surovine, oddaljenost od predelovalnih obratov, prostorske omejitve ter stopnja raziskanosti. Namen je bil določiti perspektivnost nahajališč glin na podlagi vhodnih podatkov o surovini, nahajališčih in njihovi legi v prostoru ter jih razvrstiti po perspektivnosti od najbolj perspektivnih do neperspektivnih.

Slovenska glinišča so do današnjega dne v dobršni meri raziskana. V preteklem obdobju od konca II. svet. vojne do 80. let prejšnjega stoletja so večino raziskav glin izvajali tedanji sodelavci oddelka za ekonomsko geologijo Geološkega zavoda (Štern, Iskra, Lapajne, Škerlj, Dimkovski, Krošl - Kušcer, Strgar, Ciglar in drugi), kasneje pa mlajša generacija raziskovalcev iste raziskovalne inštitucije. Od celotne skupine 110 evidentiranih in do različne mere geološko raziskanih nahajališč glin in glinastih skrilavcev, uporabnih za opekarstvo, sta dobri 2/3, to je 86 nahajališč, opekarskih in keramičnih glin. Kljub dejstvu, da je opekarska surovinska baza pri nas relativno dobro raziskana, pa obstajajo neravnotežja med zalogami in lokacijami opekarniških obratov^[3].

Po II. svetovni vojni je pri nas obratovalo še okrog 50 opekarn, večino le-teh pa so zaprli v glavnem zaradi nekonkurenčne proizvodnje, redkeje zaradi pomanjkanja primerne surovine. Tako ostaja del slovenskega prostora »nepokrit« z opekarniški izdelki (Notranjska, Bela krajina) in so nekatere regije, kjer glin sicer ne manjka, brez opekarn (npr. Gorenjska). Le v severozahodni Sloveniji (Posočje) glin praktično niso razvite in je odsotnost opekarne razumljiva. Na drugi strani pa ostaja ta mineralna surovina marsikje žal neizkoriščena. Tak primer je glinokop keramične glin v Globokem pri Brežicah, kjer ostaja krovinska rjava glina opekarske kvalitete na deponiji v velikih količinah kot jalovina, ker v bližini ni opekarne za izdelavo »navadne« opeke. Naše največje nahajališče glin je v Kosezah pri Ilirski Bistrici, kjer nastopa pliocenska homogena plastična glina v sloju maksimalne debeline 70 m.

Materiali in metode

Osnovna naloga pri postopku ocene perspektivnosti nahajališč je izbira parametrov in določitev meril, po katerih smo nahajališča ovrednotili. Postopek ocenjevanja perspektivnosti je bil izpeljan z modelom, izdelanim v ta namen, in z uporabo znane metode večparametrskega odločanja. Podrobno je opisan v doktorski disertaciji avtorice^[4]. Za izdelavo navedenega modela je bilo izbranih 12 odločitvenih atributov oz. parametrov, ki opredeljujejo nahajališča in surovino v njih, in določene so bile uteži njihovega vpliva. Izdelani model je bil z metodo večparametrskega odločanja uporabljen za oceno in razvrstitev nahajališč glin po perspektivnosti^[5]. V vzorec za analizo je bilo vključenih 47 izbranih slovenskih glinišč.

- Parametri, ki odločilno vplivajo na ekonomsko izkoriščanja oz. na perspektivnost nahajališč, so naslednji: V procesu pridobivanja so pomembne izkoristljive zaloge, debelina produktivnega sloja ter čim manjša bočna in vertikalna spremenljivost lastnosti in sestave surovine (homogenost surovine).
- V procesu predelave surovine je pomembna čim manjša prisotnost različnih vključkov ter sulfidov, ki negativno vplivajo že med žganjem surovine.

- Na ekonomiko proizvodnje in ceno izkoriščanja pomembno vpliva oddaljenost predelovalnega obrata, saj je glina masovna mineralna surovina, ki ne prenese dolgih transportnih razdalj od kraja pridobivanja do kraja predelave.
- Na izvedljivost pridobivanja vplivajo prostorske možnosti odkopavanja, ki jih omejujejo varstvo naravnih vrednot, namenska raba prostora, ki ni namenjena izkoriščanju mineralnih surovin, vodovarstvena območja in prisotnost objektov kulturne dediščine.
- Zanesljivost rezultatov terenskih raziskav in poznanje geoloških razmer v nahajališču sta odvisna od gostote raziskovalnih del.

Glede na zgoraj navedeno, je bilo ovrednotenih 47 nahajališč opekarske in keramične gline glede na:

- gostoto izvedenih raziskovalnih del,
- zaloge surovine,
- debelino produktivnega sloja,
- homogenost nahajališča,
- vsebnost sulfidov,
- vsebnost kamninskih in drugih vključkov,
- oddaljenost glinišča od predelovalnega obrata,
- morebitno prisotnost naravnih vrednot, kulturne dediščine in vodovarstvenega pasu,
- namensko rabo prostora ter
- dostopnost^[2, 4].

Izbrana merila za posamezne parametre, ki določajo perspektivnost nahajališč, so:

a) geološki dejavniki

- zaloge
 - ≤ 1 milijon m³, 1–5 milijonov m³,
 - ≥ 5 milijonov m³
- debelina produktivnega sloja (≤ 10 m, 10–20 m, ≥ 20 m)
- homogenost surovine (več različnih plasti, hitro bočno spreminjanje kvalitete ...) (homogen, nehomogen) (DA, NE)

b) kakovost surovine

- vključki (DA, NE)
- vsebnost sulfidov (manj kot 0,5 %) (DA, NE)

c) oddaljenost predelovalnih obratov

- zračna razdalja ≤ 20 km (DA, NE)

č) prostorske omejitve

- varstvo naravnih vrednot (Natura 2000, zavarovana območja, ekološko pomembna območja) (DA, NE)
- namenska raba prostora (tri različne rabe prostora: poselitveno območje, kmetijsko zemljišče, rudarski prostor) (DA, NE)
- vodovarstveno območje (DA, NE)
- kulturna dediščina (DA, NE)

d) stopnja raziskanosti

- gostota raziskovalnih del (≥ 0,25 vrtine na hektar) (DA, NE)

e) dostopnost

- dostopno pomeni, da je nahajališče še dostopno, nedostopno pomeni opuščen jamski kop ali pozidano zemljišče.

Merilo za zaloge smo razdelili na: do 1 milijon m³, od 1 do 5 milijonov m³ ter nad 5 milijonov m³.

Merilo debeline produktivnega sloja smo izbrali tako, da je skupna debelina sloja do 10 m, od 10 m do 20 m ter nad 20 m.

Za homogenost in prisotnost vključkov je merilo DA/NE.

Merilo vsebnosti sulfidov v surovini se nanaša na vsebnost manj kot 0,5 % in več kot 0,5 %.

Kot merilo za oddaljenost predelovalnih obratov je privzeta zračna razdalja 20 km, kar pomeni, da je predelovalni obrat bližje ali dlje od 20 km (razdalja je privzeta izkustveno po analogiji proizvodnje keramičnih ploščic Keramike Gorenje). Ta razdalja se sicer v praksi spreminja v odvisnosti od dodane vrednosti proizvoda.

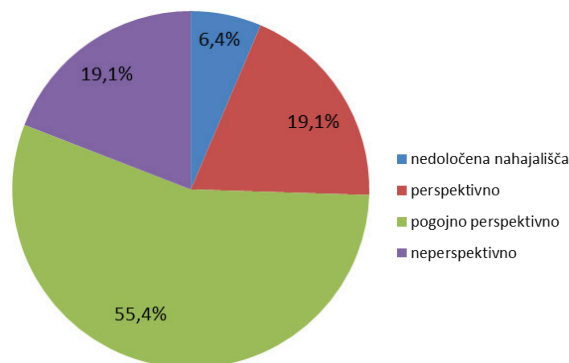
Za merilo prostorskih omejitev je upoštevana prisotnost oz. odsotnost območij varstva naravnih vrednot, namenske rabe prostora (ki je lahko stavbno zemljišče, kmetijsko oz. gozdno zemljišče ter območje izkoriščanja mineralnih surovin), vodovarstvenih območij in objektov kulturne dediščine.

Merilo stopnje raziskanosti je gostota raziskovalnih del na površini v skladu s Pravilnikom o klasifikaciji in kategorizaciji ...^[6]. Izbrana je predpisana razdalja za kategorijo zalog B, ki je 200 m. V našem primeru to pomeni vsaj 1 vrtina na 4 ha površine oz. vsaj 0,25 vrtine na hektar raziskane površine.

Rezultati

Na podlagi navedenih parametrov in meril za nje, ki določajo nahajališče in surovino v njem, so obravnavana slovenska glinišča (tabela 1) razvrščena po stopnji perspektivnosti v naslednje stopnje:

- perspektivno,
- pogojno perspektivno,
- neperspektivno.



Slika 1: Obravnavana slovenska glinišča glede na stopnjo perspektivnosti.

Tabela 1: Razvrstitev izbranih nahajališč glin po stopnji perspektivnosti

Nahajališče	Perspektivnost
Boreci - Ključarovski gozd	perspektivno
Hardeška šuma	perspektivno
Ljubečna - Šmiklavž - sever II	perspektivno
Ljubečna - Šmiklavž - sever I	perspektivno
Ljubečna - Šmiklavž - jug	perspektivno
Hom I	perspektivno
Globoko	perspektivno
Ilirska Bistrica	perspektivno
Okroglica I + II + Šempas	perspektivno
Lendava - Dolga vas	pogojno perspektivno
Dragučova	pogojno perspektivno
Košaki	pogojno perspektivno
Janežovci	pogojno perspektivno
Puconci	pogojno perspektivno
Medvedce	pogojno perspektivno
Ljutomer	pogojno perspektivno
Požeg pri Framu	pogojno perspektivno
Bomčev breg	pogojno perspektivno
Pragersko	pogojno perspektivno
Pragersko - Gaj	pogojno perspektivno
Brezje	pogojno perspektivno
Lipovec - Glinsko	pogojno perspektivno
Pristava	pogojno perspektivno
Čatrova hosta	pogojno perspektivno

Prerez skozi vzorec večine danes znanih in raziskanih slovenskih nahajališč glin (47 glinišč) pokaže, da je za nadaljnje raziskave zanimiva slaba petina nahajališč (19,1 %); za dobro polovico nahajališč obstaja možnost, da bi z dodatnimi raziskavami prišli do pozitivnih rezultatov (55,4 %); za petino nahajališč pa bi bilo kakršno koli vlaganje sredstev v raziskave neracionalno (19,1 %) (slika 1).

Diskusija

Nekatere lastnosti nahajališč niso upoštevane pri določanju perspektivnosti in vrednotenju nahajališč, saj menimo, da ne vplivajo odločilno na perspektivnost nahajališč. Zadevni dejavniki so naslednji:

- *Transportne možnosti* lahko zanemarimo zaradi kratkih razdalj v Sloveniji in dejstva, da so glinišča vezana na ravninska območja in so večinoma dostopna z obstoječo prometno infrastrukturo.

Nahajališče	Perspektivnost
Zg. Ložnica	pogojno perspektivno
Dobrava	pogojno perspektivno
Zalog	pogojno perspektivno
Dvorska vas pri Begunjah	pogojno perspektivno
Češnjavek	pogojno perspektivno
Bobovek	pogojno perspektivno
Renče	pogojno perspektivno
Obrov - Jezerina	pogojno perspektivno
Dolgi hrib + Tomaški hrib	pogojno perspektivno
Biljenski griči	pogojno perspektivno
Meandri Vipave	pogojno perspektivno
Hrastnik - Blate	neperspektivno
Laško (Govce + Brune)	neperspektivno
Trbovlje - Neža	neperspektivno
Trbovlje - Ojstro	neperspektivno
Trbovlje - Dobrna	neperspektivno
Rače selo	neperspektivno
Črnuče - Podboršt	neperspektivno
Smodinovec	neperspektivno
Vrhnika - Sinja Gorica	neperspektivno
Šmatevž pri Gomilskem	nedoločeno
Holmec	nedoločeno
Zg. Moravci	nedoločeno

Za tri od izdvojenih nahajališč so razpoložljivi podatki preskopi za razvrstitev po perspektivnosti in so opredeljena kot »nedoločena«.

- *Izvedljivost sanacije* – vrnitve površine v prvotno stanje ali uvedba nove namembnosti. V praksi je sanacija glinokopov razmeroma enostavno izvedljiva in manj problematična v primerjavi s kamnolomi.
- *Globina podtalnice* ne vpliva bistveno na pridobivanje, ker se eksploatacija izvaja lahko nad ravniyo podtalnice ali pod njo in se pridobivanje tudi sicer prilagaja vodnemu režimu s sezonskim načinom odkopavanja.
- *Trg* – To je število uporabnikov v neposredni bližini glinišča. Izdelki iz gline z dodano vrednostjo danes prenesajo relativno dolge transportne razdalje od predelovalnega obrata do porabnika.
- *Debelina odkrivke* je praviloma le nekaj centimetrov do nekaj decimetrov in pri izkoriščanju ni ovire razen v primeru premoških glin^[7].

Iz skupine sicer odločilnih parametrov je izvzeta tudi mineralna sestava, ki opredeljuje kakovost surovine. Glina je namreč lahko uporabna v širokem razponu njene mineralne sestave, odvisno od tehnologije in uporabljene recepture ter dodatkov. Z drugimi besedami: različne vrste glin so lahko uporabne za isti namen oz.

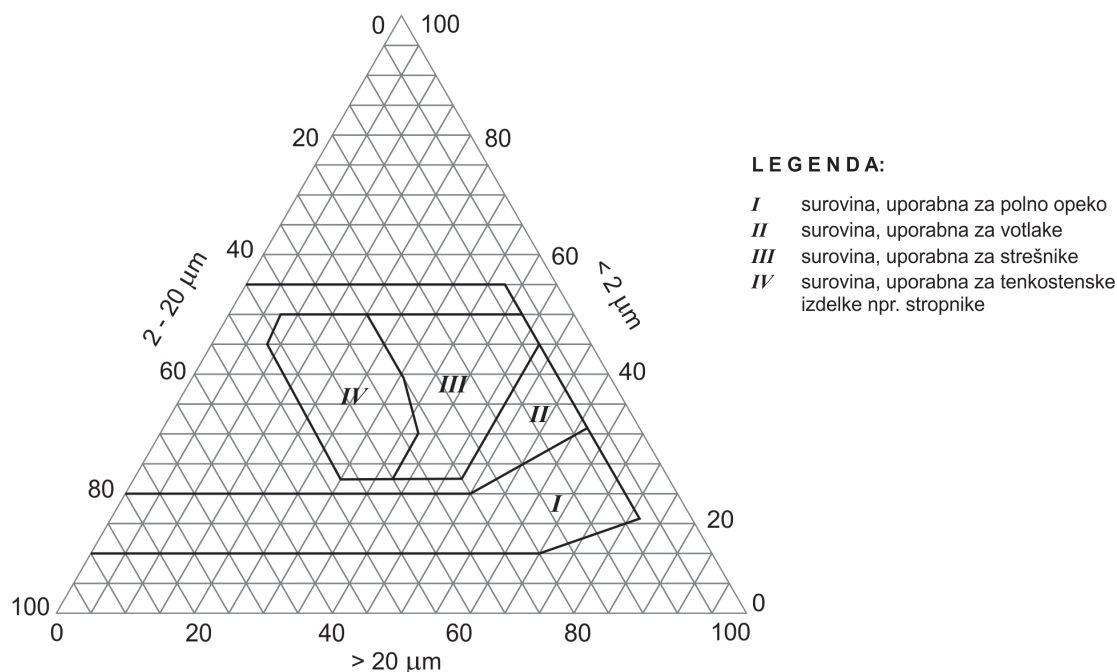
izdelek ali obratno, gline s podobno mineralno sestavo se uporabljajo za različne namene in izdelke, kot so: opeke, strešniki ter druga gradbena keramika, gospodinjska, sanitarna, okrasna keramika idr.

Čeprav gline že tisočletja uporabljamo za proizvodnjo opekarskih izdelkov, odnos med njihovimi lastnostmi in vedenjem surovine med tehnološkim procesom kot tudi lastnostmi končnega proizvoda še vedno ni dovolj dognan in raziskan^[8].

Za opredelitev uporabnosti glin so bistvenega pomena naslednje lastnosti surove gline^[9]:

- mineralna sestava,
- granulacijska sestava in
- fizikalne lastnosti (kot so: plastičnost, absorpcija vode, viskoznost in tiksotropnost suspenzije gline v vodi idr.).

Plastičnost kot najvažnejša karakteristika glin je premo sorazmerna z razmerjem med glinenimi minerali in neplastičnimi minerali, vendar je v veliki meri odvisna tudi od disperznosti sistema. Tako je precej peščena glina z drobnimi dispergiranimi delci peska lahko bolj plastična kot malo peščena glina, v kateri je pesek v posameznih večjih zrnih^[8].



Slika 2: Winklerjev trikomponentni diagram zrnatosti^[11], ki velja že od leta 1954, prikazuje uporabnost surovine za posamezne opečne izdelke v odvisnosti od porazdelitve velikosti delcev.

Zvezo med zrnatostjo gline in uporabnostjo za opekarske izdelke ponazarja Winklerjev diagram (slika 2), iz katerega je razvidno, da so za opekarsko proizvodnjo primerne gline, ki vsebujejo masni delež najmanj 23 % in največ 50–55 % zrn manjših od 2 μm in hkrati največ 50 % zrn večjih od 20 μm . Pri takšni zrnatosti ima črepinja zaradi ustrezne količine glinenih mineralov, glincev in kremena v vhodni surovini ustrezne keramične lastnosti: majhen skrčec, primerno plastičnost, majhno vodovojnost in zadostno trdnost^[10].

Omenjene lastnosti surove gline se odražajo na lastnostih žganih oblikovancev, kot so:

- skrčec po sušenju in žganju,
- žarilna izguba,
- vpijanje vode (odprta, zaprta poroznost),
- barva črepinje,
- tlačna in upogibna trdnost,
- temperatura klinkerizacije in interval sintranja.

Gline, ki jih uporabljajo v opekarstvu, imajo navadno razmeroma precej primesi železovih in aluminijevih oksidov ter organske snovi, se žgejo pri nizkih temperaturah (900–1 100 °C) in dobijo po žganju rdeče-rjavo črepinjo z vodovojnostjo okoli 10–13 %.

Gline za opekarstvo so torej glinaste zemljine (gline in meljaste gline), ki niso uporabne za bolj zahtevno vrsto keramike, temveč za izdelke z nižjo dodano vrednostjo brez posebnih keramičnih lastnosti.

Pri vrednotenju nahajališč drugih vrst nekovinskih mineralnih surovin bi bilo smiselno uporabiti isto metodo večparametrskega odločanja, vendar bi bilo treba preučiti in smotrno izbrati druge odločilne parametre in merila zanje, takšne, ki ustrezajo specifikam določene mineralne surovine oz. njenemu pojavljanju v prostoru.

Sklepi

Raziskava je zajela večino v Sloveniji znanih in do določene mere raziskanih nahajališč, ki so bila ovrednotena in razvrščena po stopnji perspektivnosti. Postopek ocenjevanja perspektivnosti je bil izpeljan z modelom, izdelanim v ta namen, in z uporabo znane metode večparametrskega odločanja. Rezultat je katalog slovenskih glinišč, razvrščenih od tistih, ki so

za nadaljnje raziskave praktično nezanimiva, do perspektivnih, ki utegnejo biti v prihodnje surovinsko zaledje za nove proizvodne enote in izdelke.

Prerez skozi vzorec večine doslej znanih in raziskanih slovenskih nahajališč glin pokaže, da je za nadaljnje raziskave zanimiva petina nahajališč; dobra polovica nahajališč ima možnost, da bi z dodatnimi raziskavami pridobili pozitivne rezultate; za petino nahajališč pa bi bilo kakršno koli vlaganje sredstev v raziskave neracionalno. Ta optimizirani metodološki način raziskav izbranih nahajališč mineralnih surovin pomeni kvantitativen prispevek k pravočasni umestitvi nahajališč v prostorske načrte, kar prispeva k racionalizaciji rabe prostora in h gospodarnejšemu izkoriščanju razpoložljivih zalog mineralnih surovin.

S tem načinom vrednotenja nahajališč bomo v prihodnje lahko po analogiji z glinami določali tudi perspektivnost nahajališč drugih vrst mineralnih surovin.

Zaokrožen je pregled večine doslej znanih slovenskih nahajališč glin, ki so razvrščene po stopnji perspektivnosti, kar bo zainteresiranemu investitorju služilo kot smerokaz pri odločitvi, kje bi bilo smiselno vložiti sredstva v detaljne raziskave. Z ovrednotenjem nahajališč in njihovo uvrstitvijo po stopnji perspektivnosti so uporabniku približane razmere na področju zastopanosti in raziskanosti ter perspektivnosti nahajališč glin kot surovinske baze za preskrbo industrije gradbene keramike. Potreba po slednji se bo po večletni gospodarski recesiji in s ponovnim razmahom gradbeništva nedvomno povečala.

Viri

- [1] Bohanec, M. (2006): *Odločanje in modeli*. Ljubljana: Društvo matematikov, fizikov in astronomov, 312 str.
- [2] Rokavec, D. (2012): *Gline v Sloveniji*, Ljubljana, 95 str.
- [3] Dimkovski, T., Rokavec, D. (2001): *Nahajališča nekovinskih mineralnih surovin v Sloveniji: površinski kopi*. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 123 str.
- [4] Rokavec, D. (2012): *Raziskovanje in izkoriščanje izbranih nekovinskih mineralnih surovin v pogojih geoloških danosti, prostora in trga*. Doktorska disertacija, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovno-tehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 110 str.

- [5] Bohanec, M., Rajkovič, V. (1995): Večparametrski odločitveni modeli. *Organizacija*, 28, 7, str. 427–438.
- [6] *Pravilnik o klasifikaciji in kategorizaciji zalog in virov trdnih mineralnih surovin*, Ur. l. RS, št. 36/2006, Ur. l. RS, št. 61/2010-ZRud-1 (62/2010 popr.)
- [7] Peters, W. C. (1987): *Exploration and mining geology*. Canada : John Wiley & Sons, 685 str.
- [8] Ranogajec, J., Živanović, B., Kasaš, K., Vasić, R. (1998): *Opekarski proizvodi: sirovine, tehnologija, svojstva*. Beograd : IMS, 170 str.
- [9] Grimshaw, R. W. (1971): *The chemistry and physics of clays and allied ceramic materials*. London; Ernest Benn Ltd. 1024 str.
- [10] Bujak, D. (1976): *Osnovi i odabrana poglavlja tehnologije keramike*. Zagreb : Institut za tehnologiju silikata, 404 str.
- [11] Osterc, V., (1980): *Nekovinske mineralne surovine – industrijski minerali in kamnine*, Tipkopis. Predavanj, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo VTOZD Montanistika; 140 str.

Akademik prof. dr. Mario Pleničar – devetdesetletnik

Vasja Mikuz

Po naravi zvedav, delaven, skromen, miren, odprt do vsakogar, požrtvovalen, včasih šaljiv, prilagodljiv, trmast, zelo vzdržljiv in pošten človek, takšen je jubilan Mario Pleničar. Ob tej priložnosti mu iskreno čestitamo za njegov visok jubilej in za vse, kar je storil na področju geoloških in paleontoloških znanosti.

Mario Pleničar je bil rojen v Ljubljani 5. avgusta 1924. Po končani osnovni šoli se je vpisal na klasično gimnazijo v Ljubljani, kjer je maturiral v letu 1943. Po uspešno opravljeni maturi se je vpisal na študij kemije in geologije na Prirodoslovno-matematični fakulteti ljubljanske univerze. V letu 1949 se je zaposlil na Geološkem zavodu v Ljubljani, leta 1951 pa je diplomiral. V letih od 1952 do 1953 je delal kot naftni geolog v Lendavi. Po vrnitvi na Geološki zavod je leta 1958 postal vodja Oddelka za geološko kartiranje. Dve leti kasneje je obranil doktorsko disertacijo z naslovom *Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem*. Pri geoloških raziskavah v Alžiriji je sodeloval v letih 1963 in 1969. Leta 1970 se je zaposlil na Oddelku za montanistiko takratne Fakultete za naravoslovje in tehnologijo v Ljubljani, še istega leta je bil izvoljen za izrednega profesorja, leta 1976 za rednega profesorja na Univerzi v Ljubljani. V letu 1981 je bil izvoljen za dopisnega člana SAZU, upokojil se je 1. junija 1984, leta 1991 pa je bil izvoljen za rednega člana Slovenske akademije znanosti in umetnosti.

Ob pregledu Pleničarjeve bibliografije in delnem poznanju le-te lahko sklenemo, da je bilo jubilarntovo znanstvenoraziskovalno in strokovno delo usmerjeno nekako v pet povezljivih področjih ali projektov. Prvo je bilo geološko kartiranje, drugo iskanje primernih geoloških struktur z zalogami ogljikovodikov ali njihovo podzemno skladiščenje, tretje je bilo raziskovanje krednih rudistnih školjk, četrti projekt je monografija o geologiji Slovenije in peto njegovo področje je pedagoško delo, kjer je lahko vsa

pridobljena znanja povezoval in jih posredoval študentom geologije in rudarstva ter drugim ljubiteljem naravoslovja.

V najtežjem in najpomembnejšem obdobju 1949–1970, ko je bil Mario Pleničar zaposlen na Geološkem zavodu, je v začetkih deloval kot kartirajoči geolog, kasneje pa tudi kot koordinator pri delu terenskih in laboratorijskih ekip, ki so sodelovale pri terenskem geološkem kartiranju in izdelavi Osnovne geološke karte SFRJ pod uredništvom Zveznega geološkega zavoda v Beogradu. V načrtu je bila izdelava 23 listov za Slovenijo v merilu 1 : 100 000, vsak celoten list je imel 16 listov v merilu 1 : 25 000. To je bil največji in najdražji geološki projekt v takratni Jugoslaviji. V sodelovanju s slovenskimi in hrvaškimi geologi je Mario Pleničar soavtor ali avtor petih listov: Postojna, Goričko, Trst, Ilirska Bistrica in Novo mesto. Skupna površina omenjenih petih listov zavzema okrog 5 000 km², kar je četrtnina ozemlja Slovenije. Takšno površino prehoditi in pregledati, poiskati primerne vzorce kamnin, fosilov, mineralov, opazovati geološke strukture, tektoniko in geomorfologijo, vzporedno pa izrisovati terensko geološko karto v merilu 1 : 25 000 vsekakor ni bil »mačji kašelj«. Navedeni listi Osnovne geološke karte in njihovi tolmači so izhajali v letih od 1967 do 1977.

V obdobju izdelave geoloških kart je M. Pleničar za krajši čas odšel raziskovat in ugotavljat potencialna ležišča ogljikovodikov v Prekmurju. V širši okolici Lendave so že bila prva in takrat edina naftno-plinska polja v Jugoslaviji. Takratna gospodarska politika je stremela za čim manjšo odvisnostjo od energentov iz tujine in drugih mineralnih surovin ter iskanjem novih zalog. Geološka struktura naftnega polja pri Lendavi ni omogočala večjih zalog nafte in plina, zato so se kasneje tam raziskave preusmerile v iskanje podzemnih naravnih skladišč za zemeljski plin, ki so ga uvažali iz Sovjetske zve-

ze. Pleničar je leta 1980 z Matijo Drovenikom in Francem Drovenikom sodeloval tudi pri izdaji obsežnega in pomembnega dela Nastanek rudišč v Sloveniji.

Poleg že omenjenih aktivnosti Maria Pleničarja moramo nekaj vrstic posvetiti tudi njegovemu paleontološkemu raziskovalnemu delu. Večina se je ukvarjal z raziskavami rudistnih školjk. Prvi poljudni članek o rudistih je Mario napisal že leta 1954 v reviji *Proteus*, prvi znanstveni članek pa leta 1963 v akademskih *Razpravah*. O rudistih je napisal veliko študij, ki jih je objavljaval v domačih in tujih revijah. Leta 2005 je izšla monografija ali, kot jo je sam poimenoval, »atlas o rudistih« z naslovom *Zgornjekredni rudisti v Sloveniji*, v kateri je združil podatke o rudistih iz 64 nahajališč v Sloveniji in jih tudi stratigrafsko in okoljsko opredelil.

V času njegovih učiteljskih in pedagoških obveznosti je Mario Pleničar predaval vsebine predmetov Fizikalna geologija, Geološko kartiranje, Osnove geologije in Biostratigrafija kenozoika. Za osnove geologije je leta 1981 izdal učbenik, za vse druge predmete je pripravil zelo dobre in obsežne tipkopise. Bil je mentor številnim seminaristom in diplomantom.

V vseh službenih in upokojskih letih je Mario Pleničar sodeloval s številnimi slovenskimi geologi in jih spodbujal pri pisanju vsebin in nastajanju knjige, ki bi združevala vse geološke panoge. Tako je v letu 2009 izpod peres številnih avtorjev in sodelavcev ter pod uredniško taktirko Maria Pleničarja, Bojana Ogorelca in Matevža Novaka izšla obsežna monografija z naslovom *Geologija Slovenije*. Tako je akademik Mario Pleničar prišel do zadnjega nadvse želenega znanstvenoraziskovalnega cilja.

Kot znanstvenik, raziskovalec in profesor se je Mario Pleničar aktivno udeleževal številnih simpozijev, kongresov doma in na tujem. Bil je član številnih komisij, programskih svetov, domačih in tujih znanstvenih odborov, imel je številne vodilne predsedniške in predstojniške funkcije. Še vedno je član nekaterih društev in uredniških odborov strokovnih revij.

Za svoja pomembnejša dela je Mario Pleničar leta 1961 prejel nagrado Sklada Borisa Kidriča, leta 1976 je bil odlikovan z redom dela s srebrnim vencem. Prvi je prejel Lipoldovo medaljo, ki jo podeljuje Geološki zavod Slovenije za življenjske dosežke na področju geologije. V letu 2005 je prejel visoko državno odlikovanje z zlatim redom za zasluge in za izjemno delo na področju naravoslovnih znanosti.

Composition and importance of Upper Triassic (Upper Ladinian – Lower Carnian) breccia in stratigraphy of External Dinarides

Sestava in pomen zgornje triasnih (zgornje ladinjskih – spodnje karnijskih) breč v stratigrafiji Zunanjih Dinaridov

Luka Gale^{1,2,*}, Dragomir Skaberne²

¹Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Geological Survey of Slovenia, Dimičeva ul. 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

*Corresponding author. E-mail: luka.gale@ntf.uni-lj.si, luka.gale@geo-zs.si

Abstract

A sequence of boulder breccia, separated by several emersion horizons is recognized as part of the Upper Ladinian – Lower Carnian Cassian Dolomite and Limestone Formation in the area of Medvedica (central Slovenia). The composition of clasts, determined from thin sections in the context of Late Ladinian – Early Carnian platform models suggests their origin in the transition between the inner platform/lagoon and the back-reef area, alternatively in the internally differentiated lagoon with swells. The emergence of the platform is suggested to correspond to the upper sequence boundary of the Car1 depositional sequence from the Southern Alps. The platform growth subsequently continued until the uppermost Julian, when the second emergence (upper sequence boundary of the Car2 depositional sequence) finally terminated the growth of the Cassian platform.

Key words: Dinaric Carbonate Platform, Southern Alps, »Cordevolian limestone and dolomite«, Cassian platform, sequence stratigraphy

Izvleček

Na območju Medvedice (osrednja Slovenija) smo v zgornje ladinjski – spodnje karnijski formaciji kasijskega dolomita in apnenca prepoznali zaporedje blokovnih breč, ločenih z več emerzijskimi površinami. Sestava klastov, določena na podlagi zbruskov ob upoštevanju modelov zgornje ladinjskih – spodnje karnijskih karbonatnih platform kaže na sedimentacijo apnenca na prehodu iz notranje platforme/lagune v zagrebensko območje ali na notranje diferencirano lagunsko okolje z lokalnim reliefom. Emerzija platforme bi se lahko skladala z zgornjo sekvenčno mejo depozicijske sekvence Car1 Južnih Alp. Rast platforme se je nadaljevala do konca jula, ko je bila dokončno prekinjena z drugo emerzijo, ki ustreza zgornji meji depozicijske sekvence Car2 v Južnih Alpah.

Ključne besede: Dinarska karbonatna platforma, Južne Alpe, »cordevolski apnenec in dolomit«, Cassianska platforma, sekvenčna stratigrafija

Introduction

A substantial amount of the carbonate sequence of the External Dinarides and Southern Alps belongs to carbonate platforms established after the cessation of Ladinian volcanism^[1, 2]. Until the Early Julian, up to 600 m of limestone deposited, later mostly transformed to dolomite^[2]. In terms of lithostratigraphy, these carbonates are known in the Slovenian literature as the »Cordevolian limestone and dolomite«^[3–5] or the Diplopora Limestone^[6, 7]. The term Cassian Dolomite and Limestone Formation (CDLF) is used herein (see also^[8–12]). The debate about the correct interpretation of age of the CDLF mostly revolved around the correct determination of dasycladacean algae^[10, 13].

During geological mapping of a smaller area south-west of Grosuplje (central Slovenia), a sequence of breccia with up to 2 m large boulders was noted inside the CDLF along the newly cut forest road. The scope of this paper is to describe and interpret the origin of breccia.

Previous research of the studied area

The first geological mapping of this area was carried out by M. V. Lipold and G. Stache^[14]. Their work, however, remained in the form of a manuscript map^[15]. Stache^[16] and Vettors^[17, 18] later produced less detailed maps. In the scope of geological mapping of Yugoslavia, geological mapping was carried out by Buser and co-workers^[19, 20]. The area around Županova jama, east of Medvedica, was re-ambulated in the 1980s. The results were published by Gospodarič^[21]; however, the supplemented geological map is too general for the purposes of this study. Buser^[22] later gave a short description of the geological structure between Št. Jurij and Velike Lipljene. Especially notable is his mention of Ladinian volcanoclastics in Medvedica. The stratigraphy of the wider area south and east of Grosuplje has recently been investigated by Dozet^[3–5, 23–26].

Geological setting

Medvedica is a largely forested low hilly area situated on the SW brink of the Grosuplje karst basin (Fig. 1). According to Placer^[27, 28], this area structurally belongs to External Dinarides, during the Triassic and Early Jurassic situated on the southern passive continental margin of the Neotethys (Meliata) Ocean^[29, 30]. The evolution of this area was strongly affected by the Middle Triassic extension, and, after cessation of tectonic activity, by a gradual recovery of carbonate production and levelling of topography^[31, 32]. The following description of lithological units is based on author's personal observations. Reader may further refer to descriptions by Buser^[20, 22] and Dozet^[23]. The studied area is situated between two major NW-SE directed faults, namely the Dobropolje fault to the east and the Ortnek fault to the west (Fig. 2). Numerous minor faults create a complex picture of fault-bound blocks. This, however, is in contrast with interpretation made by Buser^[19], showing a generally undisturbed Lower to Upper Triassic succession.

The oldest succession belongs to the Lower Triassic Werfen Formation (Fig. 3). The lower part of the formation is missing, while the rest of it consists of light brown or reddish calcisiltite and dark grey silty marlstone, and medium bedded oolite. Small flakes of mica are

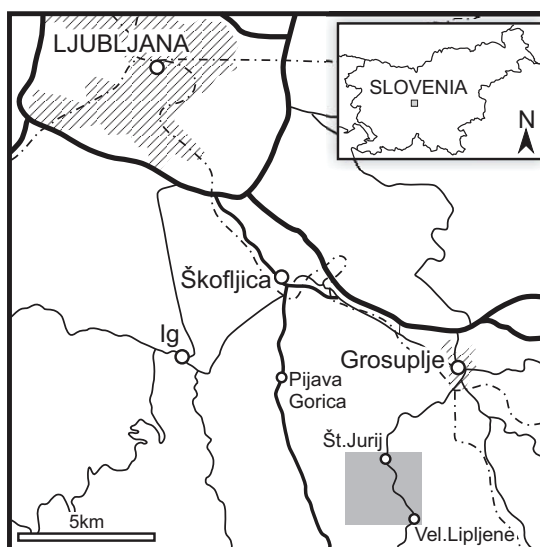


Figure 1: Position of the studied area. The rectangle represents position of Figure 2.

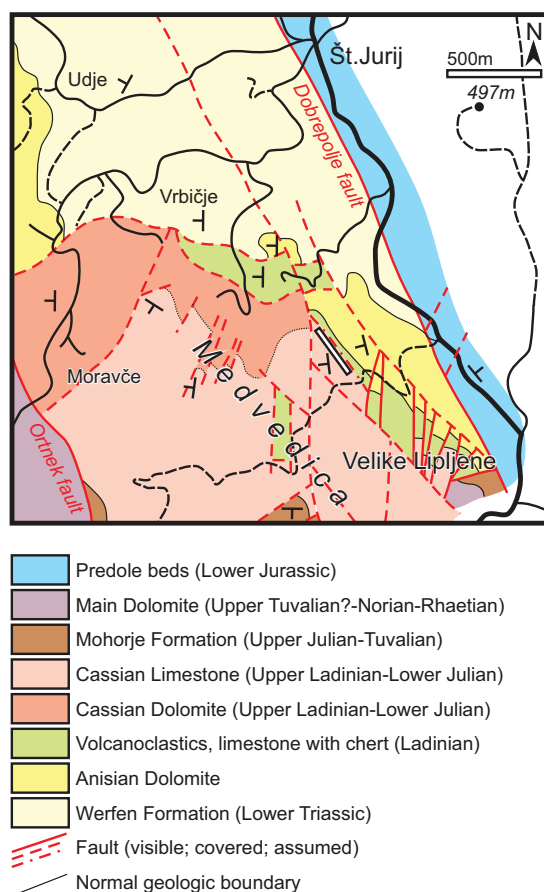


Figure 2: Geologic map of the studied area. The section with breccia is marked by bar.

characteristic. Various bivalves, gastropod *Natiria costata* Munster, ammonite (?*Tirolites* sp.) and ichnogenus *Rhizocorallium* were found. Oolitic limestone may contain numerous small gastropods.

In the upper part of the Werfen Formation, thin to medium bedded dolomite of dusty appearance predominates, gradually passing into medium-thick bedded or seemingly massive coarse dolomite. No attempt has been made to recover microfossils from the latter, and Anisian age is assumed solely on the basis of superposition.

The upper boundary of Anisian dolomite is nowhere preserved, so its continuation into younger units remains interpretative. One assumption is based on a road cut in the area of Medvedica, where an irregular palaeosurface is visible on top of stromatolitic dolomite. The palaeosurface is filled and covered with conglomerate/breccia consisting of dolomitic clasts and limonitic matrix. Poorly exposed greenish

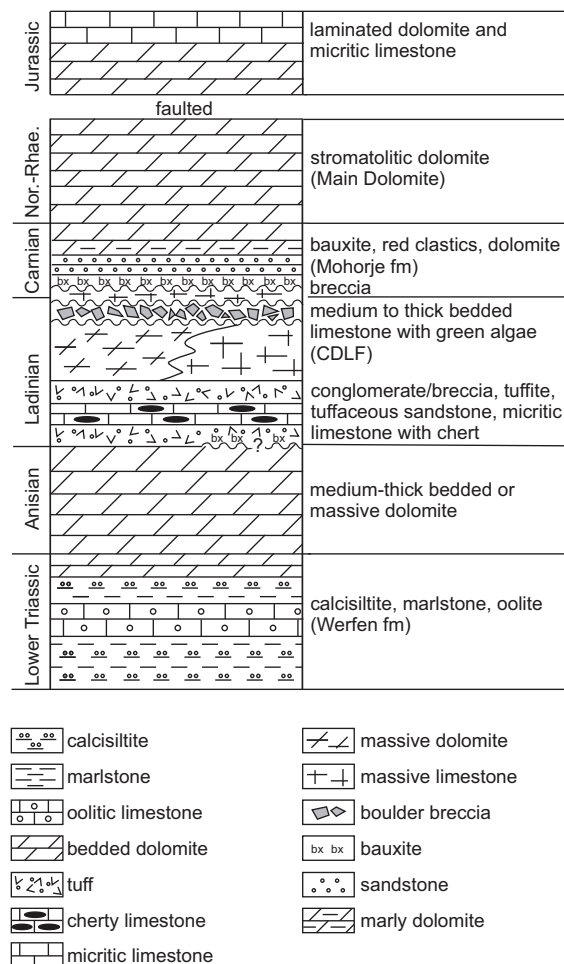


Figure 3: Schematic lithostratigraphic column for the Medvedica area (not in the scale). Note that the stratigraphic position of the breccia inside the Cassian Dolomite and Limestone Formation (CDLF) is only tentative.

tuffite, tuffaceous sandstone, conglomerates, breccias, and black micritic limestone with black chert and claystone partings follow. A silicified ammonite has been found in Medvedica by B. Vičič in 2009, and questionably attributed to the genus *Kellnerites* (L. Krystyn, pers. com. by B. Vičič). According to the Paleobiology Database^[33], this genus ranges from Late Anisian to Early Ladinian. Thus, the dolomite below the unconformity is attributed to the upper part of Anisian dolomite, while the following volcanoclastic, clastic and limestone succession represents Lower Ladinian. The local emergence around Anisian-Ladinian boundary has been advocated before by Dozet and Godec^[6] in the area of Bloke (southern Slovenia), but the age of the supposed unconformity is not supported by fossils.

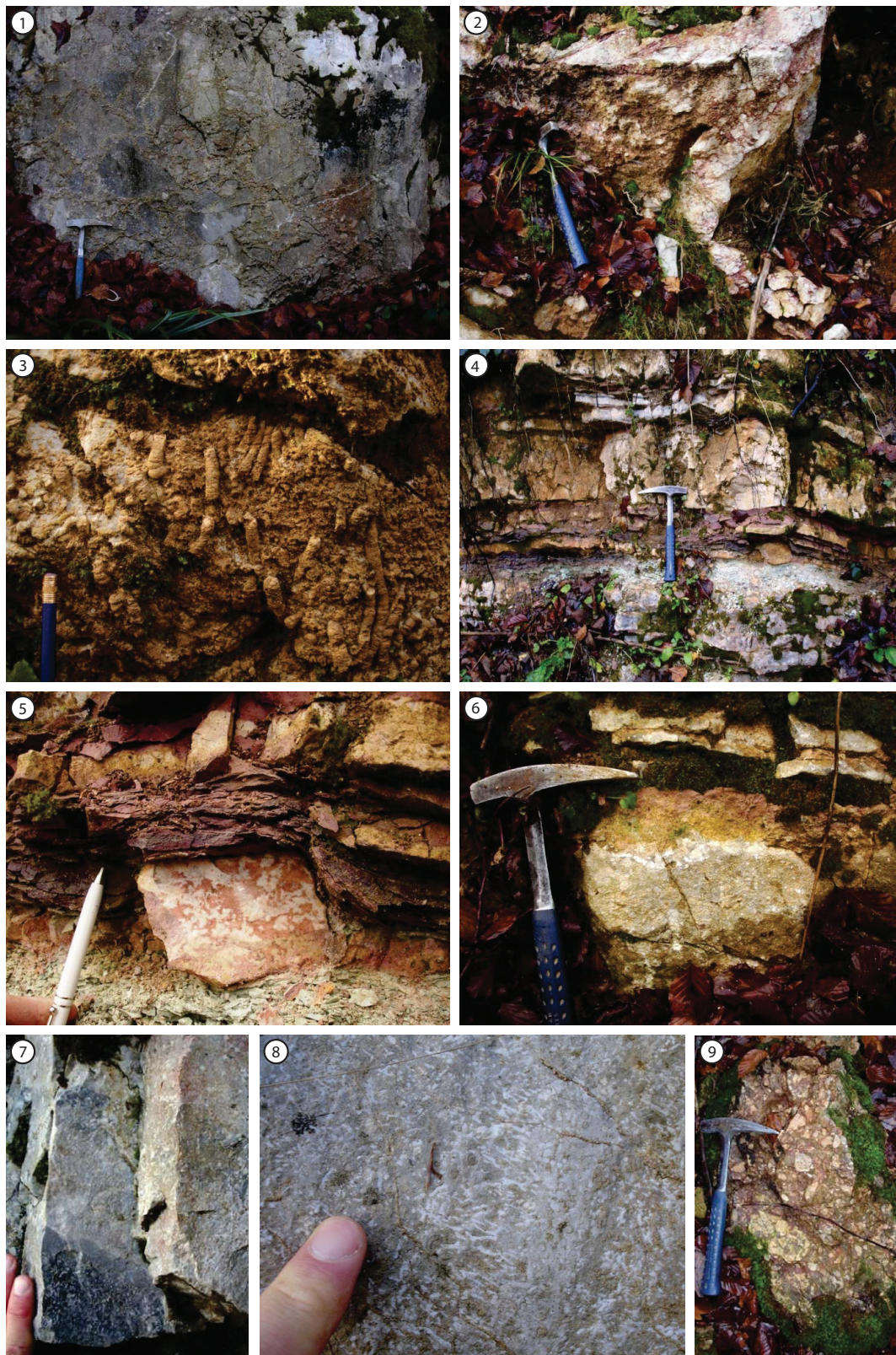


Plate 1: **1** Poorly sorted boulder breccia. | **2** Red surface of brecciated dolomite. | **3** Leached-out thalli of dasycladaceans. | **4** Red and green mudstone (emersion level). | **5** Dolomite clast embedded in mudstone. | **6** Emersion on the upper side of calcarenite bed. | **7** Interchange of light and dark grey levels with Tubiphytes. | **8** Detail from Figure 7. | **9** Breccia with bauxite matrix (base of the Mohorje Formation?).

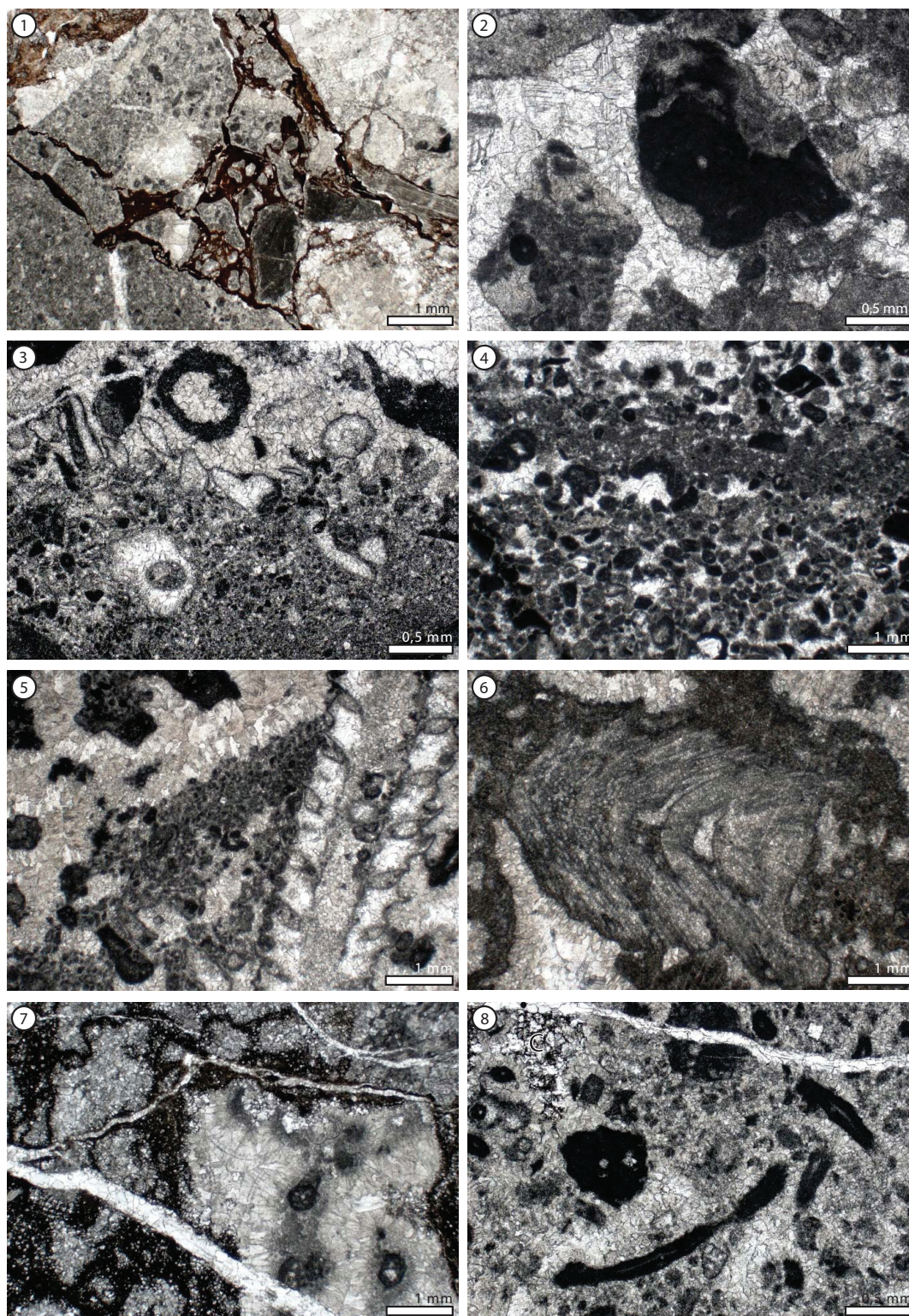


Plate 2: **1** Fine-grained breccia with reddish »haematitic« matrix. Thin section 207. | **2** Angular clasts with Tubiphytes-like micriproblematica. Thin section 207. | **3** Recrystallized wackestone passing into bioclastic grainstone. Breccia clast. Thin section 200C. | **4** Partly winnowed intraclastic-peloidal packstone. Breccia clast. Thin section 201. | **5** Winnowed bioclastic-peloidal packstone with dasycladaceans. Breccia clast. Thin section 202. | **6** Dasycladales. Breccia clast. Thin section 208B. | **7** Clasts of cementstone with cockades and Tubiphytes in partly dolomitized reddish »haematitic« matrix. Thin section 205. | **8** Tubiphytes-like fossils in peloidal grainstone. Note bladed spar encrusting grains and the corrosive cement (C) associated with reddish »haematitic« matrix. Thin section 205.

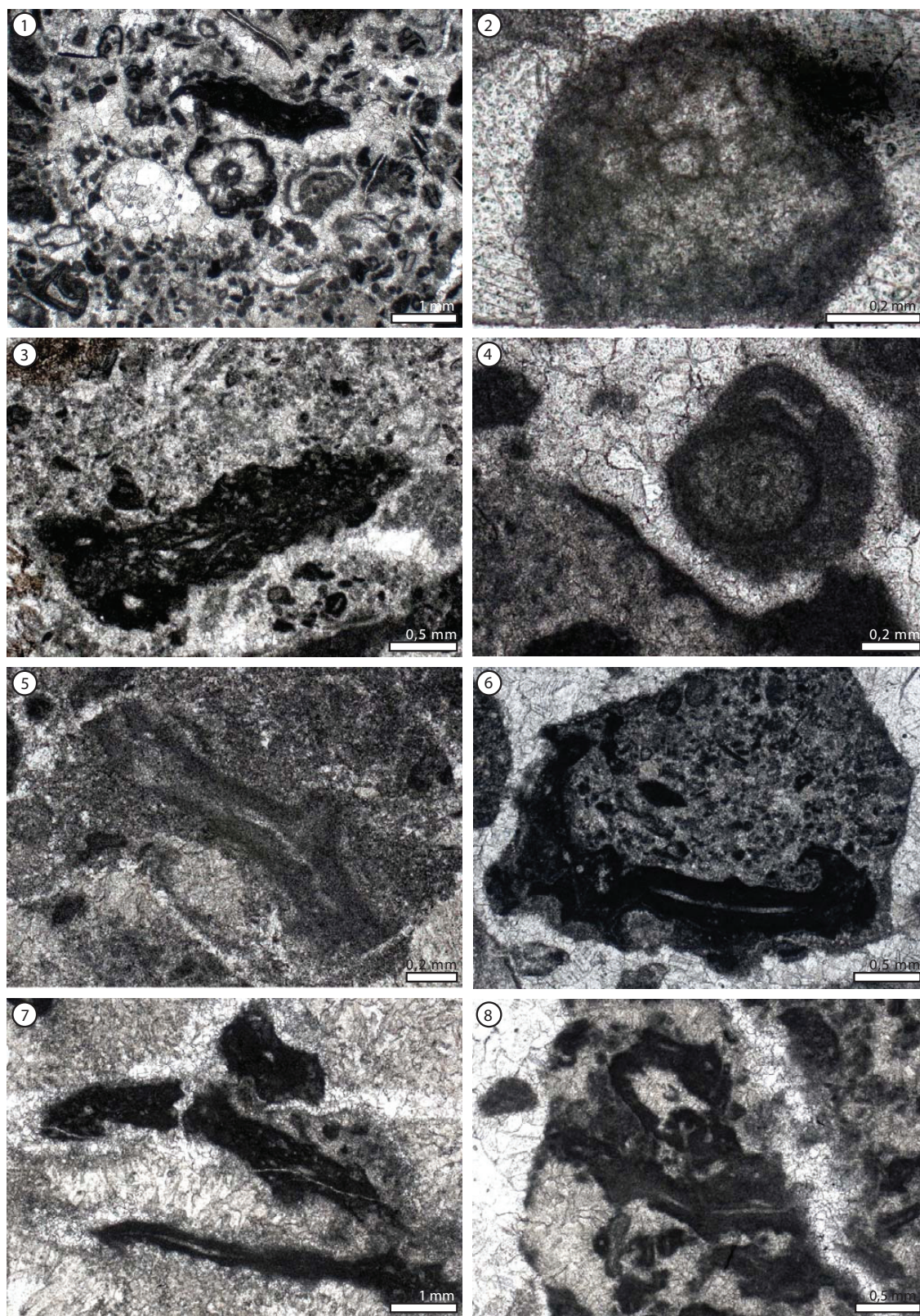


Plate 3: **1** Recrystallized winnowed bioclastic-peloidal packstone. Thin section 199. | **2** *Tubiphytes* sp. Note the coarse internal network. Thin section 207. | **3** *Tubiphytes* or similar microproblematica. Thin section 211. | **4** *Tubiphytes* sp. Thin section 200A. | **5** *Tubiphytes* sp. Note the internal cavity and the branched habitus. Thin section 207. | **6** *Tubiphytes* sp. in clast. Note the internal cavity and the branched habitus. Thin section 207. | **7** *Tubiphytes* sp. Thin section 208A. | **8** *Tubiphytes* sp. Thin section 207.

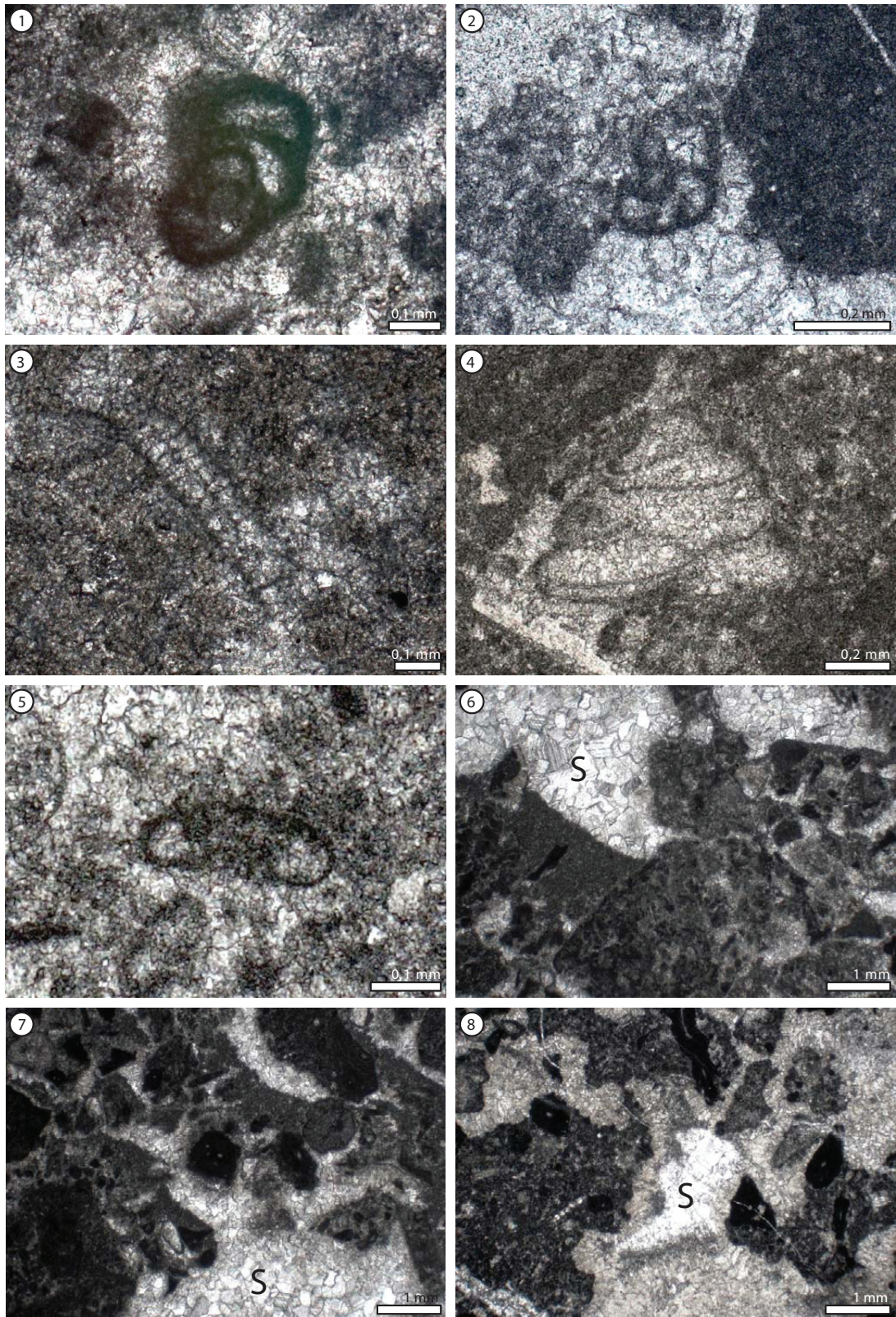


Plate 4: **1** *Endotebanella bicamerata* Salaj in Salaj et al. Thin section 204. | **2** *Endotebanella bicamerata* Salaj in Salaj et al. Thin section 200C. | **3** *Turriglomina mesotriasica* (Koehn-Zaninetti). Thin section 208B. | **4** *Duotaxis* sp. Thin section 200C. | **5** "*Trochammina*" *jaunensis* Brönnimann & Page. Thin section 209. | **6–7** Corrosion of matrix and clasts, followed by deposition of clear mosaic spar (S). Thin section 200B. | **8** Clear spar (S). Thin section 208A.

The next lithostratigraphic unit, the Cassian Dolomite and Limestone Formation (CDLF) covers large area, but its lower boundary is faulted. It consists of light gray medium to thick bedded micritic limestone, which frequently contains dasycladaceans and cockade textures. Equally large area is covered by seemingly massive, coarse, very porous white dolomite to the west and south of the studied area (see Buser^[19]). The age of the CDLF is a matter of great controversies, fully explained by Celarc^[10]. A Late Ladinian and Lower Carnian age is assumed after Pleničar and Premru^[34], and Celarc^[10].

Along a fresh forest road-cut, a succession of clast-supported boulder breccias, subordinate calcarenites, and green and red claystone is exposed. The breccias consist of up to 1.5 m large blocks of CDLF. The thickness of this succession is at least 15 m, with individual breccia beds at least 9.5 m thick. The breccia can be laterally followed for at least 100 m, and seems to continue with several tens of meters thick CDLF body. The breccia interval, which is here described in detail, was overlooked by previous researchers due to the previous lack of fresh road cut and a strongly karstified surface, which makes the low amount of matrix poorly visible.

The CDLF is overlain by clastics of the Mohorje Formation sensu Dozet^[4]. The Mohorje Formation in the surroundings of Medvedica comprises black and red coarse-grained quartz sandstone, red siltstone, black shale, dark brown siltstone, thin-bedded, brown, partly dolomitized and bituminous limestone, red pebbly sandstone with pebbles of lithic grains and quartz, and red and white, cross-laminated lithic-tuffaceous sandstones. Red, rarely also gray, oolitic »bauxite« is common in the lower part of the formation (Pl. 1, Fig. 8). According to division by Dozet^[4], these lithologies correspond to the Rupe Member from the middle part of the Mohorje Formation, so a notable stratigraphic gap between the top of the CDLF and the clastics is assumed. No fossils were recovered from the Mohorje Formation during our fieldwork. Julian (i.e., Julian 2)-Tuvalian age was given to formation by Dozet^[4]. Transition to the Upper Tuvalian (?) to Norian-Rhaetian Main Dolomite is gradual, marked by medium-bedded dolomite with a decreasing amount of shale partings between beds upsection (see also^[4, 8, 12]).

This transition, from the uppermost Selo at Rob Member of the Mohorje Formation (bedded dolomite with shale interlayers) to the Main Dolomite (bedded stromatolitic dolomite), is exposed along a steep foot-path east of the studied area, in the vicinity of Pijava Gorica.

The Main Dolomite is distinguished from other dolomitic units by medium to thick bedding and the presence of stromatolites (see^[35]).

Finally, the youngest pre-Quaternary rocks belong to Lower Jurassic dolomite and bedded micritic, oolitic and bioclastic limestone, i.e. Predole beds sensu Dozet^[4] (also Krka Limestone^[36], and Podpeč Limestone^[37–39]).

Materials and methods

The succession of breccias was measured along a forest road at coordinates: 45° 54' 44" (lat.), 14° 37' 23" (lon.) and elevation 410 m above sea level. Due to several minor faults, the succession could not be reconstructed entirely. To avoid misinterpretation, we present the section in three segments, with no interpretation of succession (Fig. 4). Fourteen thin sections of size 47 mm × 28 mm and one of size 76 mm × 51 mm were made. Dunham^[40] classification was followed in describing their texture, and semiquantitative comparison charts^[41] used to estimate proportion of individual components.

Description of section

Coarse breccia

The predominant lithology of the measured segments is very poorly sorted coarse breccia, with limestone clasts ranging from less than 1 cm to over 2 m in size (Pl. 1, Figs. 1–2). Bed thickness varies from a few tens of centimetres to over 9 m. Such thick layers may contain hardly discernible irregular internal surfaces. Clasts are very angular or may be subrounded. The amount of matrix is very low. Yellow or reddish »haematitic« matrix is knead among clasts (Pl. 2, Figs. 1, 7), which are in places in stylolitic contacts (stylo-breccia). In other cases, gray spar fills spaces between clasts. Dolomitization obscured a few layers to various degrees, but

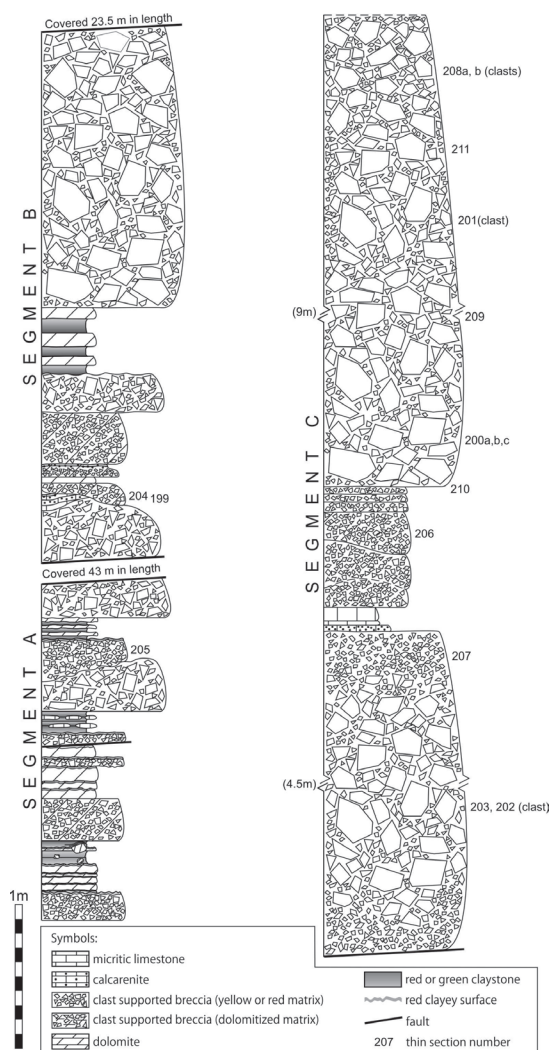


Figure 4: Geological section of breccia succession.

composition of clasts can usually be readily observed in thin sections. No fossil remains were found in the matrix of the breccia. In the clasts, the following foraminifera were determined: *Turriglomina mesotriasica* (Koehn-Zaninetti), »*Trochammina*« *jaunensis* Brönnimann & Page, *Diplostromina placklesiana* Kristan-Tollmann, *Tolypammina* sp., *Reophax* sp., *Endoteba/Endotriada* sp., *Duotaxis* sp., and *Duostominidae* (genus *Krikoumbilica*?).

Clast composition:

- Among clasts, bioclastic-peloidal wackestone, packstone to grainstone with *Tubiphytes* remains is the most common type (Pl. 2, Figs. 2, 8). The matrix is partly winnowed away, and the interstices filled with blocky spar. Peloids and *Tubiphytes* are the

most common. Neomorphically altered mollusk shell fragments, echinoderms, foraminifera, green algae, ostracods and brachiopod fragments are subordinate. Thin encrustation by microbialites is sometimes present.

- In the cementstone, only *Tubiphytes* is recognizable. Specimens are oriented approximately in the same direction, separated by bladed spar. Rarely, peloidal packstone clings to *Tubiphytes*. Cementstone may interchange with bioclastic-peloidal wackestone to packstone with *Tubiphytes* in decimetre-thick layers (Pl. 1, Figs. 7–8).
- Washed-out bioclastic-peloidal wackestone, packstone to grainstone with dasycladacean algae is the next common clast type (Pl. 2, Figs. 5–6). In the field some several centimetres long leached-out bundles of dasycladaceans are visible (Pl. 1, Fig. 3). Dasycladacean thalli are in places partly filled by peloidal packstone, and partly by brownish bladed spar. The intermediate space is filled with intraclastic-peloidal packstone. *Tubiphytes* is common, while benthic foraminifera and fragments of mollusc shells are subordinate. The matrix (%) is rattled by patches of vugs filled with spar and resembling birds' eyes texture.
- The next group of clasts is represented by peloidal and intraclastic partly winnowed packstone to grainstone and fine-grained rudstone (Pl. 2, Figs. 3–4). These two textures may be present in the same clasts, separated by dark, dense, more micritic boundary 1–1.5 mm in thickness, or present individually. In packstone peloids predominate, but a significant proportion is probably of *Tubiphytes* origin. Around 10 % of grains belong to bioclasts other than *Tubiphytes*, such as echinoderms and rare mollusc fragments. In fine-grained breccia, intraclasts with microbialites, microproblematica (*Tubiphytes*), or plain micrite, and peloids predominate. Echinoderms, mollusc fragments and *Tubiphytes* are most notable of rare bioclasts. Dasycladaceans and brachiopod shells are very rare. Few ooids were also noted. Clasts are bound by blocky spar cement. Clear, mosaic spar may also be present as the youngest cement, cutting through older constituents (Pl. 4, Figs. 6–8).

- A special type of clasts is represented by interchanging bioclastic-peloidal wackestone to packstone, and microbialitic bindstone, forming laminated texture. The first type of laminae is similar to already described microfacies types: peloids and intraclasts with *Tubiphytes* predominate over other clasts (*Tubiphytes*, foraminifera, shell fragments, gastropods). Both types of lamina are rattled by vugs (30 % of total area), filled in lower part by calcisiltite and upwards by bioclastic-pelletal packstone, brownish bladed spar and mosaic spar.
- Oncoid rudstone is the next clast type. Other grains besides microbialitic oncoids are *Tubiphytes*, echinoderms and shell fragments.
- Coarse dolospar clasts represent completely dolomitized clasts of variable composition.

Packstone

Subordinate to its coarse-grained variety is packstone to fine-grained rudstone (Pl. 3, Fig. 1). Bed thickness is from 5 cm to 35 cm. Internal bedding and lamination is sometimes present, where massive fine grained and inversely graded horizons interchange. Allochems are represented by peloids, intraclasts (mudstone, pelletal packstone, microbialites), *Tubiphytes*, mollusc fragments, foraminifera (*Endotebanella bicamerata* Salaj in Salaj et al.) (Pl. 4, Figs. 1–2), echinoderms, brachiopod fragments, ostracods, and calcimicrobes. The partly washed-out matrix is recrystallized into microspar.

Fine-grained rudstone

In fine-grained rudstone, reddish »haematic« matrix is squashed between allochems, or these may be in stylolite contact. Clear blocky spar cross-cuts clasts and matrix. Allochems are mostly intraclasts with microbialites, *Tubiphytes*, fuzzy peloids, and rare bioclasts (echinoderms, rare and questionable sponges).

Calcitilite (mudstone)

Subordinate to other lithological types is dense, gray limestone with horizontal lamination. Bedding is thin, up to 10 cm in thickness.

Dolomite

Coarse dolomite completely replaces limestone in beds of 5–30 cm in thickness. The ghost texture sometimes points at the original breccia, or to horizontally laminated limestone, described above.

Red and green mudstone

Red and light green, up to 10 cm thick beds of mudstone are clearly visible in segments A and B (Pl. 1, Fig. 4). The lower bed boundary may be slightly irregular surface, but this might also be due to differential compaction or dissolution. At least one of these layers contains broken pieces of dolomite, reworked into mudstone (Pl. 1, Fig. 5). The colour of mudstone may change laterally, but it is most often red. More subtle than discrete layers are reddish upper surfaces of other beds (Pl. 1, Fig. 6).

Platform characteristics

Despite its large areal extent^[42], the composition of platform carbonates of the CDLF received little attention. Researchers mostly describe macroscopic aspect of dolomite and limestone, without much detailed sedimentological investigation. Platform carbonates are usually dolomitised, and the primary composition is thus strongly obscured. The majority of information regarding composition of Late Ladinian-Early Carnian platforms in the Dolomites area thus derives from the study of isolated, mostly gravity-displaced blocks (cipits) of the platform rim and slope, which were sealed from dolomitizing fluids by the enclosing basinal marls^[43–48]. Among these, blocks exhibiting boundstone facies received considerably more attention than other facies types, which might potentially give a better glimpse on the platform interior. In the platform-to-basin transect, Biddle^[44] successively shows (from the interior towards basin) subtidal lagoon and dasycladacean meadows, intertidal sand shoals, algae dominated reef flat, organically bound submarine-cemented reef complex, fore reef breccias and muds, and finally a basin plain. Reijmer^[49] lists a similar succession of depositional environments: in the inner platform area, dasycladaceans domi-

nate over calcimicrobes, peloids, foraminifera, and micrite lumps; the back reef area is characterized by algal-foraminiferal and sponge-coral patch reefs; the reef margin with abundant *Tubiphytes*, other microproblematica, peloids and »evinosponges«, and the transition to the upper slope with encrusting sponges, corals, peloids and diverse skeletal grains (including dasycladaceans, gastropods, and *Tubiphytes*) follow. Reijmer^[49], however, focused his attention on composition of fine-grained slope/basin resediments, with grains of predominantly margin and slope origin. A more detailed analysis of the platform top itself is given by Seeling et al.^[50] on the example of Concarena buildup. In the lagoon area, Seeling et al.^[50] describe a regular alternation of peritidal carbonate cycles. *Tubiphytes* framestone and early marine cementation were found characteristic for transition from the lagoon to the back reef area. A monotonous cyclic sedimentation of subtidal, peritidal and supratidal carbonate was noted also by Trombetta^[48] and Keim and Schlager^[51]. Missoni et al.^[52] recently investigated Wetterstein-type carbonate platform in Serbia. They could not recognize the platform top, but they do mention abundance of *Tubiphytes* in Ladinian to Lower Carnian platform carbonates. According to Bole^[53] the Wetterstein Limestone and Dolomite of the Peca massive deposited in back-reef and reef setting. The former contains intraclastic-bioclastic, and intraclastic-bioclastic-peloidal wackestone and packstone, as well as limestone and dolomite with stromatolites. Among bioclasts, corals are the most common, followed by bivalve fragments, foraminifera and echinoderms. The reef carbonate is built by corals, sponges and also microproblematica. Oncoids are present in almost all facies. In Ladinian-Carnian reef of Calabrian Apennines, Boni et al.^[54] distinguished between the reefal boundstone facies with sphinctozoan sponges, biogenic crusts, *Tubiphytes*, other microproblematica and rare corals, the fore-reef debris rudstone facies, and the dasycladacean packstone-grainstone back-reef facies. According to Boni et al.^[54], this reef association is similar to the Wetterstein limestone of the Northern Calcareous Alps. The importance of microproblematica at the Wetterstein platform edge was

also noted by Brandner and Resch^[55], Flügel^[56], Henrich^[57], and Dullo and Lein^[58]. *Tubiphytes* and other microproblematica, however, are associated with sphinctozoan sponges and corals, none of which were found in Medvedica.

To finally summarise, for the time-equivalent platforms a cyclic peritidal sedimentation is characteristic for the innermost platform. No such clasts were found in the Medvedica breccia. The wackestone/packstone with dasycladaceans microfacies type fits well into the inner platform/lagoon area, while the enrichment with *Tubiphytes* probably better corresponds to a slightly more outer position, closer to the reef margin in the Cassian Dolomite model. Oncoid rudstone and more grainy varieties may be placed even slightly more towards higher-energy environment of the back-reef area. Taking the predominance of dasycladacean and *Tubiphytes* rich clasts into account, sedimentation is considered to take place in the transitional zone between the lagoon and the back-reef area or, alternatively, in the internally differentiated lagoon with swells.

Stratigraphic position and genesis of breccia

As already noted, the stratigraphic position of the breccia succession remains dubious due to coverage. The lower boundary is currently interpreted as fault-bound, while the succession seems to continue with the unbrecciated CDLF (Fig. 2). The lithology itself gives little opportunity for a more precise determination of age, rather than on the basis of superposition. The only foraminifera found within the matrix in Medvedica is *E. bicamerata*, with stratigraphic range from Anisian^[59] to Norian^[60, 61] or even Rhaetian^[62]. *Endotebanella bicamerata* is the usual element of Middle Triassic assemblages present within clasts^[63], so the assemblage within breccia clasts is not markedly different (that is within stratigraphic resolution offered by foraminifera at the time), despite the fact that truncation of calcite veins at the edges of clasts suggests a complete lithification of limestone and their tectonic deformation prior to brecciation. *Turriglomina mesotriassica*,

restricted to Anisian and Ladinian^[63], provides a pre-Carnian (at most Lower Julian) age of CDLF. Unfortunately, we did not try to determine dasycladaceans. The uppermost boundary of the entire CDLF is represented by clastics, variously named as Borovnica beds^[11, 32, 64], Grosuplje-Orle beds^[23], Raibl beds^[8, 9, 12, 65], Zaplaz Formation^[3], or as Mohorje Formation^[4]. Bivalves found in the lower part of these beds include *Lopha montiscaprilis* (Klipstein) (*Umbrostreia? montiscaprilis* in Szente et al.^[66]), indicative for the uppermost Julian^[67]. The measured succession may thus be very conservatively placed between the uppermost Ladinian and the uppermost Julian.

Poor sorting, angularity of clasts, and small amount of matrix point at short transport of clasts. Green and red mudstone point at subaerial exposure. Mudstone seems to correspond to residual clay in Durn et al.^[68]. The breccia can be thus interpreted as emersion breccia^[69, 70], or as dissolution breccia accumulated on subaerially exposed surface^[68]. The repeated occurrence of emersion levels (residual clay) on upper bedding planes, as well as rare intercalations of micritic and calcarenitic beds, however, point at oscillating, rather than a single drop of sea level, and the lack of bauxite deposits similarly discredit a longer-lasting emergence. Foraminifera, found in calcarenite, thus point at intervals of re-flooding of the surface.

An example of megabreccia, formed concordantly on platform top, has been reported by Gianolla et al.^[71]. According to Spence and Tucker^[72], megabreccia may form on the platform-top during subaerial emergence due to the increase in stress on the sediment as the interstitial pore-water drains from the system. However, this example was set for the unlithified sediment, while clasts composing breccias in Medvedica show marks of complete lithification of limestone before brecciation. An explanation for this may be found in very early lithification of Ladinian – earliest Carnian platform carbonates, largely governed by microbes^[47, 50, 73, 74]. The third model for formation of megabreccias may be cliff erosion^[75]. This model, however, requires tectonic activity, which would create steep relief.

The importance of emersion surfaces for correlations

Emergence horizons are a valuable marker as they allow precise subdivision and dating of similarly looking dolomitized platform carbonates which would otherwise prove to be impossible to distinguish^[71, 76]. Moreover, as emergence often results from eustatic sea-level drop, it may become possible to correlate lithostratigraphic units on at least regional scale^[71]. Despite the lack of relative sea level curves in the northern External Dinarides, to which the Medvedica area belongs, we may resort to the sequence stratigraphy set for the Southern Alps area. According to Gianolla et al.^[71] and De Zanche et al.^[76], the time frame from Late Ladinian to end-of-Julian in the Southern Alps comprises four sequence stratigraphic cycles, with systems boundaries marked on the platforms by emersions. The Car1 depositional sequence (Late Langobardian to Early Julian) represents a time-frame for deposition of the Cassian Dolomite 1 platform carbonates. Its upper sequence boundary separates the Cassian Dolomite 1 from the Cassian Dolomite 2^[76]. The next sequence, Car2, comprises the entire Cassian Dolomite 2 platform, ranging in age from Early Julian to the latest Julian. At the end of this sequence, the intraplatform basins were partly levelled-out due to a high export of carbonate from the platform. The following sequence, Car3, lasting until the Early Tuvanian, saw the final filling of the remaining intrabasinal space. During this time, shallow-water siliciclastic-carbonate sediments of the Dürrenstein Formation (sensu De Zanche et al.^[76]) deposited. The lower system boundary is marked by erosion and carstification of the Cassian Dolomite 2 platform, while the upper one represents an erosional surface separating peritidal dolomite of the uppermost Dürrenstein Formation from the overlying clastics of the Raibl Formation (Car4) sensu De Zanche et al.^[76].

Within the given time frame, the observed breccia level most likely correlates with the upper sequence boundary of the Car1 depositional sequence. This interpretation would be supported by the overlying CDLF in the same tectonic block. It should be mentioned, how-

ever, that the changes in relative sea level depend not only on the eustasy, but are also under the influence of local tectonics^[77]. Emergence of shallow platform may thus also result from the interplay of factors operating on a much more narrow area.

Towards the sequence stratigraphic framework

Breccias of similar composition to the one described in this paper, but located on top of the CDLF, were described by Dozet and Godec^[5], Ramovš^[8], Buser^[9], Dozet^[11, 23, 79], Pleničar^[78], and Jelen^[80]. Like the Medvedica breccia, these consist of angular, often very large clasts of CDLF in reddish matrix, but they differ in lacking intermediate autochthonous carbonates and are overlain by fine-grained clastics. They are often described as being positioned above the erosional surface on top of the CDLF and associated with bauxite, so they too represent emergence horizons (see^[23]). Despite the lack of fossil evidence from the breccia matrix itself, they are considered as lowermost Julian 2 to Tuvanian in age^[5, 9].

In our opinion, this breccia on top of the CDLF marks the second and final emergence of the CDLF platform and correlates with the upper sequence boundary of the Car2 (the lower boundary of the Car3) depositional sequence of the uppermost Julian. Alternatively, it could be positioned at the lower sequence boundary of the Car4 depositional sequence^[71, 76]. In the first case, the emergence lasted through the entire Car3 sequence, which is thus completely missing, through the lowstand systems tract of the Car4 depositional sequence, and perhaps also through part of its transgressive systems tract. This emergence phase is thus sufficiently long to allow for the formation of bauxite (see^[13]). Alternatively, considering option of correlation with the lower boundary of the Car4 sequence, part of the older sequences may be eroded. However, the latter option does not allow for a time gap necessary for formation of bauxite, formation of which also requires humid and warm climate conditions^[81], which became established soon or at the platform demise^[82, 83].

Correlation of the emergence level on top of the CDLF platform in the northern External Dolomites with the Southern Alps is much more reliable as the Car1 sequence boundary, as it marks the sea-level drop of the second order, a regionally much more widespread event^[84, 85]. For example, the cessation of platform growth and karstification in Julian is correlatable in the Northern Calcareous Alps, in the Carpathians and also in Serbia^[52].

Concluding remarks

In the area of Medvedica (central Slovenia, External Dinarides), a succession of breccia beds separated by medium-thick limestone or dolomite and mudstone beds was investigated. Breccia consists of clasts belonging to Cassian Dolomite and Limestone Formation. Its lower boundary is presumably faulted, while it continues upwards into the Cassian Dolomite and Limestone Formation. Mudstone beds and weathered bed surfaces point at subaerial exposure. The breccia is thus interpreted as emersion breccia^[69, 70], or as dissolution breccia accumulated on subaerially exposed surface^[68]. The emergence of platform top is correlated with the upper sequence boundary of the Southern Alps' Car1 depositional sequence of Late Ladinian age^[71, 76]. The emergence, however, could also result from local tectonics^[77].

Acknowledgements

This study was financially supported by the Slovenian Research Agency (program number P1-0011). The authors are thankful to B. Celarc (Geological Survey of Slovenia) for the revision of the manuscript, and M. Štumbergar (Geological Survey of Slovenia) for the preparation of thin sections.

References

- [1] Dozet, S., Buser, S. (2009): Trias. V: Pleničar, M., Ogorlec, B., Novak, M. (ur.): *Geologija Slovenije*. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije 2009; str. 161–214.

- [2] Ogorelec, B. (2011): Mikrofacies mezozojskih karbonatnih kamnin Slovenije. *Geologija*, 54- suppl., str. 1–136.
- [3] Dozet, S. (2004b): Zaplaza Formation, Central Slovenia. *RMZ – Materials and geoenvironment*, 51, str. 2175–2189.
- [4] Dozet, S. (2009a): Mohorje Formation, southern Slovenia. *Geologija*, 52, str. 11–20.
- [5] Dozet, S., Godec, M. (2009): Carnian bauxites at Muljava in central Slovenia. *Materiali in tehnologije*, 43, str. 97–102.
- [6] Dozet, S., Godec, M. (2010): Middle Triassic dry-land phases in southern Slovenia. *Materiali in tehnologije*, 44, str. 173–183.
- [7] Dozet, S., Kanduč, T., Markič, M. (2012): A contribution to petrology of dark grey to black interbeds within Upper Permian and Triassic carbonate rocks in the area between Ljubljana and Bloke, Central Slovenia. *Geologija*, 55, str. 77–92.
- [8] Ramovš, A. (1953): O stratigrafskih in tektonskih razmerah v Borovniški dolini in njeni okolici. *Geologija*, 1, str. 90–110.
- [9] Buser, S. (1965): Geološka zgradba južnega dela Ljubljanskega barja in njegovega obrobja. *Geologija*, 8, str. 34–57.
- [10] Celarc, B. (2004): Problematika »cordevolskih« apnencev in dolomitov v slovenskih Južnih Alpah. *Geologija*, 47, str. 139–149.
- [11] Dozet, S. (2004a): O karnijskem oolitnem železnatem boksitu Kopitovega griča ter o plasteh v njegovi talnini in krovlini. *RMZ – Materials and geoenvironment*, 51, str. 2191–2208.
- [12] Čar, J. (2010): *Geološka zgradba idrijsko-cerkljanskega hribovja. Tolmač h Geološki karti idrijsko-cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami 1 : 25.000*. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije 2010; 127 str.
- [13] Celarc, B. (2008): Carnian bauxite horizon on the Kopitov grič near Borovnica (Slovenia) – is there a »forgotten« stratigraphic gap in its footwall? *Geologija*, 51, str. 147–152.
- [14] Lipold, M. V. (1858): Bericht über die geologische Aufnahme in Unter-Krain im Jahre 1857. *Jahrbuch der kaiserlich-königlichen Geologischen Reichsanstalt*, 9, 257–276.
- [15] Ramovš, A. (2001): Lipoldovo geološki raziskovanje in njegove rokopijsne karte slovenskega ozemlja. *Geologija*, 44, str. 7–14.
- [16] Stache G. (1889): Die Liburnische Stufe und deren Grenz-Horizonte. *Abhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, 13, str. 1–170.
- [17] Vettters, H. (1933): *Geologische Karte von Radmannsdorf (Radovljica), 1:75.000*. Wien, Geologische Reichsanstalt 1933.
- [18] Vettters, H. (1937): *Erläuterungen zur Geologischen Karte von Österreich und seinen Nachbargebieten. Die Formationen und Gesteine der Ostalpen und Vorlande und der angrenzenden Teile der Fränkisch-Schwäbischen Alp, des Böhmisches Massivs, der Karpathen und des Kaststes*. Wien: Geologischen Bundesanstalt 1937, 351 str.
- [19] Buser, S. (1968): *Osnovna geološka karta SFRJ. L 33-78, Ribnica*. Beograd: Zvezni geološki zavod 1968.
- [20] Buser, S. (1974): *Tolmač lista Ribnica, L 33-76*. Beograd: Zvezni geološki zavod 1974; 56 str.
- [21] Gospodarič, R. (1987): Speleogeološki podatki Taborske jame in njene okolice. *Acta Carsologica*, 16, str. 19–34.
- [22] Buser, S. (2006): Geološka zgradba širše okolice Županove jame. V: Viršek, D. (ur.): Županova jama, čudežni svet brez sonca. Grosuplje, Županova jama-turistično in okoljsko društvo Grosuplje 2006; str. 39–42.
- [23] Dozet, S. (2002): Stratigrafski razvoj julske in tuvalske podstopnje na območjih Oslice pri Muljavi. *Geologija*, 45, str. 353–358.
- [24] Dozet, S. (2003): Middle Liassic – Lower Malm stratigraphic gap in Suha krajina = stratigrafska vrzel srednji lias – spodnji malm na območju Suhe krajine. *RMZ – Materials and geoenvironment*, 50, str. 525–541.
- [25] Dozet, S., Kolar - Jurkovšek, T. (2007): Spodnjetriassne plasti na južnovzhodnem obrobju Ljubljanske kotline, osrednja Slovenija. *RMZ – Materials and geoenvironment*, 54, str. 361–386.
- [26] Dozet, S. (2009b): Lower Jurassic carbonate succession between Predole and Mlačevo, Central Slovenia. *RMZ – Materials and geoenvironment*, 56, str. 164–193.
- [27] Placer, L. (1999): Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija*, 41, str. 223–255.
- [28] Placer, L. (2008): Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija*, 51, str. 205–217.
- [29] Haas, J., Kovács, S., Krystyn, L., Lein, R. (1995): Significance of late Permian-Triassic facies zones in terrane reconstructions in the Alpine-North Pannonian domain. *Tectonophysics*, 242: str. 19–40.
- [30] Schmid, S. M., Bernoulli, D., Fügenschuh, B., Matenco, L., Schefer, S., Schuster, R., Tischler, M., Ustaszewski, K. (2008): The Alpine-Carpathian-Dinaric orogenic

- system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, str. 139–183.
- [31] Buser, S. (1989): Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian Basin. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 40, str. 313–320.
- [32] Buser, S. (1996): Geology of Western Slovenia and its paleogeographic evolution. V: Drobne, K., Goričan, Š., Kotnik, B. (ur.): *International workshop Postojna '96: The role of impact processes and biological evolution of planet Earth*. Ljubljana, ZRC SAZU 1996; str. 111–123.
- [33] Fossilworks – Gateway to the Paleobiology Database[online]. Housed at Macquarie University, obnovljeno in citirano dne 7.10.2014. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.fossilworks.com>>.
- [34] Pleničar, M., Premru, U. (1977): *Tolmač lista Novo mesto, L 33–79*. Beograd, Zvezni geološki zavod 1977; 61 str.
- [35] Ogorelec, B., Rothe, P. (1993). Mikrofazies, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien. *Geologija*, 35, str. 81–181.
- [36] Dozet, S. (1993): Lofer cyclothems from the Lower Liassic Krka limestone. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 99, str. 81–100.
- [37] Ramovš, A. (1961): *Geološki izleti po Ljubljanski okolici*. Ljubljana, Mladinska knjiga 1961; 230 str.
- [38] Buser, S. (1987): Naravni arhitektonsko-gradbeni kamni v Ljubljani. *Geološki zbornik*, 8, str. 61–67.
- [39] Ramovš, A. (2000): *Podpeški in črni ter pisani lesnobraški apnenec skozi čas*. Ljubljana, Mineral 2000; 115 str.
- [40] Dunham, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. V: Han, W. E. (ur.): *Classification of carbonate rocks, A symposium*. AAPG Memoires, str. 108–121.
- [41] Flügel, E. (2004): *Microfacies of Carbonate Rocks*. Berlin Heidelberg, Springer 2004; 976 str.
- [42] Buser, S. (2009): *Geološka karta Slovenije 1:250.000*. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije, 2009.
- [43] Wendt, J., Fürsich, F. T. (1980): Facies analysis and palaeogeography of the Cassian Formation, Triassic, Southern Alps. *Rivista Italiana di Paleontologia*, 85, str. 1003–1028.
- [44] Biddle, K. T. (1981): The basinal Cipit boulders: indicators of Middle to Upper Triassic buildup margins, Dolomite Alps, Italy. *Rivista Italiana di Paleontologia*, 86, str. 779–794.
- [45] Russo, F., Neri, C., Mastandrea, A., Baracca, A. (1997): The mud mound nature of the Cassian platform margins of the Dolomites. A case history: the Cipit boulders from Punta Grohmann (Sasso Piatto Massif, northern Italy). *Facies*, 36, str. 25–36.
- [46] Russo, F. (2005): Biofacies evolution of the Triassic platforms of the Dolomites, Italy. *Annali dell'Università degli Studi di Ferrara Museologia Scientifica e Naturalistica*, vol. spec. 2005, str. 33–44.
- [47] Tosti, F., Guiso, A., Demasi, F., Mastandrea, A., Naccarato, A., Tagarelli, A., Russo, F. (2011): Microbialites as primary builders of the Ladinian-Carnian platforms in the Dolomites: biogeochemical characterization. *Geo. Alp*, 8, str. 156–162.
- [48] Trombetta, G. L. (2011): Facies analysis, geometry and architecture of a Carnian carbonate platform: the Settsass/Richthofen reef system (Dolomites, Southern Alps, northern Italy). *Geo. Alp*, 8, str. 56–75.
- [49] Reijmer, J. J. G. (1998): Compositional variations during phases of progradation and retrogradation of a Triassic carbonate platform (Picco di Vallandro/Dürrenstein, dolomites, Italy). *Geologische Rundschau*, 87, str. 436–448.
- [50] Seeling, M., Emmerich, A., Bechstädt, T., Zühlke, R. (2005): Accommodation/sedimentation and massive early marine cementation: Latemar vs. Concarena (Middle/Upper Triassic, Southern Alps). *Sedimentary Geology*, 175, str. 439–457.
- [51] Keim, L., Schlager, W. (1999): Automicrite facies on steep slopes (Triassic, Dolomites, Italy). *Facies*, 41, str. 15–26.
- [52] Missoni, S., Gawlick, H. J., Sudar, M., Jovanović, D., Lein, R. (2012): Onset and demise of the Wetterstein Carbonate Platform in the mélange areas of the Zlatibor Mountain (Sirogojno, SW Serbia). *Facies*, 58, str. 95–111.
- [53] Bole, B. (2002): Carbonate rocks of Mt. Peca, Slovenia. *Geologija*, 45, str. 59–69.
- [54] Boni, M., Iannace, A., Torre, M., Zamparelli, V. (1994): The Ladinian-Carnian reef facies of Monte Caramolo (Calabria, Southern Italy). *Facies*, 30, str. 101–118.
- [55] Brandner, R., Resch, W. (1981): Reef development in the Middle Triassic Ladinian and Cordevolian of the Northern Limestone Alps near Innsbruck, Austria. *SEPM Special Publication*, 30, str. 203–231.
- [56] Flügel, E. (1981): Paleoecology and facies of Upper Triassic reefs in the Northern Calcareous Alps. *SEPM Special Publication*, 30, str. 291–359.
- [57] Henrich, R. (1982): Middle Triassic carbonate margin development: Hochstaufen-Zwieselmassif, northern Calcareous Alps, Germany. *Facies*, 6, str. 85–105.

- [58] Dullo, W. C., Lein, R. (1982): Facies and environment of the Leckkogel Beds (Carnian; Alps). *Facies*, 6, str. 25–36.
- [59] Pantić, S. (1970): Mikropaleontološke karakteristike trijaskog stuba antiklinale ždrele (istočna Srbija). *Zavod za geološka i geofizička istraživanja Beograd, Vesnik (Geologija)*, Serija A, 28, str. 377–386.
- [60] Salaj, J., Borza, K., Samuel, O. (1983): *Triassic foraminifers of the West Carpathians*. Bratislava: Geologický ústav Dionýsa Štúra 1983; 213 str.
- [61] Trifonova, E. (1993): Taxonomy of Bulgarian Triassic foraminifera. II. Families Endothyriidae to Ophthalmitidae. *Geologica Balcanica*, 23, str. 19–66.
- [62] Gale, L., Kolar - Jurkovšek, T., Šmuc, A., Rožič, B. (2012a): Integrated Rhaetian foraminiferal and conodont biostratigraphy from the Slovenian Basin, eastern Southern Alps. *Swiss Journal of Geosciences*, 105, str. 435–462.
- [63] Rettori, R. (1995): Foraminiferi del Trias inferiore e medio della Tetide: revisione tassonomica, stratigrafia ed interpretazione filogenetica. Geneve, Université de Geneve, *Publications du Département de Géologie et Paléontologie*, 18 (1995), str. 1–107.
- [64] Kovács, S., Sudar, M., Gradinaru, E., Gawlick, H. J., Karamata, S., Haas, J., Péró, C., Gaetani, M., Mello, J., Polák, M., Aljinović, D., Ogorelec, B., Kolar - Jurkovšek, T., Jurkovšek, B., Buser, S. (2011): Triassic evolution of the tectonostratigraphic units of the Circum-Pannonian region. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 151, str. 199–280.
- [65] Germovšek, C. (1955): O geoloških razmerah na prehodu Posavskih gub v Dolenjski kras med Stično in Šentrupertom. *Geologija*, 3, str. 116–135.
- [66] Szente, I., Lobitzer, H., Schlagintweit, F. (2010): A short note on the occurrence of the upper Triassic oyster *Umbrostrea? montiscaprilis* (Klipstein, 1843) (Mollusca: Bivalvia) in the Northern Alpine Raibl Beds of the Schafberg, Salzburg, Austria. *Abhandlungen der geologischen Bundesanstalt*, 65, str. 27–33.
- [67] Ruvinetti, R. (2004). *Molluschi bentonici e brachiopodi nell'evoluzione paleoambientale e paleoclimatica del Carnico medio del Sudalpino orientale*: doktorska disertacija. Ferrara: Università degli Studi di Ferrara 2004; 190 str.
- [68] Durn, G., Ottner, F., Mindszentz, A., Tišljarić, J., Mileusnić, M. (2006): Clay mineralogy of bauxites and palaeosols in Istria formed during regional subaerial exposures of the Adriatic Carbonate Platform. V: Vlahović, I., Tibljaš, D. Durn, G. (ur.): *3rd Mid-European Clay Conference, Opatija, Hrvatska, 18.–23. 9. 2006: Field Trip Guidebook*. Zagreb: University of Zagreb 2006; str. 3–30.
- [69] Tišljarić, J., Vlahović, I., Velić, I., Sokač, B. (2002): Carbonate platform megafacies of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Karst Dinarides. *Geologia Croatica*, 55, str. 139–170.
- [70] Husinec, A., Jelaska, V. (2006): Relative sea-level changes recorded on an isolated carbonate platform: Tithonian to Cenomanian succession, southern Croatia. *Journal of Sedimentary Research*, 76, str. 1120–1136.
- [71] Gianolla, P., De Zanche, V., Mietto, P. (1998): Triassic sequence stratigraphy in the Southern Alps (Northern Italy): definition of sequences and basin evolution. V: De Graciansky, P. C., Hardenbol, J., Jacquin, T., Vail, P. R. (ur.): *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM Special Publication*, 60, str. 719–746.
- [72] Spence, G. H., Tucker, M. E. (1997): Genesis of limestone megabreccias and their significance in carbonate sequence stratigraphic models: a review. *Sedimentary Geology*, 112, str. 163–193.
- [73] Russo, F., Mastandrea, C., Stefani, M., Neri, C. (2000): Carbonate facies dominated by syndepositional cements: a key component of Middle Triassic platforms. The Marmolada case history (Dolomites, Italy). *Facies*, 42, str. 211–226.
- [74] Blendinger, W. (2001): Triassic carbonate buildup flanks in the Dolomites, northern Italy: breccias, boulder fabric and the importance of early diagenesis. *Sedimentology*, 48, str. 919–933.
- [75] Kendall, C. G. St. C., Schlager, W. (1981): Carbonates and relative changes in sea level. *Marine Geology*, 44, str. 181–212.
- [76] De Zanche, V., Gianolla, P., Mietto, P., Siorpaes, C., Vail, P. R. (1993): Triassic sequence stratigraphy in the Dolomites (Italy). *Memorie di Scienze Geologiche*, 45, str. 1–27.
- [77] Emery, D. Myers, K. (1996): *Sequence stratigraphy*. Oxford & Northampton, Blackwell Science 1996; 297 str.
- [78] Pleničar, M. (1970): *Tolmač lista Postojna*, L 33–77. Beograd, Zvezni geološki zavod 1970; 62 str.
- [79] Dozet, S. (1979): Karnijske plasti južno in zahodno od Ljubljanskega barja. *Geologija*, 22, str. 55–70.
- [80] Jelen, B. (1990): Karnijska školjčna favna na Lesnem brdu in njen paleobiološki pomen. *Geologija*, 31–32, str. 11–127.

- [81] Gow, N. N., Lozej, G. P. (1993): Bauxite. *Geoscience Canada*, 20, str. 9–16.
- [82] Keim, L., Spötl, C., Brandner, R. (2006): The aftermath of the Carnian carbonate platform demise: a basinal perspective (Dolomites, Southern Alps). *Sedimentology*, 53, str. 361–386.
- [83] Breda, A., Preto, N., Roghi, G., Furin, S., Meneguolo, R., Ragazzi, E., Fedele, P., Gianolla, P. (2009): The Carnian Pluvial Event in the Tofane area (Cortina d'Ampezzo, Dolomites, Italy). *Geo. Alp*, 6, str. 80–115.
- [84] Gianolla, P., Jacquin, T. (1998): Triassic sequence stratigraphic framework of western European basins. V: De Graciansky, P. C., Hardenbol, J., Jacquin, T., Vail, P. R. (ur.): *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European Basins. SEPM Special Publication*, 60, str. 643–650.
- [85] Ogg, J. G. (2004): The Triassic period. V: Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G. (ur.): *A geologic time scale 2004*. Cambridge, Cambridge University Press 2004, str. 271–306.

Ostanka hipuritov z Nanosa

The hippuritids remains from Nanos Mountain, Slovenia

Vasja Mikuš^{1,*}, Aleš Šoster²

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

²Višnja vas 9, 3212 Vojnik, Slovenija

*Vodilni avtor. E-mail: vasja.mikuz@ntf.uni-lj.si

Izvleček

Obravnavana sta prereza levih rudistnih lupin s pobočja Nanosa. Oba prereza pripadata školjkam iz družine Hippuritidae. Morfologija prerezov je značilna za rod *Vaccinites*.

Ključne besede: školjke, hipuriti, *Vaccinites*, Nanos, Slovenija

Abstract

Two cross-sections of left rudist valves from the slope of Nanos Mountain are discussed. Both specimens belong to family Hippuritidae. Morphology of cross-sections is characteristic for genus *Vaccinites*.

Key words: bivalves, Hippuritids, *Vaccinites*, Mount Nanos, Slovenia

Uvod

Dolgo smo razmišljali o ustreznem paleontološkem prispevku ob proslavi 90. obletnice akademika prof. dr. Maria Pleničarja. Ker se je slavljeneec mnogo let ukvarjal tudi z raziskavami rudistov v Sloveniji in tujini, saj je prvi članek o rudistih napisal pred 60 leti (Pleničar 1954), smo našli dva zanimiva in strokovni javnosti še ne predstavljena rudista, ki bosta upravičila naš namen in sta že našla svoje mesto v šolski paleontološki zbirki Oddelka za geologijo.

Generacija študentov geologije 2010/2011 je imela v študijskem letu 2012 Fakultete za naravoslovje in tehnologijo terenske vaje. Študenti so pregledovali apnenice na pobočju Nanosa, kjer so iskali fosilne ostanke. Timotej Pepelnik s Ptujске Gore 58 je preklal večji kos apnenca, v katerem je naletel na razmeroma dobro ohranjena ostanka dveh levih lupin rudistnih školjk. S soavtorjem sva si 9. oktobra 2014 ogledala najdišče na Nanosu in hotela poiskati še desni lupini istih primerkov (tab. 1, sl. 1a–1b). Njunih desnih lupin žal nisva našla, sva pa ugotovila, da je bil kos z levima lupinama odvzet zelo blizu oziroma iz apnenec z brahiopodi, morski ježki in rudisti. Pleničar (1961: 28–29) je na zgornjem robu planote Nanosa našel brahiopode, ki jih je pripisal vrsti *Rhynchonella contorta* d'Orbigny, tamkajšnje sive radiolitne apnenice pa uvrstil v senonij. Radulović in Motchurova - Dekova (2002: 112–121, tab. 1, sl. 7–8) uvrščata brahiopode z Nanosa k vrsti *Cyclothyris ? globata* (Arnaud, 1877), apnenice v njihovem najdišču pa k spodnjekampanijskim. Primerki iste vrste so najdeni tudi v spodnjekampanijskih plasteh na otoku Braču in v Guči v zahodni Srbiji.

Ker smo hoteli ugotoviti ustrezne taksone za najdene rudiste, smo najprej pregledali vzorce le-teh, ki so v študijski paleontološki zbirki Oddelka za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete. Ogledali smo si razstavljene primerke v vitrinah in druge v predalih. V vitrini s številko 10 smo našli primerljiv primerek rudista, ki pripada vrsti *Hippurites chaperi* (Douvillé). Školjka ima inventarno številko 4030. Ko smo navedeno številko preverili v »Inventarskem zapisniku za okamenine in kamenine III b.« še nekdanjega Geološko-paleontološkega inšti-

tuta Univerze v Ljubljani z letnico 18. 2. 1946, ki je še vedno v rabi v študijski paleontološki zbirki Oddelka za geologijo, smo na strani 117 pri številki 4030 ugotovili zapis *Hippurites cf. chaperi* Douvillé in da sta bila pri Nabrežini v Italiji najdena dva kosa santonijskih rudistov, med najditelje ali morda samo posrednike je zapisan g. Boštjančič.

V Pleničarjevem katalogu o krednih rudistih Slovenije (2005: 210–211, tab. 93, sl. 1) je zapisano, da je primerek z inventarno številko 4030 najden v vasi Avber na Tržaško-Komenski planoti, kar ne ustreza podatkom v »Inventarskem zapisniku« študijske zbirke.

Paleontološki del

Classis Bivalvia Linné, 1758

Subclassis Pachyodonta (Heterodonta Neumayr, 1884)

Ordo Rudistae Lamarck, 1819 (Hippuritoida Newell, 1965)

Superfamilia Hippuritacea Gray, 1848

Familia Hippuritidae Gray, 1848

Genus *Vaccinites* Fischer, 1887

Material

Večji kos sivega zgornjekrednega apnenca velikosti 215 mm × 145 mm × 105 mm z dvema rudistnima prerezoma. Kos je našel leta 2012 študent geologije Timotej Pepelnik na pobočju ob cesti, ki pelje na Nanos. Vzorec je bil odvzet blizu apnenec z brahiopodi.

Opis

Najdena sta dva vbočena spodnja prereza zgornje – leve lupine z deloma ohranjenimi stebrički. Spodnji manjši primerek (tab. 1, sl. 1b) ima zelo lepo ohranjen morfološki vzorec zgornje lupine, kjer vidimo radialno rebratost ali armaturo z dvakratno bifurkacijo. Številna radialna rebra so v povezavi z vzdolžno, gosto rebratostjo druge spodnje lupine. Pri zgornjem večjem primerku (tab. 1, sl. 1a) se vzorec zgornje lupine izgublja, torej gre za nižji prerez, ki je že deloma v spodnji lupini. Na drugem zgornjem primerku se lepše vidijo zajede stebričkov in gube, škržnega ali drugega stebrička (E), analnega ali prvega stebrička (S) in ligamentne gube (L) ter zunanji obrisi vmesnih kanalov. Stena lupin je razmeroma tanka.



Tabla 1: *Vaccinites* sp. v zgornjekrednem apnencu z Nanosa. **1a** Prez zgornje ali leve lupine prvega primerka, premer 70 mm × 68 mm | **L** = ligamentna guba | **S** = prvi ali analni stebriček | **E** = drugi ali škržni stebriček | **1b** Prez leve lupine drugega primerka rodu *Vaccinites*, premer 65 mm × 65 mm

Primerjava

Rudistna prereza z Nanosa smo primerjali s primerkom iz študijske paleontološke zbirke z inv. št. 4030. Morfološki vzorec spodnjega dela leve lupine se dobro ujema z značilnostmi površine zgornje lupine primerka iz paleontološke zbirke. Tudi velikosti premerov se dobro ujemamo. Žal se vzdolžna rebratost spodnje desne lupine vidi samo na ozkem robu, ki pa ni takšna kot pri vrsti *Vaccinites chaperi*. Ta vrsta ima zelo številne in tanke vzdolžne linije, naš primerek z Nanosa pa izkazuje manj in debelejša vzdolžna linije. Vseeno mislimo, da primerka z Nanosa pripadata vrsti *Vaccinites chaperi*.

Problematika

Pleničar (2005: 210) v obsežni sinonimiki vrste *Vaccinites chaperi* piše, da je vrsto postavil Munier-Chalmas leta 1897 in ne Douvillé istega leta. V seznamu njegovih uporabljenih virov ni dela Munier-Chalmasa z letnico 1897, čeprav avtor v sinonimiki citira, da je vrsto *Hippurites chaperi* prvi poimenoval Munier-Chalmas. Sprašujemo se, zakaj se pripisuje avtorstvo vrste *Vaccinites chaperi* Douvilléju.

Opomba: Pleničar (1975: 98–99; 2005: 210–211) je določeval primerke vrste *Vaccinites chaperi* po prečnem prerezu in zunanjih značilnostih, torej po glavnih ter ključnih določevalnih merilih. V delu iz leta 2005 (211: tab. 93, sl. 1) prikazuje primerke z inv. št. 4030 iz šolske Paleontološke zbirke Oddelka za geologijo in primerke z inv. št. 1604 iz zbirke Prirodoslovnega muzeja Slovenije (Pleničar 2005: 211, tab. 93, sl. 2)

Stratigrafska in geografska razširjenost

Milovanović (1934: 202) piše, da je tipičen primerek vrste *Hippurites (Vaccinites) chaperi* Douvillé najden v Grčiji v santonijskih skladih. Najdeni so še v Franciji, v Furlaniji in Istri. Nadalje še poroča, da so v najdiščih bivše Jugoslavije primerki te vrste najdeni skupaj z vrsto *Vaccinites cornuvaccinum*. Pleničar (1975: 99) in Pleničar (2005: 210) poroča, da so primerki vrste *Vaccinites chaperi* ugotovljeni v santonijskih in kampanijskih skladih Slovenije pri vasi Avber na Tržaško-Komenski planoti in blizu vasi Ravnica na Trnovskem gozdu. Vrsta je registrirana tudi v enako starih kamninah Italije (Aurisina – pri Nabrežini), Francije, Hrvaške (Istra), Grčije, v južnem delu Bosne in Hercegovine, Srbije in Romunije. Pleničar (2009: 275–277) apnence na Nanosu, na Trnovskem gozdu in na Tržaško-Komenski planoti uvršča k zgornjekrednim plastem med turonijem in danijem. Plasti cenocone s foraminifero *Keramosphaerina tergestina* (Stache) je značilna za zgornji santonij-kampanij. Jurkovšek, Cvetko Tešović in Kolar - Jurkovšek (2013: 158) apnence s foraminifero *Keramosphaerina tergestina* (Stache) blizu Krajne vasi na Krasu uvrščajo v santonij. Pleničar (2008: 153–155) piše, da jugozahodni del Slovenije s svojimi zgornjekrednimi rudistnimi združbami plitvega in toplega morja spada k dinarski karbonatni platformi. V paleogeografskem pogledu pa so ti zgornjekredni apnenci del Apulijsko-Tauridske intraoceanske podprovinice oziroma velike centralne Tetidine province.

Sklepi

Prereza levih rudistnih lupin z Nanosa (tab. 1, sl. 1a–1b) zanesljivo pripadata primerkoma iz družine Hippuritidae oziroma k rodu *Vaccinites*. Radialna armaturna rebratost je zelo primerljiva z rebratostjo leve lupine vrste *Vaccinites chaperi* (Douvillé, 1897). Ker nimamo ostankov desnih lupin in njihovih prerezov z odločilnimi morfološki značilnostmi obeh stebričkov in ligamentne gube, ne moremo podati ustrezne vrstne določitve.

Zahvala

Študentu Timoteju Pepelniku se zahvaljujemo za primerek krednega apnenca z rudistoma, najdenega na pobočju Nanosa. Dr. Bogdanu Jurkovšku iz Geološkega zavoda Slovenije in prof. dr. Alanu Moru iz PMF Sveučilišta u Zagrebu se zahvaljujemo za strokovno presojo določitve hippuritnih ostankov z Nanosa, dr. Aleksandru Horvatu za prevode v angleščino.

Viri

- Jurkovšek, B., Cvetko Tešović, B., Kolar - Jurkovšek, T. (2013): *Geologija Krasa. (Geology of Kras)*. Geološki zavod Slovenije, str. 1–205, Tab. 1–48.
- Milovanović, B. (1934): Rudistna fauna Jugoslavije. (Les rudistes de la Yougoslavie). *Geološki anali Balk. pol. (Beograd)*, 12, 1, str. 175–254.
- Pleničar, M. (1954): Rudisti. *Proteus*, 16, str. 270–274.
- Pleničar, M. (1961): Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem. *Geologija*, 6, str. 22–145.
- Pleničar, M. (1975): *Hipuriti Nanosa in Tržaško-komenske planote*. (Hippuritidae of Nanos and the Trieste-Komen Plain). *Razprave 4. razreda SAZU*, 18, 4, str. 81–115, Tab. 1–23.
- Pleničar, M. (2005): *Upper Cretaceous Rudists in Slovenia*. (Zgornjekredni rudisti v Sloveniji). Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Razred za naravoslovne vede, Dela, 39, str. 1–255, Pl. 1–106.
- Pleničar, M. (2008): Paleogeografske rudistne podprovince Tethide v zgornji kredi v Sloveniji. (The Upper Cretaceous paleogeographical rudist subprovinces of the Tethys in Slovenia). *Geologija*, 51, 2, str. 153–159.
- Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M.: *Geologija Slovenije*. (The Geology of Slovenia). Geološki zavod Slovenije, XI, str. 1–612.
- Radulović, V., Motchurova-Dekova, N. (2002): The Rhynchonellidae Brachiopod *Cyclothyris ? globata* (Arnaud, 1877) from the Santonian-Campanian of Pannonides, Carpatho-Balkanides and Dinarides (South-eastern Europe). *Geol. anali Balk. poluost. (Beograd)*, 64, str. 107–135, Pl. 1–3.

Kredna rudistna školjka iz Rogoznice v Dalmaciji na Hrvaškem

Cretaceous rudist bivalve from Rogoznica in Dalmatia, Croatia

Vasja Mikuz^{1,*}, Aleksander Horvat²

¹Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenija

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

*Vodilni avtor. E-mail: vasja.mikuz@ntf.uni-lj.si

Izvleček

V prispevku je obravnavana rudistna školjka, ki je bila najdena na območju Rogoznice v Dalmaciji. Ugotovljeno je, da pripada vrsti *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831). Tovrstni hipuriti so tam pogostni v zgornjekrednih santonijsko kampanijskih apnencih. Po novjših podatkih stroncijeve izotopske stratigrafije je vrsta značilna za najmlajši turonij – srednji kampanij.

Ključne besede: školjke, rudisti, hipuriti, zgornja kreda, Rogoznica, Hrvaška

Abstract

The paper discusses with the rudist bivalve found on the region of Rogoznica in Dalmatia, Croatia. Specimen belongs to *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831). Species often appears in the Upper Cretaceous limestones of Dalmatia. According to recent SIS data the species chronostratigraphical range is uppermost Turonian to middle Coniacian.

Key words: bivalves, rudists, hippuritids, Upper Cretaceous, Rogoznica, Croatia

Uvod

Prispevek posvečamo akademiku dr. Mariu Pleničarju, ki je letos avgusta praznoval svoj jubilejni 90. rojstni dan. Ker se je skoraj 60 let ukvarjal z raziskavami rudistov in drugih krednih školjk v Sloveniji, v drugih takratnih republikah bivše Jugoslavije in v tujini, smo se odločili za predstavitev rudista iz Dalmacije.

Decembra 2008 je dr. Mirjan Žorž prinesel fosilni ostanek, ki ga je poleti istega leta našla gospa Simona Kozin blizu Rogoznice v Dalmaciji. Ko sta izvedela, kaj sta našla oziroma posredovala, se je najditeljica odločila, da ostanek rudista podarita študijski paleontološki zbirki Oddelka za geologijo.

Po daljšem premoru smo se lotili raziskav dalmatinskega rudista. Narediti smo morali prečne prereze zaradi odločilnih določevalnih meril pri rudistih: položaja, velikosti in oblikovanosti ligamentne gube in dveh za rudiste funkcionalnih stebričkov.

Geološke razmere v okolici Rogoznice

Po podatkih Magaša in Marinčiča (1973: 12–13) ozemlje Rogoznice, ki je med Primoštenom in Splitom, v strukturnem in geotektonskem smislu pripada k Zunanjim Dinaridom. Tektonika je ustvarila luskasto zgradbo, ki je nastala v laramijski in pirenejski fazi alpske orogeneze. Ozemlje Rogoznice uvrščajo k drugi tektonski enoti Primošten–Trogir–Split, ki je na severu omejena s Kozjaškim prelomom, na jugu je prekrita z morjem in je v stiku s tektonsko enoto srednjo-dalmatinskih otokov.

V tej tektonski enoti so zgornjekredni senonijski masivni, plastnati do ploščasti apnenci in apnenčasti dolomiti, ki so nastali s poplitvenjem takratnega sedimentacijskega bazena. Na drugi strani pa so takratne toplejše klimatske razmere omogočale hiter razvoj rudistnih školjk, predvsem hipuritov. Zgornjekredne stopnje so določene in dokumentirane s hipuriti. Pleničar (2008: 154) uvršča zgornjekredne rudistne združbe tega dela Dalmacije k dinarski karbonatni platformi s plitvim in toplim morjem, v paleogeografskem smislu pa v centralno Tetidino provinco.

Paleontološki del

Classis Bivalvia Linné, 1758

Subclassis Heterodonta Neumayr, 1884

Ordo Hippuritoida Newell, 1965

Superfamilia Hippuritacea Gray, 1848

Familia Hippuritidae Gray, 1848

Genus *Vaccinites* Fischer, 1887

Vaccinites cornuvaccinum (Bronn, 1831)

Tab. 1, sl. 1 a-c; tab. 2. sl. 1-8

- 1934 *Hippurites* (*Vaccinites*) *cornu-vaccinum* Bronn – Milovanović, 215–218, sl. 16
 p.1934 *Hippurites* (*Vaccinites*) *vredenburgi* Kühn. – Milovanović, 218–220, sl. 17
 1961 *Hippurites* (*Vaccinites*) *cornuvaccinum* Bronn var. *gaudryi* (Mun.-Ch.) Kühn – Pleničar, 54–56, 12 risb
 p. 1962 *Hippurites vredenburgi* v. *occidentalis* n. var. – Grubić, 131, sl. 17
 1963 *Hippurites* (*Vaccinites*) *cornuvaccinum* Bronn – Polšak, 436, tab. 1, sl. 1
 1975 *Hippurites* (*Vaccinites*) *cornuvaccinum* Bronn, 1832 – Pleničar, 100, tab. 15, sl. 2–3
 2005 *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831) – Pleničar, 212–213, tab. 94, sl. 1
 p. 2005 *Vaccinites cornuvaccinum* var. *gaudryi* (Munier-Chalmas, 1867) Kühn, 1945 – Pleničar, 214–215, tab. 95, sl. 2
 2013 *Vaccinites cornuvaccinum* Bronn. – Jurkovšek, Cvetko Tešović & Kolar -Jurkovšek, 156–157, sl. 3–4

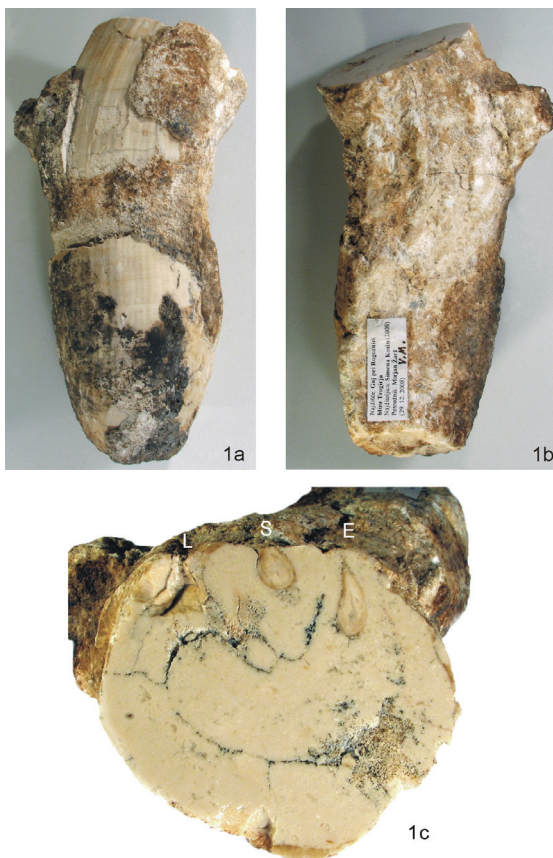


Tabla 1: *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831)

1a Rogoznica v Dalmaciji, desna lupina, višina 192 mm |

1b isti primerek z druge strani | **1c** prečni prerez spodnje lupine istega primerka, velikost premera 77 mm × 67 mm

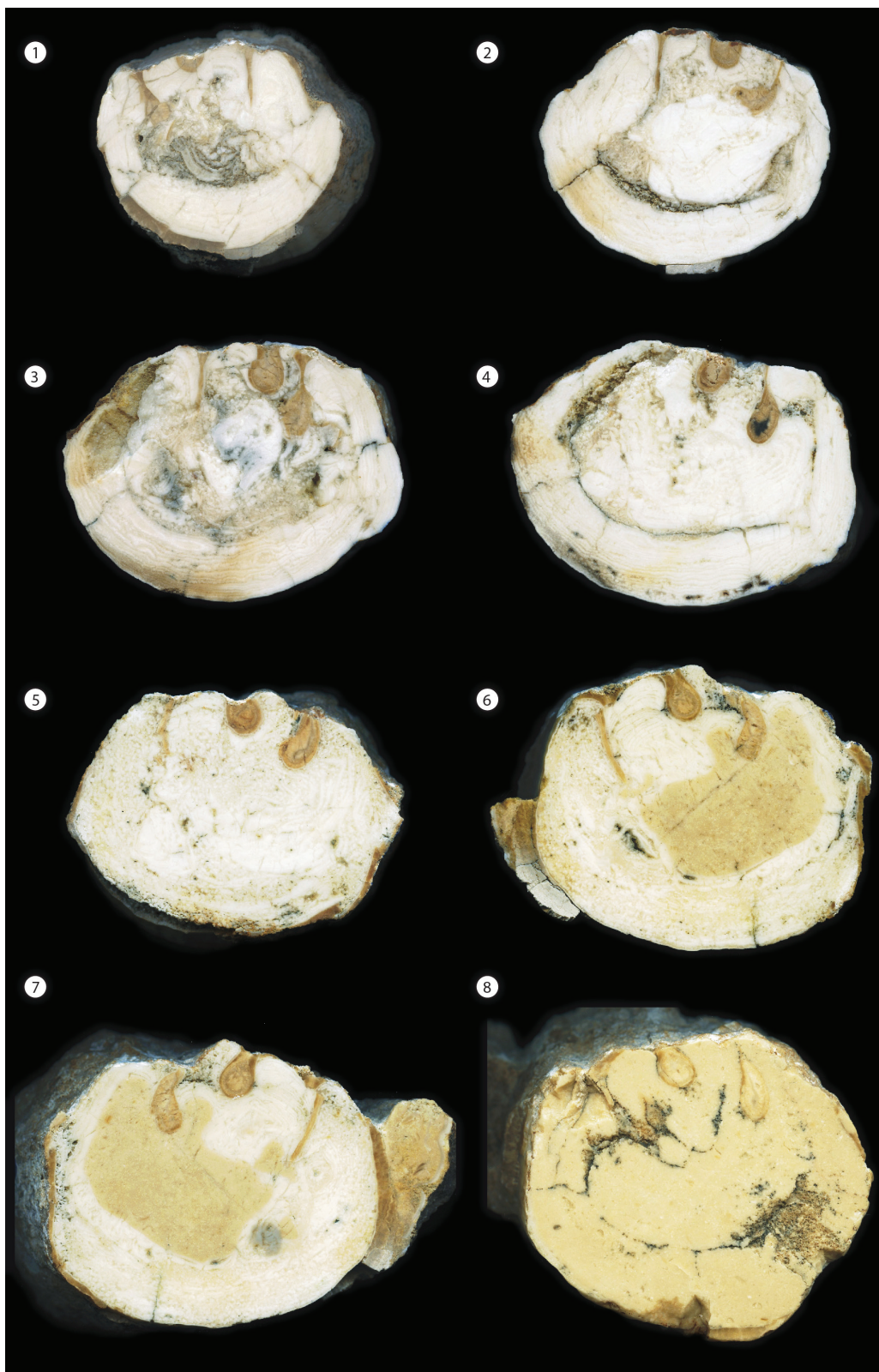


Tabla 2: *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831); Rogoznica v Dalmaciji

1 Spodnja površina 1. rezine, premer 62 mm × 52 mm | **2** Zgornja površina prve rezine | **3** Zgornja površina 2. rezine, premer 69 mm × 56 mm | **4** Zgornja površina 3. rezine, premer 77 mm × 56 mm | **5** Zgornja površina 4. rezine, premer 75 mm × 55 mm | **6** Zgornja površina 5. rezine, premer 76 mm × 58 mm | **7** Spodnja površina 6. rezine, premer 86 mm × 67 mm | **8** Zgornja površina 6. rezine

Material

Primer ek desne lupine je najden ob kamniti škarpni na njivi pri Rogoznici med Primoštenom in Trogirjem v Dalmaciji. Našla ga je leta 2008 gospa Simona Kozin, ko je bila tam na počitnicah, na Oddelek za geologijo ga je posredoval dr. Mirjan Žorž konec decembra 2008.

Opis

Ohranjeno je kameno jedro spodnje lupine, ki je po večini odstranjena. Ponekod je tanka lupina še ohranjena. Rudist je razmeroma velik in v obliki rahlo ukrivljenega roga. Ima odlomljena zgornji del in spodnji prirastni del. Vzdolžno potekajo ne preveč izrazita rebra, ki so ponekod prekinjena s prečnimi prirastnimi lamelami.

Na prečnem prerezu (tab. 1, sl. 1c; tab. 2, sl. 8) je na levi strani ligamentna guba (L), ki je tanka in podolgovata. Sledi prerez analnega ali prvega stebrička (S), ki ima ovalno obliko glave, njegov kratek pecelj je odlomljen. Povsem na desni strani je prerez drugega ali škržnega stebrička (E), ki ima daljši pecelj in elipsasto do kapljasto obliko glave. Razdalja L–S ni bistveno večja od razdalje S–E.

Terminologija nekaterih ključnih notranjih morfoloških elementov (L, S, E), ki so navadno dobro ohranjeni, je različna in do neke mere nedosledna. Primeri, ki so jih uporabljali različni avtorji, so navedeni v tabeli.

Prerezi rudista iz Rogoznice na tabli 2 so pokazali, da so mogoče kar velike razlike v obliki in položaju stebričkov S in E, deloma tudi ligamentne gube L. Največje razlike lahko opazujemo med prerezi 2 in 3 ter 3 in 4, najbolj očiten je prerez 3, kjer se stebrička zelo zbližata. Takšne razlike opazujemo predvsem pri nekaterih pritrjenih ali fiksosilnih organizmih iz skupin koral, školjk, polžev, ramenonožcev, kolobarnikov itd., kjer lahko pri isti vrsti opazujemo morfološke razlike med njimi. Torej lahko pri vseh naštetih skupinah organizmov pričakujemo tudi primere nekakšnega strukturno-morfološkega odklona ali aberacije.

Primerjava

Milovanović (1934: 220, sl. 16 in 17) prikazuje prereza spodnje lupine vrste *Hippurites (Vaccinites) cornuvaccinum* in *H. (V.) vredenburgi*. Ligamentna zajeda (L), prvi stebriček (S) in drugi stebriček (E) se oblikovno, položajno in velikostno zelo lepo ujemajo z ustreznimi značilnostmi primerka iz Rogoznice. Polšak (1963: 436, tab. 1, sl. 1–2) prikazuje hipuritna prereza iz lokacij Plitvički Klanac in Škorin vrh, ki sta zelo primerljiva s primerkom iz Dalmacije, le velikost in obris prereza se nekoliko razlikujeta. Pleničar (1975) na tabli 15 prikazuje primerke vrste *Hippurites (Vaccinites) cornuvaccinum* Bronn, na tablah 16 in 17 pa podvrste *H. (Vaccinites) cornuvaccinum gaudryi* (Munier-Chalmas), ki so zelo podobne vrsti *Vaccinites cornuvaccinum*. Vsi primerki z omenjenih tábel so zelo primerljivi s primerkom iz Rogoznice v Dalmaciji. Veliko primerljivost ugotovimo tudi s primerkoma z Nanosa in iz okolice Senožec (Pleničar 2005: 237, tab. 106, sl. 3, 4). Risbe prerezov vrste *Vaccinites cornuvaccinum*, ki jih prikazujejo Moro in sodelavci (2010: 619, sl. 3/4; 621, sl. 4/24–25; 627, sl. 7/1–3 in 630, sl. 9/1–4, 24–25) ustrezajo prerezom primerka iz Rogoznice.

Stratigrafska in geografska razširjenost

Milovanović (1934: 215–218, sl. 16) opisuje vrsto *Hippurites (Vaccinites) cornuvaccinum* Bronn iz santonijsko-kampanijskih plasti med Novim Pazarjem in Kosovsko Mitrovico ter iz Stare Raške v Srbiji. Nadalje piše, da so vrsto ugotovili v skladih zgornjega santonija in spodnjega kampanija v severnih apneniških Alpah, pri Nabrežini, v Grčiji in v Srbiji na poti med Novim Pazarjem in Kosovsko Mitrovico. Pleničar (1961: 56) poroča, da so primerke podvrste *Hippurites (Vaccinites) cornuvaccinum gaudryi* našli v koniacijsko-santonijskih skladih pri Senožecah in Gorjupu. Grubičeva (1962: 131) podvrsta *Hippurites vredenburgi occidentalis*, ki je v marsičem podobna vrsti *Vaccinites cor-*

L	S	E	Avtorji
ligamentni nabor	prvi glavni stubić	drugi stubić	Milovanović, 1934
ligamentni nabor	prvi stupić	drugi stupić	Polšak, 1963
ligamentni stebriček	analni stebriček	škržni stebriček	Pleničar & Jurkovšek, 1998
Ligamentary pillar (PO)	P1	P2	Steuber, 2003
ligamentni greben	zadnji stebriček	prednji stebriček	Pleničar, 2005

nuvaccinum je bila najdena v santonijsko-kampanijskih skladih na južnovzhodnem pobočju Kopaonika v Srbiji. Polšak (1963: 437–438) opisuje primerke vrste *Hippurites (Vaccinites) cornuvaccinum* iz koniacijsko-kampanijskih skladov v okolici Plitvičkih jezer. Magaš in Marinčič (1973: 20–21) poročata, da so na ozemlju med Primoštenom in Splitom tudi apnenci santonijsko-kampanijske starosti, ki so izredno bogati z makrofavno. Prevladujejo hipuriti, ugotovili so številne oblike (okrog 22), med njimi so tudi vrste *Hippurites (Vaccinites) cornuvaccinum*, *H. (V.) cornuvaccinum gaudryi* in *H. (V.) vredenburgi*. Pleničar (1975: 100–101) opisuje primerke vrste *Vaccinites cornuvaccinum* iz zgornjesantonijskih in spodnjekampanijskih skladov Nabrežine pri Trstu in Tomaja. Sicer pa je vrsta razširjena v vzhodnih Alpah, v Grčiji, Srbiji, Liki, Bosni in Istri. Moro & Čosović (2000: 62–63) omenjata primerke rodu *Vaccinites* iz santonijskih skladov z juga Istre na Hrvaškem. Moro, Skelton & Čosović (2002) so raziskovali tudi rudiste z Jadransko-dinarske karbonatne platforme. Primerjali so razmere krednih najdišč iz južne Istre in otokov Olib in Brač. Hipurite iz rodu *Vaccinites* omenjajo iz južne Istre in z otoka Brača, na Olibu pa jih niso našli. Moro, Skelton & Čosović (2002: 506, sl. 12) prikazujejo, da so rudisti rodu *Vaccinites* na jadranski karbonatni platformi prebivali na območju zunanjega šelfa. Pleničar (2005: 212–213) predstavlja primerek vrste *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831) iz santonijsko-kampanijskih skladov Tomaja. V zahodni Sloveniji je veliko najdišč te vrste (Štorje, Brje, Kopriva, Solkan, Griže, Trnovski gozd), ugotovljeni so še v enako starih skladih Istre, Like, Bosne, Srbije, Grčije, Albanije, Romunije in v vzhodnih Alpah. Jurkovšek, Cvetko Tešović & Kolar - Jurkovšek (2013: 69, 156–157) vrsto *Vaccinites cornuvaccinum* predstavljajo na Krasu med fosilnimi ostanki lipiške formacije santonijsko-kampanijske starosti.

Steuber (2003) je na osnovi numeričnih starosti stroncijeve izotopske stratigrafije mnenja, da je treba santonijsko-kampanijsko starost vrste *Vaccinites cornuvaccinum* revidirati, saj se vrsta prvič pojavi na bazi koniacija (88,16 milijonov let). Koniacijsko-santonijsko starost kronovrste *Vaccinites cornuvaccinum* – *V. chaperi*

pripisujejo Steuber in sodelavci (2005) tudi primerkom z otoka Brača v Dalmaciji na Hrvaškem. Moro s sodelavci (2010) vrsto, najdeno v severnohrvaških nahajališčih Medvednice, na osnovi stroncijeve izotopske stratigrafije uvršča v spodnji del kampanija (82,00–77,60 milijonov let). Steuber in Schlüter (2012) na območju Jadransko-dinarske karbonatne platforme uvrščata vrsto v biocono *Vaccinites cornuvaccinum* s kronostratigrafskim razponom najmlajši turonij do srednji koniacij.

Sklepi

Rudistna školjka je najdena v okolici Rogoznice. Zaselek Rogoznica je na ozemlju med Primoštenom in Trogirjem v Dalmaciji, kjer izdanjajo tudi zgornjekredni masivni, plastnati do ploščasti apnenci in apnenčevi dolomiti, ki so nastali na takratni Jadransko-dinarski karbonatni platformi. V masivnem do brečastem horizontu so ostanki rudistnih školjk, med katerimi prevladujejo hipuriti. Raziskovan ostanek školjke (tab. 1, sl. 1a–1c) pripada vrsti *Vaccinites cornuvaccinum* (Bronn, 1831), ki na območju Jadransko-dinarske karbonatne platforme definira biocono *Vaccinites cornuvaccinum* s kronostratigrafskim razponom najmlajši turonij-srednji kampanij.

Primerki iz Rogoznice smo v prečni smeri razrezali na šest delov. Rez smo naredili na vsakih 25 mm. Hoteli smo ugotoviti, ali so pri rasti osebka nastale kakšne opazne razlike v morfologiji in prostorski razporeditvi stebričkov in ligamentne gube (tab. 2, sl. 1–8). V prerezu med rezinama 2 in 3 smo opazili večjo razporeditveno razliko, kjer sta se stebrička E in S medsebojno zelo približala (tab. 2, sl. 2–4), razdalja do ligamentne gube L je ostala enaka kot pri drugih prerezih (tab. 2, sl. 1, 5–8).

Zahvala

Zahvaljujemo se gospe Simoni Kozin za školjko, najdeno blizu Rogoznice v Dalmaciji, in dr. Mirjanu Žoržu za posredovanje fosilnega ostanka na Oddelek za geologijo. Zahvala gre tudi prof. dr. Alanu Moru s PMF Sveučilišta u Zagrebu in

dr. Bogdanu Jurkovšku iz Geološkega zavoda Slovenije, ki sta si fosilne ostanke ogledala in potrdila ugotovljeno in predlagano determinacijo.

Viri

- Grubić, A. (1962): Rezultati novih proučavanja vrste *Hippurites vredenburgi* Kühn 1932, iz Perzije i Jugoslavije. *Vesnik (Geologija) ser. A (Beograd)*, 20, str. 121–144.
- Jurkovšek, B., Cvetko Tešović, B., Kolar - Jurkovšek, T. (2013): Geologija Krasa. *Geološki zavod Slovenije*, str. 1–205, (Tab. 1–48).
- Magaš, N., Marinčič, S. (1973): Tumač za listove Split i Primošten. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. *Savezni geološki zavod Beograd*, str. 1–47.
- Milovanović, B. (1934): Rudistna fauna Jugoslavije. (Les rudistes de la Yougoslavie). *Geološki anali Balk. pol. (Beograd)*, 12, 1, str. 175–254.
- Moro, A., Čosović, V. (2000): The rudist of Southern Istria – an example of environmentally induced succession within Santonian limestones. *Riv. Italiana Paleont. Strat.(Milano)*, 106, 1, str. 59–72.
- Moro, A., Čosović, V., Benić, J., Dokmanović, J. (2010): Taxonomy of Rudists from the Campanian Transgressive Sediments of Brašljeva, Donje Orešje and Sv. Martin, Northern Croatia. *Turkish J. Earth Sci.*, 19, str. 613–633. (doi:10.3906/yer-0901-12).
- Moro, A., Skelton, P. W., Čosović, V. (2002): Palaeoenvironmental setting of rudists in the Upper Cretaceous (Turonian-Maastrichtian) Adriatic Carbonate Platform (Croatia), based on sequence stratigraphy. *Cretaceous Research*, 23, str. 489–508. (doi: 10.1006/cres.2002.1017).
- Pleničar, M. (1954): Rudisti. *Proteus*, 16, str. 270–274.
- Pleničar, M. (1961): Stratigrafski razvoj krednih plasti na južnem Primorskem in Notranjskem. *Geologija*, 6, str. 22–145.
- Pleničar, M. (1975): Hipuriti Nanosa in Tržaško-komenske planote. (Hippuritidae of Nanos and the Trieste-Komen Plain). *Razprave 4. razreda SAZU (Ljubljana)*, 18, 4, str. 81–115, Tab. 1–23.
- Pleničar, M. (2005): Upper Cretaceous Rudists in Slovenia. (Zgornjekredni rudisti v Sloveniji). *Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Razred za naravoslovne vede, Dela (Ljubljana)*, 39, str. 1–255, Pl. 1–106.
- Pleničar, M. (2008): Paleogeografske rudistne podprovinice Tetricide v zgornji kredi v Sloveniji. (The Upper Cretaceous paleogeographical rudist subprovinces of the Tethys in Slovenia). *Geologija*, 51, 2, str. 153–159.
- Pleničar, M., Jurkovšek, B. (1998): Zgornjesantonijski rudisti osrednjega dela Tržaško-komenske planote. (The Upper Santonian rudists of the central part of the Trieste – Komen plateau). *Razprave 4. razreda SAZU (Ljubljana)*, 39, 1, str. 3–53, Tab. 1–11.
- Polšak, A. (1963): Rudisti senona Plitvičkih jezera i Ličke Plješivice. (Les Rudistes du Sémonien des Lacs de Plitvice et de la Lička Plješivica en Croatie). *Geol. vjesnik (Zagreb)*, 15, 2, str. 435–454, Tab. 1–3.
- Steuber, T. (2003): Strontium isotope stratigraphy of Cretaceous hippuritid rudist bivalves: rates of morphological change and heterochronic evolution. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology (Amsterdam)*, 200, str. 221–243.
- Steuber, T., Korbar, T., Jelaska, V., Gušić, I. (2005): Strontium-isotope stratigraphy of Upper Cretaceous platform carbonates of the island of Brač (Adriatic Sea, Croatia): implications for global correlation of platform evolution and biostratigraphy. *Cretaceous Research*, 26, str. 741–756.
- Steuber, T., Schlüter, M. (2012): Strontium-isotope stratigraphy of Upper Cretaceous rudist bivalves: Biozones, evolutionary patterns and sea-level change calibrated to numerical ages. *Earth-Science Reviews*, 112, str. 42–60. (doi:10.1016/j.earscirev.2012.04.004)

Osemdeset let življenja in dela profesorice dr. Vide Pohar

Irena Debeljak

Vida Pohar se je rodila 9. julija 1934 v Beogradu. Gimnazijo je obiskovala v Slovenski Bistrici in v Ljubljani, kjer je leta 1953 maturirala. Istega leta je začela študij na Oddelku za geologijo in paleontologijo Prirodoslovno-matematične fakultete Univerze v Ljubljani. Leta 1960 je diplomirala iz študijske smeri Praktična geologija in se zaposlila na Katedri za kvartarologijo Oddelka za montanistiko na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani najprej kot strokovna sodelavka in od leta 1965 dalje kot asistentka. Leta 1981 je magistrirala z delom Pleistocenska favna iz Jame pod Herkovimi pečmi. Doktorirala je leta 1991 z disertacijo Poznoglacialna sesalska favna v Sloveniji. Leta 1992 je bila na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani habilitirana v docentko, 1997 pa v izredno profesorico.

Študentom geologije in arheologije je predavala paleontologijo vretenčarjev, geologijo kvartarja ter slovenski in svetovni paleolitik in mezolitik. O okolju in kulturah v ledeni dobi je v okviru predmetov socialna antropologija in paleoantropologija občasno predavala tudi študentom sociologije in biologije. Profesorica Vida Pohar je o vseh teh temah predavala zelo slikovito in z nalezljivim navdušenjem, poleg tega pa je bila tudi odlična pedagoginja, ki je študente znala pripraviti do sodelovanja in sprotnega dela. Je avtorica več slikovnih atlasov kamenih in koščernih orodij in drugih učnih pripomočkov. Vodila je številne zanimive ekskurzije po Sloveniji in izkopavanja v paleolitskih najdiščih, h katerim je vedno pritegnila tudi študente. Na Odseku za arheologijo Filozofske fakultete v Zagrebu je v okviru podiplomskega študijskega programa predavala o tipologiji paleolitskega orodja in o paleolitskih najdiščih v Sloveniji. Bila je predana mentorica diplomantom, magistrantom in doktorandom Oddelka za geologijo (NTF), Oddelka za arheologijo (FF), Oddelka za biologijo

(BF) v Ljubljani ter Odseka za arheologijo in Odseka za geologijo v Zagrebu.

Dogajanja v ledeni dobi, razvoj živalskih združb, pokrajine in kultur pračloveka v Sloveniji se je trudila približati tudi širši javnosti s poljudnimi članki in predavanji v različnih strokovnih društvih, šolah, na radiu in televiziji. Med drugim je bila vrsto let koordinatorka, predavateljica in vodja ekskurzij na seminarjih iz geologije za učitelje naravoslovja in geografije v osnovnih in srednjih šolah.

Podobno široko in raznoliko je bilo tudi njeno strokovno in raziskovalno delo. Začelo se je z geološkim kartiranjem v Vipavski dolini, Karavankah in Goriških Brdih, s sodelovanjem pri izkopavanju fosilnih ostankov mastodonta pri Velenju ter pri izkopavanjih in kasnejši obdelavi številnih slovenskih paleolitskih postaj. Sčasoma se je posvetila predvsem preučevanju neogenskih in kvartarnih sesalcev, raziskavam pleistocenskih jamskih sedimentov in tipologiji paleolitskih kamenih orodij. Predavala je na številnih domačih in mednarodnih simpozijih, med drugim na temo zaščite in ohranjanja geološke dediščine ProGEO. Veliko svojega truda je namenila tudi pripravi Geološkega terminološkega slovarja. Od leta 1997 dalje je v sodelovanju z ekipo Paleontološkega inštituta Univerze na Dunaju vodila izkopavanja v Potočki zijalki, Ajdovski jami, Križni jami in Jami pod Herkovimi pečmi. K raziskovalnemu delu v teh najdiščih je pritegnila številne domače in tuje strokovnjake, kar je pripeljalo do novih izsledkov s področij paleontologije, zoologije, geologije in arheologije.

Kot priznanje za bogato raziskovalno in pedagoško delo jo je Slovensko arheološko društvo leta 2006 imenovalo za svojo častno članico. Raziskovalno in strokovno delo profesorice Vide Pohar se ni ustavilo z upokojitvijo leta 2004. Več kot deset let pozneje, pred vsega ne-

kaj meseci, je na primer pri Avstrijski akademiji znanosti in umetnosti izšla monografija o Križni jami. Profesorica Vida Pohar je kot vodja novih izkopavanj v Križni jami zaslužna za to izdajo, poleg tega je pri njej sodelovala kot urednica in avtorica enega izmed člankov. S tem pa njeno delo še ni končano; v načrtu ima že nekaj nadaljnjih prispevkov.

Profesorici Vidi Pohar iskreno čestitamo ob njenem jubileju in se ji ob tej priložnosti zahvaljujemo ne le za predano znanje, ampak tudi za spodbuden, topel človeški odnos, ki smo ga bili deležni vsi njeni študenti in sodelavci. Želimo ji še veliko veselja in uspehov pri nadaljnjem delu.

Sledi uporabe na kamenih orodjih iz najdišča Pupičina peč

Use-wear analysis of stone tools from Pupičina peč

Simona Petru

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Zavetiška 5, 1000 Ljubljana, Slovenija

Vodilni avtor. E-mail: simona.petru@ff.uni-lj.si

Izvleček

V članku so prikazani rezultati preiskav sledi uporabe na kamenih orodjih iz mezolitskih in neolitskih horizontov hrvaškega najdišča Pupičina peč. Orodja so bila pregledana z optičnim mikroskopom pri povečavah od 50-krat do 200-krat. Ugotovljeni so bili različni načini uporabe orodij in narejeni sklepi o gospodarstvu v najdišču.

Ključne besede: kamena orodja, sledi uporabe, Pupičina peč, mezolitik, neolitik

Abstract

In the paper the results of the use-wear analysis of stone tools from Mesolithic and Neolithic layers of the Croatian site Pupičina peč are presented. Tools were examined under the light microscope at at 50-times to 200-times magnifications. Different uses of tools were determined and conclusions about the economies in the site were made.

Key words: stone tools, usewear, Pupičina peč, Mesolithic, Neolithic

Uvod

Hrvaško najdišče Pupićina peč se odpira nad ozkim kanjonom Vranjske Drage v pogorju Učke, 20 km zahodno od Reke. Precej veliko jamo je kot arheološko najdišče prvi opisal Malez, prvo sondo pa je v njej izkopal Starac. Obsežnejša izkopavanja je nadaljeval Miracle skupaj s hrvaškimi institucijami.

Mlajši kulturni horizonti v najdišču so delno premešani in vsebujejo najdbe od bronaste dobe naprej. Intaktnemu bronastodobnemu horizontu navzdol sledijo neolitski horizonti, v katerih ostanki domačih živali prevladujejo nad ostanki divjih. Radiokarbonska datacija neolitskih plasti je $(6\,600 \pm 240)$ let bp*. Med neolitskimi in mezolitskimi horizonti je hiatus, ki lahko pomeni vrzel v sedimentaciji, erozijo ali antropogeni vpliv. Mezolitske horizonte, datirane v čas med 8 700 leti bp in 9 600 leti bp, sestavljajo premešane leče pepela, v katerih je veliko živalskih kosti, lupinic kopenskih in morskih moluskov ter kamenih orodij. V njih so našli tudi dve človeški falangi. Najstarejši izkopani horizonti z živalskimi ostanki in skromnim številom kamenih orodij so datirani v čas med 10 000 leti bp in 10 610 leti bp in predstavljajo najmlajše faze paleolitika. Pod njimi ležijo še starejše plasti, vendar jih niso raziskali (Miracle, 1997).

Analize sledi uporabe so bile narejene na 47 kamenih orodjih iz neolitskih in mezolitskih horizontov najdišča. Vzorec je bil sicer majhen, vendar je vseeno vsaj v grobem pokazal, s kakšnimi aktivnostmi so se ukvarjali takratni obiskovalci jame in kakšna je bila njihova ekonomija.

* bp – (before present) pred sedanjim časom

Metode preiskav sledi uporabe

Pri uporabi nastanejo na kamenem orodju različne sledi. Najbolj opazna je uporabna retuša, ki jo sestavljajo manjši odkruški in retuše na delovnem robu. Pogled pod mikroskopom nam ob uporabni retuši pogosto odkrije brazde in zgladitve. Brazde so posledica abrazije, njihov potek izraža smer gibanja orodja pri delu. Zgladitve so deli površine, ki odbijajo več svetlobe kot neuporabljena področja. Zanje so značil-

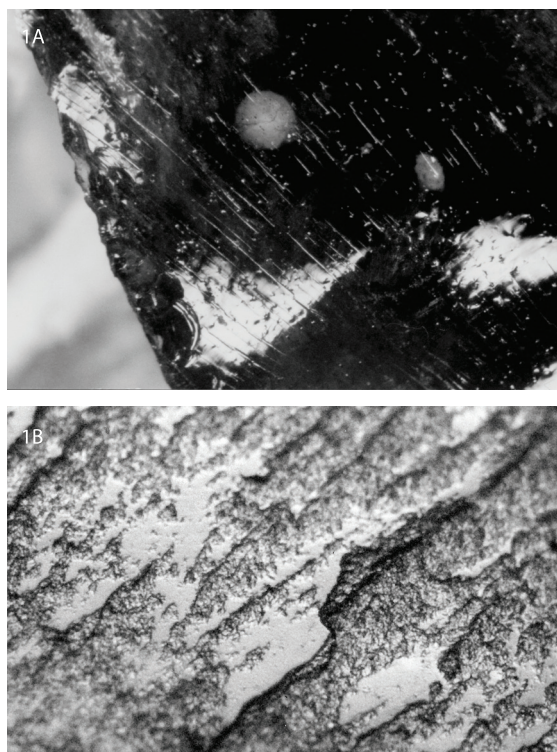
ne strukture, npr. luknjice ali valovi (Petru, 1997, 2004). Iz morfologije zgladitev je mogoče sklepati, kakšen material so obdelovali z orodjem (Keeley, 1980).

Uporabno retušo lahko preučujemo s prostim očesom ali lupo. Za mikrosledi se uporabljajo optični mikroskopi s povečavami od 50-krat do 600-krat ali pa elektronski mikroskopi, pri katerih so povečave še večje. Sledi uporabe na kamenih orodjih in mikroskopske ostanke obdelovanega materiala na njihovem površju preučujemo tudi s fizikalno-kemijskimi metodami (Petru, 1997).

Kamena orodja iz Pupićine peči so bila pregledana z metalurškim mikroskopom pri povečavah od 50-krat do 200-krat.

Rezultati in razprava

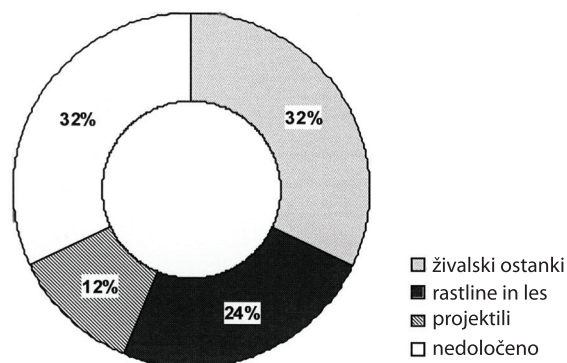
Sledi uporabe so bile opazne pri večini pregledanih kamenih orodij. Najpogostejše so bile uporabne retuše in brazde (slika 1A), na ne-



Slika 1: Pupićina peč. 1A – brazde na orodju iz obsidiana, ki so ga uporabili za rezanje, 40-kratna povečava; 1B – zgladitve na orodju, s katerim so obdelovali les, 100-kratna povečava.

katerih orodjih pa so se ohranile tudi zgladitve (slika 1B).

Sledovi na neolitskih kamenih orodjih kažejo, da so jih uporabljali za lov ter za obdelavo živalskih ostankov in lesa (slika 2). Ker med kostnimi ostanki v neolitskih horizontih prevladujejo domače živali, lahko sklepamo, da so bili



Slika 2: Pupičina peč – neolitski horizonti. Uporaba kamenih orodij, predstavljena z deleži. Pregledanih je bilo 25 orodij.

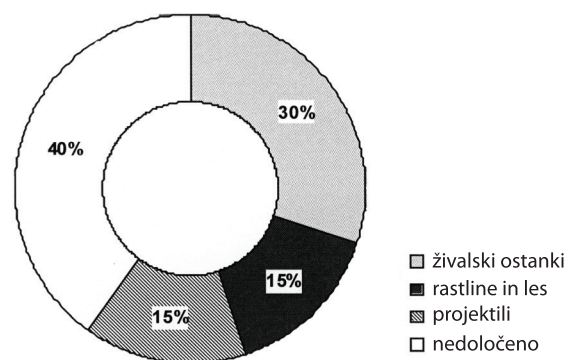
takratni obiskovalci jame živinorejci (Miracle, 1997, 46).

Med kamenimi orodji najlažje povežemo z živinorejo tista, s katerimi so obdelovali les. Iz sledi na orodjih, s katerimi so obdelovali živalske ostanke, namreč ne moremo ugotoviti, ali gre za ostanke divjih ali udomačenih živali. Kamenjena orodja so živinorejci verjetno uporabili za sekanje dreves in ustvarjanje manjših čistlin, na katerih so se pasle živali. Iz lesa bi lahko izdelovali tudičasne živalske ograde. Poselitev jame je bila sezonska, neolitski obiskovalci so vanjo zahajali spomladi (Miracle, 1997, 57), kar bi se lahko ujemalo s sezonskimi premiki pastirjev.

S kamenimi orodji so živali razkosavali, manj pa so se ukvarjali s predelavo njihovih ostankov, saj so za strganje kože uporabili le dve od pregledanih orodij, sledi obdelave kosti ali rogovja pa na kamenih orodjih sploh ni. Projektili med neolitskimi orodji so znak, da so v okolici jame lovili. Živalski ostanki in sledi uporabe na kamenih orodjih torej kažejo, da so se neolitski obiskovalci Pupičine peči ukvarjali s pašništvom in lovom, kulturnih rastlin pa v okolici jame verjetno niso gojili.

V mezolitiku lahko sledove obdelave na kamenih orodjih povežemo z lovom (slika 3). Na lov kažejo projektili, posredno pa tudi orodja, s ka-

terimi so obdelovali živalske ostanke. Potrjujejo ga tudi kostni ostanki jelena, divje svinje, srne, zajca in majhnih zveri, ki so jih našli v mezolitskih horizontih. Znaki urezov na kosteh kažejo, da so jedli tudi jazbece, katerih kožo so najbrž uporabili za oblačila. Prehrano so z velikih živali, ki so jih lovili konec paleolitika, razširili na manjše sesalce. Uživali pa so tudi morske školjke in kopenske polže, katerih lupinice se v velikih količinah pojavljajo v mezolitskih horizontih najdišča. Polži so sicer nizkokalorični in imajo le malo maščob ter ogljikovih hidratov, več pa je proteinov. Verjetno so jih nabirali jeseni, saj so spomladi potrebovali predvsem hrano z veliko maščobami. Tudi ostanki divjega prašiča kažejo, da so lovsko-nabiralske skupine obiskovale jamo jeseni (Miracle z referencami,



Slika 3: Pupičina peč – mezolitski horizonti. Uporaba kamenih orodij, predstavljena z deleži. Pregledanih je bilo 22 orodij.

1997, 48–58).

Sledi obdelave rastlin so le na treh kamenih orodjih. Z enim so obdelovali les, z dvema pa srednje trde rastline, najbrž grmičevje. Rastline so verjetno uporabljali za dejavnosti, ki niso bile neposredno povezane s prehrano. Iz grmičevja in lesa so lahko izdelovali pasti za lovljenje manjših živali, palice za različna opravila ali pa ročaje za projekte. Morda so iz rastlin pletli tudi košare.

Kamena orodja se v mezolitskih in neolitskih plasteh ne razlikujejo veliko (Miracle, 1997, 56, 57). Tudi njihova uporaba je bila vseskozi povezana z lovom. V neolitiku se lovu pridružuje pašništvo, kar na zbiri kamenih orodjih opazimo le posredno v razmahu orodij, s katerimi so obdelovali les.

Sledi uporabe na tipološko določljivih orodjih so pokazale, da jih ne moremo povezati s točno določenim načinom uporabe. Dve praskali iz neolitskih horizontov so uporabljali za strganje kože, medtem ko so s praskali v mezolitskih plasteh poleg kože obdelovali tudi les. Klini s hrbtom iz neolitskih horizontov so uporabili za dve različni dejavnosti, eno za rezanje mesa, drugo pa kot projektil, z retuširanimi klinami pa so obdelovali les in živalske ostanke. Kot projekte so uporabili tudi primerno oblikovane odbitke. V mezolitskih plasteh se je kot del večjega projektila ali kot projektil za lov na male sesalce uporabljal krožni segment.

Kot splošno uporabni so se izkazali odbitki in kline, verjetno zato, ker imajo oster rob, ki je primeren za številna opravila. Včasih so isto orodje uporabili na več načinov, kar opazimo na odbitku s prečno retušo iz mezolitskih plasti. Sprva so uporabljali stranske robove, ko pa se je odbitek prelomil, so retuširali in uporabljali prečni rob.

Delež nasajenih orodij je tako v neolitskih kot v mezolitskih horizontih relativno majhen, med orodji s sledmi uporabe jih je bila nasajena približno četrtna. Večinoma gre za konice projektov, ki jih drugače niso mogli uporabljati. Na nekaterih orodjih se je na površju ohranil nanos verjetno iz delčkov smole ali kakšnega drugega lepila, s katerim so orodje pritrdili.

Sklepi

Analize sledi uporabe na kamenih orodjih iz hrvaškega najdišča Pupičina peč smo naredili zato, da bi ugotovili, kakšne materiale so z njimi obdelovali in tako določili morebitne spremembe v gospodarstvu obiskovalcev te jame na prehodu iz mezolitika v neolitik. Orodja smo preiskali z optičnim mikroskopom pri povečavah od 50-krat do 200-krat.

Pokazalo se je, da so orodja uporabljali za različne dejavnosti, ki so v neolitiku podobne kot v mezolitiku. Na neolitskih orodjih se odraža nadaljevanje mezolitske tradicije lova in obdelave živalskih ostankov, vendar po sledeh uporabe na orodjih ne moremo ugotoviti, ali so bile živali, katerih ostanke so obdelovali, divje ali udomačene. Edina razlika med obdobjema

se pokaže pri obdelavi rastlin. V mezolitiku je te dejavnosti malo, v neolitiku pa število orodij, s katerimi so obdelovali rastline, naraste. Obdelovali so predvsem les, kar lahko najlažje povežemo s podiranjem dreves. Tako so ustvarili čistine, potrebne za pašništvo. Odsotnost poljedelstva poudarja vlogo Pupičine peči kot občasne postaje nomadskih pastirjev. Podobno vlogo je jama obdržala tudi v mlajših obdobjih, ko so jo uporabljali kot obor za živino (Miracle, 1997, 48). Preiskave sledi uporabe potrjujejo takšno namembnost jame v neolitiku in kažejo, da je bilo najdišče v obeh obravnavanih obdobjih tudi lovska postojanka.

Zahvala

Zahvaljujem se dr. Prestonu Miraclu za možnost dostopa do materiala iz najdišča Pupičina peč.

Viri

- Keeley, L. H. (1980): *Experimental Determination of Stone Tool Uses: A Microwear Analysis*. Chicago: The University of Chicago Press 1980; 320 str.
- Miracle, P. (1997): Early Holocene foragers in the karst of northern Istria. *Poročilo o raziskovanju paleolitika, neolitika in eneolitika v Sloveniji*, 24, str. 43–61.
- Petru, S. (1997): Metode preiskav sledov uporabe na kamenih orodjih iz najdišč Zakajeni spodmol in Mala Triglavca. *Poročilo o raziskovanju paleolitika, neolitika in eneolitika v Sloveniji*, 24, str. 79–97.
- Petru S. (2004): Preiskave sledi uporabe na kamennih orodjih. *Glasnik Slovenske matice*, 27/28, str. 126–128.

Lost in time? Repatriated animal remains from Anelli's excavations at Betalov spodmol (SW Slovenia)

Izgubljeni v času? Živalski ostanki z Anellijevih izkopavanj v Betalovem spodmolu pri Postojni

Borut Toškan^{1,*}, Janez Dirjec¹, Alma Bavdek²

¹Institute of Archaeology ZRC SAZU, Novi trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

²Notranjska Museum Postojna, Kolodvorska cesta 3, 6230 Postojna, Slovenia

*Corresponding author. E-mail: borut.toskan@zrc-sazu.si

Abstract

Betalov spodmol is one of the most important Upper Pleistocene archaeological and paleontological sites in Slovenia, yielding finds ranging from the Riss/Würm Interglacial to the Holocene. Unfortunately, most of the Late Upper Pleistocene/Early Holocene material has long been deemed unsuitable for scientific research, as the field documentation related to the removal of the uppermost two meters of the original deposits was lost. This paper presents the results of an attempt to contextualize the paleontological finds originating from these sediments, with the aim of providing a solid base for future research into the local Late Upper Pleistocene and Early Holocene fauna.

Key words: Betalov spodmol, Slovenia, Upper Pleistocene, Early Holocene, fossil fauna

Izvleček

Betalov spodmol je med najpomembnejšimi mlajšepleistocenskimi arheološkimi in paleontološkimi najdišči v Sloveniji z najdbami iz obdobja od zadnjega interglaciala do holocena. Žal je pretežni del gradiva iz poznega mlajšega pleistocena in starejšega holocena že desetletja razumljen kot neprimeren za znanstveno obdelavo, saj je bila terenska dokumentacija o izkopu zgornjih dveh metrov sedimenta izgubljena. Ta prispevek predstavlja rezultate poskusa kontekstualiziranja paleontoloških ostankov iz teh sedimentov z namenom oblikovanja trdne podlage za prihodnje raziskave lokalne favne iz časa mlajšega poznega pleistocena in starejšega holocena.

Ključne besede: Betalov spodmol, Slovenija, mlajši pleistocen, starejši holocen, fosilna favna

“Due to Anelli’s removal of the top 1.80 m of deposits in Betalov spodmol, only the archaeological and paleontological material of Early Upper Pleistocene age can be legitimately used for inter-site comparisons. Middle and Late Upper Pleistocene finds are but scanty remains of the original accumulation.”

V. Pohar, 1991 (p. 25)

Introduction

For decades, the research of animal remains from paleontological/archaeological sites in Slovenia has been focused on Early, Middle and Later Stone Age material. Most of the work has been carried out by a quartet of prominent researchers, composed of Ivan Rakovec, Katica Drobne, Ivan Turk and Vida Pohar (e.g. Rakovec 1959; 1961; 1967; Drobne 1964; 1973; 1975; Turk et al. 1992; Turk, Dirjec 1997; 2007; Pohar 1981; 1985; 1990). Apart from studying and publishing paleontological/archaeozoological material from individual sites, each of them was also engaged in broader systematic studies (e.g. Rakovec 1973, Drobne 1973; Turk 2014). Vida Pohar focused on the local Late Glacial and Early Holocene mammalian macrofauna (Pohar 1990; 1991; 1997), studying paleontological assemblages from more than a dozen Upper Pleistocene and Early Holocene sites, including the one from Betalov spodmol (Fig. 1). She later observed the mentioned site to be “[...] in its diversity such an important of local Palaeolithic stations, that would be suitable for being used as the referential point for studies of all other contemporaneous sites in the region” (Pohar 1991, 25).



Figure 1: *Betalov spodmol.*

(Photo: Archives Notranjska Museum Postojna)

The first to excavate at Betalov spodmol was Franco Anelli between 1932 and 1939. He removed the top 1.8 m to 2.0 m of the original deposits but had mostly failed to publish his results (for the only exception, see Anelli 1933). Moreover, during WWII, the material he yielded has been moved abroad and was thus not available to later researchers working on the site. In the post-war years, systematic excavations at Betalov spodmol were resumed, this time under the leadership of Srečko Brodar. This second campaign lasted from 1947 to 1953 but was only comprehensively published at the beginning of the 1990s (Osole 1990; 1991). The results of fauna studies, in contrast, were first presented a few years after the conclusion of the excavations (Rakovec 1952; 1959).

In his publications of the fauna from Brodar’s excavations, Rakovec put great emphasis on assessing the paleo-environment of the area (e.g. Rakovec 1959, 323–330). Unfortunately, he did not have access to the material excavated by Anelli, so he was only able to analyse a minor part of the material from Gravettian, Tardigravettian and Epigravettian contexts. Decades later, while working on her study of Late Glacial mammalian macrofauna from Slovenia, the topic was picked up by Pohar (1991; 1997). She added several taxa to the existing fauna list of Betalov spodmol by analysing some of the previously neglected finds from Brodar’s excavations (Pohar 1991, 27–29). She might have also attempted to further improve the resolution of the obtained results by analysing the then already repatriated Anelli’s material. Nevertheless, due to the field documentation having been lost, she evidently deemed the task to rightfully include these finds in her paleo-environmental analysis to be very difficult if not impossible to perform. Consequently, in order to avoid the corruption of the results by considering chronologically non-representative material, the repatriated animal remains were completely ignored.

Now, a good two decades later, the option to study the faunal remains from Anelli’s excavation has been considered once again. Nevertheless, as we share Pohar’s view of the near uselessness of the material from unknown chronological/cultural contexts, we focused on the attempt to (at least broadly) contextualize

these finds. If successful, our results might provide a substantial opportunity to obtain deeper insights in many aspects of local Late Upper Pleistocene fauna.

Description of the site

Betalov spodmol is a karst cave, lying on the south-eastern edge of the Lower Pivka valley near the town of Postojna (SW Slovenia; for a more detailed description of the site, see Osole 1990). It was registered and documented, to a length of 174 m, soon after the establishment of the Italian Speleological Institute (Istituto Italiano di Speleologia) in Postojna in 1929. The cave has been included in the cave cadastre under the name of 'The cave to the southwest of the church of S. Andrew at Veliki Otok' (Jama severozahodno od cerkvice sv. Andreja pri Velikem Otoku; cadastre number: VG. Št. 1611¹).

¹Later, the cave's cadastre number was changed to JZS 473.



Figure 2: Anelli's excavations at Betalov spodmol. (Photo: Archives Notranjska Museum Postojna)

In 1932, the then curator/assistant at the Institute, Franco Anelli, initiated systematic excavations at the site (Fig. 2) and presented the results of the first field season at the 1st Italian Speleological Congress in Trieste (Anelli 1933). The excavations continued until 1939, with up to two-metre deep trenches having been excavated both in the cave and in front of it (Fig. 3). Anelli found a considerable number of mostly Late Upper Palaeolithic artefacts and a rich assemblage of fauna remains, yet failed to publish his observations. In 1943, he arranged for the material and the field documentation to be moved to Recoaro Terme (Italy). It was only in the 1960s that part of the transferred material was repatriated to Slovenia. Unfortunately, the field documentation (drawings, plans, excavation diaries) were lost and thus not sent along with the material itself. As a consequence, the contextualization of the repatriated artefacts and animal remains has been mostly seen as too problematic for them to be intensively studied. The scientific potential of this material, however, remains high.

Methods

The analysed material represents only part of the remains excavated by Anelli in the 1930s, namely the part repatriated in 1961. All the available mammal remains were taxonomically and anatomically identified as precisely as possible, while avian and amphibian finds were only ascribed to the appropriate order (i.e. Aves and Amphibia). In identifying the teeth and

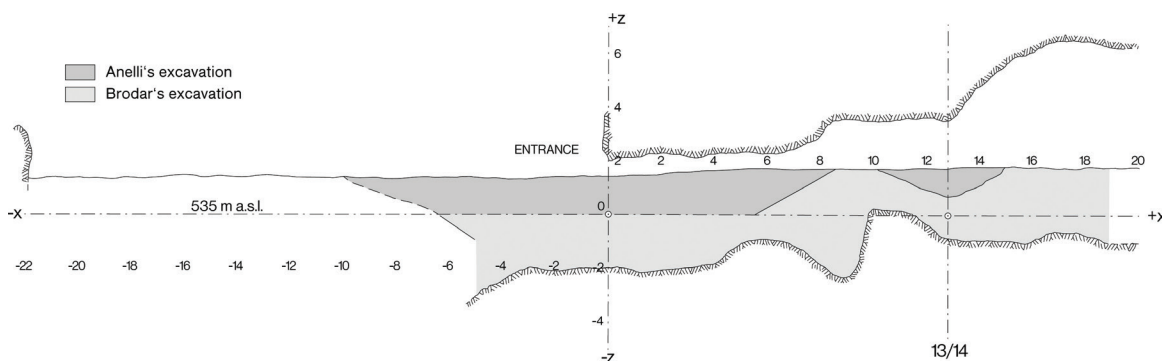


Figure 3: Longitudinal section of Betalov spodmol. The deposits removed by F. Anelli (1932–1939) and S. Brodar (1947–1953) are marked. Taken from Osole 1990 (App. 6).

bones, we were assisted by fossil and recent comparative material from Slovenia (collections of the Institute of Archaeology ZRC SAZU and the Department of Palaeontology NTF, University of Ljubljana). In terms of systematic classification, we mostly followed the system given by Guérin, Patou-Mathis (1996).

Quantitative comparisons among taxa are based on the *Number of Identified Specimens* (NISP; Grayson 1984). Measurements were taken according to von den Driesch (1976). Allochronous faunas were compared by *Multidimensional scaling* on rectangular symmetric matrix of Euclidean distances (StatSoft Inc. 2001). Based on their abundance, individual taxa were arbitrary grouped into five classes: class 0 (taxon absent), class 1 (NISP < 5 % of total NISP), class 2 (NISP = 6 % to 20 % of total NISP), class 3 (NISP = 21 % to 50 % of total NISP) and class 4 (NISP > 50 % of total NISP). Statistical analyses were performed using the program package STATISTICA for Windows, version 6.0 (StatSoft Inc. 2001).

The animal remains from Betalov spodmol presented here are stored at Notranjska Museum in Postojna (*Notranjski muzej Postojna*).

Results and discussion

Taxonomy

The analysed archaeozoological assemblage includes a total of 2 469 animal remains, mostly belonging to mammals ($N = 2\,452$). Of these, 386 (= 15.7 %) were taxonomically identified at least to the level of genus. They were ascribed to 21 species from 11 families. The majority of them still inhabit Slovenia today, although some only because of reintroduction after previous local extinction (e.g. *Marmota marmota*). Of the total of four species no longer present in Slovenia, a single one became extinct in the Late Upper Pleistocene (*Ursus spelaeus*). The remaining three either became extinct during Holocene (*Bos primigenius*) or simply withdrew elsewhere (*Rangifer tarandus*, *Alces*

Table 1: Animal remains in the paleontological assemblage from Anelli's excavations at Betalov spodmol per taxa and skeletal element

Taxon	Cranium	Maxilla	Mandibula	Dentes	Vertebrae	Scapula	Clavicula	Humerus	Radius & ulna	Metacarpalia	Carpalia	Pelvis	Femur	Tibia & fibula	Metatarsalia	Tarsalia	Ossa sesamoidea	Phalanges	TOTAL
<i>Apodemus sp.</i>			1																1
<i>Talpa sp.</i>								1											1
<i>M. marmota</i>			6	17			1	1	3				1						29
<i>L. europaeus</i>															1				1
<i>Lepus sp.</i>				1															1
<i>U. spelaeus</i>	7	3	11	53	5			2	4	6	4		1	4	6	7	4	14	131
<i>U. arctos</i>														1					1
<i>V. vulpes</i>								1		1									2
<i>M. martes</i>			1																1
<i>M. foina</i>			1																1
<i>Martes sp.</i>								1											1
<i>M. meles</i>			3	2					2			1				1			9
<i>F. silvestris</i>									1				1						2
<i>Sus sp.</i>	4	19	18	65	2	2		4	4	7		1	1	7	8	11	2		158
<i>C. elaphus</i>	2				1	1				2	3			1	1	1		2	14
<i>C. capreolus</i>								3	1	2					4		1	1	12
<i>A. alces</i>			1	2											1				4
<i>R. tarandus</i>																2			2
<i>R. rupicapra</i>		1	1					1	2										5
<i>B. primigenius</i>																		2	2
<i>Bos sp.</i>				1															1
<i>Bos s. Bison</i>	1			3				1											5
<i>Ovis s. Capra</i>				1															1
<i>E. caballus</i>																1			1

alces). A complete list of repatriated mammal remains from Anelli's excavations per skeletal element is given in Tab. 1. It is noteworthy that most of the taxa were also recorded in the material excavated by Brodar, with exceptions including *Bos primigenius*, *Sus domesticus*, *Equus caballus*, *Felis silvestris*, *Martes foina*, *Ursus arctos* and *Lepus europaeus* (Rakovec 1959; Pohar 1991, Tab. 2).

Of the non-mammal taxa, 16 remains were ascribed to birds (Aves) and one to amphibians (Amphibia).

Order: Eulipotyphla

Family: Talpidae

Talpa europaea/caeca

The genus *Talpa* is represented by a single humerus, found at a depth of 0.55 m to 1.00 m. Currently, the only mole species to be present in Slovenia is European mole (*Talpa europaea* Linnaeus, 1758), which is also known from a couple of local Upper Pleistocene sites (e.g. Rabeder *et al.* 2004a; Toškan, Kryštufek 2007, 211). However, since the European mole cannot be always reliably distinguished from blind mole (*Talpa caeca* Savii, 1822) in paleontological material, the presence of the latter species in south-eastern Alps during the Upper Pleistocene (Pohar 1985) and/or Early Holocene (e.g. Toškan, Kryštufek 2004) cannot to be ruled out entirely. The humerus from Betalov spodmol could thus belong to either of the two aforementioned mole species.

Order: Rodentia

Family: Muridae

Apodemus sp.

The genus *Apodemus* is represented by a single fragmented mandible. According to published data (e.g. Toškan, Kryštufek 2007), at a minimum the yellow-necked mouse (*Apodemus flavicollis*) and the wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) inhabited Slovenia in the Upper Pleistocene, with the pygmy field mouse (*Apodemus uralensis*) and the striped field mouse (*Apodemus agrarius*) joining them no later than the beginning of the Holocene (Toškan, Kryštufek 2004; Toškan 2009). In view of the considerable size and shape variation in recent popula-

tions of these species, the aforementioned field mouse mandible did not allow for the identification beyond genus level.

Family: Sciuridae

Marmota marmota (Linnaeus, 1758)

The alpine marmot is the third most represented species in the studied assemblage, after the wild boar and the cave bear (Tab. 1). Its remains were concentrated in the lower part of the stratigraphic sequence (Tab. 4), which is in line with the fact that the species has not been recorded in any of the Early Holocene sites in the area (Pohar 1990; Toškan, Dirjec 2004). In Upper Pleistocene contexts, in contrast, marmot remains are frequently highly numerous (e.g. Rakovec 1973, Tab. 2).

Order: Lagomorpha

Family: Leporidae

Lepus europaeus (Pallas, 1778)

The European hare is represented by a fragmented 4th metatarsal. The species is very rare in Upper Pleistocene contexts from Slovenia (see e.g. Rabeder *et al.* 2004a, 48), with most fossil hare remains belonging to the montane hare (*Lepus timidus* Linnaeus, 1758). Of the local Early Holocene sites, the European hare is known from Mala Triglavca (Pohar 1990, Tab. 1). Brodar's excavations in Betalov spodmol only yielded remains of the montane hare (Rakovec 1959, 294–296).

Lepus europaeus/timidus

In addition to the aforementioned European hare metacarpal, the genus *Lepus* is also represented in the studied assemblage by a fragmented incise. Unfortunately, the latter find did not allow for the identification to the species level, either by considering its size or morphology. It is worth noting, however, that the incise was found in the uppermost 40 cm of the sediment and is thus most probably of Holocene age. Since the area of distribution of the recent montane hare is mostly covered by tundra and taiga (Lequatre 1994), while the European hare prefers arable land, meadows and pastures (Kryštufek 1991, 118), the incise is almost certainly to be ascribed to the latter.

Order: Carnivora
Family: Ursidae

Ursus spelaeus (Rosenmüller, 1794)

The cave bear is represented in the studied assemblage by 131 remains, half of them being cranial skeletal elements (Tab. 1). Not surprisingly, the remains were concentrated in the lower half of the stratigraphic sequence, which was supposedly deposited in the Upper Pleistocene (see e.g. Osole 1990, App. 13). According to Pohar (1997, 152–153), cave bear finds from Epigravettian layers 5–7 of Betalov spodmol are to be seen as evidence of its prolonged existence traced down to the Late Glacial in this region. Although the idea of the extinction of the cave bear coinciding with the end of the Pleistocene has been shared by other authors (e.g. Martin, Steadman 1999; Barnosky et al. 2004), extensive radiocarbon dating now suggests that the global extinction happened much earlier, around 24,000 14C years before present (BP; 27 800 [cal.] BP; Stiller et al. 2014, 225). It thus seems very probable that either the cave bear remains from layers 5–7 of Betalov spodmol lay in a secondary context (cf. Rakovec 1959, 308), or that the dating of the mentioned layers to Epigravettian is not entirely correct (cf. Brodar 2009, 464–466).

In recent years, at least six different Upper Pleistocene cave bear morphotypes have been identified, but their taxonomic status is controversial. It has been argued that they may represent different species (e.g. Hofreiter et al. 2004), but also that they are not sufficiently distinct to warrant subspecies status (Baryshnikov, Puzachenko 2011). In line with this, the cave bear remains from Anelli's excavations at Betalov spodmol could be seen as belonging to either *Ursus spelaeus* or *Ursus ingressus* (see e.g. Rabeder et al. 2004b).

Ursus arctos (Linnaeus, 1758)

A damaged tibia is the only bear find to be ascribed to the brown bear. The identification of the bone is based on its gracility, with the smallest breadth of the diaphysis measuring a mere 21.5 mm. It was found at a depth of 1.70–2.00 m, which is indicative of it being of the Pleistocene age.

Fossil finds of the brown bear normally occur together with finds of cave bear although usually in much smaller numbers. In Betalov spodmol, no other brown bear finds have been recorded (Rakovec 1959; Pohar 1991, Tab. 2).

Family: Canidae

Vulpes vulpes (Linnaeus, 1758)

The red fox is represented in the studied assemblage by a fragmented humerus and a complete 3rd metacarpal. The species has been also identified in the material from Brodar's excavations (Rakovec 1959, 302–303), with three finds originating from the uppermost Pleistocene layers 5–9 (approx. depth 0.70–2.00 m; Osole 1990, 36; Pohar 1991, Tab. 2). The same is most probably true for the aforementioned 3rd metacarpal, which has been found at the depth of 0.80–1.00 m.

Family: Mustelidae

Martes martes/foina

A fragmented mustelid humerus has been ascribed to genus *Martes*, with no further identification to the level of species. Taxonomically relevant morphological differences between pine marten (*Martes martes* [Linnaeus, 1758]) and beech marten (*Martes foina* [Erxleben, 1777]) are rather limited. Because of this, and the considerable variability occurring in the size of the two species, accurate identification of fossil remains of the genus *Martes* is in general somewhat difficult (Castaños 1987).

Martes martes (Linnaeus, 1758)

The pine marten is represented in the studied assemblage by a fragmented mandible. The identification is based on the distance between the two mental foramina exceeding 4 mm and on the first lower molar lacking a definite notch in its middle (Kryštufek 1991, 215–216). The bone was found at a depth of 0.90–1.10 m, which is indicative of it being of Upper Pleistocene age.

Pine marten remains are known from a number of fossil assemblages from Slovenia (Rakovec 1973, Tab. 1), including the one yielded by Brodar's excavations at Betalov spodmol (Rakovec 1959, 308)

Martes foina (Erxleben, 1777)

The only other mustelid mandible in the studied assemblage has been ascribed to the beech marten, as the distance between the mental foramina falls below 3 mm (Kryštufek 1991, 215–216). According to Crégut-Bonnoure (1996) and Wolsan (1993), this species only appeared in Europe in the Holocene. In Slovenia, the only beech marten find to be reported from a Pleistocene site is the one from Potočka zijalka in the Savinja Alps, but its stratigraphic context is seen as problematic (Döppes 2004).

Meles meles (Linnaeus, 1758)

The badger is represented in the studied assemblage by nine remains (Tab. 1). They were apparently mostly found in the uppermost meter of the deposits, indicating that at least some of them might be of Holocene age. The presence of the badger at Betalov spodmol had been observed already by Anelli (1933, 232, 234), who happened upon its remains in the top 30 cm of deposits in two out of three trenches he excavated in 1932. In the archaeozoological material yielded by Brodar's excavations, the only recorded badger remain has been found at a depth of 55 cm (Rakovec 1959, 309).

The described stratigraphic position of (the bulk of) badger remains at Betalov spodmol is perfectly in line with the species having been recorded in most of the Early Holocene sites in Slovenia (Pohar 1990; Toškan, Dirjec 2004, Tab. 16.7; Toškan, Dirjec 2006a, 166). Its representation in Pleistocene contexts within the same area, however, is rather negligible (Rakovec 1973, Tab. 1; Pohar 1997, Tab. 1).

Family: Felidae

Felis silvestris (Schreber, 1777)

A fragmented proximal end of an ulna and a diaphysis of a femur were ascribed to the wild cat. Both finds lay at a depth of 0.40–0.70 m. The proximal epiphysis of the ulna was not yet fused, indicating that the bone belonged to an up to a year-old individual (Smith 1969, 525). The aforementioned finds are the only known records of the wild cat from Betalov spodmol, as neither Rakovec (1959) nor Pohar (1994, tab. 2) included it on their fauna lists. The only feline mentioned by Anelli (1933, 235) is

a no better specified large cave felid from his trench 3, later ascribed by Wolf to the cave lion (*Panthera spelaea*; cf. Rakovec 1959, 323).

Order: Artiodactyla

Family: Suidae

Sus scrofa/domesticus

The genus *Sus* is the best represented of all mammal taxa in the assemblage, with its share falling just short of 40 % (Tab. 1). Unfortunately, it is often impossible to reliably distinguish between wild boar (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758) and domestic pig (*Sus domesticus* Erxleben, 1777) on the basis of the size and shape of individual (often fragmented) bones and teeth. Consequently, of the 158 suid remains in the assemblage studied here, only 11 allowed for the identification to the level of species. With regard to their size, eight specimens were ascribed to the wild boar and three to the domestic pig (Tab. 2).

Almost half ($N = 77$) of the pig/wild boar remains from Anelli's assemblage were found in the uppermost 70 cm of the sediment, which was supposedly mostly deposited during Holocene (i.e. layers 1–4). Contrary to the expectations, however, two of the only three bones ascribed to domestic pig have been reportedly found below that depth (i.e. humerus: 1.10–1.55 m; astragalus: 0.70–1.20 m). Since the first domestic pigs appeared in Slovenia only in the middle of Holocene, the aforementioned two bones must have been found in secondary context.

Family: Cervidae

Cervus elaphus (Linnaeus, 1758)

The red deer is represented in the assemblage by 14 remains. With the exception of an antler fragment and part of a scapula, only skeletal elements of the less meaty parts of the body (i.e. feet) were found. The species has also been recorded in the paleontological material yielded by Brodar's excavations, but in relatively small numbers (Rakovec 1959, 318).

Capreolus capreolus (Linnaeus, 1758)

The number of roe deer remains in the studied assemblage is similar to that of the red deer

($N = 12$). A gnawed distal humerus is noteworthy, supposedly found at a depth of 1.20–1.60 m. Three out of a total of five bones with preserved metaphyseal parts were characterized by unfused epiphyses, indicating a high share of juveniles.

Alces alces (Linnaeus, 1758)

A fragmented mandible, two isolated lower premolars (P_3 and P_4) and possibly part of a metatarsal were ascribed to the moose. In Slovenia, the species is known from both Pleistocene and Holocene contexts, with the oldest record originating from the end of the Mindel-Riss Interglacial (Brodar 1970) and the youngest from the Roman period (Jamnik 2004, 293).

Rangifer tarandus (Linnaeus, 1758)

The reindeer is represented in the assemblage by two distal metatarsals, with the breadth of their distal ends measuring 42.5 mm and 43.0 mm. They were found at a depth of 0.70–1.20 m, which is in line with the species having gone locally extinct at the end of Pleistocene. In Slovenia, the most numerous finds of reindeer are known from contexts dated to the Late Glacial Maximum (= Pleniglacial II or Würm III; Pohar 1991, 14). Later, its importance decreased due to the dramatic climatic/palaeoenvironmental changes that took place in Late Glacial (Pohar 1997, Fig. 4).

Family: Bovidae

Rupicapra rupicapra (Linnaeus, 1758)

Five remains were ascribed to the chamois, two of them only tentatively. The only other record from Betalov spodmol is reported by Pohar 1991 (Tab. 2) for layer 8 (= Würm II). Represented in several Upper Pleistocene sites in the region (Rakovec 1973, Tab. 1; Pohar 1997, Tab. 1.; Toškan 2007, 259), the chamois is almost absent from archaeozoological records of the Holocene Southeastern Alps. Nevertheless, such a situation is at least partially attributable to difficulties in reliably differentiating between chamois and the then already ubiquitous sheep and goat (*cf.* Pucher, Engl 1997, 38–67).

Ovis aries / *Capra hircus*

An isolated upper molar is ascribable to either the sheep or the goat. It is (together with the already mentioned domestic pig remains and the horse calcaneus; see below) the only find in the assemblage to be clearly evident of Holocene Age. In central Slovenia, the earliest records of ovicaprids are known from the middle of the 5th millennium (Toškan, Dirjec 2006b), while on the Kras plateau they were present at least a millennium earlier (Budja *et al.* 2013, 102–103).

Bos primigenius Bojanus, 1827

The aurochs is represented in the assemblage with a first and a second phalange. The possibility of them belonging to steppe bison (*Bison priscus*) was ruled out on the basis of their morphological traits (Sala 1986, 161), while

Table 2: *Suid remains in the paleontological assemblage from Anellis's excavation at Betalov spodmol, which allowed for the identification to species level*

Sk. element	Measurement	Observed value	Species
Humerus	Smallest breadth of diaphysis	13.0 mm	<i>Sus domesticus</i>
	Smallest breadth of diaphysis	21.0 mm	<i>Sus cf. scrofa</i>
	Breadth of trochlea	40.0 mm	<i>Sus scrofa</i>
1 st lower molar	Greatest breadth	14.5 mm	<i>Sus scrofa</i>
Ulna	Depth across processus anconeus	28.5 mm	<i>Sus domesticus</i>
Metacarpus 2	Breadth of proximal end	5.5 mm	<i>Sus scrofa</i>
Metacarpus 3	Breadth of proximal end	22.0 mm	<i>Sus scrofa</i>
Metacarpus 5	Breadth of proximal end	7.5 mm	<i>Sus scrofa</i>
Tibia	Breadth of distal end	37.5 mm	<i>Sus cf. scrofa</i>
Metatarsus 4	Breadth of proximal end	17.5 mm	<i>Sus scrofa</i>
Astragalus	Greatest length on lateral size	44.0 mm	<i>Sus domesticus</i>

their large size (Tab. 3) proved decisive in declining the option of domestic cattle (*Bos taurus*). On the second phalange, found at a depth of 0.55–1.00 m, cut marks were observed. The first phalange lay at a depth of 1.55–2.00 m.

The aurochs remains presented here are the only known records of this species from Betalov spodmol, as Rakovec (1959, 322) failed to identify bovid teeth and bones to the level of species (see also Pohar 1991, Tab.2).

Bos taurus/primigenius

An isolated third lower molar has been ascribed to the genus *Bos*, with the identification to species level having been deemed as impossible. The chance of the tooth belonging to steppe bison has been ruled out on the basis of its morphology (Boessneck *et al.* 1963, 165).

Bos primigenius / Bison priscus

Four bovid remains have proven impossible to be reliably identified even to the level of genus, although the possibility of them belonging to domestic cattle has been rejected on the basis of their large size.

Order: Perissodactyla

Family: Equidae

Equus caballus (Linnaeus, 1758)

The horse is represented in the assemblage with a single find: a calcaneus. It lay at a depth of 0.25–0.5 m. The domestication of the horse is believed to have occurred in the middle of the 4th millennium BC (Outram *et al.* 2009), while its oldest known remains from Slovenia are several centuries younger (own unpublished data).

Contextualization of the finds

With the field documentation of Anelli's excavations at Betalov spodmol having been lost, the only contextual information still available is represented by written references to the supposed depth at which teeth and bones from individual storage boxes/bags have been found. Such references are included in 29 out of a total of 46 repatriated items. In an attempt to counter the lack of data regarding the cultural and chronological contexts of the finds, we thus decided to take a closer look at the material from the aforementioned 29 boxes/bags. It became soon apparent that substantial differences in both species composition and species representation exist between individual sub-assemblages originating from different stratigraphic contexts (Tab. 4).

Supposing a linear deposition of the sediments, the observed differences in the composition of the sub-assemblages has been interpreted as a reflection of the differences between allochronous local fauna. The most pronounced temporal trends are seen in the cave bear, alpine marmot and wild boar. The cave bear, having gone extinct at the onset of the last glacial maximum, was almost not recorded except at the lowermost depths (sub-assemblages 3 and 4). The concentration of marmot finds in sub-assemblages 4 and 5 and those of the wild boar in sub-assemblage 1, in contrast, are to be seen as a reflection of significant palaeo-environmental changes that took place during the last 30 000 years. Specifically, the alpine marmot is known to prefer alpine meadows and open pastures of the zone 400–600 m above local timber line (Preleuthner 1999, 188), while wild boar is primarily an inhabitant of the temperate broadleaved or tropical monsoon forests (Spitz 1999, 380). Such forests are associable with warmer (Holocene) climate, so a greater share of wild boar remains in the uppermost strata, and vice-versa for the marmot, is actually not at all

Table 3: The size of the remains of *Bos primigenius* from the paleontological material yielded by Anelli's excavation at Betalov spodmol. All measurements are in mm

Measurement	Phalanx 1	Phalanx 2
Greatest length	56.5	55.0
Breadth of proximal end	39.5	48.0
Breadth of distal end	34.5	39.5

surprising. Similarly, the reindeer has been recorded as expected in sub-assemblages 4 and 5, while the more thermophilic roe deer and badger are best represented in sub-assemblages 1 and 3.

Encouraged by these preliminary results, we attempted to obtain further insights into the Late Upper Pleistocene/Early Holocene fauna at Betalov spodmol by including into the analysis additional contextual data in addition to the depth of the finds. We thus studied the sections of Brodar's excavations (*cf.* Osole 1990) in order to obtain a better knowledge of the depth data for selected stratigraphic horizons and layers. In spite of what was stated by Rakovec (1959, 335), no significant longitudinal inclination of the layers for within the cave area has been observed, at least as far as the uppermost two metres of the original sediment is concerned. It is true that most of these deposits have been already removed by Anelli, allowing Brodar to excavate only a very small

part of them. Consequently, the amount of data on the stratigraphy of the uppermost layers discernible from Brodar's documentation is rather poor. Nevertheless, by comparing cross sections at $x = -4$ m, $+4$ m, $+10$ m and $+20$ m (*cf.* Osole 1990), we still found it possible to tentatively associate the above mentioned sub-assemblage 1 with Brodar's layers 1–4 (*i.e.* Holocene), sub-assemblage 2 with layers 1–7 (Epigravettian, Holocene), sub-assemblage 3 with layers 5–9 (Gravettian, Tardigravettian, Epigravettian), sub-assemblage 4 with layers 5–7 (Epigravettian) and sub-assemblage 5 with layers 8–9 (Gravettian, Tardigravettian) (Osole, 1991).

Of course, such an interpretation has many weaknesses. First, there are no doubts that the material included in individual sub-assemblage is in reality not as chronologically homogeneous as over-simplistically indicated by the above labels. Additionally, Brodar's sections are only indicative of the stratigraphy within the cave

Table 4: Animal remains in the paleontological assemblage from Anelli's excavations at Betalov spodmol by taxa and stratigraphic context. The depth of origin of individual sub-assemblages/stratigraphic contexts is given in parentheses. Identification of sub-assemblages (see text for explanation): sub-assemblage 1 – tentatively associated with layers 1–4 (*sensu* Osole 1991; *i.e.* Holocene); 2 – tentatively associated with layers 1–7 (*sensu* Osole 1991; *i.e.* Epigravettian, Holocene); 3 – tentatively associated with layers 5–9 (*sensu* Osole 1991; *i.e.* Gravettian, Tardigravettian, Epigravettian); 4 – tentatively associated with layers 5–7 (*sensu* Osole 1991; *i.e.* Epigravettian); 5 – tentatively associated with layers 8–9 (*sensu* Osole 1991; *i.e.* Gravettian, Tardigravettian)

Taxon	Subassembl. 1 (0.00–0.70 m)	Subassembl. 2 (0.00–1.00 m)	Subassembl. 3 (0.70–2.00 m)	Subassembl. 4 (0.70–1.00 m)	Subassembl. 5 (1.00–2.00 m)
<i>Talpa sp.</i>	-	1	-	-	-
<i>M. marmota</i>	-	6	-	2	6
<i>Lepus sp.</i>	1	-	-	-	-
<i>U. spelaeus</i>	-	2	3	-	69
<i>U. arctos</i>	-	-	-	-	1
<i>V. vulpes</i>	-	-	1	-	-
<i>M. martes</i>	-	-	1	-	-
<i>Martes sp.</i>	-	-	1	-	-
<i>M. meles</i>	3	-	4	1	-
<i>F. silvestris</i>	2	-	-	-	-
<i>Sus sp.</i>	80	1	6	10	4
<i>C. elaphus</i>	2	-	-	1	2
<i>C. capreolus</i>	4	-	3	-	1
<i>A. alces</i>	1	-	-	-	-
<i>R. tarandus</i>	-	-	-	1	1
<i>R. rupicapra</i>	1	-	1	-	-
<i>B. primigenius</i>	-	1	-	-	1
<i>Bos s. Bison</i>	-	-	-	-	1
<i>E. caballus</i>	1	-	-	-	-
<i>Aves</i>	1	1	5	1	2

itself and in the proximity of its entrance. Anelli's excavations, however, are known to have extended up to ten meters in front of the cave (Fig. 3), where significant changes in stratigraphy might have occurred. If, however, the contextualization of the finds within individual sub-assemblages is at least roughly correct, then one would expect their fauna composition to match the composition of contemporaneous paleontological accumulations from other sites in the region. Our next step was thus to compare the two largest and thus supposedly most representative sub-assemblages from Betalov spodmol (i.e. sub-assemblages 1 and 5) with three Interpleniglacial, two Pleniglacial II, two Late Glacial and three Early Holocene assemblages from Slovenia by applying the Multidimensional scaling procedure on a rectangular symmetric matrix of Euclidean distances between the analysed sites.

The results (Fig. 4) are entirely supporting the proposed chronological framework, as sub-assemblage 1 indeed clusters with Early Holocene accumulations (Mala triglavca, Viktorjev spodmol, Breg) and sub-assemblage 5 with those from Interpleniglacial/Early Pleniglacial II contexts (Divje babe I: layers 2–5; Parska golobina: layer 3; Betalov spodmol: layers 8–9 [Brodar's excavations]). The latter group is characterized by the great prevalence of cave bear remains, while in Early Holocene assemblages the leading role goes to thermophilic forest-dwelling species (e.g. red deer, wild boar, badger). Unfortunately, the proposed chronological associations for the remaining three sub-assemblages (i.e. sub-assemblages 2–4) could not be tested with the application of the multidimensional scaling procedure, as they include too few finds for them to be representative. Nevertheless, the species composition of these sub-assemblages seems to be generally consistent

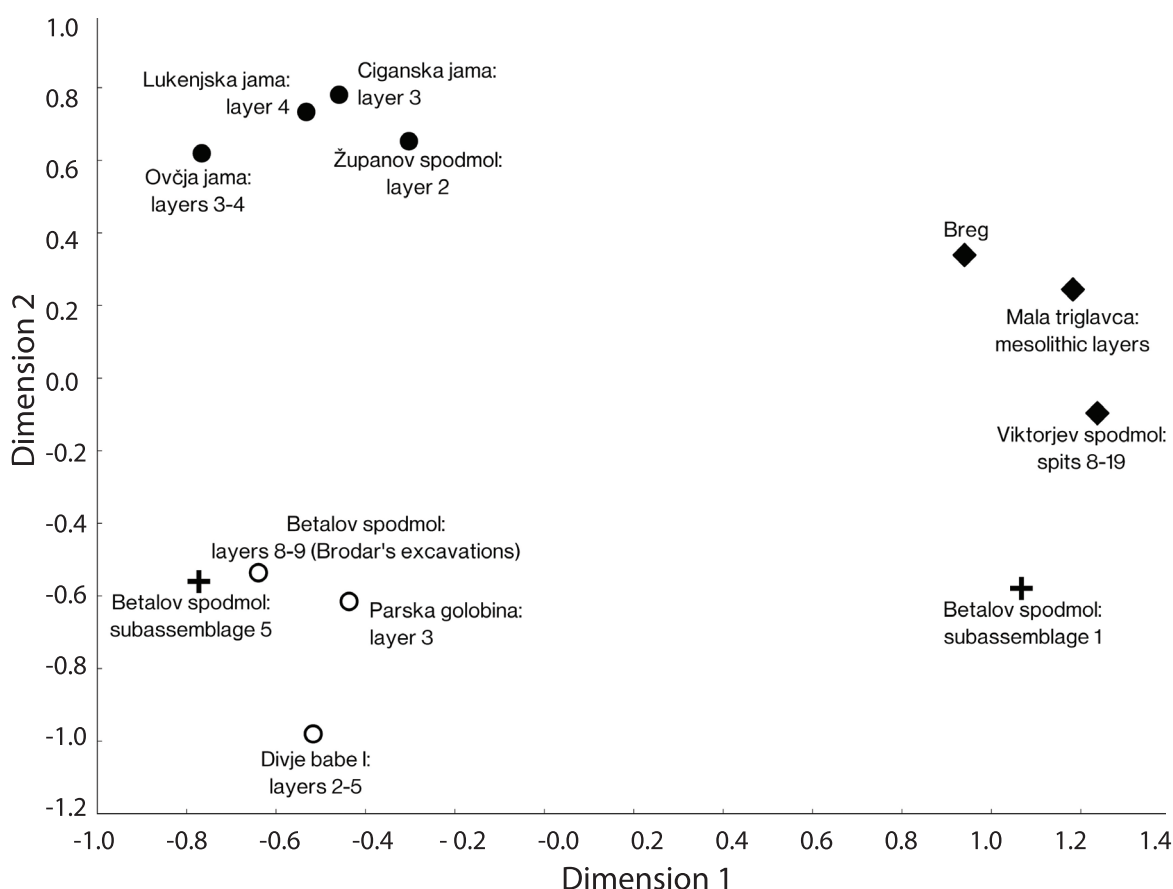


Figure 4: Final distribution of matrix derived from multidimensional scaling of Euclidean distances among Interpleniglacial/ Pleniglacial II (dots), Late Glacial (open circles) and Early Holocene (diamonds) mammal assemblages from Slovenia (stress = 0.101). Data taken from Pohar (1991) and Toškan, Dirjec (2004).

with the proposed datings. Examples include the presence of cave bear and chamois remains in sub-assembly 3, which is thought to include both Interpleniglacial/Pleniglacial II and Late Glacial material (i.e. layers 5–9 *sensu* Osole 1991), and the presence of the alpine marmot with the concomitant absence of cave bear in sub-assembly 4, tentatively associated with Brodar's Late Glacial (Epigravettian) layers 5–7. The only sub-assembly to show some controversy is sub-assembly 2. It includes the material from the top meter of deposits excavated by Anelli, and has thus been tentatively associated with Brodar's Holocene layers 1–4, as well as Late Glacial (Epigravettian) layers 5–7. Due to the sub-assembly containing finds from the uppermost part of the stratigraphic succession, the inclusion of animal remains of Holocene age is not questionable. The presence of Late Glacial material can be less straightforwardly proven, even though the record of several marmot teeth and bones does seem to corroborate such a thesis (*cf.* Pohar 1991, 23). The presence of two cave bear remains (Tab. 4), in contrast, is contradictory as the species is believed to have gone extinct several thousand years before the onset of the Late Glacial. This might be indicative of sub-assembly 2 containing (also) Middle Upper Pleistocene material. An alternative option has been proposed by Brodar (2009, 464–466), who argues Osole's association of layers 5–7 to Epigravettian to be incorrect. In his view, these layers are to be dated to an earlier time, which would be in line with the presence of cave bear. Finally, the possibility of the cave bear finds having been found in a secondary context is also to be kept in mind (*cf.* Rakovec 1959, 308).

Conclusions

Betalov spodmol is one of Slovenia's most important Palaeolithic sites. Consequently, not having the chance to study the material excavated there by Anelli in the 1930s severely affected the attempts to obtain deeper insights into the continuity of occupation of the site into the Gravettian era (e.g. Osole 1991, 8, 21; Brodar 2009, 465). Similarly, palaeontologists were not able to properly address the Middle

and Late Upper Pleistocene faunas, as the number of available remains was too small to be truly representative (e.g. Pohar 1991, 25). It is thus understandable that any new find from the uppermost layers of Betalov spodmol would have been greeted as "very much welcoming" (Brodar 2009, 465). Unfortunately, due to the lack of filed documentation, the repatriated material from Anelli's excavations has been long seen as lost in time and thus unsuitable for scientific research.

Our results show that such a point of view is too conservative. It is true that with the field documentation missing, the contextualization of the finds is very difficult. Nevertheless, the existing references to the depth of origin of individual teeth and bones did allow for a tentative association of the paleontological material to cultural complexes. The appropriateness of such associations was tested by comparing both the species composition and representation within individual fauna sub-assemblies from Anelli's excavations at Betalov spodmol to analogous data referring to several other Pleistocene and Early Holocene contexts in the broader region. The results generally confirmed our attempted contextualization of the sub-assemblies. Possibly the most prominent indication of the legitimacy of the proposed associations is to be seen in the great similarity between animal finds originating from Brodar's (Tardi)Gravettian layers 8–9 and the remains found within Anelli's sub-assembly 5, which we tentatively associated with the very same layers (Tab. 4).

Acknowledgement

We would like to thank Terry T. Jackson for revising the English and Tin Valoh for the provided technical support. The paper has benefited from comments from an anonymous reviser. Needless to say, any errors that remain are ours alone. Finally, we would like to thank Vida Pohar for all the collaboration in past decades and for her stimulating research on Pleistocene and Holocene faunal remains from Slovenia.

References

- Anelli, F. (1933): Ricerche paleontologiche nella Grotta Betal presso Postumia (N. 1611 – VG). *Atti del I Congresso speleologico nazionale*, 11, pp. 231–237.
- Barnosky, A. D., Koch, P. L., Feranec, R. S., Wing, S. L., Shabel, A. B. (2004): Assessing the causes of Late Pleistocene extinctions on the continents. *Science*, 306, pp. 70–75.
- Baryshnikov, G., Puzachenko, A. Y. (2011): Craniometrical variability in the cave bears (Carnivora, Ursidae): multivariate comparative analysis. *Quaternary International*, 245, pp. 350–368.
- Boessneck, J., Jéquier, J. P., Stampfli, H. R. (1963): Seeberg Burgäschisee-süd. Teil 3: Die Tierreste. *Acta Bernensia*, 2, 1–215.
- Brodar, M. (2009): *Stara kamena doba v Sloveniji*. Ljubljana; 717 pp.
- Brodar, S. (1970): Paleolitske najdbe v jami Risovec pri Postojni. *Acta carsologica*, 5, pp. 271–300.
- Budja, M., Ogrinc, N., Žibrat Gašperič, A., Potočnik, D., Žigon, D., Mlekuž, D. (2013): Transition to farming – transition to milk culture: a case study from Mala Triglavca, Slovenia. *Documenta Praehistorica*, 40, pp. 97–117.
- Castaños, P. (1987): Los carnívoros prehistóricos de Vizcaya. *Kobie Paleoantropologia*, 16, pp. 7–76.
- Crégut-Bonnoure, E. (1996): Famillie des Mustelidae. In: C. Guérin, M. Patou-Mathis (Eds.): *Les grandes mammifères Plio-Pléistocènes d'Europe*, pp. 180–195. Paris, Masson.
- Döppes, D. (2004): Carnivores and marmots from the Upper Pleistocene sediments of Potočka zijalka (Slovenia). In: M. Pacher, V. Pohar & G. Rabeder (Eds.): *Potočka zijalka. Palaeontological and archaeological results of the campaigns 1997–2000*, Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss., 13, pp. 67–80. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften; 245 pp.
- Driesch, A. von den (1976): A guide to the measurement of animal bones from archaeological sites. *Peabody Museum Bulletin*, 1, pp. 1–136.
- Drobne, K. (1964): Živalske kosti iz Resnikovega prekopa. *Poročilo o raziskovanju neolita in eneolita v Sloveniji*, 1, pp. 61–64.
- Drobne, K. (1973): Favna koliščarskih naselbin na Ljubljanskem barju. *Arheološki vestnik*, 24, pp. 217–224.
- Drobne, K. (1975): Živalski ostanki iz kolišča ob Maharskem prekopu iz let 1973 in 1974. *Poročilo o raziskovanju paleolitika, neolitika in eneolitika v Sloveniji*, 4, pp. 135–141.
- Grayson, D. K. (1984): *Quantitative zooarchaeology: topics in the analysis of archaeological faunas*. Orlando: Academic Press; 202 pp.
- Guérin, C., Patou-Mathis, M. (1996): *Les grands mammifères Plio-Pléistocènes d'Europe*. Paris: Masson; 291 pp.
- Hofreiter, M., Rabeder, G., Jaenicke-Després, V., Withalm, G., Nagel, D., Paunović, M., Jambrešić, G. in Pääbo, S. (2004): Evidence for reproductive isolation between cave bear populations. *Current Biology*, 14, pp. 40–43.
- Jamnik, P. (2004): Nenavadna poškodba na losovi čeljustnici iz Franc-losovega brezna nad Glažuto pri Ribnici. *Acta carsologica*, 33, 1, pp. 291–299.
- Kryštufek, B. (1991): *Sesalci Slovenije*. Ljubljana: Prirodoslovni muzej Slovenije; 294 p.
- Lequatre, P. (1994): Étude paléontologique de la faune des Grottes Jean-Pierre 1 et 2. *Gallia Préhistoire*, 36, pp. 239–266.
- Martin, P. S., Steadman, D. W. (1999): *Prehistoric extinctions on islands and continents*. In: R. D. E. MacPhee (Ed.): *Extinctions in near time: causes, contexts and consequences*, pp. 17–55.
- Osole, F. (1990): Betalov spodmol, rezultati paleolitskih izkopavanj S. Brodarja. *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji*, 18, pp. 7–41.
- Osole, F. (1991): Betalov spodmol, rezultati paleolitskih izkopavanj S. Brodarja, II. del. *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji*, 19, pp. 7–129.
- Outram, A. K., Stear, N. A., Bendrey, R., Olsen, S., Kasparov, A., Zaubert, V., Thorpe, N., Evershed, R. P. (2009): The earliest horse harnessing and milking. *Science*, 323(5919), pp. 1332–1335.
- Pohar, V. (1981): Pleistocenska favna iz Jame pod Herkovimi pečmi. *Geologija: razprave in poročila*, 24, 2, pp. 241–284.
- Pohar, V. (1985): Kvartarni sesalci iz Babje jame pri Dobu. *Razprave IV. razreda SAZU*, 26, pp. 97–130.
- Pohar, V. (1990): Sesalska makrofavna v starejšem holocenu. *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji*, 18, pp. 43–49.
- Pohar, V. (1991): *Poznoglacialna sesalska favna v Sloveniji*. Doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani 1991; 112 pp.
- Pohar, V. (1997): Late Glacial mammal macrofauna in Slovenia. *Quartär*, 47/48, pp. 149–158.
- Preleuthner, M. (1999): *Marmota marmot* (Linnaeus, 1758). In: A. J. Mitchell-Jones, G. Amori, W. Bogdanowicz, B. Kryštufek, P. J. H. Reijnders, F. Spitzenberger, M. Stubbe, J. B. M. Thissen, V. Vohralík in J. Zima

- (Eds.), *The atlas of european mammals*, pp. 188–189. London, San Diego, T & AD Poyser; 484 pp.
- Pucher, E., Engl, K. (1997): *Studien zur Pfahlbauforschung in Österreich. Materialien I. Die Pfahlbaustationen des Mondsees. Tierknochenfunde*. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 150 pp.
- Rabeder, G., Döppes, D., Krofel, M., Pacher, M., Pohar, V., Rauscher, K., Withalm, G. (2004a): List of fossil faunal remains from Potočka zijalka (Slovenia). In: M. Pacher, V. Pohar & G. Rabeder (Eds.): *Potočka zijalka. Palaeontological and archaeological results of the campaigns 1997–2000*, Mitt. Komm. Quartärforsch. Österr. Akad. Wiss., 13, pp. 149–160. Wien: Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften; 245 pp.
- Rabeder, G., Hofreiter, M., Nagel, D., Withalm, G. (2004b): New taxa of alpine cave bears (Ursidae, Carnivora). *Documents des Laboratoires de géologie Lyon, Hors série*, 2, pp. 49–68.
- Rakovec, I. (1952): O fosilnih sesalskih ostankih iz Betalovega spodmola. *Letopis SAZU*, 4, pp. 205–225.
- Rakovec, I. (1959): Kvarterna sesalska favna iz Betalovega spodmola pri Postojni. *Razprave IV. razreda SAZU*, 5, pp. 289–348.
- Rakovec, I. (1961): Mladopleistocenska favna iz Parske golobine v Pivški kotlini. *Razprave IV. razreda SAZU*, 6, pp. 271–349.
- Rakovec, I. (1967): Jamski medved iz Mokriške jame v Savinjskih Alpah. *Razprave IV. razreda SAZU*, 10, pp. 121–203.
- Rakovec, I. (1973): Razvoj kvartarne sesalske favne v Sloveniji. – *Arheološki vestnik*, 24, pp. 225–270.
- Sala, B. (1986): *Bison schoetensacki* Freud. from Isernia la Pineta (early Mid-Pleistocene - Italy) and revision of the european species of *Bison*. *Palaeontographia Italica*, 74, pp. 113–170.
- Smith, R. N., (1969): Fusion of ossification centres in the cat. *Journal of small animal practice*, 10, pp. 523–530.
- Spitz, F. (1999): *Sus scrofa* Linnaeus, 1758. In: A. J. Mitchell-Jones, G. Amori, W. Bogdanowicz, B. Kryštufek, P. J. H. Reijnders, F. Spitzenberger, M. Stubbe, J. B. M. Thissen, V. Vohralík, J. Zima (Eds.), *The atlas of european mammals*, pp. 380–381. London, San Diego, T & AD Poyser; 484 pp.
- STATSOFT Inc. (2001): *STATISTICA (data analysis software system), version 6*. www.statsoft.com
- Stiller, M., Molak, M., Prost, S., Rabeder, G., Baryshnikov, G., Rosendahl, W., Münzel, S., Bocherens, H., Grandal-d'Anglade, A., Hilpert, B., Germonpré, M., Stasyk, O., Pinhasi, R., Tintori, A., Rohland, N., Mohandesan, E., Ho, S., Hofreiter, M., Knapp, M. (2014): Mitochondrial DNA diversity and evolution of the Pleistocene cave bear complex. *Quaternary International*, 339–340, pp. 224–231.
- Toškan, B. (2007): Ostanki velikih sesalcev iz Divjih bab I: stratigrafija, taksonomija in biometrija. In: I. Turk (Ed.), *Divje babe I: paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. 1. del: Geologija in paleontologija*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 13, pp. 221–278. Ljubljana: Založba ZRC.
- Toškan, B. (2009): Small terrestrial mammals (Soricomorpha, Chiroptera, Rodentia) from the Early Holocene layers of Mala Triglavca (SW Slovenia). *Acta carso-logica*, 38, 1, pp. 117–133.
- Toškan, B., Dirjec, J. (2004): Remains of large mammals from Viktorjev spodmol. In: I. Turk (Ed.), *Viktorjev spodmol and Mala Triglavca. Contribution to the Mesolithic period in Slovenia*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 9, pp. 135–167. Ljubljana: Založba ZRC.
- Toškan, B., Dirjec, J. (2006a): Veliki sesalci. In: A. Gaspari (Ed.), *Zalog pri Verdu, tabor kamenodobnih lovcev na zahodnem robu Ljubljanskega barja*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 11, pp. 165–188. Ljubljana: Založba ZRC.
- Toškan, B., Dirjec, J. (2006b): Ostanki sesalske favne na Resnikovem prekopu, Ljubljansko barje. In: A. Velušček (Ed.), *Resnikov prekop: najstarejša koliščarska naselbina na Ljubljanskem barju*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 10, pp. 139–154. Ljubljana: Založba ZRC.
- Toškan, B., Kryštufek, B. (2004): Small mammals (Insectivora, Chiroptera, Rodentia). In: I. Turk (Ed.), *Viktorjev spodmol and Mala Triglavca. Contribution to the Mesolithic period in Slovenia*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 9, pp. 114–134. Ljubljana: Založba ZRC.
- Toškan, B., Kryštufek, B. (2007): Mali terestrični sesalci (Erinaceomorpha, Soricomorpha, Chiroptera, Rodentia) iz Divjih bab I. In: I. Turk (Ed.): *Divje babe I: paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. 1. del: Geologija in paleontologija*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 13, pp. 193–219. Ljubljana: Založba ZRC.
- Turk, I. (2014): Jamski medved, plen neandertalskih lovcev ali žival posebnega pomena? In: I. Turk (Ed.): *Divje babe I: paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. 2. del: Arheologija*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 29, pp. 321–336. Ljubljana: Založba ZRC.
- Turk, I., Bavdek, A., Perko, V., Culiberg, M., Šercelj, A., Dirjec, J., Pavlin, P. (1992): Acijev spodmol pri Petrin-

- jah. – *Poročilo o raziskovanju paleolita, neolita in eneolita v Sloveniji*, 20, pp. 27–48.
- Turk, I., Dirjec, J. (1997): Taxonomic and taphonomic survey of mammal macrofauna. In: I. Turk (Ed.): *Moustertian "bone flute" and other finds from Divje babe I cave site in Slovenia*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 2, pp. 99–113. Ljubljana: Založba ZRC.
- Turk, I., Dirjec, J. (2007): Jamski medved v najdišču Divje babe I: tafonomsko-stratigrafska analiza. In: I. Turk (Ed.): *Divje babe I: paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. 1. del: Geologija in paleontologija*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae, 13, pp. 279–203. Ljubljana: Založba ZRC.
- Wolsan, M. (1993): Évolution des carnivores Quaternaires en Europe centrale dans leur contexte stratigraphique et paléoclimatique. *L'Anthropologie*, 97(2/3), pp. 203–222.

Prispevek Divjih bab I k poznanju paleolitika in z njim povezanega znanja

Contribution of Divje babe I excavations to palaeolithic research

Ivan Turk

Lunačkova 4, 1000 Ljubljana, Slovenija

Vodilni avtor. E-mail: ivan.turk.46@gmail.com

Izvleček

V prispevku so podani ključni rezultati 19-mesečnih izkopavanj v paleolitskem najdišču Divje babe I (Reka, Šebrelje, občina Cerklje ob novi, Slovenija) v letih 1980–1999. Ti so: trajna predstavitev najdiščnih profilov širši javnosti v okviru arheološkega parka Divje babe; izvirna metoda za ugotavljanje odslikave paleoklime v jamskih sedimentih; prvo odkritje fosiliziranih dlak jamskega medveda; prva analiza ognjiščnih vsebin in razlaga z njimi povezanih obrednih in drugih dejavnosti neandertalcev; novi dokazi o koščeni izdelki neandertalcev vključno z najstarejšim materialnim dokazom o obstoju glasbe, ki ga predstavlja najdba izjemno zmogljivega glasbila iz kosti jamskega medveda.

Ključne besede: Divje babe I, paleolitik, paleoklima, kronologija, najdbe (neandertalsko glasbilo)

Abstract

Article presents most prominent results of the 19-month excavations in Palaeolithic site Divje babe I (Reka, Šebrelje, municipality of Cerklje ob novi, Slovenia) in years of 1980–1999. These are: permanent presentation of the site's sections for the wider public in the frame of the Divje babe Archaeological Park; original method how to assess reflection of palaeoclimate on clastic cave sediments; first discovery of the fossilized hairs of the cave bear (*Ursus spelaeus*); first analysis of the hearth context and the explanation of related rituals and other Neanderthal activities; new evidences of Neanderthal bone artefacts including the oldest direct evidence of the existence of music, represented by the discovery of the exceedingly capable musical instrument made from the cave bear's bone.

Key words: Divje babe I, palaeolithic, palaeoclimate, chronology, discoveries (neanderthal musical instrument)

Uvod

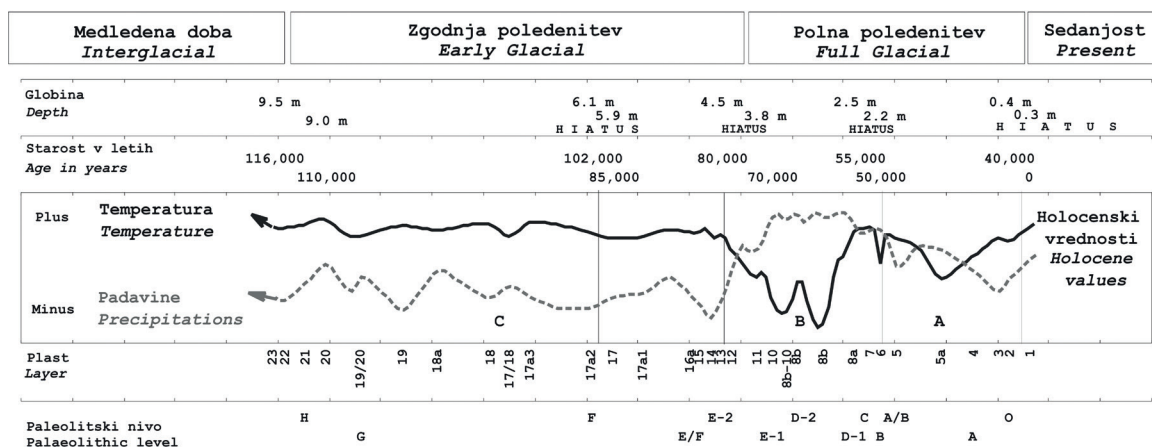
Slovenski paleolitik se ponaša s tremi pomembnimi najdišči: s Potočko zijalko, Betalovim spodmolom in Divjimi babami I, navedenimi v vrstnem redu odkritja. Tokrat bom povzel pomembnejša dognanja v slednjem, ki je povezano tudi z mentorstvom slavljence prof. dr. Vide Pohar pri mojem in še dveh doktoratih^[1, 2], neposredno povezanih z najdiščem in najdbami. O Divjih babah I je bilo vključno s štirimi doktorati napisanih veliko člankov in objavljeni dve monografiji, od tega ena v dveh delih^[3, 4, 5]. Vse po zaslugi dolgotrajnih, obsežnih izkopavanj in skrbnega zbiranja ter dokumentiranja vseh mogočih najdb. Po končanih izkopavanjih je bilo najdišče tudi ustrezno zaščiteno in ponujeno na ogled zainteresirani javnosti. S tem pa še zdaleč ni bil izčrpan njegov potencial, tako strokovni kot ekonomski. Sedimenti z najdbami, odkopani do globine 12 m, se namreč pred jamo nadaljujejo domnevno do globine 50 m. V sami jami je bil sistematično raziskan le del površine do globine 5 m. Ohranjena je vsa najdiščna infrastruktura (elektrika, žičnica), potrebna za izvedbo kvalitetnih izkopavanj. Zato se bo izkopavanje v prihodnosti lahko nadaljevalo, sodobnim standardom ustrezno. Obstaja tudi idejni načrt za ekonomsko izkoriščanje najdišča, ki je v svetu že dolgo prepoznavno po najdbi najstarejše piščali, pravilno glasbila, o katerem obstajajo različna strokovna mnenja^[3, 5–15]. V okviru Arheološkega parka Divje babe bi na vidnem mestu ob magistralni cesti Idrija–Tolmin v kraju Reka postavili razstavni paviljon v obliki edinstvene piščali. Ustnik glasbila bi bil vhod, odmevnik izhod, štiri luknjice okna. Obiskovalci bi se sprehodili skozi paviljon in se seznanili z najdiščem z audiovizualnimi pripomočki in razstavljenimi najdbami. Po želji bi se zapeljali v Šebrelje, v zaselek z razgledom na Cerkljansko hribovje z Bohinjskimi gorami v ozadju, sestopili po zavarovani poti do jame in si ogledali ohranjene večmeterske profile z lepo vidnimi plastmi in ostanki ognjišč. Paviljon bi zaradi svoje nenavadne oblike in prirojene človeške radovednosti pritegnil vsakega mimoidočega turista. Obisk bi bil tako zagotovljen in z njim vse posredne koristi za lokalno skupnost. Razen tega bi šlo za izvirno arhitektonsko rešitev razstavnega objekta, ki mu v bližnji in daljni

okolici ne bi bilo para. S takšno edinstveno rešitvijo bi izvirno promovirali enkratno najdbo in se hkrati šli uspešno turistično promocijo in prepoznavnost.

Naj po tem utopičnem razmišljanju preidem k pomembnejšim strokovnim dosežkom izkopavanj v Divjih babah I.

Kronostratigrafija in paleoklimatologija

Časovni okvir najdišča je določen z vrsto radiometričnih datumov (¹⁴C, uranova serija, ESR) za večino od 26 geoloških plasti, in sicer od 115 000 let do 40 000 let^[16]. Natančnejša kronostratigrafska členitev najdiščnega profila je bila mogoča na podlagi sedimentoloških in paleontoloških analiz^[4]. Izsledki prvih in drugih se med seboj dopolnjujejo. Sedimentološke analize so zajele fizikalne in (bio)kemične lastnosti sedimentov. Na tej podlagi smo celoten profil razdelili na več zaporedij (»faciesov«), ki se med seboj značilno razlikujejo^[4, 5]. Pri tem smo uporabili nekatere inovativne prijeme za določevanje temperature in vlage med sedimentacijo^[5, 17, 18], tj. v mlajšem pleistocenu, ko so se dogajale številne klimatske in okoljske spremembe tako na regionalni kot globalni ravni. Kot približek za temperaturo so nam služili zmrzlini klasti (kongelifrakti), za vlago pa reliefno korodirani klasti in fosfatni agregati. Gre za preproste in učinkovite metode, ki temeljijo na določanju številčnih deležev pri omenjenih klastih in nasipne gostote pri agregatih in predpostavki, da je spreminjanje vrednosti od plasti do plasti oz. od vzorca do vzorca pri zveznem vzorčevanju povezano z dolgoročnimi nihanji temperature in vlage. S to metodo in radiometričnimi datumi smo ugotovili izrazito klimatsko in posredno okoljsko mejo v plasti 11–12 (ok. 74 tisoč let), tj. na prehodu zgodnjega glaciala (OIS/MIS 5) v visoki glacial (OIS/MIS 4 – 2) (slika 1). Ta meja, ki deli profil na dva izrazito različna dela, ni vsestranska, ki bi bila sledljiva v vseh zbranih in analiziranih sedimentoloških podatkih. Tako je izrazita meja zrnivosti v plasti 14–15 ali približno 50 cm globlje, v zastopnosti množičnih kostnih ostankov in fosfatnih agregatov v plasti 12–13 in v nekaterih kemičnih komponentah (zmanjšanju P2O5 in pove-



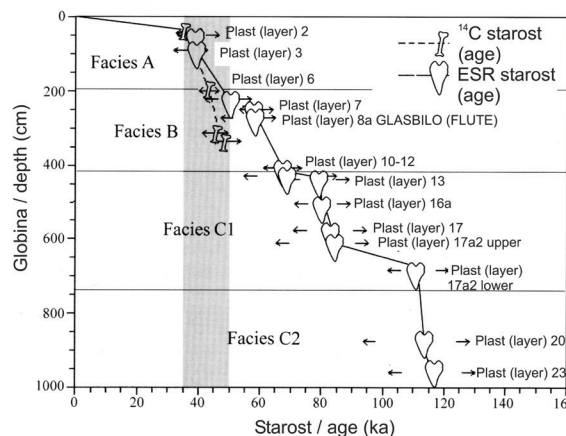
Slika 1: Klimatogram in kronostratigrafija najdišča Divje babe I. Navpične črte označujejo mesta zastojev/upočasnitev sedimentacije. A–C so zaporedja plasti »faciesi«^[4].

čanju SiO₂) v plasti 13–14 ali približno 20 cm globlje.

Analiza kemične sestave sedimentov, ki jo gradijo tri glavne komponente, ni omogočila tako dobre povezave s klimo kot preoblikovanost klastov^[5]. Komponenta P₂O₅, ki je biokemična, katere izvor so množični kostni ostanki jamskega medveda, je od vseh še najbolj povezana s klimo, natančneje, s povečanjem vlage. Zastopanost SiO₂, ki dobro ponazarja alohtono nekarbonatno terigeno komponento, kaže manj jasno povezavo s klimo, čeprav je bil njen vnos povezan predvsem z zmanjšanjem padavin in povečanjem eolskega delovanja, kar se je dogajalo zlasti v bolj suhem zgodnjem glaciale, ki ga predstavlja spodnji del profila, in v prehodu iz zgodnjega glaciale (OIS/MIS 5) v visoki glaciale (OIS/MIS 4). Najmanjšo povezanost s klimo prikazuje porazdelitev U, ki ponazarja mobilne kemične komponente. Do mobilizacije in koncentracije U je prihajalo predvsem v obdobjih zastojev/upočasnitev sedimentacije. To se je zgodilo najmanj štirikrat v različnih obdobjih. Zastoji so bili dolgi od najmanj 5 000 do največ 40 000 let, skupno do danes kar 72 000 let (slika 1). Ugotovljeni so bili na podlagi ESR-datumov (slika 2), močnejšega preperevanja kosti, izraženega s povečanjem mase kostnih drobcov, povečanja števila reliefno korodiranih klastov kot ostankov korozije stropa in sten iz obdobja stabilnega jamskega svoda ter povečanja števila preperelih kamnitih artefaktov.

Klimatskim spremembam se je prilagajalo rastlinstvo in živalstvo, kar se izraža v različni

sestavi najdene favne malih in velikih sesalcev ter oglja in peloda številnih drevesnih vrst ter zelišč v zgodnjem in visokem glaciale ter delno v slednjem^[4, 19]. Najdišče je izredno bogato z ostanki malih sesalcev in lesnega oglja, ki se je ohranilo v 21 ognjiščih^[4, 5]. Značilna je velika pestrost ostankov na ravni vrst.

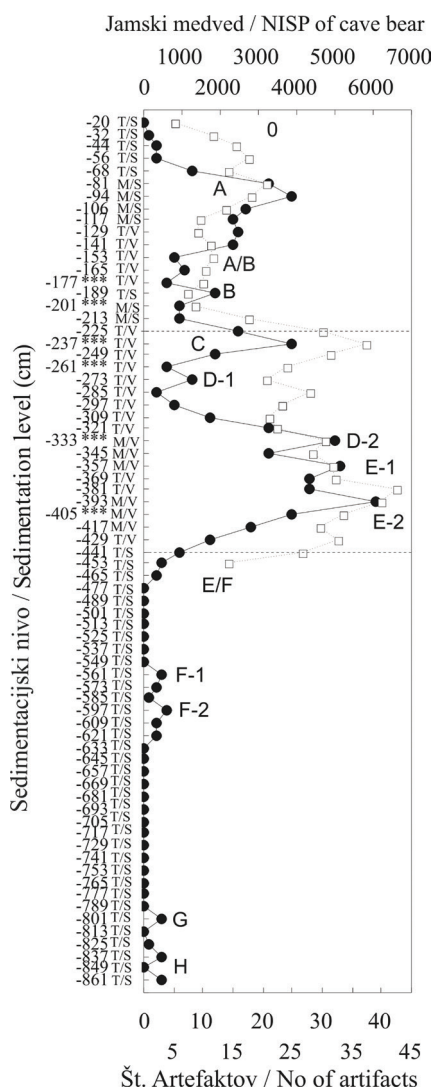


Slika 2: Stopničast graf ESR-datumov (koledarskih) v profilu Divjih bab I nazorno prikazuje tri najdaljše zastoje/upočasnitve sedimentacije. Sivi pas zamejuje ¹⁴C-datume (BP) za plasti 2–20^[16].

Paleolitske najdbe

Paleolitske najdbe pripadajo trinajstim srednjepaleolitskim horizontom (musterjenu v širšem pomenu besede) in enemu zgodnjemlajšepaleolitskemu (orinjasjenu)^[5]. Obisk jame je bil dolgoročno klimatsko odvisen z vrhunci obiskov in bolj ali manj stalnimi obiski v mrzlih obdobjih in padci ter sporadičnimi obiski

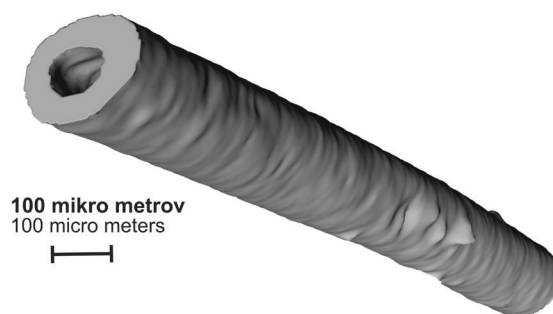
v toplejših klimatskih fazah. Zanimivo je, da se paleolitska dinamika obiskov jame sklada z dinamiko prisotnosti jamskega medveda, ki se je prav tako dolgoročno ravnal po klimi, le da je v njegovem primeru verjetno igrala odločilno vlogo vlažnost, ki je spodbudila tekmovanje za zimski brlog med samotarskimi samci na eni strani in samicami z mladiči in odstavljenimi mladiči na drugi (slika 3). Vrhunci obiskov jamskega medveda in paleolitskih uporabnikov jame se le redko ujemajo. Na podlagi tega lahko



Slika 3: Odnos klima–človek–jamski medved v najdišču Divje babe I. Sedimentacijski nivoji na levem grafu, označeni z zvezdicami, vsebujejo ostanke ognjišč. A–H so musterjenski (moustérien) horizonti, 0 je orinjasjenski (aurignacien) horizont. Klimo označujejo velike črke: T(oplo), M(mrzlo), S(uho), V(lažno). Vsi kamniti artefakti so označeni s polnimi pikami, vsi določljivi ostanki jamskega medveda (NISP – Number of identified specimens) s praznimi kvadrati^[5].

sklepamo, da so se v jami zadrževali izmenično. Je pa bila jama brlog nedvomno tudi eno od prizorišč tekmovanja in bližnjih srečanj med jamskim medvedom in neandertalcem^[20].

Množični obiski jamskega medveda v jami preko celega leta, dokazljivi s korelacijo med pelodom žužkocvetk in ostanki jamskega medveda, in pogosti pogini ob koncu prezimovanja so sedimentom primešali ogromne količine dlak. Te so se izjemoma ohranile v fosfatnih agregatih v obliki odtisov ali kot psevdomorfne oblike^[5], ki verno posnemajo dlake (slika 4). Gre za prvo tovrstno odkritje v pleistocenskih jamskih se-



Slika 4: Mikro CT-posnetek fosilizirane dlake z vidno medulo v prerezu, kot se je ohranila v fosfatnem sprimku. Posnetek je bil narejen na Zavodu za gradbeništvo v Ljubljani.

dimentih, ki so ga po objavi leta 1995 potrdila podobna odkritja v svetu^[21, 22].

Med občasnimi paleolitskimi obiskovalci jame in njenim bolj stalnim uporabnikom jamskim medvedom so se stcale vezi na ekonomski in metafizični ravni. Maloštevilni paleolitski obiskovalci za seboj niso pustili omembe vrednih ostankov lovskega plena, medtem ko je v jami prezimovalo in poginilo na tisoče medvedov, ki so bili samo izjemoma plen prvih^[4, 5]. Zato Divjih bab I ne moremo označiti kot lovske postojanke. Ohranilo pa se je večje število ognjišč in kamnitih izdelkov, ki pričajo o različnih dejavnostih, vezanih na preživetje, kot tudi o obredih, povezanih z jamskim medvedom in kultom plodnosti^[5]. V prvi vrsti je šlo za izkoriščanje mozga in maščob, shranjenih v kompaktnih dolgih kosteh naravno poginulih odraslih jamskih medvedov, v različne namene. Te so bile dostopne izključno ljudem, ki so debelostenske kosti z mozgom lahko brez težav razbili. Sistematičnega lova na odrasle osebkke obeh spolov ni bilo, še manj na mladiče, čeprav v najdišču

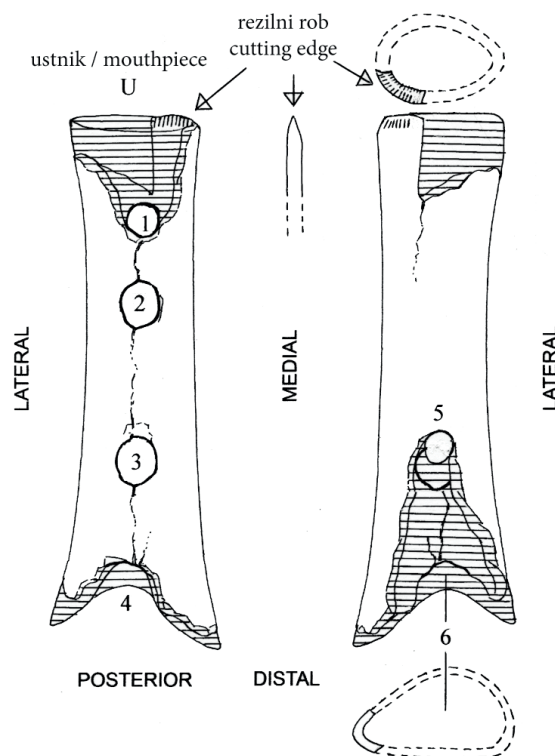
močno prevladujejo ostanki enoletnih in nekoliko starejših mladičev, ki spadajo med najbolj ranljiv del populacije in bi lahko bili lahek plen paleolitskih lovcev. Bili pa so odkriti nedvoumni znaki čaščenja medvedjega para v povezavi s kultom lobanj ter rojstvom in smrtjo. Presenetljiva je podobnost med (obrednim) ravnanjem z nekaterimi ostanki jamskega medveda, kot so izbrane dolge kosti in lobanje odraslih primerkov, in posmrtnimi ostanki odraslih neandertalcev, kot jih poznamo iz več neandertalskih pokopov v podzemnih jamah. O tem smo podrobneje pisali v najdiščni monografiji in drugih prispevkih^[5].

Najdišče je dalo tudi nekaj ključnih srednjepaleolitskih (musterjenskih) najdb. Mednje spadajo izdelki iz rogovine in kosti, ki potrjujejo občasno uporabo teh materialov v času in prostoru že v obdobju srednjega paleolitika (> 40 000 let). Sicer so ti materiali prišli v splošno rabo šele v začetku mlajšega paleolitika (orinjasjena) pred 40 000–30 000 leti, kar je z najdbo konice sulice z razcepljeno bazo in odlomkov dveh konic kopij/sulic, ene z razcepljeno bazo in druge z domnevno masivno, v najmlajši plasti 2 lepo razvidno tudi v Divjih babah I^[3, 5, 23, 24]. Najdbe teh konic nam omogočajo potegniti kulturološke vzporednice s Potočko zijalko in drugimi ključnimi orinjasjenskimi najdišči v Evropi (Is-tállóskő, Fumane, Geissenklösterle, Vogelherd, Hohle Fels), za katere je značilen tudi razcvet upodabljajoče umetnosti in navsezadnje glasbe. Da so omenjene najdbe iz naštetih najdišč tudi kronometrično bolj ali manj sočasne, nam potrjujejo številni radiometrični datumi. Druga zgodba so musterjenske koščene konice sulic. Te so velika redkost, vendar dejstvo, ki je dobilo potrditev tudi v Divjih babah I. Gre za vsaj tri takšne najdbe iz različnih plasti, katerih starost se giblje od 50 000 do 110 000 let^[5]. Med njimi in orinjasjenskimi konicami so 2–8 m debele plasti z musterjenskimi kamnitimi artefakti, kar ne dopušča dvoma o njihovi pripadnosti in starosti.

Neandertalsko glasbilo

Največje presenečenje izkopavanj je bila najdba t. i. „piščali“ leta 1995 v cementiranem delu plasti 8, dva metra in pol pod plastjo 2 z že omenje-

nimi najdbami orinjasjenskih konic, ki omogočajo direktno povezavo z najdišči paleolitskih piščali v Nemčiji in drugod. Te so radiometrično 20 000–30 000 let mlajše od naše najdbe. Zato je bila ta po vsemu sodeč nesporno starejša od do tedaj najstarejših piščali. Povrh vsega jo je lahko na podlagi sedanjega védenja izdelal samo neandertalec, nasprotno od drugih, ki so jih po splošnem prepričanju naredili moderni ljudje. M. Brodar je bil sicer drugačnega mnenja in je najdbo skupaj z drugimi koščeni izdelki pripisal zgodnjemu valu anatomsko modernih ljudi v Evropi^[23, 24], za katerega pa ni neposrednih dokazov v obliki skeletnih najdb. Te so vse mlajše od 40 000 let. Med našo najdbo in drugimi so obstajale tudi očitne razlike v izboru kosti, merah glasbila in tehniki izdelave lukenj^[25–27], kar vse kaže na posebno tradicijo, ki je bila grobo prekinjena z izumrtjem neandertalcev. Zaradi navedenih dejstev je prišlo do burnega odziva dela stroke in spodbijanja umetnega izvora najdbe^[6–13], kar je bil edini mogoč prijem, ki je ostal kritikom. Vendar je treba po-



Slika 5: Rekonstruirano glasbilo iz Divjih bab I. Rekonstruirani deli so šrafirani. Luknjice so oštevilčene 1–5. Številka 4 je izjeda, ki se lahko s prstom oblikuje v luknjico. Številka 6 je odmevnik in zapiralnik^[5, 28].

udariti, da je dvom temelj znanosti in kot tak dobrodošel tudi v našem primeru, ko je šlo za razlago najdbe.

Vprašanje, ali je t. i. »piščal« naredil človek z orodji ali določena zver z zobmi, je razdelilo paleolitsko stroko na dva tabora. V nasprotju z delom arheologov so naravoslovci in glasbeniki od začetka povsem prepričani, da je najdba glasbilo in izključujejo kakršen koli naravni izvor.

Devetnajst let po odkritju in letih vsestranskega preučevanja izjemne najdbe lahko trdim, da gre za izdelek človeške roke^[5]. Še več, gre za genialni izdelek, ki prekaša vse druge podobne paleolitske izdelke in se lahko po zmogljivosti kosa z vsemi sodobnimi aerofonimi glasbili. Zato sta prvotni oznaki piščal in/ali flavta neustrezni, ker najdba ni niti eno niti drugo, temveč posebno, doslej nepoznano glasbilo, ki so ga izdelali in uporabljali izumrli neandertalci.

Njegove značilnosti so naslednje (slika 5): dolžina samo 11,6 cm, tri prstne luknjice zgoraj in ena dlančna spodaj, asimetrični ustnik z rezilnim robom na širšem delu ovalnega prereza diafize, odmevnik in zapiralnik z izjedo na zgornji površini, kjer so prstne luknjice. Izjeda se lahko s prstom po potrebi začasno oblikuje v dodatno luknjico, tako da jih je skupaj 5 ali toliko, kot je prstov na eni roki. Na inštrument se igra dvoročno, pri čemer z uporabo spodnje luknjice dosežemo učinek še enkrat podaljšanega zračnega stolpca. Drugače povedano: namesto dolžine 23,2 cm zadostuje pol manj. To je trik, ki se ga sodobna pihala ne poslužujejo. Ta so tudi temperirana, medtem ko naše glasbilo ni, kar daje interpretu več možnosti za izvajanje glasbe in predvsem improviziranje. Ker je bilo glasbilo narejeno iz leve stegenice približno enoletnega jamskega medveda, je bilo namenjeno desničarju. V nasprotnem primeru bi bilo narejeno iz desne stegenice. Leva stegenica te velikosti je bila nedvomno izbrana namenoma, ker je z dodanimi luknjicami, rezilnim robom in odmevnikom ergonomsko oblikovana in dimenzionirana tako, da se optimalno prilega ustnicam, dlani in prstom. Prav tako je bilo načrtovano število luknjic, njihova velikost in razporeditev, kar edino omogoča optimalno vzbujanje glasbila. Njegov obseg je neverjetne tri oktave in pol, kar je bistveno več kot pri mlajšepaleolitskih

piščalih iz ptičjih kosti. Pomembno je, da sta se na glasbilo ohranili dve luknjici in ostanek priostrenega rezilnega roba. Preostali luknjici sta samo delno ohranjeni zaradi kasnejših poškodb, do katerih je prišlo pred vključitvijo najdbe v sediment (brečo). Neodvisni mikro CT-analizi najdbe sta potrdili enak nastanek celih in delno ohranjenih luknjic^[14, 27]. Vse so bile narejene s prebijanjem s topim koščnim šilom, vstavljenim v umetno vdolbinico, narejeno s kamnito konico^[26]. Po orodjih se je udarjalo z lesenim tolkačem. Kamnita in koščena orodja s takšnimi konicami so značilna za najdišče in so zagovornike glasbila spodbudila k eksperimentiranju z njimi. Tako so lahko ponovili postopek izdelave lukenj, ki je preprostejši in učinkovitejši od vrtanja in dolbljenja, ki se je uporabljalo v mlajšem paleolitiku. Pri tem postopku ni sledov orodij v obliki raz, luknje pa se težko loči od tistih, ki so jih v določenih primerih lahko naredile zveri s kanini. Sledovi orodja v obliki raz ipd. se od kritikov najdbe zahtevajo kot dokaz za človekov poseg. Pri tem se ne upošteva, da je bila originalna najdba v času sedimentacije izpostavljena močni koroziji, ki je do dobra načela površino in izbrisala morebitne nedvoumne sledi orodij. Te bi pričakovali zlasti ob ravno odrezanem in priostrenem ustniku. Žal je tudi tu površina močno korodirana. Vendar orodja vedno ne puščajo sledi. Poskusno sem naredil veliko lukenj v sveže in fosilne kosti s paleolitskimi in modernimi vrtnimi in klesalnimi orodji. V več primerih ni bilo nobenih sledi orodij, kar sta potrdili tako optična mikroskopija kot mikro CT lukenj in okolice. Po drugi strani kritiki najdbe navajajo sledi zob in jih povezujejo z luknjanjem, zatrjujoč, da so luknje v kosteh splošen pojav v jamah brlogih. V našem primeru to ne drži, ker je v Divjih babah I med milijonsko množico samo 0,02 ‰ tako ali drugače naluknjanih kosti. Število lukenj na glasbilo in njihova razporeditev tudi nimata primerjave v nobeni kosti, ki jo je v preteklosti naluknjala katera koli zver. Zaradi že omenjene korozije so se zameglili tudi domnevni sledovi zob, tako da je težko razlikovati med korozijskimi poškodbami in tistimi, ki so bile narejene z zobmi^[14]. Možnost, da je kost predhodno in kasneje, ko je bila v funkciji artefakta, poškodovala kakšna zver, ni izključena. Vendar to ne pomeni, da jo

je v celoti preoblikovala in naluknjala zver kot trdijo kritiki. Primerov, ko so paleolitske koščene artefakte obgrizle zveri, je precej. Poskusi luknjanja ustreznih svežih kosti z maketami zobovja volka, hijene in medveda ter meritev sile so pokazali, da nobena zver ne bi mogla tolikokrat naluknjati kost s kanini, ne da bi ta pri tem vzdolžno počila in se razklala^[25]. To bi bil tudi njen namen, ne pa naluknjati kost brez enega samega napačnega ugriza tako, da deluje kot odlično glasbilo. Slednje je lahko s premislekom in na podlagi izkušenj številnih generacij storil samo človek. Glasbena raziskovanja najdbe so pika na »i« v razpravi o najstarejši »piščali«^[3, 5, 28], ker so ovrgla še zadnje dvome o njenem umetnem izvoru in so nepremagljiva ovira vsem kritikom. Tako bodo Divje babe I ostale v zgodovini paleolitskih raziskav kot prvi prepričljiv dokaz, da je inštrumentalna glasba starejša od upodabljajoče umetnosti. Nadejamo se, da ne bodo tudi zadnji.

Viri

- [1] Debeljak, I. (2002): *Dinamika umrljivosti in paleoekologija jamskega medveda z najdišča Divje babe I. / Mortality dynamics and paleoecology of cave bear from Divje babe I site*, Doktorska disertacija. / Ph. D. Thesis, Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 219 str.
- [2] Toškan, B. (2004): *Veliki sesalci iz mlajšepleistocenskega najdišča Divje babe I / Large mammals from the Upper Pleistocene Divje babe I site*, Doktorska disertacija / Ph. D. Thesis. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, 237 str.
- [3] Turk, I. (1997): *Moustérienska "koščena piščal" in druge najdbe iz Divjih bab I v Sloveniji. / Mousterian "bone flute" and other finds from Divje babe I cave site in Slovenia*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 2, Ljubljana, 223 str.
- [4] Turk, I. (2007): *Divje babe I. Paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. 1. del: Geologija in paleontologija / Divje babe I. Upper Pleistocene Palaeolithic site in Slovenia. Part 1: Geology and Palaeontology*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 13, Ljubljana, 478 str.
- [5] Turk, I. (2014): *Divje babe I. Paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji. 2. del: Arheologija / Divje babe I. Upper Pleistocene Palaeolithic site in Slovenia. Part 2: Archaeology*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 29, Ljubljana, 456 str.
- [6] Albrecht, G., Holdermann, C. S., Kerig, T., Lechterbeck, J., Serangeli, J. (1998): "Flöten" aus Bärenknochen – Die frühesten Musikinstrumente? *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 28, str. 1–19.
- [7] Albrecht, G., Holdermann, C. S., Serangeli, J. (2001): Towards an archaeological appraisal of specimen No. 652 from Middle-palaeolithic level D / (layer 8) of the Divje babe I. *Arheološki vestnik*, 52, str. 11–15.
- [8] Chase, P. G., Nowell, A. (1998): Taphonomy of a suggested Middle Paleolithic bone flute from Slovenia. *Current Anthropology*, 39, str. 549–553.
- [9] D'Errico, F. (2002): Just a bone or flute? The contribution of taphonomy and microscopy to the identification of prehistoric pseudo-musical instruments – V/In: Hickmann, E., Kilmer, A. D., Eichmann, R (eds.). *The Archaeology of Sound: Origin and Organisation*. Studien zur Musikarchäologie 3, Orient-Archäologie 10, str. 89–90, Rahden/Westf.
- [10] D'Errico, F., Lawson, G. (2006): The sound paradox: how to assess the acoustic significance of archaeological evidence? – V/In: Lawson, G., C. Scarre (eds.), *Archaeoacoustics*, str. 41–57, Cambridge.
- [11] D'Errico, F., Villa, P., Llona, A. C. P., Idarraga, R. R. (1998): A Middle Palaeolithic origin of music? Using cave-bear bone accumulations to assess the Divje Babe I bone "flute". *Antiquity*, 72, str. 65–79.
- [12] Holdermann, C. S., Serangeli, J. (1998): Flöten an Höhlenbärenknochen: Spekulationen oder Beweise? *Mitteilungsblatt der Gesellschaft für Urgeschichte*, 6, str. 7–19.
- [13] Nowell, A., Chase, P. G. (2002): Is a cave bear bone from Divje babe, Slovenia, a Neanderthal flute? – V/In: Hickmann, E., Kilmer, A. D., Eichmann, R (ur./eds.), *The Archaeology of Sound: Origin and Organisation*. Studien zur Musikarchäologie 3, Orient-Archäologie 10, str. 69–81, Rahden/Westf.
- [14] Tuniz, C., Bernardini, F., Turk, I., Dimkaroski, L., Mancini, L., Dreossi, D. (2012): Did Neanderthals play music? X-ray computed micro-tomography of the Divje babe 'flute'. *Archaeometry*, 54, 581–590.
- [15] 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 babe 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 babe I (Slovenia) and its chronological position within global palaeoclimatic and palaeoenvironmental change during Last Glacial. *L'Anthropologie*, 110, str. 293–317.

- [16] Blackwell, B. A. B., Yu, E. S. K., Skinner, A. R., Turk, I., Blickstein, J. I. B., Turk, J., Yin, V. S. W., Lau, B. (2007): ESR datiranje najdišča Divje babe I, Slovenija. / ESR dating at Divje babe I, Slovenia. – V/In: Turk, I. (ur./ed.), *Divje babe I. Paleolitsko najdišče mlajšega pleistocena v Sloveniji*. 1. del: *Geologija in paleontologija. / Divje babe I. Upper Pleistocene Palaeolithic site in Slovenia*. Part 1: *Geology and Palaeontology*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 13, Ljubljana, str. 123–157.
- [17] Turk, I., Skaberne, D., Blackwell, B. A. B., Dirjec, J. (2005): Ocena vlage v mlajšepleistocenskem kraškem okolju. Paleoklima in paleomikrookolje v jami Divje babe I, Slovenija. / Assessing humidity in the upper Pleistocene karst environment. Palaeoclimates and palaeomicroenvironments at the Divje babe I, Slovenia. – V/In: A. Mihevc (ur./ed.), *Kras. Voda in življenje v kamniti pokrajini. Kras. Water and life in a rocky landscape*, str. 173–198.
- [18] Turk, J., Turk, M. (2010): Paleotemperature record in Late Pleistocene clastic sediments at Divje babe I cave (Slovenia). *Journal of Archaeological Science*, 37, str. 3269–3280.
- [19] Toškan, B., Dirjec, J. (2011): Velike podnebne spremembe razkrite na podlagi malih fosilov. Nekdanje okolje na meji med zgodnjim in srednjim würmom v okolici Divjih bab I (Z Slovenija). / Big climatic changes revealed by tiny fossils. Palaeoenvironment at the boundary between the Early and Middle Würm in the surroundings of Divje babe I (W Slovenia). – V/In: B. Toškan (ur./ed.), *Drobci ledenodobnega okolja. Zbornik ob življenskem jubileju Ivana Turka. / Fragments of Ice Age environments. Proceedings in Honour of Ivan Turk's Jubilee*. Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 21, Ljubljana, str. 155–179.
- [20] Turk, I. (2003): Humans and carnivores in Slovenia during the upper Pleistocene. Interactions between neanderthals and the cave bear. – V/In: B. Kryštufek, B. Flajšman, H. I. Griffiths (ur./eds), *Living with bears. A large European carnivore in a shrinking world*, str. 43–57, Ljubljana.
- [21] Backwell, L., Pickering, R., Brothwell, D., Berger, L., Witcomb, M., Martill, D., Penkman, K., Wilson, A. (2009): Probable human hair found in a fossil hyaena coprolite from Gladysvale cave, South Africa. *Journal of Archaeological Science*, 36, str. 1269–1276.
- [22] Schubert, B. W., Kaufmann, J. E. (2003): A partial short-faced bear skeleton from an Ozark cave with comments on the paleobiology of the species. *Journal of cave and karst studies*, 65, 2, str. 101–110.
- [23] Brodar, M. (1999): Die Kultur aus der Höhle Divje babe I. / Kultura iz jame Divje babe I. *Arheološki vestnik*, 50, str. 9–57.
- [24] Brodar, M. (2009): *Stara kamena doba v Sloveniji. / Altstezeit in Slowenien*, Ljubljana, samozal., 717 str.
- [25] Turk, I., Dirjec, J., Bastiani, G., Pflaum, M., Lauko, T., Cimerman, F., Kosel, F., Grum, J., Cevc, P. (2001): Nove analize “piščali” iz Divjih bab I (Slovenija). / New analyses of the “flute” from Divje babe I (Slovenia). *Arheološki vestnik*, 52, str. 25–79.
- [26] Turk, I., Bastiani, G., Blackwell, B. A. B., Horusitzky, F. Z. (2003): Domnevna musterjenska piščal iz Divjih bab I: psevdofakt ali prava piščal ali kdo je naredil luknje. / Putative Mousterian flute from Divje babe I (Slovenia): pseudoartefact or true flute or who made the holes. *Arheološki vestnik*, 54, str. 67–72.
- [27] Turk, I., Pflaum, M., Pekarovič, D. (2005): Rezultati računalniške tomografije najstarejše domnevne piščali iz Divjih bab I (Slovenija): prispevek k teoriji luknjanja kosti. / Results of computer tomography of the oldest suspected flute from Divje babe I (Slovenia): contribution to the theory of making holes in bones. *Arheološki vestnik*, 56, str. 9–36.
- [28] Dimkaroski, L. (2011): Musikinstrument der Neanderthaler. Zur Diskussion um die moustérienzeitliche Knochenflöte aus Divje babe I. Slovenien, aus technischer und musikologischer Sicht. *Mitteilungen der Berliner Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte*, 32, str. 45–54.

Ob 70-letnici prof. dr. Jerneja Pavšiča

Boštjan Rožič

Prof. dr. Jernej Pavšič, univ. dipl. inž. geol., se je rodil 23. avgusta 1944 v Ljubljani, v kateri je tudi obiskoval osnovno in srednjo tehniško šolo. Po njenem zaključku se je leta 1966 vpisal na ljubljansko univerzo, in sicer na Odsek za geologijo takratne Fakultete za naravoslovje in tehnologijo. Študij je končal leta 1971 z diplomom s področja biostratigrafije in se zaposlil na Geološkem zavodu v Ljubljani. Po izvolitvi v asistenta leta 1973 se je zaposlil na Odseku za geologijo, kjer je ostal vse do upokojitve v začetku julija leta 2009. Prav specializacija na področju biostratigrafije apnenčevega nanoplanktona in poučevanje sta najbolj zaznamovala slavljenčevo bogato raziskovalno in pedagoško pot, dopolnjeno z osupljivo strokovno in poljudno-znanstveno publicistiko.

Jernej Pavšič je prva leta na Oddelku za geologijo služboval kot asistent in leta 1976 uspešno zagovarjal magistrsko nalogo, tri leta kasneje pa še doktorsko disertacijo. Za slednjo je bil tudi nagrajen iz sklada Milana Miličevića. Leta 1981 je bil izvoljen v naziv docenta, leta 1986 v izrednega profesorja in leta 1992 v rednega profesorja.

V svoji pedagoški karieri je sprva asistiral pri laboratorijskih in terenskih vajah, kasneje pa je bil nosilec premetov Paleontologija in Paleogeologija za geologe ter Osnove geologije za rudarje in gradbenike, za eno leto je prevzel tudi predavanja iz stratigrafije. Študentje smo si ga zapomnili po izredno sistematičnem in doslednem ter slikovno podprtem podajanju snovi. Za predmet Paleontologija je izdelal obsežen in pregleden univerzitetni učbenik, ki poleg paleontološke sistematike vsebuje tudi številne podatke o slovenskih fosilnih najdbah. Za predmet Osnove geologije je prav tako izdal obsežna skripta.

Poleg poučevanja Pavšičevo pedagoško delo označuje tudi mentorstvo. Bil je mentor številnim seminaristom, predvsem s področja pale-

ontologije. Mentorstvo je prevzel pri šestnajstih diplomskih nalogah, od katerih je bila ena nagrajena s Prešernovo nagrado, in pri magistrskih delih Aleksandra Horvata, Katarine Oblak Brown in Matije Križnarja. Bil je tudi somentor pri treh diplomskih nalogah. Pavšičevo pedagoško delo označuje tudi uspešno mentorstvo šestih doktorjev znanosti. Njegovi doktorandi so Ines Galović, Tomaž Verbič, Miloš Bartol, Katarina Oblak Brown, Boštjan Rožič in nedavno promovirana Katarina Paula Anko.

Med svojim delom na fakulteti je prevzemal tudi številne vodstvene funkcije. Bil je predstojnik Odseka za geologijo, predstojnik Katedre za paleontologijo, član senata, član številnih drugih komisij in odborov na oddelčni in fakultetni ravni.

Znanstveno pot Jerneja Pavšiča je začrtalo že njegovo diplomsko delo, kasneje pa je svoje znanje o nanoplanktonski biostratigrafiji širil pri izdelavi magistrske naloge in doktorske disertacije. V letih 1982 in 1983 je opravil polletno izpopolnjevanje na Visoki tehniški šoli (ETH) v Zürichu, in sicer v skupini prof. dr. H. M. Bollija, kjer je delal z dr. K. von Salis Perch - Nielsen. Udeležil se je strokovnih izpopolnjevanj na Dunaju in v Budimpešti.

Rezultati Pavšičevih nanoplanktonskih datacij so ključni za razumevanju prostorskega pojavljanja različno starih globokomorskih razvojev v zahodni Sloveniji. Tako je bil prav z nanoplanktonom prvič v Sloveniji dokazan obstoj spodnjekrednih klastitov. Zelo lepo se je osvetlilo postopno mlajšanje flišnih razvojev v smeri proti jugu oziroma jugozahodu. Pomembne so tudi njegove biostratigrafske razčlenitve oligocenskih in neogenskih skladov Paratetide z območja današnjih Posavskih gub in severovzhodne Slovenije.

Pavšičeve ugotovitve so s pridom uporabili pri izdelavi Osnovne geološke karte SFRJ, rezultate raziskav je predstavljal na številnih domačih in

mednarodnih znanstvenih srečanjih, simpozijih in kongresih. Zaradi poznanja problematike na meji kreda–terciar je leta 1990 prevzel koordinatorstvo raziskav za Slovenijo v okviru mednarodnega projekta IGCP 308. Kot prvi avtor je izdal 14, v soavtorstvu še nadaljnjih 28 izvirnih znanstvenih člankov in veliko drugih znanstvenih sestavkov. V soavtorstvu je napisal več poglavij v znanstvenih monografijah, med katerimi je treba še posebej poudariti tri poglavja v knjigi *Geologija Slovenije* in poglavje v monografiji o geologiji osrednje Evrope.

Dosedanje delo Jerneja Pavšiča močno označuje tudi strokovna in poljudnoznanstvena publicistična dejavnost. Bralci revij *Proteus* in *Gea* smo bili deležni mnogih Pavšičevih prispevkov, praviloma s področja paleontologije, včasih tudi iz drugih panog geologije. Predvsem v *Gei* je mesečno objavljajal paleontološke notice in obširnejše članke ter s tem zelo prispeval k popularizaciji in prepoznavnosti geološke vede.

Jernej Pavšič je konec osemdesetih let organiziral dve slovenski posvetovanji o naravnem kamnu, soudeležen pa je bil tudi pri izvedbi posvetovanja slovenskih geologov. Z Bogoljubom Aničičem sta sooblikovala geološko učno pot po Kozjanskem parku in o njej napisala vodič. Sodeloval je pri ustvarjanju leksikona o naravnem kamnu in pri tretji izdaji strokovne monografije

Narava v gorskem svetu. Paleontološkim navdušencem v veselje, študentom pa v pomoč pri učnem procesu je bila njegova prva samostojna knjiga o fosilih Slovenije. Izredno dolgotrajno, potrpežljivo in sistematično delo pa je botrovalo slovenskemu Geološkemu terminološkemu slovarju, pri katerega izdaji je Pavšičevo uredništvo odigralo odločilno vlogo. Jernej Pavšič je bil član Slovenskega geološkega društva in nekaj časa tudi njegov predsednik. Hkrati je bil dejaven tudi pri Slovenski matici, v sklopu katere je uredil dve celoviti monografiji, in sicer o Ljubljanskem barju in o Vipavski dolini. V obeh publikacijah je prispeval poglavje o geologiji teh slikovitih pokrajin. Slednja je izšla nedavno in pri tem nas zelo razveseljuje dejstvo, da Pavšič ostaja znanstveno in strokovno zelo aktiven tudi po uradni upokojitvi.

Profesorja Jerneja Pavšiča krasi umirjen in stannoten značaj, katerega prepoznamo že ob bežnem stiku z njim, ob nadaljnjem sodelovanju pa sta posebej očitna njegova pronicljivost in izrazito duhovit življenjski pristop. Prav te njegove lastnosti so botrovale njegovi bogati znanstveni, strokovni in pedagoški karieri. Njegovi študentje ter sodelavci z Oddelka za geologijo želimo profesorju Jerneju Pavšiču ob njegovem 70. jubileju še mnoga zdrava in ustvarjalna leta.

Some Early Jurassic brachiopod faunas from Slovenia

Nekaj spodnjejurskih brahiopodnih favn iz Slovenije

Katarina Pavla Anko

Corresponding author. E-mail: katarina.anko@siol.net

Abstract

The article brings a review of the Early Jurassic brachiopods from two neighbouring carbonate platforms, the Julian and the Dinaric. It is based on the previously published data supplemented by the author's study of some newly collected fossils. The new brachiopod specimens were serially sectioned, but the quality of their preservation was generally not good. For this reason, the presence of the Pliensbachian genus *Livarihynchia* and the Toarcian genus *Soaresirhynchia* on the Dinaric Carbonate Platform margin still lacks a confirmation by the appropriate internal structures. The brachiopod diversity and distribution were mainly controlled by sedimentary and tectonic paleoenvironments. The morphology of many Mediterranean-type pre-Toarcian brachiopods was particularly suitable for the setting of the Hierlatz-type facies limited to the Julian Carbonate Platform.

Key words: brachiopods, Early Jurassic, Slovenia, Dinaric Carbonate Platform, Julian Carbonate Platform

Izvleček

Prispevek prinaša pregled spodnjejurskih brahiopodov s sosednjih karbonatnih platform, Julijske in Dinarske. Temelji na predhodno objavljenih podatkih, ki jih dopolnjuje avtoričina raziskava novonabranih fosilov. Novi primerki brahiopodov so bili preiskani z metodo zaporednih odbrusov, a jih večina žal ni bila dobro ohranjena. To je tudi razlog, da prisotnost pliensbachijskega rodu *Livarihynchia* in toarcijskega rodu *Soaresirhynchia* na robu Dinarske karbonatne platforme še ni podprta z dokazi ustreznih notranjih struktur. Brahiopodna diverziteteta in distribucija sta bili pogojeni predvsem s sedimentacijskimi in tektonskimi paleookolji. Morfologija mnogih predtoarcijskih brahiopodov mediteranskega tipa je bila posebej primerna za okolje facies hierlaškega tipa, ki je bilo omejeno na Julijsko karbonatno platformo.

Ključne besede: brahiopodi, spodnja jura, Slovenija, Dinarska karbonatna platforma, Julijska karbonatna platforma

Introduction

The Early Jurassic brachiopods in present-day Slovenia are neither abundant, nor exceptionally well-preserved. No important Lower Jurassic brachiopod macrolocalities were added after the pioneering era of Austro-Hungarian geologists, and few if any technical papers on these topics were published. Still, three types of brachiopod assemblages stand out (Fig. 1):

- the brachiopods of the Hierlatz-type facies; found in the vicinity of Bohinj^[1–3] and on Mt. Stol^[4, 5], both on the Julian Carbonate Platform, with the Bohinj localities belonging to its deepened part, the Bled Basin^[6];
- the brachiopods belonging to the informal *Hesperithyris-Lychnothyris* group *sensu* Vörös^[7] and associated with the Pliensbachian lithiotid facies^[3, 8–10]; several outcrops on the Dinaric Carbonate Platform;
- the Early and/or Middle Jurassic brachiopods from Trnovski gozd^[3, 11, 12]; during the Jurassic period, these brachiopods inhabited the northern margin of the Dinaric Carbonate Platform^[10].

In a small-scale way, these findings reflect the trends and events in brachiopod history, which often make sense only after considering a broader picture. This article aims to summarize local and regional perspectives on the Early Jurassic brachiopod faunas from Slovenia.



Figure 1: Position of the main Early Jurassic brachiopod areas in Slovenia

Results

Brachiopod fauna from the Bohinj area

In 1858, the following Early Jurassic brachiopods from the surroundings of Jereka were

listed: *Rhynchonella hoernesii*, *Rhynchonella rigida*, *Rhynchonella serrata?*, *Spiriferina pyramidalis?*, *Spiriferina rostrata*, *Terebratula columbella* and *Waldheimia partschii*^[13]. In 1920, another determination of the brachiopods from the Bohinj area (Bitnje, Bohinjska Češnjica, Jereka) was published, inferring at least two separate samplings^[1], so the resulting cumulative faunal list should be regarded as a general information only (Table 1).

The locally prevalent Lower Jurassic strata are massive crinoidal limestones that can laterally and vertically pass into ooidal limestones^[2, 3]; historically, the crinoid-rich part was the one compared to the Austrian Hierlatz limestone^[2], while recently the bedded, often cherty limestones with echinoderms were described as the local Hierlatz facies^[6]. The thickness of individual beds can exceed 2 m^[14].

As an addendum, the brachiopods from the Early Jurassic crinoidal limestones of Mt. Stol (Karavanke Mts.)^[4, 5] should be mentioned (Table 2).

The costate rhynchonellids existed alongside the terebratulids and the terebratellids. The members of the order Terebratulida numerically prevail^[4].

Brachiopod fauna associated with the Pliensbachian lithiotid facies

The Slovenian part of the Early Jurassic Dinaric Carbonate Platform was covered mostly by shallow seas where brachiopods were not abundant^[35]. But in the proximity of the Domeurian lithiotid facies, two characteristic terebratulids, the costate *Hesperithyris renierii* (Catullo, 1827) and the smooth *Lychnothyris rotzoana* (Schauroth, 1865)^[9, 11], locally form mass accumulations. Among numerous localities of the two species, the Podpeč quarry near Ljubljana is the most renowned one.

Brachiopod fauna from Trnovski gozd

The richest Mesozoic brachiopod levels in Slovenia are found on Trnovski gozd. The briefly mentioned Early Toarcian species *Stolmorhynchia bouchardi* (Davidson, 1852) from "the Dinarides of Slovenia"^[36] probably came from this area. The now-untraceable collection of Prof. Stanko Buser contained the following species (with the number of specimens in brackets): *Kallirhynchia waehneri* (Di Stefano) (16), *Rhyn-*

chonella adunca Oppel (3), *Rhynchonella clesiana* Lepsius (58), *Rhynchonella erycina* Di Stefano (7), *Rhynchonella explanata* Di Stefano (3), *Rhynchonella pentagonensis* n. sp. (10), *Rhynchonella ucinensis* Di Stefano (4), *Rhynchonella vigili* Lepsius (46), *Rhynchonella ximenesi* Di Stefano (16), *Terebratula cernagonensis* Martelli (>200) and *Terebratula lossii* Lepsius (6)^[11].

Table 1: The determined^[1] brachiopod taxa from the vicinity of Bohinj

(N - number of specimens, H - Hettangian, S - Sinemurian, P - Pliensbachian, T - Toarcian)

Determined species ^[1]	N	References to the revised type specimens of the species	Age	Remarks
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>Albertii</i> Opp.	2	<i>Salgirella albertii</i> (Oppel, 1861) ^[15-18] <i>Salgirella</i> cf. <i>albertii</i> (Oppel, 1861) ^[19-21]	H, S H, S	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella</i> <i>De Lottoi</i> Dal Piaz	3			costate ^[22] rhynchonellid
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>Delmensis</i> H. Haas	2			
<i>Rhynchonella</i> <i>Fabianii</i> Dal Piaz	1			costate ^[22] rhynchonellid
<i>Rhynchonella fascicostata</i> Uhlig	3	<i>Calcirhynchia fascicostata</i> (Uhlig, 1879) ^[15, 16, 19, 21]	H, S, P	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella fascicostata</i> nov. var. <i>densicosta</i>	2			
<i>Rhynchonella</i> "cf. <i>fascicostata</i> Uhlig" O. Haas	2			
<i>Rhynchonella flabellum</i> Meneghini	2	<i>Prionorhynchia flabellum</i> (Meneghini in Gemmellaro, 1874) ^[17-19] <i>Prionorhynchia?</i> <i>flabellum</i> (Gemmellaro, 1874) ^[16, 23]	S, P S, P	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>Fraasi</i> Opp.	5	<i>Cuneirhynchia fraasi</i> (Oppel, 1861) ^[15, 16, 19, 21] <i>Cuneirhynchia(?) fraasi</i> (Opp.) ^[18] <i>Prionorhynchia fraasi</i> (Oppel, 1861) ^[17, 18, 24, 25]	S, P S H, S, P	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella palmaeformis</i> O. Haas	29	<i>Lokutella palmaeformis</i> (Haas, 1912) ^[16, 23, 26]	P, T	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>palmata</i> Opp.	1	<i>Cuneirhynchia palmata</i> (Oppel, 1861) ^[16, 19, 23] <i>Prionorhynchia palmata</i> (Oppel, 1861) ^[17, 18]	S, P S, P	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella peristera</i> Uhlig	1			
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>peristera</i> Uhlig	3			
<i>Rhynchonella Scherina</i> Gemm.	1	<i>Prionorhynchia</i> cf. <i>scherina</i> (Gemm.) ^[18]	P	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella</i> "sp. indet." Parona	1			
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>subdecussata</i> Uhlig	1			
<i>Rhynchonella</i> cf. <i>tetraëdra</i> Parona (Sow.?)	1	" <i>Tetrarhynchia tetraëdra</i> " (Sowerby, 1812)		costate rhynchonellid
<i>Rhynchonella triquetra</i> Gemm. cf. var. <i>Boeseana</i> O. Haas	1	" <i>Rhynchonella</i> " <i>triquetra</i> Gemmellaro, 1874 ^[15, 21, 27] <i>Prionorhynchia?</i> <i>triquetra</i> (Gemmellaro, 1874) ^[16]	S, P S	costate rhynchonellid
<i>Rhynchonellina Telleri</i> n. sp.	2			costate? smooth? rhynchonellid
<i>Spiriferina alpina</i> Oppel	12	<i>Liospiriferina alpina</i> (Oppel, 1861) ^[15-17, 19, 21, 24, 28-30]	H, S, P	smooth spiriferinid
<i>Spiriferina angulata</i> Oppel	7	<i>Liospiriferina angulata</i> (Oppel, 1861) ^[17, 19, 21, 29]	S	smooth spiriferinid
<i>Spiriferina</i> cf. <i>decipiens</i> Schlosser	2			
<i>Spiriferina expansa</i> var. <i>plicata</i> Par.	3			
<i>Spiriferina gryphoidea</i> Uhlig	11	<i>Spiriferina gryphoidea</i> Uhlig, 1880 ^[23] <i>Liospiriferina gryphoidea</i> (Uhlig, 1879) ^[16, 21, 28]	P H, S, P	smooth spiriferinid
<i>Spiriferina pyriformis</i> Seg.	3			smooth ^[22] spiriferinid
<i>Spiriferina rostrata</i> Schloth.	17	<i>Liospiriferina rostrata</i> (Schloth., 1822) ^[19, 28]	S, P	smooth spiriferinid
<i>Spiriferina rostrata</i> Schl. nov. var. <i>sinuata</i>	6			
<i>Spiriferina</i> n. sp. indet.	1			
<i>Terebratula Aspasia</i> Mgh. typ. (= var. <i>major</i> Zitt.)	10	<i>Linguithyrus aspasia</i> (Zittel, 1869) ^[16, 17, 19, 21, 23, 24, 29-31]	S, P	sulcate terebratulid
<i>Terebratula Aspasia</i> Mgh. var. <i>carinata</i> O. Haas	6			
<i>Terebratula Aspasia</i> Mgh. var. <i>Myrto</i> Mgh.	3			
<i>Terebratula Aspasia</i> Mgh. (juvenile specimens)	30			
<i>Terebratula Cornicolana</i> Canavari	2	<i>Linguithyrus cornicolana</i> (Canavari, 1881) ^[16, 23]	P	
<i>Terebratula De Lorenzoi</i> Böse	8	<i>Rhapidothyris delorenzoi</i> (Böse in Böse & Schlosser, 1900) ^[32]		smooth terebratulid
<i>Terebratula Erbaensis</i> Suess	1	<i>Securithyrus adnethensis</i> (Suess, 1855) ^[7, 16, 19, 23, 24]	P	imperforate pygopid ^[7, 33]
<i>Terebratula nimbata</i> Oppel	3	<i>Linguithyrus aspasia</i> and " <i>Terebratula</i> " <i>nimbata</i> (Oppel, 1861), a continuous range of variation ^[29, 30]	S, P	
<i>Terebratula nimbata</i> Opp. nov. var. <i>Bohinica</i>	2			
<i>Terebratula punctata?</i> Sow.	2	<i>Lobothyris punctata</i> (Sowerby, 1812) ^[16, 17, 19, 21, 23, 28, 29]	S, P, T	smooth terebratulid
<i>Terebratula synophrys</i> Uhlig	3	" <i>Terebratula</i> " <i>synophrys</i> Uhlig, 1869 is a "multiplied terebratulid of uncertain affinities" ^[34]		costate ^[22]
<i>Waldheimia alpina</i> Geyer	4	<i>Zeilleria alpina</i> (Geyer, 1889) ^[16, 17, 19, 21, 23, 24, 29]	H, S, P	smooth terebratellid
<i>Waldheimia Meneghinii</i> Par.	3	<i>Bakonyithyrus meneghinii</i> (Parona, 1880) ^[7, 16, 23]	P	sulcate terebratellid ^[7]
<i>Waldheimia</i> cf. <i>oenana</i> Böse	3	<i>Zeilleria oenana</i> (Böse, 1898) ^[16, 19]	S, P	
<i>Waldheimia oxygonia</i> Uhlig	5	angular ^[16] , externally similar to <i>Securina</i> , but with strongly curved lateral commissure ^[7]		axiniform
<i>Waldheimia pseudoxogonia</i> O. Haas	4			
<i>Waldheimia Sarthacensis</i> d'Orb. sp.	3			
<i>Waldheimia stapia</i> Opp. var. <i>meridionalis</i> Dal Piaz	1	<i>Zeilleria stapia</i> (Oppel, 1861) ^[16, 17, 24, 30]	H, S	smooth terebratellid
<i>Waldheimia venusta</i> Uhlig	1	<i>Zeilleria venusta</i> (Uhlig, 1879 [1880?]) ^[15, 17, 19, 21]	S	smooth terebratellid

The rhynchonellids were numerically prevailing over the terebratulids^[11]. While some of the listed^[11] species span the Early-Middle Jurassic boundary^[e. g. 17, 37], it was the traditional comparison with the Aalenian fauna from Capo San Vigilio (Italy) and the usage of literature on Middle Jurassic localities (notably by A. Martelli)^[11] that certainly contributed to the notion of a predominantly Middle Jurassic-type fauna.

Brachiopods were collected from Upper Pliensbachian peloidal limestones, Lower Toarcian brownish-reddish limestones and Middle Toarcian-Aalenian crinoidal-oidal limestones^[10]. Since the first brachiopod beds occur relatively close to the Pliensbachian lithiotid facies below, they could also be Lower Jurassic in age^[9, 12], but the absence of any other characteristic fossils makes it difficult to determine the boundary between the Lower and the Middle Jurassic strata. An exemplary studied Pliensbachian-Aalenian succession from Kovk (Trnovski gozd) further confirmed the presence of the Early Jurassic brachiopods^[10]. The several kilometres long main brachiopod horizon occurs in the ooidal limestones, its thickness varying from 0.5 m to 2 m^[11]. Large samples of variably preserved brachiopods (frequent decortication, infavourable infilling and recrystallization, but extremely rare disarticulation) were collected on Trnovski gozd by the author. The sampling localities with the best preserved brachiopods were all discovered (some of them perhaps rediscovered) by Mr. Stanislav Bačar, who also donated a number of brachiopod specimens. They are situated outside the above mentioned Kovk section, so for now their stratigraphic relations to the Kovk section, to the main brachiopod horizon and among themselves are not entirely clear. The brachiopod content of these sampling localities included specimens that were

provisionally (the internal structures of the sectioned specimens were not preserved) assigned to the Pliensbachian genus *Livarirhynchia* Radulović, 2008 (Pl. 1, Figs. 1–4), to the Early Toarcian species *Soaresirhynchia* (formerly *Stolmorhynchia*) *bouchardi* (Davidson, 1852) (Pl. 1, Figs. 6–10) and to Aalenian-type fauna.

Discussion

The classic Hierlatz limestone is a Sinemurian-Pliensbachian facies, formed near submarine fault zones and deposited as neptunian dyke infills and submarine taluses, geographically limited to the Northern Calcareous Alps and the Transdanubian Central Range^[38]. Its macrofossil content consists of bivalves, brachiopods, cephalopods, crinoids, echinoderms and gastropods^[19], the groups also found in the Hierlatz-type strata from Bohinj^[1]. The topography was especially favourable for brachiopods. Comparable contemporaneous brachiopod communities of high taxonomic diversity flourished from present-day Caucasus^[e. g. 39] to present-day Iberian Peninsula^[e. g. 28]. These pre-Toarcian brachiopod communities often included taxa of "Mediterranean" provenance; the term itself stems from their morphological contrast to the more robust and costate brachiopods typical of the Northwestern European Province^[40]. Their distribution is thought to be controlled ecologically (e. g. bathymetrically), not merely geographically^[41]. The following characteristics define the "Mediterranean" brachiopod fauna: rhynchonellids and spiriferinids are smooth^[40], terebratulids can be costate or perforate^[42], and axiniform, sulcate (dorsal sulcus, ventral fold)^[41] and uniplicate^[40] shapes are also present. Several of these elements can combine on a single brachiopod shell. After the

Table 2: The determined ^[4] brachiopod taxa from Mt. Stol
(H - Hettangian, S - Sinemurian, P - Pliensbachian, T - Toarcian)

Determined species ^[4]	References to the revised type specimens of the species	Age
<i>Rhynchonella cartieri</i> Oppel	<i>Cuneirhynchia cartieri</i> (Oppel, 1861) ^[15-17, 19, 21]	H, S
<i>Rhynchonella</i> sp. sp.		
<i>Terebratula punctata</i> Sowerby	<i>Lobothyris punctata</i> (Sowerby, 1812) ^[16, 17, 19, 21, 23, 28, 29]	S, P, T
<i>Terebratula stapia</i> Oppel	<i>Zeilleria stapia</i> (Oppel, 1861) ^[16, 17, 24, 30]	H, S
<i>Terebratula</i> sp.		

Early Toarcian oceanic anoxic event, the survivors with such characteristics didn't recover until the Bajocian^[40].

As the original determination of the brachiopods from Bohinj^[1] did not include any illustrations, the figured type specimens, on which it was based, served as an approximation for a preliminary assessment of the basic brachiopod morphology and faunal composition (Table 1). These type specimens, revised, now belong to nine superfamilies: the rhynchonellid Dimerelloidea (*Rhynchonellina*), Hemithiridoidea (*Tetrarhynchia*), Rhynchonelloidea (*Cuneirhynchia*), Rhynchotetradoidea (*Lokutella*, *Priorhynchia*) and Wellerelloidea (*Calcirhynchia*, *Salgirella*), the spiriferinid Spiriferinoidea (*Liospiriferina*), the terebratulid Dyscolioidea (*Linguithyris*, *Securithyris*) and Lobodothyridoidea (*Lobothyris*, *Rhapidothyris*), and the terebratellid Zeillerioidea (*Bakonyithyris*, *Zeilleria*). The absence of any koninckinid athyridid brachiopods is conspicuous.

A sampling bias or not, from both Bohinj and Mt. Stol localities a preliminary picture emerges of exclusively costate rhynchonellids. In the Early Jurassic of the Mediterranean Province costate and smooth rhynchonellids usually coexisted in different proportions. Even the predominantly smooth Pliensbachian brachiopod fauna from the Bakony (Hungary) owes this status to its smooth specimens (e. g. of the rhynchonellid genera *Apringia*, *Nannirhynchia* and *Pisirhynchia*) vastly outnumbering (the equally diverse) costate specimens^[40]. The dimerellid rhynchonellid brachiopod *Rhynchonellina telleri* Härtel, as a notable exception, could be smooth. So far, no smooth (only costate) dimerellids are known from Slovenia^[43]. The costate dimerellids of the genus *Sulcirostra* (formerly also part of the genus *Rhynchonellina*) tend to form monospecific and highly endemic assemblages, while the dimerellids occasionally found in mixed pre-Toarcian brachiopod assemblages of the Mediterranean Province are mostly smooth^[27, 29] (genus *Rhynchonellina*). It is unclear if a smaller costate variety of *Rhynchonellina hoffmanni* from the Transdanubian Central Range (Hungary) is a juvenile stage of a larger smooth form^[21]. The spiriferinids are also smooth. The short-looped (terebratulids) and the long-looped (terebratellids) members of the order

Terebratulida can serve as bathymetric indicators; both *Linguithyris* and *Securithyris* (terebratulids) indicate deeper environments^[44], the latter being an axiniform genus. A further corroboration of such axiniform morphology is the species *Waldheimia Partschii*^[13]. While it cannot be automatically "revised" into *Securina partschii*^[17], it most probably was a triangularly-shaped terebratellid or its terebratulid homeomorph. All over the Mediterranean brachiopod province, the koninckinids only rarely form the bulk of specimens at any given locality. The bathyal rocky slopes were the koninckinids' main habitat from the Sinemurian to the Late Pliensbachian^[45].

Both brachiopod faunas imply deeper, but not very deep, environments. A study of the Early Jurassic brachiopods from the Tatra Mountains clearly linked calmer and deeper water conditions with the Mediterranean-type fauna, and more shallow, energetic regime with the Northwestern European-type fauna^[46]. Regardless of the environmental conditions, no strong Northwestern European affinities are expected for the brachiopods from Slovenia. (Dis)regarding the species' names from the lists above, both faunas could be Sinemurian, but a Pliensbachian age of the brachiopods from Bohinj is more probable. If the indicator species^[47] *Cuneirhynchia cartieri* is confirmed on Mt. Stol, the inferred Sinemurian age of that fauna will be proven. The closest analogues to this fauna are found in northern Italy, Austria and Hungary (see the references in Table 1).

The association of *Hesperithyris renierii* and *Lychnothyris rotzoana* with the lithiotid facies on the Dinaric Carbonate Platform in Slovenia is similar to some Croatian and Italian localities, though *Lychnothyris rotzoana* alone is often listed there^[47]. On Velebit (Croatia) lithiotids and brachiopods preserved in living position occur in lithiotid and brachiopod lithosomes and tempestite coquinas of shallow subtidal and lagoonal regions of the inner platform^[48]. The connection between the bivalves and the brachiopods is the low energy environment they both required. A joint occurrence of these two species is known from the Bakony (Hungary), where they were part of a very diverse Pliensbachian brachiopod assemblage^[23], while in the Northern Calcareous Alps they are con-

sidered a rare southern faunal element^[34]. It is not known which influence prevailed in assemblages from the Bohinj area (representing the whole Julian Carbonate Platform).

When a new genus and new species *Livarirhynchia rajkae* Radulović, 2008 was erected from a group of elongated, fully costate Pliensbachian brachiopods from Montenegro (the southern part of the Dinaric Carbonate Platform), the author incorporated some foreign specimens of *Rhynchonella serrata* into its synonymy and provided criteria for the separation of *Livarirhynchia* from the genus *Prionorhynchia*^[49]. *Rhynchonella serrata*? was also reported from Bohinj^[13]. On Trnovski gozd, *Livarirhynchia* sp. forms quite monospecific assemblages, but a single fragment of a large costate rhynchonellid (Pl. 1, Fig. 5) resembling the genus *Cuneirhynchia* (maybe *Prionorhynchia*) was also found. *Prionorhynchia fraasi* (Oppel, 1861) was documented in association with *L. rajkae* in Montenegro^[49] and nominally described in Bohinj^[1]. In Montenegro, the lateral equivalent of these brachiopods is a limestone facies with lithiotids^[50]. The already confirmed Pliensbachian localities of *Livarirhynchia rajkae* are Livari (Montenegro), Sicily (zone of *Terebratula aspasia*) and South Tyrol (both Italy)^[49].

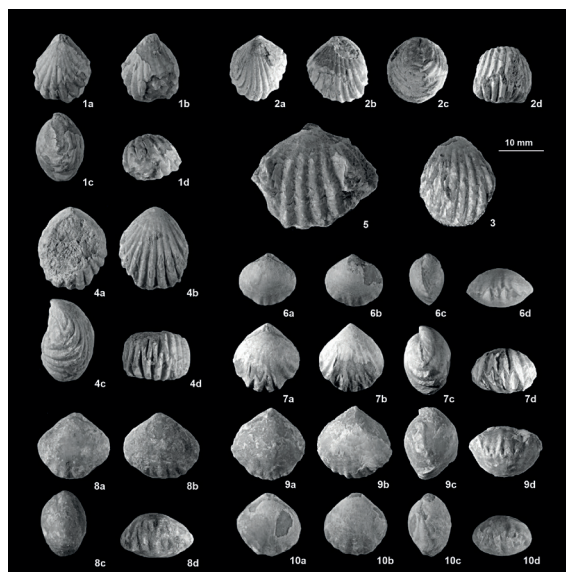


Plate 1: The Early Jurassic brachiopods from Trnovski gozd (dorsal, ventral, lateral and anterior view). 1–4 *Livarirhynchia* sp. (specimens K32, K82, K105, K31), 5 ?*Cuneirhynchia* sp. (specimen K89), 6–10 *Soaresirhynchia* cf. *bouchardi* (specimens ST1, Š4, MG12, Z4, ST5)

The widespread Toarcian flourishing of the the Early-Middle Jurassic^[51] genus *Soaresirhynchia* may have been caused by the Toarcian oceanic anoxic event^[52]. The type species, *S. bouchardi*, is an index taxon with a great intraspecific variability^[26, 28] that has been recorded in Algeria, Bosnia, France, Germany, Great Britain, Italy, Morocco, Portugal and Spain^[52], which makes its Slovenian population a peripheral one. The accepted generic definition summarizes its exterior as "subcircular to transversely oval, smooth stage extended at least to midvalve, costae few, simple, rounded anteriorly"^[53]. These characteristics distinguish the specimens from Trnovski gozd from the Aalenian-type brachiopods^[e. g. 54].

Conclusions

In the simplified tripartite division of the Early Jurassic geography of Slovenia, the Julian Carbonate Platform hosted a diverse Sinemurian-Pliensbachian Hierlatz-type brachiopod fauna, the elements of which sporadically appeared on the Dinaric Carbonate Platform also. The morphotypes characteristic of the Mediterranean brachiopod province were common until the Toarcian turnover, although the rhynchonellids were costate. In Toarcian, the biotic crisis affected the brachiopods on both platforms, but the generalist/disaster brachiopods that followed are known only from the Dinaric Carbonate Platform (more suitable environmental conditions).

Acknowledgements

Prof. Dr. Jernej Pavšič (University of Ljubljana) and Prof. Dr. Vladan Radulović (University of Belgrade) provided very useful advices and literature for the study of brachiopods that preceded this article. The late Mr. Stanislav Bačar generously donated a number of fossils, shared his expertise and guided samplings at the outcrops he had discovered. Mr. Marijan Grm (University of Ljubljana) always helped with technical tasks. And thanks to Dr. Boštjan Rožič (University of Ljubljana) and to the anonymous reviewer whose suggestions considerably improved this manuscript.

References

- [1] Härtel, F. (1920): Stratigraphische und tektonische Notizen über das Wocheiner Juragebiet. *Verhandlungen der Geologischen Staatsanstalt*, 8+9, pp. 133–152.
- [2] Buser, S. (1986): *Osnovna geološka karta SFRJ. 1:100.000. Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine): L 33–64, L 33–63*. Beograd; Zvezni geološki zavod, 103 p.
- [3] Buser, S., Dozet, S. (2009): Jura. In: Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (eds.): *Geologija Slovenije*. Geološki zavod Slovenije, pp. 215–254.
- [4] Ramovš, A., Kristan-Tollmann, E. (1967): Die Lias-Schichten von Stol (Karawanken). *Geološki vjesnik*, 20, pp. 57–62 + 2 tab.
- [5] Buser, S. (1980): *Osnovna geološka karta SFRJ. 1:100.000. Tolmač lista Celovec (Klagenfurt): L 33–53*. Beograd; Zvezni geološki zavod, 62 p.
- [6] Goričan, Š., Košir, A., Rožič, B., Šmuc, A., Gale, L., Kukoč, D., Celarc, B., Črne, A. E., Kolar - Jurkovšek, T., Placer, L., Skaberne, D. (2012): Mesozoic deep-water basins of the eastern Southern Alps (NW Slovenia). In: *29th IAS Meeting of Sedimentology*.
- [7] Vörös, A. (1983): Some new genera of Brachiopoda from the Mediterranean Jurassic. *Annls. hist.-nat. Mus. natn. hung.*, 75, pp. 5–25.
- [8] Pleničar, M. et al. (1970): *Osnovna geološka karta SFRJ. 1:100.000. Tolmač za list Postojna: L 33–77*. Beograd; Zvezni geološki zavod, 62 p.
- [9] Buser, S., Debeljak, I. (1996): Spodnjejurske plasti s školjkami v južni Sloveniji. *Geologija*, 37–38, pp. 23–62.
- [10] Črne, A. E., Goričan, Š. (2008): The Dinaric Carbonate Platform margin in the Early Jurassic: a comparison between successions in Slovenia and Montenegro. *Boll. Soc. Geol. It.*, 127, 2, pp. 389–405.
- [11] Buser, S. (1965): *Stratigrafski razvoj jurskih skladov na južnem Primorskem, Notranjskem in zahodni Dolenjski*. Ph. D. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, 101 p., 20 pls., 3 geol. maps.
- [12] Buser, S. (1973): *Osnovna geološka karta SFRJ. 1:100.000. Tolmač lista Gorica: L 33–78*. Beograd; Zvezni geološki zavod, 50 p.
- [13] Stur, D. (1858): Das Isonzo-Thal von Flitsch abwärts bis Görz, die Umgebungen von Wippach, Adelsberg, Planina und die Wochein. *Jb. Geol. R. A.*, 9, pp. 324–366.
- [14] Budkovič, T. (1978): Stratigrafija Bohinjske doline. *Geologija*, 21, pp. 239–244.
- [15] Dulai, A. (1998): Early Jurassic brachiopods from the basal layers of the Pisznice Limestone of Lábatlan (Gerecse Mts., Hungary). *Annls. hist.-nat. Mus. natn. hung.*, 90, pp. 35–55.
- [16] Vörös, A., Dulai, A. (2007): Jurassic brachiopods of the Transdanubian Range (Hungary); stratigraphical distribution and diversity changes. *Fragmenta palaeontologica hungarica*, 24–25, pp. 51–68.
- [17] Siblík, M., Lobitzer, H. (2008): A Jurassic Brachiopod Fauna from the Mitterwand Area near Hallstatt (Upper Austria). *Jb. Geol. B.-A.*, 148, 1, pp. 59–87.
- [18] Siblík, M. (2009): *Jurští ramenonožci jižní části pohoří Totes Gebirge (Štýrsko, Rakousko); nové poznatky*. In: Geoscience Research Reports for 2008. Prague; Czech Geological Survey, pp. 236–237.
- [19] Vörös, A., Szabó, J., Dulai, A., Szente, I., Ebli, O., Lobitzer, H. (2003): Early Jurassic fauna and facies of the Schafberg area (Salzkammergut, Austria). *Fragmenta Palaeontologica Hungarica*, 21, pp. 51–82.
- [20] Dulai, A. (1993): Hettangian (Early Jurassic) brachiopod fauna of the Bakony Mts. (Hungary). *Fragmenta mineralogica et palaeontologica*, 16, pp. 27–50.
- [21] Dulai, A. (2003): Hettangian and Early Sinemurian (Early Jurassic) brachiopods of the Transdanubian Central Range (Hungary) II. Systematic descriptions. Zirc: Natural History Museum of Bakonyi Mountains. *A Bakony természettudományi kutatásának eredményei*, 27, 144 pp.
- [22] Dal Piaz, G. (1907): Sulla fauna liasica delle tranze di Sospirolo. *Mém. Soc. Paléont. Suisse*, 33, pp. 1–64, pls. 1–3.
- [23] Vörös, A. (1983): The Pliensbachian brachiopods of the Bakony Mts. (Hungary): a stratigraphical study. *Fragmenta mineralogica et palaeontologica*, 11, pp. 29–39.
- [24] Böhm, F., Ebli, O., Krystyn, L., Lobitzer, H., Rakús, M., Siblík, M. (1999): Fauna, Stratigraphy and Depositional Environment of the Hettangian-Sinemurian (Early Jurassic) of Adnet (Salzburg, Austria). *Abh. Geol. B.-A.*, 56, 2, pp. 143–271.
- [25] Siblík, M. (2012): Bericht 2012 über Untersuchungen von unterjurassischen Brachiopoden auf Blatt 65 Mondsee. *Jb. Geol. B.-A.*, 152 (1–4), p. 237.
- [26] Buono, G. (2007): *Studi geo-paleontologici su livelli ricchi in brachiopodi del Lias superiore del Gran Sasso d'Italia*. Ph. D. Thesis. Napoli; Università degli Studi di Napoli Federico II, 241 p. [cited 9/2/2014]. Available on: http://paleonews.files.wordpress.com/2008/09/buono_2007_-_tesi_dottorato.pdf.
- [27] Dulai, A. (2003): Taxonomic composition of Mediterranean Early Jurassic brachiopod faunas from Hungary: niche replacement and depth control. *Fragmenta palaeontologica hungarica*, 21, pp. 43–50.

- [28] Baeza-Carratalá, J. F., García Joral, F., Tent-Manclús, J. E. (2011): Biostratigraphy and paleobiogeographic affinities of the Jurassic brachiopod assemblages from Sierra Espuña (Maláguide Complex, Internal Betic Zones, Spain). *Journal of Iberian Geology*, 37, 2, pp. 137–151.
- [29] Dulai, A. (1992): The Early Sinemurian (Jurassic) brachiopod fauna of the Lókút Hill (Bakony Mts., Hungary). *Fragmenta mineralogica et palaeontologica*, 15, pp. 41–94.
- [30] Siblík, M. (1993): Lower Liassic Brachiopods from the Steinplatte-Kammerköhralm Area near Waidring (Northern Calcareous Alps, Salzburg). *Jb. Geol. B.-A.*, 136, 4, pp. 965–982.
- [31] Siblík, M., Lobitzer, H. (2003): The Brachiopod Fauna of the Adnet Limestone at its Type Locality (Adnet, Austria). *Jb. Geol. B.-A.*, 143, 1, pp. 73–77.
- [32] Baeza-Carratalá, J. F. (2010): Nuevos datos para la determinación sistemática de *Rhapidothyris delorenzoi* (Böse, 1900). Un Loboidothyridoidea (Brachiopoda) del Jurásico Inferior mediterráneo. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Geol.*, 104, pp. 37–45.
- [33] Jarre, P. (1962): Révision du genre *Pygope*. *Trav. Lab. Géol. Fac. Sci. Grenoble*, 38, pp. 23–120.
- [34] Siblík, M. (2003): Occurrence of *Lychnothyris* Vörös, 1983 and *Hesperiothyris* Dubar, 1942 (Liassic brachiopods) in Salzkammergut (Upper Austria). *Gmundner Geo-Studien*, 2, pp. 71–74.
- [35] Dozet, S., Šribar, L. (1997): Biostratigraphy of Shallow Marine Jurassic Beds in Southeastern Slovenia. *Geologija*, 40, pp. 187–221.
- [36] Gaković, M., Tchoumatchenco, P. V. (1994): Jurassic brachiopods from the Dinarides (NE Herzegovina). *Geologica Balcanica*, 24, 3, pp. 13–29.
- [37] Alméras, Y., Rulleau, L., Becaude, M., Thévenard, B. (2007): Les brachiopodes aléniens de La Verpillière (Eperon lyonnais). Paléontologie. Nouvelles données biostratigraphiques. *Cahiers scientifiques - Département du Rhône - Musée des Confluences, Lyon*, 14, pp. 117–147.
- [38] Vörös, A. (1991): *Hierlatzkalk - a peculiar Austro-Hungarian Jurassic facies*. In Lobitzer, H. & Császár, G. (eds.): Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich - Ungarn, 1, pp. 145–154.
- [39] Ruban, D. A. (2009): Brachiopod decline preceded the Early Toarcian mass extinction in the Northern Caucasus (northern Neo-Tethys Ocean): A palaeogeographical context. *Revue de Paléobiologie*, 28, 1, pp. 85–92.
- [40] Vörös, A. (2005): The smooth brachiopods of the Mediterranean Jurassic: Refugees or invaders? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 223, pp. 222–242.
- [41] Ager, D. V. (1965): The Adaptation of Mesozoic Brachiopods to Different Environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1, pp. 143–172.
- [42] Ager, D. V., Walley, C. D. (1977): Mesozoic Brachiopod Migrations and the Opening of North Atlantic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 21, pp. 85–99.
- [43] Bittner, A. (1895): Ueber die Gattung *Rhynchonellina* Gemm. *Jb. k. k. Geol. Reichsanst.*, 44, 3, pp. 547–572 + 2 pl.
- [44] Sandy, M. R. (1995): Early Mesozoic (Late Triassic-Early Jurassic) Tethyan brachiopod biofacies: possible evolutionary intra-phylum niche replacement within the Brachiopoda. *Paleobiology*, 21, 4, pp. 479–495.
- [45] Vörös, A. (2002): Victims of the Early Toarcian anoxic event: the radiation and extinction of Jurassic Koninckinidae (Brachiopoda). *Lethaia*, 35, pp. 345–357.
- [46] Uchman, A., Tchoumatchenco, P. (1994): Remarks on the stratigraphy and brachiopod palaeobiogeography in the Lower Jurassic Hierlatz type limestone facies: the Choc unit, Central Western Carpathians. *Geologica Carpathica*, 45, 4, pp. 195–202.
- [47] Vörös, A. (1993): Jurassic microplate movements and brachiopod migrations in the western part of the Tethys. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 100, pp. 125–145.
- [48] Tišljarić, J., Vlahović, I., Velić, I., Sokač, B. (2002): Carbonate platform megafacies of the Jurassic and Cretaceous deposits of the Karst Dinarides. *Geologia Croatica*, 55, 2, pp. 139–170.
- [49] Radulović, V. (2008): A new Pliensbachian rhynchonellid brachiopod from Livari (Rumija Mountain, Montenegro). *Fossils and strata*, 54, pp. 183–192.
- [50] Radulović, V. (1995): A review of the Lower and Middle Jurassic brachiopod distribution in the Southern Carpatho-Balkan arc and the Yugoslav External Dinarides. *Geologica Carpathica*, 46, 6, pp. 371–377.
- [51] Andrade, B. (2006): Los braquiópodos del tránsito Jurásico Inferior-Jurásico Medio de la Cuenca Lusitánica (Portugal). *Coloquios de Paleontología*, 56, pp. 5–194.

- [52] Graziano, R., Buono, G., Taddei Ruggiero, E. (2006): Lower Toarcian (Jurassic) brachiopod-rich carbonate facies of the Gran Sasso range (central Apennines, Italy). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 45, 1, pp. 61–74.
- [53] Savage, N. M., Manceñido, M. O., Owen, E. F., Dagys, A. S. (2002): Pugnacoidea. In: Kaesler, R. L. (ed.): *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part H, Brachiopoda (Revised), Vol. 4*. Boulder, Colorado & Lawrence, Kansas: Geological Society of America & University of Kansas, pp. 1165–1218.
- [54] Martelli, A. (1906): Brachiopodi del Dogger montenegrino. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 25, 2, pp. 281–319.

Palaeoecological changes through the Sarmatian based on calcareous nannofossils of North Croatia, Central Paratethys

Paleoekološke spremembe v sarmatiju, temelječe na apnenčastih nanofosilih severne Hrvaške, centralna Paratetida

Ines Galović

Croatian Geological Survey, Sachsova 2, 10 000 Zagreb, Croatia

Corresponding author. E-mail: ingalovic@hgi-cgs.hr

Abstract

Seven representative geological sections have been investigated on calcareous nannofossil assemblages at Medvednica Mt. The sections mostly consist of marly sediments. This SW part of the Central Paratethys belongs to the marginal Sarmatian Sea which was connected to the Eastern Paratethys, and linked through the Mediterranean to the Atlantic and towards the Indopacific during the Middle Sarmatian. Biozone succession of the deposits ranges from the upper part of NN6 to NN8 calcareous nannoplankton Zone. Throughout the Sarmatian, the climate was becoming more temperate, with seasonal changes.

Key words: Sarmatian, calcareous nannofossils, biozonation, paleoecology, Medvednica Mt., Central Paratethys

Izvleček

Na gori Medvednici pri Zagrebu je bilo na združbe apnenčastih nanofosilov preiskano sedem reprezentativnih geoloških profilov. Le-te po večini sestavljajo lapornati sedimenti. Ta jugozahodni del centralne Paratetide je v sarmatiju označevalo robno morje, ki je bilo povezano z vzhodno Paratetido in hkrati preko Mediterana z Atlantikom ter med srednjim sarmatijem tudi z Indopacifikom. Zaporedje biocon v sedimentih kaže razpon med zgornjim delom NN6 in NN8 apnenčastega nanoplanktona. V celotnem sarmatiju je klima postajala zmerna s sezonskimi nihanji.

Ključne besede: sarmatij, apnenčasti nanofosili, bioconacija, paleoekologija, gora Medvednica, centralna Paratetida

Investigated area

The investigated area was the SW, S and NE parts of Medvednica Mt. where the following geological sections were systematically sampled: Podsusedsko Dolje (Dol-I), Kostanjek (Kst-I), Markuševac (Mar-I) and Laz Stubički (LSt-I). Additionally three isolated outcrops (Susedgrad – Jarek (Dol-II), Glavnica (Glv) and Donje Orešje (Dor)) have been sampled as well (Figure 1).

Geological setting

First geological information regarding the geological structure and paleontological contents of the Neogene deposits on Medvednica Mt. come from the second half of the 19th century (Brusina – 1884, 1892, 1893; Foetterle – 1861/62; Gorjanović-Kramberger – 1889, 1898; Pilar – 1883; Vukotinović – 1855, 1870, 1874 and others). More detailed biostratigraphic and paleontological research was done in the second half of the 20th century, presented in the works of Kochansky-Devidé (1957, 1973), Šikić (1966, 1967, 1968, 1975), Sokač (1965, 1967, 1972, 1985), Kochansky-Devidé & Bajraktarević (1981), Bajraktarević (1976, 1986), Basch (1990a, b), Šikić (1995) Vrsaljko (1999), Galović (2001) and Galović & Bajraktarević (2006).

In a regional sense, Medvednica Mt. belongs to the Supradinaricum geotectonic unit (Herak, 1986) and represents the northern part of the Inner Dinaride marginal zone (Šikić, 1995).

During the Lower Badenian, the transgression spread over the NE part of Medvednica Mt. and in the Upper Badenian it further progressed over the SW parts. At the end of the Badenian, the Paratethys started to become more isolated, and characterised by some uplift of blocks (Avanić et al., 2003). During the Sarmatian, marine sedimentation still existed but toward the end of the Sarmatian it became less saline due to the reduced connection with the world sea (Galović & Bajraktarević, 2006). During the Pannonian, the central Paratethys became isolated with more fresh-water character.

Paleoecology and Biostratigraphy

The Sarmatian was characterised by strong endemism with numerous endemic taxa (genera and species) including phytoplankton (Jurilj, 1957; Jerković, 1963, 1965; Bajraktarević, 1983a, b; Galović & Young, 2012). The biostratigraphy of the calcareous nannoplankton was investigated in more detail by Jerković (1969), Bajraktarević (1983, 1984), Galović et al. (2000), Galović (2002), Avanić et al. (2003) and Bajraktarević & Galović (2004), Galović & Young (2012).

The beginning of the Sarmatian defined the uppermost part of the NN6 - lower part of the NN7 Zone (Perch-Nielsen, 1985), which was identified on the NE slope of Medvednica Mt. (LSt-I). The boundary of the NN6/NN7 Zone was defined on the NE part of Medvednica Mt. (DOr). It is marked by the last occurrence or absence of *Cyclicargolithus floridanus*,

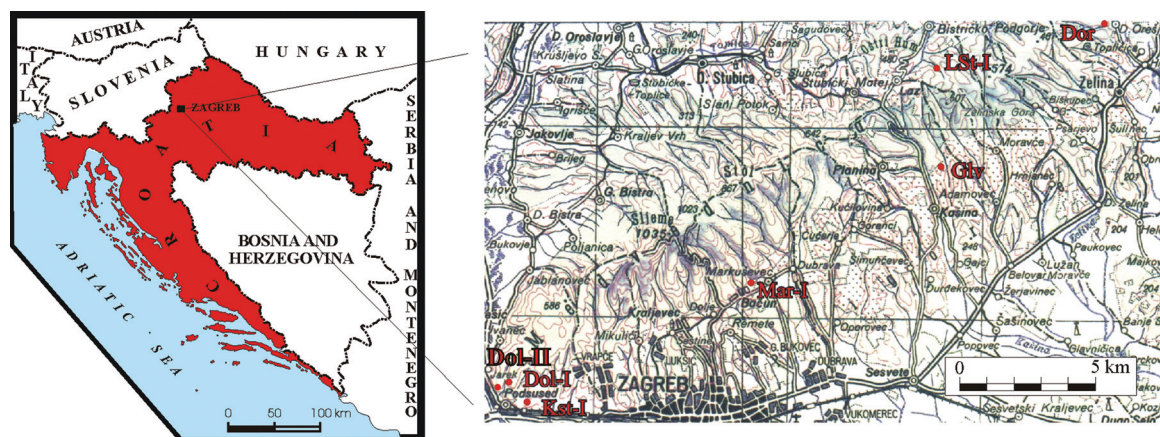


Figure 1: Topographic map of Medvednica Mt. with localities of the investigated area.

which is replaced by abundant appearance of *Reticulofenestra pseudoumbilicus*. It is characterised by the monofloral development of the nannoplankton: *Reticulofenestra pseudoumbilicus* and ascidian spicules (as *Perforocalcinella fusiformis*). Young & Bown (1991) suggested that the monospecific coccolithophore represent blooming in a high-nutrient media. The 'blooms' of species *P. fusiformis* are characteristic for the Sarmatian (Bajraktarević, 1984), but it is also known from Pannonian sediments of Hungary where they have their development in a less saline (2.5–3.8 ‰) environment (Bona & Gal, 1985). It could be explained that the marine environment was under direct influence of river input, what caused a drop of salinity in the upper layers. Furthermore, the beginning or slight changes in climate and/or circulation was recognized on the basis of rare abundance of colder water species *Reticulofenestra pseudoumbilicus gelida* and larger *Calcidiscus leptoporus* (Backman, 1980; Ziveri et al., 2004; Galović & Young, 2012).

The *Discoaster kugleri* – NN7 Zone was identified for the first time in the N, SW and S part of Medvednica Mt. on the following localities/locations: Podsusedsko Dolje, Susedgrad – Jarek, Markuševac, and Laz Stubički. The nannoplankton assemblages of this Zone are characterised by: *Calcidiscus leptoporus*, *C. macintyreii*, *Coccolithus miopelagicus*, *Co. pelagicus*, *Discoaster exilis*, *D. kugleri*, *D. variabilis*, *Reticulofenestra pseudoumbilicus*, *Umbilicosphaera rotula*, and *U. jafari*. The laminated marly sediments of the varve type (dark/pale microlamination in succession) were deposited in the deeper marine part of the semi-enclosed basin where the coccospheres were also preserved (Galović & Bajraktarević, 2006). The near-shore area of the marginal marine zone, where the upwelling occurs (*Co. pelagicus*, *Helicosphaera carteri*), was under the influence of seasonal changes in a more temperate climate. The increased eutrophication caused nannoplankton blooms (Puškarić et al., 1990; Lees et al., 2004). The connections with other marine areas (Eastern Paratethys-*Braarudosphaera bigelowi*, *Reticulofenestra pseudoumbilica*, Mediterranean-*Calcidiscus macintyreii*, *Coccolithus miopelagicus*, and Indopacific-*Discoaster kugleri*, *D. exilis*, *D.*

variabilis) during the Middle Sarmatian are still present but oscillating.

The boundary of the NN7/NN8 Zone has been established in the SW, S, SE and N part of Medvednica Mt. at the following locations: Dolje, Kostanjek, Markuševac and Glavnica. The last occurrence or absence of *Coccolithus miopelagicus* and *Discoaster kugleri* (Martini, 1971; Perch-Nielsen, 1985; Iaccarino et al., 2001; Marunteanu, 1999), the lack of most species representative for the NN7 Zone and the monospecific development of *H. carteri* characterise the nannoplankton boundary. Based on coccolith association with *Braarudosphaera bigelowii* and ascidian spicules the environment appears to have a more near-shore character with the drop of salinity.

In the upper part of the sections (Dol-I, Kst-I, Mar-I) a calcareous nannofossil assemblage belongs to the *Catinaster coalitus* – NN8 Zone on the SW and S part of Medvednica Mt. The first occurrences of *Catinaster coalitus* and *Ca. calyculus* characterise this zone. It consists of *Catinaster coalitus*, *Coronocyclus nitescens*, *Discoaster broweri*, *D. challengerii*, *Reticulofenestra minutula*, *Scyphosphaera apsteinii*, *Sphenolithus abies*, *Sph. neoabies*, *Syracosphaera clathrata*. The environment belongs to the basinal part of the hemipelagial development (*Syracolithus schilleri*, *Sphenolithus*). The sedimentation was generated from suspension in a low energy environment (bentonite clay), and many species from Eocene, lower Miocene and Badenian are found in it. A drastic decrease of both individuals and species diversity at the end of the Sarmatian is probably the result of a lower salinity, more near shore influence, and, possibly, a change in the water chemistry that occurred in the marginal seas or locally in enclosed bays. Because of specific conditions (seasonality, high carbonate content and depth lower than 100 m) this could be the reason of relatively good preservation of *Catinaster coalitus* species.

Conclusion

The lower Sarmatian part (upper part of the NN6 - lower part of the NN7 Zone), is identified on the NE slope of Medvednica Mt., characterising shallow and more endemic developments because of possible river influence. During the Sarmatian (NN7 - NN8 Zone), in the area of Medvednica Mt., the climate becomes more temperate, with seasonal changes (varve type of sediments) and with a more transgressive than regressive trend (oscillations of the sea-level). For the first time the NN8 Zone with *Catinaster coalitus* has been detected in this part of the investigated area, which belongs to the marginal Paratethian Sea. At the end of the Sarmatian the connections with other oceans became weaker, salinity decreased, and the more near shore development became predominant. The connections with Eastern Paratethys which was linked with the Mediterranean Sea oscillated and existed until their ends.

Acknowledgements

This article is a part of the Master thesis which was done within the Project Basic Geological Map of the Republic of Croatia 1 : 50 000 at the Croatian Geological Survey, Zagreb, funded by the Ministry of Science, Education and Sports. The successful outcome of broader investigations would not be possible without the supervision of Prof. Dr. Jernej Pavšič. I am more than grateful to him for believing in me and helping in my professional development.

References

- Avanić, R. (1997): *Analiza facijesa srednjeg miocena jugoistočnog dijela Medvednice*. Master Thesis, Faculty of Science, University of Zagreb, p. 54.
- Avanić, R., Kovačić, M., Pavelić, D., Miknić, M., Vrsaljko, D., Bakrač, K., Galović, In. (2003): *The Middle and Upper Miocene Facies of Mt. Medvednica (Northern Croatia)*. 22nd IAS Meeting of Sedimentology-Opatija. Institute of Geology, Zagreb, Croatia, 167–172.
- Backman, J. (1980): Miocene-Pliocene nannofossils and sedimentation rates in the Hatton-Rockall Basin, NE Atlantic Ocean. *Stockholm Contributions in Geology*, 36, 1–91.
- Bajraktarević, Z. (1976): O pretaloženoj tortonskoj i sarmatskoj foraminiferskoj fauni Markuševca kod Zagreba. *Geol. Vjesnik*, 29, 379–387.
- Bajraktarević, Z. (1983a): Usporedba kremičnog nanoplanktona tzv. tripolija Beočina i JZ Medvednice. *Rad JAZU*, 404, 69–74.
- Bajraktarević, Z. (1983b): Middle Miocene (Badenian and Lower Sarmatian) Nannofossils of Northern Croatia. *Palaeont. jugosl.*, 30, 5–23.
- Bajraktarević, Z. (1984): The Application of Microforaminiferal Association and Nannofossils for Biostratigraphic Classification of the Middle Miocene of North Croatia. *Acta Geol.*, 14, 1, 1–34.
- Bajraktarević, Z., Blašković, I., & Polšak, A. (1986): *Tripoli-stratigrafski položaj, paleontološka i sedimentološka obilježja u području Tethysa*. 11. Kongr. Geol. Jugosl. Tara 2.
- Bajraktarević, Z., & Galović, In. (2004): *Sarmatian calcareous nannofossil zonation of Mt Medvednica (NW Croatia, Paratethys)*. 10th Conference of the International Nannoplankton Association, Lisbon, Portugal. Cambridge Univ. Press, UK, 5.
- Basch, O. (1990a): Neue oberpontische Molluskenarten aus der Bohrung in Tal des Flusses Krapina Gebiet von Hrvatsko Zagorje, Nordwestkroatien. *Geol. Vjesnik*, 43, 7–13.
- Basch, O. (1990b): Cardiidae (Mollusca, Lamellibranchiata) der Pontischen Stufe in Kroatien. *Paleont. jugosl.*, 39, 1–158.
- Brusina, S. (1884): Die Fauna der Congerienschichten von Agram in Kroatien. *Beitr. Pal. Oesterr.-Ung. Or.*, 3, 125–187.
- Brusina, S. (1892): Fauna fossile terziaria di Markuševac in Croazia, con elenco delle Dreissensidae della Dalmazia, Croazia e Slavonia. *Glasn. Hrv. naravosl. društva*, 7, 113–210.
- Brusina, S. (1893): *Sur le découverte d'une nouvelle fauna dans les couches tertiaires a Congeria des environs de Zagreb (Agram) et sur ses relations avec la faune récente de la mer Caspienne*. Congr. Inter. Deuxieme Sess., Deuxieme partie, Moscou - 1892, 185–193, Moscou.
- Foetterle, F. (1861/62): Aufnahmen im nordwestlichen Kroatien. *Reichsanst.*, 12, 1, 82–83.
- Galović, In., Miknić, M., Vrsaljko, D., Benić, J. (2000): Stratigraphy of the Markuševac column (Mt. Medvednica, Croatia). *PANCARDI Dubrovnik, Vijesti HGD*, 37, 3 (Spec. Issue), 44.

- Galović, In. (2002): *The Sarmatian paleoecology based on diatoms and calcareous nannoplankton (Kostanjek, Mt. Medvednica, Croatia)*. The Third International Congress "Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology" EMMM- Vienna, Austria, 80–81.
- Galović, In., Bajraktarević, Z. (2006): Sarmatian biostratigraphy of the Mt. Medvednica at Zagreb based on siliceous microfossils (North Croatia, Central Paratethys). *Geologica Carpathica*, 57, 199–210.
- Galović In., Young, J. (2012): Revised taxonomy of some Middle Miocene calcareous nannofossils in the Paratethys. *Micropaleontology*, 58, 4, 305–334.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1889): Berichtigung bezüglich Ceratoconcha costata aus dem Miozän von Podsed. *Verh. Geol. Reichsanst.*, 6, Wien.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1898): Das Tertiär des Agramer Gebirges. *Jahrb. Geol. Reichsanst.*, 47, 3–4.
- Herak, M. (1986): A new concept of geotectonics of the Dinarides. *Acta. Geol.*, 16, 1, 1–42.
- Iaccarino, S. M., Foresi, L. M., Mazzei, R., Salvatorini, G. (2001): Calcareous plankton biostratigraphy of the Miocene sediments of the Tremiti Islands (S Italy). *Rev. Espanola de Micropaleontologia*, 33, 2, 237–248.
- Jerković, L. (1963): Sur un nouveau type de Silicoflagellidé fossile, Deflandryocha nov. gen. A cornes radiales spatulées. *C. R. Acad. Sc.*, 256, 2202–2204.
- Jerković, L. (1965): Sur quelques silicoflagellides de Yougoslavie. *Rev. Micropal.*, 3, 121–130.
- Jerković, L. (1969): Fosilne silicoflagellidae okoline Zagreba, Bosanske Kostajnice i Dervente (Jugoslavija), *Geol. Biol. Inst. Univ., Sarajevo*, 22, 21–127.
- Jurilj, A. (1957): Dijatomeje Sarmatskog mora okoline Zagreba. *Acta Biologica*, 1, 5–134.
- Kochansky – Devidé, V. (1957): Über die Fauna des marinen Miozäns und über den tortonischen Schlier von Medvednica, Zagreber gebirge. *Geol. vjesnik*, 10, 39–50.
- Kochansky – Devidé, V. (1973): Prilozi paleontologiji i biostratigrafiji neogena Medvednice. *Geol. vjesnik*, 25, 299–302.
- Kochansky – Devidé, V., & Bajraktarević, Z. (1981): Miocen (baden i sarmat) najzapadnijeg ruba Medvednice. *Geol. vjesnik*, 33, 43–48.
- Lees J. A., Bown P. R., Young J. R., Riding J. B. (2004): Evidence for annual records of phytoplankton productivity in the Kimmeridge Clay Formation coccolith stone bands (Upper Jurassic, Dorset, UK). *Marine Micropaleontology*, 52, 29–49.
- Martini, E. (1971): *Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation*. Proc. 2. Plank. Conf., 739–785.
- Mărunteanu, M. (1999): Litho- and Biostratigraphy (calcareous nannoplankton) of the Miocene deposits from the outer Moldavides. *Geol. Carpathica*, 504, 313–324.
- Perch-Nielsen, K. (1985): *Silicoflagellates. Plankton stratigraphy*. Cambridge Earth Sci., UK, Ser. 2, 811–846.
- Pilar, Đ. (1883): Flora fossilis Susedana, Djela JAZU 4, VIII–63.
- Puškarčić, S., Berger, G.W., Jorissen, F. (1990): Successive appearance of subfossil phytoplankton species in Holocene sediments of the Northern Adriatic and its relation to the increased eutrophication pressure. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 177–187.
- Sokač, A. (1965): Die Pannonische und Pontische Ostracoden fauna von Medvednica. *Bull. Sci. Cons. Acad. Yougosl.*, 10, 5.
- Sokač, A. (1967): Pontische Ostracodenfauna an den südöstlichen Abhängen der Zagrebačka gora. *Geol. vjesnik*, 20, 63–86.
- Sokač, A. (1972): Pannonian and Pontian Ostracode Fauna of Mt. Medvednica. *Palaeont. Jugosl.*, JAZU, Zagreb, 11, 9–140.
- Sokač, A. (1985): Das Pannonien in Croatien. Chronostratigraphie und Neostatotypen 7, M6 Pannonien. Akad. Kiado, Budapest, 89–95.
- Šikić, K. (1995): *Geološki vodič Medvednice*. IGI-INA, Zagreb, 199.
- Šikić, L. (1966): New concepts of the age of hitherto existing Burdigalian and Upper Oligocene deposits in the Zagrebačka gora. *Bull. Sci. Cons. Acad. Jugosl.*, 11, 10–12.
- Šikić, L. (1967): Torton und sarmat des südwestlichen Teils der Medvednica auf Grund der Foraminiferenfaunen. *Geol. vjesnik*, 20, 127–135.
- Šikić, L. (1968): Über die Miozänstratigraphie des nordöstlichen Teiles des Medvednica Gebirges auf Grund der Foraminiferenfaunen. *Geološki vjesnik*, 21, 213–227.
- Šikić, L. (1975): Semseya lamellata Franzén, 1893, provodna foraminifera donjeg sarmata. *Geol. vjesnik*, 28, 143–151.
- Šimunić, An., & Šimunić, Al. (1987): Rekonstrukcija neotektonskih zbivanja u sjeverozapadnoj Hrvatskoj na temelju analize pontskih sedimenata. *Rad JAZU*, 431, 155–177.

- Vrsaljko, D. (1999): The Pannonian Palaeoecology and Biostratigraphy of Molluscs from Kostanjek-Medvednica Mt., Croatia. *Geologia Croatica*, 52, 1, 9–27.
- Vukotinović, Lj. (1855): Sitzungen der k.k. Geologischen Reichsanstalt. Sitzung am 9. Jänner 1855. Izvještaj o tercijarnim naslagama između Zagreba i Podsuseda u Hrvatskoj. *Jahrb. Geol. Reichsanst.*, 6, 1.
- Vukotinović, Lj. (1870): O petrefaktih (okaminah) u opće i o podzemskoj fauni i flori Susedanskih lapora. *Rad JAZU*, 13.
- Vukotinović, Lj. (1874b): Die Tertiärschichten in der Umgebung Agrams. *Jahrb. Geol. Reichsanst.*, 24, 3.
- Zivieri, P., Baumann K. H., Böckel, B., Bollmann, J., Young J. R. (2004): *Biogeography of selected Holocene coccoliths in the Atlantic Ocean. Coccolithophores From Molecular Processes to Global Impact*. Editors: H. R. Thierstein, J. R. Young Berlin: Springer, p. 403–453.

Ostanki zob piknodontnih rib (Actinopterygii, Pycnodontidae) iz krednih plasti Mrzleka pri Solkanu (Slovenija)

Pycnodont fishes teeth (Actinopterygii, Pycnodontidae) from Cretaceous site Mrzlek (Solkan, Slovenia)

Matija Križnar

Prirodoslovni muzej Slovenije, Prešernova 20, 1001 Ljubljana, Slovenija

Corresponding author. E-mail: mkriznar@pms-lj.si

Izvleček

Prispevek obravnava ostanke zob piknodontnih rib iz najdišča pri Mrzleku blizu Nove Gorice. Iz krednih (verjetno albijsko-cenomanijskih) plasti smo opisali in predstavili ralnik (vomer) cf. *Polazzodus* sp., zobno ploščo cf. *Coelodus* sp. in nekatere nedoločljive ostanke zob piknodontnih rib.

Ključne besede: ribe, kreda, ploščasti apnenci, Solkan, *Polazzodus*, *Coelodus*

Abstract

From an abandoned quarry at Mrzlek fossil fish site, near Solkan at Nova Gorica remains of pycnodont fishes are described. Cretaceous platy limestone is probable Albian-Cenomanian in age. The fossil material comprises a vomer cf. *Polazzodus* sp., a right prearticular cf. *Coelodus* sp. and a few unidentifiable pycnodont remains.

Key words: fishes, cretaceous, platy limestone, Solkan, *Polazzodus*, *Coelodus*

Uvod

Ostanki krednih rib s Krasa so znani že skoraj dve stoletji. Prvi zapisi o fosilnih ribah v okolici Komna segajo v leto 1825 (Križnar, 2013). Sredi 19. stoletja so paleontološke raziskave sistematično začeli izvajati avstro-ogrski geologi, med katerimi sta bila Johann Jakob Heckel in Rudolf Kner. Oba sta preučevala kredne ribje ostanke iz najdišč v okolici Komna, Gorjanskega, Volčjega Gradu in drugod. Zadnje večje delo o krednih ribah s Krasa so objavili Cavin s sodelavci (2000). Najdišče pod Sveto Goro (tudi Skalnica), poznano tudi kot Mrzlek (slika 1), najdemo okoli leta 1863 (Kner, 1863).

Dosedanje raziskave najdišča Mrzlek in okolice

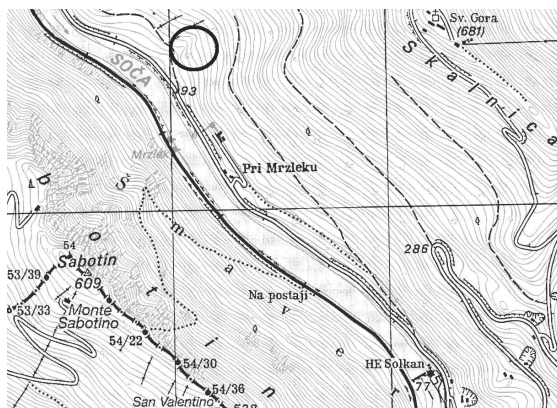
Nahajališča krednih rib v okolici Solkana pri Novi Gorici med prvimi omenja Kner (1863: 128). Iz kamnoloma (slika 2) nad cesto pod Sveto Goro (verjetno gre za najdišče Mrzlek) oziroma kot piše Kner: »aus Steinbruche am Monte sancto oberhalb der strasse im Isonzothale ...«. Kner od tu opisuje ribo *Amiopsis prisca*. Dobro ohranjene ostanke krednih rib iz Mrzleka je opisal Gorjanovič-Kramberger (1895: 49), od tod opisuje vrste *Amiopsis prisca*, *Ancylostylos gibbus*, *Aspidorhynchus Mts. Sancti**, *Belonostomus Matteuzzi**, *Clupea Gaudryi**, *Coelodus latus*, *Coelodus rostratus* (slika 3) in *Opsigonus squamosus*. Iz istih plasti pod Sveto Goro opisuje Stache (1905) kredno želvo *Santiochelys cretacea*. D'Erasmus (1946) v svojem delu o komenskih krednih ribah omenja in prikaže tudi vrsto *Opsigonus squamosus* iz Mrzleka (D'Erasmus, 1946: 21).

Calligaris (1992) pri pregledu krednih rib s Krasa, ki so shranjene v Tržaškem muzeju, omenja tri primerke rib *Diplomystus brevissimus* iz najdišča Mrzlek. Najstarejši primerek je bil najden leta 1899 (Calligaris, 1992: 95), druga dva pa sta bila podarjena muzeju leta 1984 (Calligaris, 1992: 95). Isti raziskovalec leta 1994 omenja in prikazuje nekatere najdbe iz Mrzleka, med katerimi je tudi slika kredne želve *Santiochelys cretacea* (Calligaris, 1994: 13).

Najdišče Mrzlek omenjajo tudi Dalla Vecchia s sodelavci (2007), ko opisujejo primerke rodu

Amiopsis iz italijanskega najdišča pri Vidmu/Udinah (Dalla Vecchia s sod., 2007: 47). O novih najdbah krednih rib iz rodov *Armigatus*, *Notagodus*, *Ancylostylos* (?) ter o posameznih najdbah zob piknodontnih rib obširno poročajo KRIŽNAR s sodelavci (2008). Križnar (2010) ponovno poroča o najdbah krednih rib iz Mrzleka, kjer je enega izmed odlično ohranjenih primerkov pripisal vrsti *Armigatus brevissimus*. Drugi delno ohranjen primerek je pripisal rodu *Berycopsis* (Križnar, 2010). Iz neznanega najdišča pri Solkanu prihaja tudi del skeleta piknodontne ribe, ki sta ga predstavila Križnar in Jeršek (2012: 11) in je del geološke zbirke Antona Bianchija, ki jo hrani Prirodoslovni muzej Slovenije.

*uporabljamo dosledne prepise vrst GORJANOVICA-KRAMBERGERJA (1895). Niso usklajeni s predpisi ICZN.



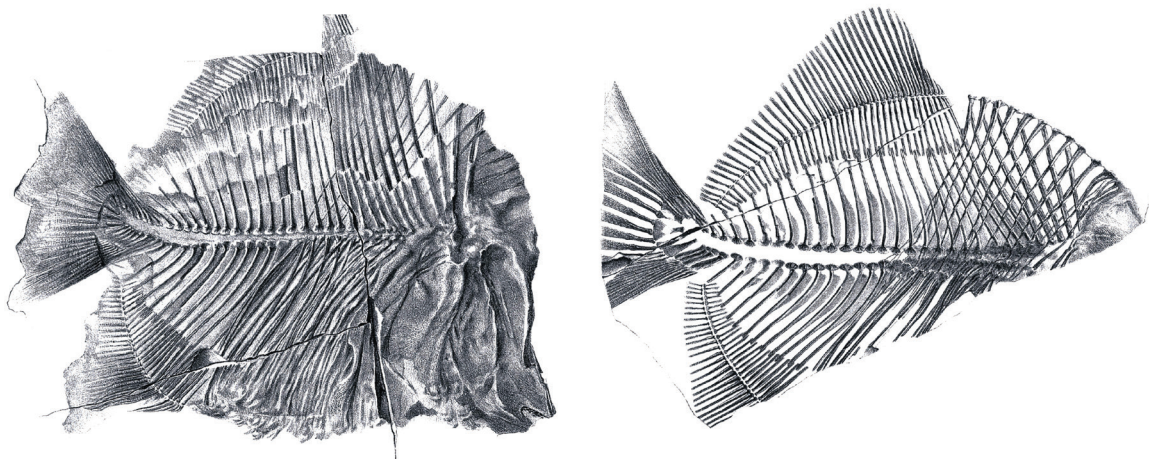
Slika 1: Geografski položaj najdišča in opuščenega kamnoloma pri Mrzleku (obkroženo)

Vir: Državna topografska karta, Geodetska uprava Republike Slovenije



Slika 2: Odval izkapanega ploščatega apnenca v opuščenem kamnolomu pri Mrzleku

Fotografija: Matija Križnar



Slika 3: Ilustraciji dveh piknodontnih rib iz Mrzleka. Po Gorjanović-Kramberger (1895)

Stratigrafska umestitev najdišča Mrzlek

Starost krednih plasti pod Sveto Goro, pri najdišču Mrzlek, še vedno ni natančno opredeljena. Že Stache (1905) in Kossmat (1909) uvrščata ribjo favno v spodnjo kredo. Kossmat (1909: 94) piše, da ploščasti apnenec z ostanki rib (po Kossmatu »*Fischschiefer vom Mrzlek*«) leži na bazalnem delu krednih plasti. Buser in Turnškova (1966: 530–531) sta plasti pri Mrzleku uvrstila v albijsko-cenomanijsko starost. Pleničar in Buser (1967: 148) pišeta, da se ploščasti apneneci z ribjimi ostanki pojavljajo v spodnjem delu krednih plasti, torej bi jih lahko uvrstili v albij. Enakega mnenja je tudi Buser (1973), ki debelino ploščastega apnenca ocenjuje na 30 metrov. Pleničar (2009: 266) piše, da so ostanke rib našli v srednjem delu albijskih temnosivih ploščastih apnenčevih skrilavcev. Na nekoliko drugačni združbi najdenih ribjih ostankov iz Mrzleka v primerjavi z drugimi krednimi najdišči (in njihovimi združbami) na Krasu (okolica Komna in Sežane) je opozoril tudi Križnar (2010). Povezave med stratigrafijo Mrzleka in najdišči ribje favne iz Komenskega apnenca (Povirska formacija), ki jo opisuje Jurkovšek s sodelavci (2013), ne moremo potrditi, saj se tudi litološko nekoliko razlikujeta.

Paleontološki del

Sistematika po: Poyato-Ariza, (2010); Capasso et al., (2009)

Classis Osteichthyes Huxley, 1880

Subclassis Actinopterygii Cope, 1887

Divisio Halecostomi Regan, 1923, sensu Patterson, 1973

Ordo Pycnodontiformes Berg, 1937

Subordo Pycnodontoidei Nursall, 1996

Familia Pycnodontidae Agassiz, 1833, sensu Nursall, 1996

Genus *Polazzodus* Poyato-Ariza, 2010

cf. *Polazzodus* sp.

(Sl. 4, A-C)

cf. 1999 *Coelodus* sp. 2 – Kriwet, 229, sl. 8

cf. 2004 »Pycnodontid indet.« - Bonde, 517, sl. 10 B

cf. 2004 Pycnodontiformes, »Dentatura vomerina« - Dalla Vecchia in Tentori, 59, sl. 53

Material

Zobna plošča ralnika (vomer) na površini kamnite ploščice. Zobje so naravno izluženi.

Opisi

Zobna plošča je sestavljena iz zob, razporejenih v pet nizov. Glavni (sredinski) niz ima 6 zob. Oblika zob je trapezaste (prvi trije) in trikotne oblike (zadnji trije). Največji zob ima širino 1,2 mm, drugi so manjši. Stranski (lateralni) niz, notranji parni niz ima na eni strani ohranjenih 5 zob, na drugi pa 4 zobe. Oblike zob so ovalne in v dolžino razpotegnjenih oblik. Zunanji niz (niz na skrajnem robu) ima ohranjene 3

in 4 zobe. Ti zobje so razpotegnjeni v dolžino. Vsi zobje v nizih so simetrično razporejeni. Vsi zobje imajo gladke površine kron.

Primerjava

Kljub dobremu poznanju in pogostih najdbah piknodontnih rib po vsem svetu je določevanje oziroma natančnejša taksonomska opredelitev pri zobnih ploščah ralnikov problematična (parataksonomija). V reviziji piknodontnih rib Poyato-Ariza in Wenz (2002) pišeta, da imajo piknodontne ribe v ploščah ralnikov tri ali pet nizov (Poyato-Ariza in Wenz, 2002: 172). Če primerjamo naš ostanek, jih lahko uvrstimo v drugo skupino s petimi nizi. Avtorja v tabeli prikazujeta tudi rodove in vrste, ki vsebujejo enako število nizov. Podobne starosti kot zobje pri Mrzleku lahko izločimo *Coelodus saturnus*, *Nursallia gutturosum*, *Ocloedus subdiscus* in rod *Tepexichthys*. Glede na obliko zob smo izločili rod *Coelodus* (Poyato-Ariza in Wenz, 2002) in *Ocloedus* (Kriwet s sod., 1999). Preostalih nam ni uspelo preveriti, saj so nekatere slike v publikaciji zelo nerazločne.

Kriwet (1999) prikazuje risbo ralnika *Coelodus* sp. 2 (Kriwet, 1999: 229) z zelo podobno razporeditvijo in obliko zob iz spodnjekrednih plasti najdišča Uña v Španiji. Iz podobno starih plasti najdišča Robbedale na Danskem prikazuje Bonde (2004) nedoločene piknodontne zobe ralnika. Velikost in oblika danskega primerka (Bonde, 2004: 517, sl. 10B) se dobro ujema s primerkom iz Mrzleka.

Najbolje se primerek iz Mrzleka (slika 4 A–C) ujema s primerkom, ki ga objavlja Dalla Vecchia in Tentori (2004) na sliki 53 iz najdišča Polazzo blizu Devina pri Trstu (Italija), čeprav ima naš primerek manjše število zob. Ta ostanek je kasneje opisal in natančneje raziskal Poyato-Ariza (2010). Pripisal ga je novi vrsti *Polazzodus coronatus* (Poyato-Ariza, 2010: 657, sl. 5D).

Stratigrafska in geografska razširjenost

Rod *Polazzodus* (in vrsta *P. coronatus*) se pojavlja le v santoniju (pozna kreda), medtem ko naj bi bili fosili iz Mrzleka starejši.

Genus *Coelodus* Heckel, 1854

cf. *Coelodus* sp.

(sl. 4, E)

cf. 1997 *Coelodus saturnus* – Schultz et al., 98, sl. 11

cf. 2004 *Pycnodontiformes* – Dalla Vecchia in Tentori, 59, sl. 52

Material

Zobna ploščica z nekaj zobmi (verjetno desna preartikularna plošča).

Opis

Na manjši ploščici je ohranjena zobna plošča z 8 vidnimi zobmi. Preartikularna zobna plošča je verjetno iz desne čeljustnice. Najbolje ohranjen je glavni niz z največjimi zobmi. Površina zob je ravna, brez vidnih vdolbin in vozličev.

Primerjava

Ostanki zobne plošče in oblike najbolj spominjajo na zobne plošče rodu *Coelodus*. Zaradi nezadostne ohranjenosti smo primerek interpretirali kot cf. *Coelodus* sp., saj se slednji rod zelo pogosto pojavlja v fosilni združbi Mrzleka (Gorjanović-Kramberger, 1895).

Stratigrafska in geografska razširjenost

Rod *Coelodus* je pogost v pozni kreda (Poyato-Ariza in Wenz, 2002).

Pycnodontidae gen. et sp. indet. A

(sl. 4, D)

Material

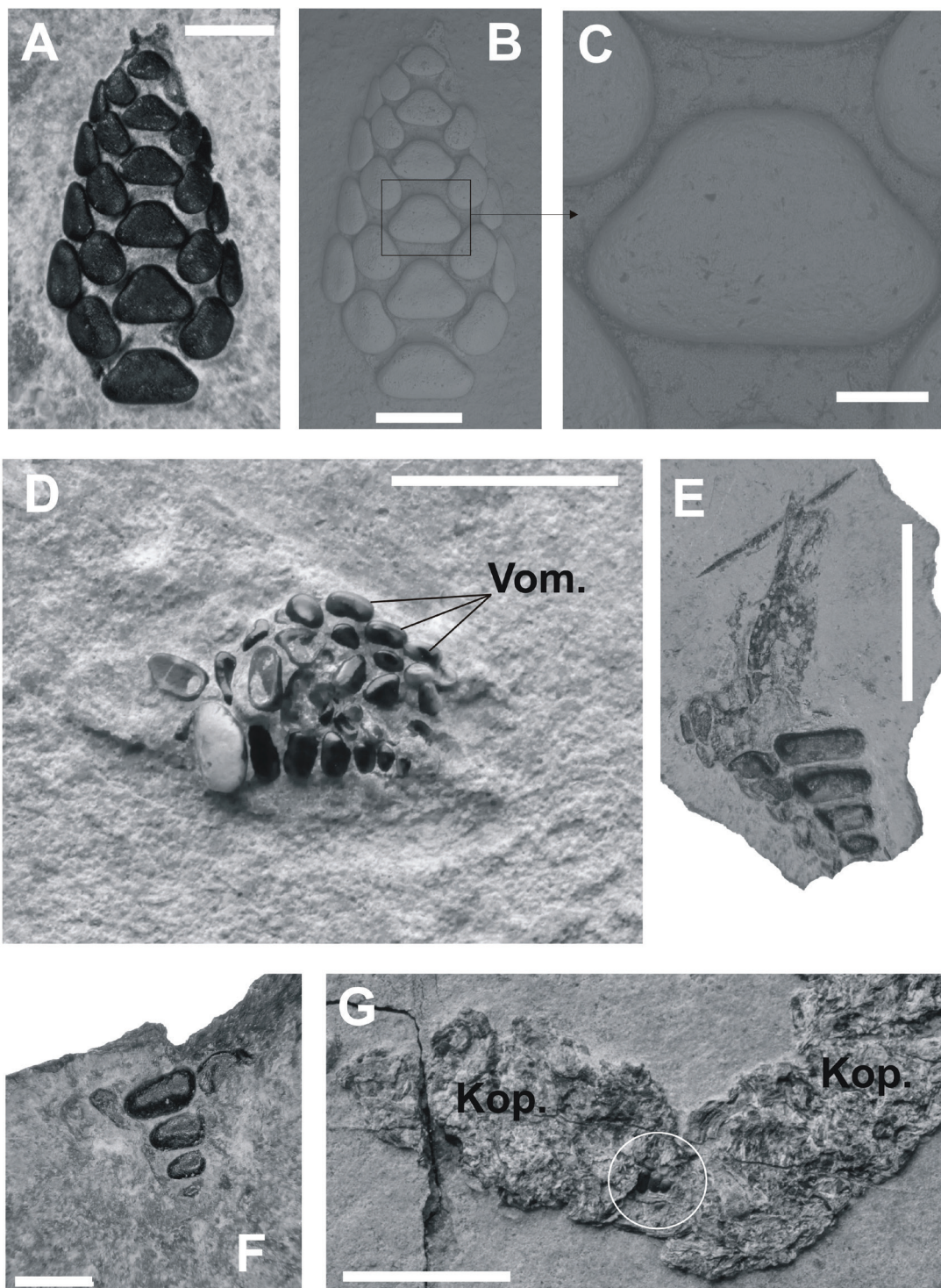
Nakopičenje dobro vidnih okoli 25 zob piknodontne ribe.

Opis

Zobje so naravno izluženi na površini kamnite plošče. Nekateri zobje so poškodovani. Med ostanki lahko izločimo le nekaj zob ralnika (vomer), ki izhajajo iz zunanega niza ralnika. Površine zobnih kron so ravne in gladke. Največji zob je dolg približno 2 mm.

Pycnodontidae gen. et sp. indet. B

(sl. 4, F–G)



Slika 4: Ostanke piknodontnih rib iz najdišča Mrzlek

A–C: cf. *Polazzodus* sp., zobna plošča ralnika (vomer). A - zobna plošča na površini plošče, pogled z vrha. Merilo 1 mm.

B - zobna plošča, slikana pod elektronskim mikroskopom. Merilo 1 mm. C - Detajl zoba iz zobne plošče. Merilo 0,2 mm.

E: cf. *Coelodus* sp., zobna plošča (preartikularna plošča), pogled v vrha. Merilo 5 mm.

D: *Pycnodontidae* gen. et sp. indet. A, nakopičenje zob piknodontne ribe. Merilo 5 mm. Vom. – zobje ralnika (vomer).

F–G: *Pycnodontidae* gen. et sp. indet. B, različni ostanke zob piknodontnih rib (G-obkroženo). Merilo 1 mm (F) in 5 mm (G). Kop. – ostanke koprolita.

Fotografije: M. Križnar in M. Miler. Primerke hrani Prirodoslovni muzej Slovenije

Material

Dva primerka delno ohranjenih zobnih plošč.

Opis: Prvi primerek (slika 4 F) so delno izluženi štirje zobje. Natančen položaj v čeljusti ni mogoče determinirati. Drugi primerek (slika 4 G) je zobna plošča, ohranjena v koprolitu. Vidnih je pet zob, ki imajo gladke krone. Primerek je izjemno majhen, zato je tudi natančnejša taksonomska opredelitev nemogoča.

Sklepi

Piknodontne ribe iz najdišča Mrzlek so znane že več kot stoletje. Med novejšimi pregledi opuščenega kamnoloma in posameznih izkopov smo našli in opisali pet različnih zob in zobnih plošč piknodontnih rib. Nobenega izmed opisanih ostankov nam ni uspelo zanesljivo določiti. Dva ostanka smo določili kot cf. *Polazzodus* sp. in cf. *Coelodus* sp. Na osnovi določenih ribjih ostankov nam ni uspelo opredeliti starosti plasti pri Mrzleku. Tako poleg določitve starosti ostaja tudi naloga ponovne revizije drugih zbranih fosilnih ostankov rib in dodatnih geoloških raziskav.

Zahvala

Zahvaljujemo se dr. Milošu Milerju za pomoč in fotografiranje nekaterih ostankov pod elektronskim mikroskopom na Geološkem zavodu Slovenije.

Viri

- Bonde, N. (2004): *An Early Cretaceous (Ryazanian) fauna of "Purbeck-Wealden type" at Robbedale, Bornholm, Denmark*. V: Arratia G. & Tintori A. (ured.): *Mesozoic Fishes 3 – Systematics, Paleoenvironments and Biodiversity* (München), 507–528.
- Buser, S. (1973): Tolmač lista Gorica (L 33–78). Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100.00, *Zvezni geološki zavod (Beograd)*, 1–55.
- Buser, S., Turnšek, D. (1966): Razvoj spodnjekrednih skladov ter meja med juro in kredo v zahodnem delu Trnovskega gozda. *Geologija*, 9, 527–548.
- Calligaris, R. (1992): I pesci fossili dei calcari ittiolitici di Comen e di facie a questa correlabili conservati nelle collezioni del Museo civico di Storia Naturale di Trieste. *Atti Museo Civico di Storia Naturale di Trieste*, 44, 57–111.
- Calligaris, R. (1994): 95 milioni di anni fa : il periodo cretacico attraverso i fossili di Comeno ed altri reperti del Carso. *Museo civico di Storia Naturale di Trieste*, 1–24.
- Capasso, L. L., Abi Saad, P. & Taverne, L. (2009): *Nursallia tethysensis* sp. nov., a new pycnodont fish (Neopterygii: †Halecostomi) from the Cenomanian of Lebanon. *Bulletin de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique, Sciences de la Terre (Brussels)*, 79, 117–136.
- Cavin L., Jurkovšek, B., Kolar - Jurkovšek, T. (2000): Stratigraphic succession of the Upper Cretaceous fish assemblages of Kras (Slovenia). *Geologija*, 43, 2, 165–195.
- Dalla Vecchia, F. M., Colletto, A. (2007): *Amiopsis* (Amiiformes, Osteichthyes) nel Cretaceo inferiore delle Prealpi Giulie (Udine, Friuli). *Gortania. Atti Museo Friulano di Storia Naturale (Udine)*, 29, 29–50.
- Dalla Vecchia, F. M., Tentor M. (2004): *Il Carso 85 milioni di anni fa: gli straordinari fossili di Polazzo*. Gruppo Speleologico Monfalconese A.d.F. (Monfalcone), 1–78.
- D'Erasmus, G. (1946): *L'ittiofauna cretacea dei dintorni di Comeno, nel Carso triestino*. Atti della Reale Accademia delle Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali di Napoli (Napoli), 2, 1–136.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1895): Fosilne ribe Komena, Mrzleka, Hvara i M. Libanona. *Djela Jugosl. akad. znanosti i umjetnosti (Zagreb)*, 16, 1–67.
- Jurkovšek, B., Cvetko Tesović, B., Kolar-Jurkovšek, T. (2013): *Geologija Krasa*. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Kner, R. (1863): Über einige fossile Fische aus den Kreide- und Tertiärschichten von Comen und Podsused. - Sitzber. *Akad. Wiss., Math.-naturw. Cl. (Wien)*, 48, 1, 126–148.
- Kossmat, F. (1909): Der kuestenlaendische Hochkarst und seine tektonische Stellung. *Verh. d. Geol. R.A. (Wien)*, 4/5, 85–124.
- Kriwet, J. (1999): *Pycnodont fishes (Neopterygii, †Pycnodontiformes) from the upper Barremian (Lower Cretaceous) of Uña (Cuenca Province, E-Spain) and branchial teeth in pycnodontid fishes*. V: Arratia, G. & Schultze, H.-P. (ured.): *Mesozoic Fishes 2 - Systematics and the fossil record* (München) 215–238.
- Kriwet, J., Poyato-Ariza, F. & Wenz, S. (1999): A revision of *Coelodus subdiscus* Wenz, 1989 (Neopterygii, Pycnodontiformes) from the Early Cretaceous of Montsec de Rubies (Lérida). *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona (Barcelona)*, 8, 33–65.

- Križnar, M. (2013): O prvih najdbah krednih rib na Krasu. *Proteus*, 75, 5, 225–227.
- Križnar, M. (2010): *Kredne ribe Mrzleka*. 3. Slovenski Geološki Kongres – povzetki in ekskurzije – dodatek (Bovec), Dostopno na svetovnem spletu: http://piir.zrc-sazu.si/sites/default/files/SGK3_povzetki.pdf.
- Križnar, M. & Jeršek, M. (2012): Anton Bianchi in njegova zbirka fosilov, mineralov in kamnin. *Scopolia*, 76, 1–63.
- Križnar, M., Žalohar, J., Hitij, T. (2008): Nove najdbe krednih rib izpod Svete gore. *Proteus*, 71, 4, 177–180.
- Pleničar, M. (2009): *Kreda*. V: Pleničar, M., Ogorelec, B. & Novak, M. (ured.): *Geologija Slovenije*, Geološki zavod Slovenije, 265–267.
- Pleničar, M. & Buser, S. (1967): Kredna makrofavna Trnovskega gozda. *Geologija*, 10, 147–160.
- Poyato-Ariza, F. J. (2010): *Polazzodus*, gen. nov., a new pycnodont fish from the Late Cretaceous of northeastern Italy. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 30, 3, 650–664.
- Poyato-Ariza, F. J., Wenz, S. (2002): A new insight on pycnodontiform fishes. *Geodiversitas*, 24, 1, 139–248.
- Schultz, O., Paunović, M. & Summesberger, H. (1997): Der Nachweis von *Coelodus* (Osteichthyes, Pycnodontidae) im Turonien (Oberkreide) von Gams bei Hieflau, Steiermark, Österreich, und aus der Oberkreide von Kroatien und Italien. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien, Serie A*, 98, 73–141.
- Stache, G. (1905): *Sontiochelys*, ein neuer Typus von Lurchschildkröten (Pleurodira) aus der Fischezone der unteren Karstkreide des Monte Santo bei Görz. *Verhandlungen der Kaiserlich-Königlichen Geologischen Reichsanstalt*, 13, 285–292.

Ammonites from Mt Kobra (Julian Alps, NW Slovenia) and their significance for precise dating of Pliensbachian tectono-sedimentary event

Amoniti s Koble (Julijske Alpe, SZ Slovenija) in njihov pomen pri natančnem datiranju pliensbachijskega tektonsko-sedimentarnega dogodka

Boštjan Rožič^{1,*}, Federico Venturi², Andrej Šmuc¹

¹Department of Geology, Faculty for Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenia

²University of Perugia, Earth Science Department, Piazza Università 1, 06123 Perugia, Italy

*Corresponding author. E-mail: bostjan.rozic@ntf.uni-lj.si

Abstract

Although ammonites serve as index fossils in the Jurassic, their discovery in the area of present-day Slovenia are rare, with only three locations having been studied in greater detail. Here we presented ammonites from a newly discovered site at Mt Kobra on the eastern Bohinj Range. The site is located at the very top of the Kobra skiing ground, where 250 m of Lower Jurassic limestone of the Julian Carbonate Platform crop out. The succession begins with peloidal/ooidal limestone which upwards passes into bioclastic limestone that alternates in laminas and beds with crinoidal limestone. In the topmost part, limestone breccia is interbedded and neptunian dykes cut the succession. Just below the breccia bed, ammonites were retrieved and genera *Canavaria* and *Neolioceratoides* were identified which indicate an Upper Pliensbachian (?upper Domerian) age. The platform limestones are overlain with basinal strata with internal unconformity. The overall succession records a progressive deepening of the sedimentary environment that culminated in the Upper Pliensbachian and was caused by a regionally recognized, but relatively poorly-dated episode of accelerated subsidence. The Mt Kobra succession correlates well with Mt Mangart and Mt Bohinj successions, which are paleogeographically considered as marginal locations within the Julian Carbonate Platform. Ammonite dating encourages further detailed sedimentary studies of the Mt Kobra succession.

Key words: ammonites, Julian Carbonate Platform, Pliensbachian, Southern Alps, platform drowning, subsidence, tectono-sedimentary event

Izvleček

Čeprav so amoniti vodilni fosili v juri, so njihove najdbe na območju današnje Slovenije zelo redke. Le tri nahajališča so bila natančneje preučena, in sicer spodnjajursko, najverjetneje pliensbachijsko, v Bohinjski dolini, Toarcijsko na Begunjsčici in zgornjajursko v Dolini Triglavskih jezer. Med detajlnim geološkim kartiranjem gore Koble, ki se nahaja v vzhodnem delu Bohinjskega grebena, je bilo odkrito novo najdišče. Nahaja se na samemu vrhu smučišča Kobra, kjer je razgaljeno 250 m debelo zaporedje spodnjajurskih apnencev Julijske karbonatne platforme. Začenja se s peloidno/ooidnim apnencem v skupni debelini 170 m. Lepo je razgaljenih le vrhnjih 60 m zaporedja. Navzgor preide v bioklastični apnenec, ki se v laminah in plasteh menjava s krinoidnim apnencem. V vrhnjem delu celotnega platformskega zaporedja se začnejo pojavljati neptunski dajki in plasti apnenčeve breče. Amoniti so bili najdeni tik pod debelo plastjo breče, ki je interstratificirana v vrhnjem delu zaporedja. Med številno favno smo izbrali najbolj ohranjene primerke in določena sta bila rodova *Canavaria* in *Neolioceratoides*, katerih sočasno pojavljanje kaže na zgornji pliensbachij (?zgornji domerij). Platformski apnenci so prekriti z bazenskimi sedimenti, ki vsebujejo stratigrafsko vrzel. Celotno opisano zaporedje označuje progresivno poglobljanje sedimentacijskega okolja, ki ga je v zgornjem pliensbachiju pospešila regionalno prepoznana, a relativno slabo datirana epizoda ekstenzijske tektonike. Zaporedje na Kobi je primerljivo z lokacijami na območju Julijske karbonatne platforme, ki paleogeografsko spadajo v robne dele Julijske karbonatne platforme. Amonitne datacije spodbujajo nadaljnje detajlne sedimentološke raziskave platformskega zaporedja na Kobi.

Ključne besede: amoniti, julijska karbonatna platform, pliensbachij, južne Alpe, potopitev platform, pogrezanje, tektonsko-sedimentarni dogodek

Introduction

The Permian/Triassic boundary extinction events drastically decimated Paleozoic life, leaving few survivors to evolve into the Mesozoic era^[1, and references therein]. One of the most interesting and, due to their spiral molds and spectacular suture patterns, attractive groups of fossils that dominated Mesozoic sea life was ammonites. They show rapid speciation, are regularly preserved, and broadly distributed, which promotes them as one of the most valuable index fossils. Although ammonites are common in the Mesozoic of the Tethys Realm, their discovery in the area of present-day Slovenia is sporadic. The first representatives of the Ammonoidea subclassis are known from the Upper Carboniferous and Lower Permian of the Southern Karavanke Mountains^[2]. The richest period is the Triassic, with well-known Late Anisian locations at the village of Bučka near Novo Mesto^[3] or Hrastenice Quarry near Polhov Gradec^[4], as well as the Ladinian and Carnian of the Mežica Mine and Mt. Peca in the Northern Karavanke Mountains, Idrija area and Mt Triglav^[5–8] and others^[for the review see 9, 10]. Although the Jurassic is the period of prominent ammonite diversification, only three sites have been extensively studied, the first being Pliensbachian Bohinj Valley^[11], the second being Toarcian Mt Begunščica^[12], and the third the Upper Jurassic Triglav Lakes Valley^[13, 14]. Ammonites from the first site were collected from Hierlatz limestone^[11, 15], a facies otherwise known from the Northern Calcareous Alps, where it is described as relatively shallow, Sinemurian to the Pliensbachian hemipelagic limestone, deposited on top of morphological highs formed after the drowning of the carbonate platform at the end of the Triassic^[16]. Other two sites were excavated from Ammonitico Rosso - type limestone^[17–19], a facies characteristic of the submarine plateaus of the Jurassic Adria passive margin^[20–24]. Just a few other Jurassic specimens are reported, mostly from the Julian Alps^[10]. Sporadic Upper Cretaceous ammonites are known from Komen and Tomaj limestones from the Karst Plateau^[25]. The rare occurrence of Jurassic ammonites is attributed to specific sedimentary environments that persisted in the region during the Jurassic.

Shallow water, high energy and flat-topped carbonate platforms were interspaced by deep basins^[26, 27], whereas the condensed limestone of the submarine plateaus, i.e., potential ammonite-bearing facies, is mostly eroded and outcrops in just a few places^[28, 17]. Consequently, the discovery of new Jurassic ammonites is of special importance for Slovenian paleontology and biostratigraphy. In the present paper, we present such a site from the top of the Kobla skiing-ground found during the detailed geological mapping of the area. The main goals of this paper are to A) describe the geological setting of the site, B) provide a basic sedimentary analysis of the strata with ammonites, and C) define the biostratigraphy of the fossil assemblage.

Previous work and paleogeography

Ammonites were collected from a site located at the top of the Kobla skiing ground in the eastern part of the Bohinj Range, which forms the southern orographic boundary of the Julian Alps (Figure 1). The oldest geological record from Mt Kobla comes from a sketch of the iron mine that was owned by Baron Žiga Zois and made by Polc in years 1788–1790 (Schmidt Goran, pers. comm.). Extensive geological research was made during the construction of the railway tunnel which crosses the Bohinj Range directly below Mt Kobla. Kossmat^[29] summarized the data, presented the structure and lithostratigraphic division, and elaborated the geological map (1 : 75 000) of the wider area. The author outlined that the northern slopes of Mt Kobla consist of Late Triassic and Early Jurassic carbonates overlain by Oligocene clastics, whereas the southern slopes consist of thin bedded, often cherty strata. During the work on a Basic Geological Map of Yugoslavia (sheet Tolmin) Buser^[15, 28] defined the paleogeographic affinities of these successions: northern, i.e., carbonate succession sedimented on the Julian Carbonate Platform (JCP), whereas southern developments were deposited in the Slovenian Basin (SB)^[15, 30]. Both paleogeographic units originated in the Middle Triassic after disintegration of the Slovenian Carbonate Platform^[26, 31] which was related to the rifting of

the Meliata Ocean^[32]. The JCP disintegrated and drowned in the Middle Jurassic and turned into the pelagic plateau known as Julian High^[26], which coincided with the opening of the Alpine Tethys^[17, 18]. In recent years, extensive studies of Late Triassic and Jurassic basinal succession were performed on Mt Koblja^[33 and references therein]. These studies incorporated the elaboration of a detailed geological map, during which the herein-described ammonite site was discovered.

Structural setting

Structurally, the area belongs to the Southern Alps, which are characterized by the south-directed Miocene thrusting (Figure 1).

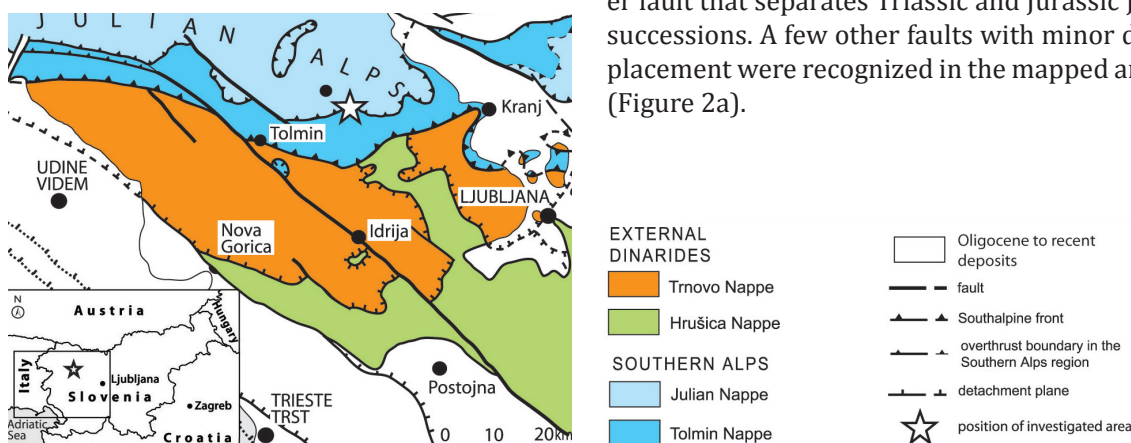


Figure 1: The location of Mt Koblja and the macrotectonic subdivision of western Slovenia; simplified after^[34].

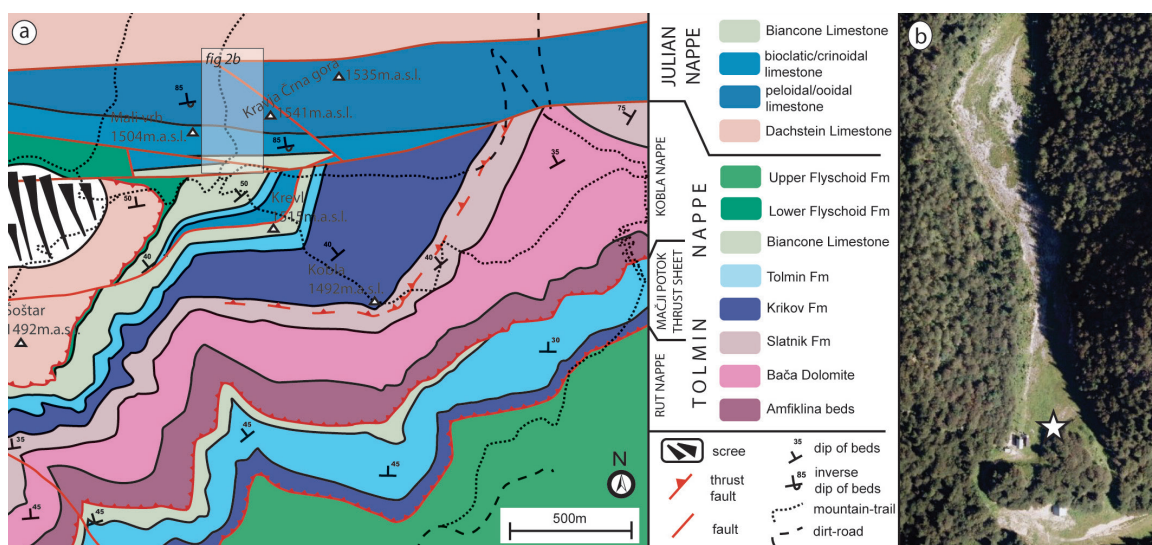


Figure 2: a) Geological map of the Mt Koblja area, b) orthophoto of the topmost part of the Koblja skiing ground (public data of the Republic of Slovenia, Geodetic Survey RS, DOF 05, 2011) with the location of the ammonite site (marked with a star).

General description of the Julian Carbonate Platform succession on Mt Koba

The oldest JCP formation of the mapped area is the Norian-Rhaetian Dachstein reef limestone (Figure 3). The coral *Dictichophyllia norica* and sponge *Cheilosporites tirolensis* were reported on Mt Koba^[36, 37]. The contact with Jurassic deposits is at the previously mentioned fault. It outcrops well on the Koba skiing-ground where the inner fault zone is up to 0.5 meter wide, partly eroded and surrounded by tectonic mirrors. Kosmat^[29] recognized this fault in the railway tunnel and reports clastics from the inner fault zone. Budković^[38] described a thick marl-bed 2 m between the Triassic and Jurassic JCP successions in the Bohinj area. Taking into concern this data and the fact that the fault plane is parallel to the bedding of the overlying Jurassic strata, this fault could have formed due to the tectonic activation of a marl-dominated formational boundary.

Traditionally, the Triassic/Jurassic boundary on the JCP is placed at the disappearance of stromatolites and the occurrence of ooidal limestone^[15]. The overall Jurassic succession in the studied area is 250 m thick. The lower 170 m are characterized by peloidal/ooidal limestone. In the upper 60 m of this interval on the Koba skiing-ground, where the outcrops are good, they show clear bedding with a bed thickness from 10 cm up to several meters. Cross-lamination occurs in these beds. The package of bioclastic limestone occurs as early as this part of the succession, but is overlain again by peloidal/ooidal limestone. The following 80 m are dominated by bioclastic limestone and will be described in greater detail in the next chapter. The limestone succession is overlain by a 0.5-meter-thick marl, which presumably correlates with the marl-dominated Toarcian formations known from the surrounding basins^[39–42]. The entire succession ends with Biancone-type limestone, i.e., thin-bedded mudstone/wackestone with chert nodules. This facies is characteristic for latest Jurassic and early Cretaceous successions of basins and drowned platforms of the entire Adriatic passive margin^[17, 22, 41, 43–45].

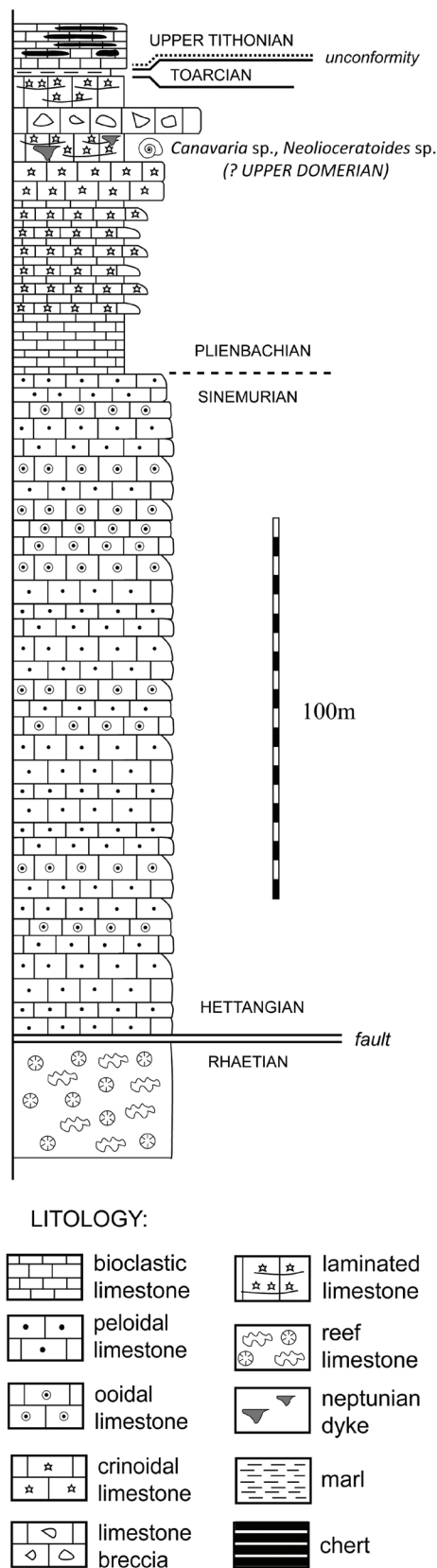


Figure 3: Schematic stratigraphic column of the Julian Carbonate Platform succession of Mt Koba.

Facies of the Ammonite-bearing beds

The entire succession with ammonites is 80 m thick (Figure 4d, e). It is characterized by gray and, in the upper part, also reddish-gray bioclastic limestone. It is wackestone composed of abundant crinoids and sponge spicules, and rarer filaments, ostracods, benthic foraminifera, juvenile ammonites, brachiopods and calcareous sponges (Figure 4b, g). In the lower part, stromatolite structures and sponges in a primary growth-position were observed (Figure 4c).

Bioclastic limestone alternates with laminas and thin beds of crinoidal limestone which is grainstone or packstone composed predominantly of crinoids, and rarer intraclasts and shells (Figure 4b, h). It becomes dominant in the middle part of this interval, where it composes a several-meter-thick package of occasionally graded beds.

The topmost part of the entire interval is characterized again by alternating bioclastic and crinoidal limestones. It additionally contains neptunian dykes (Figure 4h) composed of reddish marly limestone with crinoids as predominant grains, but lithoclasts of surrounding rocks were also detected. They usually fill cavities which are oriented perpendicularly as well as parallel to the bedding. A few-meters-thick limestone breccia bed is interstratified in the upper part of the interval. In the lower part it shows chaotic internal organization (slump) which becomes clearly brecciated towards the top of the bed. Clasts correspond to surrounding bioclastic limestone, but lithoclasts of peloidal/ooidal limestone also occur. The ammonites presented in this paper were found just below this bed.

Ammonites and biostratigraphy

Ammonites were found on the top of the Kobla skiing-ground, close to the uppermost exiting stations of the chair-pull (Figure 2b) and taken from a bedding plane exposed on the rock crevice that occurs at the crossing of two skiing trails (E13°57'29" N46°14'21"). After the exploration of the outcrop, the bedding plane was

systematically opened by an additional square meter (Figure 4d, e). The best-preserved specimens were taken to the laboratory together with host-rock, where they were cleaned and photographed. A few selected examples were treated with a pneumatic tool for additional mechanical preparation, but this revealed to be too destructive because of the strong lithification and implementation of fossils in the host-rock (Figure 5h). From the collected material two specimens were determined on the generic level as *Canavaria* sp. (Figure 5a) and *Neolioceratoides* sp. (Figure 5b, c). Although they exhibit poor preservation for qualitative paleontological analysis, they provide precious biostratigraphic dating, because this association is typical of Upper Pliensbachian, more precisely upper Domerian (*spinatum* AZ). Other collected material was too poorly preserved for determination; however it is represented in Figure 5 (d-i). Ammonite data is further constrained by benthic foraminifer *Agerina martana* Farinacci (Figure 4g), which is common in bioclastic limestone. Although it is generally considered as Lower Jurassic, Chiochini et al.^[46] narrowed its appearance to the Pliensbachian. Considering these facts, the bioclastic/crinoidal limestone of Mt Kobla is Pliensbachian and the topmost part with limestone breccia and neptunian dykes is (?upper) Domerian in age.

Pliensbachian tectono-sedimentary event based on new ammonite dating

The Late Triassic and Early Jurassic succession of the JCP outcropping on the northern part of Mt Kobla is characterized by a highly productive, shallow-water, high-energy sedimentary environment of barrier reef and ooidal shoal, respectively. In the Pliensbachian, a distinct facies change from peloidal/ooidal to bioclastic limestone records the deepening of the sedimentary environment. Namely, bioclastic limestone indicates the sedimentation on the outer platform to the upper slope. Interstratified crinoidal limestone points to high-energy depositional conditions. The thin laminas of the crinoidal limestone were most probably deposited by bottom currents, whereas thicker

beds could have originated due to high-energy resedimentation events such as tempestites or turbidites. The deepening of the sedimentary environment could have been initially linked to eustatic oscillations of the relative sea-level because in the Tethyan Realm, Pliensbachian is characterized by a second-order transgres-

sive/regressive cycle, (T5/R5 in^[47]), whereas the sedimentation documented in the topmost part of the succession was firmly governed by accelerated tectonic subsidence. This prominent Pliensbachian tectonic event is regionally evidenced by the disintegration of the JCP and differential subsidence of separated

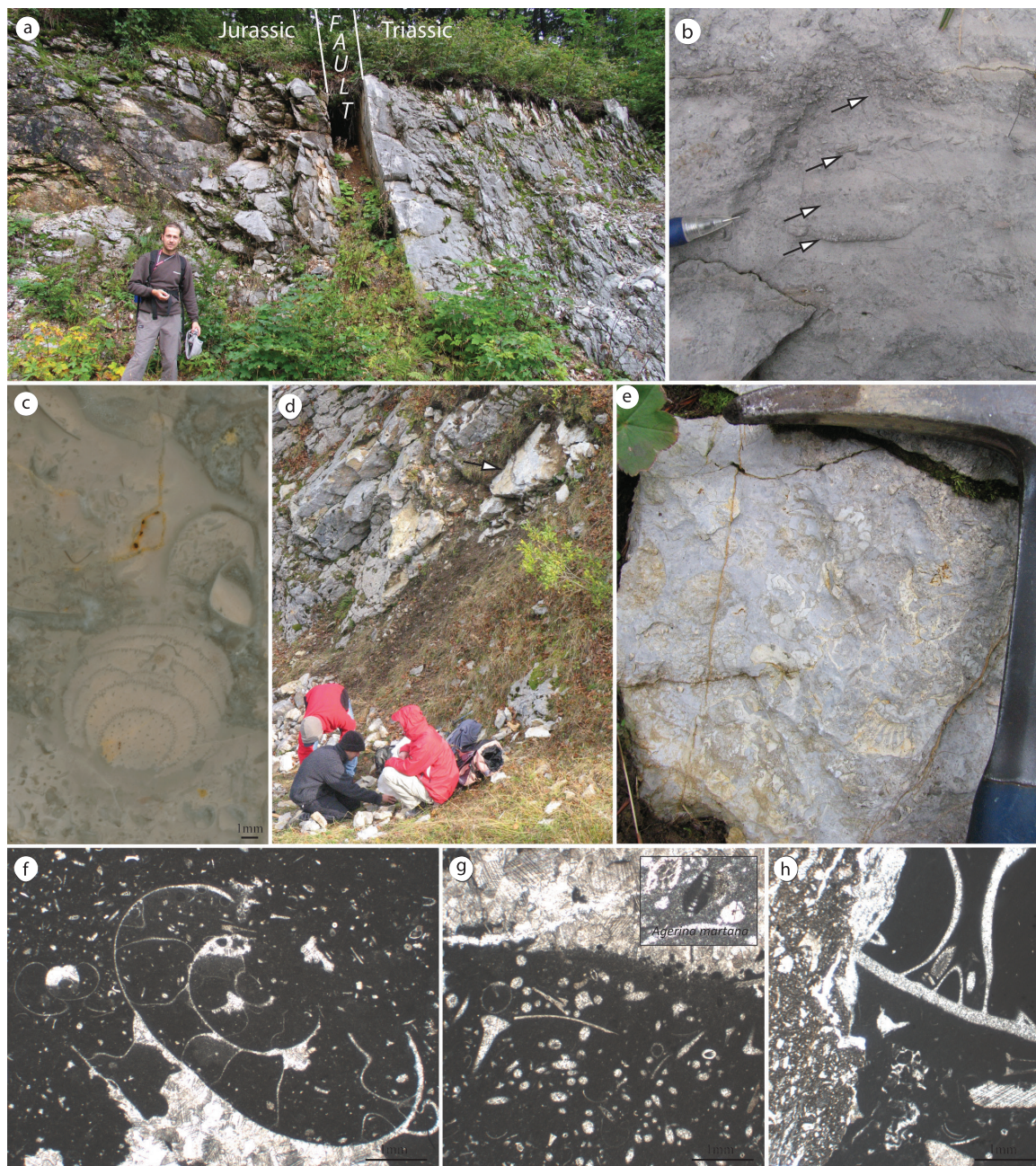


Figure 4: **a)** fault between Dachstein Reef Limestone (left) and peloidal/ooidal limestone (right), **b)** bioclastic limestone with laminae of crinoidal limestone (arrows), **c)** sponge (1.7 cm in diameter) in the growth-position within bioclastic limestone, **d)** excavation on the ammonite site with visible ammonite bed-plane (arrow), **e)** ammonites on the bedding plane, **f)** juvenile ammonites in wackestone, **g)** spiculitic wackestone overlain with erosional contact by crinoidal grainstone; in the upper right corner is enlarged foraminifer *Agerina martana* Farinacci – 0.2 mm in length, **h)** wackestone with ammonite and contact with neptunian dyke (left) filled predominantly with crinoids.

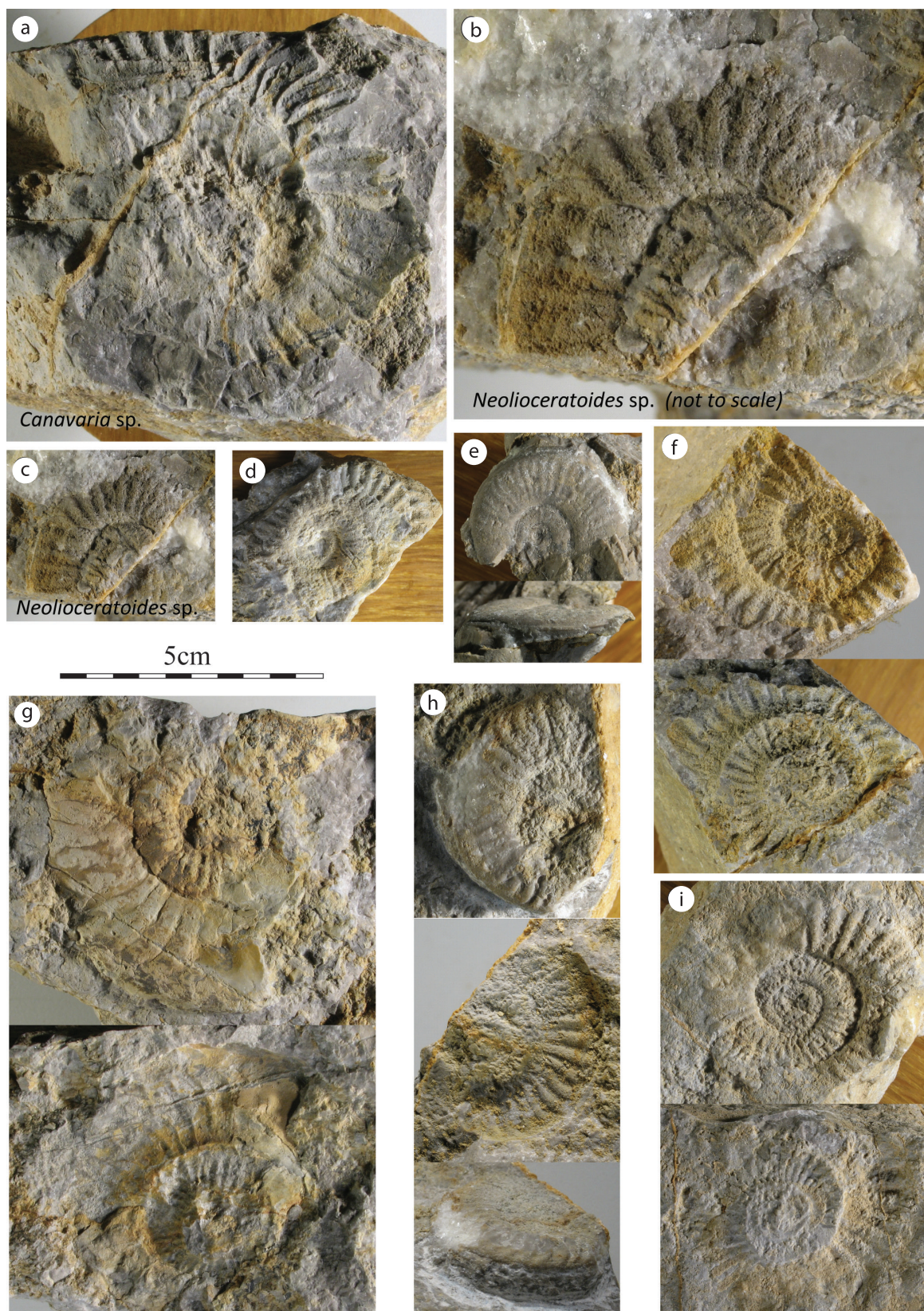


Figure 5: Ammonites: **a)** *Canavaria* sp., **b)** *Neolioceratoides* sp. – not to scale; enlarged Figure 5c, **c)** *Neolioceratoides* sp., d-i) undetermined specimens (Figures f, g, h, and i also show casts; Figures e and h show a lateral view).

blocks^[17, 18, 40]. In the adjacent SB, it is recorded by the highly-variable thickness of the Toarcian Perbla Formation^[41, 42]. Neptunian dykes characterize the JCP margin^[26, 48, 49] and the earliest activation phases are dated as Pliensbachian^[50]. In the Bohinj area, Ribnica breccia, which is a debrite composed of limestone and rare chert clasts, covers the basinal Zatrnik Formation and is dated as Lower Jurassic and related to a Pliensbachian tectonic activity^[45, 51]. At Mt Kobla, the tectonic event is in accordance with previously-described sedimentary indicators. Namely, it is well-manifested at the top of the carbonate succession with the occurrence of neptunian dykes and limestone breccia. It is this part, from which ammonites were retrieved and dated the main Pliensbachian tectonic intensification to the (?upper) Domerian.

Correlation with other successions of the Julian Carbonate Platform

Ammonite-bearing beds from Mt Kobla are characterized by bioclastic limestone that is the time and facies equivalent of dominant beds in the Sedlo Formation from the Bovec Trough^[17, 40]. This trough originated after the Pliensbachian disintegration of the JCP and the Sedlo Formation indicates the initial deepening phases. It is overlain by a Fe-Mn nodular crust which points to unconformity^[17]. No such crust was detected on Mt Kobla – however the overlying marls correlate with clay-rich Skrile Formation from the Bovec Trough, which was dated with radiolarians to the Toarcian^[39]. The age of the formation was further constrained by chemostratigraphic recognition of the Toarcian OAE^[52].

The Mt Kobla JCP succession correlates also with developments from the Bohinj area, where Buser (1986) described Lower Jurassic crinoidal limestone in which Härtel^[11] found rich brachiopod, bivalve and ammonite fauna in several locations, mostly active quarries near Bohinjske Česhnjice in Bitnje villages. Due to a similar setting and close correlation, a non-revised list of cephalopods is presented herein. Härtel^[11] recognized *Phylloceras geyeri* Bonarelli, *P. anonyum* Hass, *P. frondosum* Reynès sp., *Rhacophyllites ex aff. liberti* Gemm.,

R. planispira Reynès, *R. (Meneghiniceras) larsiensis* Meneghini, *Lytoceras cf. secernendum* de Stefani, *L. nothum?* Meneghini, *Amaltheus margaritatus* Montfort, *Harpoceras (Arietoceras) retrosicosta* Oppel, *H. bertrandi* Kilian, *H. geyeri* Del Campana, *H. cf. reynèsi* Fucini, *H. (Grammoceras) uequiondulatum* Bettoni, *H. percostatum* Fucini, *H. (Harpoceratoides) serotinum* Bettoni, and *Atractites ex. aff. A. indunensis* Stop. These quarries had already been abandoned and were mostly inaccessible during the geological mapping in eighties^[15], which today results in practically unrecognizable sites^[53]. Buser^[15] outlined that crinoidal limestone laterally and vertically passes to ooidal limestone and in the upper part contains interbeds of micritic (?bioclastic) limestone and, additionally to Mt Kobla, nodular chert. Prominent facies changes of the Jurassic rocks in the Bohinj Valley were also described by Cousin^[30], who recognized two distinct facies: a more shallow-water facies to the south and the deeper-water Zatrnik Formation to the north. For the latter, Kukoč et al.^[45] proposed on the basis of overlying Cretaceous strata an outermost, ocean-ward paleogeographic location within present-day Slovenia, which is comparable to the developments of the Inner Dinarides. However, exact spatial stratigraphic as well as structural relationships within Jurassic strata in this area remain vastly unresolved^[51]. On the contrary, the Mt Kobla succession exhibits a clear upwards deepening trend with well-dated and well-expressed tectonic phase which consolidates its importance in the understanding of the region's Jurassic sedimentary evolution and urges further research.

Conclusions

Jurassic ammonites in the area of present-day Slovenia are only sporadically preserved and just three locations have so-far been studied in detail, which amplifies the importance of newly-discovered sites. At Mt Kobla the overall Jurassic succession begins with peloidal/ooidal limestone. Upwards, it passes into bioclastic and crinoidal limestones which indicate the deepening of the sedimentary environment. At the top of the entire JCP succession limestone

breccia and neptunian dykes additionally occur and point to a regionally-recognized tectonic event. Within these strata ammonites of genera *Canavaria* and *Neolioceratoides* were determined which date to the Upper Pliensbachian (?upper Domerian). The succession correlates with successions which sedimented in environments located on the JCP margins and drowned to basinal depth during the Jurassic. Similarly, on Mt Koblja the platform carbonates are overlain by Toarcian marl and latest Jurassic Biancone-type limestone which was deposited after JCP drowning.

Acknowledgments

This paper was written to tribute the jubilee of Professor Jernej Pavšič, Ph.D. mentor of the first author. It was always and still is a pleasure to work with him. I hope (for him and also me) that in the future I and my co-workers will write several such jubilee-type manuscripts. Especially, I would like to acknowledge his skillful help, which facilitated and accelerated elaboration of the dissertation's final version and defense. Geological mapping of Mt Koblja was assisted by Petra Žvab Rožič, Nina Rman, Nastja Rogan Šmuc, Mojca Kavčič, Damjan Ulamec, Boštjan Bradašnja, Blaž Milanič, Petra Škrinjar and Erik Svetličič. Ammonites were retrieved in the field with help of Simon Smrkolj and Matej Ograjenšek. Research was sponsored by the Slovenian Research Agency in projects Z1-9759 and MR 636/2002.

References

- [1] Bambach, R. K. (2006): Phanerozoic Biodiversity Mass Extinctions. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 34, 127–55.
- [2] Kullmann, J., Ramovš, A. (1980): Cephalopoden aus dem Oberkarbon (Gzhelium) und Interperm der Karawanken. *Geologica et Paleontologica*, 14, 195–208, Marburg.
- [3] Buser S., Ramovš, A. (1968): Razvoj triadnih skladov v slovenskih Zunanjih Dinaridih. *Prvi kolokvij o geologiji Dinaridov* I. del, Ljubljana, 33–42.
- [4] Petek, T. (1997): Skitske in anizijske plasti v kamnolomu pri Hrastenicih in pomembne najdbe zgornjeanizijskih fosilov. *Geologija*, 40, 119–151.
- [5] Žlebnik, L. (1955): Triadni cephalopodi izpod Pece. *Geologija*, 3, 216–219.
- [6] Jurkovšek, B. (1978): Biostratigrafija karnijske stopnje v okolici Mežice. *Geologija*, 21, 2, 173–208.
- [7] Kolar - Jurkovšek, T. (1991): Mikrofavna srednjega in zgornjega triasa Slovenije in njen biostratigrafski pomen. *Geologija*, 33, 21–170.
- [8] Kolar-Jurkovšek, T., Jurkovšek, B. (2010): New paleontological evidence of the Carnian strata in the Mežica area (Karavanke Mts, Slovenia): Conodont data for the Carnian Pluvial Event. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 290, 81–88.
- [9] Pavšič, J. (1995): *Fosili, zanimive okamnine iz Slovenije*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije; 139 pp.
- [10] Pavšič, J. (2009): *Paleontologija: Paleobotanika in nevretenčarji*. 2. dop. in pop. izd. Ljubljana; Naravoslovnotehniška fak., Odd. za geologijo; 460 pp.
- [11] Härtel, F. (1920): Stratigraphische und Tektonische Notizen über das Wocheiner – Juragebiet. *Verh. Geol. R. A.*, 8–9, 134–153.
- [12] Mihajlovič, M., Ramovš, A. (1964): Liadna cefolopodna favna na Begunjščici v Karavankah. *Razprave IV. razr. SAZU*, 8, 417–438.
- [13] Salopek, M. (1933): O gornjoj juri u Dolini sedmerih jezer. *Jugoslavenska akademija znanosti i umjetnosti*, 246, 110–118.
- [14] Ramovš, A. (1975): Amoniti v dolini Triglavskih jezer. *Proteus*, 37, 332–340.
- [15] Buser, S. (1986): *Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ 1: 100 000 listov Tolmin in Videm (Udine)*. Zvezni geološki zavod, Beograd; 103 pp.
- [16] Gawlick, H. J., Missoni, S., Schlagintweit, F., Suzuki, H., Frisch, W., Krystyn, L., Blau, J., Lein, R. (2009): Jurassic Tectonostratigraphy of the Austroalpine Domain. *Journal of Alpine Geology*, 50, 1–152.
- [17] Šmuc, A. (2005): Jurassic and cretaceous stratigraphy and sedimentary evolution of the Julian Alps, NW Slovenia. Ljubljana; Založba ZRC, ZRC SAZU; 98 pp.
- [18] Šmuc, A., Rožič, B. (2010): The Jurassic Prehodavci Formation of the Julian Alps: easternmost outcrops of Rosso Ammonitico in the Southern Alps (NW Slovenia). *Swiss journal of geosciences*, 103, 2, 241–255.
- [19] Praprotnik, J., Kastelic, A., Gale, L., Šmuc, A., Rožič, B. (2013): Jurske plasti z manganovimi obogatitvami na Begunjščici. *Geološki zbornik*, 22, 127–130.

- [20] Di Stefano, P., Galacz, A., Mallarino, G., Mindszenty, A., Vörös, A. (2002): Birth and early evolution of a Jurassic escarpment: Monte Kumenta, Western Sicily. *Facies*, 46, 273–298.
- [21] Santantonio, M., Muraro, C. (2002): *The Sabina Plateau, Palaeoescape, and Basin–Central Apennines*. In: Santantonio, M. (Ed.), General field trip guidebook. VI international symposium on the Jurassic system, 12–22 September 2002, 271–315.
- [22] Martire, L., Clari, P., Lozar, F., Pavia, G. (2006): The Rosso Ammonitico Veronese (Middle–Upper Jurassic of the Trento Plateau): A proposal of lithostratigraphic ordering and formalization. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 112, 2, 227–250.
- [23] Missoni S., Gawlick H. J. (2011): Jurassic mountain building and Mesozoic–Cenozoic geodynamic evolution of the Northern Calcareous Alps as proven in the Berchtesgaden Alps (Germany). *Facies*, 57, 137–186.
- [24] Donatelli, U., Tramontana, M. (2014): Platform-to-basin facies transition and tectono-sedimentary processes in the Jurassic deposits of the Furlo area (Umbria–Marche Apennines, Italy). *Facies*, 60, 541–560.
- [25] Jurkovšek, B., Cvetko Tešović, B., Kolar-Jurkovšek, T. (2013): *Geologija Krasi – Geology of Krasi*. Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 205 pp.
- [26] Buser, S. (1989): Development of the Dinaric and Julian carbonate platforms and the intermediate Slovenian basin (NW-Yugoslavia). In: Carulli, G. B., Cucchi, F., Radizzani, C. P. (eds): Evolution of the Karstic carbonate platform: relation with other periadriatic carbonate platforms. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 40 (1987), 313–320, Roma.
- [27] Goričan, Š., Košir, A., Rožič, B., Šmuc, A., Gale, L., Kukoč, D., Celarc, B., Črne, A. E., Kolar-Jurkovšek, T., Placer, L., Skaberne, D. (2012): Mesozoic deep-water basins of the eastern Southern Alps (NW Slovenia). In: *29th IAS Meeting of Sedimentology [10–13 September 2012, Schlading]: field trip guides, (Journal of Alpine geology, 54)*. Wien: GEOAUSTRIA, 2012, 54, 101–143.
- [28] Buser, S. (1987): *Osnovna geološka karta SFRJ 1: 100 000, list Tolmin in Videm*. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- [29] Kossmat, F. (1907): Geologie des Wocheiner Tunnels und der Sudlichen Anschlusslinie. *Denkschriften d. mathem. - naturwis. K1*, Bd. 83, Wien.
- [30] Cousin, M. (1981): Les repports Alpes – Dinarides. Les confins de l'Italie et de la Yougoslavie. *Société Géologique du Nord*, Publi., 5, 1, 521 pp.; 2 – Annexe, 521 pp.
- [31] 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.
- [32] Vrabec, M., Šmuc, A., Pleničar, M., Buser, S. (2009): *Geological Evolution of Slovenia – An Overview*. In: Pleničar, M., Ogorelec, B., Novak, M. (eds). *Geologija Slovenije - The Geology of Slovenia*; Geološki zavod Slovenije, 23–40.
- [33] Rožič, B., Gale, L., Kolar - Jurkovšek, T. (2013): Extent of the Upper Norian – Rhaetian Slatnik Formation in the Tolmin Nappe, eastern Southern Alps. *Geologija*, 56, 2, 175–186.
- [34] Placer, L. (1999): Contribution to the macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija*, 41, 223–255.
- [35] Rožič, B., Šmuc, A. (2009): Jurska evolucija prehodne cone med Julijsko karbonatno platformo in Slovenskim bazenom. *Geološki zbornik*, 20, 146–151.
- [36] Turnšek, D., Buser, S. (1991): Norian-Rhaetian Coral Reef Buildups in Bohinj and Rdeči rob in Southern Julian Alps (Slovenia). *Razprave IV razreda SAZU*, 32, 215–257.
- [37] Turnšek, D. (1997): *Mesozoic Corals of Slovenia*. Založba ZRC, Ljubljana, 512 pp.
- [38] Budkovič, T. (1978): Stratigrafija Bohinjske doline - The stratigraphic sequence of the Bohinj Valley. *Geologija*, 21, 239–244.
- [39] Goričan, Š., Šmuc, A., Baumgartner, P. (2003): Toarcian Radiolaria from Mt. Mangart (Slovenian-Italian border) and their paleoecological implications. *Marine Micropaleontology*, 49, 275–301.
- [40] Šmuc, A., Goričan, Š. (2005): Jurassic sedimentary evolution of a carbonate platform into a deep-water basin, Mt. Mangart (Slovenian-Italian border). *Riv. Ital. Paleont. Stratigr.*, 111, 1, 45–70.
- [41] Rožič, B. (2009): Perbla and Tolmin formations: revised Toarcian to Tithonian stratigraphy of the Tolmin Basin (NW Slovenia) and regional correlations. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 180, 5, 411–430.
- [42] Rožič, B., Šmuc, A. (2011): Gravity-flow deposits in the Toarcian Perbla formation (Slovenian basin, NW Slovenia). *Riv. Ital. Paleontol. Stratigr.*, 117, 2, 283–294.
- [43] Goričan, Š. (1994): Jurassic and Cretaceous radiolarian biostratigraphy and sedimentary evolution of the Budva Zone (Dinarides, Montenegro). *Mémoires de Géologie*, 18, Lausanne, 177 pp.

- [44] Clari, P., Masetti, D. (2002): The Trento Ridge and the Belluno Basin. In: Santantonio M. (ed.): General Field Trip Guidebook, VI International Symposium on the Jurassic System, 12–22 September 2002, 271–315, Palermo.
- [45] Kukoč, D., Goričan, Š., Košir, A. (2012): Lower Cretaceous carbonate gravity-flow deposits from the Bohinj area (NW Slovenia): evidence of a lost carbonate platform in the Internal Dinarides. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 183, 4, 383–392.
- [46] Chiocchini, M., Farinacci, A., Mancinelli, A., Molinari, V., Potetti, M. (1994): Biostratigrafia a foraminiferi, dasicladali e calpionelle delle successioni carbonatiche mesozoiche dell'Appennino centrale (Italia). *Studii geologici Camerti, Spec. Publ.*, 9–129.
- [47] Graciansky, P., Jacquin, T., Hesselbo, S.P. (1998): The Ligurian cycle: an overview of Lower Jurassic 2nd-order transgressive/regressive facies cycles in Western Europe. In: Graciansky, P., Hardenbol, J., Jacquin, T. & Vail, P.R. (eds.). Mesozoic and Cenozoic Sequence stratigraphy of European Basins, *SEMP Special Publications*, 6, 467–479.
- [48] Babić, L. (1981): The origin of “Krn breccia” and the role of the Krn area in the Upper Triassic and Jurassic history of the Julian Alps. *Vesnik Zavoda geol. geofiz. istraživanja NR Srbije*, 38/39, 59–87.
- [49] Jurkovšek, B., Šribar, L., Ogorelec, B., Jurkovšek-Kolar, T. (1990): Pelagic Jurassic and Cretaceous beds in the western part of the Julian Alps. *Geologija*, 31/32, 285–328.
- [50] Črne, A. E., Šmuc, A., Skaberne, D. (2007): Jurassic neptunian dikes at Mt Mangart (Julian Alps, NW Slovenia). *Facies*, 53, 2, 249–265.
- [51] Kukoč, D. (2014): *Jurassic and Cretaceous radiolarian biostratigraphy of the Bled Basin (northwestern Slovenia) and stratigraphic correlations across the Internal Dinarides*. Unpublished PhD Thesis, University of Ljubljana, (submitted).
- [52] Sabatino, N., Neri, R., Bellanca, A., Jenkyns, H. C., Masetti, D., Scopelliti, G. (2011): Petrography and high-resolution geochemical records of Lower Jurassic manganese rich deposits from Monte Mangart, Julian Alps. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.*, 299, 97–109.
- [53] Anko, K. P. (2014): Some Early Jurassic brachiopod faunas from Slovenia. *RMZ – Material and Geoenvironment*, this volume.

Instructions to Authors

Navodila avtorjem

RMZ – MATERIALS & GEOENVIRONMENT (RMZ – Materiali in geookolje) is a periodical publication with four issues per year (established in 1952 and renamed to RMZ – M&G in 1998). The main topics are Mining and Geotechnology, Metallurgy and Materials, Geology and Geoenvironment.

RMZ – M&G publishes original scientific articles, review papers, preliminary notes and professional papers in English. Only professional papers will exceptionally be published in Slovene. In addition, evaluations of other publications (books, monographs, etc.), in memoriam, presentation of a scientific or a professional event, short communications, professional remarks and reviews published in RMZ – M&G can be written in English or Slovene. These contributions should be short and clear.

Authors are responsible for the originality of the presented data, ideas and conclusions, as well as for the correct citation of the data adopted from other sources. The publication in RMZ – M&G obligates the authors not to publish the article anywhere else in the same form.

RMZ – MATERIALS AND GEOENVIRONMENT (RMZ – Materiali in geookolje), kratica RMZ – M&G je revija (ustanovljena kot zbornik 1952 in preimenovana v revijo RMZ – M&G 1998), ki izhaja vsako leto v štirih zvezkih. V reviji objavljamo prispevke s področja rudarstva, geotehnologije, materialov, metalurgije, geologije in geookolja.

RMZ – M&G objavlja izvirne znanstvene, pregledne in strokovne članke ter predhodne objave samo v angleškem jeziku. Strokovni članki so lahko izjemoma napisani v slovenskem jeziku. Kot dodatek so zaželeni recenzije drugih publikacij (knjig, monografij ...), nekrologi In memoriam, predstavitev znanstvenih in strokovnih dogodkov, kratke objave in strokovne replike na članke, objavljene v RMZ – M&G v slovenskem ali angleškem jeziku. Prispevki naj bodo kratki in jasni.

Avtorji so odgovorni za izvirnost podatkov, idej in sklepov v predloženem prispevku oziroma za pravilno citiranje privzetih podatkov. Z objavo v RMZ – M&G se tudi obvežejo, da ne bodo nikjer drugje objavili enakega prispevka.

Specification of the Contributions

Optimal number of pages is 7 to 15; longer articles should be discussed with the Editor-in-Chief prior to submission. All contributions should be written using the ISO 80000.

- Original scientific papers represent unpublished results of original research.
- Review papers summarize previously published scientific, research and/or expertise articles on a new scientific level and can contain other cited sources which are not mainly the result of the author(s).
- Preliminary notes represent preliminary research findings, which should be published rapidly (up to 7 pages).
- Professional papers are the result of technological research achievements, application research results and information on achievements in practice and industry.

Vrste prispevkov

Optimalno število strani je 7–15, za daljše članke je potrebno soglasje glavnega urednika. Vsi prispevki naj bodo napisani v skladu z ISO 80000.

- Izvirni znanstveni članki opisujejo še neobjavljene rezultate lastnih raziskav.
- Pregledni članki povzemajo že objavljene znanstvene, raziskovalne ali strokovne dosežke na novem znanstvenem nivoju in lahko vsebujejo tudi druge (citirane) vire, ki niso večinsko rezultat dela avtorjev.
- Predhodna objava povzema izsledke raziskave, ki je v teku in zahteva hitro objavo obsega do sedem (7) strani.
- Strokovni članki vsebujejo rezultate tehnoloških dosežkov, razvojnih projektov in druge informacije iz prakse in industrije.

- Publication notes contain the author's opinion on newly published books, monographs, textbooks, etc. (up to 2 pages). A figure of the cover page is expected, as well as a short citation of basic data.
- In memoriam (up to 2 pages), a photo is expected.
- Discussion of papers (Comments) where only professional disagreements of the articles published in previous issues of RMZ – M&G can be discussed. Normally the source author(s) reply to the remarks in the same issue.
- Event notes in which descriptions of a scientific or a professional event are given (up to 2 pages).
- Recenzije publikacij zajemajo ocene novih knjig, monografij, učbenikov, razstav ... (do dve (2) strani; zaželena slika naslovnice in kratka navedba osnovnih podatkov).
- In memoriam obsega do dve (2) strani, zaželena je slika.
- Strokovne pripombe na objavljene članke ne smejo presegati ene (1) strani in opozarjajo izključno na strokovne nedoslednosti objavljenih člankov v prejšnjih številkah RMZ – M&G. Praviloma že v isti številki avtorji prvotnega članka napišejo odgovor na pripombe.
- Poljudni članki, ki povzemajo znanstvene in strokovne dogodke zavzemajo do dve (2) strani.

Review Process

All manuscripts will be supervised shall undergo a review process. The reviewers evaluate the manuscripts and can ask the authors to change particular segments, and propose to the Editor-in-Chief the acceptability of the submitted articles. Authors are requested to identify three reviewers and may also exclude specific individuals from reviewing their manuscript. The Editor-in-Chief has the right to choose other reviewers. The name of the reviewer remains anonymous. The technical corrections will also be done and the authors can be asked to correct the missing items. The final decision on the publication of the manuscript is made by the Editor-in-Chief.

Form of the Manuscript

The contribution should be submitted via e-mail as well as on a USB flash drive or CD.

The original file of the Template is available on RMZ – Materials and Geoenvironment Home page address: www.rmz-mg.com.

The contribution should be submitted in Microsoft Word. The electronic version should be simple, without complex formatting, hyphenation, and underlining. For highlighting, only bold and italic types should be used.

Composition of the Manuscript

Title

The title of the article should be precise, informative and not longer than 100 characters. The author should also indicate the short version of the title. The title should be written in English as well as in Slovene.

Recenzentski postopek

Vsi prispevki bodo predloženi v recenzijo. Recenzent oceni primernost prispevka za objavo in lahko predlaga kot pogoj za objavo dopolnilo k prispevku. Recenzenta izbere uredništvo med strokovnjaki, ki so dejavni na sorodnih področjih, kot jih obravnava prispevek. Avtorji morajo predlagati tri recenzente. Pravico imajo predlagati ime recenzenta, za katerega ne želijo, da bi recenziral njihov prispevek. Uredništvo si pridržuje pravico, da izbere druge recenzente. Recenzent ostane anonimen. Prispevki bodo tudi tehnično ocenjeni in avtorji so dolžni popraviti pomanjkljivosti. Končno odločitev za objavo da glavni urednik.

Oblika prispevka

Prispevek lahko posredujete preko e-pošte ter na USB-mediju ali CD-ju.

Predloga za pisanje članka se nahaja na spletni strani: www.rmz-mg.com.

Besedilo naj bo podano v urejevalniku besedil Word. Digitalni zapis naj bo povsem enostaven, brez zapletenega oblikovanja, deljenja besed, podčrtavanja. Avtor naj označi le krepko in kurzivno poudarjanje.

Zgradba prispevka

Naslov

Naslov članka naj bo natančen in informativen in naj ne presega 100 znakov. Avtor naj navede tudi skrajšan naslov članka. Naslov članka je podan v angleškem in slovenskem jeziku.

Information on the Authors

Information on the authors should include the first and last name of the authors, the address of the institution and the e-mail address of the leading author.

Abstract

The abstract presenting the purpose of the article and the main results and conclusions should contain no more than 180 words. It should be written in Slovene and English.

Key words

A list of up to 5 key words (3 to 5) that will be useful for indexing or searching. They should be written in Slovene and English.

Introduction

Materials and methods

Results and discussion

Conclusions

Acknowledgements

References

The sources should be cited in the same order as they appear in the article. They should be numbered with numbers in square brackets. Sources should be cited according to the SIST ISO 690:1996 standards.

Monograph:

[1] Trček, B. (2001): *Solute transport monitoring in the unsaturated zone of the karst aquifer by natural tracers*. Ph. D. Thesis. Ljubljana: University of Ljubljana 2001; 125 p.

Journal article:

[2] Higashitani, K., Iseri, H., Okuhara, K., Hatade, S. (1995): Magnetic Effects on Zeta Potential and Diffusivity of Nonmagnetic Particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 172, pp. 383–388.

Electronic source:

CASREACT – Chemical reactions database [online]. Chemical Abstracts Service, 2000, renewed 2/15/2000 [cited 2/25/2000]. Available on: <<http://www.cas.org/casreact.html>>.

Podatki o avtorjih

Podatki o avtorjih naj vsebujejo imena in priimke avtorjev, naslov pripadajoče inštitucije ter elektronski naslov vodilnega avtorja.

Izvleček

Izvleček namena članka ter ključnih rezultatov z ugotovitvami naj obsega največ 180 besed. Izvleček je podan v angleškem in slovenskem jeziku.

Ključne besede

Seznam največ 5 ključnih besed (3–5) za pomoč pri indeksiranju ali iskanju. Ključne besede so podane v angleškem in slovenskem jeziku.

Uvod

Materiali in metode

Rezultati in razprava

Sklepi

Zahvala

Viri

Uporabljane literaturne vire navajajte po vrstnem redu, kot se pojavljajo v prispevku. Označite jih s številkami v oglatem oklepaju. Literatura naj se navaja v skladu s standardom SIST ISO 690:1996.

Monografija:

[1] Trček, B. (2001): *Solute transport monitoring in the unsaturated zone of the karst aquifer by natural tracers*. doktorska disertacija. Ljubljana: Univerza v Ljubljani 2001; 125 str.

Članek v reviji:

[2] Higashitani, K., Iseri, H., Okuhara, K., Hatade, S. (1995): Magnetic Effects on Zeta Potential and Diffusivity of Nonmagnetic Particles. *Journal of Colloid and Interface Science*, 172, str. 383–388.

Spletna stran:

CASREACT – Chemical reactions database [online]. Chemical Abstracts Service, 2000, obnovljeno 15. 2. 2000 [citirano 25. 2. 2000]. Dostopno na svetovnem spletu: <<http://www.cas.org/casreact.html>>.

Scientific articles, review papers, preliminary notes and professional papers are published in English. Only professional papers will exceptionally be published in Slovene.

Annexes

Annexes are images, spreadsheets, tables, and mathematical and chemical formulas.

Annexes should be included in the text at the appropriate place, and they should also be submitted as a separate document, i.e. separated from the text in the article.

Annexes should be originals, made in an electronic form (Microsoft Excel, Adobe Illustrator, Inkscape, AutoCad, etc.) and in .eps, .tif or .jpg format with a resolution of at least 300 dpi.

The width of the annex should be at least 152 mm. They should be named the same as in the article (Figure 1, Table 1).

The text in the annexes should be written in typeface Arial Regular (6 pt).

The title of the image (also schemes, charts and graphs) should be indicated in the description of the image.

When formatting spreadsheets and tables in text editors, tabs, and not spaces, should be used to separate columns. Each formula should have its number written in round brackets on its right side.

References of the annexes in the text should be as follows: "Figure 1..." and not "as shown below:". This is due to the fact that for technical reasons the annex cannot always be placed at the exact specific place in the article.

Manuscript Submission

Contributions should be sent to the following e-mail address: rmz-mg@ntf.uni-lj.si.

In case of submission on CD or USB flash drive, contributions can be sent by registered mail to the address of the editorial board:

RMZ – Materials and Geoenvironment, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia.

The contributions can also be handed in at the reception of the Faculty of Natural Sciences and Engineering (ground floor), Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia with the heading "for RMZ – M&G".

Znanstveni, pregledni in strokovni članki ter predhodne objave se objavijo v angleškem jeziku. Izjemoma se strokovni članek objavi v slovenskem jeziku.

Priloge

K prilogam prištevamo slikovno gradivo, preglednice in tabele ter matematične in kemijske formule.

Priloge naj bodo vključene v besedilu, kjer se jim odredi okvirno mesto. Hkrati jih je potrebno priložiti tudi kot samostojno datoteko, ločeno od besedila v članku.

Priloge morajo biti izvirne, narejene v računalniški obliki (Microsoft Excel, Adobe Illustrator, Inkscape, AutoCad ...) in shranjene kot .eps, .tif ali .jpg v ločljivosti vsaj 300 dpi. Širina priloge naj bo najmanj 152 mm. Datoteke je potrebno poimenovati, tako kot so poimenovane v besedilu (Slika 1, Preglednica 1).

Za besedilo v prilogi naj bo uporabljena pisava Arial navadna različica (6 pt).

Naslov slikovnega gradiva, sem prištevamo tudi sheme, grafikone in diagrame, naj bo podan v opisu slike.

Pri urejevanju preglednic/tabel, v urejevalniku besedila, se za ločevanje stolpcev uporabijo tabulatorji in ne presledki.

Vsaka formula naj ima zaporedno številko zapisano v okroglem oklepaju na desni strani.

V besedilu se je potrebno sklicevati na prilogo na način: „Slika 1 ...“, in ne „...“ kot je spodaj prikazano: saj zaradi tehničnih razlogov priloge ni vedno mogoče postaviti na točno določeno mesto v članku.

Oddaja članka

Prispevke lahko pošljete po elektronski pošti na naslov rmz-mg@ntf.uni-lj.si.

V primeru oddaje prispevka na CD- ali USB-mediju le-te pošljite priporočeno na naslov uredništva:

RMZ – Materials and Geoenvironment, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

ali jih oddajte na:

recepции Naravoslovnotehniške fakultete (pritličje), Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija s pripisom „za RMZ – M&G“.

The electronic medium should clearly be marked with the name of the leading author, the beginning of the title and the date of the submission to the Editorial Office of RMZ – M&G.

Information on RMZ – M&G

- Editor-in-Chief
Assoc. Prof. Dr. Peter Fajfar
Telephone: +386 1 200 04 51
E-mail address: peter.fajfar@omm.ntf.uni-lj.si
- Secretary
Ines Langerholc, Bachelor in Business Administration
Telephone: +386 1 470 46 08
E-mail address: ines.langerholc@omm.ntf.uni-lj.si

These instructions are valid from July 2013.

Elektronski mediji morajo biti jasno označeni z imenom vsaj prvega avtorja, začetkom naslova in datumom izročitve uredništvu RMZ – M&G.

Informacije o RMZ – M&G

- urednik
izr. prof. dr. Peter Fajfar
Telefon: +386 1 200 04 51
E-poštni naslov: peter.fajfar@omm.ntf.uni-lj.si
- tajnica
Ines Langerholc, dipl. poslov. adm.
Telefon: +386 1 470 46 08
E-poštni naslov: ines.langerholc@omm.ntf.uni-lj.si

Navodila veljajo od julija 2013.

Slovenčeva 93
SI 1000 Ljubljana

tel.: +386 (1) 560 36 00
fax: +386 (1) 534 16 80
www.irgo.si



Inženirska geologija
Hidrogeologija
Geomehanika
Projektiranje
Tehnologije za okolje
Svetovanje in nadzor



