

ISSN 0016-7789

GEOLOGIJA

49/1 – 2006



GEOLOGIJA	LETNIK 2006	KNJIGA 49/1	Str. 1 do 191	Ljubljana 2006
------------------	--------------------	--------------------	----------------------	---------------------------

GEOLOGIJA

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

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

Vsebinska številka 49/1 je bila sprejeta na seji Uredniškega odbora dne, 21. 8. 2006.
Manuscripts of the Volume 49/1 accepted by Editorial Board on August 21, 2006.

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

Uredniški in recenzijski odbor - Scientific Advisory Board:

Stanko BUSER, Ljubljana
Katica DROBNE, Ljubljana
Matija DROVENIK, Ljubljana
Jadran FAGANELI, Piran
János HAAS, Budapest
Bogdan JURKOVŠEK, Ljubljana
Roman KOCH, Erlangen
Harald LOBITZER, Wien
German MÜLLER, Heidelberg

Rinaldo NICOLICH, Trieste
Mario PLENIČAR, Ljubljana
Danilo RAVNIK, Ljubljana
Mihael RIBIČIČ, Ljubljana
Marko ŠPARICA, Zagreb
Josip TIŠLJAR, Zagreb
Dragica TURNŠEK, Ljubljana
Miran VESELIČ, Ljubljana

Tehnična urednica - Technical Editor: Bernarda BOLE

Naslov - Adress: GEOLOGIJA
Geološki zavod Slovenije - Geological Survey of Slovenia
Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia
Tel.: +386 (01) 2089-700 Fax: +386 (01) 2089-753

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

Naklada: 600 izvodov. Printed in 600 copies.

Cena: 4000 SIT. Price: US \$ 30, 25 EUR.

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

Priprava tiska: Delo Repro d.o.o.

Copyright © 2006 - GEOLOGIJA

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

NASLOVNICA / COVER

Slika na naslovni strani: Manganovi gomolji v jurskem apnencu, grapa Slatenik pri Čezsoči, naravna velikost. (Ogorelec et al., članek v tej številki, foto: B. Jurkovšek)

Cover page: Manganese nodules in Jurassic limestone, Slatenik gorge at Čezsoča, natural size. (Ogorelec et al., paper in this issue, photo: B. Jurkovšek)

VSEBINA – CONTENTS

<i>Lapanje, A.</i> V spomin Mihi Marinku Šlandru	5
<i>Cimerman, F., Jelen, B. & Skaberne, D.</i> Late Eocene benthic foraminiferal fauna from clastic sequence of the Socka - Dobrna area and its chronostratigraphic importance (Slovenia)	7
Poznoeocenska bentična foraminiferna favna iz klastičnega zaporedja med Socko in Dobrno in njen kronostratigrafski pomen	
<i>Pavlovec, R.</i> Spodnjeeocenski numuliti iz Trnovega pri Ilirski Bistrici	45
Lower Eocene Nummulits from Trnovo in surroundings of Ilirska Bistrica (SW Slovenia) ...	51
<i>Mikuž, V.</i> Novi najdbi polža rodu <i>Velates</i> iz eocenskega fliša Goriških brd in Gračišća v Istri	53
The new findings of <i>Velates</i> snail from Eocene flysch in Goriška brda and Gračišće in Istria	56
<i>Mikuž, V.</i> Oligocenski morski datelj iz potoka Plaznica pri Poljšici	61
Oligocene marine Date Mussel from Plaznica brook near Poljšica, West Slovenia	66
<i>Ogorelec, B., Buser, S. & Mišič, M.</i> Manganovi gomolji v jurskem apnencu Južnih Alp Slovenije	69
Manganese nodules in Jurassic limestone of the Southern Alps in Slovenia	80
<i>Kralj, P.</i> Dacite - siltstone peperite from Trlično at Rogatec, Eastern Slovenia	85
Peperit dacita in meljevca iz Trličnega pri Rogatcu	
<i>Gosar, M. & Čar, J.</i> Vpliv žgalnic živosrebrve rude iz 16. in 17. stoletja na razširjenost živega srebra v okolici Idrije	91
Influence of mercury ore roasting sites from 16 th and 17 th century on the mercury dispersion in surroundings of Idrija	
<i>Trček, B.</i> Izotopske raziskave na območju vodnega telesa Pivovarne Union	103
Isotopic investigations in the area of the Union brewery water body	111
<i>Kotnik, J., Covelli, S., Piani, R., Gibičar, D., Logar, M., Horvat, M. & Brambati, A.</i> Vloga reke Soče pri vnosu živosrebrvih spojin v Tržaški zaliv	113
Role of the River Soča in transferring mercury compounds into the gulf of Trieste	
<i>Alijagić, J. & Šajn, R.</i> Influence of ironworks on distribution of chemical elements in Bosnia and Herzegovina and Slovenia	123
Vpliv železarn na porazdelitev kemičnih prvin v Bosni in Hercegovini ter Sloveniji	

<i>Kanduč, T., Medaković, D. & Dolenec, T.</i>	
Izotopske značilnosti lupin školjke <i>Mytilus galloprovincialis</i> z vzhodne Jadranske obale	133
Isotopic characteristics of shells <i>Mytilus galloprovincialis</i> from eastern coastal area of Adriatic Sea	139
<i>Komac, M.</i>	
Application of a perialpine landslide susceptibility model in the Alpine region (Slovenia) . . .	141
Uporabnost predalpskega modela verjetnosti pojavljanja plazov na alpskem območju	
<i>Durović, B. & Mikoš, M.</i>	
Ali smo ogroženi kadar tvegamo? Pojmi in izrazje teorije tveganj zaradi naravnih, geološko pogojenih nevarnosti	151
Are we under threat when we risk? Notions and terminology of risk theory due to geological hazards	
<i>Šolar, S. V. & Shields, D.</i>	
The effect of policy choices on mineral availability	163
Učinek izbire politik na razpoložljivost mineralnih surovin	
Nove knjige – New books	173
<i>Premru, U.</i> : Tektonika in tektogeneza Slovenije, (Geološka zgradba in geološki razvoj Slovenije)	173
<i>Komac, M.</i> : Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov	174
<i>Dervarič, E., Herlec, U., Likar, J., Bajželj, U. & Strahovnik, V.</i> : Rudniki in premogovniki v Sloveniji	175
<i>Tišljar, J.</i> : Sedimentologija klastičnih i silicijskih taloženja	176
<i>Barič, G.</i> : Naftna geokemija	177
Recenzije – reviwrs	179
<i>Dobnikar, M., Ferme, E., Humar, M., Jarc, S., Jeršek, M., Mlakar, D., Razingar, B. & Šturm, M.</i> : Gemološki terminološki slovar	179
<i>Dobnikar, M., Humar, M., Jarc, S. & Jeršek, M.</i> : Odgovor na recenzijo Gemološkega terminološkega slovarja	182
Navodila avtorjem	189
Instructions to authors	190

V spomin Mihi Marinku Šlاندru



V juliju 2006 nas je potihlo, po hudi bolezni zapustil sodelavec Miha Marinko Šlاندru. Komajda smo kaj vedeli o tem, kako se počuti, saj je do zadnjega zanesljivo in aktivno opravljal svoje delo.

Na Geološkem zavodu Ljubljana se je po srednji šoli zaposlil na Oddelku za hidrogeologijo in inženirsko geologijo leta 1969. Praktično delo ga je pritegnilo bolj kot akademski študij. V prvih letih službovanja je kot bister človek hitro pridobil strokovno znanje, iz praktičnih primerov kot tudi iz literature. Svoje strokovno znanje je nenehno poglobljal in ga delil z nami.

Sodeloval je pri skoraj vseh večjih hidrogeoloških projektih v Sloveniji v zadnjih 30-tih letih. Zanimalo ga je vse v povezavi s hidrogeologijo. Posebej uspešen je bil pri reševanju praktičnih problemov, ukvarjal se je s tehnologijo vrtanja in tehnično izvedbo meritev in preizkusov. Tako je bil med drugim idejni vodja razvoja prvega slovenskega elektronskega inštrumenta za meritve v vrtinah.

V okviru Geološkega zavoda Ljubljana je bil vključen v številne hidrogeološke in inženirske geološke projekte v Sloveniji in na ozemlju bivše Jugoslavije (Kladuša, Gračanica, Kuršumlija, Makedonija, Bar ...). Sodeloval je tudi pri hidrogeoloških raziskavah v Iranu in Burundiju.

Poskusimo naštet nekaj projektov v Sloveniji, ki jim je Miha dal največji pečat. To so zagotovo projekti za raziskave in izkoriščanje podzemne vode v Slovenskem Primorju v tehnološke, vodooskrbne ter balneološke namene, projekti za vodooskrbo občin Zagorje, Trbovlje in Hrastnik, projekti za alternativno vodooskrbo mesta Maribor v Selnici, Rušah in dolini Lobnice kakor tudi projekt možnosti izkoriščanja podzemne vode iz masiva Kobariškega Stola. Omenimo še njegov prispevek pri raziskavah za podzemno skladiščenje plina v Sloveniji ter pri seizmični mikrorajonizaciji območja občine Bar po potresu v Črni gori. V novjšem času ga je kot Ljubljancina zanimala tudi preskrba Ljubljane s kvalitetno pitno vodo. Predlagal je raziskave v karbonatnih masivih Krma in pregled možnosti zajema vode v karbonatnih kamninah pod Barjem.

Imel je jasno sliko o hidrogeoloških razmerah v Sloveniji in predlagal je več možnosti izkoriščanja podzemne vode. Tem načrtom je posvetil precej časa in energije, saj je od prve ideje do realizacije lahko trajalo tudi več kot deset let. Miha je ves ta čas pri svojih zamislih vztrajal, dokler jih nismo pričeli uresničevati. Nekaj njegovih predlogov nas še vedno čaka, le da jih bomo poskusili uresničiti brez njegove pomoči.

Pri delu na raznovrstnih projektih si je pridobil dragocene izkušnje, s katerimi nam je rad pomagal. Poznali smo ga kot odkritosrčnega človeka z dobrim spominom in kritičnih misli. Pogosto nam je bil svetovalec pri projektih, naš mentor. Svoje zamisli je delil z drugimi, tako da se je za marsikatero dobro rešitev že pozabilo, da jo je prav on spodbudil. Iskreno se je

veselil vsakega uspeha tako sodelavcev kot tudi drugih, bil pa je precej kritičen do nelogično zastavljenih projektov, ki so bili že vnaprej obsojeni na neuspeh. Še posebej ni odobraval nepremišljenosti pri dragih projektih z globokimi vrtnami.

Miha je bil svojevrsten in radoživ človek, ki je znal gledati s srcem. Bil je univerzalni geolog s širokim znanjem, ki je segalo čez strokovno področje hidrogeologije. Spominjamo se ga po njegovi neusahljivi zmožnosti porajanja zamisli, ki nas še vedno navdihujejo.

Andrej Lapanje

Late Eocene benthic foraminiferal fauna from clastic sequence of the Socka - Dobrna area and its chronostratigraphic importance (Slovenia)

Poznoeocenska bentična foraminiferna favna iz klastičnega zaporedja med Socko in Dobrno in njen kronostratigrafski pomen

Franc CIMERMAN¹, Bogomir JELEN² & Dragomir SKABERNE²

¹Paleontološki inštitut Ivana Rakovca ZRC-SAZU, Novi trg 2, SI -1000 Ljubljana
cimerman@zrc-sazu.si

²Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI -1109 Ljubljana
bogomir.jelen@geo-zs.si; dragomir.skaberne@geo-zs.si;

Key words: Benthic foraminifera, Upper Eocene, Priabonian, Socka beds, Socka, Dobrna, Slovenia

Ključne besede: bentične foraminifere, zgornji eocen, priabonij, soteške plasti, Socka, Dobrna, Slovenija

Abstract

We surveyed, sampled and described Late Eocene (Priabonian) benthic foraminiferal fauna from two sections in the type locality of the Socka beds, between Socka and Dobrna. We present a short history of research of these beds emphasising their dating, from the middle of 19th century on. We describe the lithological characteristics and lithostratigraphy of the sections. In total 118 taxa of benthic foraminifers were identified, and the Priabonian age of the Socka beds established.

Kratka vsebina

V članku obravnavamo pozno eocensko (priabonijsko) bentično foraminiferno favno iz dveh profilov, ki smo ju posneli in vzorčevali na tipičnem ozemlju soteških plasti med Socko in Dobrno. V uvodu je predstavljena kratka zgodovina raziskovanj soteških plasti, predvsem problem njihove starosti, od sredine 19. stoletja do danes. Opisane so litološke značilnosti in litostratigrafija obeh profilov. Skupno je bilo določenih 118 taksonov bentičnih foraminifer in ugotovljena priabonijska starost soteških plasti.

Introduction

This paper contains only a portion of a broader Geological Survey of Slovenia project, **Tertiary Tectofacies of the Southern Karavanke Mountains**. Its goal was to describe and evaluate the stratigraphy of the

Southern Karavanke Tertiary, the type locality of the Socka beds between Socka and Dobrna (Fig. 1), and to compare it with the stratigraphy in other Slovenian Tertiary tectonostratigraphic units. The history section was written by Bogomir Jelen, the lithologic and lithostratigraphic description of

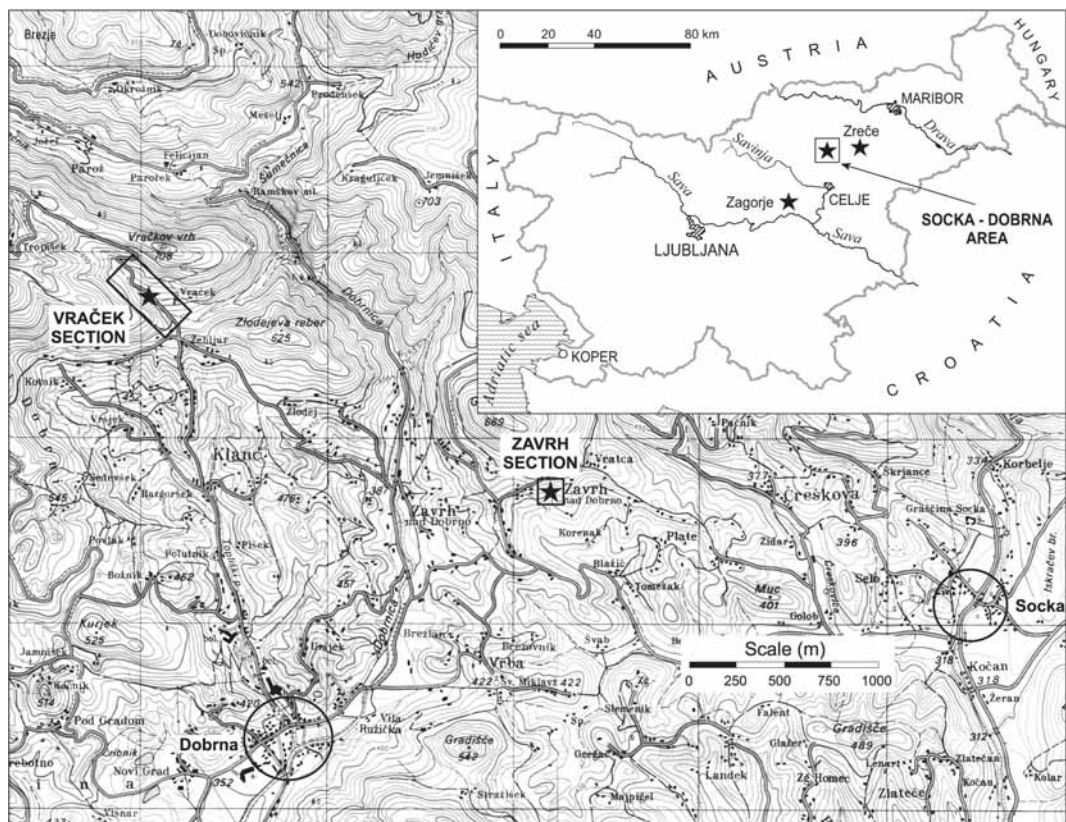


Fig. 1. Location map showing Socka-Dobrna area and detailed position of studied sections

sections by Dragomir Skaberne, and benthic foraminifers were described by Franc Cimerman.

Historical development of the problem

The problems associated with the stratigraphy of the Southern Karavanke Tertiary were recognized in the middle of the 19th century because of interest in the fast-growing coal industry. Coal exposures are not rare in basal Tertiary beds in central and eastern Slovenia, at that time a part of the Austrian-Hungarian Empire. These were targeted by geologists from the just established State Geological Survey in Vienna. Initially they distinguished between higher grade Glanzkohle (German term for bituminous and sub-bituminous coal in English terminology), which occurred in the northern coal belt between the Drava and Savinja rivers, and the

lower grade brown coal from the southern belt between the Savinja and Sava rivers.

Morlot (1849a) was the first to assign an Eocene age to the basal coal-bearing strata at Socka and Dobrna in the northern coal belt, and in 1850 the Miocene age of the southern, brown coal-bearing strata (note that the Oligocene Formation was established later, in 1854). Morlot's (1849a) statement was based on Unger's opinion (in Morlot, 1849b) of an Eocene age of the Socka macroflora. Influenced by the paleobotanist Buch (1851), Morlot in 1853 changed his mind, and accepted a Miocene age for the Socka flora. Thus he started the painful flip-flopping leaps from one age of the Socka beds to another and back, which lasted for a century and a half. Ettingshausen (1853) noted that the fossil macroflora from the Zagorje locality in the southern coal belt was like the Eocene flora with many Miocene species.

Rolle (1857, 1858) first tackled “this hard problem” in his own words, after the introduction of the Oligocene as a new epoch between the Eocene and the Miocene Formations. He was not very successful, but he was probably the first researcher who used the term *Socka beds* (in German, Sotzka-Schichten; Rolle, 1858) for the basal Tertiary fresh water coal-bearing strata of the middle and northern coal belts. Namely, he introduced in the former north coal belt the middle coal belt, based on lithological differences and fossil content, but without evidence for age differentiation (Rolle, 1857). He (Rolle, 1858) assumed the Socka beds were Eocene and/or Oligocene in age. Ettingshausen (1858) published an article which revised Unger’s flora and proposed a Late Eocene age of the Socka beds. Zollikofer (1859) stated that the coal-bearing strata of the southern coal belt are Oligocene. In contrast, in his 1861/1862 work in which Zollikofer dealt with the area east of the Savinja river, he dismissed the Oligocene age and subdivided the coal-bearing strata in the southern coal belt between the Eocene to Oligocene and the earliest Neogene age.

Ettingshausen (1872, 1877, 1885) dealt with the fossil leaf assemblages from the southern coal belt in detail. The assemblage from the coal footwall indicated a tropical, or at least subtropical climate, whereas the assemblage from the hangingwall indicated it formed in the temperate one. It followed that the tropical/subtropical flora corresponded to the Eocene, and the temperate flora to the Aquitanian. Stur (1864, 1871) advanced the idea that Socka and Eibiswald (in Slovene: Ivnik) beds from the southern rim of the Graz basin are of the same age, i.e. of Early Neogene age. He (Stur, 1871) was the first to extend the term of Socka beds to the southern coal belt under the name *Eibiswald and Socka beds*. Bittner (1884) stated concisely that it was previously known that the Tertiary succession of the southern belt consists of two main rock units: the lower coal-bearing Socka beds unit, which is most probably of Oligocene age, and the upper unit which corresponds to the Neogene development of the Vienna basin in Austria. Hoernes (1876, 1892) temporarily solved the question of the age of the coal-bearing strata at the base of

the Tertiary system. In 1892 he formulated the following conclusions (paraphrased): 1) Socka beds, fresh water coal-bearing strata of the northern and middle coal belt belong to a much older stage than the coal-bearing strata of the southern belt. In the northern coal belt they partly belong to the Cretaceous Formation, which is more or less proved, while the age of the other part of northern and middle coal belt is still problematic. With regard to the underlying Cretaceous coal-bearing strata of the northern coal belt, they are not considerably younger, but Eocene in age. 2) The Oligocene coal-bearing strata in the southern coal belt have less in common with the Socka beds than they do with the Lower Miocene Eibiswald coal-bearing strata. Teller (1889, 1896, 1898, 1907), expressed the opinion that Eocene deposits are completely missing. Tertiary deposits are divided into the Oligocene and the Miocene “lithostratigraphic” units. The coal-bearing strata comprise the youngest unit of the Oligocene succession in the northern, middle and southern coal belts.

Petrascheck (1926/1929) summarized existing stratigraphic ideas. He considered all coal-bearing strata at the base of the Tertiary System to be Socka beds and accepted their Oligocene age. Papp (1954, 1955) inferred the Chattian (Upper Oligocene) age from the *Miogypsina* (*Miogypsinoidea*) cf. *formosensis* Jabe & Hanzawa and *Lepidocyclina* (*Nephrolepidina*) *turnoueri* (Lemoine & Douvillé) found in the conformable marine marly clay, overlying the Socka beds of the southern coal-belt. Kuščer (1955) proposed the idea that the Chattian rocks were missing in the southern coal belt. Szöts (1956) reasoned that the Chattian stage was the equivalent of the Aquitanian stage, therefore, according to him, the Socka beds were of the Aquitanian, i.e. of Early Miocene age, with Oligocene layers completely missing. Rijavec (1958) followed Papp’s view. Majzon (1958) argued for a Lattorfian (Lower Oligocene) age of the Socka beds. Thenius (1959) was convinced that *Anthracoherium illyricum* Teller and *Miogypsina* (*Miogypsinoidea*) cf. *formosensis* Jabe & Hanzawa indicated the (late) Stampian (late Chattian) age of the Socka beds in the southern coal belt.

Kuščer’s (1967) stratigraphic positional relationship scheme was based on the Rupe-

lian (Middle Oligocene) age of the Socka beds and the conformable overlying marine marly clay in the southern and middle coal belts. Their age was determined by the characteristic benthic microforaminiferal taxa accompanying *Tritaxia szaboi* (Hantken) from the marine marly clay which exhibited a close similarity with the Middle Oligocene (at that time Rupelian) microforaminiferal fauna of Hungary and Transylvania (NW Rumania). Then, in 1975, Papp came forth with new taxonomic results: his *Miogypsina* (*Miogypsinoides*) *formosensis* Jabe & Hanzawa and *Miogypsina* (*Miogypsinoides*) *bantamensis* Tan Sin Hok from the marine marly clay overlying Socka beds in the southern coal belt indicated a late Early Egerian (= late Chattian, Late Oligocene) age. From the map of Mioč & Žnidarčič (1977), one can conclude that at the Socka site, the coal-bearing strata are Helvetian s.l. in age – equivalent to Ottnangian/Karpatian. Cimerman (1979) kept the Rupelian age for the “Socka” beds in the southern coal belt. He (ibid.) stated that the use of term *Socka beds* in the southern coal belt is not justified and proposed to write Socka in quotation marks – “Socka” beds. The same year saw revival of the idea of Eocene age deposits in central Slovenia. Mikuž (1979) advanced the thesis that the Socka beds of the western Southern Karavanke Mts. (middle coal belt) were not Rupelian, but Middle Eocene in age.

Drobne et al. (1979) published a Late Eocene age of a very small limestone patch in the eastern Southern Karavanke Mts. Mioč (1978) distinguished between the Middle Oligocene and the Helvetian s. l. Socka beds in the Socka-Dobrna type area. Buser (1979) and Premru (1983) retained the Middle Oligocene (Rupelian) age of the southern coal belt Socka beds, while Buser allowed their Eocene age in the middle coal belt, though not naming them as such. Aničić & Juriša (1985a) avoided the term *Socka beds*. In the southern coal belt Aničić & Juriša (1985a, b) recognized both, the Middle Oligocene (Rupelian) and the Late Oligocene (Chattian) coal-bearing strata. In the middle coal belt, Aničić & Juriša (1985a, b) assigned the Helvetian s.l. age to the basal coal-bearing strata, remarking that an older age was possible. Baldi (1984) correlated the Socka beds with the nano-

plakton zone NP 23, (Rupelian). Drobne et al. (1985) correlated the Socka beds of the western Southern Karavanke Mts. (middle coal belt) with the late Middle Eocene, and the Socka beds of the southern coal belt with the Early Oligocene NP 21/22.

Hamrla (1987) presented a detailed stratigraphy of the Zreče area in the northern coal belt. He distinguished between the Late Cretaceous, older Paleogene and Helvetian s.l. coal-bearing beds. However, Brežigar (in Brežigar et al. 1988) was the first to speculate about the Eocene age of the Socka beds in the whole Southern Karavanke geotectonic unit, and thought that the Tertiary stratigraphy might be different within the Southern Karavanke and Savinja Alps geotectonic units. Royden & Baldi (1988) once again correlated the Socka beds of the middle and southern coal belt with the NP 23 zone. In the same year Mihajlović & Jungwirth (1988) also placed the Socka beds of the southern coal belt into the NP 23 zone, as did Pavšič and Jelen (in Jelen et al., 1990). Csontos et al. (1992) considered the lithothamnium limestone at the base of the Tertiary succession in the southern coal belt to be Late Eocene, followed by a gap between it and the overlying “Socka” beds of the NP 23 zone. In 1992, our working group, dedicated to solving the problem of this high stratigraphic inconsistency, published the first note on its work (Jelen et al., 1992).

The above summary shows how confusing and instable the position of the basal Tertiary coal-bearing strata was. Since each change in their age attribution resulted into changes in age upsection, and accordingly a revision of their stratigraphical relationships, we can understand how critical the drastic age inconsistency of the basal coal-bearing strata was.

The problem was to find a solution to the issue or, how to get the key to go to the root of the problem that had been baffling so many past workers.

The first palynological inspection of the coal-bearing strata at the base of the Tertiary successions showed great differences in the composition of palynological assemblages from the northern, the middle, and the southern coal belts (Jelen, unpublished). After palynological analysis we applied a structural-stratigraphic modelling to

establish an as much as possible flawless lithochronology of the middle coal belt, in which the Socka-Dobrna type area is situated. Luckily, in the type area the lithochronology could be satisfactorily established. Sampling was first performed in successions where the lithochronology was considered to be well established. Foraminiferal samples were collected from one metre long trenches in 1-metre intervals, if outcrop conditions were favourable, or at each metre, if considered necessary. In addition, we developed a new laboratory preparation method that allowed us to recover highly concentrated foraminifers (Jelen, unpublished).

Lithology and lithostratigraphy in the Vraček section area

The composite Vraček section (Vr/I and Vr/II) is situated north of Dobrna, south of Vračkov vrh (708m), along the way from the Žebjar farm north of the Klanec village toward the Trojnshek farm (Figs. 1, 2a). This area is more structurally complex than was expected at the beginning of field work.

Tectonically disturbed limestones and pyroclastic rocks of Triassic age and older Eocene limestones are overlain by Upper Priabonian (Jelen et al., 2000), mostly clastic sedimentary rocks. The contact is partly tectonized. Eocene beds were folded together with basement rocks. All units are unconformably overlain by Miocene coarse-grained rocks with remains of ostrean valves of the Klanec beds and sandy marly rocks of the Dobrna marl.

Eocene beds are slightly bent into a syncline. The area is cut by several Dinaric (NW – SE), subvertical, sinistral faults into narrow, 20 to 60 m wide bands or wedges. Within the bands the Eocene marly beds are compressed, crushed and fissile. Fissility is steep and chiefly fault-parallel. In non-fissile parts, the rocks are predominantly massive, in places faintly laminated. The section comprises somewhat more than 200 m of the Eocene beds.

In the first, shorter segment of section, which is separated from the second main segment by a fault, Eocene rocks occur on tectonically disturbed green volcanoclastic rocks (tuffs, tuffites with thin intercalations

of dark grey biomicritic limestones) of presumably Middle Triassic age.

The Eocene succession starts with a one meter thick, prevailingly light to medium grey fine-crystalline dolomite (unit 1 on Fig. 2a). The rock contains lenses, laminae and thin layers of xylitic coal, 2 mm to 5 cm thick in its lower half. In the upper part traces of plant root systems can be seen as well as limonitized, originally pyritic concretions.

The dolomitic bed is followed by a 1.7 m thick clayey coal interval (unit 2 on Fig. 2a). It consists of 5 to 30 cm thick layers of carbargillitic, detritic and xylitic coal and two 2 to 5 cm thick predominantly clayey beds with a lower content of organic, coaly components.

Above the coaly interval follows a dark yellowish brown, somewhat weathered, marly silty shale of weakly expressed parallel lamination (unit 3 on Fig. 2a). The rock can be compared to weathered yellowish grey marly silty shale at the beginning of the second, main part of the section. That rock is 14 m thick, it overlies the tectonized limestone with numerous calcitic veins, and is probably Triassic in age.

In the second part of the section, the yellow grey marly silty shale passes into brownish grey to dark brownish massive silty marlstone (unit 4 on Fig. 2a) approximately 20 m thick. It contains numerous ostracods and occasional bivalve and gastropod shells.

The dark brownish massive silty marlstone passes into yellowish grey, somewhat weathered marly silty shale (unit 5 on Fig. 2a) comprising a thickness of 7 m, up to the contact with a limestone lens.

The limestone lens (unit 6 on Fig. 2a) is 5.2 m thick and can be genetically divided in two parts. The lower part, 4.2 m thick, bordering along a sharp contact on the underlying yellowish grey marly silty shale, was macroscopically subdivided into three sequences. They start with up to 15 cm thick layers of calcirudite with angular clasts of intramicrite and biointramicrite up to 4 cm in size. On the lower side of these layers and within overlying macroscopically homogeneous, 0.7 to 2.4 m thick intervals of biomicritic limestone stylolites parallel to bedding are visible. In the upper part the lens is terminated with a 1.2 m thick normally graded carbonate turbiditic sequence.

Above the limestone lens lies a medium to light grey, partly weathered yellowish grey, tectonically disturbed marly silty shale (unit 7 on Fig. 2a). Macrofossils are rare. In places rare plant remains can be found. In the section above the limestone lens more than 150 m of real thickness of these rocks are comprised.

The lithostratigraphically highest part of marly rocks (of lithostratigraphic unit 7) in the Vraček section is exposed in the Zavrň area, where it was covered with the Zavrň (Zv) section.

Lithology and lithostratigraphy in the Zavrň section area

The Zavrň (Zv) section is situated between Zavrň and Čreškova in the area of the Vratca settlement (Figs. 1, 2b). The lower part of Tertiary beds to pre-Tertiary rocks is covered. Along the cartway leading to Čreškova, however, they are abundantly exposed. Approximately parallel to the section a fault passes in the NW-SE direction. The horizontal component of the dextral displacement along the fault amounts to about 27 m.

The contact between the pre-Tertiary basement and Tertiary rocks is tectonical. In the basement a crystalline dolomite (doloparite) occurs, on which erosional remains of red, probably weathered muddy rocks occur higher in the slope. The Tertiary sequence starts with a light grey silty clay. The thickness of the covered part of Tertiary rocks is an estimated 30 m. In rare outcrops, a grey massive to slightly laminated silty marlstone with rare plant remains occurs. The rock is brownish weathered and exhibits spheroidal parting. In the lower part occur rare, up to 0.1m thick layers of biodolomicrite with terrigenous admixture.

In the area of the carefully logged Zavrň (Zv/II) section there is a weathered light yellow grey silty marlstone with poorly expressed lamination in its lower part (unit 1 on Fig. 2b). Additionally, there are plant remains among the fossils, and in the middle part ostracods and rare echinoderm fragments. We found no fossils in the upper portion of Zv/II.

Following an angular discordance (25°), a 6.5 m thick lenticular body of blocky conglomerate (unit 2 on Fig. 2b) overlies the

silty marlstone. The blocky conglomerate is cut off in the SW by the aforementioned fault that passes parallel to the section. Toward the NE the conglomerate thins and becomes finer grained. It contains numerous fossil fragments: of red algae (lithothamnium), bivalves, bryozoans, echinoderms and of other organisms. The blocky conglomerate consists of approximately 75% blocks and pebbles and 25% of muddy matrix. Blocks and pebbles range in size from 1 to 100 cm, on an average 20 cm, and are very poorly sorted. The size distribution of pebbles and blocks is bimodal. The first mode is in the range from 1 to 20 cm, and the second one in the 30 to 100 cm range. Nineteen blocks, 20 cm or more in size, and 4 smaller pebbles were examined microscopically. In these we recognized 11 lithofacies, represented in 1 to 4 blocks or pebbles: dolomitic breccia with limonitized dolomicritic cement, dolomicrosparite with brecciated structure, crystalline dolosparite, dolomitized biomicrite, altered crystallolithic (andesitic) volcanoclastic rock, calcareous dolomite breccia, calcitic micaceous quartz very fine-grained sandstone, partly recrystallized volcanic glass with microliths, recrystallized intrabiomicrite, intrabiomicrite with admixture of terrigenous components, and biopeldolomicrite. Blocks and pebbles are of Triassic to inclusively Eocene age, and are derived in part directly from the underlying rocks.

The blocky conglomerate is followed at the end of the section by monotonous parallelly laminated, slightly micaceous marly silty shale (unit 3 on Fig. 2b) with rare up to 1mm thick lenses of very fine-grained sandstone. Along with rare plant remains, visible with naked eye, there is also a foraminiferal fauna.

Benthic foraminiferal fauna from the Socka beds

Eocene benthic foraminifera from Vraček II (Vr/II-) and Zavrň II (Zv/II-) sections were studied. In the two sections a total of 118 taxa were determined, belonging to 85 genera and 53 families.

Vraček II

From the VRAČEK II section (Fig. 2a) 12 samples (Vr/II-001, 002, 003, 004, 005, 005A,

009, 010, 011, 011A, 012, 014) were analyzed. In the section occur 107 taxa, out of them 49 only here. The highest number of taxa, 53, were found in sample Vr-005A, 39 in sample Vr-005, and in the remaining samples from 2 to 29 taxa.

Zavrh II

From the ZAVRH II section (Fig. 2b) 8 samples were analyzed, (Zv/II-011, 010, 009, 008, 007, 006, 005, 004, samples in sections are numbered in stratigraphic order, from the bottom upwards). In the section occur 75 taxa, of them 12 only here. The maximum taxa number was found in Zv/II-6, 37, and the smallest in the uppermost collected sample Zv/II-004, only 6; otherwise the number of taxa varies in a sample between 21 and 37.

Ecological interpretation of foraminiferal fauna

In samples Vr/II-001, 002 no foraminifers are present, only ostracods. The first foraminifers appear in sample Vr/II-003 as individual hauerinids: *Quinqueloculina* sp. 3 and *Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny). This part of the Vraček II section represents the passage from fresh water or brackish environment into a marine setting. Foraminifers become more numerous in sample Vr/II-004, which is entirely marine. The Zv II section is wholly marine. In samples Vr/II-004, 005, 005A the following large foraminiferal genera occur: *Heterostegina* sp., *Operculina* cf. *gomezi* (two juvenile forms), *Discocyclusina trabayensis vicenzensis* (this species was determined by Vlasta Čosović), *Asterocyclusina* sp., *Eoannularia eocenica*, and the large miliolid *Borelis vonderschmitti*. The species *Calcarina lecalvezae* was established in both sections (Vr-014, Zv-009). These are shallow marine species, and are, according to their ecological characteristics, in contradiction with the remaining foraminiferal fauna in the same samples. Therefore we presume that the fauna was transported, washed out from shallower areas into the deeper sea. In the Vraček II section appears in marl a limestone lens with discocyclusinas (the foraminiferal fauna has not yet been determined and interpreted). In Fig. 2a the lens is marked with number 6. Also at the

Povlak farm, about 1km NW of Dobrna, an Eocene limestone with nummulites, discocyclusinas, *Borelis*, and corals is exposed. The limestone at Povlak and the limestone lens at the Vraček II section may represent remains of sediments of the shallow sea from which the large foraminifers were redeposited. For some more frequent genera, Murray (1991, 288-290 and 323-326) reports ecological data from recent environments. Among them appear 20 genera that are identical to genera from our sections. For each of these genera the habitat extends from the shelf (either internal or external) to the bathyal. The shelf is indicated also by the miliolids (*Quinqueloculina*). The upper slope (200-2000 m) is indicated by genera *Ammobaculites*, *Bathysiphon*, *Karreriella*, *Repmanina*, *Textularia*, *Bulimina*, *Globocassidulina*, *Hoeglundina*, *Pullenia*, *Reussella*, *Trifarina* and *Uvigerina*. The genus *Laticarinina* that was found in both sections is an indicator of even greater bathyal depths. However, the observation of a relatively small number of planktonic forms is consistent with deposition of the sediments in the bathyal domain, but rather on the external shelf with a passage to the bathyal. According to the bathymetric interpretation of sediments at Biarritz (Gruenig & Herb, 1984) they were deposited in the realm extending from neritic to bathyal.

Comparison with Late Eocene faunas in Europe

By comparisons of the occurrence of the species in Vraček II and Zavrh II sections with those in other European localities of the Eocene (Possagno in north Italy, Buda marl in Hungary and Upper Eocene beds with *Tritaxia szabo*i in Hungary and Biarritz in France) we want to demonstrate the degree of similarity of our fauna with them.

In north Italy, Braga et al. (1975) established in Paleocene, and Lower and Middle Eocene at **Possagno** 99 benthic species, of which 10 (=8%) are also our species. From the Upper Eocene 126 benthic species were determined. Among these 13 (=11%) are found in our sections.

In the **Buda marl** Sztrákos (1982) established 471 forms of foraminifers, out of these 416 were determined to the species or subspecies level. 42 (=35%) of our species

are identical to those. From the Bartonian and Priabonian beds with *Tritaxia szaboi*, Sztràkos (1987) determined 429 species. Of these, 45 (=38%) are also our species.

The fauna from the **Biarritz** locality was investigated by Halkyard (1919), Gruenig & Herb (1984), Gruenig (1985) and Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos, 1993, 1993). Halkyard (1919) established the presence of 345 foraminiferal species. Gruenig (1985) determined 87 species. By far the most complete review was performed by Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos, 1993) who recorded 557 species. With the species from Biarritz 77 (=65%) species are identical, or two thirds of species from the Vraček II and Zavrň II sections are found in Biarritz. Outstanding among them is *Marginulina globosa* Halkyard. It was previously known only from Biarritz, and Halkyard's specimen was the only one of this species until Sztràkos found additional three individuals in the Aquitanian basin in beds of the zone with *Turborotalia cerroazulensis* s. l. (Middle Priabonian) (Sztràkos, 1993, 44. In: Mathelin & Sztràkos). The species is obviously very rare. Our find is from the third and easternmost locality. The species is interesting and important as an indicator of the connection of our Late Eocene sea toward the west.

Dating of the Socka beds

For dating the species of benthic foraminifers that are restricted to Eocene and that do not survive the Eocene-Oligocene boundary are critical. There are 22 such species (*Heterostegina* sp. does not belong to them) in our two sections:

Pavonitina biarritzensis
Dorothia fallax
Karrerotextularia olianensis
Sigmoilopsis bartoniensis
Borelis vonderschmitti
Reticulopalmula arborescens
Marginulina globosa
Spirolingulina acutimargo
Ceratocanocris crassa
Lamarckina cristellaroides
Sporobulimina eoacena
Sagrinopsis aspera
Tubulogenerina tubulifera

Uvigerina chirana
Schlosserina asterites
Laticarinina altocamerata
Halkyardia minima
Melonis halkyardi
Eoannularia eocenica
Calcarina lecalvezae
Operculina cf. gomezi
Discocyclina trabajensis vicenzensis

Serra-Kiel et al. (1998) proposed the biozoning of the Paleocene and Eocene on the basis of shallow marine benthic foraminifers in 20 SB (shallow benthic) biozones. The last two biozones, SB 19 and SB 20, comprise the Priabonian (upper part of NP 18 to lowermost part of NP 21 or upper part of P 15 to P 17. After Serra-Kiel et al. 1998) Several species extend vertically through biozones, in our sections. These are:

- *Borelis vonderschmitti* which comprises the top part of SB 18, the whole SB 19 and lower part of SB 20
- *Operculina gomezi* covers the upper part of SB 18, entire SB 19 and entire SB 20
- *Halkyardia minima* comprises the zones SB 15 to the end of SB 20
- *Discocyclina trabajensis vicenzensis* comprises SB 20
- *Calcarina lecalvezae* comprises the zones SB 17 and SB 18.

The authors of *Calcarina lecalvezae*, Bou-langer & Poignant (1971, 96), report the for Upper Eocene for its range, but they also found it in the Upper Lutetian. *Heterostegina* is also stratigraphically important and is represented by a few individuals in the Vraček II section; it does not appear before the Priabonian (Hottinger, 1977, 142; Loeblich & Tappan, 1987, 684).

The most data for detailed dating could be obtained from planktic foraminifers. However, they are rare relative to benthic foraminifers. From samples Vr/II-005, 010, 011, 011A, 014 and Zv/II-009 Monique Toumarkine determined 15 planktic species belonging to four genera and three families. In a written communication she qualified them as species without great stratigraphic value, as for example *Catapsidrax dissimilis* (Cushman & Bermudez), *Globorotalia suteri* Bolli, the range of which extends from the Eocene into the Miocene. The other ones are globigerinas from the Eocene-Oligocene boundary. Only species *Turborotalia cerro-*

azulensis cerroazulensis (Cole) indicates a Late Eocene age. Foraminifers are not very well preserved, they are often deformed and their apertures filled with sediment.

The benthic and planktic foraminifers permit us to conclude that the beds in the Vraček II and Završ II sections are Priabonian in age, which also confirms the Priabonian age of the Socka beds.

Systematics

Order **FORAMINIFERIDA** Eichwald, 1830
Family: **Bathysiphonidae** Avnimelech, 1952

***Bathysiphon taurinensis* Sacco, 1893**

Pl. 1, Fig. 1

1893 *Bathysiphon taurinensis* - Sacco, p. 168, pl. 11, fig. 2 (Fide Ellis & Messina 1940)

1975 *Bathysiphon taurinense* Sacco - Popescu, p. 32, pl. 1, fig. 2

Locality: Vr-005, Vr-005A, Zv-008, Zv-009, Zv-011

Family: **Ammodiscidae** Reuss, 1862

***Repmanina charoides* (Jones & Parker), 1860**

1860 *Trochammina squamata* Jones & Parker var. *charoides* - Jones & Parker, p. 304 (Fide Ellis & Messina 1940)

1982 *Glomospira charoides* (Jones & Parker) - Foraminiferi padani, pl. 1, fig. 3

1975 *Glomospira charoides* (Jones & Parker) - Braga et. al., p. 102

Locality: Zv-010

Family: **Lituolidae** de Blaville, 1827

***Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny), 1846**

Pl. 1, Figs. 2-3

1846 *Spirolina agglutinans* - d'Orbigny, p. 137, pl. 7, figs. 10-12

1985 *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny) - Papp & Schmid, p. 196, pl. 45, figs. 6-9

1985 *Haplophragmoides* - *Ammobaculites* sp. - Grünig, p. 255, pl. 1, figs. 10-12

1993 *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny) - Sztrákos (In: Mathelin & Sztrákos), p. 73, pl. 1, fig. 15

Locality: Vr-012

Family: **Spiroplectamminidae** Cushman, 1927

***Spiroplectinella dalmatina* (de Witt Puyt), 1941**

Pl. 1, Fig. 4

1941 *Textularia dalmatina* - de Witt Puyt, p. 45, pl. 1, figs. 4-5

1975 *Spiroplectammina dalmatina* (de Witt Puyt) - Braga et al., p. 102

1985 *Spiroplectammina dalmatina* (de Witt Puyt) - Grünig, p. 256, pl. 2, figs. 1-4

Locality: Vr-010, Zv-008, Zv-009

***Vulvulina haeringensis* (Gümbel), 1868**

Pl. 1, Fig. 6

1868 *Venilina haeringensis* - Gümbel, p. 71, pl. 2, fig. 84

1975 *Vulvulina haeringensis* (Gümbel) - Braga et al., p. 91, pl. 1, figs. 4, 23; p. 102

1985 *Vulvulina haeringensis* (Gümbel) - Grünig, p. 256, pl. 2, figs. 10-12

1993 *Vulvulina haeringensis* (Gümbel) - Sztrákos (In: Mathelin & Sztrákos), p. 73, pl. 2, fig. 12

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-009, Vr-011, Vr-012, Zv-006, Zv-008

Family: **Pavonitinae** Loeblich & Tappan, 1961

***Pavonitina biarritzensis* Sztrákos, 1987**

Pl. 1, Figs. 7-8

1987b *Pavonitina biarritzensis* - Sztrákos, p. 129, pl. 1, figs. 1-3, pl. 3, figs. 1-3, textfig. 1

1993 *Pavonitina biarritzensis* Sztrákos - Sztrákos (In: Mathelin & Sztrákos), p. 73, pl. 24, fig. 5

Locality: Vr-005A, Zv-005, Zv-006, Zv-008, Zv-010, Zv-011

Family: **Prolixoplectidae** Loeblich & Tappan, 1985

***Plectina dalmatina* (Schubert), 1811**

Pl. 1, Figs. 9-10

1911 *Gaudryina dalmatina* Schubert - Liebus, p. 75, pl. 3, fig. 5

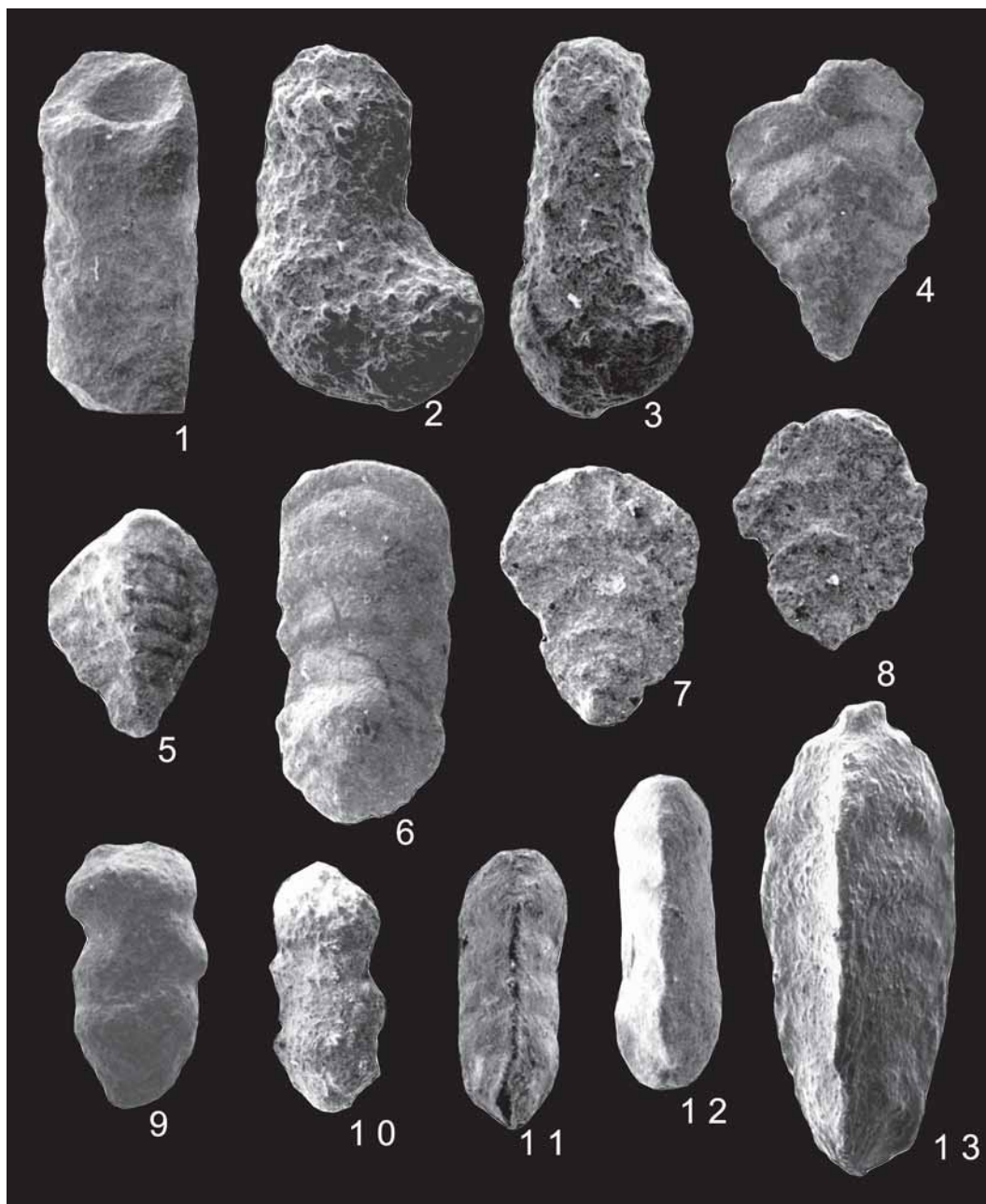
1919 *Clavulina gaudryinoises* Halkyard non Fornasini - Halkyard, p. 46, pl. 3, figs. 1-3

1937a *Plectina dalmatina* (Schubert) - Cushman, p. 107, pl. 12, fig. 8

1985 *Plectina dalmatina* (Schubert) - Grünig, p. 158, pl. 3, figs. 1-6

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-009, Vr-010, Vr-012, Zv-006, Zv-007, Zv-009, Zv-010, Zv-011

PLATE 1



1 *Bathysiphon taurinensis* Sacco, Vr-009, x28. 2-3 *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny). 2 Vr-012, x40. 3 Vr-012, x40. 4 *Spiroplectinella dalmatina* (de Witt Puyt), Vr-009, x60. 5 *Spiroplectinella pectinata* (Hantken), Vr-010, x40. 6 *Vulvulina haeringensis* (Gümbel), Vr-009, x40. 7-8 *Pavonitina biarritzensis* Sztrákos. 7 Zv/II-006, x40. 8 Zv/II-006, x40. 9-10 *Plectina dalmatina* (Schubert). 9 Vr-009, x40, 10 Vr-009, x40. 11-12 *Tritaxia kruhelensis* (Woicik). 11 Vr-012, x40. 12 Vr-012, x40. 13 *Tritaxia szaboi* (Hantken), Vr-009, x40.

Family: **Tritaxiidae Plotnikova, 1979**

***Tritaxia kruhelensis* (Woicik), 1903**

Pl. 1, Figs. 11-12

1903 *Clavulina szaboi* var. *kruhelensis* - Woicik, p. 498, pl. 6, fig. 21 (Fide Ellis & Messina 1940)

1956 *Clavulinoides kruhelensis* (Woicik) - Hagn, p. 117, pl. 10, figs. 2-4, 8-9

1993 *Clavulinoides kruhelensis* (Woicik) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 73, pl. 3, fig. 19

Locality: Vr-012, Zv-004

***Tritaxia szaboi* (Hantken), 1868**

Pl. 1, Fig. 13

1868 *Clavulina Szaboi* - Hantken, p. 83, pl. 1, figs. 4, 6, 7

1868 *Rhabdogonium Szaboi* - Hantken, p. 90, pl. 1, fig. 18

1956 *Clavulinoides Szaboi* (Hantken) - Hagn, p. 116, pl. 10, fig. 1

1975 *Tritaxia szaboi* (Hantken) - Braga et al. p. 103, pl. 4, figs. 1-2

1993 *Clavulinoides szaboi* (Hantken) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 73, pl. 4, fig. 1; pl. 25, fig. 5

Locality: Vr-004, Vr-005A, Zv-005, Zv-006, Zv-008, Zv-010, Zv-011

Family: **Eggerellidae Cushman, 1937**

***Dorothia fallax* Hagn, 1956**

Pl. 2, Figs. 1-2

1956 *Dorothia fallax* - Hagn, p. 119, pl. 9, figs. 18-19; pl. 18, fig. 10

1975 *Dorothia fallax* Hagn - Braga et al., p. 92, pl. 1, fig. 25

1993 *Dorothia fallax* Hagn - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 39, pl. 24, fig. 8

Locality: Zv-010, Zv-011

***Karrerella halkyardi* Cushman, 1936**

Pl. 2, figs. 3-4

1936 *Karrerella halkyardi* - Cushman, p. 36, pl. 5, fig. 16

1985 *Karrerella halkyardi* Cushman - Grünig, p. 258, pl. 3, figs. 21-22

1993 *Karrerella halkyardi* Cushman - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 39, pl. 24, fig. 9

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-010, Zv-004, Zv-006, Zv-008, Zv-009, Zv-010

***Martinottiella* sp.**

Pl. 2, Fig. 5

Locality: Vr-004

Family: **Textulariidae Ehrenberg, 1838**

***Semivulvulina pectinata* (Hantken), 1875**

Pl. 1, Fig. 5

1875 *Vulvulina pectinata* - Hantken, p. 68, pl. 7, fig. 10

1975 *Vulvulina* aff. *pectinata* Hantken - Braga et al. p. 102, pl. 4, fig. 3

1985 *Spiroplectammina* aff. *pectinata* (Hantken) - Grünig, p. 256, pl. 2, figs. 5-8

1993 "*Semivulvulina*" cf. *pectinata* (Reuss) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 40, pl. 2, fig. 11

Locality: Vr-005A, Vr-009, Vr-010, Vr-011, Vr-012, Vr-014, Zv-005, Zv-006, Zv-008, Zv-010

***Textularia adalta* Cushman, 1926**

Pl. 2, Fig. 6

1926 *Textularia adalta* - Cushman, p. 29, pl. 4, fig. 2 (Fide Ellis & Messina 1940)

1950 *Textularia adalta* Cushman - Ruiz de Gaona & Colom, p. 416, figs. 5/22-26

1985 *Textularia adalta* Cushman - Grünig, p. 257, pl. 3, figs. 16-17

1993 *Textularia adalta* Cushman - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 73, pl. 3, fig. 9

Locality: Vr-005, Vr-005A, Vr-009, Zv-010

***Karrerotextularia olianensis* (Ruiz de Gaona & Colom), 1950**

Pl. 2, Figs. 7-8

1950 *Siphotextularia olianensis* - Ruiz de Gaona & Colom, p. 413, figs. 16/1-9

1985 *Siphotextularia concava* (Karrer) - Grünig, p. 257, pl. 2, figs. 18-19

1991 *Siphotextularia olianensis* Ruiz de Gaona & Colom - Barbin & Keller-Grünig, p. 241, pl. 1, figs. 3-4

1993 *Karrerotextularia olianensis* (Ruiz de Gaona & Colom) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 40, pl. 3, figs. 17-18; pl. 25, figs. 3-4

Locality: Vr-009

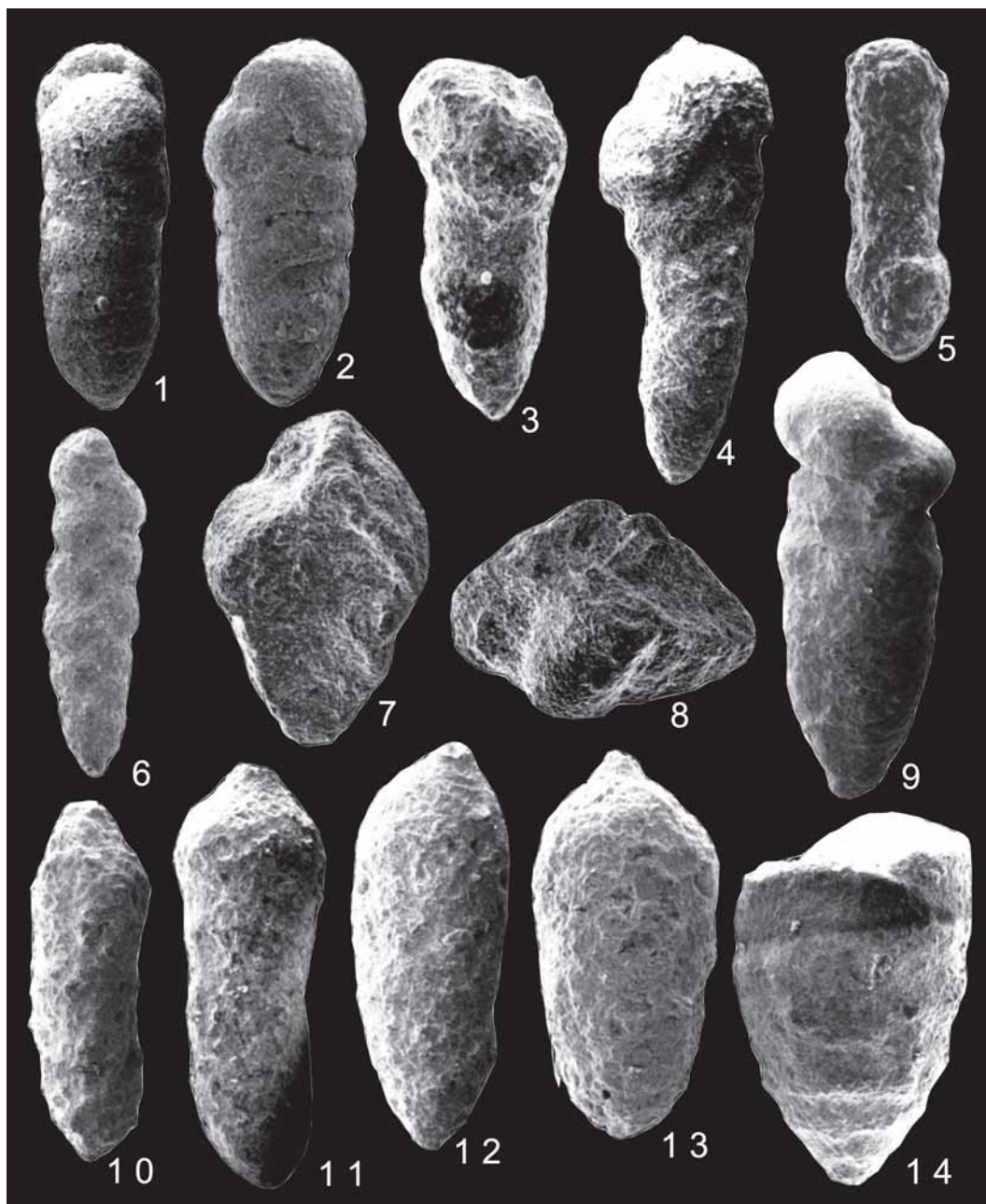
Family: **Pseudogaudryinidae Loeblich & Tappan, 1985**

***Pseudogaudryina textilaroides* (Hantken), 1875**

Pl. 2, Fig. 9

1875 *Gaudryina textilaroides* - Hantken, p. 15, pl. 1, fig. 6

PLATE 2



1-2 *Dorothia fallax* Hagn. 1 Zv/II-011, x40. 2 Zv/II-011, x40. 3-4 *Karrerella halkyardi* Cushman. 3 Vr-010, x80. 4 Zv/II-006, x60. 5 *Martinottiella* sp., Vr-004, x80. 6 *Textularia adalta* Cushman, Vr-009, x40. 7-8 *Karrerotextularia olianensis* (Ruiz de Gaona & Colom). 7 Vr-009, x120. 8 Vr-009, x120. 9 *Pseudogaudryina textilaroides* (Hantken), Vr-009, x28. 10-11 *Cylindroclavulina colomi* Hagn. 10 Vr-009, x40. 11 Vr-012, x40. 12-13 *Cylindroclavulina rudislostia* (Hantken). 12 Vr-009, x28. 13 Vr-009, x28. 14 *Tritaxilina pupa* (Gümbel), Vr-005A, x60.

1993 *Pseudogaudryina ? textilaroides* Hantken - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 41, pl. 4, fig. 5
Locality: Vr-009

Family: **Valvulinidae Berthelin, 1880**

***Cylindroclavulina colomi* Hagn, 1956**

Pl. 2, Figs. 10-11

1956 *Cylindroclavulina colomi* - Hagn, p. 123, pl. 10, figs. 6-7; pl. 18, figs. 8. 9

1975 *Cylindroclavulina colomi* Hagn - Braga & al. p. 103, pl. 4, fig. 6

1985 *Cylindroclavulina colomi* Hagn - Grünig, p. 258, pl. 4, fig. 5

1993 *Cylindroclavulina colomi* Hagn - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 73, pl. 4, fig. 2

Locality: Vr-004, Vr-005A, Vr-009, Vr-012, Vr-014, Zv-006, Zv-007

***Cylindroclavulina rudislostia* (Hantken), 1889**

Pl. 2, Figs. 12-13

1889 *Clavulina rudislostia* - Hantken, p. 383

1875 *Clavulina cylindrica* Hantken (non d'Orbigny 1825) - Hantken, p. 18, pl. 1, fig. 8

1956 *Cylindroclavulina rudislostia* (Hantken) - Hagn, p. 122, pl. 10, fig. 5

1991 *Cylindroclavulina rudislostia* (Hantken) - Barbin & Keller-Grünig, p. 240

1993 *Cylindroclavulina rudislostia* (Hantken) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 73, pl. 4, fig. 4

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-009, Vr-012, Vr-014, Zv-004, Zv-005, Zv-007

***Tritaxilina pupa* (Gümbel), 1868**

Pl. 2, Fig. 14

1868 *Gaudryina pupa* - Gümbel, p. 602, pl. 1, fig. 3

1950 *Tritaxilina pupa* (Gümbel) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 421, fig. 14/23

1975 *Tritaxilina pupa* (Gümbel) - Braga et al., p. 93, pl. 1, figs. 24, 27

1987a *Tritaxilina pupa* (Gümbel) - Sztråkos, p. 35, pl. 3, figs. 11-12

Locality: Vr-005A, Vr-011, Vr-014, Zv-008, Zv-009, Zv-010, Zv-011

Family: **CornusPiridae Schultze, 1854**

***Cornuspira angigyra* (Reuss), 1850**

Pl. 3, Fig. 1

1850 *Operculina angigyra* - Reuss, p. 370, pl. 46, fig. 19

1993 *Cornuspira angigyra* (Reuss) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 74, pl. 4, fig. 13
Locality: Zv-006

Family: **Spiroloculinidae Wiesner, 1920**

***Spiroloculina dorsata* Reuss, 1866**

1866 *Spiroloculina dorsata* - Reuss, p. 123

1855 *Spiroloculina limbata* - Bornemann, p. 348, pl. 19, fig. 1

1961 *Spiroloculina canaliculata* d'Orbigny - Kaasschieter, p. 154, pl. 3, figs. 20-23

Locality: Vr-004, Vr-005A

***Spiroloculina* sp. 1**

Pl. 3, Figs. 2-3

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Zv-005, Zv-010, Zv-011

***Spiroloculina* sp. 2**

Pl. 3, Fig. 4

Locality: Vr-005, Vr-011, Zv-006, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010, Zv-011

Family: **Hauerinidae Schwager, 1876**

***Quinqueloculina depressa* d'Orbigny, 1826**

Pl. 3, Fig. 5

1826 *Quinqueloculina depressa* - d'Orbigny, p. 302, no. 38

1878 *Triloculina depressa* d'Orbigny - Terquem, pl. 8, figs. 1-11

1904 *Quinqueloculina depressa* d'Orbigny - Fornasini, p. 68, pl. 4, fig. 8

1993 *Quinqueloculina depressa* d'Orbigny - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 74, pl. 5, fig. 4

Locality: Vr-005A, Zv-006, Zv-009, Zv-010, Zv-011

***Quinqueloculina impressa* Reuss, 1851**

Pl. 3, Fig. 6

1851 *Quinqueloculina impressa* - Reuss, p. 87, pl. 7, fig. 59

1993 *Quinqueloculina impressa* Reuss - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 74, pl. 5, fig. 6

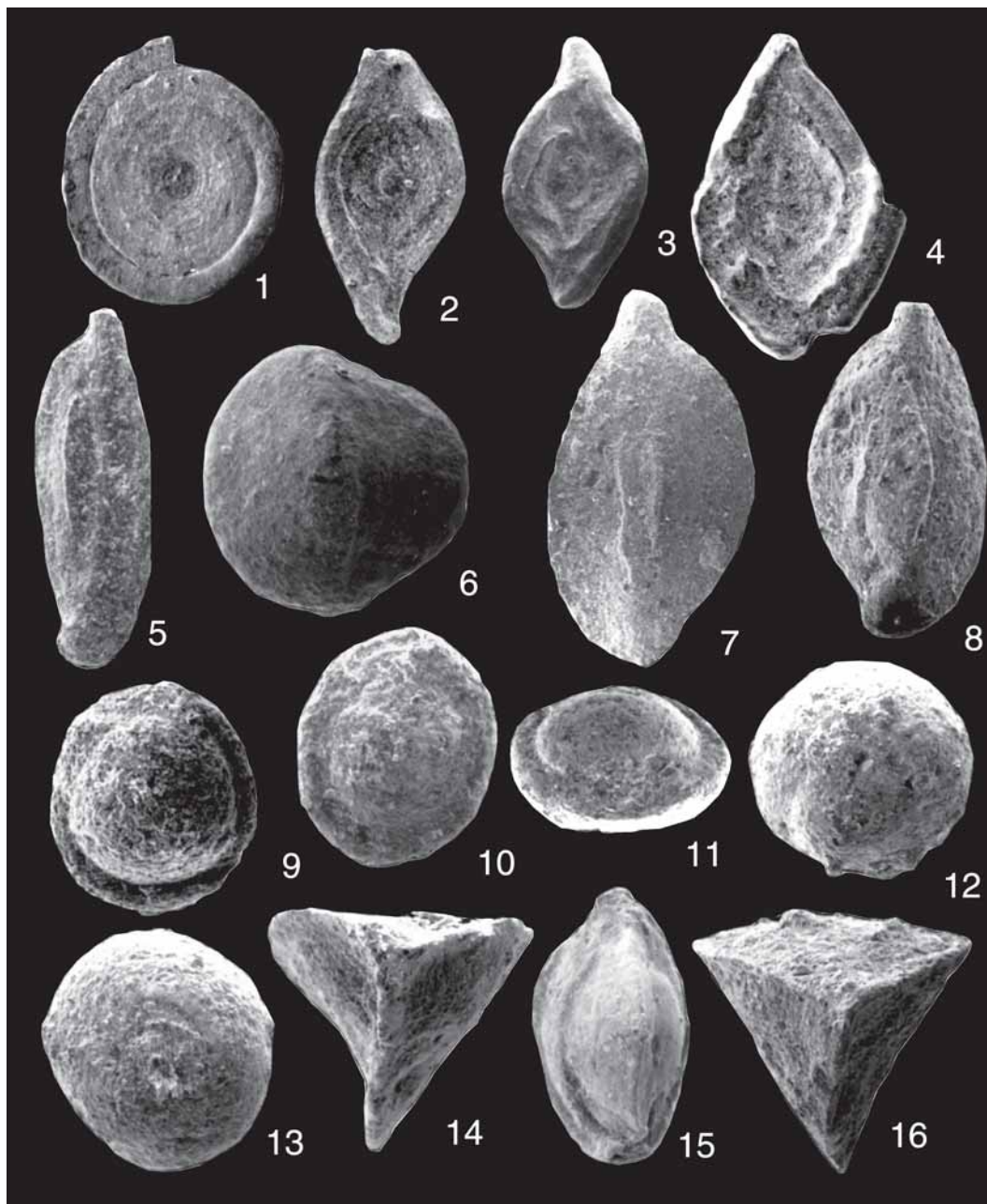
Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-009, Vr-010, Vr-011, Vr-011A, Vr-014, Zv-004, Zv-005, Zv-006, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010, Zv-011

***Quinqueloculina* sp. 1**

Pl. 3, Figs. 7-8

Locality: Vr-004, Vr-011, Vr-011A, Zv-006, Zv-007, Zv-009, Zv-010, Zv-011

PLATE 3



1 *Cornuspira angiggyra* (Reuss), Zv/II-006, x40. 2-3 *Spiroloculina* sp. 1. 2 Zv/II-011, x40. 3 Zv/II-011, x40. 4 *Spiroloculina* sp. 2. Vr-010, x60. 5 *Quinqueloculina depressa* d'Orbigny, Zv/II-010, x60. 6 *Quinqueloculina impressa* Reuss, Vr-009, x60. 7-8 *Quinqueloculina* sp. 1. 7 Zv/II-009, x60. 8 Zv/II-009, x60. 9 *Pyrgo simplex* (d'Orbigny), Zv/II-006, x80. 10-11 *Pyrgo* sp. 1. 10 Zv/II-005, x80. 11 Zv/II-006, x80. 12-13 *Pyrgo* sp. 2. 12 Zv/II-009, x80. 13 *Pyrgo* sp. 2, Zv/II-009, x80. 14-16 Nov. gen. sp. 1. 14 Zv/II-005, x120. 15 Zv/II-010, x60. 16 Zv/II-007, x80.

***Quinqueloculina* sp. 2**

Locality: Vr-011A, Zv-006, Zv-007, Zv-009, Zv-010, Zv-011

***Quinqueloculina* sp. 3**

Pl. 4, Fig. 5
Locality: Vr-003

***Pyrgo simplex* (d'Orbigny), 1846**

Pl. 3, Fig. 9

1846 *Biloculina simplex* - d'Orbigny, p. 264, pl. 15, figs. 25-27

1975 *Pyrgo simplex* (d'Orbigny) - Braga et al., p. 104

1985 *Pyrgo simplex* (d'Orbigny) - Grünig, p. 260 fig. 9

1993 *Pyrgo simplex* (d'Orbigny) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 74, pl. 5, fig. 9

Locality: Vr-012, Zv-005, Zv-006, Zv-008

***Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny), 1839**

Pl. 4, Fig. 6

1839 *Biloculina subsphaerica* - d'Orbigny, p. 162, pl. 8, figs. 25-27

1949 *Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny) - Cuvillier & Szakall, p. 45, pl. 20, fig. 2

1985 *Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny) - Grünig, p. 260

Locality: Vr-003

***Pyrgo* sp. 1**

Pl. 3, Figs. 10-11

Locality: Zv-005, Zv-006

***Pyrgo* sp. 2**

Pl. 3, Figs. 12-13

Locality: Zv-009, Zv-010, Zv-011

Nov. gen. sp. 1

Pl. 3, Figs. 14-16

Locality: Vr-004, Vr-005A, Zv-005, Zv-006, Zv-007, Zv-008, Zv-010, Zv-011

***Sigmoilopsis bartoniensis* (Ruiz de Gaona & Colom), 1950**

Pl. 4, Figs. 1-2

1951 *Sigmoilina bartoniensis* - Ruiz de Gaona & Colom, p. 410, figs. 17/1-16

1985 *Sigmoilopsis* sp. - Grünig, p. 260, pl. 4, figs. 14-16

1993 *Sigmoilopsis bartoniensis* Ruiz de Gaona & Colom - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 74, pl. 5, fig. 12

Locality: Vr-011, Vr-011A, Zv-005, Zv-

006, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010, Zv-011

Family: **Alveolinidae Ehrenberg, 1839**

***Borelis vonderschmitti* (Schweighauser), 1951**

Pl. 4, Figs. 3-4

1951 *Neolvalveolina vonderschmitti* - Schweighauser, p. 468, figs. 1-4

1979 *Borelis* aff. *vonderschmitti* (Schweighauser) - Drobne K. et al., p. 160, pl. 4, figs. 1-2

1990 *Borelis vonderschmitti* (Schweighauser) - Pavlovec et al., p. 442, pl. 1, figs. 1-3

Locality: Vr-005, Vr-005A

Family: **Nodosariidae Ehrenberg, 1838**

***Nodosaria latejugata* Gümbel, 1868**

Pl. 4, Fig. 11

1868 *Nodosaria latejugata* - Gümbel, p. 41, pl. 1, fig. 32

1956 *Nodosaria latejugata* Gümbel - Hagn, p. 137, pl. 12, fig. 11; pl. 13, fig. 1

1987a *Nodosaria latejugata* Gümbel - Sztràkos, p. 33

1991 *Nodosaria latejugata* Gümbel - Barbin & Keller-Grünig, p. 240

Locality: Vr-004, Vr-005 Vr-010, Vr-011, Vr-012, Zv-008

***Pyramidulina bactridium* (Reuss), 1866**

Pl. 4, Figs. 8-9

1866 *Nodosaria bactridium* - Reuss, p. 130, pl. 1, figs. 24-25

1993 *Pyramidulina bactridium* (Reuss) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 75, pl. 7, figs. 15-16

Locality: Vr-005A

Family: **Vaginulinidae Reuss, 1860**

***Lenticulina arcuatostrata* (Hantken), 1868**

Pl. 4, Fig. 13

1868 *Cristellaria (Robulina) arcuato striata* - Hantken, p. 93, pl. 2, fig. 30

1950 *Robulus arcuatostratus* (Hantken) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 402, figs. 6/1-9

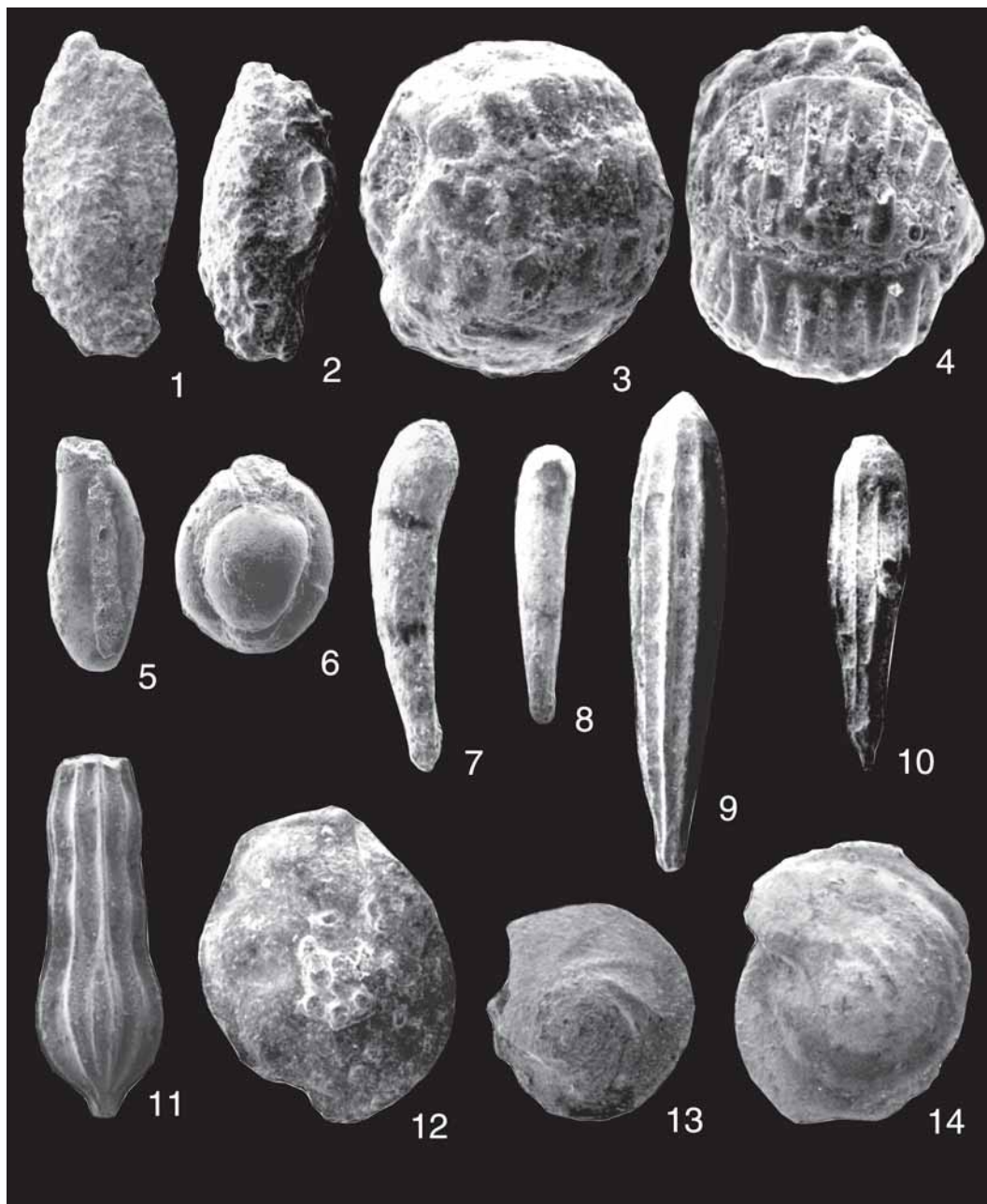
1956 *Robulus arcuato-striatus* (Hantken) - Hagn, p. 127, pl. 11, fig. 4

1975 *Lenticulina arcuatostrata* (Hantken) - Braga et al., p. 104

1985 *Lenticulina arcuato-striata* (Hantken) - Grünig, p. 261, pl. 4, fig. 19

Locality: Vr-005A, Vr-010, Vr-011, Zv-005, Zv-010

PLATE 4



1-2 *Sigmoilopsis bartoniensis* (Ruiz de Gaona & Colom). 1 Zv/II-010, x40. 2 Vr-011A, x40. 3-4 *Borelis vonderschmitti* (Schweighauser). 3 Vr-005A, x160. 4 Vr-005A, x120. 5 *Quinqueloculina* sp. 3, Vr/II-003, x40. 6 *Pyrgo subsphaerica* (d'Orbigny), Vr/II-003, x80. 7-8 *Rectobolivina zsigmondyi* (Hantken). 7 Zv/II-009, x60. 8 Zv/II-009, x40. 9-10 *Pyramidulina bactridium* (Reuss). 9 Vr-005A, x28. 10 Vr-005A, x40. 11 *Nodosaria latejugata* Gümbel, Zv/II-006, x28. 12 *Lenticulina budensis* (Hantken), Vr-012, x40. 13 *Lenticulina arcuatostriata* (Hantken), Vr-011, x28. 14 *Lenticulina limbosa* (Reuss), Zv/II-008, x28.

***Lenticulina budensis* (Hantken), 1875**

Pl. 4, Fig. 12

1875 *Robulina budensis* - Hantken, p. 58, pl. 7, fig. 11950 *Robulus budensis* (Hantken) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 403, figs. 7/7-8

Locality: Vr-010, Vr-012

***Lenticulina limbosa* (Reuss), 1863**

Pl. 4, Fig. 14

1863 *Robulina limbosa* - Reuss, p. 55, pl. 6, fig. 69a-b1875 *Robulina limbosa* Reuss - Hantken, p. 57, pl. 6, fig. 111950 *Rubulus limbosus* (Reuss) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 405, fig. 5/1-141956 *Robulus limbosus* (Reuss) - Hagn, p. 127, pl. 11, fig. 21993 *Lenticulina limbosa* (Reuss) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 75, pl. 8, fig. 6

Locality: Zv-008

***Marginulinopsis behmi* (Reuss), 1866**

Pl. 5, Fig. 1

1866 *Cristellaria behmi* - Reuss, p. 22, pl. 2, fig. 371868 *Cristellaria behmi* Reuss - Gümbel, s. 55, pl. 1, fig. 611875 *Marginulina behmi* (Reuss) - Hantken, p. 48, pl. 5, figs. 1-21950 *Marginulina behmi* (Reuss) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 384, fig. 11/18-261956 *Marginulina behmi* (Reuss) - Hagn, p. 131, pl. 11, fig. 111975 *Marginulina behmi* (Reuss) - Braga et al., p. 105, pl. 4, fig. 131985 *Marginulina behmi* (Reuss) - Grünig, p. 262, pl. 5, figs. 17-191993 *Marginulina behmi* (Reuss) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 43, pl. 26, figs. 14-16

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-009, Vr-010, Vr-011, Vr-012, Vr-014, Zv-006, Zv-008, Zv-009, Zv-010, Zv-011

***Marginulinopsis porvaensis* (Hantken), 1875**

Pl. 5, Figs. 2-3

1875 *Cristellaria porvaensis* - Hantken, p. 50, pl. 14, fig. 11950 *Marginulina porvaensis* (Hantken) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 387, fig. 11/1-141987a *Marginulinopsis porvaensis* (Hantken) - Sztråkös, p. 32, pl. 5, fig. 201993 *Astacolus porvaensis* (Hantken) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 76, pl. 26, fig. 13

Locality: Vr-010, Vr-011, Zv-005, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010

***Percultazonaria fragaria* (Gümbel), 1868**

Pl. 5, figs. 4-5

1868 *Marginulina fragaria* - Gümbel, p. 57, pl. 1, figs. 58a-c1950 *Marginulina fragaria* - Ruiz de Gaona & Colom, p. 386, figs. 11/15-171956 *Marginulinopsis fragaria* (Gümbel) - Hagn, p. 134, pl. 12, figs. 3, 8, 101975 *Marginulinopsis fragaria* (Gümbel) - Braga et al., p. 1051985 *Marginulinopsis fragaria* (Gümbel) - Grünig, p. 161, pl. 5, figs. 24-281991 *Marginulinopsis fragaria* (Gümbel) - Barbin & Keller-Grünig, p. 240, pl. 2, figs. 6-121993 *Percultazonaria fragaria* (Gümbel) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 76, pl. 9, figs. 1-2

Locality: Vr-014, Zv-004, Zv-006, Zv-007, Zv-009

***Saracenaria hantkeni* Cushman, 1933**

Pl. 5, Fig. 6

1933 *Saracenaria arcuata* d'Orbigny var. *hantkeni* - Cushman, p. 4, pl. 1, figs. 11-12 (Fide Ellis & Messina 1940)1956 *Saracenaria hantkeni* Cushman - Hagn, p. 138, pl. 13, fig. 41993 *Saracenaria hantkeni* Cushman - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 76, pl. 9, fig. 6

Locality: Vr-004, Vr-009, Vr-010, Zv-005, Zv-006, Zv-007, Zv-010, Zv-011

***Palmula budensis* (Hantken), 1875**

Pl. 5, Fig. 7

1875 *Flabellina budensis* - Hantken, p. 44, pl. 4, fig. 171984 *Frondicularia budensis* (Hantken) - Grünig & Herb, p. 2631985 *Frondicularia budensis* (Hantken) - Grünig, p. 261, pl. 4, fig. 211993 *Palmula budensis* (Hantken) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 76, pl. 9, fig. 10

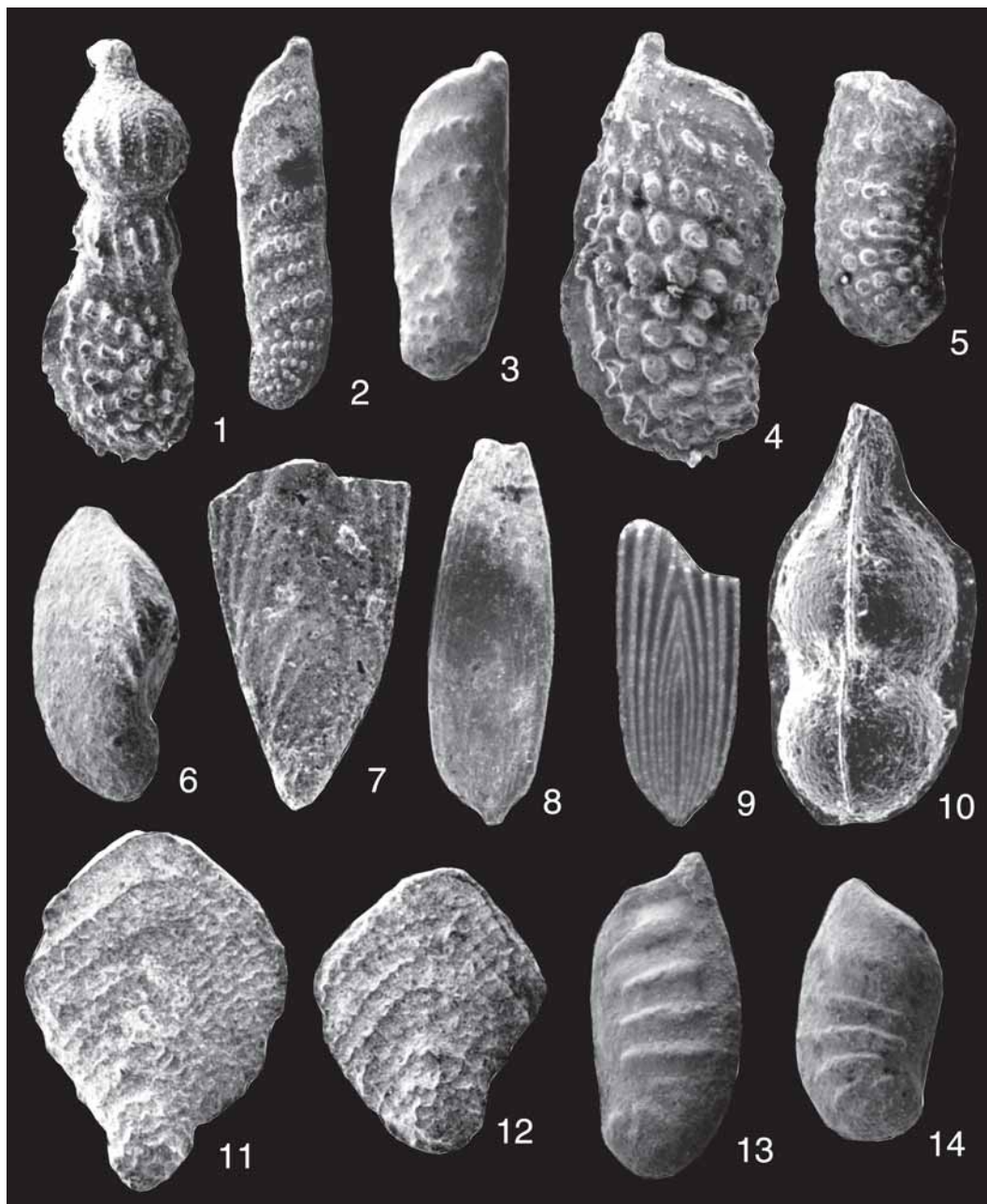
Locality: Vr-011, Zv-005, Zv-006, Zv-007, Zv-008

***Palmula tenuissima* (Hantken), 1875**

Pl. 5, Figs. 8-9

1875 *Frondicularia tenuissima* - Hantken, p. 43, pl. 13, fig. 111950 *Frondicularia tenuissima* Hantken - Ruiz de Gaona & Colom, p. 377

PLATE 5



1 *Marginulinopsis behmi* (Reuss), Zv/II-006, x60. 2-3 *Marginulinopsis porvaensis* (Hantken). 2 Zv/II-006, x28. 3 Zv/II-010, x40. 4-5 *Percultazonaria fragaria* (Gümbel). 4 Zv/II-006, x40. 5 Vr-012, x28. 6 *Saracenaria hantkeni* (Cushman), Vr-010, x40. 7 *Palmula budensis* (Hantken), Zv/II-006, x80. 8-9 *Palmula tenuissima* (Hantken). 8 Zv/II-008, x80. 9 Zv/II-005, x60. 10 *Marginulina globosa* (Halkyard), Zv/II-006, x120. 11-12 *Reticulopalmula arborescens* (Halkyard). 11 Vr-005, x40. 12 Vr-005, x40. 13-14 *Vaginulinopsis cumulicostata* (Gümbel). 13 Vr-004, x28. 14 Vr-004, x28.

- 1993 *Fron dovaginulina tenuissima* (Hantken) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 76, pl. 9, fig. 8

Locality: Vr-005A, Zv-008

***Reticulopalmula arborescens* (Halkyard), 1919**

Pl. 5, Figs. 11-12

- 1919 *Fron dicularia arborescens* - Halkyard, p. 88, pl. 5, figs. 8-9

- 1981 *Coleites arborescens* (Halkyard) - Hagn et al., p. 91

- 1985 *Coleites arborescens* (Halkyard) - Grünig, p. 275, pl. 6, figs. 14-15

- 1993 *Reticulopalmula arborescens* (Halkyard) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 43, pl. 26, figs. 8-9

Locality: Vr-005, Vr-009, Vr-010, Vr-011, Vr-012, Zv-005, Zv-006, Zv-008 Zv-010, Zv-011

***Marginulina globosa* Halkyard, 1919**

Pl. 5, Fig. 10

- 1919 *Marginulina pyramidale* Karrer var. *globosa* - Halkyard, p. 85, pl. 5, fig. 2

- 1993 *Marginulina globosa* Halkyard - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 44, pl. 23, fig. 15; pl. 48, figs. 20-22

Locality: Vr-011, Zv-006

***Vaginulinopsis cumulicostata* (Gümbel), 1868**

Pl. 5, Figs. 13-14

- 1868 *Cristellaria cumulicostata* - Gümbel, p. 60, pl. 1, fig. 67

- 1956 *Vaginulinopsis cumulicostata* (Gümbel) - Hagn, p. 135, pl. 13, fig. 3

- 1975 *Vaginulinopsis cumulicostata* (Gümbel) - Braga et al. p. 105, pl. 4, fig. 8

- 1985 *Vaginulinopsis cumulicostata* (Gümbel) - Grünig, p. 263, pl. 6, fig. 6

- 1993 *Vaginulinopsis cumulicostatus* (Gümbel) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 76, pl. 10, fig. 12

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-010, Vr-012, Zv-005

***Spirolingulina acutimargo* (Halkyard), 1919**

Pl. 6, Fig. 1

- 1919 *Lingulinopsis acutimargo* - Halkyard, p. 81, pl. 5, fig. 1

- 1949 *Lingulina acutimargo* (Halkyard) - Cuvillier & Szakall, p. 81, pl. 29, fig. 11

- 1950 *Lingulina acutimargo* (Halkyard) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 384, fig. 11/31-3

- 1993 *Spirolingulina acutimargo* (Halkyard) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 44, pl. 27, fig. 2

Locality: Vr-004, Zv-009

Family: **Ceratobuliminidae Cushman, 1927**

***Ceratocancris crassa* (Halkyard), 1919**

Pl. 6, Figs. 2-4

- 1919 *Pulvinulina haueri* d'Orbigny var. *crassa* - Halkyard, p. 125, pl. 7, fig. 6

- 1957 *Ceratobulimina haueri* d'Orbigny var. *crassa* (Halkyard) - Sacal & Debourle, p. 46, pl. 20, fig. 1

- 1993 *Ceratocancris crassa* (Halkyard) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 45, pl. 11, fig. 17

Locality: Vr-014

***Lamarckina cristellaroides* (Terquem), 1882**

Pl. 6, Fig. 7

- 1882 *Rotalina cristellaroides* - Terquem, p. 57, pl. 3, fig. 15a-c

- 1961 *Lamarckina cristellaroides* (Terquem) - Kaasschieter, p. 231, pl. 15, figs. 3-4

- 1970 *Lamarckina cristellaroides* (Terquem) - Le Calvez, p. 203, pl. 37, fig. 4

- 1993 *Lamarckina cristellaroides* (Terquem) - Sztråkös (In: Mathelin & Sztråkös), p. 77, pl. 11, fig. 19; pl. 29, fig. 6

Locality: Vr-005A

Family: **Epistominidae Wedekind, 1937**

***Hoeglundina eocenica* (Cushman & Hanna), 1927**

Pl. 6, Figs. 5-6

- 1927 *Epistomina eocenica* - Cushman & Hanna, p. 53, pl. 5, figs. 4-5

- 1975 *Hoeglundina eocenica* (Cushman & Hanna) - Braga et al., p. 110

- 1981 *Hoeglundina eocenica* (Cushman & Hanna) - Lindenberg et al., p. 148

- 1985 *Hoeglundina eocenica* (Cushman & Hanna) - Grünig, p. 277, pl. 11, figs. 22-24

- 1987a *Hoeglundina eocenica* (Cushman & Hanna) - Sztråkös, p. 31, pl. 15, fig. 9

Locality: Vr-005, Vr-010, Vr-011A, Vr-012, Zv-010

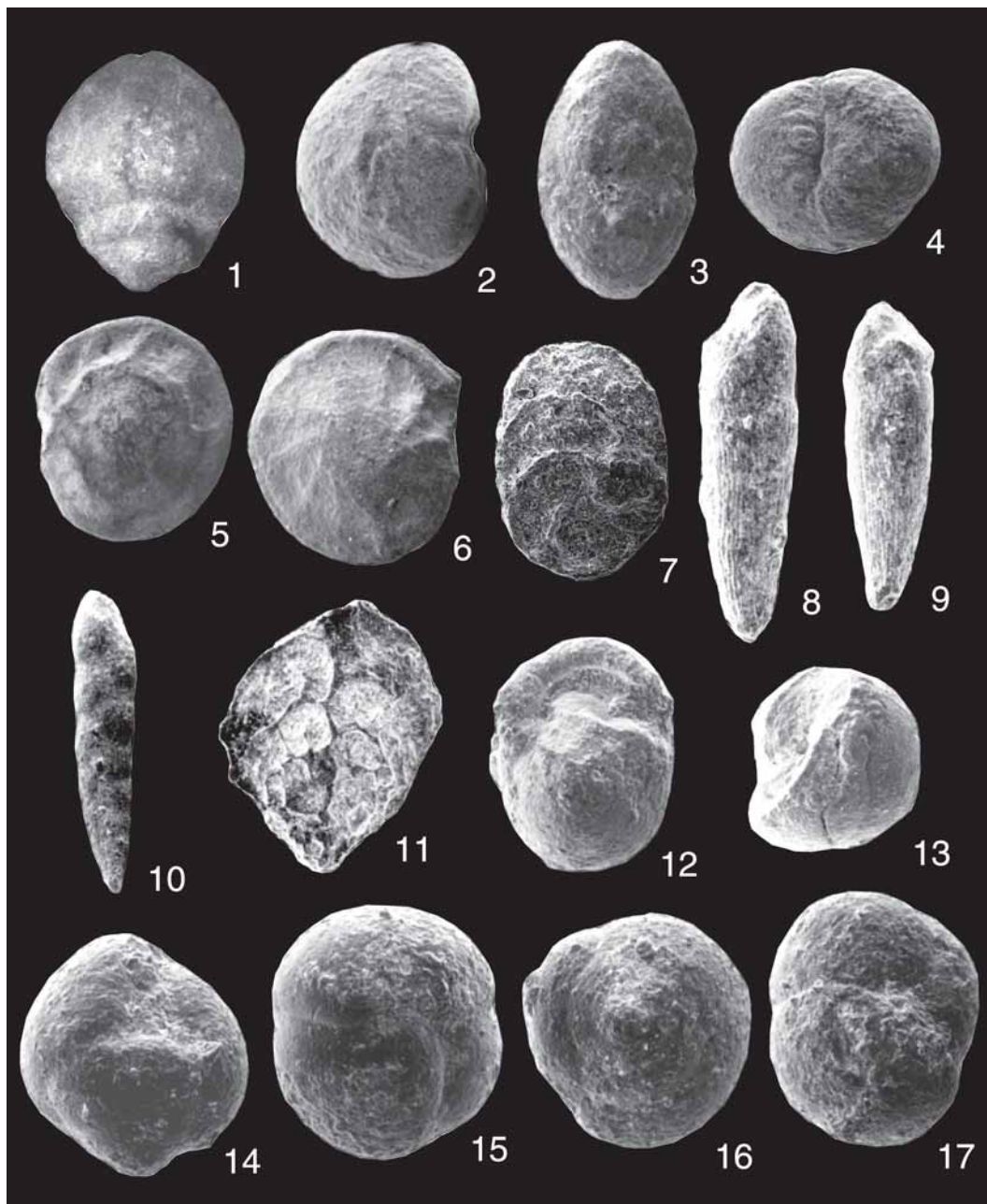
Family: **Bolivinidae Glaesner, 1937**

***Bolivina nobilis* Hantken, 1875**

Pl. 6, Figs. 9-10

- 1875 *Bolivina nobilis* - Hantken, p. 65, pl. 15, fig. 4a-b

PLATE 6



1 *Spiroilingulina acutimargo* (Halkyard), Vr-004, x40. 2-4 *Ceratocancris crassa* (Halkyard). 2 spiral view, Vr-014, x40. 3 edge view, Vr-014, x40. 4 umbilical view, Vr-014, x40. 5-6 *Hoeghunda eocenica* (Cushman & Hanna). 5 spiral view, Vr-010, x28. 6 umbilical view, Vr-010, x28. 7 *Lamarckina cristellaroides* (Terquem), Vr-005A. 8-9 *Bolivina nobilis* Hantken. 8 Vr-010, x80. 9 Vr-010, x80. 10 *Bolivina semistriata* Hantken, Vr-005A, x40. 11 *Aragonia janoscheki* Gohrbandt, Vr-010, x120. 12-13 *Globocassidulina globosa* (Hantken). 12 Vr-011, x80. 13 Vr-009, x80. 14-17 *Sporobulimina eocaena* Bykova. 14 side view, Vr-008, x120. 15 apertural view, Vr-005A, x120. 16 apical view, Zv/II-008, x120. 17 apertural view, Zv/II-008, x120.

- 1950 *Bolivina nobilis* Hantken - Ruiz de Gaona & Colom, p. 364
 1956 *Bolivina nobilis* Hantken - Hagn, p. 147
 1975 *Bolivina nobilis* Hantken - Braga et al., p. 106, pl. 5, figs. 1-2
 1985 *Bolivina nobilis* Hantken - Grünig, p. 265, pl. 5, figs. 12-14
 1991 *Bolivina nobilis* Hantken - Barbin & Keller-Grünig, p. 240
 1993 *Bolivina nobilis* Hantken - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 78, pl. 32, fig. 9
 Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-009, Zv-007, Zv-008, Zv-009

***Bolivina semistriata* Hantken, 1875**

Pl. 6, Fig. 10

- 1875 *Bolivina semistriata* - Hantken, p. 65, pl. 7, fig. 13
 1956 *Bolivina semistriata* Hantken - Hagn, p. 147
 1993 *Bolivina semistriata* Hantken - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 78, pl. 32, fig. 10
 Locality: Vr-011, Vr-012, Zv-005, Zv-006, Zv-010

***Bolivina* pl. sp.**

Locality: Vr-005, Vr-009, Vr-011, Vr-012, Zv-005, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010, Zv-011

Family: **Loxostomatidae** Loeblich & Tappan, 1962

***Aragonia janoscheki* Gohrbandt, 1962**

Pl. 6, Fig. 11

- 1962 *Aragonia janoscheki* - Gohrbandt, p. 81, pl. 3, figs. 5a-b
 1975 *Aragonia janoscheki* Gohrbandt - Braga et al., p. 106, pl. 5, fig. 7
 Locality: Vr-010, Vr-012

Family: **Cassidulinidae** d'Orbigny, 1839

***Globocassidulina globosa* (Hantken), 1875**

Pl. 6, Figs. 12-13

- 1875 *Cassidulina globosa* - Hantken, p. 64, pl. 16, figs. 2a-b
 1956 *Cassidulina globosa* Hantken - Hagn, p. 167, pl. 14, figs. 9-10
 1975 *Globocassidulina globosa* (Hantken) - Braga et al., p. 108, pl. 6, fig. 4
 1985 *Globocassidulina globosa* (Hantken) - Grünig, p. 273, pl. 10, fig. 3
 1987a *Globocassidulina globosa* Hantken - Sztràkos, p. 31, pl. 11, fig. 22
 1993 *Globocassidulina globosa* (Hantken) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 79

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-009, Vr-011, Vr-011A

Family: **Turrilinae** Cushman, 1927

***Sporobulimina eocaena* Bykova, 1959**

Pl. 6, Figs. 14-17

- 1959 *Sporobulimina eocaena* - Bykova, p. 76, pl. 12, fig. 6a-b (Fide Ellis & Messina 1940)
 1993 *Sporobulimina eocaena* Bykova - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 46, pl. 33, figs. 11-12
 Locality: Vr-005A, Zv/II-008

Family: **Siphogenerinoididae** Saidova, 1981

***Rectobolovina zsigmondyi* (Hantken), 1868**

Pl. 4, Figs. 7-8

- 1868 *Nodosaria* (*Dentalina*) *zsigmondyi* - Hantken, p. 87, pl. 1, fig. 12
 1982 *Rectobolovina zsigmondyi* (Hantken) - Sztràkos, pl. 15, fig. 14
 1987 *Rectobolovina zsigmondyi* (Hantken) - Reiser, p. 91, pl. 9, figs. 13, 19
 Locality: Zv-005, Zv-008, Zv-009, Zv-010

***Sagrinopsis aspera* (Terquem), 1882**

Pl. 7, Figs. 1-3

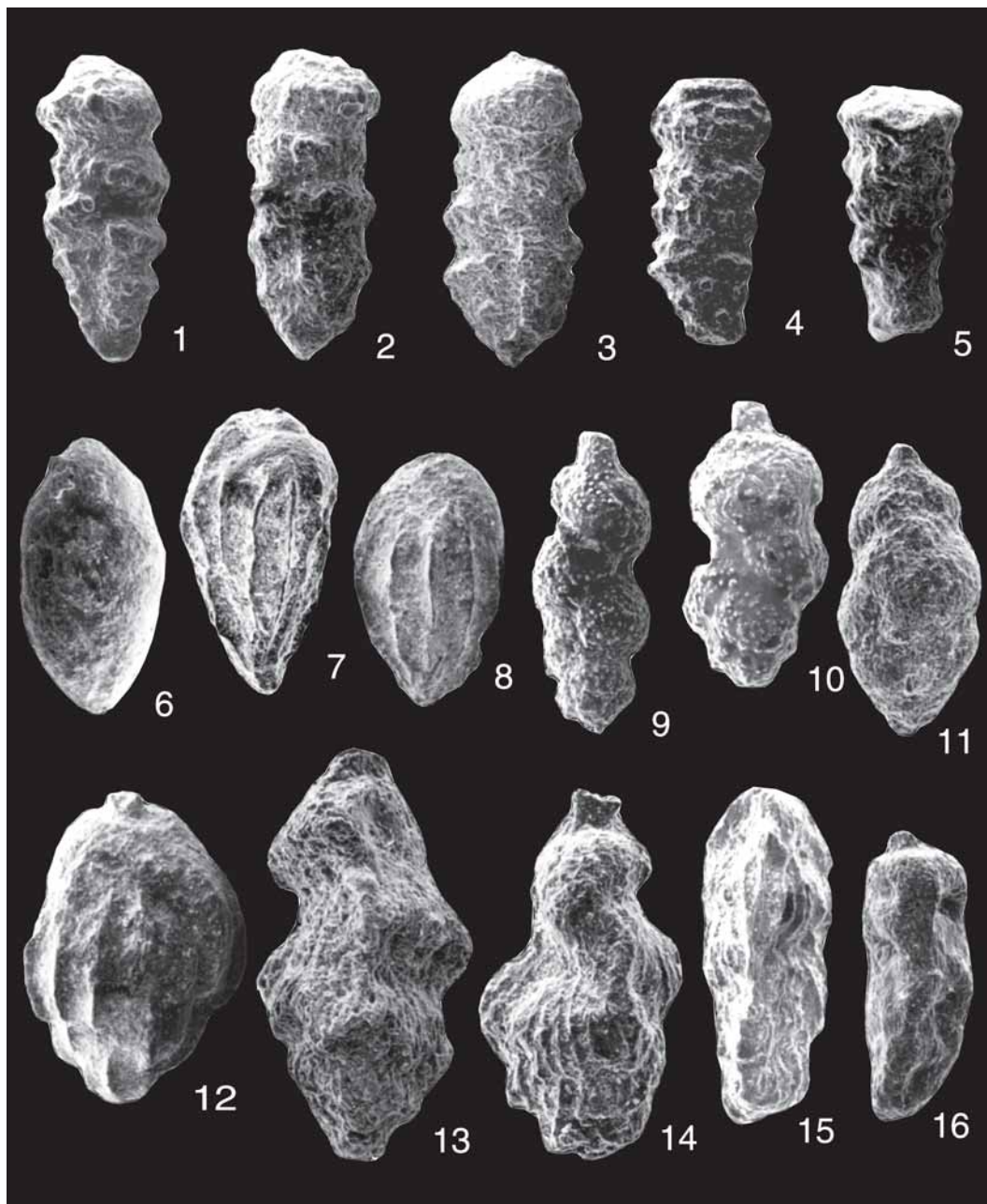
- 1882 *Textularia aspera* - Terquem, p. 147, pl. 15, fig. 14 (Fide Ellis & Messina 1940)
 1919 *Siphogenerina hexagona* Halkyard - Halkyard, p. 41, pl. 6, fig. 5a-b
 1975 *Bifarina* aff. *selseyensis* (Heron-Allen & Earland) - Braga et al., p. 108, pl. 5, fig. 9
 1985 *Rectobolovina* sp. - Grünig, p. 266, pl. 8, fig. 22
 1993 *Sagrinopsis aspera* (Terquem) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 47, pl. 33, fig. 15
 Locality: Vr-005, Vr-005A

***Tubulogenerina tubulifera* (Parker & Jones), 1863**

Pl. 7, Figs. 4-5

- 1863 *Textularia tubulifera* - Parker & Jones, p. 94, fig. 2 (Fide Ellis & Messina 1940)
 1837 *Tubulogenerina tubulifera* (Parker & Jones) - Cushman, p. 215, pl. 24, figs. 14-16
 1970 *Tubulogenerina tubulifera* (Parker & Jones) - Le Calvez, p. 122, pl. 26, fig. 7
 1987a *Tubulogenerina tubulifera* (Parker & Jones) - Sztràkos, p. 35, pl. 7, fig. 20; pl. 18, fig. 2
 1991 *Tubulogenerina tubulifera* (Parker & Jones) - Gibson et al., p. 307, pl. 1, figs. 1-11; pl. 3, figs. 6-8
 Locality: Vr-005, Vr-005A

PLATE 7



1-3 *Sagrinopsis aspera* (Terquem). 1 Vr-005, x80. 2 Vr-005, x120. 3 Vr-005A, x120. 4-5 *Tubulogenerina* cf. *tubulifera* (Parker & Jones). 4 Vr-005A, x120. 5 Vr-005, x120. 6 *Bulimina ovata* d'Orbigny, Vr-010, x60. 7 *Bulimina subtruncana* Hagn, Vr-010, x160. 8 *Bulimina truncana* Gümbel, Vr-005, x80. 9-10 *Uvigerina gracilis* Reuss. 9 Vr-005, x160. 10 Vr-005, x160. 11 *Uvigerina chirana* Cushman & Stone, Vr-005, x120. 12 *Uvigerina eocaena* Gümbel, Vr-010, x80. 13 *Angulogerina muralis* (Terquem), Zv/II-008, x160. 14 *Angulogerina pulchella* Cushman & Edwards, Vr-005, x160. 15 *Angulogerina globosa* (Stoltz), Vr-014, x120. 16 *Koleshnikovella elongata* (Halkyard), Zv/II-010, x120.

Family: **Buliminidae Jones, 1875**

***Bulimina ovata* d'Orbigny, 1846**

Pl. 7, Fig. 6

1846 *Bulimina ovata* - d'Orbigny, p. 185, pl. 11, figs. 13-14

1961 *Bulimina ovata* d'Orbigny - Kaasschieter, p. 191, pl. 9, fig. 6

1985 *Bulimina ovata* d'Orbigny - Grünig, p. 266, pl. 6, fig. 22

Locality: Vr-010

***Bulimina subtruncana* Hagn, 1956**

Pl. 7, Fig. 7

1954 *Bulimina subtruncana* - Hagn, p. 17, pl. 3, fig. 19; pl. 4, fig. 9

1985 *Bulimina subtruncana* Hagn - Grünig, p. 266, pl. 6, fig. 23

Locality: Vr-010

***Bulimina truncana* Gümbel, 1868**

Pl. 7, Fig. 8

1868 *Bulimina truncana* - Gümbel, p. 66, pl. 2, fig. 77a-b

1975 *Bulimina truncana* Gümbel - Hantken, p. 61, pl. 7, fig. 5

1975 *Bulimina truncana* Gümbel - Braga et al., p. 106, pl. 4, figs. 15-16

1985 *Bulimina truncana* Gümbel - Grünig, p. 267, pl. 7, figs. 26-27

Locality: Vr-005, Vr-005A, Vr-010, Vr-011A, Zv-009

Family: **Uvigerinidae Haeckel, 1894**

***Uvigerina chirana* Cushman & Stone, 1947**

Pl. 7, Fig. 11

1947 *Uvigerina chirana* - Cushman & Stone, p. 17, pl. 2, fig. 25 (Fide Ellis & Messina 1940)

1977 *Uvigerina chirana* Cushman & Stone - Braga et al., p. 95, pl. 5, fig. 10

1985 *Uvigerina chirana* Cushman & Stone - Grünig, p. 267, pl. 7, figs. 3-5

Locality: Vr-005, Zv-004, Zv-005

***Uvigerina eocaena* Gümbel, 1868**

Pl. 7, Fig. 12

1868 *Uvigerina eocaena* - Gümbel, p. 645, pl. 2, fig. 78

1975 *Uvigerina eocaena* Gümbel - Braga et al., p. 107, pl. 5, fig. 17

1985 *Uvigerina eocaena* Gümbel - Grünig, p. 267, pl. 7, figs. 8-10

1993 *Uvigerina eocaena* Gümbel - Sztrákös (In: Mathelin & Sztrákös), p. 79, pl. 34, figs. 9-10

Locality: Vr-004, Vr-010, Vr-011 Zv-005, Zv-006, Zv-008, Zv-010, Zv-011

***Uvigerina gracilis* Reuss, 1851**

Pl. 7, Figs. 9-10

1851 *Uvigerina gracilis* - Reuss, p. 77, pl. 5, fig. 39

1993 *Uvigerina gracilis* Reuss - Sztrákös (In: Mathelin & Sztrákös), p. 79, pl. 34, fig. 13

Locality: Vr-005

***Angulogerina globosa* (Stoltz), 1925**

Pl. 7, Fig. 15

1925 *Uvigerina tenuistriata* var. *globosa* - Stoltz, p. 130 (Fide Ellis & Messina 1940)

1993 *Angulogerina globosa* (Stoltz) - Sztrákös (In: Mathelin & Sztrákös), p. 48, pl. 34, fig. 20

Locality: Vr-014

***Angulogerina muralis* (Terquem), 1882**

Pl. 7, Fig. 13

1882 *Uvigerina muralis* - Terquem, p. 119, pl. 12, figs. 26-29 (Fide Ellis & Messina 1940)

1919 *Tritaxia dehiscens* - Halkyard, p. 44, pl. 3, fig. 8

1985 *Trifarina muralis* (Terquem) - Grünig, p. 268, pl. 7, fig. 26

1993 *Angulogerina muralis* (Terquem) - Sztrákös (In: Mathelin & Sztrákös), p. 79, pl. 43, fig. 18

Locality: Zv/II-008

***Angulogerina pulchella* Cushman & Edwards, 1937**

Pl. 7, Fig. 14

1937 *Angulogerina pulchella* - Cushman & Edwards, p. 61, pl. 8, fig. 19 (Fide Ellis & Messina 1940)

1993 *Angulogerina pulchella* Cushman & Edwards - Sztrákös (In: Mathelin & Sztrákös), p. 48, pl. 34, fig. 17

Locality: Vr-005

***Trifarina* sp. 1**

Locality: Vr-012

***Koleshnikovella elongata* (Halkyard), 1919**

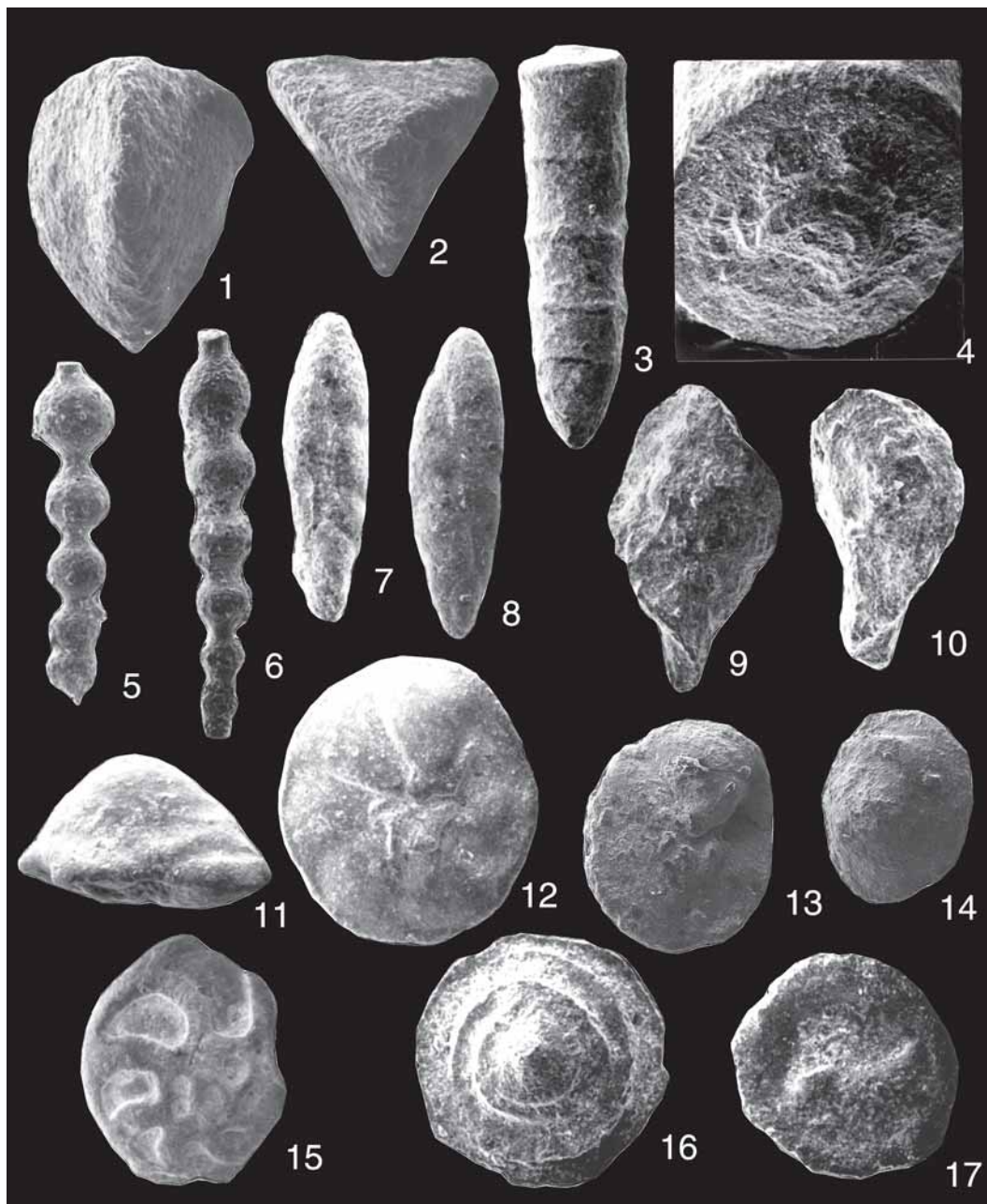
Pl. 7, Fig. 16

1919 *Tritaxia elongata* - Halkyard, p. 45, pl. 3, fig. 9

1987a *Uvigerinella elongata* (Halkyard) - Sztrákös, p. 36, pl. 18, fig. 5

1993 *Koleshnikovella elongata* (Halkyard) - Sztrákös (In: Mathelin & Sztrákös), p. 48, pl. 34, fig. 16

PLATE 8



1-2 *Reussella oberburgensis* (Reuss). 1 Vr-005A, x120. 2 Vr-005A, x120. 3-4 *Siphonodosaria crassisepta* (Halkyard). 3 Vr-010, x40. 4 Vr-010, x40. 5-6 *Nodogenerina atlantisae* Cushman. 5 Zv/II-006, x80. 6 Zv/II-008, x80. 7-8 *Fursenkoina halkyardi* (Cushman). 7 Vr-012, x60. 8 Zv/II-008, x60. 9-10 *Sigmavirgulina tortuosa* (Brady). 9 Vr-005, x80. 10 Vr-010, x120. 11-12 *Neoeponides schreibersii* (d'Orbigny). 11 Zv/II-005, x40. 12, Zv/II-005, x40. 13-14 *Eponides ouachitaensis* Howe & Wallace. 13 Vr-011A, x60. 14 Vr-011A, x60. 15 *Schlosserina asterites* (Gümbel), Vr-014, x28. 16-17 *Neoconorbina* sp. 16 spiral view, Vr-005A, x80. 17 umbilical view Vr-005A, x80.

Locality: Zv-010

Family: **Reussellidae Cushman, 1933**

***Reussella oberburgensis* (Reuss), 1864**

Pl. 8, Figs. 1-2

1864 *Verneuilina oberburgensis* Frey. in litt. - Reuss, p. 6, pl. 1, fig. 2

1962 *Reussella oberburgensis* (Freyer) - Gohrbandt, p. 82, pl. 3, fig. 6a-c

1985 *Reussella oberburgensis* (Freyer) - Grünig, p. 267

1993 *Reussella oberburgensis* (Freyer) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 79, pl. 34, fig. 26

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-011

Family: **Fursenkoinidae Loeblich & TaPpan, 1961**

***Fursenkoina halkyardi* (Cushman), 1936**

Pl. 8, Figs. 7-8

1936 *Virgulina halkyardi* - Cushman, p. 47, pl. 7, fig. 5

1937b *Virgulina halkyardi* Cushman - Cushman, p. 11, pl. 1, figs. 26-27

1985 *Fursenkoina halkyardi* (Cushman) - Grünig, p. 273, pl. 9, figs. 25-27

1993 *Fursenkoina halkyardi* (Cushman) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 49, pl. 35, fig. 6

Locality: Vr-005, Vr-012, Zv-007, Zv-009, Zv-010, Zv-011

***Sigmavirgulina tortuosa* (Brady), 1881**

Pl. 8, Figs. 9-10

1881 *Bolivina tortuosa* - Brady, p. 57 (Fide Ellis & Messina 1940)

1960 *Sigmavirgulina tortuosa* (Brady) - Barker, pl. 52, figs. 31-32

Locality: Vr-005, Vr-005A, Vr-010, Vr-011, Vr-011A, Vr-012, Zv-005

Family: **Stilostomellidae Finlay, 1947**

***Siphonodosaria crassisepta* (Halkyard), 1919**

Pl. 8, Figs. 3-4

1919 *Nodosaria pauperata* d'Orbigny var. *crassisepta* - Halkyard, p. 72, pl. 4, figs. 12-13

1941 *Dentalina annulata* (Reuss) - de Witt Puyt, p. 51, pl. 1, figs. 23-25

1957 *Nodogenerina crassisepta* (Halkyard) - Sacal & Debourle, p. 16, pl. 4, fig. 8

1993 *Siphonodosaria crassisepta* (Halkyard) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 51, pl. 14, figs. 3-11

Locality: Vr-004, Vr-005A, Vr-009, Vr-010, Vr-014, Zv-005, Zv-006, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010

Family: **Eponididae Hofker, 1951**

***Eponides ouachitaensis* Howe & Wallace, 1932**

Pl. 8, Figs. 13-14

1932 *Eponides ouachitaensis* - Howe & Wallace, p. 69, pl. 13, fig. 8 (Fide Ellis & Messina 1940)

1950 *Eponides ouachitaensis* Howe & Wallace - Ruiz de Gaona & Colom, p. 378, fig. 13/36-44

Locality: Vr-004

***"Eponides" dalmatinus* (de Witt Puyt), 1941**

Pl. 11, Figs. 14-15

1941 *Eponides carolinensis* Cushman var. *dalmatina* - de Witt Puyt, p. 66, pl. 1, figs. 52, 57; pl. 2, fig. 2

1950 *Eponides carolinensis* Cushman var. *navarraensis* - Ruiz de Gaona & Colom, p. 377, fig. 14/5-10

1956 *Rotalia dalmatina* (de Witt Puyt) - Hagn, p. 165, pl. 15, figs. 2-3

1993 *Neoeponides navaransis* (Ruiz de Gaona & Colom) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 52, figs. 6-7

Locality: Vr-005A, Vr-010, Vr-011, Zv/II-006, Zv/II-010

Family: **Mississippinidae Saidova, 1981**

***Schlosserina asterites* (Gümbel), 1868**

Pl. 8, Fig. 15

1868 *Rosalina asterites* - Gümbel, p. 658, pl. 2, fig. 101a-c

1981 *Schlosserina asterites* (Gümbel) - Lindenberg et al., p. 148

1991 *Schlosserina asterites* (Gümbel) - Barbin & Keller-Grünig, p. 241, pl. 1, figs. 13-15

1981 *Schlosserina asterites* (Gümbel) - Hagn et al., p. 91

1983 *Schlosserina asterites* (Gümbel) - Setiawan, p. 134, pl. 15, fig. 1

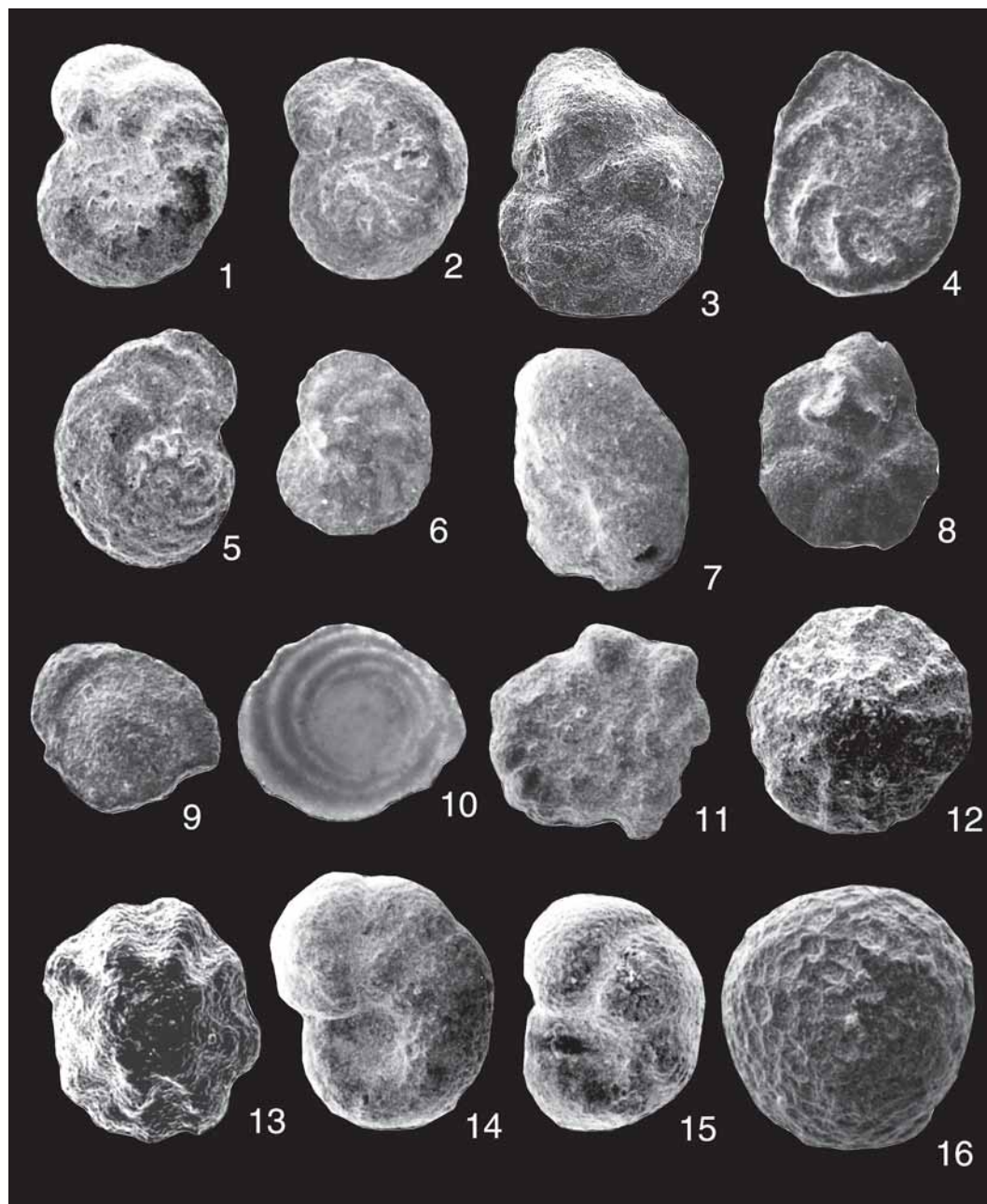
1993 *Schlosserina asterites* Hagn - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 80, pl. 15, fig. 2

Locality: Vr-014

Family: **Discorbidae Ehrenberg, 1838**

***Neoeponides schreibersii* (d'Orbigny), 1846**

PLATE 9



1-2 *Cibicidoides ungerianus* (d'Orbigny). 1 spiral view, Vr-010, x60. 2 spiral view, Zv/II-008, x60. 3 *Laticarinina altocamerata* (Heron-Allen & Earland), umbilical view, Zv/II-008, x80. 4 *Planulina compressa* (Hantken), Vr-005A, x80. 5-6 *Planulina costata* (Hantken). 5 spiral view, Vr-012, x40. 6 umbilical view, Vr-010, x40. 7-8 *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob). 7 umbilical view, Vr-012, x40. 8 umbilical view, Vr-005, x28. 9-10 *Cycloloculina eocenica* (Terquem). 9 Vr-005A, x80. 10 Vr-005A, x64. 11 *Planorbulina difformis* Roemer, Vr-005A, x60. 12 *Halkyardia minima* (Liebus), Vr-011, x80. 13 *Halkyardia* sp., Vr-011A, x120. 14-15 *Korobkovella grosserugosa* (Gümbel). 14 Vr-010, x60. 15 Vr-010, x60. 16 *Sphaerogypsina globula* (Reuss), Vr-005A, x120.

Pl. 8, Figs. 11-12

1846 *Rotalina schreibersii* - d'Orbigny, p. 154, pl. 8, figs. 4-6

1993 *Neoeponides schreibersii* (d'Orbigny) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 81, pl. 15, fig. 8

Locality: Zv-005, Zv-006, Zv-009, Zv-010

Family: **Rosalinidae Reiss, 1963**

***Neoconorbina* sp. 1**

Pl. 8, Figs. 16-17

Locality: Vr-005, Vr-005A

Family: **Parrelloididae Hofker, 1956**

***Cibicidoides ungerianus* (d'Orbigny), 1846**

Pl. 9, Figs. 1-2

1846 *Rotalina ungeriana* - d'Orbigny, p. 157, pl. 8, figs. 16-18

1950 *Cibicides granosus* (Reuss) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 368, fig. 13/21-27

1956 *Cibicides ungerianus* (d'Orbigny) - Hagn, p. 181, pl. 17, figs. 10-11

1975 *Heterolepa ungeriana* (d'Orbigny) - Braga et al., p. 98

1991 *Cibicidoides ungerianus* (d'Orbigny) - Barbin & Keller-Grünig, p. 24

1993 *Cibicidoides ungerianus* (d'Orbigny) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 81, pl. 16, fig. 11

Locality: Vr-004, Vr-010, Vr-011, Zv-004, Zv-006, Zv-008

Family: **Discorbinellidae Sigal, 1952**

***Laticarinina altocamerata* (Heron-Allen & Earland), 1922**

Pl. 9, Fig. 3

1922 *Truncatulina tenuimargo* Brady var. *altocamerata* - Heron-Allen & Earland, p. 209, pl. 7, figs. 24-27 (Fide Ellis & Messina 1940)

1964 *Laticarinina altocamerata* (Heron-Allen & Earland) - Loeblich & Tappan, p. C580, fig. 457, 4

1983 *Laticarinina altocamerata* (Heron-Allen & Earland) - Setiawan, p. 116, pl. 5, fig. 4

1991 *Laticarinina altocamerata* (Heron-Allen & Earland) - Barbin & Keller-Grünig, p. 242

Locality: Vr-005A, Zv-008

Family: **Planulinidae Bermudez, 1952**

***Planulina compressa* (Hantken), 1875**

Pl. 9, Fig. 4

1875 *Truncatulina compressa* - Hantken, p. 72, pl. 8, fig. 8a-b

1956 *Planulina compressa* (Hantken) - Hagn, p. 179, pl. 17, fig. 5a-b

1975 *Planulina compressa* (Hantken) - Braga et al., p. 95, pl. 2, fig. 13a-c

1993 *Planulina compressa* (Hantken) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 81, pl. 17, fig. 1

Locality: Vr-005A

***Planulina costata* (Hantken), 1875**

Pl. 9, Figs. 5-6

1875 *Truncatulina costata* - Hantken, p. 73, pl. 9, fig. 2

1956 *Planulina costata* Hantken - Hagn, p. 178, pl. 17, figs. 3a-b, 4a-b

1984 *Planulina costata* (Hantken) - Grünig & Herb, p. 262

1993 *Planulina costata* (Hantken) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 81, pl. 16, fig. 13; pl. 38, fig. 9

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-010, Vr-011, Vr-012, Zv-005, Zv-006, Zv-007, Zv-008, Zv-009, Zv-010

Family: **Cibicididae Cushman, 1927**

***Lobatula lobatula* (Walker & Jacob), 1798**

Pl. 9, Figs. 7-8

1798 *Nautilus lobatulus* - Walker & Jacob (in Kanmacher), p. 642, pl. 14, fig. 36 (Fide Ellis & Messina 1940)

1957 *Cibicides lobatulus* (Walker & Jacob) - Sacal & Debourle, p. 68, pl. 33, fig. 1

1962 *Cibicides lobatulus* (Walker & Jacob) - Gohrbandt, p. 113

1991 *Cibicides lobatulus* (Walker & Jacob) - Barbin & Keller-Grünig, p. 240, pl. 1, figs. 17-18

1993 *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 81, pl. 17, fig. 9

Locality: Vr-005, Vr-005A, Zv-005, Zv-010

***Cycloloculina eocenica* (Terquem), 1882**

Pl. 9, Figs. 9-10

1882 *Planorbulina eocenica* - Terquem, p. 90, pl. 9, fig. 15a-b

1970 *Cycloloculina eocenica* (Terquem) - Le Calvez, p. 186, pl. 35, fig. 4

1993 *Cycloloculina eocenica* (Terquem) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 81, pl. 19, fig. 1; pl. 43, fig. 6

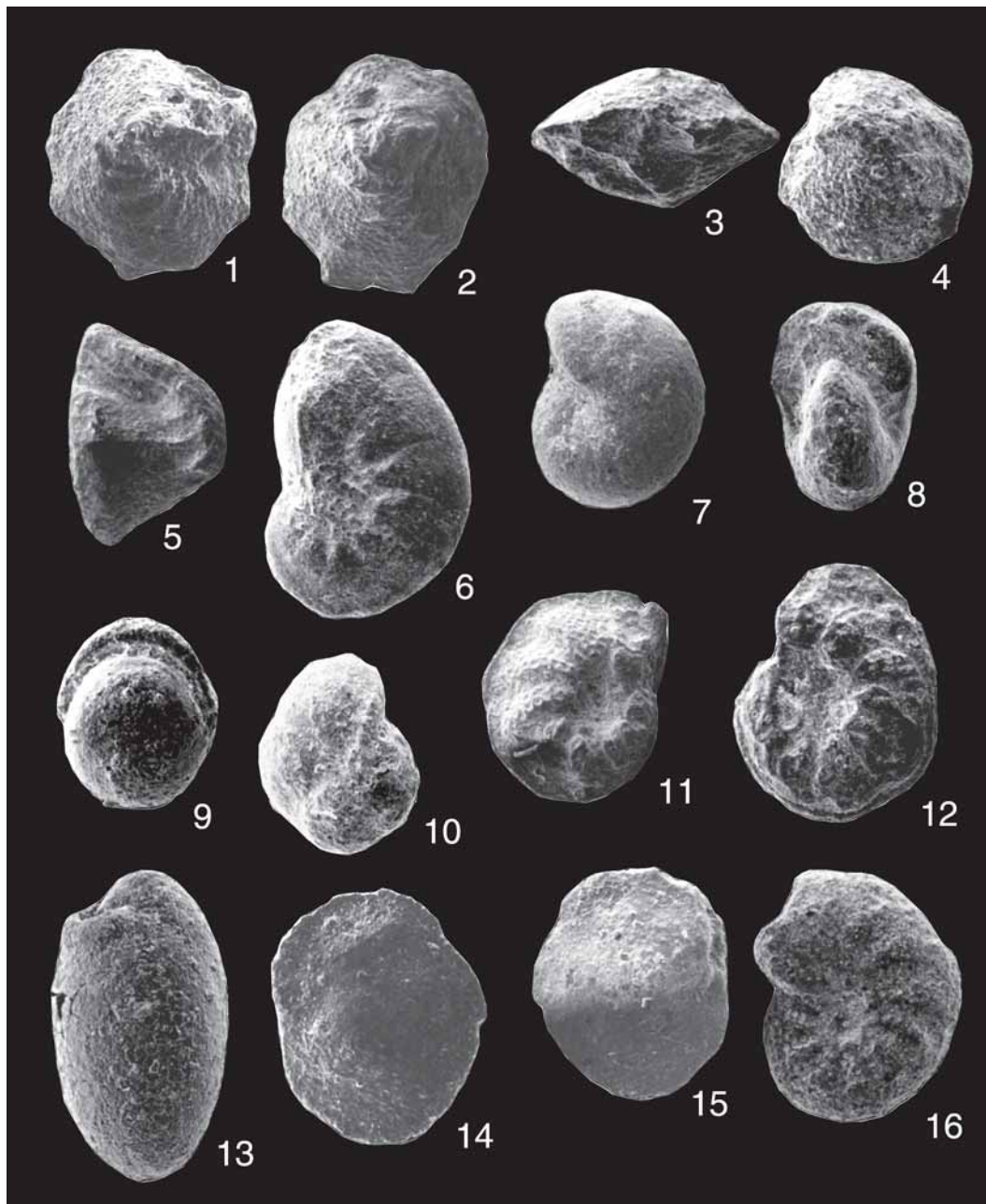
Locality: Vr-004, Vr-005A

Family: **Planorbulinidae Schwager, 1877**

***Planorbulina difformis* Roemer, 1838**

Pl. 9, Fig. 11

PLATE 10



1-2 *Asterigerina brencei* Haque. 1 umbilical view, Vr-005A, x120. 2 umbilical view, Vr-005A, x120. 3-4 *Asterigerina* sp. 3 edge view, Vr-005, x80. 4 umbilical view, Vr-004, x80. 5 *Asterigerina rotula* (Kaufmann), edge view, Vr-009, x40. 6 *Nonion scaphum* (Fichtel & Moll), side view, Vr-005, x80. 7-8 *Melonis halkyardi* (Cushman). 7 side view, Zv/II-008, x80. 8 apertural view, Vr-005, x80. 9 *Pullenia bulloides* (d'Orbigny), apertural view, Zv/II-011, x80. 10 *Pullenia quinqueloba* (Reuss), side view, Vr-010, x80. 11-12 *Queraltina epistominoides* Marie. 11 Vr-005A, x60. 12 Marie, Vr-005A, x60. 13 *Chilostomella ovoidea* Reuss, Zv/II-011, x60. 14-15 *Charltonina budensis* (Hantken). 14 spiral view, Vr-005A, x60. 15 umbilical view, Vr-005A, x60. 16 *Anomalinoidea affinis* (Hantken), Vr-005, x80.

1993 *Planorbulina difformis* Roemer - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 81, pl. 38, figs. 5-6

Locality: Vr-005A

Family: **Cymbaloporidae Cushman, 1927**

***Halkyardia minima* (Liebus), 1911**

Pl. 9, Fig. 12

1911 *Cymbalopora radiata* Hagenow var. *minima* - Liebus, p. 952, pl. 3, fig. 7a-c

1969 *Halkyardia minima* (Liebus) - Cimerman, p. 298, pl. 58, figs. 1-6

1976 *Halkyardia minima* (Liebus) - Šikić et al., p. 195, pl. 6, fig. 1

1979 *Halkyardia minima* (Liebus) - Drobne et al., p. 158

1985 *Halkyardia minima* (Liebus) - Grünig, p. 272, pl. 9, figs. 16-17

1991 *Halkyardia minima* (Liebus) - Barbin & Keller-Grünig, p. 241

1993 *Halkyardia minima* (Liebus) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 54, pl. 38, fig. 12

Locality: Vr-005A, Vr-011, Vr-011A, Vr-014

***Halkyardia* sp.**

Pl. 9, Fig. 13

Locality: Vr-011A

Family: **Stilostomellidae Finlay, 1947**

***Nodogenerina atlantisae* (Cushman), 1939**

Pl. 8, Figs. 5-6

1939 *Ellipsonodosaria atlantisae* - Cushman, p. 70, pl. 12, figs. 3-4 (Fide Ellis & Messina 1940)

1993 *Nodogenerina atlantisae* (Cushman) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 80, pl. 13, figs. 16-18; pl. 34, figs. 18-19

Locality: Zv-006, Zv-008

Family: **Victoriellidae Chapman & Crespin, 1930**

***Korobkovella grosserugosa* (Gümbel), 1868**

Pl. 9, Figs. 14-15

1868 *Truncatulina grosserugosa* - Gümbel, p. 82, pl. 2, fig. 104

1950 *Anomalina grosserugosa* (Gümbel) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 362

1957 *Anomalina grosserugosa* (Gümbel) - Sacal & Debourle, p. 66, pl. 33, fig. 6

1970 *Anomalina grosserugosa* (Gümbel) - Le Calvez, p. 198, pl. 40, fig. 2

1983 *Anomalina grosserugosa* (Gümbel) - Setiawan, p. 132, pl. 14, fig. 1

1993 *Korobkovella grosserugosa* (Gümbel) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 82, pl. 19, Fig. 2

Locality: Vr-004, Vr-005A, Vr-009, Vr-010, Vr-012, Vr-014, Zv-006, Zv-007

Family: **Acervulinidae Schultze, 1854**

***Sphaerogypsina globula* (Reuss), 1848**

Pl. 9, Fig. 16

1848 *Ceripora globulus* - Reuss, p. 33, pl. 5, fig. 7

1950 *Gypsina globula* (Reuss) - Ruiz de Gaona & Colom, p. 380

1979 *Sphaerogypsina globula* (Reuss) - Drobne et al., p. 158, pl. 3, fig. 1; pl. 4, figs. 3-4

1985 *Sphaerogypsina globula* (Reuss) - Grünig, p. 272, pl. 9, figs. 14-15

1993 *Sphaerogypsina globula* (Reuss) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 82, pl. 38, fig. 13

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A

Family: **Asterigerinidae d'Orbigny, 1839**

***Asterigerina brencei* Haque, 1960**

Pl. 10, Figs. 1-2

1960 *Asterigerina brencei* Haque - Setiawan, p. 118, pl. 9, fig. 3

Locality: Vr-005, Vr-009, Vr-010

***Asterigerina rotula* (Kaufmann), 1867**

Pl. 10, Fig. 5

1867 *Hemistegina rotula* - Kaufmann, p. 150, pl. 8, fig. 19 (Fide Ellis & Messina 1940)

1886 *Pulvinulina rotula* (Kaufmann) - Uhlig, p. 193, pl. 3, figs. 5-6; pl. 5, figs. 6-7

1979 *Asterigerina rotula* (Kaufmann) - Drobne et al., p. 158, pl. 3, fig. 2; pl. 4, fig. 5

1993 *Asterigerina rotula* (Kaufmann) - Sztråkos (In: Mathelin & Sztråkos), p. 82, pl. 19, fig. 7

Locality: Vr-010, Vr-011

***Asterigerina* sp. 1**

Pl. 10, Figs. 3-4

Locality: Vr-005, Vr-005A

Family: **Nonionidae Schultze, 1854**

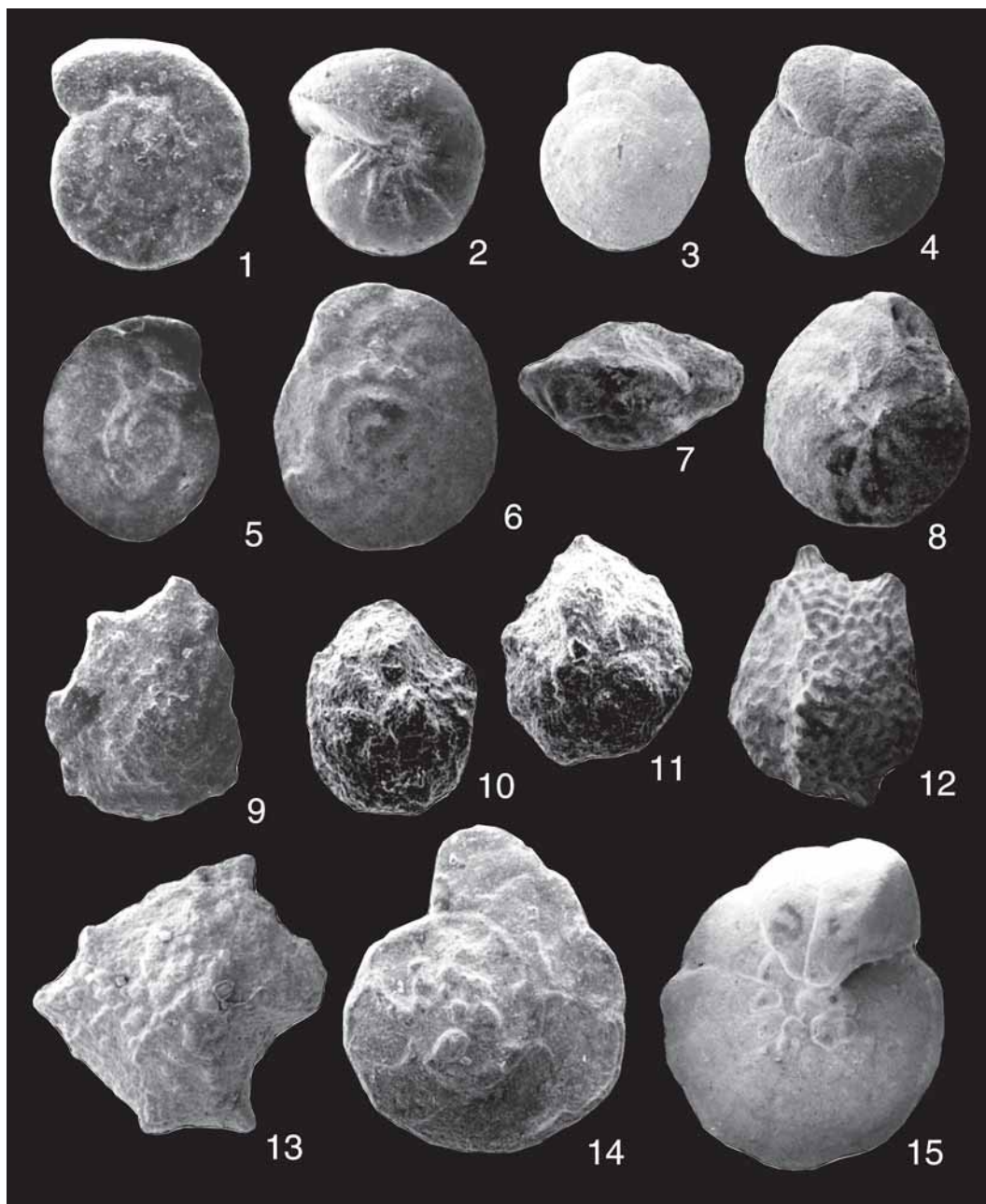
***Nonion scaphum* (Fichtel et Moll), 1798**

Pl. 10, Fig. 6

1798 *Nautilus scapha* - Fichtel & Moll, p. 105, pl. 19, figs. d-f (Fide Ellis & Messina 1940)

1846 *Nonionina communis* d'Orbigny - d'Orbigny, p. 106, pl. 5, fig. 7

PLATE 11



1-2 *Gyroidinoides girardanus* (Reuss). 1 spiral view, Zv/II-006, x40. 2 umbilical view, Zv/II-006, x40. 3-4 *Heterolepa eoacaena* (Gümbel). 3 spiral view, Zv/II-006, x28. 4 umbilical view, Zv/II-011, x35. 5 *Heterolepa reussi* (Silvestri), spiral view, Vr-012, x50. 6-8 *Gavelinella acuta* (Plummer). 6 spiral view, Vr-009, x40. 7 edge view, Vr-009, x400. 8 spiral view, Vr-009, x40. 9 *Pararotalia armata* (d'Orbigny), spiral view, Vr-011, x60. 10-11 *Pararotalia audouini* (d'Orbigny). 10 spiral view, Vr-011, x80. 11 spiral view, Vr-011, x80. 12-13 *Calcarina lecalvezae* Boulanger & Poignant. 12 Vr-014, x28. 13 Zv/II-009, x28. 14-15 "*Eponides*" *dalmatinus* (de Witt Puyt). 14 spiral view, Vr-009, x28, 15 umbilical view, Zv/II-010, x28.

1961 *Nonion scaphum* (Fichtel & Moll) - Kaasschieter, p. 204, pl. 10, fig. 5

1993 *Nonion commune* (d'Orbigny) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 82, pl. 19, fig. 11
Locality: Vr-005

***Melonis halkyardi* (Cushman), 1936**

Pl. 10, Figs. 7-8

1936 *Nonion halkyardi* - Cushman, p. 63, pl. 12, fig. 1 (Fide Ellis & Messina 1940)

1987a *Melonis halkyardi* (Cushman) - Sztràkos, p. 32, pl. 15, fig. 6

Locality: Vr-005, Vr-012, Zv/II-008, Zv/II-011

***Pullenia bulloides* (d'Orbigny), 1846**

Pl. 10, Fig. 9

1846 *Nonionina bulloides* - d'Orbigny, p. 107, pl. 5, fig. 9-10

1875 *Pullenia bulloides* (d'Orbigny) - Hantken, p. 59, pl. 10, fig. 9

1987a *Pullenia bulloides* (d'Orbigny) - Sztràkos, p. 34

Locality: Vr-005A, Vr-011, Vr-011A, Zv-006, Zv-010, Zv-011

***Pullenia quinqueloba* (Reuss), 1851**

Pl. 10, Fig. 10

1851 *Nonionina quinqueloba* - Reuss, p. 71, pl. 5, fig. 31

1987 *Pullenia quinqueloba* (Reuss) - Wenger, p. 299, pl. 13, figs. 16, 20

1991 *Pullenia quinqueloba* (Reuss) - Barbin & Keller-Grünig, p. 240

1993 *Pullenia quinqueloba* (Reuss) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 82, pl. 19, fig. 17

Locality: Vr-005A, Zv-005, Zv-006

Family: **Almaenidae Myatlyuk, 1959**

***Queraltina epistominoides* Marie, 1950**

Pl. 10, Figs. 11-12

1950 *Queraltina epistominoides* - Marie, p. 74, figs. 1-3, 8-9 (Fide Ellis & Messina 1940)

1983 *Queraltina epistominoides* Marie - Setiawan, p. 133, pl. 14, figs. 2-3

1985 *Almaena epistominoides* (Marie) - Grünig, p. 276

1987a *Queraltina epistominoides* Marie - Sztràkos, p. 34

1991 *Queraltina epistominoides* Marie - Barbin & Keller-Grünig, p. 241, pl. 2, fig. 16

1993 *Queraltina epistominoides* Marie - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 56, pl. 39, fig. 20

Locality: Vr-004, Vr-005A, Vr-012, Vr-014

Family: **Chilostomellidae Brady, 1881**

***Chilostomella ovoidea* Reuss, 1850**

Pl. 10, Fig. 13

1850 *Chilostomella ovoidea* - Reuss, p. 380, pl. 48, fig. 12

1993 *Chilostomella* cf. *ovoidea* Reuss - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 82, pl. 20, fig. 1

Locality: Zv-005, Zv-006, Zv-009, Zv-010, Zv-011

Family: **Osangulariidae Loeblich & Tappan, 1964**

***Charltonina budensis* (Hantken), 1875**

Pl. 10, Figs. 14-15

1875 *Truncatulina budensis* - Hantken, p. 75, pl. 8, fig. 6

1919 *Pulvinulina acutimargo* - Halkyard, p. 120, pl. 7, fig. 4

1985 *Alabamina acutimargo* (Halkyard) - Grünig, p. 274, pl. 10, fig. 9-11

1987a *Alabamina budensis* (Hantken) - Sztràkos, p. 32, pl. 12, fig. 8

1993 *Charltonina budensis* (Hantken) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 57, pl. 20, fig. 4

Locality: Vr-005A, Vr-009, Vr-010, Vr-011, Vr-012

Family: **Heterolepidae Gonzales-Donoso, 1969**

***Anomalinoides affinis* (Hantken), 1875**

Pl. 10, Fig. 16

1875 *Pulvinulina affinis* - Hantken, p. 78, pl. 10, fig. 6

1941 *Anomalina dalmatina* nov. sp. - van Bellen, p. 1001, fig. 26a-c

1956 *Anomalinoides dalmatinus* (van Bellen) - Hagn, p. 177, pl. 17, fig. 1a-b

1993 *Anomalinoides affinis* (Hantken) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 82, pl. 20, fig. 8

Locality: Vr-004, Vr-005A, Zv-006, Zv-007, Zv-009, Zv-010, Zv-011

***Heterolepa eocaena* (Gümbel), 1868**

Pl. 11, Fig. 3-4

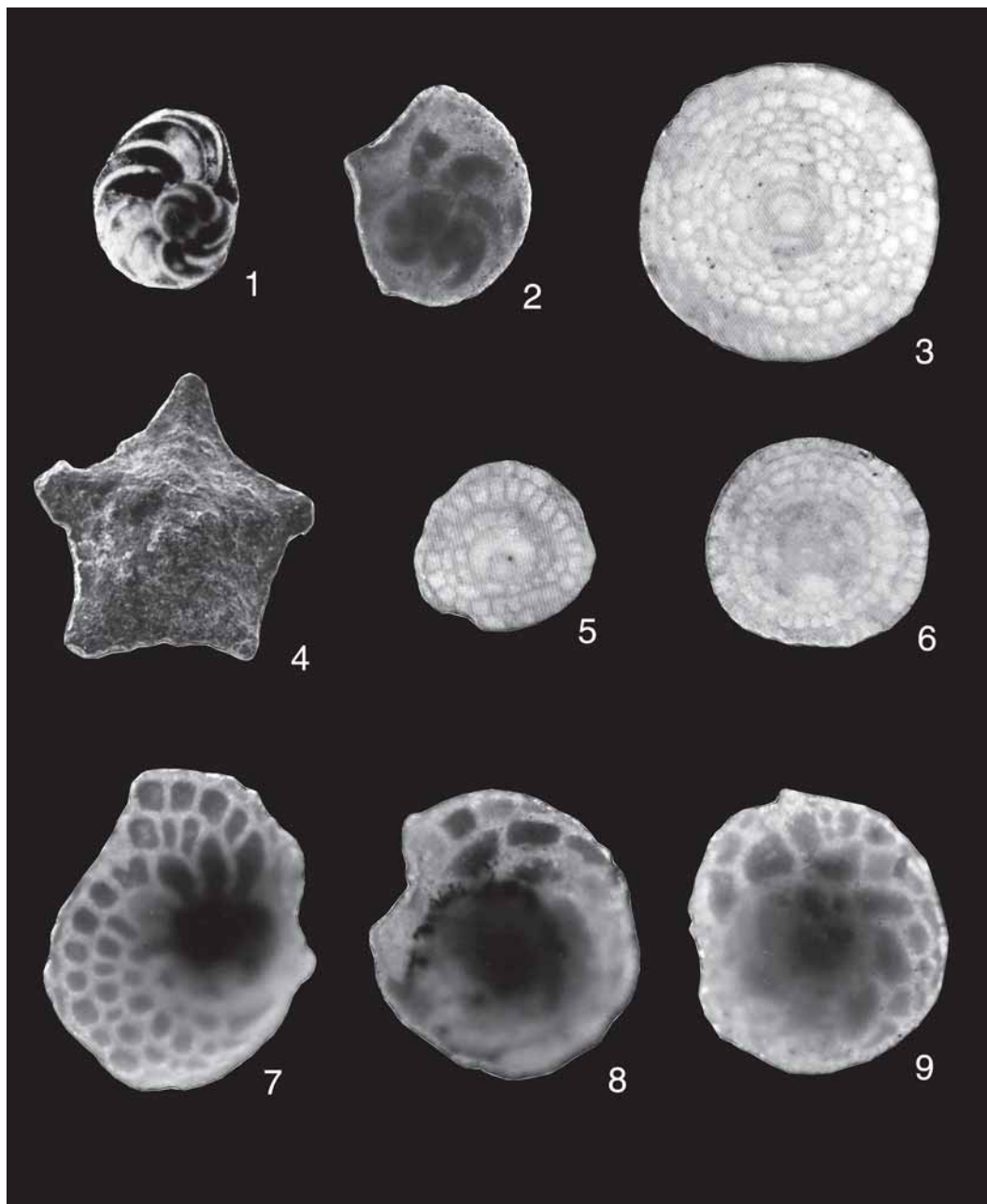
1868 *Rotalia eocaena* - Gümbel, p. 72, pl. 2, fig. 87a-b

1956 *Cibicides eocaenus* (Gümbel) - Hagn, p. 180, pl. 17, figs. 8-9

1985 *Heterolepa eocaena* (Gümbel) - Grünig, p. 275, pl. 11, figs. 1-3

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, Vr-

PLATE 12



1-2 *Operculina* cf. *gomezi* Colom & Bauza. 1 Vr-005A, x32. 2 Vr-005A, x32. 3 *Eoannularia eoceniva* Cole & Bermudez, Vr-005A, x64. 4 *Asterocyclina* sp. Vr-005A, x80. 5 *Discocyclina trabayensis vicenzensis* Less, Vr-005A, x64. 6 *Discocyclina* s. l., Vr-005A, x64. 7-9 *Heterostegoina* sp. 1. 7 Vr-005A, x64. 8 Vr-005A, x64. 9 Vr-005A, x64.

012, Zv-005, Zv-011

***Heterolepa reussi* (Silvestri), 1906**

Pl. 11, Fig. 5

1906 *Truncatulina dutemplei* (d'Orbigny) var. *reussi* - Silvestri, p. 33 (Fide Ellis & Messina 1940)

1956 *Cibicides dalmatinus* van Bellen - Hagn, p. 180, pl. 18, fig. 5a-b

1985 *Heterolepa reussi* (Silvestri) - Grünig, p. 76, pl. 11, figs. 7-9

Locality: Vr-011, Vr-012

Family: **Gavelinellidae Hofker, 1956**

***Gyroidinoides girardanus* (Reuss), 1851**

Pl. 11, Figs. 1-2

1851 *Rotalina girardana* - Reuss, p. 73, pl. 5, fig. 34

1993 *Gyroidinoides girardanus* (Reuss) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 83, pl. 21, fig. 3

Locality: Vr-004, Vr-005A, Vr-010, Vr-012, Zv-006, Zv-007, Zv-009, Zv-011

***Gavelinella acuta* (Plummer), 1926**

Pl. 11, Figs. 6-8

1926 *Anomalina ammonoides* (Reuss) var. *acuta* n. var. - Plummer, p. 149, pl. 10, fig. 2a-c

1983 *Anomalina acuta* Plummer - Setiawan, p. 131, pl. 14, fig. 3

1987a *Gavelinella acuta* (Plummer) - Sztràkos, p. 31, pl. 13, figs. 12, 13

Locality: Vr-009

Family: **Linderinidae Loeblich & Tappan, 1984**

***Eoannularia eocenica* Cole & Bermudez, 1944**

Pl. 12, Fig. 3

1944 *Eoannularia eocenica* - Cole & Bermudez, p. 12, pl. 1, figs. 11-16 (Fide Ellis & Messina 1940)

1976 *Eoannularia eocenica* Cole & Bermudez - Sirel, p. 80, pl. 1, figs. 1-3; pl. 2, figs. 1, 2, 4, 5, 8, 9

Locality: Vr-005A, Vr-011

Family: **Rotaliidae Ehrenberg, 1839**

***Pararotalia armata* (d'Orbigny), 1826**

Pl. 11, Fig. 9

1826 *Rotalia armata* - d'Orbigny, p. 273, pl. 8, fig. no. 22

1970 *Pararotalia armata* (d'Orbigny) - Le Calvez, p. 161, pl. 39, fig. 1

1985 *Pararotalia armata* (d'Orbigny) - Grünig, p. 270, pl. 8, fig. 9

1993 *Pararotalia armata* (d'Orbigny) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 83, pl. 42, fig. 11

Locality: Vr-011

***Pararotalia audouini* (d'Orbigny), 1826**

Pl. 11, Figs. 10-11

1826 *Rotalia audouini* - d'Orbigny, p. 273, no. 19

1970 *Pararotalia audouini* (d'Orbigny) - Le Calvez, p. 162, pl. 34, fig. 8

1975 *Pararotalia audouini* (d'Orbigny) - Braga et al., p. 107, pl. 6, figs. 8-9

1983 *Pararotalia audouini* (d'Orbigny) - Setiawan, p. 120

1993 *Pararotalia audouini* (d'Orbigny) - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 83, pl. 42, fig. 12

Locality: Vr-011

Family: **Calcarinidae Schwager, 1876**

***Calcarina lecalvezae* Boulanger & Poignant, 1971**

Pl. 11, Figs. 12-13

1971 *Calcarina le calvezae* - Boulanger & Poignant, p. 96, pl. 1, figs. 1-10

1991 *Calcarina lecalvezae* Boulanger & Poignant - Barbin & Keller-Grünig, p. 242, pl. 1, fig. 22

1993 *Calcarina lecalvezae* Boulanger & Poignant - Sztràkos (In: Mathelin & Sztràkos), p. 83, pl. 22, figs. 7-9

Locality: Vr-014, Zv-009

Family: **Nummulitidae de Blainville, 1827**

***Heterostegina* sp. 1**

Pl. 12, Figs. 7-9

Locality: Vr-005, Vr-005A

***Operculina* cf. *gomezi* Colom & Bauza, 1950**

Pl. 12, Figs. 1-2

1950 *Operculina canalifera gomezi* - Colom & Bauza, p. 217, pl. 16, figs. 1-3; texte, figs. 1-2. (Fide Ellis & Messina 1940)

1971 *Operculina canalifera gomezi* Colom & Bauza - Ferrer, p. 35, fig. 19

1977 *Operculina gomezi* Colom & Bauza - Hottinger, p. 98, figs. 38 A-F

1993 *Operculina gomezi* Colom & Bauza - Mathelin (In: Mathelin & Sztràkos), p. 62, pl. 44, fig. 4

Locality: Vr-005A

Family: **Discocyclinidae** Galloway, 1928

***Discocyclina trabayensis vicenzensis* Less, 1987**

Pl. 12, Fig. 5

1987 *Discocyclina trabayensis* Neumann, 1955
vicenzensis n. ssp. - Less, p. 172, pl. 18, figs. 3-5, textfig. 27y

Locality: Vr-005A

***Discocyclina* s. l.**

Pl. 12, Fig. 6

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A, VR-009

***Asterocyclina* sp. 1**

Pl. 12, Fig. 4

Locality: Vr-004, Vr-005, Vr-005A

Acknowledgements

We thank the Slovenian Research Agency for financing this project. To the late Monique Toumarkine, who in the meantime passed away, go our thanks for determinations of planktic species, to Vlasta Čosović for determination of *Lepidocyclina*, and to Jože Čar, Ladislav Placer and Laszlo Fodor for discussions on tectonic deformations in profiles. Thanks also to Tom Popit and Alenka Eva Črne who technically prepared the plates, and to Simon Pirc for translation of the text into English, and to Glenn S. Jacks for English corrections of the final version.

References

- Aničić, B. & Juriša, M. 1985a: Tolmač za list Rogatec, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 (Geology of the Sheet Rogatec, Geological Map of SFRJ 1:100000). - Zvezni geološki zavod, 76 pp., Beograd (in Slovenian with English abstract).
- Aničić, B. & Juriša, M. 1985b: List Rogatec, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 (Sheet Rogatec, Geological Map of SFRJ 1:100000). - Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Baldi, T. 1984: The terminal Eocene and Early Oligocene events in Hungary and the separation of an anoxic, cold Paratethys. - *Eclogae geol. Helv.*, 77, 1-27, Basle.
- Barbin, V. & Keller-Grünig, A. 1991: Benthic foraminiferal assemblages from the Brendola section (Priabonian stage stratotype area, northern Italy): Distribution, palaeoenvironment and palaeoecology. - *Marine Micropaleontology*, 17, 237-254, Amsterdam.
- Barker, R. W. 1960: Taxonomic Notes on the Species Figured by H. B. Brady in his Report on the Foraminifera Dredged by H. M. S. Challenger During the Years 1873-1876. Accompanied by a Reproduction of Brady's Plates: Soc. Econom. Paleont. Miner., Spec. publ. 9, 238 pp., pls. 1-115, Tulsa.
- Bellen, van R. C. 1941: Some eocene Foraminifera from the neighbourhood of Ričice near Imotski, E Dalmatia, Yugoslavia. - *Proc. Ned. Akad. Wet.*, 44, 996-1005, Amsterdam.
- Bittner, A. 1884: Die Tertiär-Ablagerungen, von Trifail und Sagor. - *Jahrb. k.k. Geol. Reichsanst.*, 34, 433-596, Wien.
- Bornemann, P. 1855: Die mikroskopische Fauna des Septarienthones von Hermsdorf bei Berlin. - *Zeitschrift Deutsch. Geol. Ges.* 7, 307-371, pls. 12-21, Berlin.
- Boulanger, D. & Poignant, A. 1971: Sur l'existence du genre *Calcarina* en Aquitaine méridionale. - *Revue de Micropaléontologie*, 14 (2), 96-101, Paris.
- Braga, GP, De Biase, R., Grünig, A. & Proto Decima, F. 1975: Foraminiferi bentonici del Paleocene ed Eocene della Sezione di Possagno. In: Bolli, H. M. (ed.): *Monographia micropaleontologica sul Paleocene e l'Eocene di Possagno. Provincia di Treviso, Italia.* - Schweiz. paläont. Abh., 97, 85-371, Basel.
- Brezigar, A., Ogorelec, B., Rijavec, L. & Mioč, P. 1988: Geološka zgradba predpliocenske podlage Velenjske udorine in okolice (Geologic setting of the Pre-Pliocene basement of the Velenje depression and its surroundings). - *Geologija*, 30, 31-65, Ljubljana (in Slovenian with English abstract).
- Buch, L. 1851: Abhandlungen über die Lagerung der Braunkohlen in Europa. - *Berichte k. Akad. Wiss.*, 683-701, Berlin.
- Buser, S. 1979: Tolmač lista Celje, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 (Geology of the Sheet Celje, Geological Map of SFRJ 1:100000). - Zvezni geološki zavod, 72 pp., Beograd (in Slovenian with English abstract).
- Cimerman, F. 1969: *Halkyardia maxima* n. sp. (Middle Oligocene) and *Halkyardia minima* (Liebus) (Middle Eocene). - *Rocz. Polsk. Tow. Geol.*, 39, 295-304, pls. 57-58, Krakow.
- Cimerman, F. 1979: Oligocene beds in Slovenia. - In: K. Drobne (ed.), 16th European Micropaleontological colloquium. - Croatian Geological Society, Slovenian Geological Society, 65-70, Ljubljana.
- Csontos, L., Nagymarosy, A., Horváth, F. & Kováč, M. 1992: Tertiary evolution of the intra-Carpathian area: a model. - *Tectonophysics*, 199, 73-91, Amsterdam.
- Cushman, J. A. 1937a: A Monograph of the foraminiferal family Valvulinidae. - Cushman. Lab. Foram. Res. Spec. Publ. 8, 210 pp., pls. 1-24, Sharon Mass.
- Cushman, J. A. 1937b: A Monograph of the subfamily Virgulininae of the foraminiferal family Buliminidae. - Cushman. Lab. Foram. Res. Spec. Publ. 9, 228 pp., pls. 1-24, Sharon Mass.
- Cuvillier, J. & Szakall, V. 1949: Foraminifères de l'Aquitaine, Première partie (Reophacidae à Nonionidae). - *Soc. Nat. Pétr. Aquit.*, 113 pp., pls. 1-32, Toulouse.

- Drobne, K., Pavlovec, R. & Drobne, F.: 1979: Mikrofosilne karakteristike starejšega paleogena na zahodnem obrobju Panonskega bazena (Characteristics of microfossils in the old Paleogene on the western border of the Pannonian basin). - Znanstveni savjet za naftu Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, Stubičke Toplice, Zbornik radova, 155-166, Zagreb (in Slovenian with English abstract).
- Drobne, K., Pavlovec, R., Drobne, F., Cimerman, F. & Šikić, L.: 1985: Nekateri veliki foraminiferi iz zgornjeeocenskih in bazalnih oligocenskih skladov v severni Sloveniji (Some larger foraminifera from the Upper Eocene and the basal Oligocene beds in North Slovenia). - Geološki glasnik, 28, 77-117, Sarajevo (in Slovenian with English abstract).
- Ellis, B. F. & Messina, A. R.: 1940: Catalogue of Foraminifera. - American Museum of Natural Sciences, New York.
- Ettingshausen, C.: 1853: Über die fossile Flora des Monte Promina in Dalmatien. - Sitzungsberichte k. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Cl., 10, 424-428, Wien.
- Ettingshausen, C.: 1858: Beiträge zur Kenntniss der fossilen Flora von Sotzka in Untersteiermark. - Sitzungsberichte k. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Cl., 28/6, 471-567, 6 Taf., Wien.
- Ettingshausen, C.: 1872: Die fossile Flora von Sagor in Krain, 1. - Denkschriften k. Akad. Wiss. mathem.-naturwiss. Cl. 32, 159-202, 10 Taf., Wien.
- Ettingshausen, C.: 1877: Die fossile Flora von Sagor in Krain, 2. - Denkschriften k. Akad. Wiss. mathem.-naturwiss. Cl., 37, 161-216, 27 Taf., Wien.
- Ettingshausen, C.: 1885: Die fossile Flora von Sagor in Krain, 3. - Denkschriften k. Akad. Wiss. mathem.-naturwiss. Cl., 50, 1-54, 5 Taf., Wien.
- Ferrer, J.: 1971: El Paleoceno y Eoceno del borde sur-oriental de la depresión del Ebro (Cataluña). - Schweiz. Pal. Abh., 90, 1-70, pls. 1-8, Basel.
- Foraminiferi Padani (1982) (Terziario e Quaternario). Atlante iconografico e distribuzione stratigrafica. Sec. edizione, 1982, Agip S. p. A., pls. 1-52, Milano.
- Fornasini, C.: 1904: Illustrazione di specie orbignyane di foraminiferi istituite nel 1826. - Mem. R. Accad. Sci. Ist. Bologna, Ser. 6 (1), 1-17, pls. 1-4, Bologna.
- Gibson, T. G., Barbin, V., Poignant, A. & Sztràkos, K.: 1991: Early evolution of Tubulogenerina during the Paleogene of Europe. - J. Foram. Res. 21 (4), 299-312, Washington.
- Gohrbandt, K.: 1961: Die Kleinforaminiferenfauna des obereozänen Anteils der Reingruber Serie bei Bruderdorf (Bezirk Korneuburg, Niederösterreich). - Mitt. Geol. Ges. Wien, 54, 55-145, pls. 1-8, Wien.
- Grünig, A.: 1985: Systematical description of Eocene benthic foraminifera of Possagno (Northern Italy), Sansoain (Northern Spain) and Biarritz (Aquitaine, France). - Memorie Sci. Geol. Univ. Padova, 37, 251-302, Padova.
- Grünig, A. & Herb, R.: 1984: Eocene Benthic Foraminifera from Biarritz: Distribution and Palaeoenvironment. - Benthos '83, 2nd Internat Symp. Benthic Foraminifera, 257-265, Pau-Bordeaux.
- Gümbel, C. W.: 1868: Beiträge zur Foraminiferenfauna der nordalpinen, älteren Eozägebilde oder der Kressenberger Nummulitenschichten. - Abhandlungen k. bayer. Akad. Wiss. II. Cl., 10, II. Abth., 1-152, pls. 1-4, München.
- Hagn, H.: 1956: Geologische und paläontologische Untersuchungen im Tertiär des Monte Brione und seiner Umgebung. - Palaeontographica, 107, 67-210, pls. 7-18, Stuttgart.
- Halkyard, E.: 1919: The fossil Foraminifera of the Blue Marl of the Côte des Basques, Biarritz. - Mem. Proc. Manch. Phil. Soc., 62, 1.145, I-XXIV, pls. 1-9, Manchester.
- Hamrla, M.: 1987: Prispevek h geologiji premogišč zreškega okoliša in uvrstitev njegovih premogov po odsevnosti (Contribution to the geology of coal deposits in the Zreče area and reflectance-based ranking of its coal). - Geologija, 30, 343-390, Ljubljana (in Slovenian with English summary).
- Hantken, M.: 1868: A kis-czelli tályag foraminiferái. - Magyar. Földt. Társ. Munk. 4, 75-96, pls. 1-2, Budapest.
- Hantken, M. In Posewicz, T.: 1889: Borneo. Entdeckungsreisen und Untersuchungen. Gegenwärtiger Stand der geologischen Kenntnisse. Verbreitung der nutzbaren Mineralien, Berlin.
- Hantken, M.: 1875: Die Fauna der Clavulina Szaboi Schichten, I. Theil: Foraminiferen. - Mitt. Jb. k. ungar. Geol. Anst., 4, 1-93, pls. 1-16 Budapest.
- Hoernes, 1876: Anthracotherium magnum Cuv. Aus den Kohlen-Ablagerungen von Trifail. - Jahrb. k.k. Geol. Reichsanst., 26/3, 209-242, Wien.
- Hoernes, 1892: Die Kohlenablagerungen von Radeldorf, Stranitz und Lubnitzengraben bei Röttschach und von St. Britz bei Wollan in Untersteiermark. - Mittheilungen nat.-wiss. Ver. Steiermark, 29, 275-295, Graz.
- Hottinger, L.: 1977: Foraminifères operculiformes. - Mémoires, Sér. C, v. 40, Museum National d'Histoire Naturelle, 1-159, pls. 1-66, Paris.
- Jelen, B., Mervič, H., Horvat, A. & Pavšič, J.: 1990: Spremembe mikrofosilnih združb v oligocenu Zasavja (Changes of the microfossil assemblages in the Oligocene of the Zasavje region). - Geologija, 31/ 32, 329-345, Ljubljana (in Slovenian with English abstract).
- Jelen, B., Aničić, B., Brežigar, A., Buser, S., Cimerman, F., Drobne, K., Monostori, M., Kedves, M., Pavlovec, R., Pavšič, J. & Skaberne, D.: 1992: Model of positional relationships for Upper Paleogene and Miocene strata in Slovenia. In: A. Montanari, R. Coccioni, G. S. Odin (eds.), Interdisciplinary Geological Conference on the Miocene Epoch with Emphases on the Umbria - Marche - Sequence. - Abstracts and field trips, 71-72, International Union of Geological Sciences, Subcommission on Geochronology, Ancona, Italy.
- Jelen, B., Brežigar, A., Buser, S., Cimerman, F., Drobne, K., Monostori, M., Kedves, M., Pavlovec, R., Pavšič, J. & Skaberne, D.: 1993a: Novo v reševanju problema stratigrafije oligocena in spodnjega miocena v Sloveniji. - Rudarsko-metalurški zbornik, 33. Skok čez kožo, 16-18, Ljubljana.
- Jelen, B., Šimunić, A., Drobne, K., Skaberne, D., Čosović, V., Avanić, R., Baldi-

- Beke, M., Cimerman, F., Čar, J., Fodor, L., Kedves, M., Márton, E., Monostori, M., Pavlovec, R., Placer, L., Sikić, L., Toumarkine, M., Turnšek, D. & Zagoršek, K. 2000: Eocene in NE Slovenia and NW Croatia. - 5th Meeting of the IUGS-UNESCO, IGCP 393 - July 18th - 31st, 2000. Field trip Guidebook, 97-147, Bologna.
- Kaasschieter, J. P. H. 1961: Foraminifera of the Eocene of Belgium. - *Mémoire Inst. Roy. Sci. Nat. Bel.*, 147, 1-271, 16 Pl., 8 Tab., Bruxelles.
- Kuščer, D. 1955: Nova opazovanja o savski fazi (Neue Beobachtungen über die Sava-Phase). - *Geologija*, 3, 260-264, Ljubljana (in Slovenian and German).
- Kuščer, D. 1967: Zagorski terciar (Tertiary Formations of Zagorje). - *Geologija*, 10, 5-85, Ljubljana (in Slovenian with English summary).
- Le Calvez, Y. 1970: Contribution à l'étude des foraminifères paléogènes du Bassin de Paris. - *Cahiers de paléontologie*, 1-326, pls. 1-48, Paris.
- Less, G. 1987: Paleontology and Stratigraphy of the European Orthophragminae. - *Geologica Hungarica, Ser. Palaeontologica*, 51, 1-373, pls. 1-45, Budapest.
- Liebus, A. 1911: Die Foraminiferenfauna der mitteloocänen Mergel von Norddalmatien. - *Sitzungsber. K. Akad. Wiss. math.-naturw. Kl.*, 120, 1-92, pls. 1-3, Wien.
- Lindenberg, H. G., Martini, E. & Witt, W. 1981: C5: Kaiserwald-Graben. In: Hagn, H. (Ed.), *Die Bayerischen Alpen und ihr Vorland in mikropaläontologischer Sicht*. - *Geologica Bavaria*, 82, 1-408, München.
- Loeblich, A. R. & Tappan, H. 1964: Sarcodina chiefly "thecamoebians" and Foraminiferida. In: R. C. Moore (ed.) - *Treatise on invertebrate Paleontology. Part C, Protista 2*, Geological Society of America, Univ. Kansas Press, 1-900.
- Loeblich, A. R. & Tappan, H. 1987: Foraminiferal Genera and their Classification: Van Nostrand Reinhold, 2 vols, 970 pp., pls. 1-847, New York.
- Majzon, 1958: A Jugoszláviai "Sotzka" rétegek kora. - *Földtani Közlöny*, 88/3, 354-355, Budapest.
- Marie, P. 1950: *Queraltina*, nouveau genre de Foraminifère de l'Éocène pyrénéen. - *Bull. Soc. Géol. France*, ser. 5, 20, 73-80, Paris.
- Mathelin, J.-C. & Sztrákó, K. 1993: L'Éocène de Biarritz (Pyrénées Atlantiques, SW France). *Stratigraphie et paléoenvironnement. Monographie des Foraminifères*. - *Cahiers de Micropaléontologie*, 8, 5-85, pls. 1-48, Paris.
- Mihajlović, Dj. & Jungwirth, E. 1988: Oligocene aged flora from Novi Dol (Slovenia, Yugoslavia). - *Rev. Paléobiologie*, 7/2, 435-447, Genève.
- Mikuž, V. 1979: Srednjeeocenski moluski iz Lepene (Middle Eocene molluscan fauna from Lepena). - *Geologija*, 22/2, 189-224, Ljubljana (in Slovenian with English abstract).
- Mioč, P. 1978: Tolmač za list Slovenj Gradec, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 (Geology of the Sheet Slovenj Gradec, Geological Map of SFRJ 1:100000). - *Zvezni geološki zavod*, 74 pp., Beograd (in Slovenian with English abstract).
- Mioč, P. & Žnidarčič, M. 1977: List Slovenj Gradec, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 (Sheet Slovenj Gradec, Geological Map of SFRJ 1:100000). - *Zvezni geološki zavod*, Beograd.
- Morlot, A. 1849a: Uebersicht der geologischen Verhältnisse des südlich von der Drau gelegenen Theiles von Steiermark. - *Berichte über die Mittheilungen von Freunden der Naturwissenschaften*, 5/3, 174-183, Wien.
- Morlot, A. 1849b: Mittheilungen über die geologischen Verhältnisse des südlich von der Drau gelegenen Theiles von Steiermark. - *Berichte über die Mittheilungen von Freunden der Naturwissenschaften*, 5/1, 100, Wien.
- Morlot, A. 1850: Andeutungen über die geologischen Verhältnisse des südlichsten Theiles von Untersteier. - *Berichte über die Mittheilungen von Freunden der Naturwissenschaften*, 6/9, 159-168, Wien.
- Morlot, A. 1853: Einige Bemerkungen über die geologischen Verhältnisse von Untersteier. - *Zweiter Bericht des geognostisch-montanistischen Vereines für Steiermark*, Gratz.
- Murray, J. W. 1991: Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera. - Longman Scientific & Technical, 397 pp., Essex.
- Orbigny, A. d' 1826: Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes. - *Ann. Sci. nat. Ser. 7*, 245-316, pls. 10-17, Paris.
- Orbigny, A. d' 1846: Foraminifères fossiles du Bassin tertiaire de Vienne (Autriche). - *Gide et Comp.*, 312 pp., pls. 1-21, Paris.
- Papp, A. 1954: Miogypsinidae aus dem Oligozän von Zagorje (Slovenian, Jugoslavien) (Miogypsinidae iz Oligocena v Zagorju). - *Geologija*, 2, 168-178, Ljubljana (in German and Slovenian).
- Papp, A. 1955: Lepidocyclinen aus Zagorje und Tuhinjska dolina östlich von Kamnik (Slovenien) (Lepidocikline iz Zagorja in Tuhinjske doline). - *Geologija*, 3, 209-215, Ljubljana (in German and Slovenian).
- Papp, A. 1975: Die Grossforaminiferen des Egerien. In: T. Báldi & J. Seneš (eds), *Chronostratigraphie und Neostratotypen, Miozän der Zentralen Paratethys*, 5, OM Egerien. - *VEDA*, 289-307, Bratislava.
- Papp, A. & Schmid, M. E. 1985: Die Fossilen Foraminiferen des tertiären Beckens von Wien. *Revision der Monographie von Alcide d'Orbigny (1846)*. - *Abh. Geol. Bundesanstalt Wien*, 73, 1-311, pls. 1-102, Wien.
- Pavlovec, R., Drobne, K. & Drobne, F. 1990: Ostanki eocenskih kamnin na slovenjebistriškem prostoru [Reste von Eozän-Gesteinen in Raum von Slovenska Bistrica]. - *Zbornik občine Slovenska Bistrica*, 2, 440-448, pls. 1-2, Slovenska Bistrica.
- Petrascheck, W. 1926/29: Kohlengeologie der österreichischen Teilstaaten. 2. - *Kattowitzer Buchdruckerei - und Verlags-Sp. Akc.*, 484 pp., Taf. 9-20, Katowice.
- Plummer, H. J. 1926: Foraminifera of the Midway Formation in Texas. - *University of Texas Bulletin no. 2644*, 206 pp., pls. 1-15, Austin.
- Popescu, G. 1975: Étude des Foraminifères du Miocène inférieur et moyen du nord-ouest de la Transylvanie. - *Mém. Institut de Géologie. et Geophysique* 23, 1-121, pls. 1-106, Bucarest.
- Premru, U. 1983: Tolmač za list Ljubljana, Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000 (Geology of the Sheet Ljubljana, Geological Map of SFRJ 1:100000). - *Zvezni geološki zavod*, 75 pp., Beograd (in Slovenian with English abstract).
- Reiser, H. 1987: Die Foraminiferen der bayrischen Oligozän-Molasse. *Systematik, Stratigraphie und Paläobathymetrie*. - *Zitteliana*, v. 16, 3-131, pls. 1-19, München.

- Reuss, A. E. 1850: Neue Foraminiferen aus den Schichten des österreichischen Tertiärbeckens. - Denkschriften k. Akad. Wiss. Mathem.-naturwiss. Cl., 1, 365-390, pls. 1-6, Wien.
- Reuss, A. E. 1851: Ueber die fossilen Foraminiferen und Entomostraceen der Septarienthonen der Umgebung von Berlin. - Zeitschrift Deutsch. Geol. Ges., 3, 49-92, pls. 3-7, Berlin.
- Reuss, A. E. 1863: Beiträge zur Kenntniss der tertiären Foraminiferen-Fauna. - Sitzungsber. K. Akad. Wiss. math.-naturw. Cl., 48, 36-71, pls. 1-8, Wien.
- Reuss, A. E. 1866: Die Foraminiferen, Anthozoen und Bryozoen des deutschen Septarienthones. Ein Beitrag zur Fauna der mitteloligocänen Tertiärschichten. - Denkschriften K. Akad. Wiss. math.-naturw. Cl. 25, 117-214, pls. 1-4, Wien.
- Rijavec, L. 1958: Stratigraphische Bemerkungen über die Bohrung Brnica 6 (Synklinale von Tüffer, Slovenien). - Verh. Geol. Bundesanst., 1-3, 55-58, Wien.
- Rolle, 1857: Geologische Untersuchungen in der Gegend zwischen Weitenstein, Windisch-Gratz, Cilli und Oberburg in Unter-Steiermark. - Jahrb. k.k. Geol. Reichsanst., 8/3, 403-465, Wien.
- Rolle, F. 1858: Über die geologische Stellung der Sotzka-Schichten. - Sitzungsberichte k. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Cl., 30, 3-33, Wien.
- Royden, L.H. & Baldi, T. 1988: Early Cenozoic Tectonics and Paleogeography of the Pannonian and Surrounding Regions. In: L.H. Royden & F. Horváth (eds.), The Pannonian Basin: A Study In basin Evolution. - The American Association of Petroleum Geologists, The Hungarian Geological Society, AAPG Memoir 45, 1-16. Oklahoma, Budapest.
- Ruiz de Gaona, M. & Colom, G. 1950, Estudios sobre las sinecias de los foraminíferos eocénicos de la vertiente meridional del Pirineo (Cataluna-Vizcaya). - Estudios Geológicos, 6 (12), 293-434, Madrid.
- Sacal, V. & Debourle, A. 1957: Foraminifères de la 2^e partie. Peneroplidae à Victoriellidae. - Mém. Soc. géol. France (nouvelle série), 78, 1-88, pls. 1-78, Paris.
- Schweighauser, J. 1951: Ein Vorkommen von Neovalveolina aus dem vicentinischen Ober-eocaen. - Eclogae geol. Helv. 44, 465-469, Basel.
- Serra-Kiel, J., Hottinger, L., Caus, E., Drobne, K., Ferrandez, C., Jauhri, A., Less, G., K., Pignatti, J., Pavlovec, R., Samso, J. M., Schaub, H., Sirel, Strogue, A., E., Tambareau, Y., Tosquella, J. & Zakrevskaya, E. 1998: Larger foraminiferal biostratigraphy of the Tethyan Paleocene and Eocene. - Bull. Soc. géol. France, 169, no 2, 281-299, Paris.
- Setiawan, J. R. 1983: Foraminifera and microfacies of the type Priabonian. - Micropal. Bull., 29, 1-173, Utrecht.
- Sirel, E. 1976: Description of the new species *Eoannularia conica* n. sp. and new observations on the Upper Lutetian - Lower Priabonian limestone in the Darende-Gürün (west of Malatya) region. - Bull. Geol. Soc. Turkey, 19, 79-82, pls. 1-2, Ankara.
- Stur, D. 1864: Bemerkungen über die Geologie von Unter-Steiermark. - Jahrb. k.k. Geol. Reichsanst., 14/3, 439-444, Wien.
- Stur, 1871: Geologie der Steiermark. - Geognostisch-montanistischer Ver. Steiermark, 654 pp., Graz.
- Szöts, E. 1956: La limite entre le Paléogène et le Néogène et le problème des étages Chattien et Aquitanien. - Acta geol. Hung., 4/2, 209-219, Budapest.
- Sztràkos, K. 1982: Les Foraminifères de la marne de Buda et la limite Éocène-Oligocène en Hongrie. - Cahiers de Micropaléontologie 4, 1-48, pls. 1-39, Paris.
- Sztràkos, K. 1987a: Les Foraminifères bartoniens et priaboniens des couches a "Tritaxia szaboi" de Hongrie et essai de reconstitution paléogéographique de la Montagne Centrale de Hongrie au Bartonien et Priabonien. - Cahiers de Micropaléontologie 2 (1), 5-37, pls. 1-23, Paris.
- Sztràkos, K. 1987b: Le genre *Pavonitina* (Foraminifère) dans le Cénozoïque européen. - Revue de Micropaléontologie, 30 (2), 128-138, Paris.
- Šikić, L., Šimunić, A., Pikija, M. & Šimunić, A., 1976: Gornji eocen na području Ravne gore (sjeverozapadna Hrvatska). - Geološki vjesnik, 29, 191-197, Zagreb.
- Teller, F. 1889: Zur Kenntniss der Tertiärlagerung des Gebietes von Neuhaus bei Cilli in Südsteiermark. - Verh. k. k. Geol. Reichsanst., 12, 234-246, Wien.
- Teller, F. 1896: Erläuterungen zur Geologischen Karte der östlichen Ausläufer der Karnischen und Julischen Alpen (Ostkarawanken und Steiner Alpen) 1.75000. - K. k. Geologische Reichsanst., 262 pp., Wien.
- Teller, F. 1898: Erläuterungen zur Geologischen Karte der Oesterr.-ungar. Monarchie, Prassberg a. d. Sann 1.75000. - K. k. Geologische Reichsanst., 167 pp., Wien.
- Teller, F. 1907: Geologische Karte Cilli-Ratschach 1. 75000. - K. k. Geologische Reichsanst., Wien.
- Terquem, O. 1878: Les Foraminifères et les Entomostracés-Ostracodes du Pliocène Supérieur de l'île de Rhode. - Mém. Soc. Géol. France sér. 3, 1, 1-135, pls. 1-9, Paris.
- Thenius, E. 1959: Tertiär, 2. In: Fr. Lotze, Handbuch der Stratigraphischen Geologie, 3/2. - Ferdinand Enke Verlag, 328 pp., Stuttgart.
- Uhlig, V. 1886: Ueber eine Microfauna aus dem Alttertiär der westgalizischen Karpathen. - Jahrbuch. Geol. Reichsanstalt, 36, 141-214, pls. 2-6, Wien.
- Wenger, W. F. 1987: Die Foraminiferen des Miozäns der Bayerischen Molasse und ihre stratigraphische sowie paläogeographische Auswertung. - Zitteliana, 16, 173-340, pls. 1-22, München.
- Witt Puyt, J. F. C. de 1941: Geologische und paläontologische Beschreibung der Umgebung von Ljubuški, Hercegovina, 99 pp., pls. 1-5, Utrecht.
- Zollikofer, Th. 1859: Die geologischen Verhältnisse von Untersteiermark. Gegend südlich der Sann und Wolska. - Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., 10/2, 157-219, 1 Taf., Wien.
- Zollikofer, 1861/62: Die geologischen Verhältnisse des südöstlichen Theiles von Untersteiermark. - Jahrb. k. k. Geol. Reichsanst., 12/3, 311-367, 1 Taf., Wien.

Spodnjeeocenski numuliti iz Trnovega pri Ilirski Bistrici

Lower Eocene Nummulits from Trnovo in surroundings of Ilirska Bistrica (SW Slovenia)

Rajko PAVLOVEC

Univerza v Ljubljani, Oddelek za geologijo, Privoz 11, SI - 1000 Ljubljana

Ključne besede: foraminifere, numuliti, cuisij, fliš

Key words: foraminifers, nummulites, Cuisian, flysch

Kratka vsebina

Opisanih je osem vrst numulitov iz fliša pri Trnovem (Ilirska Bistrica). Plasti so zgornjehcuisijske.

Abstract

Described are eight species of nummulits from flysch at Trnovo near Ilirska Bistrica (SW Slovenia). The strata are of Upper Cuisian age.

Uvod

V okolici Ilirske Bistrice je raziskoval v okviru doktorske disertacije Mujibur Rahman Khan iz Bangladeša. Posvečal se je razvoju in starosti paleogenskih plasti, ki jo je ugotavljal predvsem na podlagi mikroforaminifer (Khan, 1976, 1983). Sam sem takrat iz njegovega terena določal numulitine. Sedaj so numulitine iz okolice Trnovega ponovno pregledane in revidirane.

V tej razpravi so opisani numuliti iz Trnovega pri Ilirski Bistrici. Nahajališče je blizu kamnoloma, ki pridobiva rudistni apnenec. Khan (1976) označuje to področje kot profil Trnovo. V tamkajšnjem profilu je nad rudistnim apnencem alveolinsko-numulitni apnenec ilirdijske starosti. Khan omenja v njem vrste *Idalina sinjarica* Grimsdale, *Discocyclus douvillei* (Schlumberger), *Rotalia*

viennoti Grieg in *Distichoplax biserialis* (Dietrich). Nad diskordantno mejo sledi laporovec, ki ga je Khan (1976) uvrstil v zgornji ilerdij in spodnji cuisij. Te plasti so na prehodu iz apnenca v fliš. V laporovcu je veliko planktonskih in bentoških foraminifer. Flišne plasti v nadaljevanju profila so na več mestih zakrite. Deloma jih sestavljajo menjavajoči laporovci in peščenjaki (sovdan), deloma peščenjak in breča. V brečastih plasteh so numuliti, alveoline, diskocikline, alge in še nekateri drugi fosili. Fliš je v tem profilu Khan uvrstil v srednji cuisij.

Brečaste plasti z numuliti so v srednjem delu flišnega profila. Fosili so precej poškodovani. Khan (1976) našteva naslednje oblike: *Nummulites bakhchisaraiensis* Rozloz-
snik (verjetno *N. tauricus*), *N. campesinus* Schaub, *N. ex gr. planulatus* (sedaj *N. subdistans*), *N. aff. praelaevigatus* Schaub (sedaj

N. quasilaevigatus). Ta odsek profila je bil uvrščen v zgornji del srednjega ali v spodnji del zgornjega cuisija.

Doslej znane numulitine iz okolice Ilirske Bistrice so omenjene v publikaciji iz leta 2003 (Pavlovec, 2003). Podrobneje so opisane iz okolice Trpčan, kjer je ugotovljen fliš spodnje in zgornjecuisijske starosti ter iz prehoda cuisij – lutecij. V vzhodnem delu Brkinov je veliko ponekod precej bogatih nahajališč numulitin, ki še niso podrobneje obdelana. Numuliti iz Trnovega niso najbolje ohranjeni in so elementi hišic največkrat nekoliko prekristaljeni. Zato je njihova determinacija včasih težka in morda celo nekoliko problematična.

Opisi numulitov

Nummulites kapellosi Schaub, 1981 (tab. 1, sl. 2)

1966. *Nummulites* aff. *campesinus* n.sp. – Schaub, 361, tab. 1, sl. 13-14, 16-21
1973. *Nummulites* »aff. *campesinus*« Schaub, 1966 – Kapellos, 77, tab. 47, sl. 10
1981. *Nummulites kapellosi* nov.sp. – Schaub, 83, tab. 2 f, tab. 7, sl. 1-22
1993. *Nummulites kapellosi* Schaub, 1981 – Hillebrandt, 282, tab. 1, sl. 2

Mikrosferična generacija

Pri Trnovem je ta oblika redka. Lečasta hišica ima na površini močne, okrogle granule, proti zunanemu robu pa vse več radialnih, rahlo zavitih septalnih podaljškov. Velikost je 4,8 do 6,5 mm, debelina 3 do 3,4 mm. Po Schaubu (1981) so velikosti hišic med 4,5 in 6,5 mm. Pri polmeru okrog 1,7 mm je 9 zavojev. Ta numulit je bil najden v severni Sloveniji (= *Nummulites* aff. *campesinus* sensu Schaub 1966; Drobne et al., 1977). Pri teh so velikosti hišic med 6 in 7,2 mm, 10 zavojev pa je pri polmeru 2,9 mm.

Zavoji se enakomerno višajo. Zavojni rob je tanek, septa so nagnjena in rahlo ukrivljena. Kamrice so od sredine zavojev skoraj izometrične, nekatere imajo celo večjo dolžino kot višino. Zelo podobna vrsti *Nummulites kapellosi* je srednjecuisijska podvrsta *N. burdigalensis cantabricus* Schaub, ki ima nekoliko nižje zavoje in nekoliko bolj ukrivljena septa, na površini hišice pa manjše granule.

Vendar se zdi, da obstajajo prehodi med obema oblikama (cf. Schaub, 1981, tab. 4 in 7).

Schaub (1966) omenja poleg tipičnih zgornjecuisijskih primerkov še podobne, ki jih označuje *Nummulites* aff. *campesinus*. To obliko je pozneje opisal kot novo vrsto *Nummulites kapellosi* Schaub, ki je srednjecuisijska. Vrsta *Nummulites kapellosi* je bila ugotovljena v apnencih pri Ivartniku na Koroškem (= *N. aff. campesinus* sensu Schaub 1966), pravi *N. campesinus* pa v prodnikih iz miocenskih plasti na Koroškem (Drobne et al., 1977). Res pa je, da so si oboji primerki po velikosti hišic in številu zavojev zelo blizu. Koroški numuliti imajo pri velikosti hišic 7,2 mm 12 zavojev in pri 5,8 mm 10 zavojev. *Nummulites kapellosi* je znan tudi iz fliša v Postojni (= *N. aff. campesinus* sensu Schaub 1966; Pavlovec, 1981).

Nummulites kapellosi nastopa najpogosteje v srednjecuisijskih plasteh, med drugim tudi iz Buttria v Furlaniji (Schaub, 1981). Hillebrandt (1993) omenja to obliko iz Koroške v Avstriji tudi v zgornjem cuisiju, kar ustreza starosti plasti pri Trnovem. Vendar je treba opozoriti, da je primerk iz Trnovega zelo podoben vrsti *Nummulites campesinus* in je prav mogoče, da je prehodna oblika med *Nummulites kapellosi* in *N. campesinus*. Vendar so primerki iz Trnovega po tanjšem zavojnem robu in nekoliko nepravilno potekajočih zavojih bližje vrsti *Nummulites kapellosi*.

Nummulites campesinus Schaub, 1966 (tab. 1, sl. 5)

1966. *Nummulites campesinus* nov. sp. – Schaub, 361-366, sl. 3 k-n, sl. 4-5, tab. 1, sl. 22-27, tab. 2, sl. 1-15
1973. *Nummulites campesinus* Schaub – Kapellos, 77-80, sl. 162-170, tab. 1, sl. 22-27, tab. 2, sl. 1-15
1974. *Nummulites campesinus* Schaub – Pavlovec in: Cimerman et al., 66, tab. 17-18
1999. *Nummulites campesinus* Schaub – Pavlovec & Simčič, 273, tab. 2, sl. 7
1981. *Nummulites campesinus* Schaub, 1966 – Schaub, 83-85, sl. 74, tab. 2, g-h, tab. 7, sl. 23-44, tab. 8, sl. 1-22, tab. 9, sl. 1-20

Mikrosferična generacija

Med vsemi numuliti iz Trnovega je ta vrsta najpogostejša. Lečasta hišica ima zlasti v

sredini močne granule, ki postajajo proti zunanemu robu nežnejše in redkeje. Vmes so rahlo zaviti septalni podaljški. Velikost hišic je 7,6 do 8,1 mm, debelina okrog 4,5 mm. Po Schaubu (1981) so velikosti 5 do 12 mm (najpogostejše 6 do 8,5 mm) in debeline med 3 in 5 mm. Primerki iz Campa, nahajališča holotipa, imajo 11 zavojev na polmer 2,5 do 4,2 mm, kar ustreza našim primerkom. Kapellos (1973) navaja velikosti med 6 in 8 mm, debeline med 2,5 in 4 mm. Iz Vipolž (Pavlovec & Simčič, 1999) so velikosti hišic med 6,9 in 10 mm.

Zavoji se enakomerno višajo, pri nekaterih primerkih nekoliko hitreje, pri drugih počasneje. Zavojni rob je precej močan in obsega slabo tretjino zavoja. Kamrice imajo v notranjih zavojih višino in dolžino precej enako, v zunanjih zavojih se podaljšajo in je pri nekaterih celo večja dolžina od višine. Septa so rahlo upognjena.

Vrsto *Nummulites campesinus* poznamo tudi iz zgornjecuisijskih plasti pri Dobrinju na Krku (Schaub, 1981) in iz Vipolž v Goriških brdih (Cimerman et al., 1974).

Nummulites tauricus De la Harpe, 1926
(tab. 1, sl. 1)

1973. *Nummulites partschi tauricus* De la Harpe – Kapellos, 86, tab. 43, sl. 1, tab. 46, sl. 2, tab. 49, sl. 2-3

1981. *Nummulites tauricus* De la Harpe, 1926 – Schaub, 109-110, tab. 5 d, tab. 29, sl. 15-33, tab. 31, sl. 1-9, 16, 18, 19, 22-23, 25, 27

Mikrosferična generacija

Ta vrsta je pri Trnovem redka in najden je bil en sam precej dobro ohranjen primer. Ploščata hišica se proti sredini počasi debeli. Na površini so tanki, gosti septalni podaljški. Drobni granuli je največ v srednjem delu hišice, vendar je površina delno prekrita s sedimentom. Dve hišici sta veliki 15,9 mm z debelino 6 mm in 11,9 mm s 5,6 mm. Schaub (1981) navaja velikosti hišic 10 do 19 mm in debeline 3,5 do 4,3 mm, torej so tanjše hišice kot pri primerkih iz Trnovega. Nadalje omenja Schaub 13 zavojev pri polmeru 6 mm, kar povsem ustreza enemu našemu numulitu pa tudi drugi se vključuje v variacijsko širino, to je 12 zavojev pri polmeru 6 mm. Kapellos (1973) je izmeril velikosti hišic 9 do 10 mm in debeli-

ne 3 do 3,5 mm. Zavoji se precej enakomerno višajo. Septa so močno nagnjena in ponekod srpasta. Kamrice so bolj visoke kot dolge, redkeje skoraj izometrične. Zavojni rob je precej močan, vendar ne v vseh zavojih enako.

Nummulites tauricus je znan iz srednje in zgornjecuisijskih plasti. Ta vrsta je bila opisana iz mlajših delov kožbanskih plasti v Goriških brdih (Pavlovec, 1963; = *Nummulites partschi tauricus*). Pozneje so bili izraženi pomisleki, ali res pripada tej obliki (Cimerman et al., 1974). Vendar se zdi po primerjavi s fotografijami pri Schaubu (1981), da jo lahko prištejemo vrsti *Nummulites tauricus* in jo pod tem imenom navaja tudi Schaub v sinonimiki.

Schaub (1981) omenja obliko *Nummulites* aff. *tauricus* iz Dobrudže v Romuniji, ki naj bi bila prehodna oblika med *N. tauricus* in *N. praelorioli* Herb & Schaub. Vsekakor pa je to drugačen numulit kot tisti, ki ga opisujemo iz Trnovega kot *N. aff. praelorioli*. Če je v Goriških brdih dejansko *N. tauricus*, je mlajši del kožbanskih plasti najverjetneje srednjecuisijski, ker je v medanskih plasteh nad kožbanskimi dokazan zgornji cuisij.

Nummulites aff. *praelorioli* Herb & Schaub, 1963

Mikrosferična generacija

Pri Vipožah 2 v Goriških brdih, je bila najdena oblika, podobna vrsti *Nummulites praelorioli*. Pri njenem opisu (Pavlovec, 2004) so bile navedene pripombe, da se loči od značilnih predstavnikov vrste in bi jo bilo najbrž koristno opisati kot novo vrsto ali podvrsto. Vse kaže, da je v Sloveniji dokaj pogosta, vendar doslej nismo našli dovolj dobro ohranjenih primerkov, da bi se lahko dokončno odločili za njeno taksonomsko pripadnost.

Med slovenskimi numuliti so nekateri zelo veliki, drugi manjši. Primerek iz Trnovega pri Ilirski Bistrici ima 16,6 mm veliko in 6,2 mm debelo hišico, ki ima 17 zavojev pri polmeru 8,3 mm. Schaub (1981) navaja za vrsto *Nummulites praelorioli* velikosti hišic med 14 in 18 mm, debeline med 2,5 in 3,6 mm. Numuliti iz Trnovega se ločijo od tipičnih predstavnikov vrste tudi po debelini hišice. Pri polmeru 8 do 9,8 mm omenja

Schaub 16 do 17.5 zavojev. V Vipolžah imajo hišice velikosti med 15,7 in 27,2 mm (Pavlovec & Simčič, 1999), oziroma 25 mm (Pavlovec, 2004). V srednji Istri imajo numuliti, opisani kot *Nummulites praelorioli* velikosti hišic med 14 in 18 mm (Pavlovec, 1969). Vprašanje je, če ne bi tudi te primerke lahko uvrstili v obliko, ki jo označujemo kot *Nummulites* aff. *praelorioli*. Prav takšne velikosti imajo numuliti iz Paprate na Krku (Pavlovec, 2005), ki jih po ostalih znakih lahko uvrščamo med tipične predstavnike vrste *Nummulites praelorioli*.

Vrsta *Nummulites praelorioli* je bila najdena v zgornjecusijskih in spodnjelutezijskih plasteh (Schaub, 1981). Oblika *Nummulites* aff. *praelorioli* iz Vipolž je zgornjecusijska.

Nummulites manfredi Schaub, 1966

1966. *Nummulites manfredi* nov. sp. – Schaub, 371-375, tab. 4, sl. 11-15, tab. 5, sl. 1-4, tab. 6, sl. 1-3
1974. *Nummulites manfredi* Schaub – Pavlovec in: Cimerman et al., 68-69, tab. 20-21
1976. *Nummulites manfredi* Schaub – Rahaghi & Schaub, 771, tab. 1, sl. 11-7
1981. *Nummulites manfredi* Schaub, 1966 – Schaub, 162-163, tab. 7 k, 8 b, tab. 58, sl. 31-44
1993. *Nummulites manfredi* Schaub, 1966 – Hillebrandt, 286-288, tab. 2, sl. 5-6

Mikrosferična generacija

Ta vrsta je pri Trnovem redka. Tanka hišica s 14 zavoji je velika 11 mm in ima na površini drobne granule, ki jih je proti zunanjemu robu vse manj. Med njimi so tanki,

nepravilno potekajoči septalni podaljški. Po Schaubu (1981) so velikosti hišic med 10 in 18 mm. Notranji zavoji se počasi dvigajo, od sredine hišice naprej pa hitreje, vendar precej enakomerno. Zavojni rob je tanek. Septa so ponekod bolj, drugod manj usločena in nagnjena. Septa in višine zavojev precej variirajo. Kamrice so večinoma bolj visoke kot dolge, v zunanjih zavojih so skoraj izometrične.

Vrsta *Nummulites manfredi* je bila najdena med drugim v Goriških brdih (Cimerman et al., 1974) pa tudi v Furlaniji (Schaub, 1981). Živela je v zgornjem cuisiju.

Nummulites subdistans De la Harpe, 1926 (tab. 1, sl. 4)

1981. *Nummulites subdistans* De la Harpe, 1926 – Schaub, 189-190, tab. 12 a, tab. 65, sl. 1-8
2004. *Nummulites subdistans* De la Harpe, 1926 – Pavlovec & Bačar, 123, tab. 1, sl. 6-8

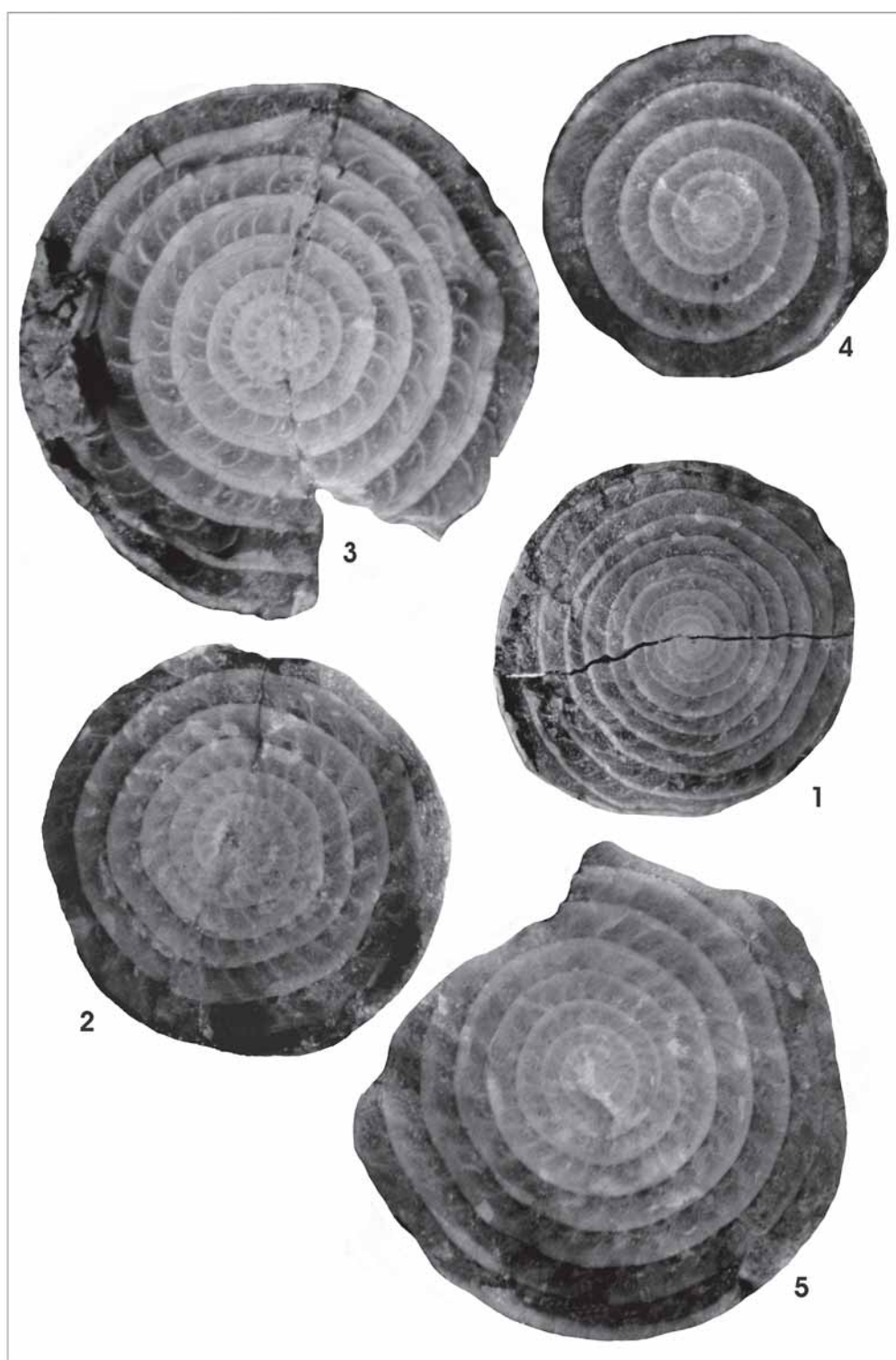
Mikrosferična generacija

Tanka hišica ima na površini nežne, nekoliko zavijajoče septalne podaljške in v srednjem delu nekaj granul. Velikost hišice je 5,5 mm, debelina 2,8 mm. Po Schaubu (1981) so velikosti hišic med 8 in 13 mm, debeline med 2 in 3,5 mm. Numulit iz Vipavske doline (Pavlovec & Bačar, 2004) ima velikosti hišic med 8 in 10 mm.

Zavoji se počasi, enakomerno in pravilno višajo. Zavojni rob obsega tretjino do četrtine višine zavojev. Septa so gosta in srpasta. Pri velikosti hišice 5,5 mm je 10 zavojev, medtem ko jih Schaub (1981) navaja ena-

Tabla 1 - Plate 1

- 1 *Nummulites tauricus* De la Harpe, oblika B, ekvatorialni prerez, 5 x
Nummulites tauricus De la Harpe, B form, equatorial section, 5 x
- 2 *Nummulites kapelloi* Schaub, oblika B, ekvatorialni prerez, 10 x
Nummulites kapelloi Schaub, B form, equatorial section, 10 x
- 3 *Nummulites pavloveci* Schaub, oblika B, ekvatorialni prerez, 10 x
Nummulites pavloveci Schaub, B form, equatorial section, 10 x
- 4 *Nummulites subdistans* De la Harpe, oblika B, ekvatorialni prerez, 10 x
Nummulites subdistans De la Harpe, B form, equatorial section, 10 x
- 5 *Nummulites campesinus* Schaub, oblika B, ekvatorialni prerez, 10 x
Nummulites campesinus Schaub, B form, equatorial section, 10 x



ko število pri velikostih hišic med 4,4 in 6 mm.

Vrsti *Nummulites subdistans* je zelo podobna *N. haymanensis* Hottinger, ki je nekoliko večja, po Schaubu (1981) med 6 in 13 mm. Še večji so primerki po ekvatorialnem prerezu precej podobnih vrst *Nummulites kaufmanni* Mayer-Eymar, *N. nemkovi* Schaub, *N. archiaci* Schaub in *N. pratti* D'Archiac & Haime.

Nummulites subdistans je znan iz spodnjega in srednjega cuisija. Pri Dolnjem mlinu v Vipavski dolini je bil najden v olistostromnem kosu apnenca, ki mu pripisujejo spodnjecuisijsko starost. Ker so flišne plasti pri Trnovem mlajše, mora biti tu ta vrsta presedimentirana iz starejših plasti. Verjetno je prišla iz spodnjecuisijskega fliša, saj je v bližini pri Trpčanah nedaleč od Ilirske Bistrice ugotovljen fliš te starosti (Pavlovec, 2003).

Nummulites pavloveci Schaub, 1981
(tab. 1, sl. 3)

1981. *Nummulites pavloveci* nov. sp. – Schaub, 120-121, tab. 5, m,n, tab. 27, sl. 26-52

2003. *Nummulites pavloveci* Schaub, 1981 – Pavlovec, 238, tab. 4, sl. 1-2

Mikrosferična generacija

Ta numulit ima ploščato hišico, ki se enakomerno debeli proti sredini. Na površini so tanki, skoraj radialni ali nekoliko zaviti septalni podaljški. Hišica edinega najdenega primerka iz Trnovega ima premer 8,5 mm in debelino 3,6 mm. Po Schaubu (1981) so primerki veliki med 8 in 15 mm, debeli pa med 3,2 in 5,8 mm. V edinem doslej znanem nahajališču te vrste v Sloveniji so velikosti hišic okrog 10 mm (Pavlovec, 2003).

Zavoji se precej enakomerno dvigajo. Zavojni rob je močan in obsega približno tretjino zavoja. Kamrice imajo v notranjih zavojih večjo višino kot dolžino. V srednjih zavojih so skoraj izometrične, pri zunanjih pa včasih dolžina presega višino. Septa so nagnjena, zlasti v zunanjih zavojih so močno ukrivljena in včasih srpasta. Res pa je, da višine zavojev, oblike sept in kamric pri Schaubovih slikah (1981) močno variirajo. Primerek iz Trnovega ima 10 zavojev na polmer 4,3 mm. Izmerili smo nekaj Schaubovih numulitov, pri katerih je število zavojev na

polmer hišice 14/6,5, 13/6, 12/5. Najbolj podoben našemu primerku je tisti, ki ima 10 zavojev pri polmeru 4,5 mm.

Iz srednjecuisijskega fliša v Postojni je omenjena vrsta *Nummulites vipavensis* De Zanche & Pavlovec (Pavlovec, 1981, tab. 1, sl. 5) z 12 zavoji pri premeru 6,5 mm. Zelo je podobna primerku iz Trnovega. Zato jo sedaj prištevamo vrsti *Nummulites pavloveci*.

Nummulites pavloveci je bil prvič opisan iz okolice Kotarč (Guttaring) na avstrijskem Koroškem in sicer iz bazalnega cuisija. Schaub (1981) omenja v drugih nahajališčih to vrsto iz spodnjega ter srednjega cuisija, iz Francije, Španije in Romunije pa iz zgornjecuisijskih plasti. Pri Trpčanah v okolici Ilirske Bistrice je bila ugotovljena v spodnjecuisijskem flišu (Pavlovec, 2003). Vprašanje je, ali niso v raznih delih cuisija različne vrste ali podvrste, na kar bi kazalo veliko variiranje. Primerku iz Trnovega je po obliki sept in kamric najbolj podoben numulit iz zgornjecuisijskih plasti v nahajališču Bergouey (Landes, Francija; Schaub, 1981, tab. 27, sl. 43).

Nummulites quasilaevigatus Pavlovec,
1974

1966. *Nummulites* aff. *praelaevigatus* – Schaub, 375, sl. 6 c-d, sl. 9, tab. 6, sl. 4-6

1974. *Nummulites quasilaevigatus* n.sp. – Pavlovec in: Cimerman et al., 69-72, sl.5, tab. 22-23

1981. *Nummulites quasilaevigatus* Pavlovec, 1974 – Schaub, 171, tab. 7, sl.v, tab. 60, sl. 11-17

1999. *Nummulites quasilaevigatus* Pavlovec – Pavlovec & Simčič, 275, tab. 2, sl. 2

Mikrosferična generacija

Ploščata hišica ima na površini nežne granule, najgostejše v sredini, redkeje proti zunanjemu robu. Vmes so meandrirajoči septalni podaljški. Pri Trnovem je ta vrsta redka, velikost hišice je 10,3 mm in debelina 3 mm. Po Schaubu (1981) so velikosti med 7,5 in 14,5 mm, debeline pa med 1,6 in 3,5 mm. Iz Vipolž navajajo velikosti hišic med 10,4 in 14,6 mm (Cimerman et al., 1974) in 10,5 mm (Pavlovec & Simčič, 1999).

Zavoji se počasi višajo, malo hitreje v zunanji polovici hišice. Pri mnogih primerkih

potekajo zavoji precej nepravilno. Zavojni rob je tanek. Septa so nagnjena in malo ukrivljena. Primerek iz Trnovega ima malo manj ukrivljena septa, kot večina drugih znanih predstavnikov te vrste. Kamrice so zlasti v zunanjih zavojih precej izometrične, nekatere imajo celo malo večjo dolžino kot višino. Na splošno numuliti iz skupine *Nummulites laevigatus* močno variirajo tako po poteku in višini zavojev kot po obliki kamric (Pavlovec, 1969).

Vrsta *Nummulites quasilaevigatus* je znana iz zgornjega cuisija. Holotip je opisan iz Vipolž v Goriških brdih (Cimerman et al., 1974). Najdena je bila tudi pri Campu in drugih nahajališčih v Španiji, v Furlaniji (Rosazzo, Noax), v Dobrinju na Krku (Schaub, 1981) in v Iranu (Rahaghi & Schaub, 1976).

Zaključek

Flišne plasti z numuliti pri Trnovem so zgornjecuisijske starosti. V širši okolici Ilirske Bistrice so različno stare flišne plasti, ki so ponekod tektonsko premetane. Zato je potrebno natančno preverjati stratigrafske podatke. Tudi pri Trnovem je ena numulitna vrsta, ki je presedimentirana, zelo verjetno iz starejšega cuisijskega fliša, ki je v tej okolici že ugotovljen. Vsaka raziskava numulitin v Brkinih prinaša nove podatke in nove vrste, ki jih prej iz te okolice nismo poznali.

Lower Eocene Nummulites from Trnovo in surroundings of Ilirska Bistrica (SW Slovenia) Summary

The section near Trnovo in the surroundings of Ilirska Bistrica researched Khan (1976). Above Cretaceous limestones lies Ilerdian alveolinic-nummulitic limestone, then marl of Upper Ilerdian and Lower Cuisian. It follows flysch. In some younger strata of flysch is breccia with nummulites. We established following species: *Nummulites kapellosi* Schaub, *N. campesinus* Schaub, *N. tauricus* De la Harpe, *N. aff. praelorioli* Herb & Schaub, *N. manfredi* Schaub, *N. pavloveci* Schaub and *N. quasilaevigatus* Pavlovec. This nummulites indicate the Upper Cuisian

age. The species *Nummulites subdistans* De la Harpe is of Lower and Middle Cuisian and so redeposited probably from older flysch which is known from the surroundings of Ilirska Bistrica (Pavlovec, 2003).

Literatura

- Cimerman, F., Pavlovec, R., Pavšič, J. & Todesco, L. 1974: Biostratigrafija paleogen-skih plasti v Goriških Brdih (Biostratigraphy of the Paleogene Beds of Goriška Brda). - Geologija, 17, 7-130, tab. 1-34, Ljubljana.
- Drobne, K., Pavlovec, R. & Drobne, F. 1977: Paleogene velike foraminifere s področja med Mežico in Slovenj Gradcem (Paleogene larger foraminifera from the area between Mežica and Slovenj Gradec, NW Yugoslavia). - Razprave 4. razr. SAZU, 20/1, 1-88, tab. 1-23, 2 prilogi, Ljubljana.
- Herb, R. & Schaub, H. 1963: Zur Nummulitenfauna des Mitteleozäns von Sorde-l'Abbaye (Landes, Frankreich). - Eclogae geol. Helv., 56/2, 973-999, tab. 1-12, Basel.
- Hillebrandt von, A. 1993: Nummuliten und Assilinen aus dem Eozän des Krappfeldes in Kärnten (Österreich). - Zitteliana, 20, 277-293, München.
- Kapellos, C.C. 1973: Biostratigraphie des Gurnigelflysches. - Schweiz. Pal. Abh., 96, 1-128, tab. 1-49, Basel.
- Khan, M.R. 1976: Biostratigrafski razvoj paleogen-skih plasti v okolici Ilirske Bistrice (Biostratigraphy of the Paleogene beds of Ilirska Bistrica area). - Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 1-239, 16 slik, 3 tabele, 40 tabel s slikami, Ljubljana (doktorska disertacija v rokopisu).
- Khan, M.R. 1983: Some new planktonic foraminifers from the surroundings of Ilirska Bistrica, SW Slovenia, Yugoslavia (Nekaj novih plankton-skih foraminifer iz okolice Ilirske Bistrice). - Geološki zbornik, 4, 1-35, Ljubljana.
- Pavlovec, R. 1963: Stratigrafski razvoj starejšega paleogena v južnozahodni Sloveniji (Die stratigraphische Entwicklung des älteren Paläogens im südwestlichen Teil Sloweniens). - Razprave 4. razr. SAZU, 7, 419-556, Ljubljana.
- Pavlovec, R. 1969: Remarks on the group *Nummulites laevigatus* s.l., with the description of the new species *Nummulites hagni* - Rocznik Polsk. Towarz. Geolog., 39/1-3, 251-263, tab. 47-50, Kraków.
- Pavlovec, R. 1981: Fliš v Postojni (Flysch from Postojna). - Geologija, 24/2, 285-301, sl. 1-5, tab. 1, Ljubljana.
- Pavlovec, R. 2003: Nummulitins from flysch in surroundings of Ilirska Bistrica, southwest Slovenia (Numulitine iz fliša v okolici Ilirske Bistrice, SW Slovenija). - Geologija, 46/2, 231-244, Ljubljana.
- Pavlovec, R. 2004: Nekaj zanimivosti o numulitinah iz Vipolž 2 v Brdih (Some interesting features about nummulitins from Vipolž 2 in Brda, west Slovenia). - Geologija, 47/1, 29-40, Ljubljana.
- Pavlovec, R. 2005: Numulitine iz nahajališča Paprata na Krku (The nummulitins from the Paprata locality on the island of Krk, Croatia). - Annales, ser. hist.nat., 15, 1-8, Koper.

Pavlovec, R. & Bačar, S. 2004: Eocenski numuliti pri Dolnjem mlinu v Vipavski dolini, JZ Slovenija (Eocene nummulits from Dolnji mlin in the Vipava Valley (Vipavska dolina), SW Slovenia). - *Annales, ser. hist.nat.*, 14, 121-126, Koper.

Pavlovec, R. & Simčič, I. 1999: Numulitine iz okolice Vipolže v Goriških brdih (The nummulitins from the surrounding of Vipolže in Goriška Brda, western Slovenia). - *Annales, ser. hist.nat.*, 9, 269-280, tab. 1-2, Koper.

Rahaghi, A. & Schaub, H. 1976: Nummulites et Assilines du NE de l'Iran. - *Eclogae geol. Helv.*, 69/3, 765-782, tab. 1-9, Bâle.

Schaub, H. 1966: Über die Grossforaminiferen im Untereocaen von Campo (Ober-Aragonien). - *Eclogae geol. Helv.*, 59/1, 355-377, tab. 1-6, Basel.

Schaub, H. 1981: Nummulites et assilines de la Téthys paléogène. Taxonomie, phylogénèse et biostratigraphie. - *Schweiz. Pal. Abh.*, 104-106, 1-236, tab. 1-97, Bâle.

Novi najdbi polža rodu *Velates* iz eocenskega fliša Goriških brd in Gračišča v Istri

The new findings of *Velates* snail from Eocene flysch in Goriška brda and Gračišće in Istria

Vasja MIKUŽ

Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta,
Univerza v Ljubljani, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenija
vasja.mikuz@ff.uni-lj.si

Ključne besede: polži, *Velates*, eocen, fliš, Slovenija in Hrvaška
Key words: snails, *Velates*, Eocene, flysch, Slovenia and Croatia

Kratka vsebina

Obravnavana sta dva primerka eocenskih polžev vrste *Velates perversus* (Gmelin, 1791). Prvi je najden v spodnjeeocenskih flišnih plasteh v najdišču Vipolže v Goriških brdih, drugi v srednjeeocenskih flišnih skladih pod zaselkom Gračišće pri Pazinu v Istri.

Abstract

Two specimens of Eocene snails of the species *Velates perversus* (Gmelin, 1791) are considered. The first was found in Lower Eocene flysch beds at the Vipolže locality in Goriška brda, and the second one in Middle Eocene flysch beds below the settlement Gračišće near Pazin in Istria (Croatia).

Uvod

V Sloveniji so že bili najdeni primerki velatesov v eocenskem flišu Vipavske doline in Goriških brd. Raziskovala sta jih Mikuz & Pavlovac (2002) in ugotovila, da vsi najdeni primerki pripadajo le eni vrsti *Velates perversus*, ki pa je bila v paleogenskem morju zelo razširjena, saj so jo našli v Evropi, Afriki in Indiji. Pred kratkim, v letu 2004 je v najdišču Vipolže-2 ljubitelj in zbiralec fosilov in mineralov iz Ajdovščine Stanislav Bačar našel dosedaj največjega velatesa pri nas.

Več kot tri desetletja pa obiskujemo in pregledujemo tudi nekatera nahajališča eocenske makrofavne v Istri, ki so v severnem in osrednjem flišnem delu Istre precej pogostna. V letu 2005 je Vili Rakovec v Gračišču pri Pazinu našel kameno jedro velatesa, ki ga doslej iz tega najdišča nismo poznali, čeprav so tam že bila najdena zelo številna kamena jedra najrazličnejših polžev in školjk. Kamena jedra mehkužcev v omenjenem nahajališču so običajno v slabem stanju, so precej korodirana in večinoma razlomljena.

Paleontološki del

Sistematika po: Golikov & Starobogatov, 1975 in Wenz, 1938

Classis Gastropoda Cuvier, 1797
Subclassis Pectnibranchia Blainville, 1814
Superordo Neritimorpha Golikov & Starobogatov, 1975
Ordo Planilabiata Stoliczka, 1868
Superfamilia Neritoidea Rafinesque, 1815
Familia Neritidae Rafinesque, 1815

Genus *Velates* Montfort, 1810

Velates perversus (Gmelin, 1791)

Tab. 1, sl. 1a-1b; tab. 2, sl. 1; tab. 3, sl. 1a-1c

1823 *Nerita conoidea* Brongniart – Brongniart, Pl. 2, Fig. 22

1824 *Neritina conoidea* Deshayes – Deshayes, T. 2, 149, Pl. 18, Figs. 1-8

1894 *Velates Schmidelianus* Chemn. – De Gregorio, Pl. 6, fig. 181

1895 *Velates Schmidelianus* Chemn. – Zittel, 331, Fig. 805

1897 *Velates Balkanicus* n. sp. – Bontscheff, 380, Taf. 6, Figs. 1-6

1907-13 *Velates Schmiedeli* (Chemn.) – Cossmann & Pissarro, Pl. 6, fig. 40-1

1911 *Velates schmidelianus* Chemnitz sp. – Boussac, 269

1938 *Velates perversus* (Gmelin) – Wenz, 417, Abb. 1016

1947 *Velates Schmiedeli* Chemnitz – Furon & Soyer, 230, Pl. 6, fig. 40-1

1954 *Velates schmidelianus* Chemn. – Malardoda, 37, Tav. 2, Figs. 1a-1c; Tav. 10, Figs. 14a-14b

1955 *Velates perversus* (Gmelin) – Shimer & Shrock, 479-480, Pl. 197, Figs. 35-37

1958 *Velates Schmidelianus* Chemnitz – Temkova, 113, Tab. 8, sl. 2

1959 *Velates schmidelianus* (Chemnitz) – Pavlovic, 373

1960 *Velates schmideli* (Chemn.) – Vadász, 591, tábl. 36, fig. 9-10

1960 *Velates schmiedeli* (Chemnitz) – H. & G. Termier, 365, fig. 2667 a

1960 *Velates perversus* (Gmelin) – H. & G. Termier, 365, fig. 2667 b

1964 *Velates perversus* (Gmelin, 1791) – Karagjuleva, 132, Tabl. 40, figs. 3a, 3b, 10

1966 *Velates schmidelianus* (Chemnitz) 1785 – Strausz, 17, Tábl. 4, figs. 1, 4; Tábl. 23, figs. 6-9; Tábl. 24, fig. 1

1972 *Velates schmidelianus* (Chemnitz), 1786 – Kecskeméti-Körmendy, 220, Tábl. 5, fig. 7; Tábl. 6, figs. 1-2

1995 *Velates perversus* Gmelin, 1791 – Le Renard & Pacaud, 90

2002 *Velates perversus* (Gmelin, 1791) – Mikuš & Pavlovic, 95, Tab. 1, sl. 1-4; tab. 2, sl. 1-4; tab. 3, sl. 1-3

2003 *Velates perversus* (Gmelin, 1791) – Klepač, 272-273, Fig. 32 A-B

Material: Primerek iz Goriških brd št. 6536 iz zbirke Stanislava Bačarja, kameno jedro iz olistostrome pri Gračišču v Istri, primerek je shranjen v zbirki Vilija Rakovca.

Nahajališči: Spodnjeocenski skladi pri Vipolzah v Goriških brdih in srednjeocenske flišne plasti pod zaselkom Gračišče pri Pazinu v Istri.

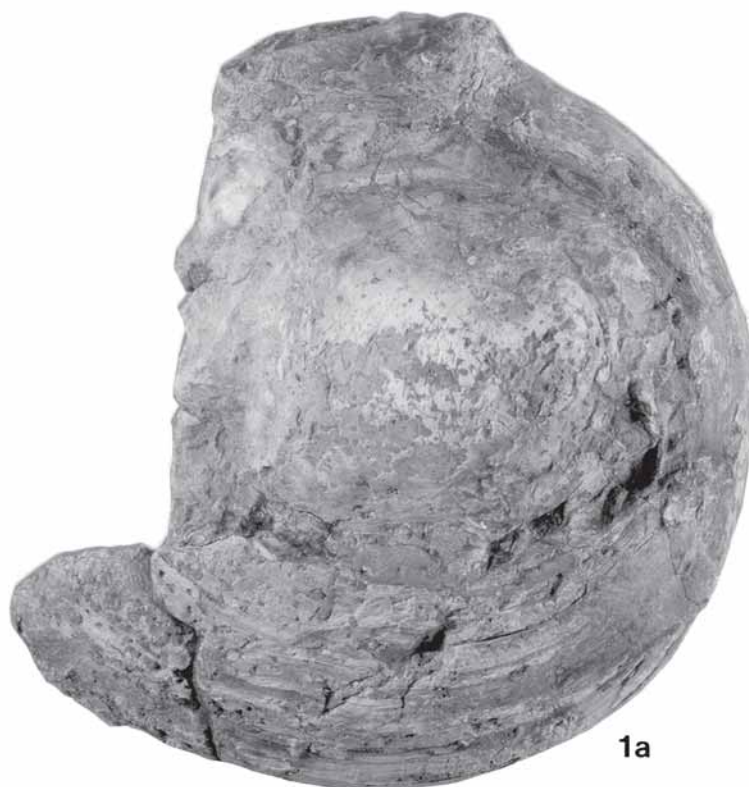
Opis primerka iz najdišča Vipolže -2: Ohranjeni sta dobri dve tretjini primerka, zunanja ustna je odlomljena. Kameno jedro je nizko stožčasto, s široko bazo in asimetrično postavljenim vrhom blizu roba hišice. Na nekaterih mestih so ohranjeni tudi posamezni deli stene hišice.

Opis kamenega jedra iz Gračišča: Kamenno jedro je ohranjeno v celoti, njegova oblika je tipična za velatase, predvsem spodnja bazalna stran s polmesečasto oblikovanim predelom nekdanjega ustja in z značilno na-

Tabla 1 – Plate 1

1a *Velates perversus* (Gmelin, 1791), zgornja stran, primerek 6536, Vipolže-2, zbirka S. Bačarja, x 0,9
Velates perversus (Gmelin, 1791), apical side, specimen 6536, Vipolže-2, collection of S. Bačar, x 0,9

1b Isti primerek s strani, x 1
The same specimen from lateral side, x 1



zobčanim notranjim delom ustne odprtine oziroma notranjo ustno.

Dimenzije v m (Dimensions in mm):

Primerki Specimens	širina 1 Width 1	širina 2 Width 2	višina Height
Vipolže-2 (Tab. 1, 2)	80	111	60
Gračiče (Istra) (Tab. 3)	80	84	55

Tabela 1. Primerjava velikosti (v mm) velatesov iz Slovenije s primerki iz Hrvaške (Drniš, Bribir, otok Krk), Bosne in Hercegovine (Mostar, Sobač; Posušje), Madžarske (Dudar), Bolgarije, Francije in Italije.

Table 1. Comparison of dimensions (in mm) of *Velates* from Slovenia with specimens from Croatia (Drniš, Bribir, island Krk), Bosnia and Herzegovina (Mostar, Sobač, Posušje), Hungary (Dudar), Bulgaria, France and Italy.

Primerki Specimens	širina 1 Width 1	širina 2 Width 2	višina Height
Slovenija (Slovenia)	33-80	38-111	20-60
Hrvaška (Croatia)	18-59	24-77	13-47
BiH (Bosnia and Herzeg.)	34-60	44-57	25-35
Madžarska (Hungary)	39-115	45-170	22-70
Bolgarija (Bulgaria)	22-44	26-54	15-28
Francija (France)	30-72	38-92	-
Italija (Italy)	28-123	33-125	17-79

Stratigrafska in geografska razširjenost: Po podatkih Oppenheima (1896-97) je bila opisana vrsta najdena v eocenskih skladih Italije, Francije, Nemčije, Hrvaške (Kosavin), Madžarske, Indije in Egipta. Boussac (1911) piše, da je vrsta najdena v srednjeeocenskih (lutecijskih) plasteh Pariške kotline v Franciji, Egiptu, Indiji in Italiji. Iz številnih italijanskih najdišč in Bribirja, Ostrovice ter Zazviča na Hrvaškem jo navaja Dainelli (1904; 1905; 1915). Wenz (1938) vrsto *Velates perversus* (Gmelin) omenja iz spodnjega eocena Francije, iz najdišč Ypres, Sables de Cuise in Saint Gobain. Malroda (1954) piše, da so velatese našli v eocenskih (lutecijskih), priabonijskih in rupelijskih skladih Italije. Iz priabonijskih plasti najdišča Dragožel in Ovčjega polja v Makedoniji jo opisuje Temkova (1958). Pavlovec (1959, 374) navaja, da so primerke našli tudi v lutecijskih in prominskih skladih na Velem Točku, v Istri in Hercegovini. Strausz (1966, 145) v svoji tabeli navaja, da so primerki opisane vrste zelo razširjeni v eocenskih skladih Madžarske (Dudar, Gánt). Nadalje je v delu istega avtorja še razvidno, da so madžarski primerki izredno veliki, široki od 115 do 170 mm in visoki do 70 mm. Po podatkih Kec-

skemétiné-Körmendy (1972) je vrsta zelo razširjena, najdena je v srednje in zgornjeeocenskih skladih Madžarske in v pretežno srednjeeocenskih skladih Francije, Belgije, Nemčije, Italije, Švice, Bolgarije, nekdanje Jugoslavije in Romunije. Piccoli (1984) in Piccoli et al. (1986) pišejo, da je vrsta *Velates perversus* ugotovljena v paleocenskih skladih Indije in Pakistana, v spodnjeeocenskih Italije (Veneto), Somalije, Indije in Pakistana, srednjeeocenskih Pariške kotline, Italije, Somalije, Indije, Pakistana, Burme in Jave, zgornjeeocenskih Pariške kotline, Italije, Somalije, Burme in Jave ter v spodnjeoligocenskih Italije. Pinna (1989, 262) jo omenja iz eocenskih plasti najdišča Roncá, v pokrajini Veneto v Italiji. Soklič (2001, 199) navaja velatese iz srednjeeocenskih skladov Bosne in Hercegovine v najdiščih na Majevici, Konjovac, Tribistovo, Zahumlje in Lukavac ter iz priabonijskih plasti najdišč Nugla, Vinjani in Zagorje. Po podatkih Klepačeve (2003, 272), so velatese našli tudi v lutecijskih plasteh najdišča Jurandvor na otoku Krku.

Zaključki

Prvi primerek (tab. 1 in 2) vrste *Velates perversus* (Gmelin, 1791) je najden v spodnjeeocenskem flišu najdišča Vipolže-2 v Goriških brdih, drugi pa v srednjeeocenskem flišu pod zaselkom Gračiče v Istri.

Opisana fosilna ostanka predstavljamo zato, ker je primerek iz Goriških brd zaenkrat največji pri nas najden velates. Primer iz Gračiča pri Pazinu v Istri pa je zanimiv predvsem zato, ker doslej tam še ni bil najden in ker je njegovo kameno jedro zelo dobro ohranjeno, kar ni značilno za kamena jedra ostalih mehkužcev v omenjenem najdišču.

The new findings of *Velates* snail from Eocene flysch in Goriška brda and Gračiče in Istria

Conclusions

The first specimen (Pl. 1 and 2) of species *Velates perversus* (Gmelin, 1791) was found in the lower Eocene flysch beds of the Vipol-



Tabla 2 – Plate 2

- 1 *Velates perversus* (Gmelin, 1791), spodnja stran, primerek 6536, Vipolže-2, zbirka S. Bačarja, x 0,9
Velates perversus (Gmelin, 1791), adapical side, specimen 6536, Vipolže-2, collection of S. Bačar, x 0,9

že-2 locality in Goriška brda, and the second one in Middle Eocene flysch below the Gračišće settlement in Istria.

The reason for presenting the described fossil remains is the large size of the Goriška brda individual which is for the time being the largest velates found in Slovenia. The specimen from Gračišće near Pazin in Istria is interesting because of representing the first velates find in that locality. In addition, its stony core is very well preserved which is not typical for rock cores of other mollusca in that locality.

Zahvala

Najditeljema gospodoma Stanetu Bačarju iz Ajdovščine in Viliju Rakovcu iz Kranja se iskreno zahvaljujem za posredovane fosilne ostanke, prof. dr. Simonu Pircu pa za prevode v angleščino.

Literatura - References

- Bontscheff, S. 1897: Das Tertiärbecken von Haskovo (Bulgarien). - Jb. Geol. R. A., 1896, 46, 309-384, Taf. 3-6, Wien.
- Boussac, J. 1911: Études paléontologiques sur le Nummulitique Alpin. - Mém. serv. expl. Carte géol. France, 1-438, Pl. 1-22, Paris.
- Brongniart, A. 1823: Mémoire sur les terrains de sédiment supérieurs calcaréo trappéens du Vicentin. - 85 p., Pl. 1-6, Paris.
- Cossmann, M. & Pissarro, G. 1907-13: Iconographie complete des Coquilles fossiles de l'Eocene des Environs de Paris. Tome 2, Scaphopodes, Gastropodes, Brachiopodes, Céphalopodes et supplément, Pl. 1-65, Paris.
- Dainelli, G. 1904: La fauna eocenica di Bribir in Dalmazia. Parte prima. - Palaeontographia Italica, Mem. Paleont., 10, 141-170, Tav. 15-17, Pisa.

Dainelli, G. 1905: La fauna eocenica di Bribir in Dalmazia. Parte seconda. - Palaeontographia Italica, Mem. Paleont., 11, 135-226, Tav. 4-5, Pisa.

Dainelli, G. 1915: L'Eocene Friulano. Monografia geologica e paleontologica. - »Memorie geografiche«, 721 p., Tav. 1-56, Firenze.

De Gregorio, M. A. 1894: Description des faunes tertiaires de la Vénétie. Monographie des fossiles éocéniques (étage parisien) de Mont Postale. - Ann. Géol. Paléont., 14, Turin-Palermo.

Deshayes, G. P. 1824: Description des Fossiles des environs de Paris. Tome second. Mollusques - Gastéropodes. - T. 2, Pl. 1-101, Paris.

Furon, R. & Soyer, R. 1947: Catalogue des fossiles Tertiaires du Bassin de Paris. - Sav. Hist. Natur., 22, 1-240, Pl. 1-32, Paris.

Golikov, A. N. & Starobogatov, Y. I. 1975: Systematics of prosobranch Gastropods. - Malacologia, 15, 185-232, Philadelphia.

Karagjuleva, J. 1964: Iskopaemaja fauna Bolgarii. VI a, Paleogen, Molluski. Les Fossiles de Bulgarie. VI a, Paléogene, Mollusca. - Bolgarskaja akademija nauk, 1-270, Tabl. 1-57, Sofia.

Kecskeméti-Körmeny, A. 1972: A Dorogi-medence eocén molluska faunája. (Die Eozäne Molluskenfauna des Doroger Beckens). - Ann. Inst. Geol. Publ. Hungarici, 55/2, 141-377, (Tabl. 1-45), Budapest.

Klepač, K. 2003: Puževi - Gastropoda. V: K. Klepač, (Editor), Fosilna fauna otoka Krka, atlas (Fossil fauna of the island of Krk, Atlas). - Prirodoslovni muzej Rijeka, 269-365, Rijeka. (Prirodoslovna biblioteka, 5)

Le Renard, J. & Pacaud, M. 1995: Révision des Mollusques Paléogènes du bassin de Paris. II - liste des références primaires des especes. - Cossmanniana, 3/3, 65-132, Paris.

Malaroda, R. 1954: Il Luteziano di Monte Postale (Lessini medi). - Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova, 19, 1-107, Tav. 1-14, Padova.

Mikuž, V. & Pavlovec, R. 2002: Prva najdba polža rodu *Velates* v eocenskem flišu Slovenije. (The first finding of gastropod *Velates* in Eocene flysch from Slovenia). - Razprave 4. razreda SAZU, 43/1, 91-107, Ljubljana.

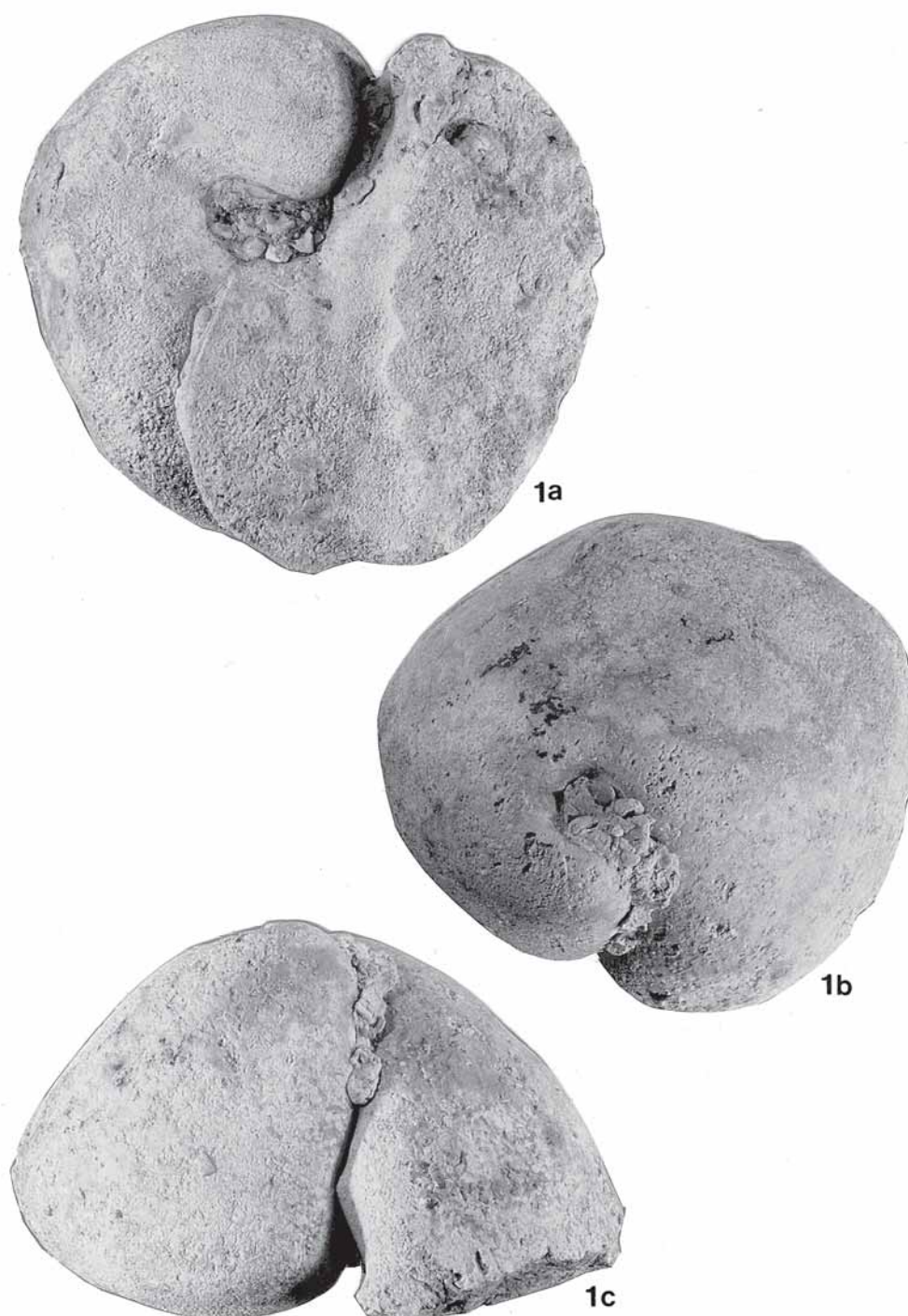
Oppenheim, P. 1896-97: Die Eocaenfauna des Monte Postale bei Bolca im Veronesischen. - Palaeontographica, 43, 125-222, Taf. 12-19, Stuttgart.

Pavlovec, R. 1959: Zgornjeocenska favna iz okolice Drniša. - Razprave 4. razreda SAZU, 5: 349-416, Ljubljana.

Tabla 3 – Plate 3

- 1a *Velates perversus* (Gmelin, 1791), kameno jedro, spodnja stran, Gračišće pri Pazinu v Istri, zbirka V. Rakovca, x 1
- Velates perversus* (Gmelin, 1791), the cast, adapical side, Gračišće near Pazin in Istria, collection of V. Rakovca, x 1
- 1b Isti primerek z zgornje strani, x 1
The same specimen from apical side, x 1
- 1c Isti primerek s strani, x 1
The same specimen from lateral side, x 1

Fotografije (Photos): Vasja Mikuš



Piccoli, G. 1984: Cenozoic molluscan associations of Mediterranean and south-east Asia: a comparison. - *Mem. Sci. Geol., Mem. Ist. geol. Miner. Univ. Padova*, 36: 499-521, Padova.

Piccoli, G., Sartori, S. & Franchino, A. 1986: Mathematical model of the migration of Cenozoic benthic molluscs in the Tethyan belt. - *Mem. Sci. Geol., Mem. Ist. Geol. Miner. Univ. Padova*, 38, 207-244, Padova.

Pinna, G. 1989: *Il Grande Libro dei Fossili*. - Biblioteca Universale Rizzoli, 381 p., Milano.

Shimer, H. W. & Shrock, R. R. 1955: *Index Fossils of North America*. - John Wiley & Sons, Inc., Chapman & Hall, IX + 837 p., New York, London.

Šoklić, I. 2001: Fosilna flora i fauna Bosne i Hercegovine. - *Djela* 74/9, ANU BiH, XII + 1-585, Sarajevo.

Strausz, L. 1966: Dudari eocén csigák. (Die Eozängastropoden von Dudar in Ungarn). - *Geologica Hungarica, Ser. Palaeont.*, 33, 1-199, (Tábl. 1-24), Budapestini.

Temkova, V. 1958: Paleontološka obrabotka na faunata vo Tikveškiot basen i okolinata (urgon, priabon, neogen i pleistocen). - *Trudovi geol. zavod N. R. Makedonija*, 6, 1957-1958, 93-126, Tab. 1-9, Skopje.

Termier, H. & Termier, G. 1960: *Paléontologie Stratigraphique*. - Masson & C^{ie}, 515 p., Paris.

Vadász, E. 1960: *Magyarország Földtana*. - Akadémiai Kiadó, 646 s., 51 tábl, Budapest.

Wenz, W. 1938: *Gastropoda. Handbuch der Paläozoologie*. Bd. 6, Teil 1: Allgemeiner Teil und Prosobranchia. - Gebrüder Borntraeger, 1200 s., Berlin.

Zittel, K. A. 1895: *Grundzüge der Palaeontologie (Palaeozoologie)*. - Druck und Verlag von R. Oldenbourg, 971 s., München und Leipzig.

Oligocenski morski datelj iz potoka Plaznica pri Poljšici

Oligocene marine Date Mussel from Plaznica brook near Poljšica, West Slovenia

Vasja MIKUŽ

Oddelek za geologijo, Naravoslovnotehniška fakulteta,
Univerza v Ljubljani, Privoz 11, 1000 Ljubljana, Slovenija
vasja.mikuz@ff.uni-lj.si

Ključne besede: školjke, kamnovrti, datelji, *Lithophaga*, oligocen, Plaznica, Slovenija
Key words: bivalves, rock-borers, Date Mussels, *Lithophaga*, Oligocene, Plaznica, West Slovenia

Kratka vsebina

V članku je obravnavana školjka vrste *Lithophaga ornatissima* (Mayer-Eymar, 1886) iz koralita, najdenega v oligocenskih kamninah potoka Plaznica blizu Poljšice pri Podnartu. Omenjena vrsta litofage je v Sloveniji najdena prvič. V starejši literaturi dosedaj niso bile omenjane najdbe fosilnih morskih dateljev iz bližnje okolice Poljšice na Gorenjskem.

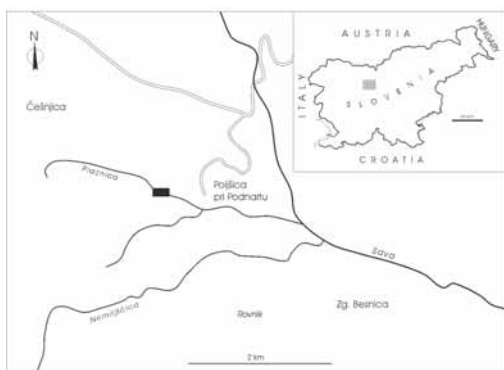
Abstract

In paper the bivalve of species *Lithophaga ornatissima* (Mayer-Eymar, 1886) is described, found in a corallite in Oligocene beds of the Plaznica creek at Poljšica near Podnart. This is the first find of this lithophaga species in Slovenia. In literature no finds of fossil date mussels are mentioned from surroundings of Poljšica in Upper Carniola.

Uvod

Spomladi 2006 je znani zbiralec in ljubitelj fosilov in mineralov z dolgoletnim stažem gospod Vili Rakovec iz Kranja, pregledoval že velikokrat obiskana nahajališča fosilov in mineralov v potoku Plaznica pri Poljšici na Gorenjskem (slika 1). Pri iskanju mineralov v oligocenskih koralitih je naletel tudi na izredno lepo ohranjeno oligocensko školjko rodu *Lithophaga* oziroma na "kamnovrta", ki je predmet predstavitve tega prispevka. Školjka je ohranjena v celoti, to-

rej z obema lupinama, kar je velika redkost. Največkrat njihove tanke lupinice propadejo, so razlomljene ali pa se povsem raztopijo. Navadno se ohranijo le njihova kamena jedra, pogostokrat pa ostanejo samo njihove izvrtanine v različnih in različno starih kamninah. Po oblikovanosti izvrtanin v kamninah lahko sklepamo na: prisotnost litofag in drugih kamnovrtov, na nekdanjo obalo ter plitvo morsko okolje in na njihovo rodovno pripadnost, predvsem po prečnem preseku obeh lupin ali njihovih bivalnih prostorov.



Sl. 1 Položaj najdišča oligocenske litofage pri Poljšici

Fig. 1 The position of finding-place of Oligocene Date Mussel near Poljšica

Dosedanje raziskave oligocenskih mehkužcev Poljšice

Fosilne ostanke iz okolice Poljšice med prvimi omenja Lipold (1857), ki med školjkami navaja samo dve vrsti, med katerima pa ni litofage. Nekoliko kasneje se je znova ukvarjal z določitvami poljšiških mehkužcev Fuchs (1874) in ugotovil sedem različnih školjk in devet polžev. V njegovem popisu školjk tudi ni litofag. Naslednji raziskovalec makrofosilov iz okolice Poljšice je bil Oppenheim (1896), ki je opisal veliko različnih koral, manj mehkužcev, vendar med školjkami ne navaja litofag. Rakovec (1933), ki je povzel podatke od Fuchsa (1874) in Oppenheima (1896),

iz Poljšice pri Podnartu našteva 14 različnih školjk, v seznamu ni litofag. Mikuš (2002) prvič s slikami predstavlja 21 različnih "poljšiških" oligocenskih polžev, vsi so bili najdeni na ozemlju med Češnjico na severozahodu in Poljšico na jugovzhodu. Najlepsi primerki "poljšiških polžev" so v zbirki Vilija Rakovca v Kranju. Poljšiško makrofavno so še raziskovali: Barta-Calmus (1973) korale, Mikuš (2000) dva morska ježka in Mikuš & Čvorović (2001) velike krasatele.

Vse do začetkov 21. stoletja, so bile poljšiške školjke samo omenjane ali naštevane, nihče jih ni sistematično zbiral, prepariral, določeval in jih predstavil z opisi in slikami. Ker je že zbranih precej raznolikih školjk, predvsem v zbirki Vilija Rakovca in drugih, nameravamo v bodoče prikazati tudi oligocenske školjke Poljšice in njene okolice in jih primerjati z že znanimi najdišči doma in v tujini.

Paleontološki del

Sistematika po: Cox et al., 1969

Classis Bivalvia Linné, 1758 (Buonanni, 1681)

Subclassis Pteriomorpha Beurlen, 1944

Ordo Mytiloida Férussac, 1822

Superfamilia Mytilacea Rafinesque, 1815

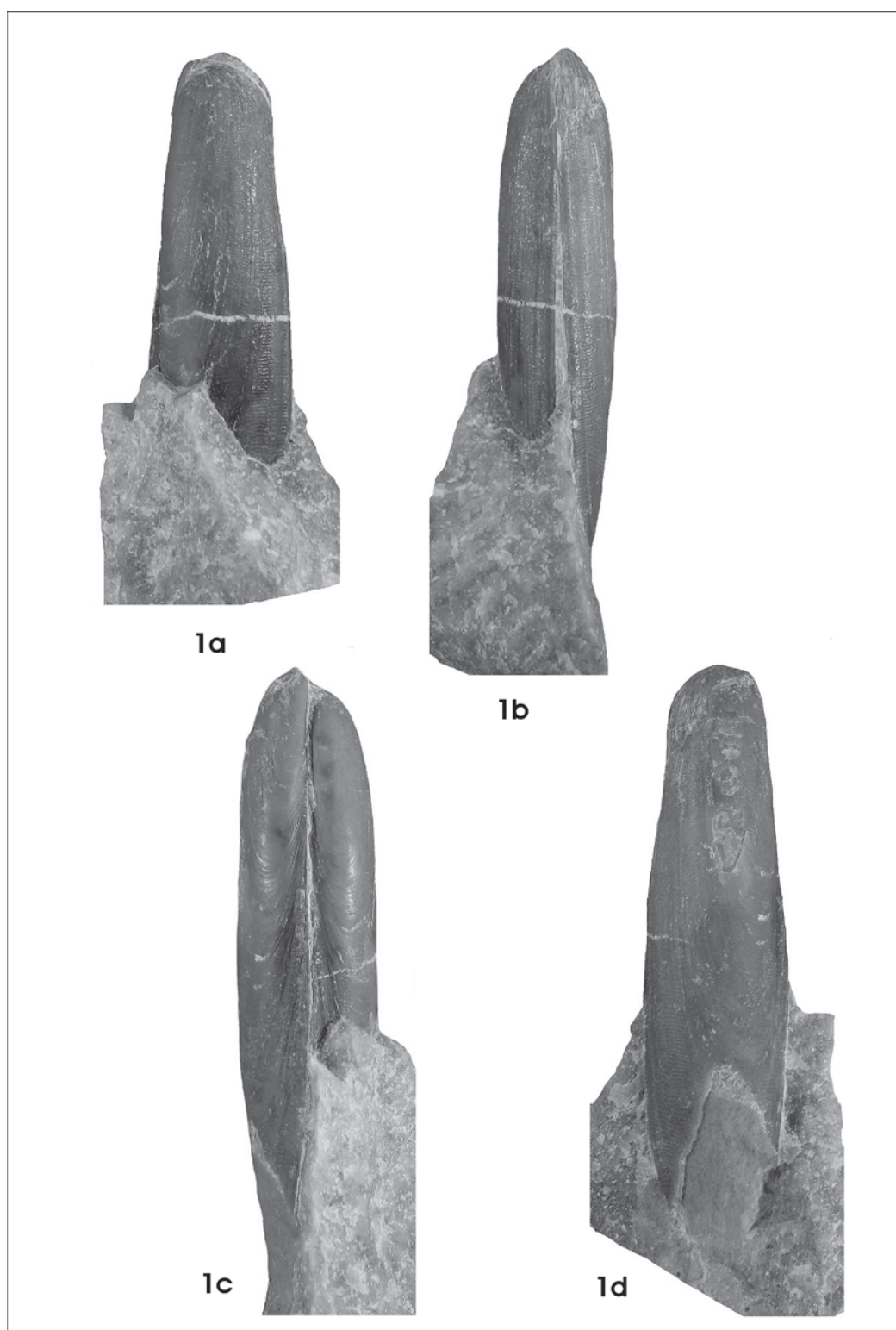
Familia Mytilidae Rafinesque, 1815

Subfamilia Lithophaginae Adams & Adams, 1857

Genus *Lithophaga* Röding, 1798

Tabla 1 – Plate 1

- 1a *Lithophaga ornatissima* (Mayer-Eymar, 1886), desna lupina, potok Plaznica, zbirka V. Rakovca, x 1,4
Lithophaga ornatissima (Mayer-Eymar, 1886), right valve, Plaznica brook, collection of V. Rakovec, x 1,4
- 1b Isti primerek s spodnje strani, x 1,4
 Ventral side of the same specimen, x 1,4
- 1c Isti primerek z zgornje strani, x 1,4
 Dorsal side of the same specimen, x 1,4
- 1d Leva lupina istega primerka, x 1,4
 Left valve of the same specimen, x 1,4



Po podatkih Coxa et al. (1969, N276) so se prvi primerki rodu *Lithophaga* pojavili že v mlajšem paleozoiku in se obdržali vse do danes. Po našem mnenju, je v geološkem smislu ta dolga pojavnost najverjetneje povezana tudi z njihovimi trdnimi kamnitimi prebivališči, tako so bili dobro zaščiteni pred morebitnimi predatorji.

Ze (1956, 192) školjke tega rodu imenuje prstaki in piše: "svojevrstne školjke najdemo v trdni skali, kamor so si zvrtele domove; po barvi, obliki in velikosti pa so podobni dateljem". V monografiji Milišića (1991, 36-37) izvemo, da ima ta školjka v svetu veliko različnih poimenovanj in da prebiva tudi po celotni kamniti obali vzdolž Jadrana na globinah od 0 do 20 m in več. Nadalje še piše, da z izločanjem kisline delajo gladke poglobitve v apnencih v katerih prebivajo. Živijo v skupinah na območjih večje cirkulacije morske vode. Hranijo se s planktonom. Abbott & Dance (1991, 299) predstavljata več različnih vrst rodu *Lithophaga*, ki živijo na različnih koncih sveta. Večina živi v plitvi vodi (subtidalu), mehkih kamninah, nekatere tudi v koralnih grebenih. Dolžina njihovih lupinic variira med 3,5 in 10 cm.

Pavšič (1995, 80) je litofage poimenoval kamenožrke in navaja, da so sledovi vrtanja teh školjk pogosti na starih obalah terciarnih kačunov pri nas. Našli pa so jih v Zasavju in na Štajerskem, povsod pa so zanesljive priče nekdanje skalne obale.

Lithophaga ornatissima (Mayer-Eymar, 1886)

Tab. 1, sl. 1a-1d, tab. 2, sl. 1-2

1900-01 *Lithodomus Zignoi* n. sp. – Oppenheim, 148, Taf. 18, Figs. 7-7a

1911 *Lithodomus ornatissimus* Mayer Eymar – Boussac, 151, Pl. 7, Figs. 7, 9

1915 *Lithodomus Zignoi* Opp. – Dainelli, 451

1990 *Lithophaga zignoi* (Oppenheim, 1900-01) – Baglioni Mavros, 251

Material: En primerek, skoraj v celoti ima ohranjeni obe lupini. Litofago je našel Vili Rakovec iz Kranja, shranjena je v njegovi privatni zbirki.

Nahajališče: Oligocenski skladi potoka Plaznica pri Poljšici oziroma Podnartu na Gorenjskem. Litofaga je najdena v večjem kosu koralnega apnenca ali delu koralita.

Tabela 1. Primerjava velikosti litofag iz Slovenije, Italije in Švice (dimenzije v mm)

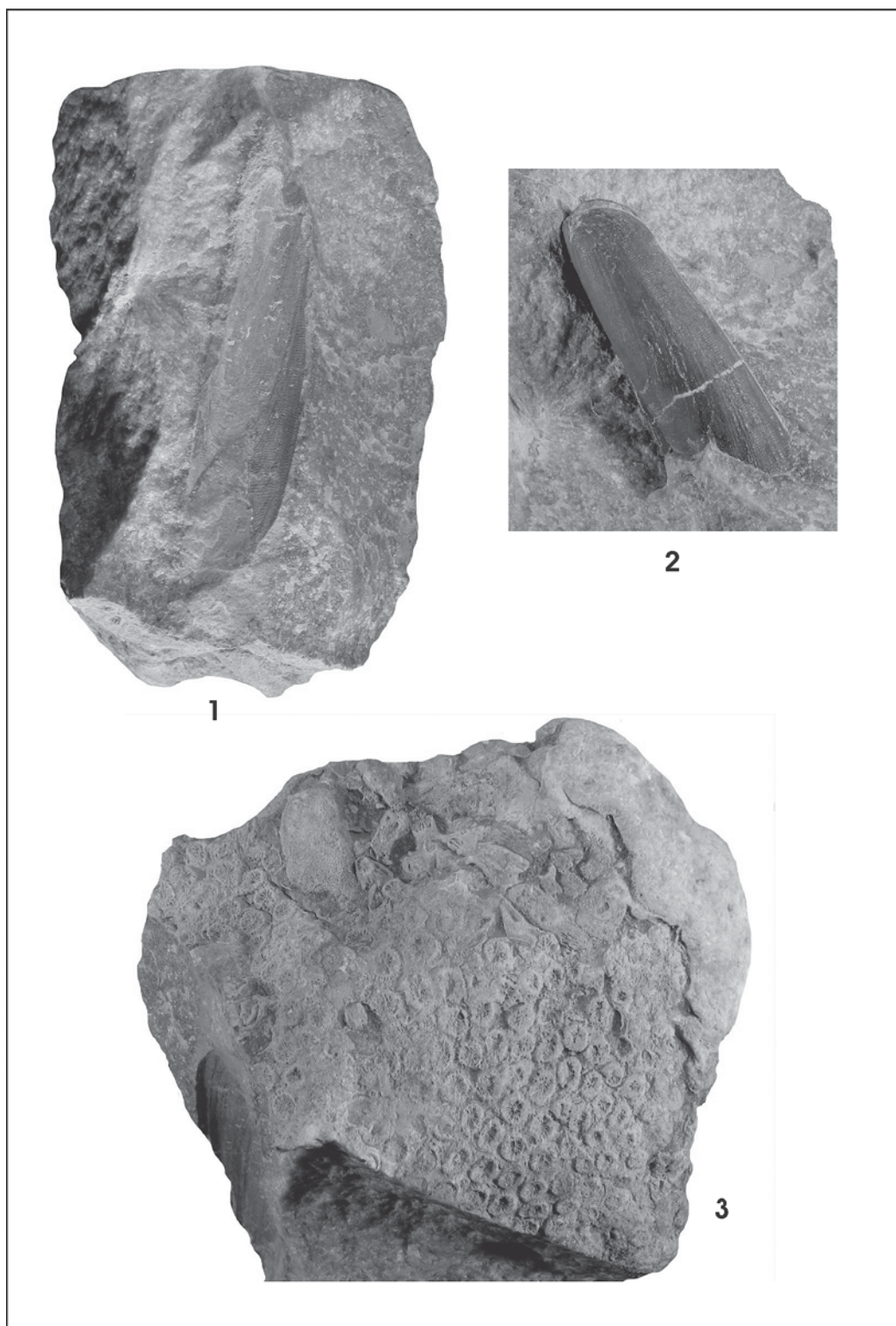
Table 1. Comparison of dimensions of Date Mussels from Slovenia, Italia and Helvetia (Dimensions in mm)

Primerek Specimen	dolžina Length	višina Height	debelina Thickness	najdišče Find. place
Tab. 1, sl. 1a-1d	67	16,5	14	Plaznica
Oppenheim (1900-01) 62		17	13	Brendola
Boussac (1911)	58	14	-	Ralligstöcke

Tabla 2 – Plate 2

- 1 Odtis leve lupine morskoga datlja vrste *Lithophaga ornatissima* (Mayer-Eymar, 1886) v oligocenskem koralnem apnencu, potok Plaznica, x 1
The impression of left Date Mussel in Oligocene coral limestone, Plaznica brook, x 1
- 2 *Lithophaga ornatissima* (Mayer-Eymar, 1886) v oligocenskem koralnem apnencu, x 1,1
Lithophaga ornatissima (Mayer-Eymar, 1886) in Oligocene coral limestone, x 1,1
- 3 Oligocenske korale iz potoka Plaznica pod zaselkom Poljšica pri Podnartu, x 1,1
Oligocene corals from Plaznica brook below village Poljšica near Podnart, x 1,1

Fotografije (Photos): Marijan Grm



Opis: Školjka ima obliko dateljev, v prečnem preseku obeh lupin je ovalna, kar je značilno za litofage. Lupini sta svetlo do temnorjavi, dolgi in nizki z neizrazitim vrhom ob dorzalnem delu lupin in blizu anteriornega roba. Anteriorni del školjke je kratek, nizek in zaokrožen, posteriorni pa dolg, širok, višji in razmeroma ozek. Ob ravnem anteriorno-dorzalnem robu je sklepna površina, ventralni rob je rahlo izbočen. Na površini lupin so blizu vrha zelo tanke ovalne prirastnice, proti ventralnemu in posteriornemu robu lupin postajajo prirastnice debelejšje in izrazitejše. Ista površina obeh lupin v območju debelejših prirastnic je prekrita s številnimi prečnimi rebrci, ki potekajo v dorzalno-ventralni smeri. Odtisi teh reber se vidijo celo na površini izvrtanine oziroma na stenah sedimenta, ki je ostal med nekdanjim bivalnim prostorom in litofago.

Primerjava: Naš primerek po velikosti (tabela 1) skoraj povsem ustreza dimenzijam italijanskega primerka vrste *Lithophaga zignoi*, čeprav školjkina velikost nima odločilnega pomena. Oblika naše litofage se prav tako zelo dobro ujema z italijansko (Oppenheim, 1900-01, Tav. 18, Figs. 7-7a), le da posteriorni rob našega primerka ni ohranjen v celoti in ga ne moremo povsem primerjati. Boussac (1911, 151) opisuje vrsto *Lithophaga ornatissima* (Mayer Eymar, 1886) iz zgornjeocenskih skladov Švice. Na njegovi 7. tabli, je na sliki 7 prikazan primerek, ki je po velikosti in obliki zelo podoben našemu, še bolj pa sta si podobna po pestri ornamentaciji lupin.

Stratigrafska in geografska razširjenost: Oppenheim (1900-01) vrsto *Lithophaga zignoi* opisuje iz oligocenskih plasti najdišča Brendola. Opisano vrsto *L. ornatissima* (Mayer-Eymar, 1886) omenja Boussac (1911, 151) iz priabonijskih plasti najdišča Ralligstöcke v Švici. Dainelli (1915, 451) samo omenja opisano litofago iz priabonijskih plasti Veneta. Coletti et al. (1973, 7, Tab. 2) jo uvrščajo med nove oblike v skladih Castलगomberto in prikazujejo njeno stratigrafsko razširjenost od zgornjega eocena do spodnjega oligocena. V okviru paleoekologije pa omenjajo (Coletti et al., 1973, 14), da so litofage živele v coni bibavice in v globinah od 1 do 28 m, so morske živali, prebivajo pa lahko v subtropskih, zmernih in hladnih klimatskih pasovih. Baglioni Mavros (1990, 251) opisano vrsto omenja

iz rupelijskih skladov Veneta, najdena je bila v najdiščih S. Trinita in Castलगomberto v Italiji.

Zaključki

Poljšiški primerek vrste *Lithophaga ornatissima* (Mayer Eymar, 1886) je najden v kosu oligocenskega koralita (tab. 2, sl. 1-3) in ima obe lupini skoraj v celoti ohranjeni. Primerek litofage iz potoka Plaznica je na ozemlju Slovenije edinstven. Tudi naša litofaga ima na površinah lupin zelo fino in zelo pestro okrasje (tab. 1, sl. 1a-1d) kar ustreza vrstnemu poimenovanju predstavljene paleogenske školjke. Odtisi njenega okrasja ali njene filigranske ornamentacije se vidijo celo na površinah kasnejše zapolnitve v izvrtanini oziroma so odtisi ohranjeni na okolnem sedimentu, ki je zapolnil prostor med nekdanjim bivalnim prostorom školjke in njenima lupinama (tab. 2, sl. 1).

Možno je, da je Oppenheim (1900-01) že določeno litofago vrste *Lithophaga ornatissima* spregledal, ko je določeval novo vrsto *L. zignoi* iz italijanskega najdišča Brendola. Njegov opis nove vrste tudi ni prepričljiv in italijanske litofage sploh ne primerja z vrsto *L. ornatissima*. Ker ji Coletti et al. (1973) pripisujejo stratigrafski razpon od zgornjega eocena do spodnjega oligocena smo prepričani, da gre za isto vrsto *L. ornatissima*, ki je bila že določena leta 1886 ter najdena v priabonijskih skladih švicarskega najdišča Ralligstöcke.

Oligocene marine Date Mussel from Plaznica brook near Poljšica, West Slovenia

Conclusions

The individual of species *Lithophaga ornatissima* (Mayer Eymar, 1886) from Poljšica was found in a piece of Oligocene corallite (pl. 2, fig. 1-3). Its two valves are almost entirely preserved. The specimen of lithophaga from the Plaznica creek is unique in the Slovenian territory. The valve surfaces of our lithophaga are very finely and imaginatively ornamented (pl. 1, fig. 1a-1d), appropriate to the species denomination of this

Paleogene bivalve. Impressions of the filigree ornamentation are visible even on surfaces of the later filling, and are preserved on the surrounding sediment that filled up the space between the original living area of the bivalve and its valves (pl. 2, fig. 1).

It is possible that Oppenheim (1900-01) overlooked the already recognized lithophagous bivalve of species *Lithophaga ornatisima* when he determined the new species *L. zignoi* from the Italian locality of Brendola. In addition, his description of the new species is not convincing, and he did not compare the Italian lithophagas with the species *L. ornatissima*. Since Coletti et al. (1973) attribute to it the stratigraphic range from Upper Eocene to Lower Oligocene, we are convinced that the same species *L. ornatissima* is concerned as it was determined already in 1886, found in Priabonian beds of the Swiss locality Ralligstöcke.

Zahvala

Gospodu Viliju Rakovcu se najlepše zahvaljujem za posredovani fosilni ostanek, prof. dr. Simonu Pircu za prevode v angleščino in Marijanu Grmu za foto in ostalo dokumentacijo.

Literatura - References

- Abbott, R. T. & Dance, S. P. 1991: Compendium of Seashells. A Color Guide to More than 4,200 of the World Marine Shells. - Charles Letts & Co. Ltd., (London).
- Baglioni Mavros, A. R. 1990: Molluschi marini poco frequenti del Cenozoico Veneto, Trentino, Friulano e Giuliano. - Mem. Sci. Geol., Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 42, 227-269, Tav. 1-2, Padova.
- Barta-Calmus, S. 1973: Revision de collections de Madreporaires provenant du Nummulitique du sud-est de la France, de l'Italie et de la Yougoslavie Septentrionales. These de doctorat d'etat es-sciences naturelles présentée a l'Université de Paris VI. - C. N. R. S., 694 p., Pl.1-59, Paris.
- Boussac, J. 1911: Etudes paléontologiques sur le Nummulitique Alpin. Mémoires carte géol. dét. France. - Impr. nationale, Texte, 1-437, Atlas Pl. 1-22, Paris.
- Coletti, F., Piccoli, G., Sambugar, B. & Vendemiati Dei Medici, M. C. 1973: I molluschi fossili di Castelgomberto e il loro significato nella paleoecologia dell'Oligocene veneto. - Mem. Ist. Geol. Min. Univ. Padova, 28, 1-31, Tav. 1-4, Padova.
- Cox, L. R., Newell, N. D., Boyd, D. W., Branson, C. C., Casey, R., Chavan, A., Cogogan, A. H., Dechaseaux, C., Fleming, C. A., Haas, F., Hertlein, L. G., Kauffman, E. G., Myra Keen, A., La Rocque, A., Mc Alester, A. L., Moore, R. C., Nuttall, C. P., Perkins, B. F., Puri, H. S., Smith, L. A., Soot-Ryen, T., Stenzel, H. B., Trueman, E. R., Turner, R. D. & Weir, J. 1969: Mollusca 6, Bivalvia, Part N, 1 of 3. - In: R. C. Moore (Editor), Treatise on Invertebrate Paleontology. - The Geological Society of America and The University of Kansas, (Lawrence): N1-N489.
- Dainelli, G. 1915: L'Eocene Friulano. Monografia geologica e paleontologica. - "Memorie geografiche", 1-721, Tav. 1-55, Firenze.
- Fuchs, T. 1874: Versteinerungen aus den oligocänen Nummulitenschichten von Polschitz in Krain. - Verh. Geol. R. A., 129-130, Wien.
- Lipold, M. V. 1857: Bericht über die geologischen Aufnahmen in Ober-Krain im Jahre 1856. - Jb. Geol. B. A., 8: 205-234, Wien.
- Mikuž, V. 2000: Morska ježka iz oligocenskih plasti pri Česnjici blizu Poljšice. (Sea-urchins from Oligocene beds at Česnjica near Poljšica, W-Slovenia). - Geologija, 42, 117-122, (1999), Ljubljana.
- Mikuž, V. 2002: Oligocenski polži slovenskega dela Paratetide. (Oligocene gastropods from the Slovenian part of Paratethys). - Razprave 4. razreda SAZU, 43/1, 43-79, Ljubljana.
- Mikuž, V. & Čvorović, B. 2001: Velike krastatele (Crassatellidae, Bivalvia) iz oligocenskih plasti pri Poljšici. (The large crassatellas (Crassatellidae, Bivalvia) from Oligocene beds near Poljšica). - Geologija, 44/1, 107-114, Ljubljana.
- Milišić, N. 1991: Školjke i puževi Jadrana. - Logos, 302 str., Split.
- Oppenheim, P. 1896: Die oligocäne Fauna von Polschitz in Krain. - Bericht Senckenberg. Naturforsch. Ges. Frankfurt a/M., Jg. 1896, 259-283, Berlin.
- Oppenheim, P. 1900-1901: Die Priabonassichten und ihre Fauna, im Zusammenhange mit gleichalterigen und analogen Ablagerungen vergleichend betrachtet. - Palaeontographica, 47/1-6, 1-344, Taf. 1-21, Stuttgart.
- Pavšič, J. 1995: Fosili. Zanimive okamnine iz Slovenije. - Tehniška založba Slovenije, 139 str., Ljubljana.
- Rakovec, I. 1933: Geološko - paleontološki oddelek. - V: Vodnik po zbirkah Narodnega muzeja v Ljubljani, Prirodopisni del, 119-185, Ljubljana.
- Zei, M. 1956: Morski svet. - Mladinska knjiga, 245 str., Ljubljana. (Iz življenja živali)

Manganovi gomolji v jurskem apnencu Južnih Alp Slovenije

Manganese nodules in Jurassic limestone of the Southern Alps in Slovenia

Bojan OGORELEC¹, Stanko BUSER² & Miha MIŠIČ¹

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI-1000 Ljubljana, bojan.ogorelec@geo-zs.si,
miha.misic@geo-zs.si

²Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za Geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana

Ključne besede: Mn-gomolji, jura, mikrofacies, Južne Alpe, Slovenija
Key words: Mn-nodules, Jurassic, microfacies, Southern Alps, Slovenia

Kratka vsebina

Posebnost jurskih plasti v Julijskih Alpah so rdeči pelagični apnenci, ki vsebujejo manganove gomolje. Zasledimo jih na več lokacijah okrog Bovca in Krna ter na več krajih v Trenti, koncentrirani pa so na nekajmetrski horizont zgornjeliasne starosti. Gomolji so diskaste oblike in merijo do 12 cm v premeru. V njihovi mineralni sestavi nastopajo piroluzit, psilomelan, manganit, todorokit in hausmannit. Delež Mn v gomoljih je nizek, med 0,8 in 3,5 %, delež Fe pa do 1,7 %. V nekaterih gomoljih Fe nad Mn prevladuje.

Na Mangartu in na Begunjščici nastopa manganovo orudenje v tanjši plasti znotraj paketa skrilavega glinovca, radiolarita in krinoidnega apnenca, delež MnO v njej znaša do 60 %.

Abstract

One of geological peculiarities in the Julian Alps is red pelagic limestone containing manganese nodules. They are encountered at several localities in the Bovec, Trenta and Krn area, occurring in some metres thick horizon of the Upper Liassic age. The nodule forms are disc-like attaining up to 12 cm in diameter. Mineral composition is characterized by pyrolusite, psilomelane, manganite and hausmannite. The shear of Mn in the nodules is low ranging from 0,8 % to 3,5 %. The Fe amount attains up to 1,7 %, in some samples, however, Fe exceeds Mn.

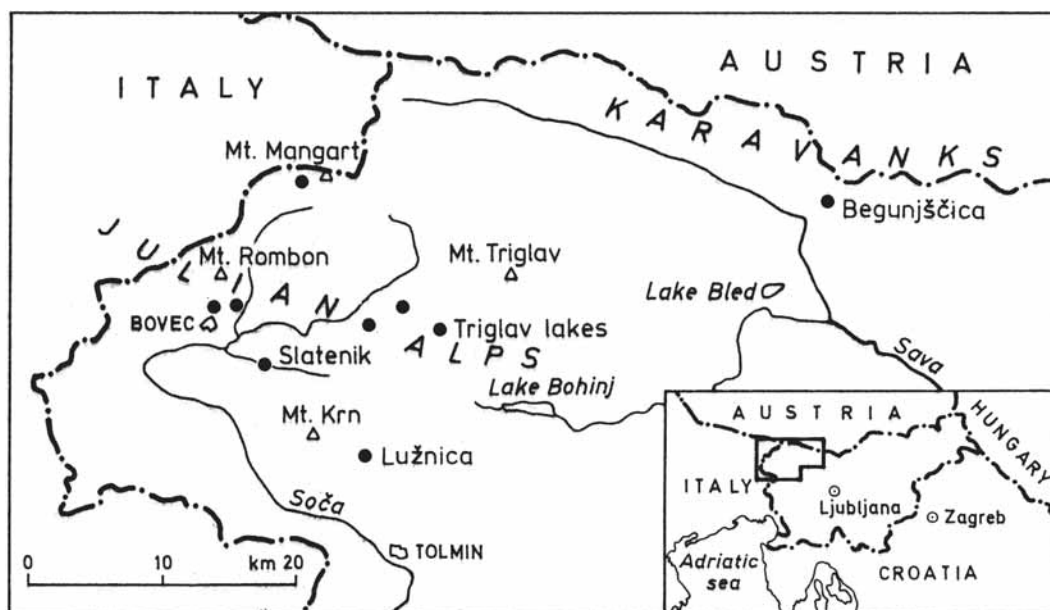
At Mangart and at Begunjščica, Mn ore beds occur in a thinner horizon in a sequence of slate, radiolarite and crinoidal limestone. Herein, the amount of MnO reaches up to 60 %.

Uvod

Ena od stratigrafskih in sedimentoloških posebnosti v slovenskem delu Južnih Alp so rdečkasti apnenci jurske starosti, v katerih se pojavljajo manganovi gomolji. Te plasti dobimo na več lokalnostih v Julijskih Alpah, v Dolini triglavskih jezer (Salopek, 1933; Grimšičar, 1962; Buser, 1986; Šmuc, 2005), na južnem pobočju Bavškega Gamsovc (Ramovš, 1985), na Krnu (Babić, 1980/81), v grapi Slatenik pri Čezsoči in na

južnem pobočju Rombona pri Bovcu (Winkler, 1920; Buser, 1986), v dolini Koritnice (Kuščer et al., 1974), na Vasi na skali (Jurkovšek et al., 1990), na Mangartu (Selli, 1963; Jurkovšek, 1987; Šmuc, 2005) in na Begunjščici v Karavankah (Teller, 1899; Buser, 1980) pa so razvite tudi kot plastovito in žilno manganovo orudenje (sl. 1).

V širšem alpskem prostoru so plasti z manganovimi gomolji poznane kot »ammo-



Sl. 1. Lokacije jurskih plasti z manganovimi gomolji ali manganovim orudenjem v slovenskem delu Julijskih Alp in Karavank.

Fig. 1. Position of Jurassic beds with manganese nodules or manganese mineralization in Julian Alps and Karavanke Mts. in Slovenia.

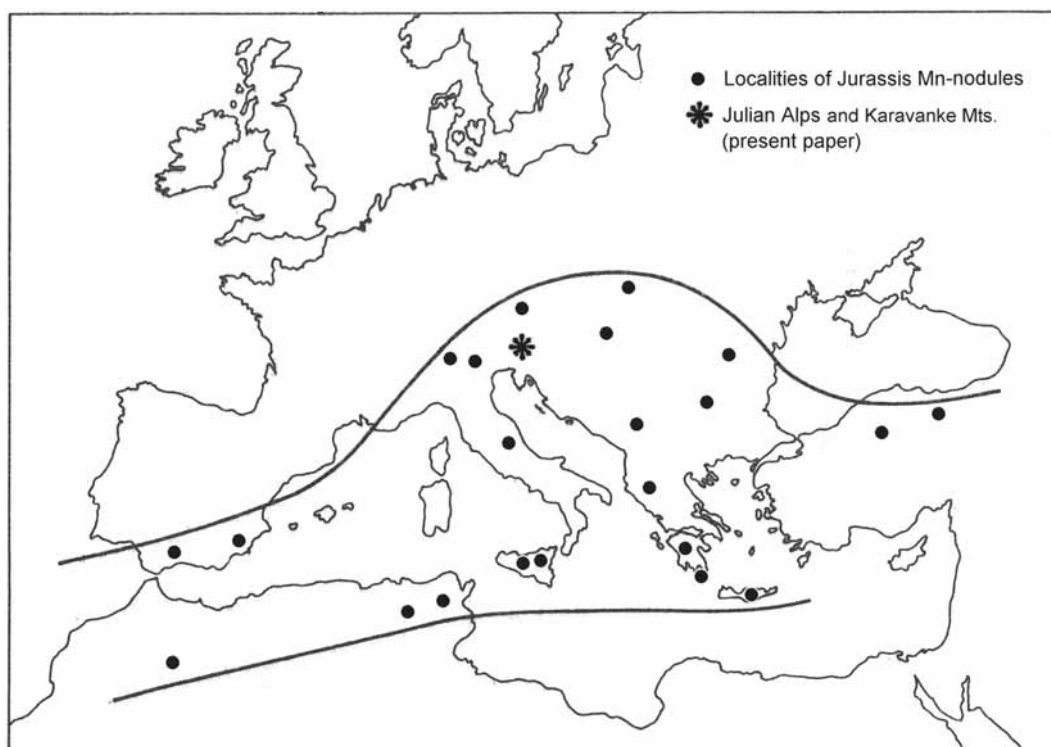
nitico rosso» ali kot »Knollen-Kalke« (Jenkyns, 1974; Bernoulli & Jenkyns, 1974). V jurskem obdobju so te plasti dokaj razširjene v mediteranskem prostoru Tetide (sl. 2) in jih sledimo od Sicilije do Severnih Apeniških Alp, Dolomitov in Madžarske (Jenkyns, 1970; 1971; 1978; Wendt, 1970; Jürgen, 1969; Germann, 1971; Mindszenty et al., 1986; Cronan et al., 1991; Vörös, 1991; Krainer et al., 1994; Haas, 2001). Posebno znani in dobro raziskani so spodnjajurski rdeči hemipelagični apnenci z manganovimi gomolji iz Adneta pri Salzburgu, ki jih še danes masovno uporabljajo kot cenjen arhitektonski kamen (Jenkyns, 1974; Böhm, 1992; Böhm et al., 1999). Prvi, ki je primerjal liasne manganove gomolje iz Gosaua v Severnih Alpah z recentnimi iz globokih morij, je bil Heim (1924).

Pri naših raziskavah smo pozornost posvetili predvsem plastem z manganovimi gomolji iz Doline triglavskih jezer, Lužnice pri Krnu, grape Slatenik ter iz okolice Bovca (sl. 1). Omenjene plasti smo raziskovali v okviru izdelave Osnovne geološke karte v merilu 1:100.000, listov Tolmin-Udine (Buser, 1986) in Beljak (Jurkovšek, 1987) v letih 1979-1982.

Namen pričujoče raziskave je bil, da ugotovimo in podamo stratigrafski položaj, osnovne petrografske in mineraloške značilnosti Mn-gomoljev ter facies kamnin, v katerih se ti pojavljajo, delno pa tudi njihovo kemično sestavo. Za primerjavo navajamo v kratkem tudi nekaj podatkov o sestavi in okolju nastanka recentnih manganovih gomoljev.

Nahajališča plasti z manganovimi gomolji in manganovim orudenjem ter njihova stratigrafska lega

Koncem srednjega liasa je do takrat stabilna in enotna Julijska karbonatna platforma razpadla (Buser, 1987). Na tej se je v noriju in retiju odlagal dachsteinski apnenec, v spodnjem liasu pa plitvovodni biomikritni, biosparitni in oosparitni apnenec. Na dvignjenih in okopelih karbonatnih blokih je pričelo intenzivno zakrasevanje. Ob tem je bil na večjem delu spodnjeliasni apnenec izlužen oziroma korodiran. Ohranjen je le še v okolici Bovca, Krna, na Mangartu ter na Bavškem Gamsovcu, drugod pa zgornjeliasni apnenec z manganovimi gomolji nalega neposredno na dachsteinski apnenec.



Sl. 2. Položaj jurskih apnencev z manganovimi gomolji v mediteranskem delu Tetide (povzeto po Jenkynsu 1970, dopolnjeno z lokacijo Julijskih Alp).

Fig. 2. Jurassic beds with manganese nodules in the Mediterranean part of Tethys (after Jenkyns 1970, studied area added).

Na pogreznjenih karbonatnih blokkih je prišlo do kondenzirane sedimentacije rdeč-kastih biomikritnih apnencev. Poglobitev karbonatne platforme je bil globalni dogodek, ki je verjetno nastopil povsod istočasno. Na Begunjsčici najdemo amonite, ki ta dogodek uvrščajo v zgornji lias oziroma v toarcij.

V nadaljevanju na kratko opisujemo posamezna nahajališča manganovih gomoljev:

Dolina triglavskih jezer. Tod ležijo zgornjeliasni toarcijski rdeči apnenci na dachsteinskem apnencu v loferskem razvoju. Stična ploskev je le rahlo valovita, vendar je med obema apnencema konkordanca. Jurske plasti začenjajo z rdečim, večinoma krinoidnim apnencem, vmes pa so mikritni apnenci s kamnotvornimi školjkami oziroma filamenti. Okoli 40 cm nad stikom so v krinoidnem apnencu manganovi gomolji s koncentrično teksturo. Lepo vidni so na planinski poti severno od koč pri Triglavskih

jezerih. Debelina horizonta z Mn-gomolji je do 3 metre. Navzgor sledi gomoljast apnenc tipa »ammonitico rosso« s številnimi še nedoločenimi amoniti. Nad tem apnencem leži doggersko-spodnjemalmski radiolarijski horizont, nad tem pa paket tithonijsko-berriasijskega apnenca s kalpionelami (plasti »biancone«).

Jezero v Lužnici. Pri jezeru v Lužnici, jugovzhodno od Krna, so v spodnjeliasnem oolitnem apnencu do 10 metrov globoke in do 30 cm široke razpoke, ki jih zapolnjujejo v obliki sedimentnih dajkov krinoidni apnenci in pisane apnenčeve breče. Med njimi je tanka plast mikritnega apnenca z do 10 cm velikimi okroglimi manganovimi gomolji in nepravilnimi manganovimi skorjami. Navzgor sledi 4 m rožnatega apnenca s številnimi filamentmi, ki vsebuje poredke manganove gomolje. Višje je še 2 m rožnatega gomoljastega apnenca tipa »ammonitico rosso« z amoniti.



Sl. 3. Presek Fe-Mn gomolja s conarno rastjo. Označeni del gomolja je povečan na tabli 2, sl. 3. Koritnica pri Bovecu.

Fig. 3. Ferromanganese nodules in cross section. Marked part of the nodule is enlarged on tab. 2, fig 3. Koritnica at Bovec.

Ravni Laz. Na Ravnem Lazu, severovzhodno od Bovca, je nad spodnjeliasnim belim biosparitnim apnenecem okoli 2 m rdečega krinoidno-mikritnega apnenca s številnimi filamenti ter z manganovo mineralizacijo. Višje sledi mikritno-krinoidni apnenec z do 5 cm velikimi manganovimi gomolji.

Koritnica. V dolini Koritnice pod Klužami, vzhodno od Bovca, opazujemo v skalah

ob vodi nad spodnjeliasnimi oolitnimi apnenci toarcijski mikritni apnenec s filamenti. V njem so redki, okrog 5 cm veliki gomolji sivkasto rjave barve (sl. 3). Edini kemično raziskani gomolj vsebuje 2,1 % Fe in le 0,3 % Mn, zato lahko v tem specifičnem primeru govorimo o feromanganovih gomoljih. Zaradi sivkaste barve so bili ti gomolji opisani kot limonitni (Ogorelec, 1970; Kuščer et al., 1974). V tem apnencu je bila določena pelagična foraminifera *Globigerina helvetojurassica* Haeusler.

Slatenik. V grapi Slatenik pri Čezsoči je na severnem pobočju Polovnika razvit le nekaj decimetrovdo 2 m debel horizont rožnatega apnenca z izredno lepimi manganovimi gomolji, velikimi do 12 cm, ki se mestoma celo dotikajo drug drugega (sl. 4). Ta apnenec leži s stratigrafskim hiatusom konkordantno na svetlem spodnjeliasnem oolitnem apnencu. Lateralno ga pokrivajo rdeči zgornjekredni lapornati apnenci z globotrunkanami (»scaglia«) ali flišne plasti.

Bavški Gamsovec. Na južnem pobočju Bavškega Gamsovca, severno od prelaza Luknja, dobimo ob planinski poti na nekaj m² veliki skali rdečkastega toarcijskega apnenca do 5 cm velike črnorjave manganove gomolje. Apnenec z gomolji leži na spodnjeliasnem gastropodnem svetlo sivem apnencu, ki ga sledimo navzgor do vrha Bavškega Gamsovca.

Mangart. Feromanganovi gomolji na Mangartu so bili raziskani v 30 cm debeli plasti manganove rude, ki se javlja znotraj 15 metrov debelega karbonatno-klastičnega zaporedja na Mangartskem sedlu (sl. 5), (Jurkovšek et al., 1990; Šmuc, 2005). Ta



Sl. 4. Manganovi gomolji v rdečem biomikritnem apnencu. Grapa Slatenik pri Čezsoči.

Fig. 4. Manganese nodules in red biomicritic limestone. Slatenik gorge at Čezsoča.



Sl. 5. Drobni silicizirani manganovi gomolji v orudeni plasti na Mangartskem sedlu.

Fig. 5. Small manganese nodules, influenced by silicization in the Mn-ore bed at Mangartsko sedlo.

paket se javlja neposredno nad plitvovodnim biomikritnim in oolitnim liasnim apnencem. Med krinoidnim apnencem in lapornatim apnencem z radiolariji se pojavljajo manganski skrilavec, radiolarit in glinovec. Te plasti so zaradi manganovih oksidov obarvane črno. Okside sestavljajo piroluzit, kriptomelan in todorokit. Delež MnO v raziskanem vzorcu je 45 %, delež FeO pa 8 %, ostalo pripada kremenu (ca 15 %) in mineralom glin. Gomolji na Mangartu merijo v premeru 2-3 cm in so močno silicizirani.

Begunjščica. Toarcijske jurske plasti na južnem pobočju Begunjščice v globjemorskem razvoju ležijo v stratigrafskem hiatusu na zgornjetriasnem koralno-stromatoporiidnem apnencu. Hiatus nakazujejo neptunski dajki, ki jih dobimo v zgornjetriasnem apnencu. Zapolnjujejo jih pisana jurska breča ali krinoidni apnenci. Jurske plasti sestavljajo rdeči do sivkasti gomoljasti apnenci tipa »ammonitico rosso«. Nad njimi sledijo sivi ploščasti apnenci z roženci. V spodnjem delu rdečih apnencev je plast skrilavega glinovca orodena z manganovo rudo, ki so jo nekoč kopali in iz nje na Jesenicah izdelovali manganovo jeklo. Ruda je vsebovala 30 do 36 % in celo do 60 % mangana (Teller, 1899). Na poredkih mestih najdemo v apnencu tudi okrogle manganove gomolje. V apnencu pod in nad orudenitvijo so najdeni značilni toarcijski amoniti. Med pomembnimi so *Hildoceras heterophyllum*, *H. bifrons*, *H. commense*, *H. cf. opalinoide* in *Phylloceras nilssoni* (Teller, 1899; Mihajlovič & Ramovš, 1965). Amoniti kažejo, da je emerzija in nastopanje gomoljastih apnencev

z manganovimi gomolji začela v zgornjem liasu oziroma toarciju. Omenjenemu apnencu navzgor sledi doggersko-spodnjemalmski radiolarit in apnenec z gomolji roženca.

Litologija in mikrofacies

Talnino zgornjeliasnega rdečkastega apnenca z manganovimi gomolji v Julijskih Alpah in Južnih Karavankah sestavlja več sto metrov debela skladovnica norijsko-retijskega apnenca v dachsteinskem razvoju ali spodnjeliasni apnenec. Dachsteinski apnenec se je odlagal na plitvem odprtem šelfu z občasnimi litoralnimi pogoji in kaže vse znake loferskega razvoja (Buser, 1986, 1987; Ogorelec & Buser, 1996). Apnenec v neposredni talnini rdečastih plasti z gomolji je po strukturi intrapelmikrit s številnimi drobnimi izsušitvenimi porami in kopučami neskeletnih alg ter oosparit.

Plasti z manganovimi gomolji imajo značilno rdečkasto barvo, ki se menja od svetle oranžno do temno rjavorodeče. Po strukturi uvrščamo ta apnenec v biomikrit tipa wackestone-packstone. Osnovo kamnine sestavlja gost mikrit, od alokemov so prisotni le fosili, izjemoma tudi drobni intraklasti. Najbolj pogostne so ploščice ehinodermov, manj je tankih školjčnih lupin oziroma filamentov, mikrogastropodov in foraminifer, mestoma pa so še juvenilni amoniti in kalcitizirani radiolariji (tab. 1, sl. 1, 4-6, tab. 2, sl. 1,2). Krinoidne ploščice so ponekod tako pogostne, da apnenec lahko poimenujemo kar »krinoidni« (tab. 1, sl. 4,5).

Energijski indeks apnenca je nizek do zelo nizek in po njem lahko sklepamo na sedimentacijo v relativno mirnem okolju, kjer je prišlo do spiranja karbonatnega blata. Stopnja sedimentacije je bila zelo nizka, kar je omogočilo kopičenje organskih skeletov.

Rdečkasta barva apnenca je pogojena s primesjo železovih in manganovih oksidov, predvsem goethita. Ti oksidi se javljajo skupaj z minerali glin kot pigment v osnovi, bolj koncentrirani pa so v številnih stilolitnih šivih. Delež karbonata v raziskanih vzorcih apnenca se giblje med 86 in 97 %. V nekaterih vzorcih opazimo nadomeščanje kalcita z avtigenim kremenom, predvsem v ploščicah ehinodermov in školjčnih lupinicah.

Raziskani manganovi gomolji

Manganovi gomolji v raziskanih plasteh so koncentrične diskaste oblike ter merijo v premeru od nekaj mm do največ 12 cm, večji del pa med 2 in 5 cm. Makroskopsko se od prikamnine odlično ločijo po temnejši rjavkasti barvi in po tem, da reliefno izstopajo na izluženih površinah (sl. 4 in naslovnica revije).

Pod mikroskopom opazujemo, da imajo gomolji številne, 30 do 100 µm debele koncentrične ovoje z nagubano, stromatolitom podobno teksturo (tab. 2, sl. 3-5), kakršna je značilna tudi za recentne manganove gomolje (»cauliflower structure«, Thiel & Schneider 1988) (tab. 2, sl. 6). Rentgenske analize kažejo, da gomolje sestavljajo nizko magne-

zijeve kalcit in goethit, manganovi minerali pa so psilomelan - $\text{Mn}_5\text{O}_{10}(\text{Ba}, \text{H}_2\text{O})_2$, manganit - $\text{MnO}(\text{OH})$ in hausmannit - $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_2\text{O}_4$. V sledovih so prisotni še minerali glin in kremen.

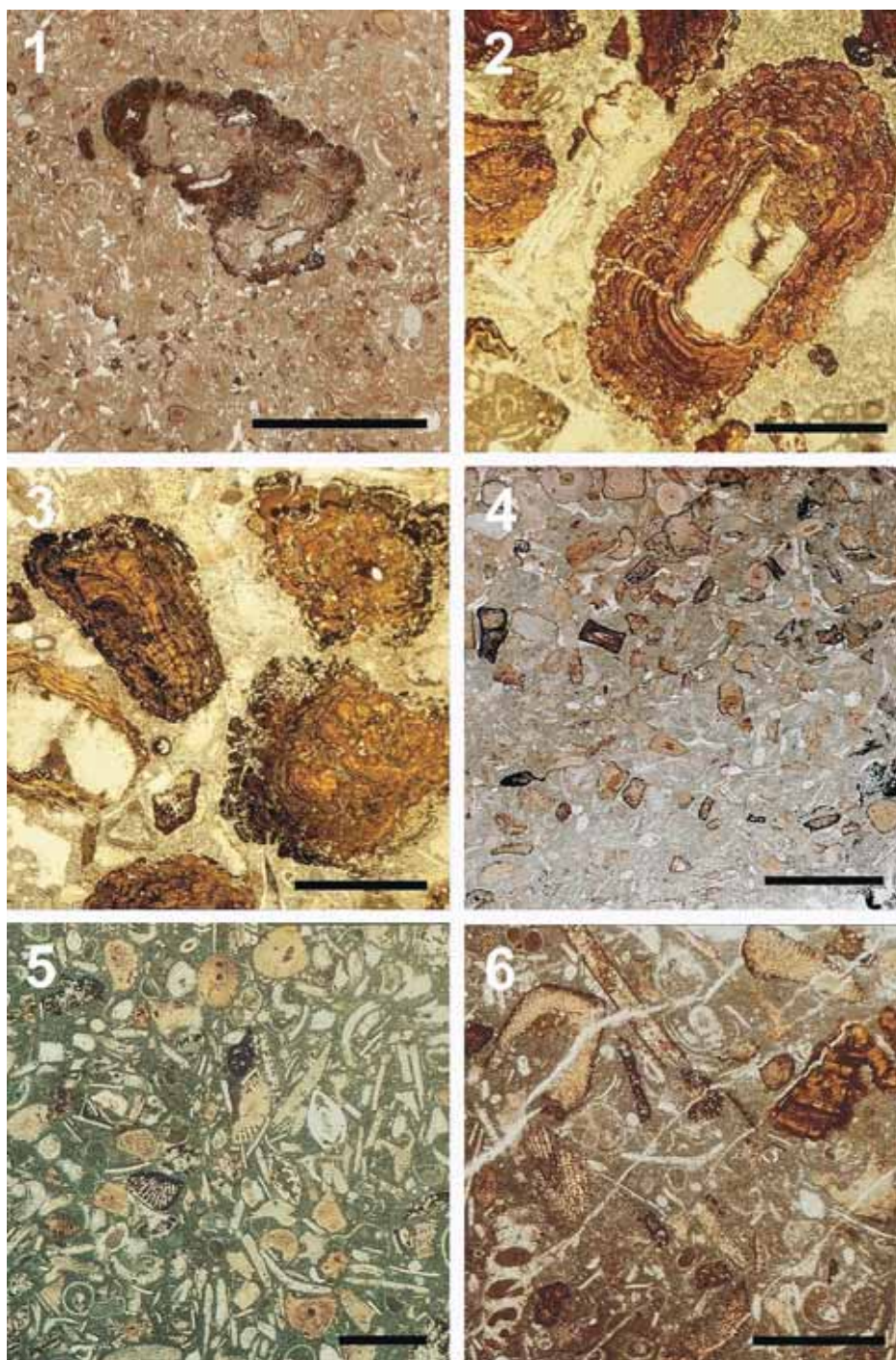
Vsebnost mangana v 12 preiskanih gomoljih je relativno nizka in niha med 0,8 in 3,5 % Mn ter 0,03 do 1,7 % Fe. Apnenec iz prikamnine vsebuje 0,04 do 0,07 % Mn, 0,01 do 0,08 % Fe in okrog 380 ppm Sr (*analize B. Ogorelec na Inštitutu za sedimentologijo Univerze v Heidelbergu, metoda atomske absorpcije*). Zaradi dokajšnjega deleža železa v nekaterih gomoljih glede na mangan, je zato pravilno, da govorimo v teh primerih o feromanganovih in ne samo o manganovih gomoljih. Izraz »feromanganovi« se uporablja tudi za recentne Fe-Mn gomolje (Halbach et al., 1988).

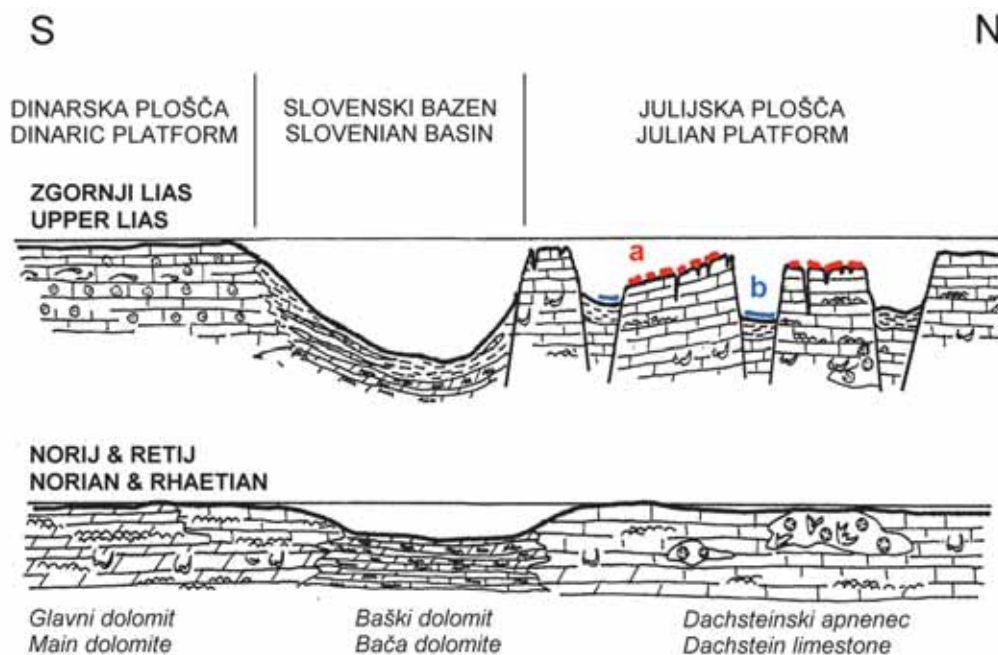
V primerjavo navajamo, da vsebujejo gomolji iz jurskega apnenca v Severnih Alpah med 0,05 in 24 % Mn ter 0,1 do 17 % Fe (Wendt, 1970; Böhm, 1992), gomolji iz enakih plasti na Siciliji pa do 40 % Mn in do 50 % Fe (Jenkyns, 1978).

Nekateri gomolji in mikrogomolji iz raziskanih plasti so brez opaznega jedra. Pri teh opazujemo koncentrično rast skorij od same sredine gomolja navzven. Pri drugih pa manganove skorje obraščajo drobce mikritnega in biomikritnega apnenca ali skelete fosilov (tab. 1, sl. 2, 3). Zgrbančeno teksturo skorij so avtorji prvotno tolmačili z dehidracijo goethita in njegovim prehodom v hematit v času diagenetskih procesov, kar povzroča redukcijo volumna gomoljev (Jürgen, 1969; Mangini, 1988). Novejše

Tabla 1 - Table 1

- 1 Manjši manganov gomolj v biomikritnem apnencu. Smaller manganese nodule in biomicritic limestone št./Coll. No.: GeoZS 63432.
- 2 Manganove skorje obraščajo ploščico ehinoderma. Manganese encrustation of echinoid plate. Ravni Laz pri Bovcu. Merilo/scale bar 1 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 57782.
- 3 Manganovi mikrogomolji v biomikritnem apnencu. Mn-micronodules in biomicritic packstone. Ravni Laz pri Bovcu. Merilo/scale bar 1 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 57782.
- 4 Krinoidni apnenec. Ploščice ehinodermov so obdane z manganovimi ovoji. Crinoidal packstone. Echinoid plates with Mn encrustations. Dolina triglavskega jezera. Merilo/scale bar 2 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42537.
- 5 Biomikritni apnenec s številnimi ploščicami ehinodermov, drobci školjčnih lupin, foraminifer in juvenilnih amonitov. Biomicritic packstone with echinoid plates, shell debris, foraminifers and juvenile ammonites. Dolina triglavskega jezera. Merilo/scale bar 2 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42540.
- 6 Manganovi mikrogomolji v biomikritnem apnencu. Mn-micronodules in biomicritic wackestone. Jezero v Lužnici. Merilo/scale bar 1 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42543.





Sl. 6. Paleogeografske razmere v zahodni Sloveniji v času zgornjega triasa in spodnje jure z nakazanim položajem nastanka manganovih gomoljev (a) in manganove rude (b).

Fig. 6. Paleogeographic situation in the western part of Slovenia in the time-span of Upper Triassic to Lower Jurassic. Superimposed origin of Mn-nodules (a) and Mn ore-mineralisation (b) is indicated.

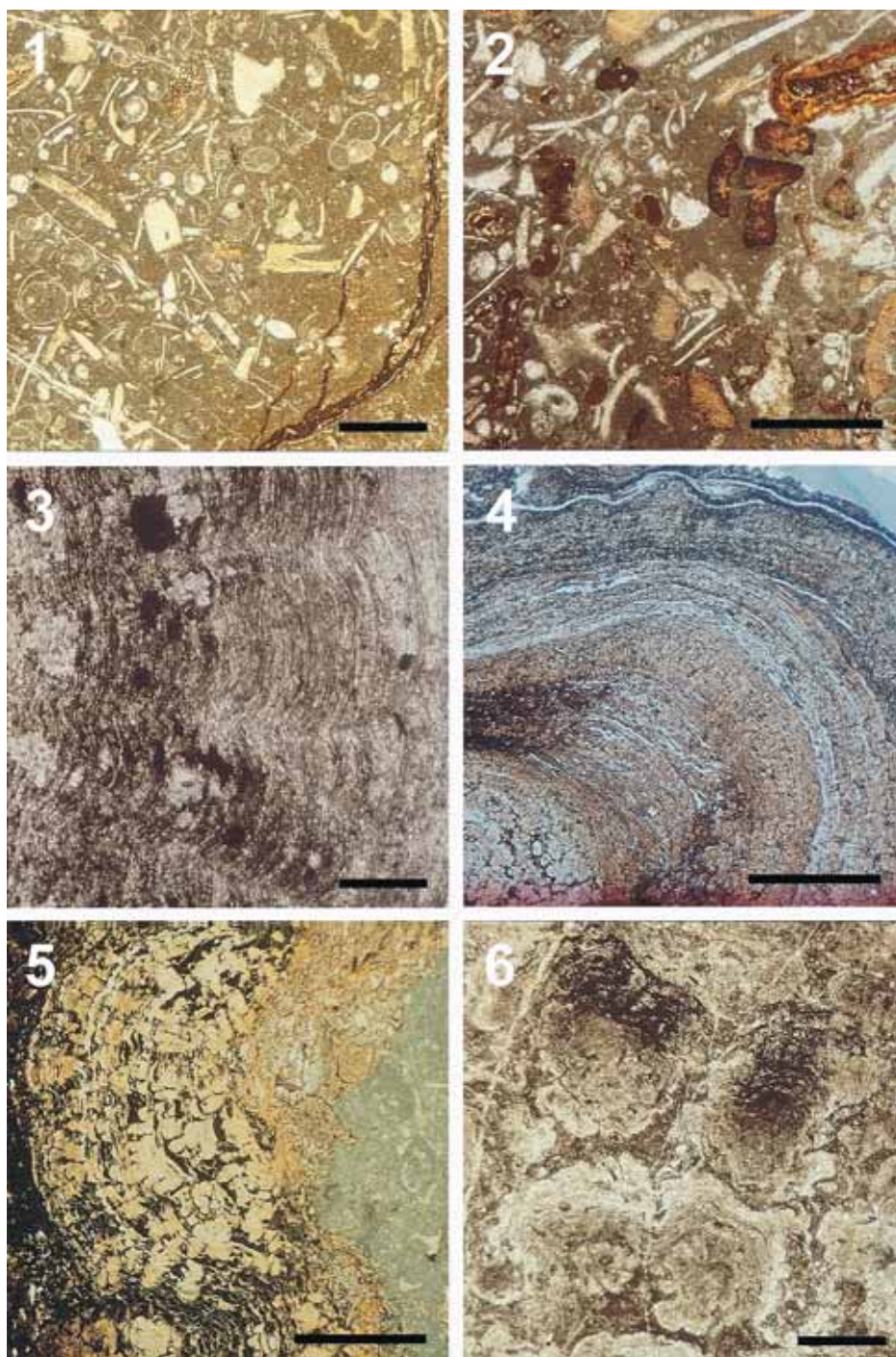
raziskave pa govore, da je zgubana struktura že primarna. To pripisujejo raziskovalci aktivnosti bakterij in drugih kemolitotrofnih organizmov v procesu nastajanja gomoljev (Monty, 1973; Wendt, 1974; Thiel & Schneider, 1988). Monty imenuje zato te gomolje kar »oceanski manganovi stromatoliti«.

Recentni manganovi gomolji

Pojav manganovih oziroma feromanganovih gomoljev so prvič zasledili ob priliki raziskovalnega križarjenja z ladjo H.M.S. Challenger v letih 1872-76, ki je obplula vse oceane razen Arktike, in sicer v Tihem oceanu. Kasneje, ob raziskavah morskega

Tabla 2 – Table 2

- 1 Biomikritni apnenec z juvenilnimi amoniti in ehinodermi. Biomicritic packstone with juvenile ammonites and echinoids. Dolina triglavskih jezer. Merilo/scale bar 2 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42542.
- 2 Biomikritni packstone z manganovimi mikrogomolji. Biomicritic packstone with Mn-micronodules. Dolina triglavskih jezer. Merilo/scale bar 1 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42536.
- 3 Del Fe-Mn gomolja z drobno »stromatolitno« laminacijo. Črno so polja limonitiziranega pirita. Detajl s slike 3. Part of ferromanganese nodule with »stromatolithic« structure. Black spots belong to limonitised pyrite. Detail from fig. 3. Koritnica pri Bovcu. Merilo/scale bar 2 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 51332.
- 4-5 Detajl Fe-Mn gomolja s conarno »stromatolitno« teksturo. Jedro gomolja je mikritni/belongs to micritic limestone. Jezero v Lužnici. Merilo/scale bar 1 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42531.
- 6 Tangencialni presek gomolja s slik 4 in 5 z »ohrovtovo« teksturo. Tangential cut of the nodule from figs. 4 and 5, »cauliflower structure«. Merilo/scale bar 2 mm, zbrusek št./Coll. No.: GeoZS 42533.



dna z ladjo Valdivia v letih 1898-99, so jih našli tudi v Atlantskem oceanu (Halbach et al., 1988).

Dolga desetletja so ti gomolji veljali bolj kot mineraloška posebnost, dokler ni leta 1965 Mero zbral številne, do tedaj znane podatke o regionalni razprostranjenosti recentnih železovomanganovih gomoljev v oceanih. Zaradi vsebnosti nekaterih kovin, kot Cu, Ni in Co so ti gomolji v nekaterih predelih oceanov postali zanimivi kot potencialni vir naštetih metalov v bodočnosti. Zaradi mangana samega gomolji seveda niso zanimivi, saj so svetovne zaloge tega na kopnem tako velike (Nova Kaledonija, Kuba, Kanada, Rusija), da morsko »rudarjenje« s stališča mangana sploh ni perspektivno.

V zadnjih desetletjih so bila izvedena številna sistematična raziskovalna križarjenja ter študije nastanka železovomanganovih gomoljev, ki naj bi posredovala pomembne podatke, predvsem o količini gomoljev na oceanskem dnu ter o njihovi kemični in mineraloški sestavi (Bonatti & Nayudu, 1965; Ahrens et al., 1967; Cronan & Tomoms, 1969; Bonatti et al., 1971; Sorem & Fewkes, 1979; Bender, 1972; Stoffers et al., 1984; Ingri, 1985; Müller et al., 1988; Halbach et al., 1988; Bolton et al., 1988). Dodelane so bile tudi raznovrstne tehnologije, kako čimbolj enostavno in najceneje spraviti manganove gomolje z morskega dna na ladje (»deep ocean mining«), od sistemov »grabljenja« do »podvodnega sesanja«, vendar pa so vsi ti projekti trenutno zamrli in zaradi visoke cene zbiranja gomoljev čakajo na ugodnejše ekonomske razmere v svetu.

Polimetalni železovomanganovi gomolji se na dnu oceanov pojavljajo večji del v globinah med 4 in 6 km, pod tako imenovano CCD mejo (carbonate compensation depth), predvsem v ekvatorialnem pasu in v severnem delu Tihega oceana, južno od Havajev, v manjšem obsegu pa tudi v Atlantskem in Indijskem oceanu. Večji del se gomolji javljajo kot samostojne, nekaj do 15 cm velike tvorbe, večkrat pa tudi kot mikrogomolji mm dimenzij (Halbach & Puteanus, 1988). Številna območja v oceanih vsebujejo tudi do 10 kg gomoljev na m² oziroma 10³ ton/km² (Bernhard & Blissenbach, 1988). Redkeje se mangan pojavlja tudi v tankih skorjah na morskem dnu, to je predvsem tam kjer je sedimentacija odsotna (podvodni platoji).

Kemično razmerje ekonomsko zanimivih prvin v poprečnih gomoljih je sledeče - Mn:Ni:Cu:Co je 125:7:6:1, pri čemer niha delež Mn med 25 in 45 %, Fe med 5-8 %, Ni+Cu 1-2 % ter Co do 0,3 %. Razmerje Mn/Fe je v povprečju 3-5 (Halbach & Puteanus, 1988; Friedrich et al., 1988).

Recentni železovomanganovi gomolji nastajajo na morskem dnu kot produkt diagenetskih in hidrogenetskih procesov. Zaradi menjavanja kristalnega in amorfne materiala imajo gomolji zapleteno sestavo in kažejo skorjasto kolumnarno, stromatolito podobno teksturo (»struktura ohrovt«), Thiel & Schneider, 1988). Gomolje sestavljajo avtigen, terigen, vulkanski in biogen material. Pri samem nastajanju oziroma rasti gomoljev igrajo pomembno vlogo Mn/Fe razmerje v pornih raztopinah (morju) ter delež organske snovi. Slednja vpliva na delež bakterij v sedimentu, ki sodelujejo pri izločanju manganovih mineralov, 4 do 10 Å manganatov in todorokita (Buser & Grütter, 1957; Giovanoli & Arrhenius, 1988). Večji del imajo manganovi gomolji diskasto ali »krompirjasto obliko« in so zelo porozni. Poroznost lahko doseže tudi do 80 % gomolja.

Sama rast gomoljev ponavadi pričinja z obraščanjem nekega nukleusa. To je lahko mikrozrno kremenca, vulkansko steklo ali detritično zrno. Večkrat manganove skorje obraščajo tudi drobce ali cele fosile, predvsem ploščice ehinodermov, školjčne lupine, amonite in foraminifere ali pa tudi večje kose že litificiranega apnenca iz okolja, kjer prihaja do manganove mineralizacije (območja »hard-grounda«).

Sediment, na površini katerega »rastejo« gomolji, je radiolarijska glina ali karbonatno blato. Rast gomoljev je zelo počasna. Raziskovalci jo ocenjujejo na 1-4 mm/milijon let v glinasti osnovi in na 3.6 mm/10⁶y v karbonatnem blatu (Müller & Mangini, 1980; Mangini, 1988), izjemoma v nekaterih ekvatorialnih predelih pa tudi do 25 mm/milijon let. Ko matični sediment izgubi poltekočo konsistenco, tako da je pretok pornih raztopin močno zmanjšan in upočasnen, gomolji prenehajo rasti. Ko so prekriti z nekaj do 20 cm novega sedimenta, oziroma ko preide gomolj iz oksidacijskega v redukcijsko okolje, se prično raztapljati in Mn se seli nazaj proti površini sedimenta, medtem, ko železo in ostali metali ostanejo v sedi-

mentu. Tako pride do cikličnega kroženja Mn- ionov, izločanja manganovih mineralov na površini sedimenta in do njihovega raztapljanja pod površjem (Lynn & Bonatti, 1965; Mangini, 1988).

Diskusija in zaključki

Če strnemo ugotovitve terenskih in laboratorijskih raziskav železovomanganovih gomoljev in manganovih plasti iz slovenskega dela Julijskih Alp in Karavank, ugotavljamo, da so zgornjeliasni apnenci pelagičnega razvoja, v katerih se ti pojavljajo, na več lokalnostih.

Gomolji se pojavljajo v različnih oblikah, največkrat kot veliki, nekaj do 12 cm veliki primerki diskaste oblike, mestoma pa tudi kot manj kot 2 mm veliki mikrogomolji ter inkrustacije fosilnih drobcev, predvsem ploščic ehinodermov. V njihovi mineralni sestavi nastopajo piroluzit, psilomelan, manganit, todorokit in hausmannit. Delež Mn v raziskanih vzorcih niha med 0,8 in 3,5 %, delež Fe pa doseže do 1,7 % Fe. V nekaterih gomoljih železo nad manganom tudi prevladuje.

Spodnjejurski apnenci, v katerih se pojavljajo železovomanganovi gomolji, kažejo sličen mikrofacies kot enaki apnenci z Mn-mineralizacijo v Severnih Alpah.

Na Mangartu in na Begunjsčici nastopa manganovo orudenje v tanjši plasti znotraj paketa skrilavih glinovcev in lapornatih apnencev. Delež MnO v rudi znaša 45 %.

Zanimivo vprašanje, ki si ga danes zastavljajo raziskovalci, je okolje nastanka železovomanganovih gomoljev in zakaj se ti pojavljajo na prostoru Tetide le v juri? Sicer so podobni nodularni rdeči pelagični apnenci znani iz kambrijskega obdobja v Španiji, devonski nodularni in cefalopodni apnenci (»griotte«) iz Francije ter srednjetrijski amonitni in kondenzirani apnenci iz Alp in Notranjih Dinaridov, vendar so železovomanganovi gomolji razviti le v jurskih apnencih (Bernouilli & Jenkyns, 1974; Jenkyns, 1978). Verjetno so bile na prostoru zahodne Tetide v tem obdobju posebne razmere, v katerih so bili združeni tako paleogeografski, geokemični in diagenetski parametri, da so se gomolji ohranili.

Prvotno so menili, da je bilo okolje nastanka jurskih apnencev, v katerih se pojavljajo manganovi gomolji, globlje morje. Novejše

raziskave (Jenkyns, 1970, 1974; Wendt, 1974) pa zagovarjajo tudi mnogo manjše globine morja, tudi le do samo nekaj deset ali sto metrov. To povezujejo z ugotovitvami, da se med plastmi tipa »amonitico rosso« pojavljajo občasno stromatolitne plasti, pa tudi dejstvo, da leže liasni rdeči apnenci običajno tik nad svetlimi dachsteinskimi apnenci.

Manganovi gomolji so na prostoru Tetide redno vezani na stratigrafsko kondenzirane plasti, katere kažejo znake izluževanja in »hardgrounda«. Taka območja z brez ali z zelo pičlo sedimentacijo so bili podvodni platoi, ki so bili ob prelomih potopljani različno globoko, včasih le nekoliko.

Na sliki 6 je shematsko prikazan paleogeografski razvoj Julijske in Dinarske karbonatne platforme z vmesnim Slovenskim bazenom in predviden položaj nastanka manganovih gomoljev ter Mn-orudenja. Medtem, ko naj bi na podvodnih platojih nastajali manganovi gomolji (a), ki so predmet tega članka, pa je v vmesnih globljih jarkih prišlo do manganskega plastovitega orudenja (b), kakršnega poznamo z Mangarta in z Begunjsčice.

Zakaj so gomolji danes sploh ohranjeni? Znano je, da se recentni železovomanganovi gomolji pojavljajo le na oceanskem dnu. Ko so prekriti s tanjšo plastjo sedimenta, pride do njihovega raztapljanja in do ciklične migracije manganovih ionov, kateri se ponovno vgrajujejo v nove gomolje na meji oksidirani sediment/voda (Lynn & Bonatti, 1965). Ohranjeni gomolji v apnencu zato z verjetnostjo kažejo, da je prišlo po njihovem nastanku do relativno hitrih fizikalno-kemičnih sprememb v sedimentu, ki so preprečile njihovo raztapljanje že v času zgodnje diageneze.

Zahvala

Avtorji se lepo zahvaljujemo prof. Simonu Pircu za koristne sugestije pri nastanku članka in njegov prevod v angleški jezik. Zahvala velja tudi Andreju Stoparju za izdelavo mikroskopskih preparatov, Mladenu Štumbergarju za pripravo rentgenskih preparatov, Stanetu Zakrajšku in Bernardi Bole pa za računalniško obdelavo slik in tehnično pomoč pri končni verziji članka. Raziskave so del programa P1-0025/215 (Sedimento-

logija in mineralne surovine), ki ga financira Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije.

Manganese nodules in Jurassic limestone of the Southern Alps in Slovenia

Introduction

One of the stratigraphic and sedimentologic peculiarities of the Slovenian part of the Southern Alps are reddish limestones of Jurassic age in which manganese nodules occur. These beds outcrop at several localities (fig. 1), largely with Mn-nodules (Buser, 1986; Jurkovšek, 1987), and in places with layered and vein type manganese mineralization, as on Mt. Mangart (Jurkovšek et al., 1990; Šmuc, 2005) and Begunjščica (Teller, 1989; Buser, 1980). In Julian Alps beds with Mn-nodules were found in the Valley of Triglav lakes, on southern slopes of Bavski Gamsovec, at the lake in Lužnica, in the Slatenik brook by Čezsoča, and in the surroundings of Bovec on southern slopes of Mt. Rombon and in the Koritnica valley.

In the alpine region the beds and formations with manganese mineralizations are known as "ammonitico rosso" and "Knollen-Kalke" which were during Jurassic of considerable extension in the Mediterranean region of Tethys, from Sicily to Northern Limestone Alps and Hungary (Jenkyns, 1970, 1971, 1978; Wendt, 1970; Jürgen, 1969; German, 1971; Vörös, 1991; Haas, 2001). On figure 2 are shown localities of outcropping Jurassic beds that contain Mn nodules in the Mediterranean region (Jenkyns, 1970) with localities in the Slovene Southern Alps added. Their genesis is explained as a product of reduced sedimentation of the "hard ground" type.

In our investigations special attention was paid to Mn nodules in the Valley of the Triglav lakes, in Lužnica near Mt. Krn, in the Slatenik brook on the northern slope of Mt. Polovnik, and in the surroundings of Bovec (fig. 1).

The aim of this investigation was to establish, along with the basic petrographical and mineralogical characteristics of Mn-nodules, and the facies of surrounding rocks, especially their diagenetic characteristics

and geochemistry with respect to the recent Mn concretions in oceans.

Stratigraphic position of beds containing manganese nodules

At the end of Middle Lias in the wider region of Southern Alps the formerly stable and unique Julian carbonate platform disintegrated (Buser, 1987). On this platform during the Upper Triassic shallow limestones of the Lofer development were deposited, and during Lower and Middle Liasic biomicritic, biosparitic and oosparitic limestones. On carbonate blocks which were uplifted above the sea level intensive karstification of limestone began. During this event the large part of the Lower and Middle Lias limestone was chemically corroded by solution cavities. Therefore this limestone is preserved only in the surroundings of Bovec, Krn and Mangart. Elsewhere the considered Upper Lias limestone which contains Mn nodules immediately overlies the Upper Triassic Dachstein limestone.

On the subsided carbonate blocks condensed sedimentation of reddish biomicritic limestones took place. Deepening of the carbonate platform was a global event that most probably occurred everywhere at the same time. On Mt. Begunjščica ammonites were found that place this event in Upper Lias, in Toarcian.

In the following important localities of manganese nodules are briefly described:

The Triglav lakes valley. The red Upper Lias Toarcian limestones overlie Dachstein limestone in the Lofer development. Jurassic beds begin with red, largely crinoidal limestone with intercalated micritic limestone containing numerous bivalves and filaments. Approximately 40 cm above contact occur in crinoidal limestone the manganese nodules that display concentric structure. They can be observed along the mountain path north of the alpine hut at the Triglav lakes. Thickness of the Mn-nodules horizon attains 3 metres. Upward follows nodular limestone of the »ammonitico rosso« type containing numerous not yet determined ammonites. Above this limestone lies the Dogger-Lower Malm radiolarian horizon, and above it a package of Tithonian-Berriasian limestone with calpionellas (the »biancone« beds).

The Lake in Lužnica. At the lake in Lužnica southeast of Krn occur in Lower Lias oolitic limestone up to 10 metres deep and 30 cm wide fissures that are filled in the form of sedimentary dikes by crinoidal limestone and variegated limestone breccias. Within them appears a thin bed of micritic limestone with manganese nodules and irregular manganese crusts.

Ravni Laz. At Ravni Laz northeast of Bovec occurs above the white Lower Liassic biosparitic limestone around 2 m of red crinoidal-micritic limestone with numerous filaments and with manganese mineralization.

Koritnica. In the Koritnica valley below Kluže, east of Bovec, in rocks along the water above the Lower Liassic oolitic limestones the Toarcian micritic limestone with filaments can be observed. In it occur rare, up to 5 cm thick nodules of greyish brown colour (fig. 3). A single chemically examined nodule contains 2.1 % Fe and only 0.3 % Mn, so in this specific case we have matter with ferromanganese nodules.

Slatenik. In the Slatenik ravine at Čezsoča in northern slope of Mt. Polovnik occurs a several decimetres to 2 m thick horizon of rosy limestone with extremely beautiful manganese nodules, up to 12 cm across, in places touching each other (fig. 4). This limestone overlies in stratigraphic hiatus conformingly the light Lower Liassic oolitic limestone. Laterally it is overlain by reddish Upper Cretaceous marly limestones with globotruncanas (»scaglia«) or by flysch beds.

Mt. Bavški Gamsovec. On southern slope of Bavški Gamsovec, north of the Luknja pass, are found at the mountainous path in a several m² sized rock of reddish Toarcian limestone up to 5 cm large black-brown manganese nodules.

Mt. Mangart. Ferromanganese nodules on Mangart were examined in a 30 cm thick bed of manganese ore that occurs within a 15 metres thick carbonate-clastic succession on the Mangart pass (fig. 5). This package appears directly on the shallow-water biomicritic and oolitic Lias limestone. Between crinoid limestone and marly limestone with radiolarians occur manganese shale, radiolarite and mudstone. These beds are colored black by manganese oxides pyrolusite, cryptomelane and todorokite. The MnO grade of the examined sample is 45 %, of FeO 8 %, the rest accounted by quartz (ca

15 %) and clay minerals. The nodules on Mt. Mangart measure 2-3 cm across, and they are intensely silicified.

Mt. Begunjščica. Toarcian Jurassic beds in southern slopes of Begunjščica in deep marine facies occur above stratigraphic hiatus on Upper Triassic coral-stromatoporiid limestone. The gap is indicated by neptunian dikes in the Upper Triassic limestone. The dikes are filled by variegated Jurassic breccia or crinoidal limestones. Jurassic beds consist of red to greyish nodular limestone of the »ammonitico rosso« type. Above these follow grey platy limestones with chert. In the lower part of red limestones occurs a bed of shaly mudstone mineralized with manganese ore. The ore contained even to 60 % manganese. In rare places in the limestone also spheric manganese nodules are found. In limestones below and above the ore characteristic Toarcian ammonites were found. Ammonites indicate the emersion, and occurrence of nodular limestones with manganese nodules was started in Upper Lias, in Toarcian.

Lithology and microfacies

Below the Upper Liassic reddish limestone with Mn-nodules a several hundred meters thick package of Upper Triassic Dachstein limestone or Lower to Middle Liassic limestone. The beds were deposited in a shallow open shelf with temporary intertidal conditions, and display all characteristics of the Lofer development (Buser, 1986, 1987; Ogorelec & Buser, 1991). According to its structure, the limestone from the immediate base is as intrapelmicrite with numerous thin dessication pores and agglomerations of non-skeletal algae.

Typical for Jurassic beds of the condensed facies is the reddish color of rock which varies from light orange red to dark brown red. According to structure the limestone is attributed to biomicrite of the wackestone-packstone type. The matrix of the rock consists of dense micrite of allochems only fossils are present. Most frequent are fragments of echinoderms, less abundant are pelecypods (thin walled shells), microgastropods and foraminifers, and in traces juvenile ammonites and calcitized radiolarians (tab. 1, figs. 1, 4-6; tab. 2, figs. 1, 2).

Crinoid plates are locally so abundant that the limestone can be named "crinoidal". The energy index of limestone is low to very low. The degree of deposition was low which permitted accumulation of the described organic skeletons.

The reddish color of limestone is due to the admixture of iron and manganese oxides. They occur with clay minerals as pigment in the matrix, more concentrated are in numerous stylolitic sutures. The carbonate content in the investigated limestone varies between 86 and 97%. In certain samples substitution of calcite by authigenic quartz can be observed, mostly calcite from echinoderm plates and pelecypod valves.

Manganese nodules

Manganese nodules are of concentric shape, somewhat flattened, measuring several mm to 12 cm in diameter, and mostly between 3 and 5 cm. They can be distinguished macroscopically from the encasing rock by their darker brownish color, and by their positive relief on weathered surfaces (fig. 4).

Under microscope the nodules display numerous, 10 to 30 μm thick concentric envelopes with stromatolitic structure (tab. 2, figs. 3-5) which is typical also for recent manganese nodules ("cauliflower structure", Thiel & Schneider, 1988). X-ray and chemical analyses indicate among the components in nodules low magnesium calcite and goethite, and manganese minerals psilomelane, manganite and hausmannite. In traces occur clay minerals and quartz.

Manganese content in the 12 examined nodules is relatively low, and varies between 0,82 and 3,45% Mn and 0,03 to 1,7 % Fe, whereas the limestone of the enclosing rock contains between 0,04 and 0,07 % Mn and 0,01 to 0,08 % Fe. In cases, where Fe is prevailing over manganese, we can use the terminus ferromanganese nodules.

For comparison, the nodules from different studied localities Jurassic limestone in Northern Alps contain between 0.05 and 24% Mn and 0.1 to 17% Fe (Wendt, 1970, 1973; Böhm, 1992) and manganese nodules from equivalent beds in Sicily up to 40 % Mn and 50 % Fe (Jenkyns, 1978).

Certain nodules from investigated beds have no core. In these, concentric growth

and structure can be observed up to the center. In other nodules, however, the manganese crusts overgrow fragments of micritic and biomicritic limestone up to 1 cm in diameter (tab. 1, figs. 2, 3). Wrinkled structure of crusts was earlier explained by dehydration of goethite and its transition to hematite during diagenetic processes, which resulted into a reduction of volume (e.g. Jürgen, 1969; Mangini, 1988). Recent studies indicate the primary character of the wrinkled structure. It is attributed by researchers to the activity of bacteria and other chemolithotrophic organisms during the process of genesis of nodules (Monty, 1973; Wendt, 1974; Thiel & Schneider, 1988). Monty refers these nodules as "oceanic manganese stromatolites".

Discussion and Conclusions

The manganese nodules from the study area of the Slovenian part of Julian Alps occur in Upper Lias biomicritic reddish limestones of pelagic development. They are often associated with condensed beds overlying Dachstein limestone. They occur as up to 12 cm large specimens of discoid shape, and in places also as up to 2 mm large micronodules and incrustations of fossil fragments, especially plates of echinodids. Their mineral composition comprises pyrolusite, psilomelane, manganite, todorokite and hausmannite. The Mn contents in examined samples varies between 0.8 and 3.5 %, while that of Fe attains at most 1.7 %. In certain nodules iron predominates above manganese.

On Mts. Mangart and Begunjščica manganese ore occurs in a thinner layer within a package of shales and marly limestones. MnO contents in ore from Mangartu averages 45 %, and on Bergunjščica up to 60 %.

Middle Jurassic limestones with ferromanganese nodules are of a similar microfacies as analogous limestones with Mn-mineralisation in Northern Alps.

The interesting question posed at present by researchers concerns the environment of forming of the ferromanganese nodules, and farther, why they appear in the Tethyan realm only in the Jurassic? Otherwise are similar nodular red pelagic limestones known also from the Cambrian times of Spain, Devonian nodular and cephalopod limestones (»griot-

te») from France, and Middle Triassic ammonitic and condensed limestones from the Alps and Internal Dinarides, but the ferromanganese nodules are developed in Jurassic limestones only (Bernoulli & Jenkyns, 1974; Jenkyns, 1978). Most probably in the realm of the western Tethys at this time special conditions existed in which specific paleogeographic, geochemical and diagenetic parameters made possible preservation of the nodules.

Manganese nodules are in the Tethyan region regularly associated with stratigraphically condensed beds with indications of leaching and »hard ground«. Such areas without or with very modest sedimentation were submarine plateaus that were submerged along faults to various depths, at times not very deep. Figure 6 shows schematically the paleogeographic evolution of Julian and Dinaric carbonate platforms with the intermediate Slovenian basin, and supposed position of formation of manganese nodules and Mn ore. While on submarine plateaus manganese nodules (a) formed, the subject of this paper, whereas in intermediate deeper ditches the layered manganese ores formed (b), as known from Mangart and Begunjštica.

Literatura – References

- Ahrens, L.H., Willis, J.P. & Oosthuizen, M. 1967: Further observations on the composition of manganese nodules, with particular reference to some of the rarer elements. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, 2169-2180, New York.
- Babić, Lj. 1980/81: 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 za geol. i geof. istaz. A - Geologija*, 38/39, 59-88, Beograd.
- Bender, M.L. 1972: Manganese nodules. In: R.W. Fairbridge (ed.) - *The encyclopedia of geochemistry and environmental sciences*. - Dowden, Hutchinson & Ross Inc., 673-677.
- Bernhard, H.H. & Blissenbach, E. 1988: Economic Importance. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 4-9, Stuttgart.
- Bernoulli, D. & Jenkyns, H.C. 1974: Alpine, Mediterranean and Central Atlantic Mesozoic facies in relation to the early evolution of the Tethys. In: R.H. Dott & R.H. Shaver (eds.) - *Modern and Ancient Geosynclinal Sedimentation*. - Soc. Econ. Paleont. Mineral. Spec. Publ. 19, 129-160. Tulsa.
- Bonatti, E. & Nayudu, J.R. 1965: The origin of manganese modules on the ocean floor. - *Amer. J. Science*, 263, 17-39, Washington.
- Böhm, F. 1992: Mikrofazies und Ablagerungsmilien des Lias und Dogger der Nordöstlichen Kalkalpen. - *Erlanger geol. Abh.*, 121, 57-217, Erlangen.
- Böhm, F., Ebli, O., Krystin, L., Lobitzer, H., Rakus, M. & Siblik, M. 1999: Fauna, Stratigraphy and Depositional Environment of the Hettangian-Sinemurian (Early Jurassic) of Adnet (Salzburg, Austria). - *Abh. Geol. B.-A.*, 56/2, 143-271, Wien.
- Bolton, B.R., Exon, N.F., Ostwald, J. & Kudrass, H.R. 1988: Geochemistry of ferromanganese crusts and nodules from the South Tasman Rise, Southeast of Australia. - *Marine Geol.* 84, 53-80, Amsterdam.
- Buser, S. 1986: Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine), OGK 1:100.000, 1-103, Beograd.
- Buser, S. 1987: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian Basin - *Mem. Soc. Geol. It.*, 40, 1989 313-320, Roma.
- Buser, S. 1980: Tolmač lista Celovec (Klagenfurt), OGK 1:100.000, 1-62, Beograd.
- Buser, W. & Gräter, A. 1957: Untersuchungen an Mangansedimenten. - *Chimia*, 11, 132-133.
- Cronan, D.S. & Tooms, J.S. 1969: The geochemistry of manganese nodules and associated pelagic deposits from the Pacific and Indian Ocean - *Deep Sea Res.*, 16, 335-359.
- Cronan, D.S., Galacz, A., Mindszenty, A., Moorby, S.A. & Polgáry, M. 1991: Tethyan ferromanganese oxide deposits from Jurassic rocks in Hungary. - *Jour. Geol. Soc. London*, 148, 655-668, London.
- Germann, K. 1971: Mangan-Eisen-führende Knollen und Krusten in jurassischen Rotkalken der Nördlichen Kalkalpen. - *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 3, 133-156, Stuttgart.
- Grimšičar, A. 1962: Geologija Doline triglavskih jezer. - *Varstvo narave*, 1, Ljubljana.
- Giovanoli, R. & Arrhenius, G. 1988: Structural Chemistry of Marine Manganese and Iron Minerals and Synthetic Model Compounds. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 20-36, Stuttgart.
- Hass, J. 2001: Pelso Mega-Unit. Deep pelagic sediment deposition in the Toarcian - Late Jurassic interval. In: J. Haas (ed.) - *Geology of Hungary*. - Hung. Acad. Sci., 61-64, Budapest.
- Halbach, P., Friedrich, G. & von Stackelberg, U. (eds.) 1988: *The manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 254 p. Stuttgart.
- Halbach, P. & Puteanus, D. 1988: Distribution of Ferromanganese Deposits. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 10-16, Stuttgart.
- Heim, A. 1924: Ueber submarine Denudation und chemische Sedimente. - *Geol. Rundschau*, 15, 1-47, Stuttgart.
- Hein, J.R. & Koski, R.A. 1987: Bacterially mediated diagenetic origin for chert-hosted manganese deposits in the Franciscan Complex, California Coast Ranges. - *Geology*, 15, 722-726, Boulder.
- Ingri, J. 1985: Geochemistry of ferromanganese concretions in the Barents Sea. - *Marine Geol.*, 67, 101-119, Amsterdam.
- Jenkyns, H.C. 1970: Fossil Manganese Nodules from the West Sicilian Jurassic. - *Eclogae geol. Helv.*, 63/3, 741-774, Basel.

- Jenkyns, H.C. 1971: Speculations on the Genesis of Crinoidal Limestones in the Tethyan Jurassic. - *Geol. Rundschau*, 60/2, 471-488, Stuttgart.
- Jenkyns, H.C. 1974: Origin of red nodular limestones (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic: a diagenetic model. In: Hsü K.J. & H.C. Jenkyns (eds.) - *Pelagic Sediments: on land and under the sea*. - Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 1, 249-271, Oxford.
- Jenkyns, H.C. 1978: Triassic-Jurassic red, grey and white limestone, manganese nodules, pelagic "oolites" and cherts from the Tethyan region. In: H.G. Reading (ed.) - *Sedimentary Environments and Facies*. - Blackwell Sci. Publ., 355-361, Oxford.
- Jürgen, H. 1969: Sedimentologie des Lias der Berchtesgadener Kalkalpen. - *Geol. Rundschau*, 58, 464-501, Stuttgart.
- Jurkovšek, B. 1987: Tolmač listov Beljak in Ponteba, OGK 1:100.000, 1-58, Beograd.
- Jurkovšek, B., Šribar, L., Ogorelec, B. & Kolar-Jurkovšek, T. 1990: Pelagic Jurassic and Cretaceous beds in the western part of the Julian Alps. - *Geologija*, 31/32, 285-328, Ljubljana.
- Krainer, K., Mostler, H. & Haditsch, J.G. 1994: Jurassische Beckenbildung in den Nördlichen Kalkalpen bei Lofer (Salzburg) unter besonderer Berücksichtigung der Manganerz-Genese. - *Abh. Geol. B.-A.*, 50, 257-293, Wien.
- Kuščer, D., Grad, K., Nosan, A. & Ogorelec, B. 1974: Geološka zgradba Soške doline med Bovecem in Kobaridom. - *Geologija*, 17, 425-476, Ljubljana.
- Lynn, D.C., Bonatti, E. 1965: Mobility of manganese in diagenesis of deep-sea sediments. - *Marine Geology*, 3, 457-474, Amsterdam.
- Mangini, A. 1988: Growth Rates of Manganese Nodules and Crusts. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 142-150, Stuttgart.
- Mero, J.L. 1965: The mineral resources of the Sea. - Elsevier, 312 p., Amsterdam.
- Mihajlović, M. & Ramovš, A. 1965: Liadna cefalopodna favna na Begunjski v Karavankah. - *Razp. IV. Razr. SAZU*, 8, Ljubljana.
- Monty, C. 1973: Les nodules de manganèse sont des stromatolithes océaniques. - *C.R. Acad. Sci. Paris, Série D*, 276, 3285-3288, Paris.
- Müller, P.J. & Mangini, A. 1980: Organic carbon decomposition rate, and sedimentary organic matter in the oceans. I. Organic carbon preservation. - *Deep-Sea Res.*, 26/A, 1347-1362, Washington.
- Müller, P.J., Hartmann, M. & Suess, E. 1988: The Environment of Manganese Nodules. The Chemical Environment of Pelagic Sediments. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 70-89, Stuttgart.
- Mindszenty, A., Galacz, A., Dodony, I. & Cronan, D.S. 1986: Paleoenvironmental Significance of Ferromanganese Oxide Concretions from the Hungarian Jurassic. - *Chem. Erde* 45, 177-190, Jena.
- Monty, C. 1973: Les nodules de manganèse sont des stromatolithes océaniques. - *C.r. hebd. séance. Acad. Sci.* 276, 3285-3288, Paris.
- Ogorelec, B. 1970: Kredni fliš Gornjega Posočja. - *Arhiv NTF, Odsek za geologijo, Univ. Ljubljana (diplomsko delo)*, 62 p., Ljubljana.
- Ogorelec, B. & Buser, S. 1996: Dachstein Limestone from Krn in Julian Alps (Slovenia). - *Geologija*, 39, 133-157, Ljubljana.
- Ramovš, A. 1985: Geološke raziskave severnih Julijskih Alp in njihov biostratigrafski razvoj. - *Jeklo in ljudje; Jeseniški zbornik*, 5, 391-428, Jesenice.
- Salopek, B. 1933: O gornjoj juri u Dolini triglavske jezera. - *Radovi JAZU* 76, 110-117, Zagreb.
- Selli, R. 1963: Schema geologico delle Alpi Carniche e Giulie occidentali. - *Annali Museo Geol. Bologna, Ser. 2a*, 30, 1-136, Bologna.
- Schnier, C., Maschig, G.V. & Gundlach, H. 1981: The Chemical Composition of Sea Water and Pore Water in the Manganese Nodule Area of the Central Pacific. - *Geol. Rundschau*, 70/3, 1152-1163, Stuttgart.
- Sorem, R.K. & Fewkes, R.H. 1979: Manganese Nodules. Research Data and Methods of Investigation. - *IFI/Plenum Data Comp.*, 723 p., New York.
- Stoffers, P., Sioulas, A., Glasby, G.P., Schmitz, W. & Mangini, A. 1984: Sediments and Micronodules in the Northern and Central Peru Basin. - *Geol. Rundschau*, 73/3, 1055-1080, Stuttgart.
- Šmuc, A. 2005: Jurassic and Cretaceous stratigraphy and sedimentary evolution of the Julian Alps, NW Slovenia. - *Založba ZRC, ZRC-SAZU*, 98 p., Ljubljana.
- Teller, F. 1899: Das Alter der Eisen- und Manganerz-führende Schichten im Stou- und Vignusca an der südseite der Karawanken. - *Verh. Geol. R.A.* 24, Wien.
- Thiel, H. & Schneider, J. 1988: Manganese Nodule - Organism Interactions. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 102-109, Stuttgart.
- von Stackelberg, U., Marchig, V., Halbach, P. & Puteanus, D. 1988: Principles of Nodule Field Formation. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 159-166, Stuttgart.
- Vörös, A. 1991: Hierlatzkalk - a Peculiar Austro-Hungarian Jurassic Facies. In: H. Lobitzer & G. Császár (eds.) - *Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich - Ungarn, Teil 1*, 145-154, Wien.
- Wendt, J. 1970: Stratigraphische Kondensation in triadischen und jurassischen Cephalopodenkalken der Tethys. - *N. Jahr. Paläont. Abh.*, 135/2, 171-189, Stuttgart.
- Winkler, A. 1920: Das mittlere Isonzogebiet. - *Jahr. Geol. Staatsanst.* 70/1-2, 11-124, Wien.
- von Stackelberg, U., Marchig, V., Halbach, P. & Puteanus, D. 1988: Principles of Nodule Field Formation. In: P. Halbach, G. Friedrich & U. von Stackelberg (eds.) - *The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean*. - F. Enke Verl., 159-166, Stuttgart.
- Wendt, J. 1974: Encrusting organisms in deep sea manganese nodules. In: K. J. Hsü & H. G. Jenkyns (eds.) - *Pelagic sediments: on land and under the sea*. - Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 1, 437-447, Oxford.

Dacite – siltstone peperite from Trlično at Rogatec, Eastern Slovenia

Peperit dacita in meljevca iz Trličnega pri Rogatcu

Polona KRALJ

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

Key words: Tertiary volcanics, peperite, dacite, zeolites, analcime, Slovenia

Ključne besede: terciarni vulkaniti, peperit, dacit, zeoliti, analcim, Slovenija

Abstract

Dacitic glassy lava flow at Trlično is surrounded by a dacite – siltstone peperite and peperitic breccia that underwent alteration, recognised in two, only a few metres thick zones. In the higher-temperature alteration zone, albite extensively replaces volcanic glass and primary plagioclases. The siltstone components are altered to microcrystalline quartz, iron oxides and interlayered illite/smectite clay minerals. This zone developed upon thermal metamorphism related to the transfer of heat from the cooling lava. In the lower temperature alteration zone, analcime occurs as the replacement of volcanic glass and pore- and fissure-filling, while the primary plagioclases and poorly lithified siltstone remained fairly unchanged. This zone developed under hydrothermal conditions related to the heating, circulation and reactions of pore waters in the sediment surrounding the lava flow.

Kratka vsebina

Dacitno steklasto lavo pri Trličnem obkrožata peperit dacita in meljevca in peperitna breča, ki sta spremenjena v dveh, le nekaj metrov širokih conah. V višjetemperaturni coni albit močno nadomešča vulkansko steklo in primarne plagioklaze. Meljasta sestavina je spremenjena v mikrokristalni kremen, železove okside in glinene minerale z zmesno strukturo vrste illit-montmorillonit. Ta cona je nastala s kontaktno, termično metamorfozo vezano na toplotni tok, ki je izvirala iz ohlajajoče se lave. V nižjetemperaturni coni pa se pojavlja analcim, ki nadomešča vulkansko steklo in zapolnjuje pore in manjše razpoke v kamnini. Primarni plagioklazi in meljasta sestavina sta skoraj nespremenjeni. Ta cona je nastala pod hidrotermalnimi pogoji zaradi pregrevanja, kroženja in reaktivnosti pornih raztopin v okolnem sedimentu lavinega toka.

Introduction

Peperites are volcanoclastic rocks developed by mixing of lava or magma and the enclosing soft sediment (Cas & Wright, 1987; Fisher & Schmincke, 1985; McPhie et al., 1993). They are characterised by interesting fluidal textures and distinct globular clast forms, and also, by alte-

ration and authigenic mineralisation related to intensive heat transfer from the cooling lava or magma to the enclosing sediment.

In Slovenia, peperites and peperitic or intrusive hyaloclastites were recognised in the Tertiary volcanic complex of Smrekovec (Kralj, 1996). While the identification of andesite – siltstone peperites is relatively easy, andesite – tuff, and particularly ande-

site – resedimented tuff peperites commonly involve many ambiguities. Alteration and the formation of zeolites and other authigenic minerals additionally complicate their recognition (Kralj, 1998).

A thin layer of peperite occurs in the Trobni Dol area in the marine siltstone termed “sivica” that overlies an over 100 m thick horizon of pyroclastic flow deposits (Kralj, 1999). The terminating stage of volcanic activity was non-explosive and produced a thin glassy lava flow which underwent entirely autoclastic fragmentation and mixing with the underlying marine silt. Silt fluidisation is well seen by redistribution of organic matter from a dispersed form into layers and elongate lenses oriented parallel to the flow direction.

Peperites and other autoclastic rocks in the Rogaška Slatina and Rogatec volcanic areas (Fig. 1) are poorly studied. Their recognition is very difficult owing to the impact of intensive tectonic activity and alteration. At Trlično, the process of mixing of dacite and siltstone can be traced from the parts of the lava flow with almost completely assimilated silt, to the peperite zone and the lava flow margins with dacite hyaloclasts dispersed in the surrounding sediment forming peperitic breccias. This contribution deals with the rock petrography, their mode of formation and alteration accompanying the interaction of hot lava and the enclosing water-saturated sediment.

Brief outline of geological setting

The Rogaška Slatina and Rogatec area belongs to the south-western margins of the Pannonian Basin. Pre-Tertiary basement mainly consists of Mesozoic carbonates and interstratified volcanic rocks. The oldest Tertiary deposits are Eocene limestone and calcarenites. Their erosional remains outcrop north of Rogaška Slatina. Oligocene deposits are developed as marine silts, siltstones, and subordinate fine-grained sandstones, marls and claystones. Volcanic activity seemingly started in Upper Oligocene, and persisted discontinuously until Eggenburgian. The magma composition varied in time from andesitic to dacitic and rhyodacitic. During the Eggenburgian time, some hundred metres thick sandstone deposits ac-

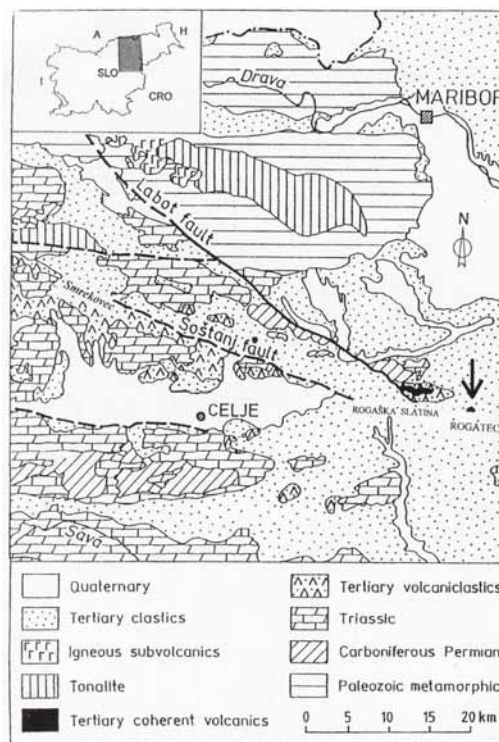


Fig. 1. Simplified geological map of the eastern Slovenia (modified after Aničić, B. & Juriša, M. 1985; Buser, S. 1978), and detailed geographic position of Trlično.

cumulated at Macelj and Log (up to about 500 m), and Plešivec (up to 300 m), along with marine siltstone (Aničić & Juriša, 1985). Karpatian and Ottnangian sediments are missing in the area. The Badenian sequence is characterised by some ten metres thick basal layer of lithothamnium limestone and calcareous conglomerate, and it is overlain by several hundred metres thick silt and marl deposits, locally interstratified with sandstone and calcarenite. During Sarmatian, the environment changed from marine and brackish to continental. Silts and siltstones dominate, and in the upper part of the sequence, sandstones and conglomerates locally occur. South of Rogaška Slatina, Pannonian marls outcrop and they are the youngest Tertiary sediments in the area.

In the Rogaška Slatina and Rogatec area, three regional faults meet – the NW-SE trending Labot Fault from which the Donat Fault splits, the ENE-WSW trending Šoštanj Fault and the Celje Fault (Aničić & Juri-

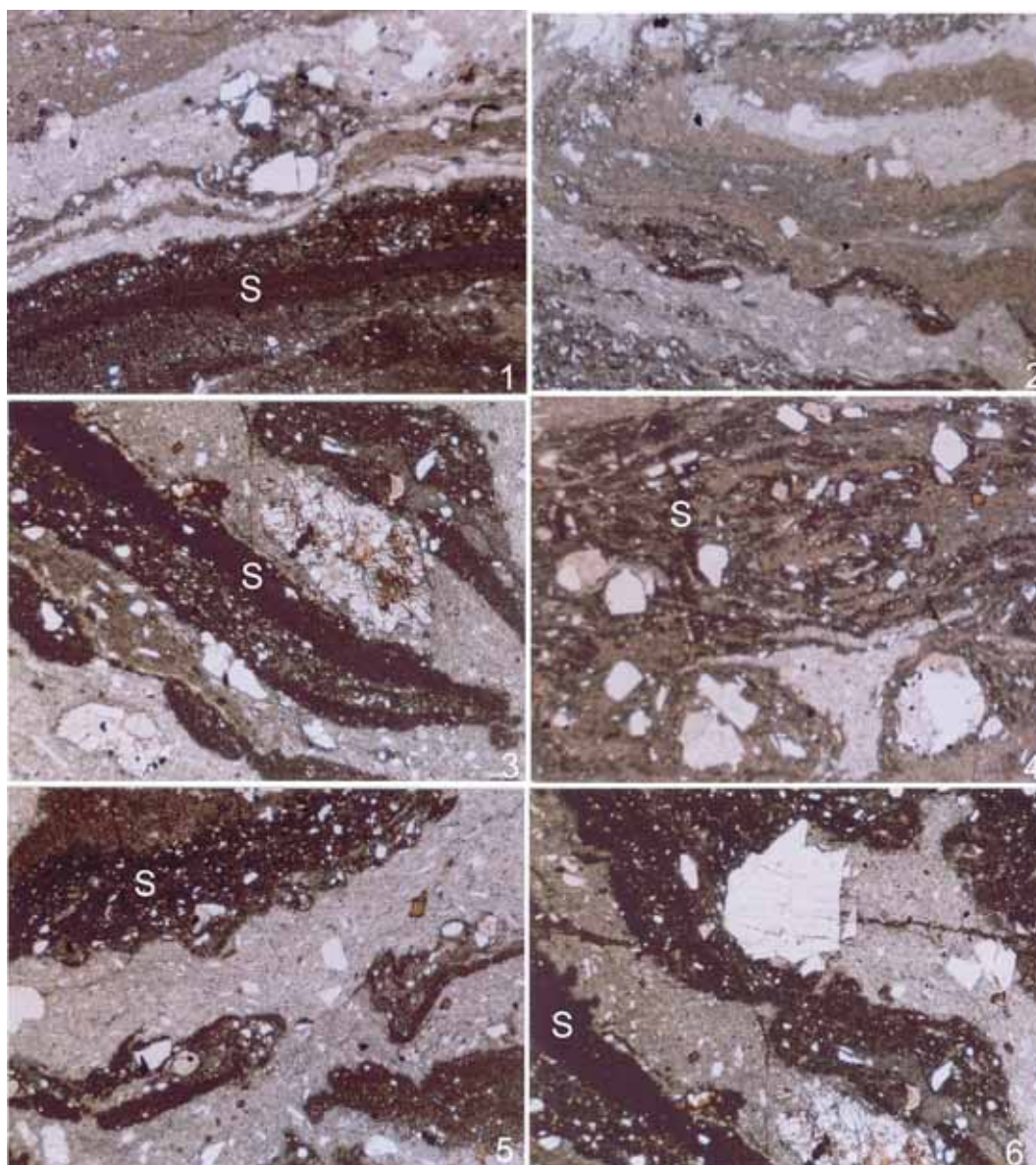
**Plate 1**

Fig. 1. Bands in a laminar lava flow with different degree of crystallinity and composition, PPL 27x

Fig. 2. The bands ending in more turbulent parts of the lava flow, PPL 27x

Fig. 3. Entrapped sediment (S) rich in organic matter, PPL 27x

Fig. 4. Peperite developed in a lateral part of the lava flow, PPL 27x. Blackish areas belong to the enclosed sediment (S)

Fig. 5. Wavy boundaries between the bands of lava and the sediment (S) possibly developed by the boiling of pore water in the sediment and assimilation reactions. PPL 27x

Fig. 6. Lava bands (lighter areas) mixing with the sediment (dark areas, S), PPL 27x

ša, 1985; Buser, 1978). The Šoštanj Fault and the Celje Fault join at Rogatec, and continue on the territory of Croatia north of Trlično (Aničić & Juriša, 1985; Aničić et al., 2002). South of the joined Celje Fault and Šoštanj Fault, effusive and explosive volcanic rocks outcrop at Trlično and Sv. Rok. Their assumed age is Egerian as indicated by the surrounding silts and siltstones (Aničić & Juriša, 1985).

Volcanic rocks at Trlično

Lava flow from Trlično is a plagioclase-augite-magnetite-phyric dacite. Groundmass consists of brownish glass in which microlites – mainly plagioclases – are set. The texture and composition are not homogenous throughout the rock (Plate 1 – Fig. 1), and indicate that magma developed by a mixing process which was not thoroughly completed by the time of extrusion to the surface (Kralj, 2002). Some lava parts, subordinate in occurrence, are more rich in groundmass microlites and contain up to 0,5 mm sized olivine microphenocrysts. The other parts of the lava flow are essentially glassy and contain less phenocrysts and much smaller microlites. By magma mixing, banding parallel to the flow direction developed. The bands can be fairly irregular, convoluted and some mm thick or regularly layered and much thinner attaining some tenths of mm. The bands may just simply end, or gradually become more and more thin, and finally mix and assimilate with another layer (Plate 1 – Fig. 2). Some plagioclases were broken during the flow, seemingly owing to the collision with other grains and/or friction related to the increase in viscosity caused by the cooling of still moving lava flow.

When magma extruded in the surrounding soft silty sediment and later moved on its surface as a lava flow, mixing and partial assimilation occurred mainly along the lava flow margins characterised by a laminar flow and very high shear between the coherent plug and the channel walls. Irregularly shaped pieces of the sediment were incorporated in the laminar part of the lava flow (Plate 1 – Figs. 3, 4), and changed their shapes into bands during the flow advance (Plate 2 – Fig. 1). These bands locally show wavy upper and lower boundaries with the enclosing lava (Plate 1 – Figs. 5, 6), and they probably originate from sediment fluidisation developed by pore water boiling. The sediment shows varying degree of alteration: in general, clayey and fine-grained silty matrix was altered preferentially with respect to the quartz grains that have commonly preserved their original crystal structure and the grain shape (Plate 2 – Fig. 1).

Outermost shells of the laminar lava flow underwent autobrecciation and the formation of hyaloclastites and peperitic breccias (Plate 2 – Figs. 2). Due to proximity to the lava flow, they underwent extensive alteration reflected in the formation of illite/sericite interlayered filosilicate minerals, albite and quartz. Authigenic minerals replace the primary constituents – plagioclases and volcanic glass, and fill the voids forming interstitial cement and veinlets. This alteration shell developed mainly by thermal metamorphism related to the heat release from the lava flow.

Some metres away from the contact with the lava flow, the intensity of hyaloclastite alteration decreases and authigenic mineral assemblage changes into analcime – illite – microcrystalline quartz (Plate 2 – Figs. 3, 4). Analcime replaces volcanic glass and plagioclases and fills the voids. The ve-

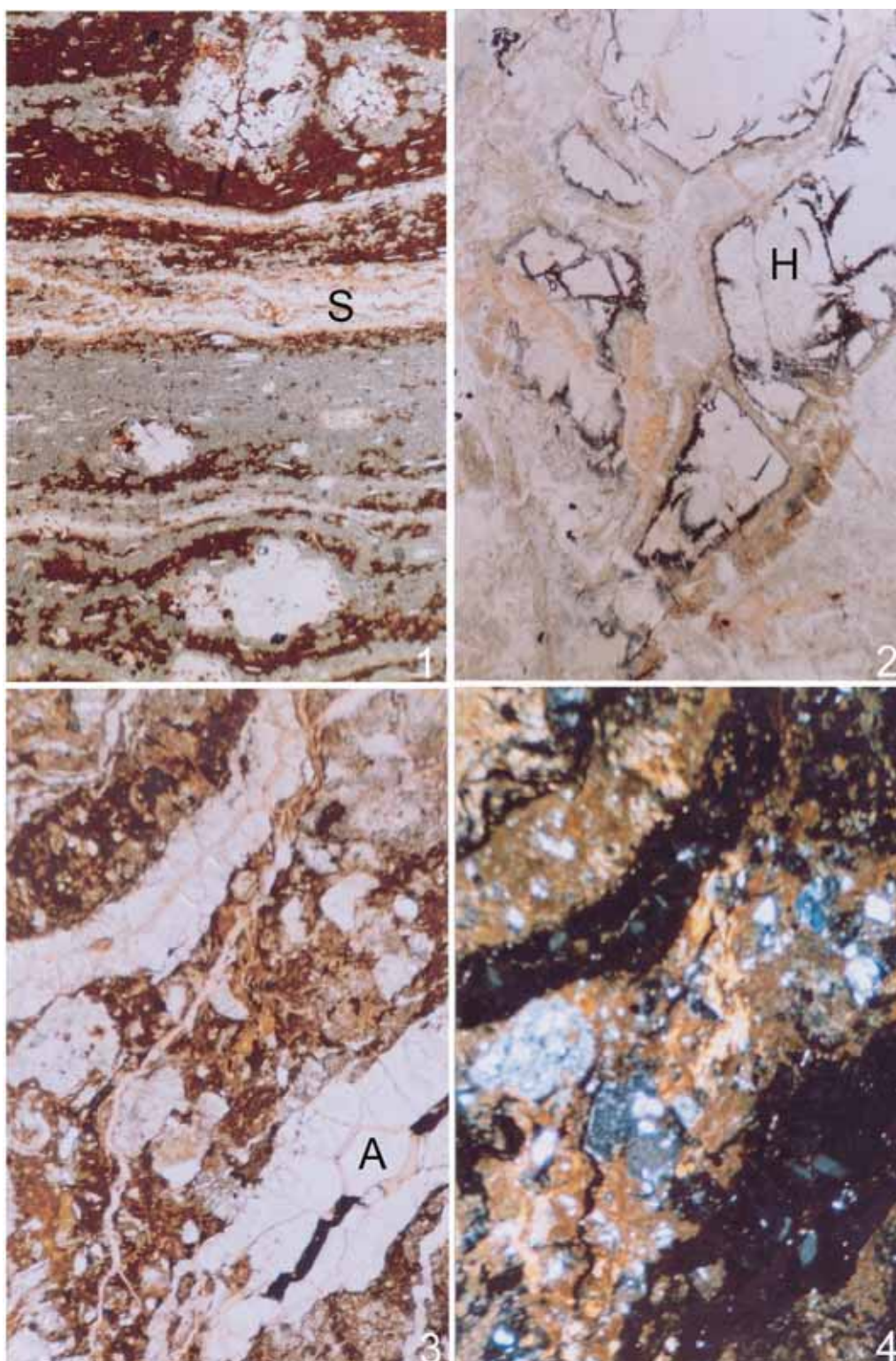
Plate 2

Fig. 1. Banded lava: the sediment is aligned in thin bands (white areas, S) and is extensively altered into quartz, albite and iron oxides (band margins). PPL 27x

Fig. 2. Peperitic breccia: lava hyaloclasts (H) and sedimentary matrix are extensively altered into quartz, albite, illite/sericite and iron oxides, PPL 27x

Fig. 3. Analcime (A) veinlets, PPL 27x

Fig. 4. The same as Fig. 3, XP



ins are some tenth of mm thick and are up to 1 mm sized. Analcime is mainly isotropic although very weak birefringence occurs in some larger crystals (Plate 2 – Fig.4). This alteration shell developed under hydrothermal conditions by the release of deuteritic fluids from the lava flow, and heating and circulation of pore fluids from the surrounding sediment. The pore fluids consisted essentially of entrapped marine water. Similar geochemical conditions of analcime development were observed in volcanoclastic rocks of Mt. Smrekovec (Kralj, 1998).

Conclusions

Dacitic lava from Trlično extruded into soft, silty, marine sediment. During the flow, some mixing occurred producing dacite – siltstone peperite and peperitic breccias. Sediment incorporated in the laminar lava flow commonly followed the flow planes becoming thinner and thinner with the flow advance. Incorporated in the laminar flow, the sediment underwent alteration into quartz, albite, sericite and iron oxides. Peperitic breccias consist of hyaloclasts and sedimentary matrix. Along the contacts with the lava flow, peperitic breccias are extensively altered into albite – quartz – interlayered illite/sericite, and some metres away into analcime, quartz and illite. The former authigenic mineral assemblage is mainly related to thermal metamorphic conditions related to the transfer of heat from the cooling lava flow. Analcime possibly developed under hydrothermal conditions generated by

heating, circulation and reactivity of pore fluids – essentially marine water entrapped in the surrounding sediments, and by eventual mixing of pore waters with deuteritic fluids released from the cooling lava flow.

Acknowledgements

The research was performed through Programme P1 0025/00215 granted by Slovenian Research Agency. I am thankful to doc. dr. Bojan Ogorelec for useful suggestions and final revision.

References

- Aničić, B. & Juriša, M. 1985: Osnovna geološka karta SFRJ, list Rogatec, 1: 100.000. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Aničić, B., Ogorelec, B., Kralj, P. & Mišič, M. 2002: Lithology of Tertiary beds in Kozjansko, Eastern Slovenia. – *Geologija* 45/1, 213-241, Ljubljana.
- Buser, S. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ, list Celje, 1: 100.000. – Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Cas, R.A.F. & Wright, J.V. 1987: Volcanic Successions. – Allen & Unwin, 528 p., London.
- Fisher, R.V. & Schmincke, H.-U. 1984: Pyroclastic Rocks. Springer – Verlag, 472 p., Berlin.
- Kralj, P. 1996: Lithofacies characteristics of the Smrekovec volcanoclastics, northern Slovenia. – *Geologija*, 39, 159-191, Ljubljana.
- Kralj, P. 1998: Zeolites in the Smrekovec volcanoclastic rocks, northern Slovenia. – *Geologija*, 40, 247-281, Ljubljana.
- Kralj, P. 1999: Volcanoclastic rocks in borehole Tdp-1/84 Trobni Dol, eastern Slovenia. – *Geologija*, 41, 135-155, Ljubljana.
- Kralj, P. 2002: Dacitic glassy lava flow from Trlično at Rogatec, Eastern Slovenia. – *Geologija*, 39, 139-144, Ljubljana.

Vpliv žgalnic živosrebrove rude iz 16. in 17. stoletja na razširjenost živega srebra v okolici Idrije

Influence of mercury ore roasting sites from 16th and 17th century on the mercury dispersion in surroundings of Idria

Mateja GOSAR¹ & Jože ČAR²

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

e-mail: mateja.gosar@geo-zs.si

²Beblerjeva 4, SI-5280 Idria, Slovenija, e-mail: joze.car@siol.net

Ključne besede: postopki žganja, živo srebro, Idria, onesnaženje, geokemija, Slovenija
Key words: ore roasting, mercury, pollution, geochemistry, Slovenia

Abstract

In the first decade of mercury mining in Idria the ore was roasted in piles. After that the ore was roasted for 150 years, until 1652, in earthen vessels at various sites in the woods around Idria. Up to present 21 localities of ancient roasting sites were established.

From the roasting areas Frbežene trate, lying on a wide dolomitic terrace on the left side of the road from Idria to Čekovnik, 3 soil profiles are discussed. In all three profiles in the upper, organic matter rich soil horizon very high mercury contents (from 3 to 4,000 mg/kg) were found. In two profiles the contents rapidly decrease with depth, to about 10-times lower values already at 0.5 m. Below that, the mercury contents decrease slowly, to reach at the 1.3 m depth a few mg/kg metal. In the third profile the upper humic layer is followed downward by an additional humic layer containing very abundant pottery fragments. In this layer the maximum mercury contents were determined, 7,474 mg/kg Hg. The underlying loamy soil contains between 1000 and 2000 mg/kg mercury.

Pšenk is one of the larger localities of roasting vessels fragments. It is located at Lačna voda brook below Hlevše, above its confluence with the Padar ravine. The most abundant pottery remains are found in the upper western margin of the area, just below the way to Hlevše. The considered geochemical profile Pšenk contains at the top a 45 cm thick humic layer with 4,000 to 5,000 mg/kg mercury. Deeper the contents fall to around 100 mg/kg mercury. The calculations result in an estimated amount of 1.4 t mercury still present at the Pšenk locality, and in about 40 t of mercury on all roasting sites described up to present.

The determined mercury contents in soils at old roasting sites are very high, and they surpass all hitherto described localities at Idria and in the surroundings.

Kratka vsebina

V prvem desetletju pridobivanja živega srebra v Idriji so rudo žgali v kopah. Potem pa so okrog 150 let, do leta 1652 žgali rudo v lončenih posodah na različnih lokacijah po gozdovih v okolici Idrije. Do sedaj so našli 21 lokacij starih žgalnic.

Na žgalniškem območju Frbežene trate, ki se nahaja na obsežni dolomitni izravnavi na levi strani ceste Idria - Čekovnik, smo obravnavali 3 talne profile. Vsi trije profili vsebujejo v zgornjem, z organsko snovjo bogatem horizontu tal zelo visoke vsebnosti živega srebra (od 3.000 do 4.000 mg/kg). Vsebnosti v dveh profilih z globino hitro upadajo in že na globini 0,5 m vsebujejo približno za 10x manj živega srebra. Nižje se vsebnosti živega srebra počasi znižujejo in dosežejo v globini 1,3 m vsebnost nekaj mg/kg živega srebra. V tretjem profilu zgornji humozni plasti sledi prav tako humozna plast, ki vsebuje zelo veliko ostankov lončenine. V tej plasti smo določili najvišjo vsebnost živega srebra, kar 7.474 mg/kg. Spodaj ležeča ilovica vsebuje med 1.000 in 2.000 mg/kg živega srebra.

Pšenk je eno večjih nahajališč drobirja žgalniških posod. Razteza se na levem bregu potoka Lačne vode, ki priteka izpod Hleviš in se nekoliko nižje preteči v Padarjevo grapo. Največje količine lončenine najdemo v zgornjem zahodnem obrobju območja, tik pod potjo proti Hlevišam. Obravnavani geokemični profil na lokaciji Pšenk sestavlja v zgornjem delu okoli 45 cm debela humozna plast, ki vsebuje od 4.000 do 5.000 mg/kg živega srebra. V globljih delih profila je okoli 100 mg/kg živega srebra. Izračunali smo, da na lokaciji Pšenk še danes leži okoli 1,4 tone živega srebra in ocenili, da se na vseh do sedaj opisanih lokacijah žgalnic nahaja okoli 40 t živega srebra.

Ugotovljene vsebnosti živega srebra v tleh na lokacijah starih žgalnic so zelo visoke in po vsebnosti živega srebra presegajo vse do sedaj opisane lokacije v Idriji in okolici.

Uvod

Idrija z okolico je bila v zadnjih desetletjih predmet obsežnih, vsestranskih in temeljitih raziskav geogenega in antropogenega onesnaženja z živim srebrom. Večina interpretacij raziskovalnih rezultatov so izhajale iz prepričanja, da je mesto Idrija, kjer so rudnik, opuščena topilnica in deponije žgalniških odpadkov ter revne rude, edini vir onesnaževanja. Tak zaključek je slonel na geoloških ugotovitvah, da izdanjajo orudene karbonske kamnine le na območju mesta in da je bila metalurška dejavnost v preteklih stoletjih koncentrirana na različnih lokacijah v Idriji. O žganju po gozdovih je bilo v zadnjih nekaj letih le malo napisanega (Čar, 1996; Gosar, 2004). Šele leta 2005 sta Čar in Terpin natančno preštudirala starejše vire o načinih žganja v prvih stopetdesetih letih delovanja rudnika in s terenskimi pregledi odkrila številna mesta žgalnic v gozdovih okrog Idrije. Nekdanja žgalniška mesta so prekrita z odvali odlomkov s cinobrom prevlečene glinene lončenine, v njihovi podlagi pa najdemo črno zemljo, bogato s živim srebrom. Glede na obseg in številčnost so lokacije starih žgalnic stalen vir emisij živega srebra (Čar & Terpin, 2005). Dosedanje interpretacije ekoloških raziskovalnih rezultatov in razporeditve živega srebra na Idrijskem tega podatka niso upoštevale, to pa seveda pomeni, da bo potrebno nekatere rezultate prevrednotiti. Ker so bile nove raziskave starih žgalnic doslej omejene le na zbiranje in interpretacijo zgodovinskih podatkov, ugotavljanje prostorske razporeditve lokacij žganja ter rekonstrukcijo žganja v lončenih žgalnih posodah (Čar & Terpin, 2005), je potrebno nadaljevati z raziskavami vsebnosti, količine in vertikalne porazdelitve živega srebra na lokacijah starih žgalnic ter poskušati odgovoriti na vprašanje kakšen vpliv je imelo tako pridobivanje na današnjo porazdelitev živega srebra v okolju. V prispevku predstavljamo preliminarne rezultate raziskav na lokacijah Frbežene trate in Pšenk.

Najstarejša načina žganja živossrebrnih rud v Idriji

V prvih letih rudarjenja v Idriji so pridobivali živo srebro izključno iz karbonskih kamnin, ki izdanjajo na površje v osrednjem

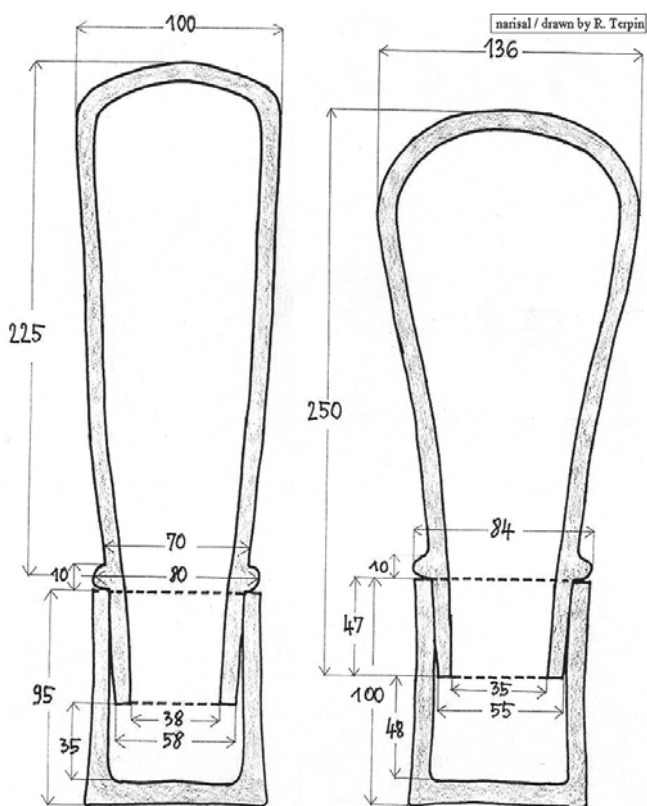
delu mesta in na pobočju območja Pronta. V karbonskih skrilavcih in muljevcih z lečami kremenovega peščenjaka se pojavlja orudjenje v obliki samorodnega živega srebra in cinabarita v razmerju približno 50:50 (Čar, osebni arhiv), skupni odstotek pa je bil – po kasnejših izkušnjah – od 0,3 do 1,5% Hg. Samorodno živo srebro so iz nakopanega materiala izpirali v bližnjem potoku Nikovi, s cinabaritom orudene kose pa žgali v preprostih kopah, podobno kot pridobivamo oglje. Opis najstarejšega načina žganja cinabaritne rude, ki so ga imenovali **žganje v kopah** (nemško *Haufenbrennen*), sta na podlagi arhivskih virov pripravila Verbičeva (1963; 1965; 1970b; 1990) in Valentinitsch (1981), vendar si iz njunih tekstov le težko predstavljamo, kako je postopek žganja potekal. Šele pred nedavnim je Kavčičeva na podlagi arhivskih virov in novih premislekov rekonstruirala žgalne kope, potek žganja in opisala težave, ki so pri tem nastajale (Kavčič, v tisku). Žgalno kopo so sestavili iz menjajočih se plasti drv in rude, jo prekrili z 10 do 15 cm debelo plastjo prsti in opremili z odprtinami podobno kot kope za žganje oglja. Po treh tednih, ko je bilo žganje končano, so začeli kopo ohlajati in živo srebro se je nabralo v kotanji pod njo (Kavčič, v tisku).

Postopek žganja v kopah so uporabljali le nekaj začetnih let rudarjenja v Idriji. Verbičeva (1965 in 1970b) piše, da naj bi ga delno opustili že leta 1494, v celoti pa verjetno po letu 1510 (Verbič, 1965). Čar in Terpin (2005) menita, da so opustili žganje v kopah že nekaj let po odkritju idrijskega rudišča. Proizvodnja Hg je bila v tem obdobju majhna, le nekaj 10 ton na leto. To je razumljivo, če upoštevamo relativno nizke odstotke živega srebra v skrilavi rudi in le okrog 50 % izkoristke (Mlakar, 1974) ter zelo dolg žgalni čas. Postopek žganja v kopah je bil energetske izjemno potraten, saj so za pridobitev enega starega centa živega srebra (56 kg) porabili kar deset voz drv (Verbič, 1965 in 1970b). Menimo, da so v prvih letih postavljali žgalne kope le v bližini rudarskih kopov. Gozdovi v neposredni okolici še niso bili izsekani, velikih količin sorazmerno siromašnih rud pa tudi ni bilo ekonomsko tovoriti v širšo okolico. Bolj ali manj prežgane ostanke so odlagali na brežine Nikove in Idrijce in ob deževju so visoke vode odvale odplavljale.

Čeprav ni natančno znano, katerega leta so vsestransko potratno žganje v kopah pri idrijskem rudniku opustili, pa ni dvoma, da so v začetku 16. stoletja postopno vpeljali bistveno izboljšan postopek **žganja v lončeni posodah**, imenovan nemški ali bavarski način (Verbič, 1963; 1965; 1970a; 1970b; 1990; 1993; Valentinitzsch, 1981; Čar & Terpin, 2005). Žganje v lončenih posodah je v svoji znameniti knjigi *De re metallica* opisal Agricola (1556). Pri tem načinu žganja so uporabljali komplet dveh lončenih žgalnih posod. Zgornja, v obliki podolgovate buče, je bila večja, spodnja podložna posoda (recipient), ki se je prilegala ustju zgornje posode, pa precej manjša (slika 1). Rudo, ki je vsebovala samorodno živo srebro, so najprej zdrobili v zelo droban mulj in z izpiranjem izločili kapljice živega srebra. Postopek so po potrebi večkrat ponovili. Po izpiranju je ostal zelo droban rudni drobir, ki so ga imenovali šlih (der Schlich ali izpirek - ruda pridobljena na moker način). Rudni izpirek so posušili in ga običajno pomešali z

zdrobljeno rudo, ki ni vsebovala samorodnega živega srebra. Z rudno napolnjene lončne posode so obrnili in vtaknili v podložno posodo in stik skrbno zadelali. Lahko tudi več sto posod so položili na primerno pripravljeno žgalno mesto, pokrili z lesom in začeli žgati. Po približno dvanajstih (Valentinitzsch, 1981) do štiriindvajsetih urah (Kavčič, ustno sporočilo) so prenehali s kurjenjem in začeli žgalne posode ohlajati (podrobnosti glej: Čar & Terpin, 2005). Žgalne posode so bile izdelane iz slabe gline z veliko primesjo peska. Običajno jih je tretjina že med prvim žganjem počila (Verbič, 1965), le tretjina jih je vzdržala »tri ognje« (Verbič, 1965). Zato so na žgalnih mestih nastajali obsežni odvali črepinj. Kot poroča Verbičeva (1963) je v sredini 17. stoletja idrijski rudnik porabil že od 50.000 do 60.000 kompletov žgalnih posod na leto.

Pri idrijskem rudniku so žgali rudo v lončenih posodah do leta 1652, ko so zgradili stalno žgalnico na Prejnuti, torej okrog 150 let. Zakaj so žganje v lončenih posodah upo-



Slika 1. Risbi dveh različnih lončenih žgalnih posod. Mere so v milimetrih (po Čarju & Terpinu, 2005)

Figure 1. Drawing of two types of earthen roasting vessels. Measures in millimeters (after Čar & Terpin, 2005)

rabljali tako dolgo, kljub temu, da so pri almadenskem rudniku v Španiji že sredi 16. stoletja uporabljali bistveno boljše stalne peči, lahko razložimo le z velikimi količinami bogate rude v skonca plasteh, ki so jo odkrili 22. junija 1508. V skonca plasteh, ki jih sestavljajo črni bituminozni glinavci, meljevci in kremenovi peščenjaki z vložki antracita, so prevladovale izjemno bogate (do 70% Hg) bituminozne in krhke sedimentne rude imenovane jeklenka, opekovka in jetrenke. Bogatejši različni cinabaritni rud so običajno vsebovali tudi nekaj odstotkov samorodnega živega srebra. Izkopane rude so zelo verjetno vsebovale v povprečju nad 50% Hg (Čar & Terpin, 2005) in so bile v prvi polovici 16. stoletja 5- do 7- krat bogatejše od rud pri almadenskem rudniku (Verbič, 1990). Žganje v lončenih žgalnih posodah je bilo časovno precej krajše, izkoristki so se povečali na 60 do 70%. Pri tem se je poraba drv zmanjšala za petkrat, iz prejšnjih desetih na dva voza (Verbič, 1970b) za en dunajski cent Hg. Zaradi postopnega večanja proizvodnje pa se poraba drv v rešnici ni manjšala, pač pa se je neprestano večala. Gozdovi okrog rudnika so bili, tudi zaradi drugih, zelo velikih rudniških potreb, kmalu izsekani. Ker je bilo spravljanje velikih količin drv po strmih brezpotnih pobočjih in težko prehodnih grapah do rudnika zelo težavno, kar bi zahtevalo veliko 'dragih' delavcev, je bilo smotrnejše tovoriti sorazmerno majhne količine bogatih rud na primerna mesta v gozdove okrog Idrije in jih tam žgati. Z leti so se pomikali vedno globlje v idrijske gozdove (Verbič, 1970a). Več lokacij starih žgalnic je našel I. Mlakar pri geološkem kartiranju idrijske okolice, nekaj pa so jih našli kasneje (Čar, 1996). V zadnjih nekaj letih sta se Čar in Terpin lotila sistematičnega pregledovanja lokacij starih žgalnic po gozdovih v bližnji in tudi malo bolj oddaljeni okolici Idrije (Čar & Terpin, 2005). Locirala sta 20 starih žgalnic v okolici Idrije in sta mnenja, da jih gotovo obstaja še več. Prav v zadnjem času sta našla še novo, 21. lokacijo (slika 2). Rudo so tako žgali na bližnjih gričih Pront, Pringl, Pšenk, pa tudi na bolj oddaljenih krajih v Čekovniku in Kanomlji, o čemer pričajo številni ostanki razbite lončenine. Gotovo pa je bilo žgalnic še veliko več, vendar so mnoge zaradi erozije in različnih človeških posegov že povsem izginile (Čar & Terpin, 2005).

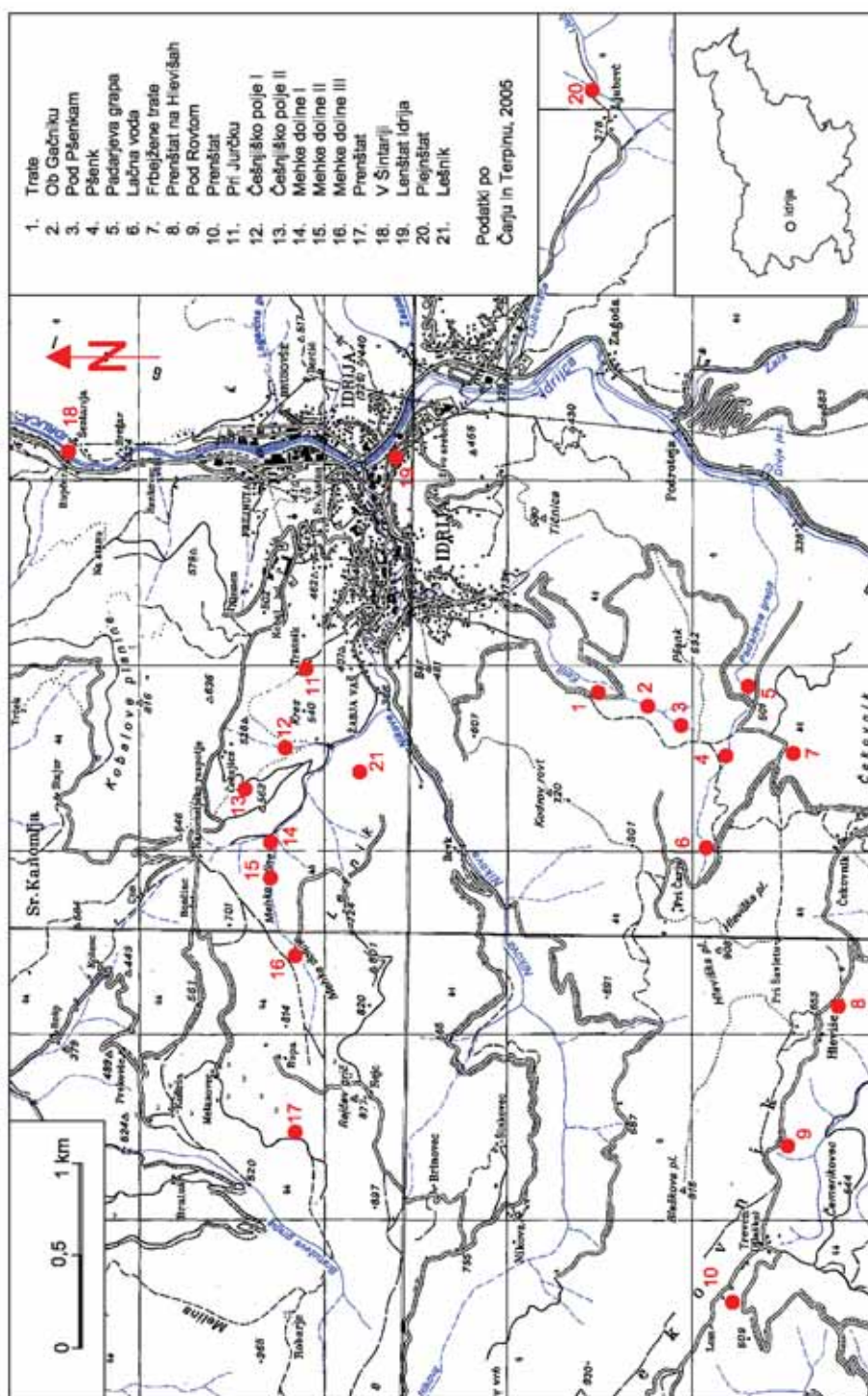
Vsebnosti in porazdelitev živega srebra v tleh in sedimentih

Prostorsko razporeditev koncentracij Hg v tleh na ozemlju velikem približno 100 km² z Idrijo v sredini je raziskoval Hess (1993). Vzorčeval je v pravilni mreži 1 x 1 km (127 vzorčnih lokacij) Splošna ugotovitev je bila, da so najvišje koncentracije v dolini Idrije od Idrije do Spodnje Idrije in da se vsebnosti z oddaljenostjo od Idrije hitro zmanjšujejo.

Podrobnejša študija vsebnosti in porazdelitve živega srebra v tleh na Idrijskem je potekala v letih 2000-2003. V osrednjem delu, kjer so bile že ugotovljene visoke vsebnosti, smo novo geokemično raziskavo zasnovali z gostejšo mrežo vzorčevanja (Gosar & Šajn, 2001), bolj odmaknjeno območje pa smo vzorčili z redkejšo mrežo vzorčevanja (Gosar & Šajn, 2003).

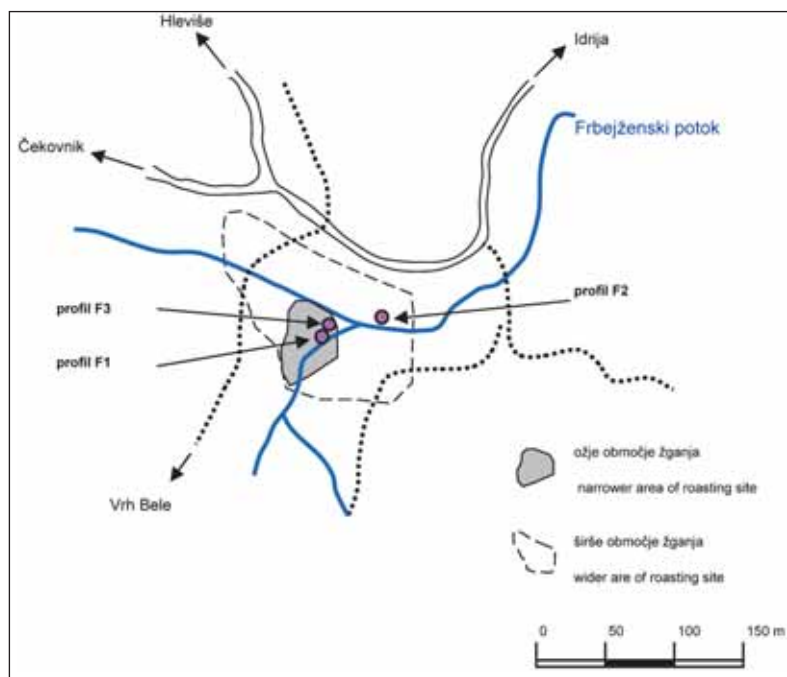
Rezultati Hessove in kasnejše raziskave (Gosar & Šajn, 2001) jasno kažejo na nekatere anomalije, kjer so vsebnosti živega srebra v tleh povišane, a njihova vsebnost ne more biti posledica glavnih virov živega srebra v Idriji in okolici kot so atmosferske emisije, odvali neprežgane in prežgane rude, ki se nahajajo večinoma vzdolž Nikove in Idrije in njihova uporaba v cestogradnji in izdanki orudenih kamnin. Z živim srebrom geogeno obogatene karbonske plasti gradijo podlago mestnega središča in izdanjajo na pobočju Kurjega vrha in spodnjega dela Prona, orudene Skonca plasti in tufiti pa izdanjajo na Prontu med Karčnikom in Albrehtom (Čar, 1998). Za preprečitev obsežnejše naravne migracije živega srebra v širšo okolico je pomembno predvsem to, da je rudišče obdano z neprepustnimi karbonskimi klastičnimi kamninami ali pa omejeno z zaglinjenimi tektonskimi conami (Čar, 1998). Torej lahko ugotovimo, da je izdanek prostorsko zelo omejen in da na povišanje vsebnosti v tleh vpliva le na območju izdanjanja in v bližnji okolici, ter na vsebnosti v sedimentih Nikove in Idrije, ki ležijo nižje od izdanka.

Pri podrobnejšem vrednotenju rezultatov Hessa (1993) smo postali pozorni na povišano vrednost (56,2 mg/kg) na lokaciji 131, ki je Hess (1993) ni komentiral. To je lokacija na travniku na Hlevišah, ki je manj kot 200 m oddaljena od lokacije žgalnice Prenštat na Hlevišah (št. 8), ki sta jo opisala Čar in Terpin (2005). Torej je povišana vsebnost živega srebra na tej lokaciji gotovo po-



Slika 2. Lokacije starih žgalnic po podatkih Čarja in Terpina (2005), dodana št. 21

Figure 2. Localities of old roasting sites after data by Čar and Terpin (2005), with addition of site no. 21



Slika 3. Skica lokacije Frbežene trate

Figure 3. Sketch-map of the Frbežene trate locality

sledica žganja rude v bližini. Tudi na lokaciji 103 (Tratnik) je vsebnost živega srebra nepričakovano visoka (115,4 mg/kg). Vzorec je bil vzet na vplivnem območju žgalnice Pri Jurčku (št. 11), (Čar & Terpin, 2005).

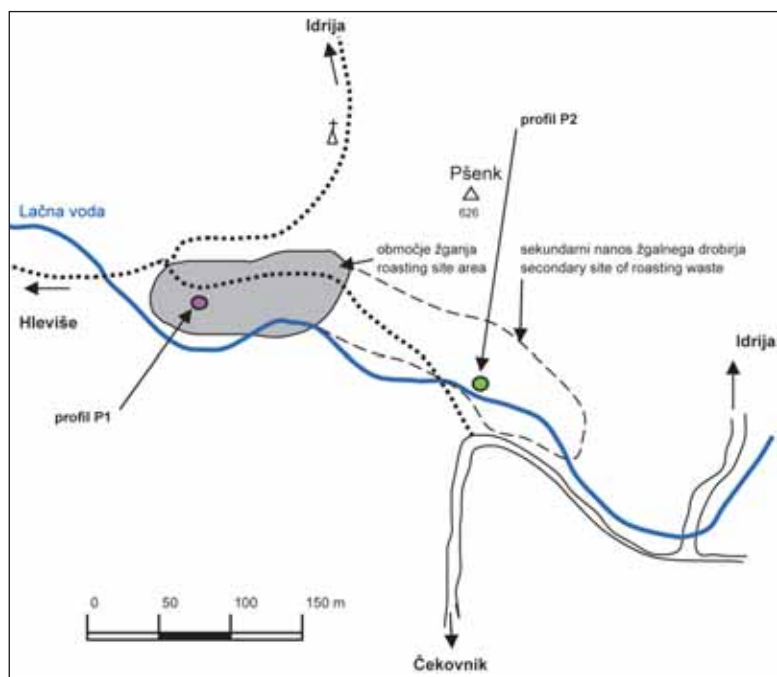
Gosar in Šajn (2001) sta ugotovila povišane vrednosti živega srebra na območju hriba Pšenka, JZ od Idrije. Verjetno tako visoka koncentracija živega srebra (57 mg/kg) ni posledica atmosferskih emisij ali naravnih danosti, ker na tem območju ne izdajajo rudonosne kamnine. Lahko pa je posledica žganja rude v preteklosti po gozdovih (Gosar & Šajn, 2001). Zanimivo je, da je v bližini vzorčeval tudi Hess, a povišanja vrednosti ni zaznal. Če primerjamo lokacije žgalnic (Čar & Terpin, 2005) s porazdelitvijo živega srebra (Gosar & Šajn, 2001; Gosar & Šajn, 2003) vidimo, da lokacijsko sovpadata tudi anomalija v Ljubevču z žgalnico Plejnštat (št. 20), vendar so na tej lokaciji možni tudi drugi vplivi.

Opis obravnavanih lokacij starih žgalnic

Žgalniško območje Frbežene trate (lokacija 7 na sliki 2 in slika 3) se nahaja na obsežni dolomitni izravnavi na levi strani

ceste Idrija - Čekovnik. Cesta je bila zgrajena v osemdesetih letih preteklega stoletja, sicer pa čez Frbežene trate vodi stara steza iz Pšenka proti Vrhju Bele ter steza iz Pšenka proti Zagrebencu. Čez območje, ki je poraščeno s smrekovim gozdom, tečeta dobršen del leta sicer suha potočka, ki se na obrobju Frbeženih trat združita in stekata nekoliko nižje v grapo Padarce. Posamezne koščke lončenine, prevlečene s cinobrom, najdemo po celotni izravnavi na površini nekaj čez 100 m² (širše območje nekdanjih žgalnic), največ pa med obema potokoma, ki je veliko približno 35 x 30 m. V levi brežini Frbeženskega potoka je debelina lončenega odvala z črno zemljo v podlagi debela od 30 do 40 cm, na desni strani pa jo ocenjujemo na približno meter do meter in pol (dopolnjen opis po Čar & Terpin, 2005).

Profil F1 je naravni usek ob potoku, ki seka odval lončenine. Na vrhu je plast spravnih ostankov keramike. Potem sledi 10 do 20 cm tal, ki so zaradi organske snovi črno obarvana (A horizont), sledi do globine 90 cm rjava ilovica z ostanki lončenine in redkimi koščki oglja, pod njo do globine 200 cm leži glinena opečnato rjava ilovica, ki skoraj ne vsebuje skeleta. Na globini 200 cm smo našli preperel dolomit, ki je podlaga.



Slika 4. Skica lokacije Pšenk

Figure 4. Sketch-map of the Pšenk locality

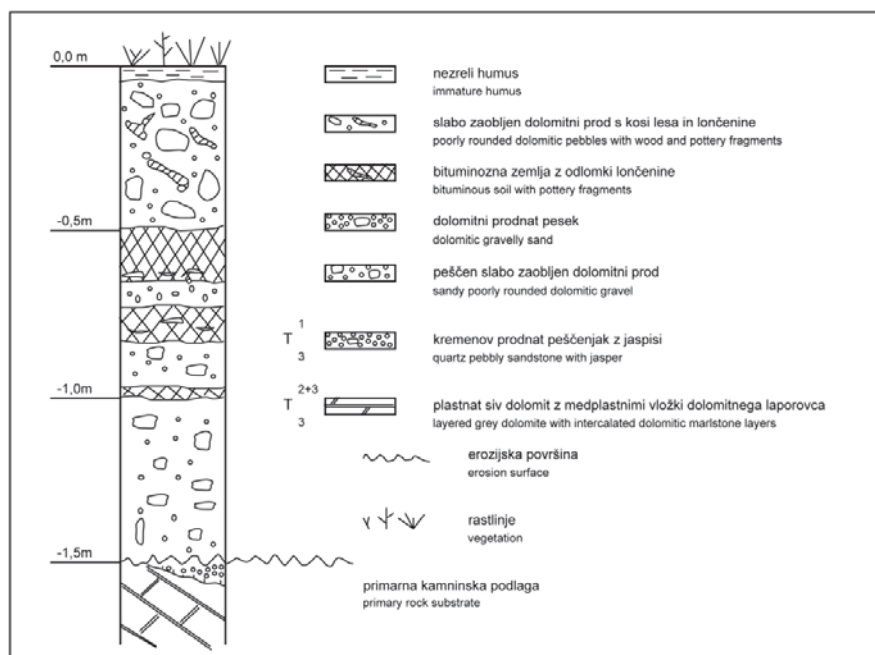
Nekoliko nižje ob potoku smo vzorčili profil F2. Tudi na tej lokaciji smo si pomagali z naravnim usekom ob potoku. Vrhnji del profila F2 sestavlja 20 cm humoznih tal, ki jih lahko označimo kot A horizont, do globine 45 cm sledi prav tako temna plast humoznih tal, v kateri prevladujejo ostanki lončenine, nekateri v kosih velikih do 10 cm. Do podlage na globini 75 cm sledi sivo rjava ilovica, v kateri je le malo ostankov lončenine.

Profil F3 je 9 m v smeri severa oddaljen od F1. Njegove značilnosti so podobne tistim opisanim v profilu F1: zgornjih 25 cm je A horizont, sledi ilovica.

Pšenk (lokacija št. 4 na sliki 2 in slika 4) je eno večjih nahajališč drobirja žgalniških posod. Razteza se na levem bregu potoka Lačne vode, ki priteka izpod Hleviš in se nekoliko nižje preteče v Padarjevo grapo. Največje količine lončenine najdemo v zgornjem zahodnem obrobju območja, tik pod potjo proti Hlevišam. Menimo, da gre za ožje območje nekdanjih žgalnic. Predel je po oceni dolg okrog 130 m in širok do 50 m. Na tem območju smo vzorčili profil P1. Sicer pa najdemo posamezne odlomke lončenih žgalnih posod po celotni prodišču ob potoku na dolžini približno 270 m in širini do 50 m. Pri-

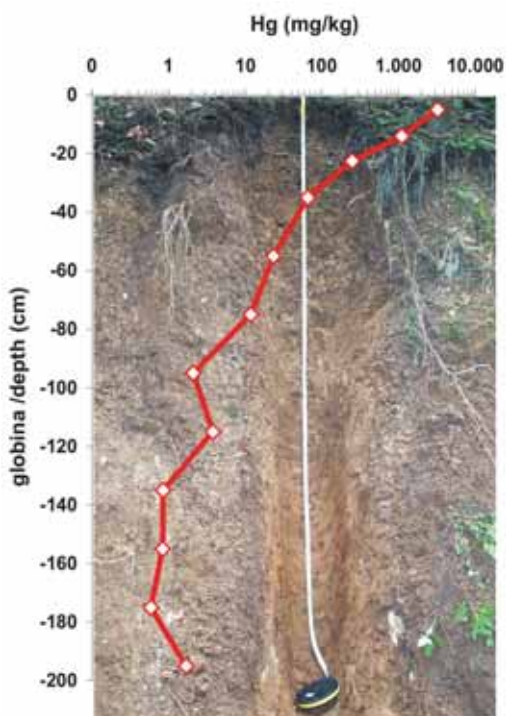
bližno na sredini prodišča je bil leta 2003 v levi brežini potoka odprt profil P2 (slika 5). V podlagi je ležal značilen plastnat zgornje-triasni norijsko-retijski dolomit s cm debelimi medplastnimi vložki dolomitnega laporovca. Na njem so ležali kosi rdečkasto rjavega karnijskega kremenovega prodnatega peščenjaka. Na erodiranem dolomitu je bilo odloženo okrog 0,5 m peščenega, slabo zaobljenega dolomitnega proda. Sledil je do 5 cm debel vložek črne bituminozne zemlje, nad njim pa okoli 15 cm prodnatega dolomitnega peščenjaka. Sledeča 10 cm debela plast črne bituminozne gline je bila v podlagi bogata s odlomki lončenine. Prekrivalo jo je nekaj centimetrov dokaj sortiranega dolomitnega proda. Nad prodom je ležala 13 cm debela plast bituminozne zemlje z drobirjem žgalnih posod. Profil se je zaključil z 0,5 cm zelo slabo sortiranega peščenega dolomitnega proda s številnimi odlomki lesa in redki mi ostanki lončenine.

Opisane razmere potrjujejo, da predstavljajo tri plasti s »črno zemljo z lončenino« presedimentirani material iz ožjega območja nekdanjih žgalnic na Pšenk. Glede na morfologijo terena in splošne prostorske razmere na prodišču domnevamo, da se razmere od profila do profila hitro spreminjajo.



Slika 5. Skica profila P2 na lokaciji Pšenk

Figure 5. Profile P2 at the Pšenk locality



Slika 6. Vsebnosti živega srebra v profilu F1 na lokaciji Frbežene trate

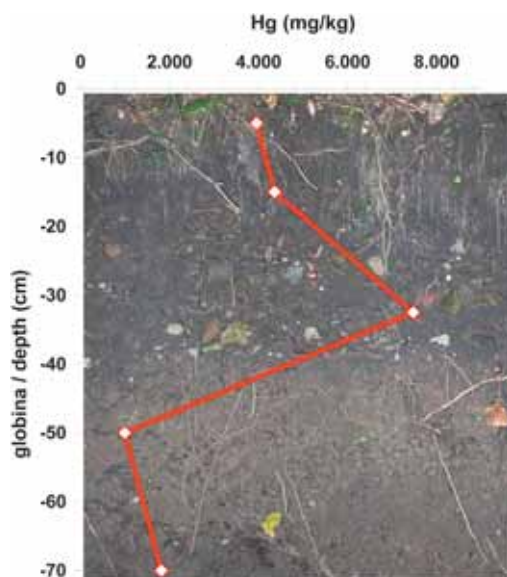
Figure 6. Mercury contents in F1 profile at the Frbežene trate site

Ali gre za presedimentacijo iz obdobja žganja, ali pa so se erozijski dogodki dogodili kasneje, bi bilo potrebno še raziskati.

Vzorčevanje in analitika

Profila F1 in F2 smo vzorčili z brazdo, ker smo naravni usek ob potoku le poglobili, profila F3 in P1 pa smo do globine 24 oz. 36 cm izkopali, globlji vzorci pa so bili vzeti z ročno vrtno garnituro.

Laboratorijska obdelava vzorcev je obsegala sušenje pri temperaturi 30°C in drobljenje sprijetih grud, ne pa skeleta, v keramični terilnici. S suhim sejanjem smo pridobili frakcijo manjšo od 2 mm, to smo potem mleli na analitsko zrnastost (<0,063 mm). Vsebnost živega srebra in ostalih prvin je bila določena z neplamensko atomsko absorpcijsko spektrometrijo (AAS) po izluževanju z zlatotopko (mešanica HCl : HNO₃ : H₂O v razmerju 3:1:2; 1 ura/95°C). Vzorci so bili analizirani v laboratoriju ACME v Vancouveru v Kanadi. Vzorce in naključno izbrane dvojnike ter standardne materiale smo poslali v laboratorij po naključnem vrstnem zaporedju. S tem smo zagotovili nepristranskost analitike in enakomerno porazdelitev morebitnega spreminjanja analiznih pogo-



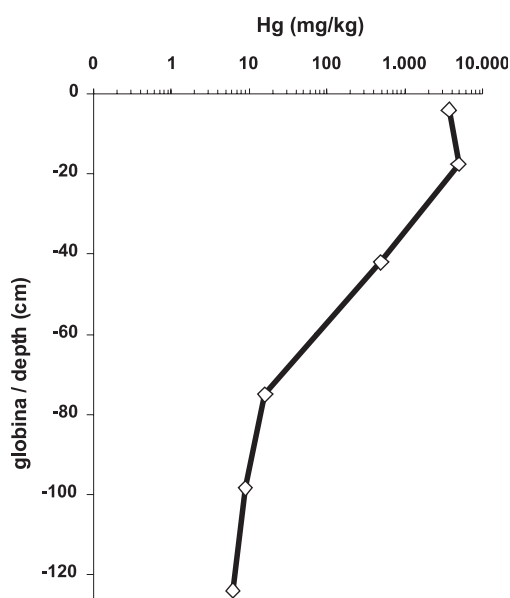
Slika 7. Vsebnosti živega srebra v profilu F2 na lokaciji Frbežene trate

Figure 7. Mercury contents in F2 profile at the Frbežene trate site

jev preko vseh vzorcev. Zanesljivost kemičnih analiz smo ocenili kot zelo zadovoljivo.

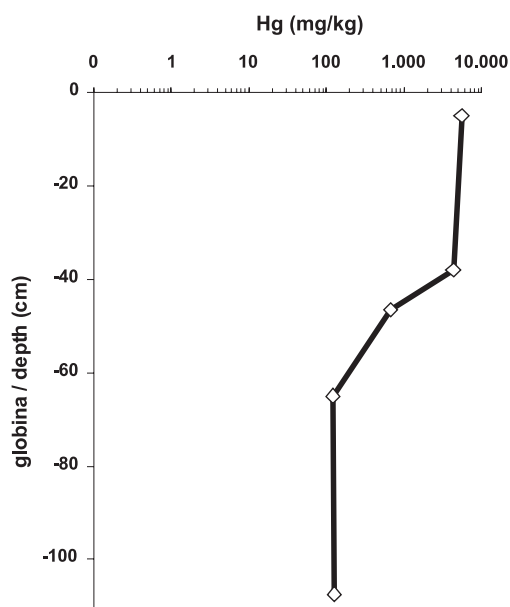
Rezultati in razprava

Vsi trije profili na lokaciji žgalnice Ferbežane trate vsebujejo v zgornjem z organsko snovjo bogatem horizontu tal zelo visoke vsebnosti živega srebra (od 3.000 do 4.000 mg/kg). Potem vsebnosti v profilu F1 in F3 hitro z globino padajo in že na globini 0,5 m vsebujejo približno za 10x manj Hg (slike 6 in 7). Nižje se vsebnosti živega srebra počasi znižujejo in dosežejo v globini 1,3 m vsebnost nekaj mg/kg živega srebra. V profilu F2 zgornji humozni plasti sledi prav tako humozna plast, ki pa vsebuje zelo veliko ostankov lončenine (do 50%, slika 8). V tej plasti smo določili najvišjo vsebnost živega srebra, kar 7.474,4 mg/kg. Vzorec je bil vzet tik nad spodaj ležečo ilovico. Verjetno je prišlo do koncentriranja živega srebra nad slabo prepustno ilovico, v kateri pa smo tudi določili visoke vsebnosti živega srebra (995,5 mg/kg na globini 50 cm in 1.817,5 mg/kg na globini 70 cm).



Slika 8. Vsebnosti živega srebra v profilu F3 na lokaciji Frbežene trate

Figure 8. Mercury contents in F3 profile at the Frbežene trate site



Slika 9. Vsebnosti živega srebra v profilu P1 na lokaciji Pšenk

Figure 9. Mercury contents in P1 profile at the Pšenk site

Na lokaciji Pšenk smo v profilu P1 v zgornji okoli 45 cm debeli humozni plasti določili res zelo veliko živega srebra (od 4.000 do 5.000 mg/kg). V globljih delih profila je okoli 100 mg/kg živega srebra (slika 9).

Izračun količine in teže živega srebra, nakopičenega na lokaciji Pšenk, smo izvedli po enačbi 1. Prostornino smo izračunali tako, da smo pomnožili površino osnovne ploskve (A_i , v m²) z višino kontaminiranega materiala (d_i , v m). ρ pomeni gostoto materiala (v kg/m³), ki je bila ocenjena po literaturnih podatkih na 1.330 kg/m³ (Slimec, 2004), C_{Hg} pa vsebnost živega srebra v mediju.

$$m_{Hg} = A_i \cdot d_i \cdot \rho \cdot C_{Hg} \quad (1)$$

Na lokaciji Pšenk sta Čar in Terpin (2005) ocenila, da je površina žgalnice obsegala okoli 600 m². Na podlagi lastnega opazovanja in ugotovitev iz profila P1 ocenjujemo, da je plast, ki je močno obremenjena z živim srebrom debela okoli 0,4 m. Vsebuje od 4.000 do 5.000, ocenimo da povprečno 4.500 mg/kg živega srebra. Po zgornji enačbi smo izračunali, da je na lokaciji Pšenk v tleh oz. v odvalih nekdanje žgalnice nakopičenega približno 1,4 t živega srebra.

Zanimivo je tudi, da sta Čar in Terpin (2005) našla literaturo iz leta 1911, ko je Grund pisal o najdbi velike količine s cinobrom prevlečenega lončenega drobirja na lokaciji Pšenk. Ugotovili so v povprečju 0,6 m debelo plast, v kateri je bilo veliko razbite lončenine. Živo srebro se je nahajalo predvsem kot tanke prevleke cinobra na odlomkih žgalnih posod, našli pa so tudi samorodno živo srebro. V drobnem materialu na tej lokaciji so v dveh vzorcih določali vsebnost živega srebra in ugotovili od 0,45 in 0,7 % živega srebra, in v razbiti lončenini 2,09 % živega srebra. Z živim srebrom najbogatejši vzorec lončenine se je nahajal med koreninami jelke in je bil dobro zaščiten pred izpiranjem. Ugotovitve izpred približno 100 let se torej izjemno dobro skladajo z našimi ugotovitvami. Plast ostankov je bila ocenjena za nekoliko bolj obsežno. Seveda se na celotni lokaciji spreminja in je pravo oceno brez natančnejših raziskav težko podati. Če bi vzeli debelino onesnažene plasti 0,6 m, bi bilo na lokaciji Pšenk okoli 2 toni živega srebra. In če se še malo poigramo s številkami lahko ocenimo, da je na vseh 20 lokacijah

žgalnic, ki sta jih opisala Čar in Terpin (2005), okoli 40 ton živega srebra. Pri tem je treba poudariti, da je opisana lokacija na Pšenk po ocenah Čarja gotovo ena bolj obsežnih in dalj časa delujočih žgalnic. Tako lahko našo oceno označimo kot zelo veliko in predvidevamo, da danes leži na teh lokacijah verjetno manj živega srebra. Ocena velikostnega reda pa je pravilna. Zanimivo je razmišljati dalje. Iz Mlakarjevih (1974) podatkov o proizvodnji in izgubah sta Čar in Terpin (2005) ocenila, da se je v obdobju pridobivanja živega srebra v žgalnicah po gozdovih (16. in prva polovica 17. stoletja) kar okoli 4.500 t živega srebra izgubilo v okolju. Seveda danes te izgube ne sledimo le v vsebnostih živega srebra na lokacijah starih žgalnic, ampak so bile izgube tudi v izhajanju živosrebrnih hlapov, ki so pogojevali atmosferske vplive daleč okoli. Nedvomno je prišlo tudi do spiranja močno onesnaženega materiala in odnašanja v nižje ležeče predele. To dokazujejo t.i. pozitivni vzorci iz potočnih sedimentov, ki so jih ugotavljali raziskovalci, ko so še iskali rudo, pa povišanih vsebnosti niso mogli razložiti s zgradbo rudišča in izdajanjem orudenih kamnin (Mlakar, 1966). Tudi vsebnosti sedimentov reke Idrijce v zadnjih 15-tih letih, ko se izvaja monitoring rečnih sedimentov Idrijce (Gosar et al., 1997; Gosar, 2003), kažejo povišane vsebnosti v sedimentih zgornjega toka Idrijce. Še posebno je jasen vpliv Padarce, ki spira material ravno iz lokacij Frbežene trate, Pšenk in Padarjeve grape. Ker pa sodimo, da bi verjetno vsaj polovica živega srebra ostala na sami lokaciji, se nam zdi razmerje med izgubljenimi 4.500 tonami in ugotovljenimi 40 tonami, ki naj bi danes ležale na lokacijah starih žgalnic, preveliko. Potreben bi bil ponovni premislek predpostavk o izgubah in kvaliteti rude, ki jih je pri izračunih leta 1974 uporabil Mlakar in poiskati še preostale žgalnice v gozdovih, ki do sedaj morebiti še niso bile ugotovljene. Za ugotovitev dejanskega stanja in tudi za zgodovinsko opredelitev pomena in obsega žgalnic po gozdovih so potrebne še nadaljne raziskave. Nedvomno pa lahko ugotovimo, da so v tleh na lokacijah starih žgalnic zelo visoke vsebnosti živega srebra, ki po koncentraciji živega srebra presegajo vse do sedaj opisane lokacije v Idriji in okolici (Hess, 1993; Palinkaš et al., 1995; Horvat et al., 2003; Gnamuš et al., 2000; Go-

sar & Šajn, 2001; Biester et al., 1999; 2000).

Literatura

- Agricola, G., 1556: De re metallica. Basileae. (nemško: Carl Schiffner, 1928, Berlin, izdala Agricola-Gesellschaft beim Deutschen Museum).
- Biester, H., Gosar, M. & Covelli, S. 2000: Mercury speciation in sediments affected by dumped mining residues in the drainage area of the Idrija mercury mine, Slovenia. - Environ. Sci. Technol., 34/16, 3330-3336, Washington.
- Biester, H., Gosar, M. & Müller, G. 1999: Mercury Speciation in Tailings of the Idrija Mercury Mine. - Journal of Geochemical Exploration, 65/3, 195-204, Amsterdam.
- Car, J. & Terpin, R. 2005: Stare žgalnice živosrebrove rude v okolici Idrije. - Idrijski razgledi 50/1, Idrija.
- Car, J. 1998: Mineralized rocks and ore residues in the Idrija region. - In: Idrija as a natural and anthropogenic laboratory, Mercury as a global pollutant: Proceedings, 10-15, Idrija.
- Car, J. 1996: Mineralized rocks and ore residues in the Idrija region. In: Idrija as natural and anthropogenic laboratory. Mercury as a major pollutant. 10-15, Idrija.
- Gnamuš, A., Byrne, A.R. & Horvat, M. 2000: Mercury in the soil-plant-deer-predator food chain on a temperate forest in Slovenia. - Environ. Sci. Technol., 34/16, 3337-3345, Washington.
- Gosar, M., Pirc, S., Bidovec, M. 1997: Mercury in the Idrijca River sediments as a reflection of mining and smelting activities of the mercury mine Idrija. - Journal of Geochemical Exploration, 58, 125-131, Amsterdam.
- Gosar, M. 2003: Mercury distribution in the Idrijca river sediments in 1991, 1995 and 2001. V: 6th International Symposium on Environmental Geochemistry : final programme and book of abstracts, str. 213, Edinburgh.
- Gosar, M., 2004: Mechanisms of mercury dispersion in the Idrija mercury mine surroundings through history. - RMZ-mater. geoenviron., 51/1, 93-96, Ljubljana.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2001: Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia). - Geologija; 44/1, 137-159, Ljubljana.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2003: Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia. - Journal de Physique IV, 107, 561-565, Paris.
- Hess, A. 1993: Verteilung, Mobilität und Verfügbarkeit von Hg in Böden und Sedimenten am Beispiel zweier hochbelasteter Industriestandorte.- Heidelberger Geowissenschaftliche Abhandlungen, Band 71, 171 S., Heidelberg.
- Horvat, M., Kontić, B., Ogrinc, N., Jereb, V., Logar, M., Faganeli, J., Rajar, R., Širca, A., Petkovšek, G., Žagar, D., Dizdarevič, T. 2003: Remediation of mercury polluted sites due to mining activities. - Crit. rev. anal. Chem, 33, 291-296, Philadelphia.
- Mlakar, I., 1966: Prognozna karta perspektivnosti posameznih območij idrijsko-cerkljanskega ozemlja na Hg, merilo 1: 25.000. Rokopisna karta, Arhiv RŽS Idrija.
- Mlakar, I., 1974: Osnovni parametri proizvodnje rudnika Idrija skozi stoletja do danes. Idrijski razgledi 19/3-4, 1-40, Idrija.
- Palinkaš, L.A., Pirc, S., Miko, S.F., Durn, G., Namjesnik, K. & Kapelj, S. 1995: The Idrija mercury mine, Slovenia, a semi-millennium of continuous operation: an ecological impact.- In: M. Richardson M.(ed.), Environmental toxicology assessment. - Taylor & Francis, 317-341, London.
- SImetric web page, dostopno na URL <http://www.simetric.co.uk/si_materials.htm>, last upgraded 9.10.2004, quoted 24.5.2005.
- Valentinitsch, H., 1981: Das landesfürstliche Quecksilbergwerk Idria 1575-1659. 1-440, Graz.
- Verbič, M. (1965): Idrijski rudnik do konca 16. stoletja. Inavguralna disertacija, 1-250, Ljubljana. (neobjavljeno).
- Verbič, M., 1963: Gospodarski stiki Loke z Idrijo v 16. in 17. stoletju.- Loški razgledi, 10, 97-103, Škofja Loka.
- Verbič, M., 1970a: Fužine ob Kanomlji v Spodnji Idriji.- Idrijski razgledi, 15/1, 1-10, Idrija.
- Verbič, M., 1970b: O lesu za idrijski rudnik, prvih idrijskih grabljah in klavžah. Idrijski razgledi. - 15/2, 89-99, Idrija.
- Verbič, M., 1990: Rudnik živega srebra v Idriji in tehnične naprave v njem do konca 16. stoletja. Idrijski rudnik skozi stoletja, Razstava Zgodovinskega arhiva Ljubljana in Mestnega muzeja v Idriji (katalog), 17-48, Idrija - Ljubljana.
- Verbič, M., 1993: Naselbina do konca 16. stoletja. Idrijska obzorja, Pet stoletij rudnika in mesta. - Mestni muzej Idrija, 29-40, Idrija.

Izotopske raziskave na območju vodnega telesa Pivovarne Union

Isotopic investigations in the area of the Union brewery water body

Branka TRČEK

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, 1000 Ljubljana, Slovenija, e-mail:branka.trcek@geo-zs.si

Ključne besede: urbani vodonosnik, viri pitne vode, vodno telo Pivovarne Union, izotopske raziskave

Key words: urban aquifer, drinking-water resources, Union brewery water body, isotopic researches

Kratka vsebina

Na območju vodnega telesa Pivovarne Union se je začel izvajati leta 2003 obširen študij toka podzemne vode in prenosa snovi, katerega namen je, da se a) določi in napove širjenje podzemne vode in urbanega onesnaženja skozi pleistocenski aluvialni prodni vodonosnik ter b) analizira tveganje prenosa onesnaženja do vira pitne vode v spodnjem prodnem vodonosniku. Prvi dve raziskovalni fazi sta temeljili na izotopskih raziskavah. V 16 opazovalnih vrtinah se je vzpostavil monitoring sestave stabilnih izotopov $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ ter osnovnih fizikalno-kemičnih parametrov vode. Rezultati so omogočili vpogled v hidrodinamiko opazovanega vodonosnika, pa tudi v starostno strukturo vzorčenih vod. Identificirana je bil vertikalna komponenta toka, ki je glavni faktor za prenos in širjenje onesnaženja do podzemnega vira pitne vode.

Abstract

A study of groundwater flow and solute transport commenced in the area of the Union Brewery water body in 2003 with the intention of a) assessing and predicting the movement of groundwater and urban contaminants through the Pleistocene alluvial gravel aquifer and of b) analysing the risk of contaminant transport to drinking-water resources in the lower gravel aquifer. The first two research phases based on isotopic researches. The monitoring of groundwater composition of $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ stable isotopes and basic physico-chemical parameters was established in 16 observation wells. The results have produced general information on the hydrodynamic functioning of the study area and they provided, an insight into age structure of sampled water. The vertical flow component was identified, which is the main influence on contaminant transport towards the drinking-water resource.

Uvod

Podzemna voda pleistocenskega aluvialnega prodnega vodonosnika je vse pomebnejši vir pitne vode za območje mesta Ljubljane. Ta vodni vir je neprecenljiv tudi za Pivovarno Union d.d., ki leži v urbanem in industrijskem okolju, v neposredni bližini centra Ljubljane. Pivovarna izkorišča s štiri-

rimi produkcijskimi vodnjaki kvalitetno podzemnov vodo spodnjega pleistocenkega prodnega vodonosnika in jo uporablja za proizvodnjo ustekleničene vode, brezalkoholnih pijač in piva. Omenjeni vodonosnik je ločen z neprepustno bariero od zgornjega prodnega vodonosnika, za katerega pa so dosedanje raziskave pokazale, da je onesnažen tako mikrobiološko kot kemično. Dose-

danje meritve hkrati kažejo, da onesnažena voda zgornjega vodonosnika ne vpliva na vodnjake pivovarne. Le-ti so bili uspešno obnovljeni tekom zadnje deкаде, tako da specifična geološka sestava njihovega vplivnega območja še vedno omogoča izkoriščanje zelo kakovostnega podzemnega vodnega vira spodnjega prodnega vodonosnika.

Da bi zaščitili vodno telo v urbanem okolju pred onesnaženjem in vzpostavili nadzor, ki bo omogočal zgodnje odkrivanje možnega onesnaženja podzemnega vodnega vira, se je začel izvajati leta 2003 na območju vodnega telesa Pivovarne Union obširen študij toka podzemne vode in prenosa snovi. Le-ta je tesno povezan z uporabo zanesljive in učinkovite raziskovalne metodologije, ki zagotavlja a) znanstveno razumevanje mehanizmov, ki nadzirajo tok in prenos snovi/onesnaženja v vodonosniku in b) monitoring teh procesov (Trček, 2001; 2003). Glede na to se združuje klasične neposredne geološke in hidrogeološke metode s posrednimi - analizo prevladujočih organskih, anorganskih in mikrobioloških substanc ter izotopske sestave vodika in kisika.

Študij toka in prenosa snovi zahteva zadovoljivo število fizikalno-kemijskih podatkov, ki omogočajo statistično obdelavo, pa tudi numerično modeliranje. Projekt se zato obravnava dolgoročno. Izvaja se po raziskovalnih fazah, ki druga drugo dopolnjujejo in nadgrajujejo. Tema tega članka so izotopske raziskave $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$, ki so se izvajale v okviru prvih dveh letnih faz: julij 2003- junij 2004 in julij 2004-junij 2005.

Raziskovalno območje

Raziskovalno območje obsega napajalno zaledje podzemnih vodnih virov, ki jih izkorišča Pivovarna Union d.d. (slika 1). Že v uvodu je bilo omenjeno, da je tu območje pleistocenskega aluvialni prodnega vodonosnika, ki ga bariere, sestavljene iz leč neprepustnih sedimentov, ločujejo v zgornji in spodnji prodni vodonosnik. Hidrogeološke in geološke lastnosti raziskovalnega območja so opisane podrobno v poročilih Inštituta za rudarstvo, geotehnologijo in okolje (Veselič, 2000) ter GeoSi Inštituta za zemljelovje d.o.o. (Juren, 2004).

Raziskovalni poligon (slika 1) je razdeljen na 3 cone: območje pivovarne (cona I), bliž-

nja okolica pivovarne (cona II) in širša okolica pivovarne, ki obsega celotno napajalno zaledje obravnavanih vodnih virov (cona III). V okviru I. in II. raziskovalne faze se je proučeval tok in prenos snovi s pomočjo monitoringa, ki se je vzpostavil v 16 opazovalnih vrtinah (piezometrih), predstavljenih na sliki 2. Piezometri zajemajo a) podzemno vodo spodnjega prodnega vodonosnika, b) podzemno vodo zgornjega prodnega vodonosnika ali pa c) podzemno vodo obeh vodonosnikov.

V coni I je sedem piezometrov:

- PU- vr1, PU-vr2, PU-vr3, PU-vr4, PU-vr9, PU-vr10 in PU-vr11 (slika 1).

V coni II so trije piezometri:

- PU-vr5, PU-vr6 in PU-vr7 (slika 1).

V coni III pa je šest piezometrov:

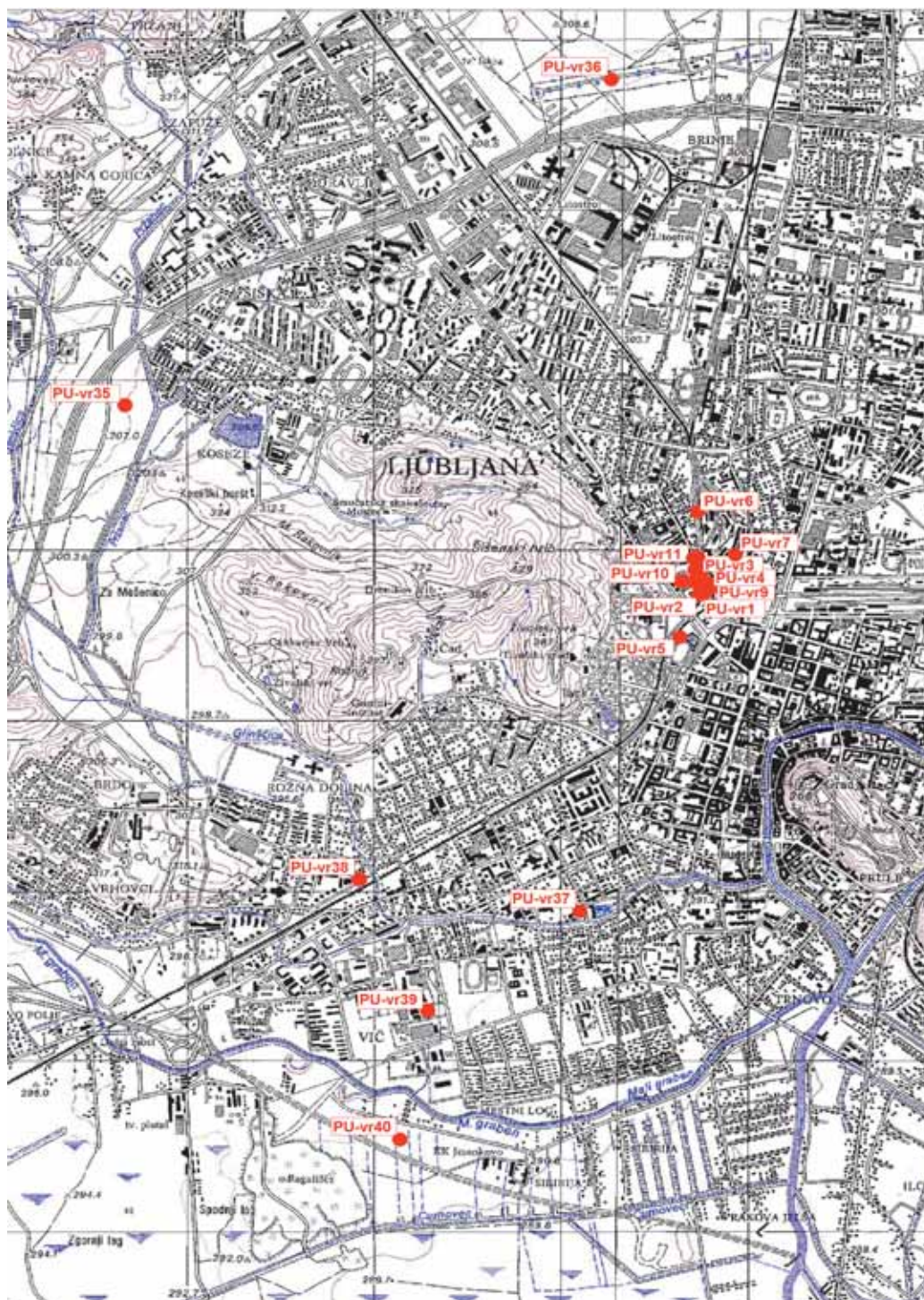
- PU-vr35, PU-vr36, PU-vr37, PU-vr38, PU-vr39 in PU-vr40.

Metode in tehnike

Izotopske raziskave temeljijo na stabilnih izotopih kisika in devterija ($\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$), ki sta idealni konzervativni sledili, posebej primerni za spremljanje prenosa infiltrirane padavinske vode v vodonosniku, saj se po vstopu v nizko temperaturni vodonosnik večinoma ne spreminjata (Clark & Fritz, 1997; Kendall & McDonell, 1998). Enačba globalne meteorne premice (GMWL - Global Meteoric Water Line) opisuje njun linearni odnos v padavinah (Craig, 1961; Rozanski et al., 1993):

$$\delta^2\text{H} = 8 \cdot \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (1)$$

Za posamezne regije pa so značilne lokalne meteorne premice (LMWL - Local Meteoric Water Line), ki se od globalne lahko razlikujejo tako po odseku kot koeficientu nagiba premice. Odsek na osi y (10 ± 5) in koeficient nagiba premice (8 ± 0.5) se spreminjata v odvisnosti od podnebnih lastnosti - procesov evaporacije in kondenzacije (Clark & Fritz, 1997). Odvisnost izotopske sestave kisika in vodika ($\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$) od temperature ima za posledico efekte izotopske frakcionacije: podnebni, sezonski in višinski efekt (Hoefs, 1997; Clark & Fritz, 1997; Pezdič, 1999). Izotopske raziskave slonijo prav na analizi omenjenih izotopskih efektov. Višinski efekt se uporablja za določevanje območja napajanja podzemnih vod (nižje vrednosti odsevajo območje z višjo nadmorsko višino), sezonsko nihanja



Slika 1. Raziskovalno območje
Figure 1. Study site

$\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ v padavinah pa predstavlja vhodni signal, ki se lahko uporablja za datiranje podzemnih vod. Padavine, ki napajajo vodonosnik, se namreč v njem mešajo s predhodno uskladiščeno podzemno vodo, kar je funkcija fizikalno-kemičnih in hidravličnih lastnosti vodonosnika. V vodonosniku se prične amplituda vhodnega signala zmanjševati. Različne stopnje mešanja in homogenizacije povzročajo razlike v $\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ podzemnih vod vodonosnika oziroma razlike v amplitudah njenega sezonskega nihanja. Te razlike omogočajo ločevanje vod z različnimi zadrževalnimi časi. Daljši je zadrževalni čas podzemne vode v vodonosniku, manjša je amplituda sezonskega nihanja $\delta^2\text{H}$ in $\delta^{18}\text{O}$ v njej. Na podlagi primerjave med izotopsko sestavo padavin (vhodni podatek) ter vod vodonosnika je torej mogoče dobiti informacije o dinamiki vod v opazovanem sistemu, pa tudi o starostni strukturi (Trček et al., 2001; 2006).

V okviru I. in II. raziskovalne faze se je izvajalo mesečno vzorčenje podzemne vode za izotopske analize $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$. Vzorčenje je potekalo na 16 pizometrih, opisanih v prejšnjem poglavju. Sočasno so se vzorčile padavine na postaji, ki je bila narejene v neposredni bližini Pivovarne Union, pri vходу v lizimeter (slika 1), potekale pa so tudi "in situ" meritve osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov: pH, temperatura in elektroprevodnost (v članku je obravnavan le slednji parameter, ki opozarja na onesnaženje). Pri vzorčenju vode so se upoštevala navodila, ki sta jih zbrala Clark in Fritz (1997).

Izotopske analize je opravil laboratorij GSF - Institute of Groundwater Ecology, Neuherberg, Nemčija. Vrednosti izotopske

sestave ^{18}O in ^2H so podane z relativno vrednostjo δ ,

$$\delta_x (\text{‰}) = (R_x / R_{\text{St}} - 1) \cdot 1000 \quad (2)$$

kjer je R_x izotopsko razmerje med težjim in lažjim izotopom elementa v snovi (na primer $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), R_{St} pa izotopsko razmerje v ustrezem mednarodno sprejetem standardnem vzorcu. Standardna napaka meritev je $\pm 0.05\text{‰}$ za kisik in $\pm 0.5\text{‰}$ za vodik.

Podatki so statistično obdelani s pomočjo škatlastih diagramov (Helsel & Hirsch, 1992), ki nazorno prikazujejo razpon ter porazdelitev podatkov, omogočajo pa tudi vizualno primerjavo in ločevanje posameznih vzorčnih mest. Škatlasti diagram ponazarja srednjo vrednost (srednja črta škatle), razpršenost (višina škatle, ki predstavlja 50% podatkov), asimetričnost (z razmerjem višin posameznih polovic škatle) in prisotnost skrajnih vrednosti (oddaljene in zelo oddaljene vrednosti).

Rezultati in razprava

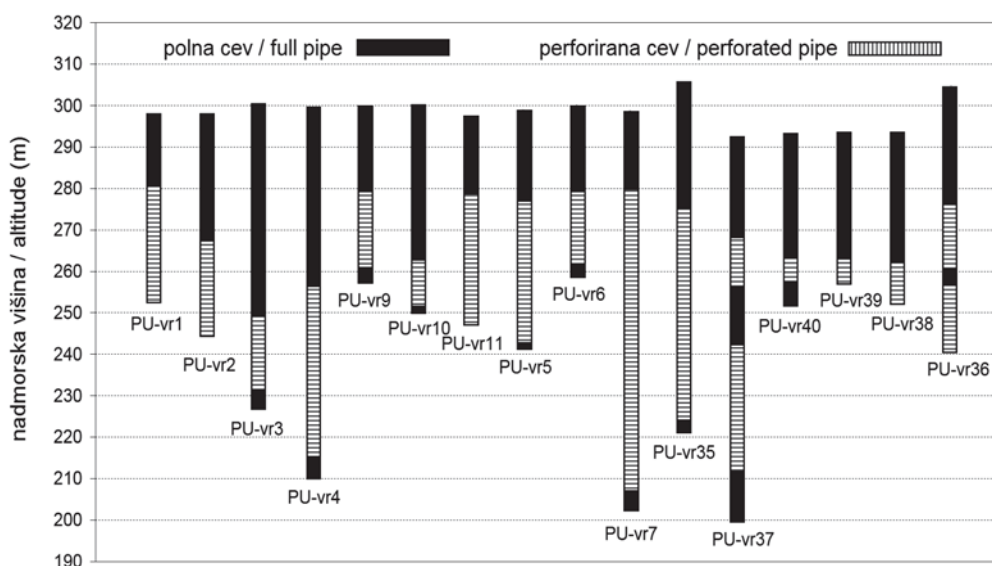
Rezultati meritev $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ ter elektroprevodnosti v mesečno vzorčenih vodah so prikazani v tabeli 1 ter na slikah 3-7. Za obe raziskovalni fazi predstavlja tabela 1 srednje vrednosti obravnavanih parametrov, medtem ko so prikazane njihove statistične lastnosti bolj detajlno s škatlastimi diagrami na slikah 3 in 4. Ker sta $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ linearno odvisni [enačba (1)], interpretacija izotopskih podatkov sloni le na izotopski sestavi kisika, ki se obravnava kot vodilni parameter. Sama linearna odvisnost med $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ se ni proučevala v okviru II. raziskovalne faze, ker je število opazovanj premajhno za podrobnejšo statistično obdelavo

I. fazafaze	PU-vr1	PU-vr2	PU-vr3	PU-vr4	PU-vr9	PU-vr10	PU-vr11	PU-vr5	PU-vr6	PU-vr7	PU-vr35	PU-vr37	PU-vr40	PU-vr39	PU-vr38	PU-vr36	pad./precip.
$\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)	-9,05	-9,08	-9,02	-9,02	-8,70	-9,21	-8,90	-9,13	-8,84	-8,72	-8,95	-8,92	-9,03	-9,03	-8,76	-8,95	-9,07
$\delta^2\text{H}$ (o/oo)	-60,15	-60,08	-59,88	-59,70	-58,35	-61,68	-59,40	-60,73	-59,25	-58,30	-59,85	-59,63	-60,40	-60,28	-58,23	-59,65	-67,00
D	12,22	12,58	12,39	12,57	10,98	12,03	11,87	12,40	11,43	11,20	11,60	11,75	11,80	11,97	11,91	11,94	10,45
EP/EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	463,5	468,5	422,5	424,5	895	334,5	876,5	386	622	858,5	454	693	370	436,5	420	449,5	

II. fazafaze	PU-vr1	PU-vr2	PU-vr3	PU-vr4	PU-vr9	PU-vr10	PU-vr11	PU-vr5	PU-vr6	PU-vr7	PU-vr35	PU-vr37	PU-vr40	PU-vr39	PU-vr38	PU-vr36	pad./precip.
$\delta^{18}\text{O}$ (o/oo)	-8,94	-9,02	-8,94	-8,87	-8,80	-9,17	-8,87	-9,02	-8,78	-8,73	-8,86	-8,83	-9,00	-8,97	-8,77	-8,84	-8,12
$\delta^2\text{H}$ (o/oo)	-60,3	-60,85	-59,85	-59	-59,5	-61,25	-59,7	-60,5	-60	-59,25	-59,45	-59,1	-60,3	-60	-58,45	-59,2	-56,95
D (o/oo)	11,44	11,14	11,82	11,97	10,65	11,83	11,26	11,51	10,56	10,67	11,16	11,31	11,77	11,8	11,66	12	11,72
EP/EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	504	470	432	438	902	351	862	390	639	894	442	705	367	441	430	443	

Tabela 1. Srednje vrednosti $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^2H odseka ($D = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$) ter elektroprevodnosti vzorčenih vod

Table 1. Mean values of $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^2H intercept ($D = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$) and electroconductivity of sampled waters



Slika 2. Opazovalne vrtime, na katerih je potekal monitoring $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ ter osnovnih fizikalno-kemijskih parametrov vode

Figure 2. Observation well for monitoring of groundwater composition of $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^2\text{H}$ and basic physico-chemical parameters

in jo bo bolj smiselno obravnavati ob koncu III. raziskovalne faze. V tej fazi se je pričelo tudi vzorčenje najpomembnejših površinskih vodotokov, ki lahko vplivajo na izotopsko sestavo obravnavanega vodonosnika.

Primerjava srednjih vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ in elektroprevodnosti I. in II. raziskovalne faze v tabeli 1 kaže, da so vrednosti obeh parametrov na splošno višje v obdobju II. faze, kar je razvidno tudi iz škatlastih diagramov na slikah 3 in 4. V II. fazi raziskav je nihala $\delta^{18}\text{O}$ padavin med $-3,91$ in $-16,10$ ‰, srednja vrednost pa je bila $-8,12$ ‰. V podzemnih vodah so se gibale vrednosti parametra med $-8,55$ in $-9,26$ ‰, medtem ko so bile srednje vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ od $-8,73$ do $-9,17$ ‰.

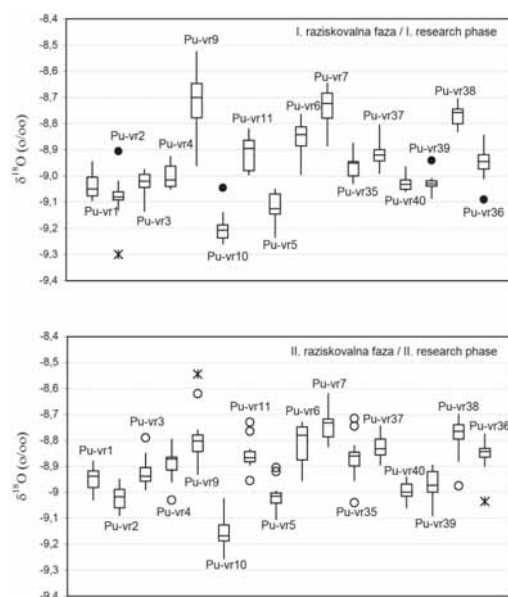
V obeh raziskovalnih fazah je razpon vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ v padavinah veliko večji kot v podzemnih vodah (tabela 1), kar odseva daljši zadrževalni čas vod v vodonosniku. Vrednosti podzemnih vod na sliki 5 se precej razlikujejo med seboj, kar je lahko posledica dveh faktorjev – različnega zadrževalnega časa vzorčenih vod in različne nadmorske višine območja, s katerega se te vode napajajo.

Na podlagi podatkov, prikazanih na sliki 3, so bile razdeljene vzorčene podzemne vode v štiri skupine:

- skupina A – vode vzorčnih mest PU-vr9, PU-vr7 in PU-vr38 (vode z najvišjimi vrednostmi $\delta^{18}\text{O}$);
- skupina B – vode vzorčnih mest PU-vr11, PU-vr6, PU-vr35, PU-vr37 in PU-vr36;
- skupina C – vode vzorčnih mest PU-vr1, PU-vr2, PU-vr3, PU-vr4, PU-vr40 in PU-vr39;
- skupina D – vode vzorčnih mest PU-vr10 in PU-vr5 (vode z najnižjimi vrednostmi $\delta^{18}\text{O}$).

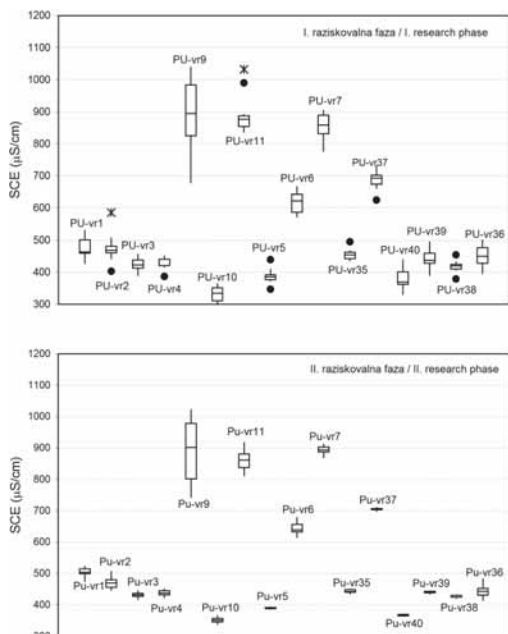
Pri tem je treba opozoriti na določene spremembe, ki jih je najverjetneje povzročilo različno hidrodinamično obnašanje vodnega telesa med I. in II. raziskovalno fazo. Padavine – njihova razporeditev, količina in intenziteta, so glavni faktorji, ki nadzirajo hidrodinamično obnašanje raziskovanega območja. Za obe raziskovalni fazi so prikazane dnevne padavine na slikah 6 a-d. Le-ta hkrati ilustrirata časovno nihanje $\delta^{18}\text{O}$ v obdobju obeh raziskovalnih faz in, v povezavi s slikami 3-5 in 7, odsevata tok in prenos snovi v opazovanem vodnem telesu.

V skupini A so statistične lastnosti $\delta^{18}\text{O}$ vode piezometrov PU-vr7 in PU-vr38 podobne v obeh raziskovalnih fazah, spremembe pa so očitne za piezometer PU-vr9 (slika 3). Razpon vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ piezometra PU-



Slika 3. Rezultati meritev izotopske sestave kisika v podzemnih vodah

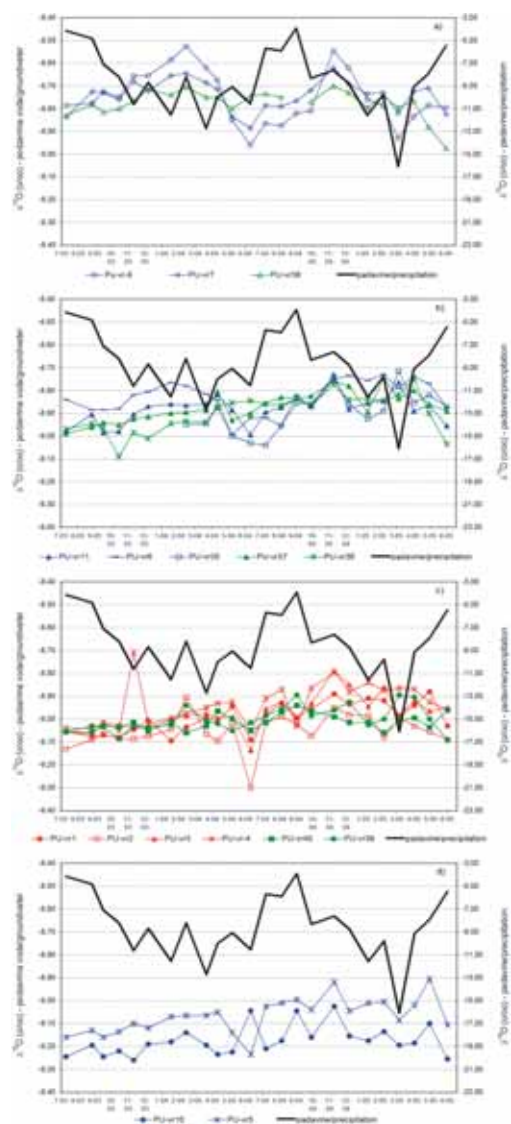
Figure 3. Results of measurements of groundwater oxygen isotopic composition



Slika 4. Rezultati meritev specifične elektroprevodnosti (SEC) v podzemnih vodah

Figure 4. Results of measurements of groundwater specific electroconductivity (SEC)

vr9 je sicer v obeh raziskovalnih fazah podoben, razlikuje pa se njihova porazdelitev. V II. raziskovalni fazi so podatki asimetrično razporejeni in sicer bolj proti negativnim vrednostim, ki so značilne za podzemne vode skupine B (npr. PU-vr11 in PU-vr6). Kljub opisanim razlikam, pa je mogoče privzeti, da so podzemne vode skupine A izotopsko sorodne, zato je njihovo napajanje najverjetneje vezano na isto območje (slika 1).



Slika 5. Časovno nihanje izotopske sestave kisika v vzorčevanih vodah

Figure 5. Time-trend plot of sampled water oxygen isotopic composition

Vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ podzemnih vod skupine A so najvišje izmed vseh, vendar to ne pomeni, da so te vode tudi najmlajše (slika 3). Vode PU-vr9 in PU-vr7 so sorodne tudi po elektroprevodnosti (slika 4). Visoke vrednosti parametra opozarjajo na onesnaženje in s tem na lokalno napajanje. Voda piezometra PU-

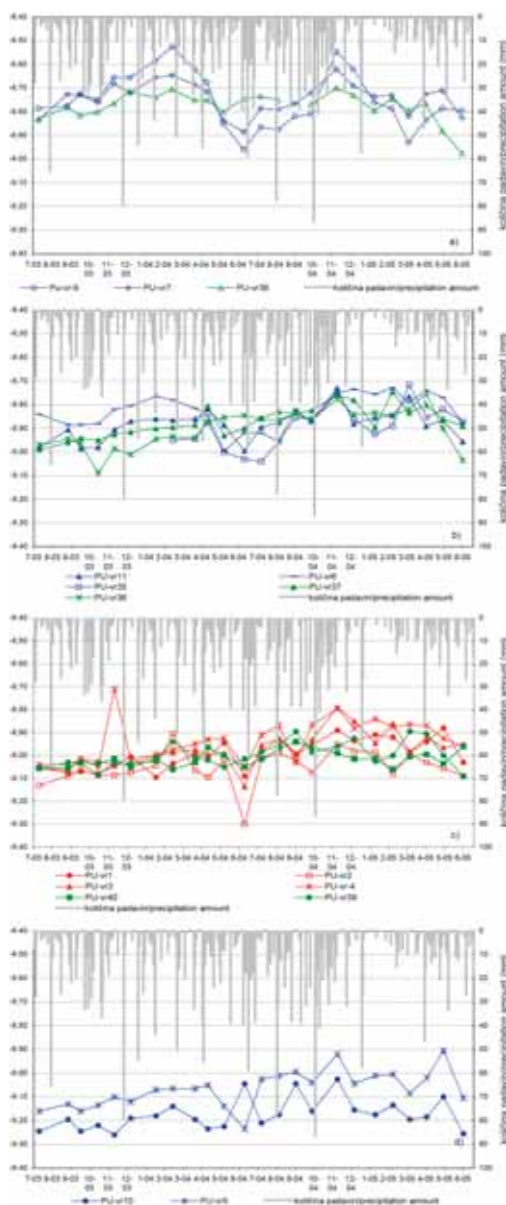
vr38 ni kemijsko onesnažena (sliki 4 in 7), vendar se predvideva, da je tudi napajanje te vrtine lokalno vezano na območja Rožnika.

Sinteza informacij kaže, da je podzemna voda skupine A uskladiščena v plasteh zgornjega prodnega vodonosnika, ki so lokalno pod vplivom napajanja z območja Šišenskega hriba in Rožnika (slika 1).

V skupini B so izpostavljene vrednosti piezometra PU-vr6. Tudi v tem primeru se razlikuje razporeditev podatkov med obema raziskovalnima fazama (slika 3). V II. fazi se velik odstotek vrednosti prekriva s tistimi, ki so značilne za skupino A, kar odseva podobnost med podzemnimi vodami piezometrov PU-vr6 in PU-vr7. Kot za prejšnjo skupino podzemnih vod, je mogoče zaključiti, da pripada podzemna voda piezometrov PU-vr6 in PU-vr11 zgornjemu prodnemu vodonosniku, ki je pod vplivom lokalnega onesnaženja, kar je še posebej očitno v primeru vode PU-vr11 (sliki 4 in 7). Skupini B pripada tudi voda piezometra PU-vr37, ki ima podobno izotopsko sestavo kot voda PU-vr11 (slika 6b), medtem ko niha njena elektroprevodnost podobno kot v vodi PU-vr6 (slika 7). Tudi ta voda je kemijsko onesnažena, kar odseva lokalne vplive. Podzemne vode piezometrov PU-vr35 in PU-vr36 imajo podobne izotopske lastnosti, le da te vode niso pod vplivom kemijskega onesnaženja (sliki 4 in 7).

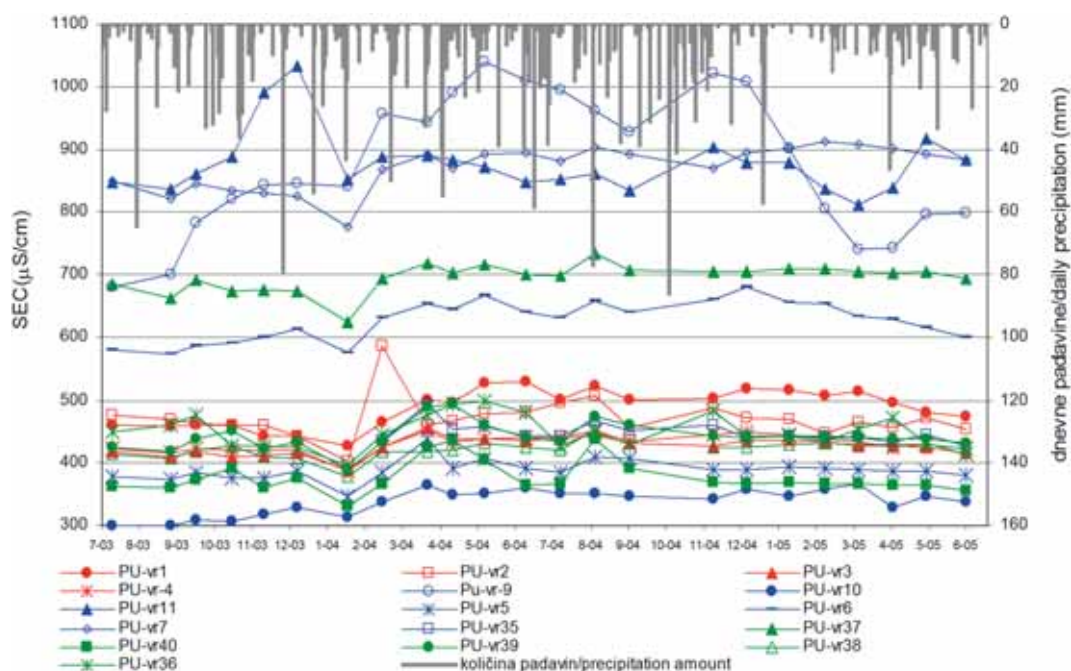
Predstavljeni podatki kažejo, da je tudi podzemna voda skupine B uskladiščena v določenih plasteh zgornjega prodnega vodonosnika, ki pa se ob določenih hidrodinamičnih pogojih lahko meša s podzemno vodo, uskladiščeno v višjih plasteh tega vodonosnika.

V skupino C spadajo podzemne vode piezometrov PU-vr1, PU-vr2, PU-vr3 in PU-vr4, ki zajemajo vodo spodnjega prodnega vodonosnika in podzemne vode dveh piezometrov z barjanskega obrobja (PU-vr39 in PU-vr40). Vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ te skupine vod so nižje od prejšnjih skupin, meritve elektroprevodnosti pa ne odsevajo kemijskega onesnaženja (slike 3-7). V I. raziskovalni fazi so imele vode PU-vr1 in PU-vr2 podobne razpone vrednosti in srednje vrednosti, kar velja tudi za vode PU-vr3 in PU-vr4. V II. raziskovalni fazi so razlike v $\delta^{18}\text{O}$ med obravnavanimi pari vod večje. Izstopajo predvsem vrednosti PU-vr4 (sliki 3 in 6c), ki



Slika 6. Časovno nihanje izotopske sestave kisika v podzemnih vodah

Figure 6. Time-trend plot of groundwater oxygen isotopic composition



Slika 7. Časovno nihanje specifične elektroprevodnosti (SEC) v podzemnih vodah

Figure 7. Time-trend plot of groundwaterspecific electroconductivity (SEC)

se prekrivajo v II. fazi v znatnem deležu z vrednostmi sosednjega piezometra PU-vr9 (slika 6a). Ta informacija je zelo pomembna in opozarja, da je pri določenih hidrodinamičnih pogojih prišlo verjetno do vertikalnega preboja vode iz zgornjega v spodnji prodni vodonosnik. Za vode PU-vr39 in PU-vr40 je mogoče ugotoviti, da so izotopsko zelo sorodne (sliki 3 in 6c), kar odseva podobno območje napajanja, medtem ko se po kemijski sestavi precej razlikujejo (sliki 4 in 7).

Podzemna voda skupine C je torej uskladiščena v plasteh spodnjega prodnega vodonosnika, ki se lahko ob ekstremnih hidrodinamičnih pogojih napaja iz zgornjega prodnega vodonosnika.

Za podzemne vode skupine D, vode piezometrov PU-vr10 in PU-vr5, so značilne najnižje vrednosti izotopske in kemijske sestave (slike 3-7), kar najverjetneje odseva lokalno napajanje z območja Šišenskega hriba (slika 1).

Pozornost je treba nameniti še slikam 5 in 6a-d, ki predstavljajo časove trende $\delta^{18}\text{O}$ vzorčenih vod. Le-te kažejo, da so izmerjene v I. raziskovalni fazi najvišje vrednosti fe-

bruarja 2004. Na podlagi meritev elektroprevodnosti, prikazanih na sliki 7, se predvideva, da je prišlo takrat do intenzivne infiltracije padavinske vode in stopljenega snega v vodonosnik, kar je hkrati povzročilo tudi izpodrivanje predhodno uskladiščene vode iz višjih v nižja območja proučevanega vodnega telesa. Podoben pojav je mogoče zaslediti tudi v obdobju II. raziskovalne faze - novembra 2004 (slike 4-6). Takrat je padla velika količina padavin, ki je morala, glede na vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ na slikah 4-6, povzročiti intenzivno vertikalno napajanje vodnega telesa. Meritve elektroprevodnosti na sliki 7 opozarjajo, da je infiltrirana padavinska voda povzročila batni efekt - nova voda je izpodrinila predhodno uskladiščeno vodo v nižja območja vodnega telesa.

Sklepi

Rezultati I. in II. faze izotopskih raziskav so omogočili vpogled v hidrodinamiko opazovanega pleistocenskega aluvialnega prodnega vodonosnika in mehanizme toka in prenosa snovi. Identificiran je bil vertikalni

proces napajanja, ki ima zelo veliko vlogo pri analizi ranljivosti spodnjega prodnega vodonosnika. Vertikalni tok je glavni faktor za prenos in širjenje onesnaženja do tega pomembnega vira pitne vode, zato bo vertikalno napajanje ena glavnih tem nadaljnjih raziskovalnih faz. Predvsem se bo proučilo, kdaj in kako pogosto se pojavlja vertikalni tok. Hkrati bomo skušali odgovoriti tudi na odprta vprašanja, povezana s starostjo vzorčenih vod in z mešanjem različnih tipov vod na raziskovalnem poligonu. Sinteza rezultatov vseh raziskav bo omogočila, da se a) določi in napove širjenje podzemne vode in urbanega onesnaženja skozi pleistocenski prodni vodonosnik ter b) analizira tveganje prenosa onesnaženja do vira pitne vode v spodnjem prodnem vodonosniku. Predvideni rezultati bodo označili lokalne hidrogeološke razmere, omogočili razumevanje procesov in vzrokov za spreminjanje okolja in pripomogli k izboljšanju kriterijev za upravljanje in gospodarjenje z vodnimi viri v urbanem okolju.

Isotopic investigations in the area of the Union brewery water body

Summary

In order to protect the urban drinking-water resources from pollution an extensive study of groundwater flow and solute transport commenced in the area of the Union Brewery water body in 2003 with the intention of a) assessing and predicting the movement of groundwater and urban contaminants through the Pleistocene alluvial gravel aquifer and of b) analysing the risk of contaminant transport to drinking-water resources in the lower gravel aquifer.

The first two research phases based on isotopic researches. The monitoring of groundwater composition of ^{18}O in ^2H stable isotopes and basic physico-chemical parameters was established in 16 observation wells (piezometers), located inside of a research polygon that is divided into three zones: zone I - the brewery area (PU-vr1, PU-vr2, PU-vr3, PU-vr4, PU-vr9, PU-vr10, PU-vr11), zone II - the brewery vicinity (PU-vr5, PU-vr6 in PU-vr7) and zone III - the brewery catchment area (PU-vr35, PU-vr36, PU-vr37, PU-vr38, PU-vr39, PU-vr40) (Fig.

1). The piezometers (Fig. 2) capture a) groundwater of the lower gravel aquifer, b) groundwater of the upper gravel aquifer or c) both of them.

Data of the groundwater $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ and electroconductivity composition are presented in Table 1 and on Figures 4-9. Their interpretation bases on a leader parameter - $\delta^{18}\text{O}$.

The statistical characteristics of groundwater and precipitation $\delta^{18}\text{O}$ are graphically illustrated with boxplots on Figures 4 and 5. The distributions of data sets significantly distinguish among themselves, which should result from two factors - different residence times of groundwater and different altitudes of groundwater recharge areas. According to Figure 5 sampled groundwaters were divided into four groups:

- group A - waters of piezometers PU-vr9, PU-vr7 and PU-vr38 (waters with the highest values of $\delta^{18}\text{O}$);
- group B - waters of piezometers PU-vr11, PU-vr6, PU-vr35, PU-vr37 and PU-vr36;
- group C - waters of piezometers PU-vr1, PU-vr2, PU-vr3, PU-vr4, PU-vr40 and PU-vr39;
- group D - waters of piezometers PU-vr10 and PU-vr5 (waters with the lowest values of $\delta^{18}\text{O}$).

The electroconductivity data (Fig. 6 and 9) completes information obtained by the leader parameter (Figs. 4, 5, 7 and 8) and the results of previous investigations (Juren, 2004; Veselič, 2000), which provides an insight into the flow and solute transport processes in the urban water body. It was estimated that groundwaters of groups A and B belong to the upper gravel aquifer, which is influenced by local contamination. Groundwaters of group C belong to the lower gravel aquifer, while groundwaters of group D belong to the upper gravel aquifer, which is mixing with waters that flow from the hill Šišenski hrib (Fig. 1).

An additional comment refers to outstanding values. In Figures 5 and 8 the attention should be given to PU-vr4 and PU-vr9 data. During the II. research phase a significant portion of their $\delta^{18}\text{O}$ values coincided, which reflects a vertical breakthrough of groundwater of the upper gravel aquifer into the lower gravel aquifer under specific hydrodynamic conditions. On the other hand in Fe-

bruar 2004 and November 2004 the time-trend plot of $\delta^{18}\text{O}$ (Figs. 7 and 8) points out the piston effect – new event water displaced prestored water into aquifer lower parts.

It could be concluded that the results of the I. and II. research phases have produced general information on the hydrodynamic functioning of the study area and provided an insight into age structure of sampled water. The vertical flow component was identified, which is the main influence on contaminant transport towards the drinking-water resource of the lower gravel aquifer. Hence, investigation of the occurrence and frequency of rapid recharge events represents one of the main themes of the next research phases.

Zahvala

Za sofinanciranje študije se zahvaljujem Pivovarni Union d.d., podjetjema JP Vodovod – Kanalizacija d.o.o. in Snaga d.o.o. pa za pomoč pri izvajanju monitoringa.

References

- Clark, I.D. & Fritz, P. 1997: *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. – Lewis Publishers, 311 pp., New York.
- Craig, H. 1961: Isotopic variations in meteoric waters. – *Science*, 133, 1702–1703.
- Helsel, D.R. & Hirsch, R.M. 1992: *Statistical Methods in Water Resources*. – Elsevier, 522 pp., Amsterdam.
- Hoefs, J. 1997: *Stable Isotope Geochemistry*, Fourth Completely Revised, Updated and Enlarged Edition. – Springer-Verlag, 168 pp., Berlin-Heidelberg.
- Juren, A. 2004: *Hidrogeološke razmere na vplivnem območju vodnih virov Pivovarne Union d.d.* – GeoSi Inštitut za zemljeljslovje d.o.o., Ljubljana.
- Kendall, C. & McDonnell, J.J. 1998: *Isotope tracers in catchment hydrology*. – Elsevier, 722 pp., Amsterdam.
- Pezdič, J. 1999: *Isotopes and geochemical processes: University textbook*. – University of Ljubljana, Faculty of natural sciences, Department of geology, 269 pp., Ljubljana.
- Rozanski, K., Araguds-Araguds, L. & Gonfiantini, R. 1993: *Isotopic patterns in modern global precipitation*. V: Swart, P.K., Lohman, K.C., McKenzie J. & Savin S. (ur.), *Climate Change in Continental Isotopic Records*, *Geophysical Monograph* 78. – American Geophysical Union, 1–36, Washington, D.C.
- Trček, B., Pezdič, J., Veselič, M. & Stic-hler, W. 2001: *Changes in d^{18}O composition of the Hubelj spring under different hydrogeological conditions*. V: Seiler, P. & Wohnlich, S. (eds.), *Proceedings of the Conference on New Approaches Characterizing Groundwater Flow*. – Balkema Publishers, 207–211, Lisse.
- Trček, B. 2001: *Solute transport monitoring in the unsaturated zone of the karst aquifer by natural tracers: PhD thesis*. – University of Ljubljana, 125 pp., Ljubljana.
- Trček, B. 2003: *Epikarst zone and the karst aquifer behaviour, a case study of the Hubelj catchment, Slovenia*. – Geological Survey of Slovenia, 100 pp., Ljubljana.
- Trček, B., Veselič, M. & Pezdič, J. 2006: *The vulnerability of karst springs – a case study of the Hubelj spring (SW Slovenia)*. – *Environmental geology*, 49/6, 865–874.
- Veselič, M. 2000: *Geološke in hidrogeološke raziskave na vplivnem območju vodnih virov Pivovarne Union, končno poročilo*. – Inštitut za rudarstvo, geotehnologijo in okolje, Ljubljana.

Vloga reke Soče pri vnosu živossrebrovih spojin v Tržaški zaliv

Role of the River Soča in transferring mercury compounds into the gulf of Trieste

Jože KOTNIK¹, Stefano COVELLI², Rafaella PIANI², Darija GIBIČAR¹, Martina LOGAR¹, Milena HORVAT¹ & Antonio BRAMBATI²

¹ Institut Jožef Stefan, Odsek za znanosti o okolju, Jamova 39, 1000 Ljubljana; joze.kotnik@ijs.si

² Dipartimento di Scienze Geologiche, Ambientali e Marine, Università degli Studi di Trieste, Via E. Weiss 2, 34127 Trieste

Ključne besede: živo srebro, metil živo srebro, reka Soča, Tržaški zaliv

Key words: mercury, methylmercury, River Soča, Gulf of Trieste

Kratka vsebina

V predstavljenem delu smo se osredotočili na oblike živega srebra v izlivu reke Soče, v območju mešanja sladke in slane vode. Glede na vodni režim reke Soče smo izbrali tri vzorčevalna obdobja na devetih vzorčevalnih lokacijah.

Koncentracija celotnega Hg se je v času meritev gibala med 4,5 in 174 ng/l, s povprečno vrednostjo 25,9 ng/l. Večina Hg (72%) je bila vezanega na suspendirane delce. Najvišje vsebnosti celotnega Hg v vodnem stolpcu so bile izmerjene maja, ko je bila povprečna vsebnost celotnega Hg v vodi 33,6 ng/l. Metil živo srebro (MeHg) je imelo zelo širok razpon med 12,0 in 1350 pg/l (povp. 175 pg/l). Večina MeHg je bila v raztopljeni obliki (85%). Vsebnosti raztopljenega plinastega Hg (DGM) v vodi so se gibale med 0,03 do 2,6 ng/l. Več kot 10 let po zaprtju Idrijskega rudnika so koncentracije Hg in MeHg v vodi reke Soče še vedno izjemno visoke.

Abstract

In presented work different mercury forms in inflow of River Soča at mixing zone between fresh and sea water have been investigated. Regarding to River Soča water regime three sampling periods have been proposed at nine sampling locations.

Total Hg concentrations were between 4.5 and 174 ng/l with average value of 25.9 ng/l. Most Hg (72%) was bounded to suspended matter. The highest values in water column were measured in May when the average total Hg concentration was 33.6 ng/l. Methylmercury (MeHg) concentrations were in wide range between 12.0 and 1350 pg/l (average 175 pg/l). Most MeHg was in dissolved form (85%). Dissolved Hg (DGM) concentration in water was between 0.03 to 2.6 ng/l. More than ten years after closure of the mercury mine in Idrija concentrations of different Hg species in River Soča remains very high.

Uvod

V povodju reke Soče se nahaja drugi največji rudnik živega srebra na svetu. V Idriji so koncentracije živega srebra naravno povišane, več kot petstoletna zgodovina rudarjenja pa je zapustila povišane vsebnosti v

vseh segmentih okolja. Ocenjeno je, da se je skozi zgodovino v okolje izgubilo vsaj 35.000 ton živega srebra bodisi v hlapni obliki skozi dimnik ali odloženo v obliki žgalniških ostankov. Koncentracije Hg v tleh zelo variirajo in lahko dosegaajo tudi nekaj 100 mg/kg. Gosarjeva in sodelavci (1997) poročajo,

da lahko vsebnosti Hg v sedimentu in nabrežinah reke Idrijce dosega tudi 1000 mg/kg. Erozija sedimenta, nabrežin in poplavnih ravnin dolvodno ob reki Idrijci in Soči je danes glavni vir Hg v Tržaškem zalivu. Določeno količino živega srebra v reko Sočo prispeva tudi erozija iz z živim srebrom onesnaženih območij nekdanjih bojišč prve svetovne vojne v njenem zgornjem toku (Pirc & Budkovič 1995; 1996). Ocenjeno je, da Soča letno prinese v Tržaški zaliv preko 1,5 tone živega srebra, ki je vezano v glavnem na suspendirane delce v vodi (Žagar & Širca 2001).

Živo srebro je v vodnem okolju podvrženo različnim biogeokemijskim spremembam. Predvsem je pomemben proces metilacije – demetilacije, ki se vrši v samem vodnem stolpcu ali v sedimentih. Metilacija živega srebra je v prvi vrsti biološki proces, čeprav je mogoča tudi kemična metilacija. MeHg se v vodnem stolpcu lahko demetilira do Hg^{2+} in dalje reducira v Hg^0 , lahko pa tudi metilira do dimetil Hg (Hudson et al. 1994, Schroeder & Munthe 1998). Ostali procesi v procesu kroženja živega srebra v vodnem okolju obsegajo še absorpcijo/desorpcijo na suspendirano snov, usedanje in sedimentacijo partikularnega Hg, difuzijo med porno vodo v sedimentu in vodnim stolpcem, difuzijo med vodnim stolpcem in atmosfero (izhlapevanje), suho ali mokro

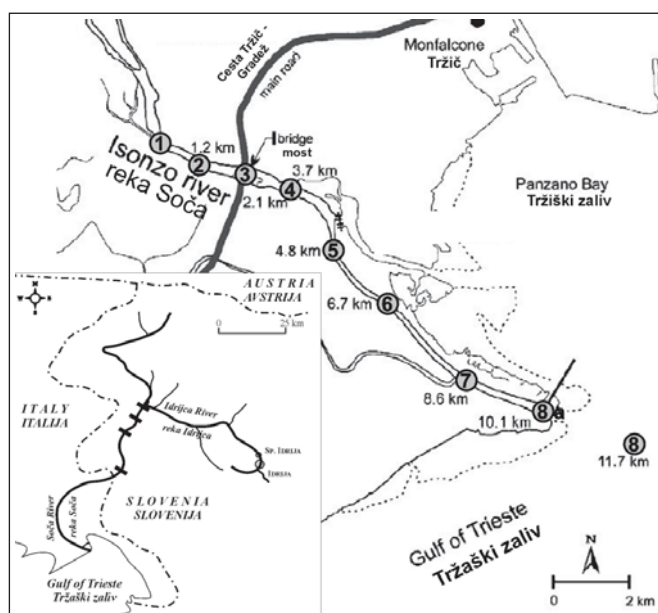
usedanje iz atmosfere na vodno površino ter pritok in odtok iz vodnega telesa bodisi s površinskimi ali podzemnimi vodami.

V predstavljenem delu nas je zanimala predvsem oblika živosrebrovih spojin na meji mešanja sladke in slane vode v izlivu reke Soče in njena vloga pri vnosu teh spojin v morsko okolje Tržaškega zaliva. Ker so rezultati študije preobsežni in bodo podrobno predstavljeni drugje (Covelli et al., v tisku) bomo na tem mestu podali le glavne rezultate in zaključke.

Metode dela

Vzorčevanje

Glede na vodni režim reke Soče smo izbrali tri vzorčevalna obdobja. Sredina februarja, ko je vodostaj nizek (pretok $56 \text{ m}^3/\text{s}$), sredina maja z visokimi vodami ($73 \text{ m}^3/\text{s}$), ko se v zaledju reke topi sneg in sredina avgusta ($32 \text{ m}^3/\text{s}$) z nizkim vodostajem. Vsa vzorčevanja so bila opravljena v letu 2002. Izbranih je bilo devet vzorčevalnih lokacij. Dve v popolnoma sladki vodi, šest v izlivu, kjer prihaja do mešanja med sladko in slano vodo ter ena v Tržaškem zalivu, v popolnoma slani vodi. Na vsaki lokaciji smo vzeli vzorce na treh različnih globinah: pri dnu, v coni mešanja med sladko in slano



Slika 1. Vzorčevalne lokacije
Figure 1. Sampling locations

vodo ter na površini. Vzorčevalne lokacije so prikazane na sliki 1.

Parametri kot so temperatura, slanost, prevodnost, pH, so bili izmerjeni s pomočjo CTD Hidroanaut sonde na vsaki vzorčevalni lokaciji. Glede na profil slanosti smo izbrali vzorčevalno globino. Vzorce smo zajeli z Niskim vzorčevalnikom, jih takoj pretočili v predhodno kislinsko očiščene teflonske plastenke ter jih transportirali v laboratorij, shranjene na temperaturi 4°C. Za analize živosrebrih spojin smo vzeli 2 l vode.

Vzorci so bili v laboratoriju takoj analizirani. Določili smo naslednje Hg spojine in oblike: celotno Hg (nefiltriran vzorec), reaktivno Hg (nefiltriran vzorec), raztopljeno Hg (filtriran vzorec), Hg vezano na partikularno snov, celotno MeHg (nefiltriran vzorec), raztopljeno MeHg (filtriran vzorec), MeHg vezano na partikularne delce, raztopljeno plinasto Hg (DGM) ter DMHg (dimetil Hg). Poleg Hg spojin smo določili še celotno suspendirano snov, velikost in razporeditev suspendiranih delcev, organski ogljik ter celotni dušik.

Analizne metode

Ker so metode določanja zvrsti živega srebra opisane v originalnem članku (Covelli et al., 2006) podajamo na tem mestu le kratek povzetek uporabljenih metod. Različne zvrsti živega srebra so bile analizirane s pomočjo CV AAS (atomska absorpcijska spektrometrija hladnih par) in CV AFS (atomska fluorescenčna spektrometrija hladnih par) tehnik detekcije. Raztopljeno plinasto in reaktivno živo srebro sta bila izmerjena takoj po vzorčevanju. Reaktivno Hg je bilo izmerjeno s pomočjo redukcije s SnCl_2 in po amalgamaciji na zlati merjeno s CV AAS tehniko (Horvat et al., 1991; Horvat, 1996). Celotno živo srebro je bilo določeno po postopku opisanem v Horvat in sod. 1991 ter Horvat, 1996 s pomočjo CV AAS tehnike. Raztopljeno Hg v vodi smo izmerili podobno kot celotno Hg, le da so bili vzorci vode predhodno filtrirani. Partikularno Hg smo izmerili na filtrih s tehniko CV AAS (Horvat et al., 1991; Horvat, 1996). Oblike metiliranega Hg v vodi smo določili z metodo ekstrakcije, etilacije, ločitve s plinsko kromatografijo ter detekcijo na CV AFS (Horvat et al., 1993a; Horvat et al., 1993b). Raztopljeno fazo MeHg v vodi smo

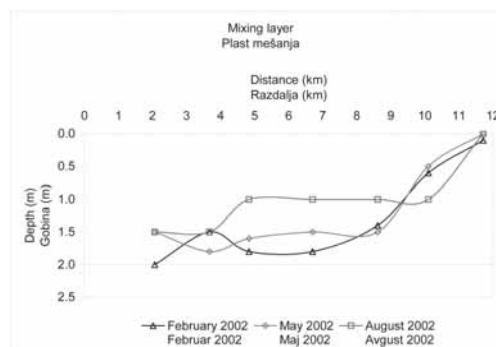
določili na enak način s predhodnim filtriranjem vzorca. Raztopljeno plinasto Hg (DGM) v vodi je bilo izmerjeno s pomočjo CV AFS sistema detekcije (Horvat et al., 2003). Določitev dimetil Hg (DMeHg) je bila izvedena po postopku opisanem v Horvat in sod. 2003. Vzorci so bili določeni v dveh paralelkah in v skladu z mednarodnimi in internimi protokoli zagotavljanja kakovosti.

Rezultati in razprava

Hidrološke značilnosti estuarja

Reka Soča ima značilen vodni režim z daljšimi obdobji nizkih do srednjih pretokov (povprečno $197 \text{ m}^3/\text{s}$) ter kratkimi visokovodnimi valovi s pretokom do $2500 \text{ m}^3/\text{s}$. Visokovodni valovi so navadno posledica močnega deževja v njenem zaledju. V teh obdobjih je značilna visoka vsebnost lebdečih plavin v vodi (do 1000 g/m^3). Značilnost estuarja reke Soče je mešanje morske in sladke vode. Najbolj gorvodna lokacija na kateri smo še izmerili vpliv slane vode je bila lokacija ISO 3, ki leži pod mostom ceste Tržič - Gradež. Na meji mešanja sladke in slane vode je značilna sprememba temperature, slanosti in kalnosti. Temperaturna in slanostna stratifikacija sta v vseh treh vzorčevalnih obdobjih sovpadali.

Profil slanosti kaže zelo ostro »cono mešanja« sladke in slane vode, ki na nobenem mestu ni presegla debeline 20 cm. Značilna globina cone mešanja je nekje med 2 in 1 m globine, ki proti morju dviga in znaša na



Slika 2. Globina plasti mešanja sladke in slane vode v estuarju reke Soče

Figure 2. Sea and fresh-water mixing depths in River Soča estuary

Period Čas	Hg species Zvrst Hg	Reactive Reaktivno Hg (ng/l)	Total Celotno Hg (ng/l)	Dissolved Raztopljeno Hg (ng/l)	Particulate Partikularno Hg (ng/l)	Total Celotno MeHg (pg/l)	Dissolved Raztopljeno MeHg (pg/l)	Particulate Partikularno MeHg (pg/l)	Dissolved gaseous Raztopljeno plinasto Hg (ng/l)
February Februar	Maximum Maksimum	2,78	40,3	17,0	27,2	234	199	93,0	2,65
	Minimum Minimum	0,31	5,43	1,84	2,13	65,5	32,5	12,0	0,16
	Average Povprečje	0,85	16,7	7,52	9,16	135,6	101	33,4	0,85
May Maj	Maximum Maksimum	2,42	174	81,3	92,7	94,3	81,0	42,8	0,34
	Minimum Minimum	0,15	4,73	0,46	2,41	35,9	12,0	9,19	0,07
	Average Povprečje	0,77	33,6	10,2	23,5	65,7	40,6	20,1	0,17
August Avgust	Maximum Maksimum	1,69	104	12,5	97,6	1350	1323	47,0	1,78
	Minimum Minimum	0,37	4,47	2,76	3,13	55,5	40,0	1,00	0,03
	Average Povprečje	0,88	27,3	7,18	23,1	266	251	15,3	0,18

Tabela 1. Povprečne koncentracije zvrsti Hg v različnih vzorčevalnih obdobjih v estuarju reke Soče
Table 1. Average concentrations of mercury species during different sampling periods in River Soča estuary

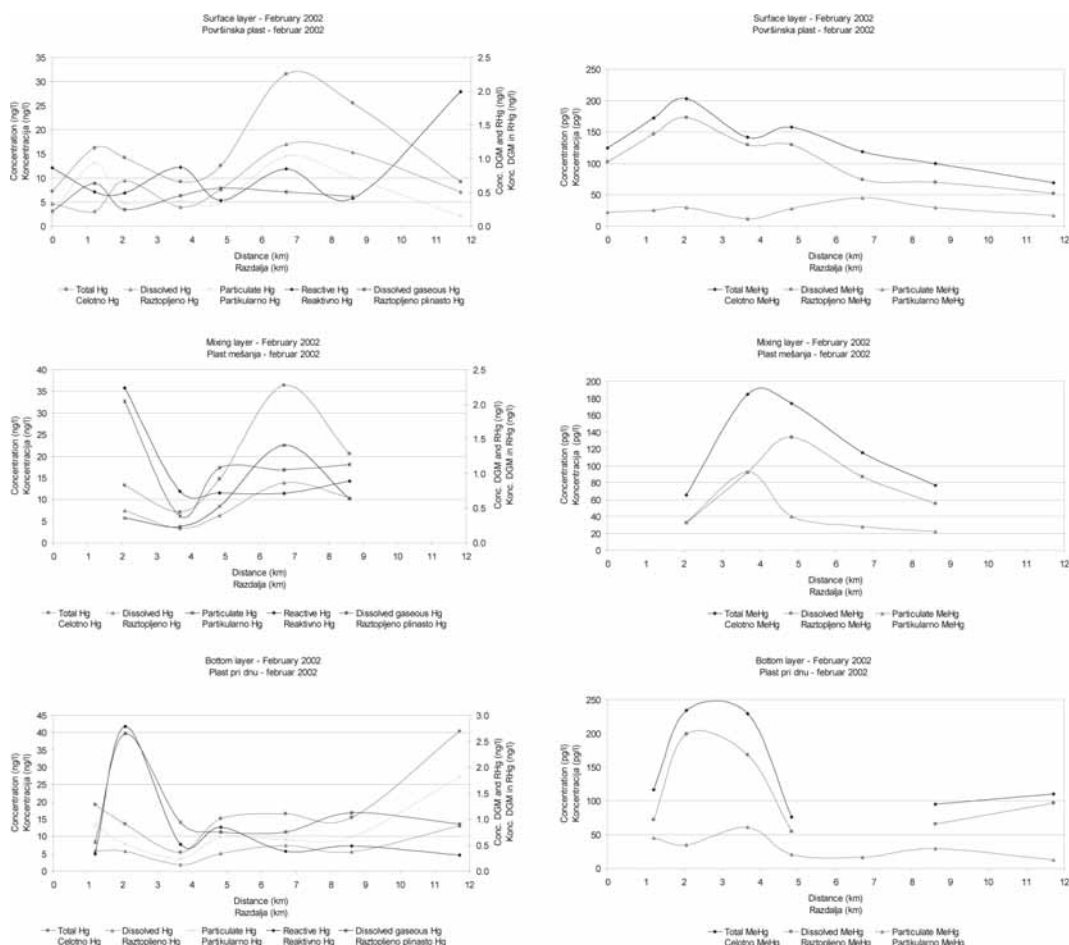
Layer Plast	Hg species Zvrst Hg	Reactive Reaktivno Hg (ng/l)	Total Celotno Hg (ng/l)	Dissolved Raztopljeno Hg (ng/l)	Particulate Partikularno Hg (ng/l)	Total Celotno MeHg (pg/l)	Dissolved Raztopljeno MeHg (pg/l)	Particulate Partikularno MeHg (pg/l)	Dissolved gaseous Raztopljeno plinasto Hg (ng/l)
All layers Vse plasti	Maximum Maksimum	2,78	174	81,3	97,6	1350	1323	93,0	2,65
	Minimum Minimum	0,15	4,47	0,46	2,13	35,9	12,0	1,00	0,03
	Average Povprečje	0,84	25,9	8,34	18,6	175	149	22,5	0,38
Surface Površina	Maximum Maksimum	2,42	104	17,0	97,6	1252	1232	45,0	0,64
	Minimum Minimum	0,15	4,47	0,46	2,13	38,4	12,0	1,00	0,03
	Average Povprečje	0,77	21,9	6,29	17,1	188	168	20,3	0,21
Mixing layer Plast mešanja	Maximum Maksimum	2,23	38,3	13,9	31,6	286	269	93,0	2,04
	Minimum Minimum	0,71	7,10	0,93	3,13	35,9	14,0	9,88	0,10
	Average Povprečje	1,08	20,8	6,82	13,7	126	96,7	25,2	0,46
Bottom Pri dnu	Maximum Maksimum	2,78	174	81,3	92,7	1350	1323	61,0	2,65
	Minimum Minimum	0,31	5,43	1,38	3,59	55,5	19,0	7,00	0,05
	Average Povprečje	0,77	34,4	12,0	24,1	192	163	21,6	0,47

Tabela 2. Povprečne koncentracije različnih zvrsti živega srebra v različnih vodnih plasteh estuarja reke Soče

Table 2. Average concentrations of mercury species in different layers of water column in River Soča estuary

lokaciji v zalivu le nekaj cm, v bolj sušnih obdobjih, ko je pretok Soče nizek pa je skoraj ni opaziti. Med visokovodnim valom rečna voda porine morskno iz estuarja v Tržaški zaliv, kjer se le-ta razlije po površini. Z

manjšanjem pretoka reke morska voda ponovno priteče v estuar, kjer se vzpostavi značilna slanostna stratifikacija. Globine mešanja med sladko in slano vodo med vzorčevanju podajamo na sliki 2.



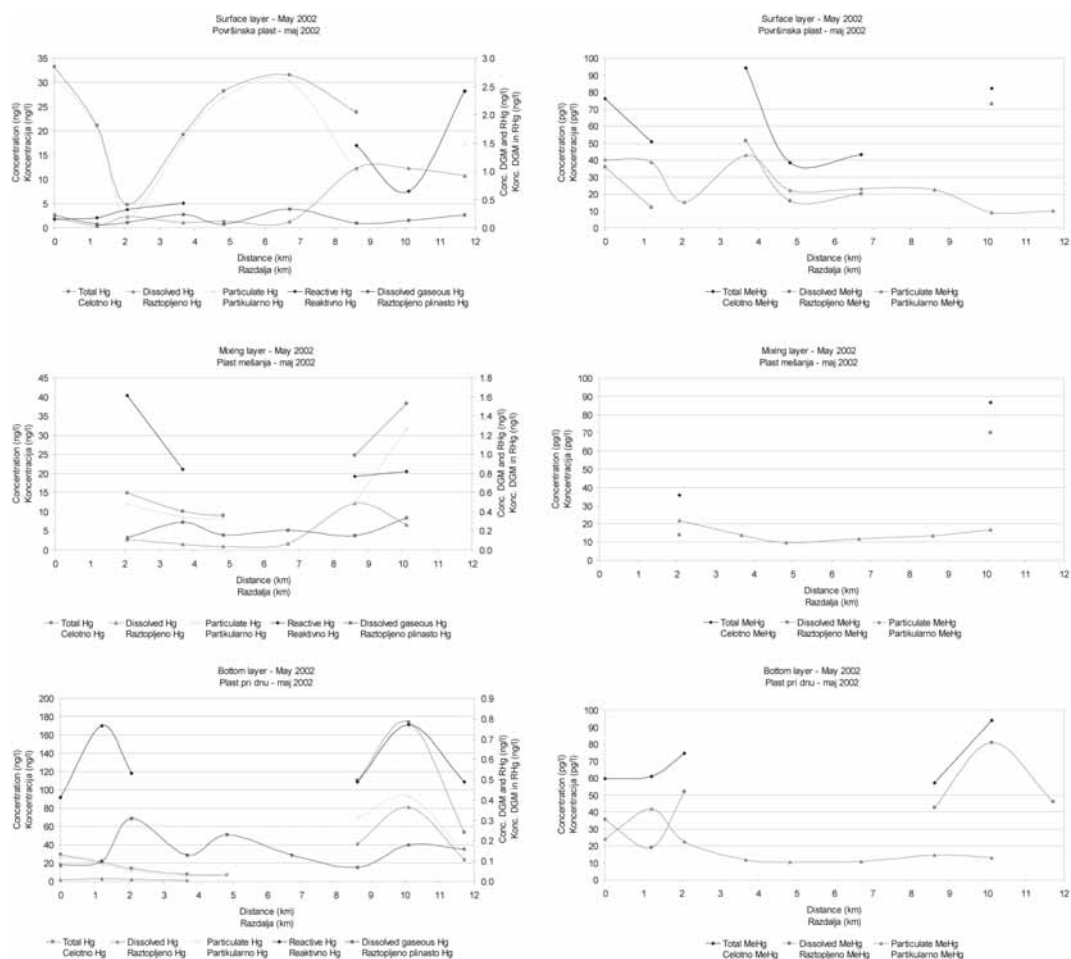
Slika 3. Dolvodna razporeditev različnih Hg oblik v različnih plasteh vodnega stolpca februarja 2002
 Figure 3. Downflow distribution of different Hg species in different layers of water column in February 2002

Celotno, partikularno, raztopljeno, reaktivno in raztopljeno plinasto živo srebro

Koncentracije različnih Hg oblik v različnih vzorčevalnih obdobjih so bile precej različne, vendar kljub temu kažejo nek splošen trend. Povprečne rezultate meritev podajamo na tabelah 1 in 2. Dolvodno porazdelitev različnih Hg oblik pa na slikah 3 do 5.

Celotno Hg je imelo zelo širok razpon med 4,5 in 174 ng/l s povprečno vsebnostjo 25,9 ng/l. Najvišje je bilo izmerjeno meseca maja pri dnu, ko so bile tudi na drugih lokacijah izmerjene višje vsebnosti celotnega Hg. To

razlagamo predvsem z nekoliko višjim vodomestjem reke Soče zaradi taljenja snega v zaledju, ter nekoliko večje erozije s Hg onesnažene struge in nabrežin reke Idrijce ter Soče. Značilna dolvodna razporeditev celotnega Hg v vseh treh plasteh so nekoliko višje koncentracije v najbolj gorvodnih lokacijah. Proti morju vsebnosti celotnega Hg padejo, ter ponovno narastejo na najbolj dolvodnih lokacijah. V vertikalnih profilih je opaziti naraščanje vsebnosti celotnega Hg proti dnu. Koncentracija celotnega Hg v sladki vodi je bila nekoliko višja v avgustu ($25,7 \pm 29,9$ ng/l) kot pa februarja ($18,2 \pm 9,3$ ng/l), kar nakazuje podoben rečni transport Hg v režimu nizkih vod. Najvišje vsebnosti celotnega ži-

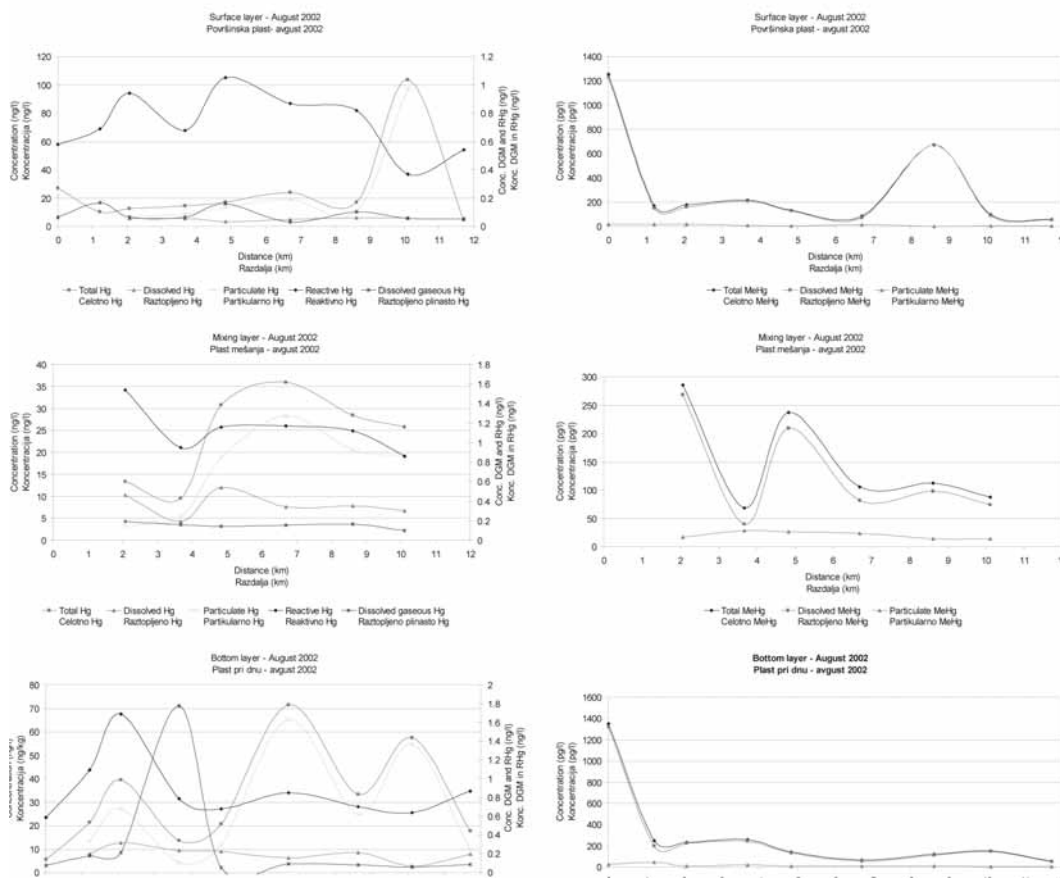


Slika 4. Dolvodna razporeditev različnih Hg oblik v različnih plasteh vodnega stolpca maja 2002
Figure 4. Downflow distribution of different Hg species in different layers of water column in May 2002

vega srebra v slani vodi so bile, v nasprotju s sladko, izmerjene pozno pomladi ($63,5 \pm 66,5$ ng/l) in poleti ($31,3 \pm 24,6$ ng/l). V sladki vodi je bila večina živega srebra vezanega na lebdeče delce. Povprečna vrednost partikularnega Hg v sladki vodi je bila med 51% (februarja) in 84% (maja). Koncentracije partikularnega živega srebra so bile višje februarja ($9,6 \pm 5,9$ ng/l) in avgusta ($25,4 \pm 32,3$ ng/l) v sladki in v slani vodi ($10,5 \pm 8,7$ in $28,5 \pm 25,6$ ng/l) kot pa v brakični, kar nakazuje procese desorpcije živega srebra iz suspendirane snovi pri mešanju sladke in slane vode. Dolvodna razporeditev partikularnega in raztopljenega Hg kaže podoben trend kot celotno Hg: višje vsebnosti v sladkovodnih lokacijah, dolvodno nekoliko nižje

koncentracije ter ponovno naraščanje proti morju. Naraščanje partikularnega živega srebra v slani vodi na najbolj dolvodnih lokacijah razlagamo z resuspenzijo muljastega dna estuarja, ki je posledica plimskih tokov.

Koncentracije raztopljenega živega srebra v sladki in slani vodi so zelo primerljive med februarjem ($8,6 \pm 4,8$ ng/l v sladki in $6,1 \pm 4,0$ ng/l v slani vodi) in avgustovskim ($5,4 \pm 1,0$ ng/l v sladki in $8,7 \pm 2,8$ ng/l v brakični vodi) vzorčevanjem, medtem ko so majske vrednosti precej nižje na zgornjih vzorčevalnih postajah v sladki vodi ($3,3 \pm 3,1$ ng/l) in izredno visoke na dolvodnih lokacijah v slani vodi ($31,7 \pm 31,5$ ng/l). Odstotek raztopljenega Hg je bil najvišji v brakič-



Slika 5. Dolvodna razporeditev različnih Hg oblik v različnih plasteh vodnega stolpca avgusta 2002

Figure 5. Downflow distribution of different Hg species in different layers of water column in August 2002

ni vodi (39 -54%), kar je verjetno posledica desorpcije Hg iz partikularne snovi.

Reaktivno Hg je bilo najvišje izmerjeno pri dnu meseca februarja (2,78 ng/l) in kaže splošen trend naraščanja dolvodno proti morju. Visoke koncentracije reaktivnega Hg so bile izmerjene tudi na lokaciji ISO 3, kjer se pojavi mešanje sladke in slane vode. Vsebnosti reaktivnega Hg so bile v toplejših spomladanskih in poletnih mesecih nižje in niso presegle 2 ng/l. Najvišji odstotek (med 0,8 in 21,5%) reaktivnega Hg je bil februarja na površini lokacije v Tržaškem zalivu. Na splošno je bil odstotek reaktivnega Hg precej višji v zimskih kot spomladanskih in poletnih mesecih, ko vsebnost ni presegla 13%. V vseh treh sezonah je bil odstotek reaktivne-

ga živega srebra višji v brakični (3,8 – 4,0%) kot pa sladki (3,2 – 5,5%) in slani (1,7 – 4,8%) vodi.

V vzorcih je bilo izmerjeno tudi raztopljeno plinasto Hg (v nadaljevanju DGM – dissolved gaseous mercury), kjer gre v glavnem za raztopljeno elementarno Hg (Hg^0) ter v precej manjšem deležu za dimetil Hg (DMeHg), ki pa je v mejah zaznavnosti prisoten le v morski vodi. Vsebnosti DGM so bile v vodah estuarja reke Soče precej visoke in daleč presegajo vsebnosti, ki so normalne za rečna in morska okolja in so se gibale med 0,03 in 2,65 ng/l, kar znaša med 1,8 in 20 % vsebnosti celotnega Hg. Dolvodno v vseh treh plasteh razporeditev DGM približno sovпада z razporeditvijo reaktivnega in

celotnega Hg, le da so nihanja med ekstremi nekoliko nižja.

Organske oblike živega srebra

Za metilirano obliko Hg (MeHg) je slika nekoliko drugačna. Razpon koncentracij celotnega MeHg je bil izredno velik od 35,9 pg/l do 1,3 ng/l (povprečna vrednost 175 pg/l). Najvišja koncentracija je bila izmerjena avgusta pri dnu najbolj gorvodno ležeče lokacije v popolnoma sladki vodi. Da so bile najvišje koncentracije avgusta je posledica višjih temperatur in večje biološke produkcije v rečnem zaledju, ter s tem povečano biotsko metilacijo. Vsebnost MeHg se je gibala med 0,3 in 19 % celotne vsebnosti Hg v povprečju med 0,2 (maj) in 2 % (avgust). Zelo izrazit je trend upadanja koncentracij MeHg spojin dolvodno proti morju, kar je bilo še posebej opazno v poletnih mesecih. Zanimivo je, da visoke koncentracije MeHg niso nujno povezane z visoko vsebnostjo celotnega Hg in obratno. V vodnem stolpcu se MeHg obnaša podobno kot celotno Hg in narašča od površine proti dnu. V veliki večini je bilo MeHg v raztopljeni obliki, kar je še posebej izrazito februarja (73 % MeHg v raztopljeni obliki) in avgusta (90 %). Maja je bilo to razmerje nekoliko nižje (57 % MeHg v raztopljeni obliki) predvsem na račun večje količine suspendiranih delcev v vodi kot posledica spomladanskega razcveta fito- in zooplanktona ter različnih pelodov. Padanje koncentracije partikularnega in raztopljenega MeHg kaže na metilacijo v zgornjih delih estuarja ali pa je večina metil živega srebra prinešena na suspendiranih delcih iz zgornjih delov rečnega toka. Dolvodno po estuarju se voda deloma razredči, deloma pa se MeHg demetilira. Višje avgustovske koncentracije MeHg v sladki vodi so posledica višjih poletnih temperatur vode in s tem večje biološke aktivnosti v toku reke Soče. Letni čas tako igra pomembno vlogo pri razpoložljivosti MeHg spojin v toku reke. Povišanje koncentracij MeHg (še posebej partikularnega) v brakični vodi, kjer je vsebnost fitoplanktona štirikrat višja kot v sladki in dvakrat višja kot v slani vodi, nakazuje biološki izvor MeHg.

Dimetil živo srebro je bilo v vodi zelo nizko in po večini pod mejo detekcije. Le na lokaciji v Tržaškem zalivu smo lahko izmerili vrednosti. Tu je bila koncentracija mese-

ca februarja in maja med 0,2 in 0,5 pg/l, meseca avgusta pa je bila med 6 in 41 pg/l.

Avtorji (Horvat et al., 1999; Hines et al. 2000; Horvat et al., 2001; Faganeli et al., 2003), ki se v zadnjem času ukvarjajo z meritvami različnih oblik Hg v reki Idrijci, Soči in Tržaškem zalivu poročajo o padcu koncentracij Hg in MeHg oblik v reki Idrijci z oddaljevanjem od idrijskega rudišča, kjer lahko koncentracija celotnega Hg doseže tudi čez 300 ng/l (Horvat et al., 2001). Po pritoku reke Idrijce v reko Sočo koncentracije padejo na nekaj ng/l in dolvodno po reki Soči ponovno naraščajo ter na izlivu reke Soče dosežejo že do 20 ng/l do ustja reke Soče v Tržaškem zalivu, kjer poročajo o koncentracijah do 60 ng/l celotnega Hg (Hines et al., 2000). Hkrati se spreminja tudi razmerje med MeHg in celotnim Hg od pod 1 % v reki Idrijci do okoli 5 % v ustju reke Soče (Hines et al., 2000). Podrobne raziskave so v tem delu potrdile visoke koncentracije Hg in MeHg oblik v estuarju reke Soče. Pridobljeni rezultati kažejo predvsem na veliko odvisnost nastopanja Hg oblik od letnih časov ter vodostaja reke Soče.

Primerjava rezultatov s koncentracijami, ki veljajo za neonesnažena rečna in priobalna morska okolja (primerjaj Horvat et al., 1999) pokaže, da vse merjene oblike Hg in MeHg spojin v estuarju reke Soče lahko tudi za več kot 100 krat presegajo vrednosti o katerih poročajo različni avtorji.

Zaključki

Več kot deset let po zaprtju Idrijskega rudnika živega srebra ostajajo koncentracije živega srebra v ustju reke Soče izredno visoke in v nekaterih letnih obdobjih celo višje kot poročajo različni avtorji v preteklosti. V ustju Soče, kjer prihaja do mešanja med sladko in slano vodo koncentracije celotnega Hg naraščajo, medtem ko celotno MeHg dolvodno pada. Koncentracija celotnega Hg je odvisna predvsem od vodostaja reke ter od erozije s Hg onesnaženih sedimentov, nabrežin in poplavnih ravnin ob Idrijci in Soči. Podobno to velja tudi za MeHg spojine, kjer pa še zelo vpliva letni čas in s tem biološka produkcija, ki pospešuje metilacijo Hg spojin. Večinoma je Hg vezano na partikularno snov, večina MeHg pa je bila v raztopljeni obliki. Koncentracija MeHg ne sovпада nujno s koncentra-

cijo celotnega Hg v vodi. Kljub visokim koncentracijam Hg in MeHg spojin v mesecu februarju in avgustu predvidevamo, da zaradi nizkega vodostaja vnos Hg spojin v Tržaški zaliv ni najvišji v teh mesecih. Večina Hg spojin se verjetno s pomočjo rek Idrijce in Soče iz zaledja izpere v Tržaški zaliv ob »izjemnih dogodkih« visokih vod, predvsem po obilnejšem jesenskem deževju, ko lahko vodostaj rek Soče in Idrijce skokovito naraste in s tem poveča tudi erozija s Hg onesnažene-ga zaledja reke.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujemo italijanskemu Ministrstvu za visoko šolstvo in raziskave, Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia in Univerzi v Trstu za financiranje študije.

Literatura

- Covelli, S., Piani, R., Kotnik, J., Horvat, M., Faganeli, J. & Brambati, A.: Behaviour of Hg species in a microtidal deltaic system: The Isonzo River Mouth (northern Adriatic Sea). *Science of the Total Environment*, v tisku.
- Faganeli, J., Horvat, M., Covelli, S., Fajon, V., Logar, M., Lipej, L. & Čermelj, B. 2003: Mercury and methylmercury in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). - *Science of the Total Environment*, 304, 315-326.
- Gosar, M., Pirc, S. & Bidovec, M. 1997: Mercury in the Idrijca River sediments as a reflection of mining and smelting activities of the Idrijca mercury mine. - *Journal of Geochemical Exploration*, 58, 125-131.
- Hines, M.E., Horvat, M., Faganeli, J., Bonzongo, J.-C.J., Barkay, T., Major, E.B., Scott, K.J., Bailey, A.B., Warwick, J.J. & Lyons W.B. 2000: Mercury biogeochemistry in the Idrijca River, Slovenia, from above the Mine into the Gulf of Trieste. *Environmental research - Section A*, 83, 129-139.
- Horvat, M. 1996: Mercury analysis and speciation in environmental samples. In: *Global and regional mercury Cycles: Sources, Fluxes and Mass balances*, W. Baeyens et al. (eds.), 1-31.
- Horvat, M., Covelli, S., Faganeli, J., Logar, M., Mandić, V., Rajar, R., Širca, A. & Žagar, D. 1999: Mercury in contaminated coastal environments; a case study: Gulf of Trieste. *Science of the Total Environment*, 237/238, 43-56.
- Horvat, M., Jereb, V., Fajon, V., Logar, M., Bonzongo, J.C., Faganeli, J. & Hines, M. 2001: Mercury distribution in water, sediments and soil in the Idrijca and Soča river systems. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 48/1, 65-78.
- Horvat, M., Kotnik, J., Logar, M., Fajon, V., Zvonarič, T. & Pirrone, N. 2003: Speciation of mercury in surface and deep-sea waters in the Mediterranean Sea. *Atmospheric Environment*, 37, 93 - 108.
- Horvat, M., Liang, L. & Bloom, N. 1993a: Comparison of distillation with other current isolation methods for the determination of methylmercury compounds in low-level environmental samples, Part 1: Sediments. - *Analytica Chimica Acta*, 281, 135-152.
- Horvat, M., Liang, L. & Bloom, N. 1993b: Comparison of distillation with other current isolation methods for the determination of methylmercury compounds in low-level environmental samples, Part 2: Water. - *Analytica Chimica Acta*, 281, 153-168.
- Horvat, M., Lupšina, V. & Pihlar, B. 1991: Determination of total mercury in coal fly ash by gold amalgamation cold vapour atomic absorption spectrometry. - *Analytica Chimica Acta*, 243, 71-79.
- Hudson, R., Gherini, S., Watras, C. & Porcella, D. 1994: Modelling the Biogeochemical Cycle of Mercury in the Lakes: The Mercury Cycling Model (MCM) and its Application to MTL Study Lakes. V: *Mercury Pollution - Integration and Synthesis*, Watras C. and Huckabee J. (ed.), Lewis Publishers, 473-523.
- Pirc, S. & Budkovič, T. 1995: Geokemični vplivi I. svetovne vojne na krajino. *Geološki zbornik*, 10, 56-57, Ljubljana.
- Pirc, S. & Budkovič, T. 1996: Remains of World War I Geochemical Pollution in the landscape, V: *Environmental Xenobiotics*, M. Richardson (ed.), London.
- Schroeder, W.H. & Munthe, J. 1998: Atmospheric mercury - An overview. *Atmospheric Environment*, 32, 5, 809-822.
- Žagar, D. & Širca, A. 2001: Mass balance and sediment transport modelling of mercury in the Gulf of Trieste. *RMZ - Materials and Geoenvironment*, 48/1, 179-185, Ljubljana.

Influence of ironworks on distribution of chemical elements in Bosnia and Herzegovina and Slovenia

Vpliv železarn na porazdelitev kemičnih prvin v Bosni in Hercegovini ter Sloveniji

Jasminka ALLJAGIĆ¹ & Robert ŠAJN²

¹Masaryk University of Brno, Faculty of Science, Kotlarska 2, 61137, Brno, Czech Republic
e-mail: j.alijagic@yahoo.co.uk

²Geological survey of Slovenia, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia
e-mail: robert.sajn@geo-zs.si

Key words: ironworks, pollution, attic dust, soil, Bosnia and Herzegovina, Slovenia
Ključne besede: železarne, onesnaženje, podstrešni prah, tla, Bosna in Hercegovina, Slovenija

Abstract

The objective of this work is the study of the distribution of chemical elements in attic dust and topsoil for the identification of anthropogenic and geogenic element sources in an old metallurgic area in Bosnia and Herzegovina and Slovenia (Slo – BiH bilateral project “Heavy metals in environment as consequences of mining and smelting in the past”). Samples of attic dust and topsoil were collected in localities in BiH (Zenica, Vareš and Ilijaš) and Slovenia (Jesenice, Štore and Ravne).

Analysis for 42 chemical elements was performed. Based on a comparison of statistical parameters, spatial distribution of particular elements and results of cluster analysis one natural and two anthropogenic geochemical associations were identified. The natural geochemical association (Al-K-La-Sc-Th-Ti) is influenced mainly by lithology. The anthropogenic association (Co-Cr-Mo-Ni-V-W) is the result of iron metallurgy in the past. The second anthropogenic association (Ag-As-Cd-Fe-Hg-Mn-Pb-Sb-Sn-Zn) is the result of high level of sulphide phase in iron ore (Vareš) and zinc and sulphuric acid production in the Celje area.

Povzetek

Namen pričujočih raziskav je študij porazdelitve kemičnih prvin v podstrešnem prahu in tleh za ugotavljanje in ločevanje naravnih in antropogeno povzročenih porazdelitev kemičnih prvin na območjih intenzivnega železarstva v Bosni in Hercegovini ter v Sloveniji (Slo-BiH bilateralni projekt “Težke kovine v okolju kot posledica rudarjenja in topilništva v preteklosti”). V ta namen smo zbrali vzorce podstrešnega prahu in tal na petnajstih lokacijah v Bosni in Hercegovini (Zenica, Vareš in Ilijaš) ter v Sloveniji (Jesenice, Štore in Ravne).

Vzorčni material je bil analiziran na 42 kemične prvine. Na osnovi primerjave statističnih parametrov, porazdelitve posameznih prvin in rezultatov clusterske analize smo izločili eno naravno ter dve antropogeno povzročeni geokemični asociaciji. Porazdelitev Al-K-La-Sc-Th-Ti je predvsem posledica vpliva litološke podlage. Antropogeno povzročena asociacija (Co-Cr-Mo-Ni-V-W) je nastala zaradi delovanja železarstva v preteklosti. Naslednja antropogeno povzročena asociacija (Ag-As-Cd-Fe-Hg-Mn-Pb-Sb-Sn-Zn) je rezultat visokega deleža sulfidne faze v železovi rudi (Vareš) ali pa pridelave cinka in žveplove kisline na območju Celja.

Introduction

The objective of this work is the study of the distribution of chemical elements in attic dust and topsoil for the identification of anthropogenic (man-made) and geogenic (natural) element sources in an old metallurgical area in Bosnia and Herzegovina and Slovenia (Slo – BiH bilateral project “Heavy metals in environment as consequences of mining and smelting in the past”). Samples of attic dust and topsoil were collected in localities in BiH (Zenica, Vareš and Ilijaš) and Slovenia (Jesenice, Štore and Ravne).

In previous geochemical studies (Šajn, 1999; 2003) the properties of attic dust as a sampling medium for the territory of Slovenia (regional-scale) were established. The applicability of attic dust and topsoil for tracing the mercury halo in the Idrija area (Gosar & Šajn, 2001; Gosar & Šajn, 2003) and pollution of heavy metals in Celje (Šajn, 2005), Mežica (Šajn et al., 2000; Šajn, 2002) and Jesenice area (Šajn et al., 1998) was successfully proven.

The basic idea of the project is the hypothesis that relations between geogenic and anthropogenic chemical elements in sampling media, especially in attic dust, are preserved in wider regional scale regardless of architectural particularity of attics in the region and lithology. We believe that this research has proven it.

Geographical and geological description of study areas Localities in Slovenia (Fig. 1)

Celje (Štore)

The town of Celje is situated in the central part of Slovenia. In the area of the Celje – Štore urban zone live about 55,000 inhabitants (Antončič, 2001). The industry is concentrated in the eastern part of the Celje town. The Zinc smelter Celje, started its operation in 1873 and is still in operation today. It has been estimated 580,000 tons of zinc were produced between the years 1875 and 1970 (Žibret, 2002).

The construction of the ironworks Štore started in 1856. The Štore ironworks was a relatively large operation from the beginning. Production and processing were in ex-

pansion until 1991, after that the production dropped radically.

In the geological sense, the studied area represents a young tectonic basin. It is filled with Quaternary deposits of the Savinja, Voglajna and Hudinja rivers. In the northern part are Pleistocene clays, quartz gravel and sand. Tuff and marine clay of the Oligocene age underlie these deposits. In the southeast part also Miocene sand, sandstone, marly limestone and lithothamnian limestone are exposed, as a part of the Celje syncline. The oldest rocks (shale, limestone, keratophyre and keratophyre tuff of the Ladinian age, and Upper Triassic massive limestone) crop out in the southern part (Buser, 1977).

Jesenice

The Jesenice area is situated in the northwest part of Slovenia (Fig. 1). The administrative, political and economic centre is the town of Jesenice, a typical industrial town with iron making tradition, inhabited by a population of about 20,000. Iron making in the Jesenice area is traditional. The deve-



Figure 1. Locations of observed ironworks in Bosnia and Herzegovina and Slovenia

Slika 1. Lokacije železarn v Bosni i Hercegovini ter Sloveniji

lopment of mines and furnaces started end of 14th century as testified by the Ortenburg mining regulations (<http://www.jesenice.si/jeobc.html>).

After WWII Jesenice became the center of black metallurgy in Slovenia. Introduction of electrical steel processing marked the era of manufacturing steel of higher quality and in greater quantities. At its peak in 1970s, the ironworks employed more than 8,000 people (<http://psychcentral.com/psypsyche/jesenice>).

The territory is situated at the contact of three geotectonic units: the south Karavanke, the Ljubljana basin and the Julian Alps. The central ridge of Karavanke is built by the Košuta nappe that consists predominantly of carbonate rocks of Lower to Upper Triassic age. The southern Karavanke nappe, in the area between the Košuta nappe and the Sava fault, consists mostly of Paleozoic clastic and carbonate rocks. The Radovljica-Bled subsided basin in the southeast is filled by Quaternary deposits in the extreme part of the Ljubljana basin. In the southeast, the Mežakla plateau consists of Lower to Upper Triassic carbonate rocks (Buser & Cajhen, 1980; Jurkovšek, 1986).

Ravne

The research area lies in the northern part of Slovenia, close to the Austrian border (Fig. 1). The Meža river valley cuts in its upper part through the Eastern Karavanke Mts., and in its lower parts, the settlements Prevalje and Ravne are placed.

After the year 1835, ironworking had developed at Prevalje and later at Ravne (Mohorič, 1954). The Meža valley is strongly polluted with heavy metals due to mining and smelting. The major pollutants are lead and zinc, which were being extracted in the upper part of the Meža valley for more than 300 years (Šajn et al., 2000; Vreča et al., 2001). Ironwork located in the lower part of the valley also contributed to the pollution of the area during a 150-year operating period (Souvent, 1994).

The upper part of the valley cuts mostly through Triassic limestone and dolomite. The lower part of the valley cuts through metamorphic rocks (Mioč et al., 1983).

Localities in Bosnia and Herzegovina (Fig 1.)

Zenica

Zenica is an industrial city of 130,000, distanced 70 kilometers north from the capital Sarajevo, by the valley of the river Bosna (<http://bs.wikipedia.org/wiki/zenica>).

Construction of the iron and steelworks in Zenica started in 1892, but already in 1899, the iron and steel works produced about 3700 tons of rolled products. In 1940, the iron and steel works produced 1/3 of the total production of steel and rolled production of Yugoslavia. By putting a new facilities into operation and expansion of production continued in 1986 and reached record of 1,720,000 tons of pig iron and 1,906,000 tons of crude steel. In April 1992, production was stopped but in 1998 emerged a new company called "BH STEEL Company" (<http://www.bhsteel.com.ba/istorija.htm>).

The city of Zenica is situated in valley that is covered by alluvium of the Bosna River, partly on alluvial terrace sediments. On the West side of the Bosna River, Miocene and Oligocene rocks outcrop and comprise clays, sandstones, conglomerates and marls thought to represent post-orogenic shelf sediments of Pannonian Sea. On the East side of the Bosna River are Upper Cretaceous massive limestones and limestone breccias and on top is flysch (Živanović et al., 1975).

Vareš

This small city is situated in a valley of the river Stavnja with 20,000 inhabitants. In region of Vareš, iron ore mined and smelted from Antique period. With arrival Austrians to Bosnia, Vareš admire revival in economy aspect. Iron work of Vareš is established in 1891, and operated until 1991. Before last war, Vareš had been forcefully industrial centre, but from that time, mining and metallic activities are stopped (<http://bs.wikipedia.org/wiki/vares>; <http://zeljezara-vares.com/onama.html>).

The oldest rocks are Triassic age sandstone and sandy shale and massive, thick-bedded limestone. There is a part with Anisian limestones and dolomites, bearing hematite

and siderite. The abandoned mine in Vareš was the biggest Fe mine in Bosnia and Herzegovina. The mine zone is represented by carbonates and iron oxide minerals. Moreover, Pb and Zn deposits are reported within the same sequence. In the Vareš area, Pb-Zn mineralization is connected with the Fe deposit. (Olujčić et al., 1978).

Ilijaš

Ilijaš is a municipality located about 20 km north east of the city of Sarajevo. As per dates in 2002, in a district of Ilijaš have lived 15,000 inhabitants. Ironwork of Ilijaš begun with production in 1954, and in time developed in giant who spread around 60 ha. Now, production stagnates. Pre war number of employed decreased from 3,500 on approximately 200 (<http://bs.wikipedia.org/wiki/ilijas>; <http://www.geocities.com/suceska2003/aktilijas.htm>).

The ironwork Ilijaš is situated on Quaternary sediments. Rocks in the Ilijaš basin are Miocene and Oligocene ages, same as in the town Zenica (Jovanović et al., 1978).

Materials and methods

Sampling design and materials

Samples were collected from three localities in Bosnia and Herzegovina (Zenica, Vareš and Ilijaš) and in Slovenia (Jesenice, Ravne and Štore) (Fig. 1). In each Slovenian locality we collected three samples and from each Bosnian locality, two samples. In total we sampled fifteen localities, and at each we collected topsoil (0–5 cm) and attic dust.

Close to each sample site location an old house was chosen with intact attic carpentry. Most of the selected houses were at least 100 years old. To avoid collecting particles of tiles, wood and other construction materials, the attic dust samples were brushed from parts of wooden constructions that were not in immediate contact with roof tiles or floors. Soil was sampled from the surface to the depth of 5 cm close to the house in which attic dust was collected. Within the town, urban soil, such as soil in the gardens and on grass verges was sampled (Šajn, 2003; 2005).

Preparation of samples and analysis

All samples were air-dried. The size fraction of attic dust smaller than 0.125 mm was prepared for chemical analyses by sieving. Soil samples were gently crushed then the fraction smaller than 2 mm was pulverized (Darnley et al., 1995; Salminen et al., 2005). Analysis for 41 chemical elements (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, S, Ti, Ag, As, Au, Ba, Be, Bi, Cd, Ce Co, Cr, Cu, Hf, La, Li, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Sn, Sr, Ta, Th, U, V, W, Y, Zn and Zr) was performed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) after (total) four-acid digestion (mixture of HClO_4 , HNO_3 , HCl and HF at 200°C). Hg was determined with cold vapor atomic absorption spectrometry CV-AAS after aqua regia digestion (mixture HCl , HNO_3 and water at 95°C).

All samples, replicates and geologic standards were submitted to the laboratory in a random order. This procedure assured unbiased treatment of samples and random distribution of possible drift of analytical conditions across all samples.

Sensitivity, accuracy and precision of analysis

The sensitivity in the sense of the lower limit of detection was adequate for 36 out of 42 determined chemical elements. The elements Au, Be, Bi, Hf, Ta and W, however, were removed from further statistical analysis, (Miesch, 1976) since their contents in the majority of analyzed samples were below the lower detection limit of the analytical method. Accuracy of the analytical method for the remaining 36 elements was estimated by calculation of the relative systematic error between the determined and recommended values of geological standards. Most elements show, in the range of the actual samples, very low deviations. The means of elements in the standards generally differ by less than 15% of the recommended values.

Results and discussion

In these analyses we excluded some elements because some of them have concen-

trations below detection limits, but some of them did not show any connection to other elements in multivariate statistical analyses. Consequently 22 elements (Tab. 1) used in the final statistical treatment.

Number of samples for making a cluster analysis is small, but significant enough. Principally, no geochemical variations compare to other previous similar analysis. Based on a comparison of statistical parameters (Tab. 1), results of cluster analysis (Fig. 2) and calculated enrichment ratios (Tab. 2), one natural and two anthropogenic geochemical associations were identified. The natural geochemical association (Al-K-La-Sc-Th-Ti) is influenced mainly by lithology. The first anthropogenic association (Co-Cr-Mo-Ni-V-W) is the result of iron metallurgy in the past. The second anthropogenic association (Ag-As-Cd-Fe-Hg-Mn-Pb-Sb-Sn-Zn) is the result of high level of sulphide phase in iron ore (Vareš) and zinc and sulphuric acid production in the Celje area.

First group: naturally distributed elements

The first group links Al, K, La, Th, Ti and Sc. Characteristics for this geochemical group are high values of correlation coefficients (Tab. 3a) and results of Cluster analyses (Fig. 2) between analyzed chemical elements.

For these elements it is important to note that their average concentrations in topsoil are around 80% concentration in Slovenian soil. Concentration ratios vary between 0.5 and 1.2 (Tab. 2, Fig. 3). Highest concentrations were found in two areas, Ravne and Štore, and are a consequence of weathering of igneous rocks in their environment. The average of these elements in attic dust is 50% (varying between 0.3 and 0.7) concentration in Slovenian soil (Tab. 2, Fig. 4). The highest ratio between attic dust and topsoil was found in the Ilijaš area (0.9) and the lowest in the Ravne area (0.4) (Tab. 2, Fig. 5).

Table 1. Slovenian averages in topsoil (Šajn, 2003) and average values of 22 selected chemical elements for considered ironworks
(Concentrations of Al, Fe, K and Ti are expressed in %, remaining elements in mg/kg)

Tabela 1. Slovenska povprečja v tleh (Šajn, 2003) ter povprečne vrednosti 22 izbranih kemičnih prvin glede na obravnavano železarno
(Vsebnosti Al, Fe, K in Ti so izražene %, vsebnosti ostalih prvin v mg/kg)

Element	Topsoil (0-5 cm)				Attic dust				Štore	Ravne	Zenica	Vareš	Ilijaš
	Slo	Jesenice	Štore	Ravne	Zenica	Vareš	Ilijaš	Jesenice					
First group of elements													
Al	6.9	5.1	6.0	7.1	4.2	4.0	4.2	2.4	3.0	2.6	3.0	2.3	4.1
K	1.6	1.2	1.8	1.9	1.0	1.0	1.1	0.66	1.0	0.76	0.59	0.79	1.2
La	32	23	35	34	24	22	39	9.0	15	15	12	16	22
Sc	12	10	10	15	9.0	10	6.7	5.3	7.0	5.0	7.0		
Th	11	8.3	10	11	7.3	5.6	7.4	4.7	4.3	3.7	4.7	3.3	7.5
Ti	0.33	0.22	0.30	0.25	0.24	0.27	0.23	0.10	0.29	0.12	0.16	0.12	0.23
Second group of elements													
Co	16	9.0	12	22	16	25	34	14	16	42	19	32	17
Cr	91	242	99	574	161	271	166	445	354	3327	156	194	218
Mo	0.80	7.0	2.5	33	1.8	5.2	5.5	22	26	214	5.4	16	7.6
Ni	50	83	53	130	133	187	114	211	144	604	181	144	92
V	102	79	98	124	80	91	89	76	107	162	89	82	74
W	1.4	2.0	2.3	26	1.5	6.5	4.7	2.7	6.7	186	2.8	24	5.6
Third group of elements													
Ag	0.090	0.58	0.20	0.30	1.0	2.6	0.45	2.1	1.7	8.5	4.0	6.1	0.35
As	14	19	28	20	57	31	91	44	116	28	121	83	44
Cd	0.45	1.9	4.9	2.1	1.5	3.5	1.8	5.8	37	6.2	4.3	9.0	1.6
Fe	3.5	5.3	4.7	5.7	4.5	7.6	11	13	14	13	8.6	19	6.8
Hg	0.070	0.59	0.63	0.22	0.51	1.1	5.4	2.6	1.8	0.29	1.8	3.6	0.99
Mn	1054	2320	976	1292	1284	3704	2674	6089	2418	2792	2598	5173	1310
Pb	42	430	175	500	267	918	166	1651	1368	1223	982	2412	199
Sb	1.1	2.5	2.0	5.7	11	29	8.3	12	15	17	52	85	7.7
Sn	3.1	8.3	5.7	12	6.5	20	12	17	27	39	14	58	14
Zn	124	828	706	1431	441	2434	361	2200	6835	1911	1204	5830	453

Table 2: Average enrichment ratios of group of elements according considered ironworks
 Tabela 2: Povprečna obogatitvena razmerja skupin kemičnih prvin glede na obravnavano železarno

Location	Group 1		Group 2		Group 3	
	$\bar{X}$, $\bar{X}_g$	Min - Max	$\bar{X}$, $\bar{X}_g$	Min - Max	$\bar{X}$, $\bar{X}_g$	Min - Max
Enrichment ratio ($M_{\text{topsoil}}/M_{\text{slovenian average}}$)						
Jesenice	0.75	(0.67 - 0.81)	1.7	(0.56 - 8.7)	3.6	(1.3 - 10)
Štore	0.97	(0.86 - 1.1)	1.3	(0.77 - 3.2)	3.5	(0.93 - 21)
Ravne	1.1	(0.78 - 1.3)	5.3	(1.2 - 42)	3.7	(1.2 - 12)
Zenica	0.70	(0.61 - 0.75)	1.4	(0.78 - 2.7)	3.8	(1.2 - 12)
Vareš	0.67	(0.53 - 0.83)	2.8	(0.89 - 6.5)	9.0	(2.2 - 31)
Ilijaš	0.79	(0.62 - 1.2)	2.4	(0.67 - 6.8)	5.6	(2.5 - 82)
Average	0.82	(0.53 - 1.2)	2.2	(0.56 - 42)	4.6	(0.93 - 82)
Enrichment ratio ($M_{\text{attic dust}}/M_{\text{slovenian average}}$)						
Jesenice	0.37	(0.28 - 0.44)	3.0	(0.74 - 28)	11	(3.2 - 41)
Štore	0.56	(0.41 - 0.88)	3.5	(1.0 - 32)	15	(2.3 - 82)
Ravne	0.42	(0.35 - 0.48)	20	(1.6 - 267)	10	(2.0 - 100)
Zenica	0.45	(0.37 - 0.58)	2.1	(0.87 - 6.7)	11	(2.5 - 47)
Vareš	0.40	(0.31 - 0.51)	3.9	(0.80 - 20)	22	(4.9 - 77)
Ilijaš	0.67	(0.58 - 0.73)	2.2	(0.72 - 9.4)	4.1	(1.2 - 15)
Average	0.48	(0.28 - 0.73)	4.0	(0.72 - 267)	11	(1.2 - 100)
Enrichment ratio ($M_{\text{attic dust}}/M_{\text{topsoil}}$)						
Jesenice	0.49	(0.40 - 0.56)	1.8	(0.95 - 3.1)	3.0	(2.0 - 4.9)
Štore	0.58	(0.43 - 0.95)	2.7	(1.1 - 10)	4.3	(0.67 - 9.7)
Ravne	0.40	(0.34 - 0.47)	3.8	(1.3 - 7.2)	2.7	(1.3 - 28)
Zenica	0.65	(0.51 - 0.78)	1.5	(0.97 - 3.1)	2.8	(1.9 - 4.9)
Vareš	0.61	(0.44 - 0.78)	1.4	(0.72 - 3.7)	2.5	(1.4 - 3.2)
Ilijaš	0.88	(0.57 - 1.0)	0.95	(0.49 - 1.4)	0.74	(0.18 - 1.3)
Average	0.60	(0.34 - 1.0)	1.8	(0.49 - 10)	2.7	(0.18 - 28)

$\bar{X}$ - mean (srednja vrednost); $\bar{X}_g$ - geometric mean (geometrična srednja vrednost)

Min - minimum (minimum); **Max** - maximum (maksimum)

Whereas these elements are not included in technological processes of ironworks, we presume that the source of the above elements in topsoil and attic dust is natural, i.e. they originate from soil dust and represent the natural state. Based on these ratios, we can roughly evaluate that the lowest polluti-

on is in the Ilijaš area and the highest in the Ravne area. Similar relationships have been determined during previous research of soil and attic dust in Celje (Šajn, 2005), Jesenice (Šajn, 1998) and Ravne (Šajn, 2002) areas. It is proposed that the distribution of most elements is related to bedrock.

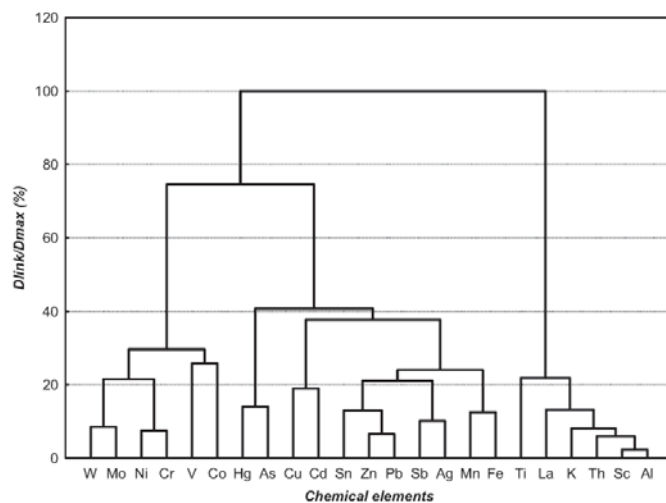


Figure 2. Dendrogram of cluster analysis (15 samples of each attic dust and topsoil; 22 selected elements)

Slika 2. Dendrogram clusterske analize (po 15 vzorcev podstrešnega prahu in tal; 22 izbranih kemičnih prvin)

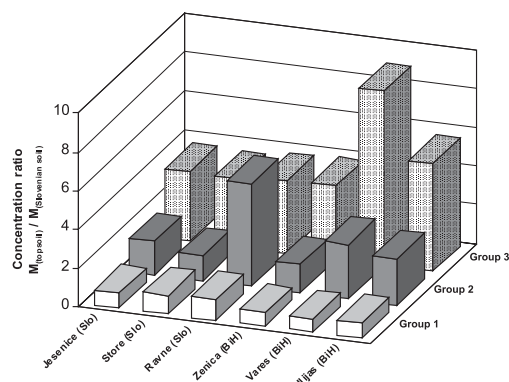


Figure 3. Concentration ratios of groups of elements in topsoil with regard to location of sampling

Slika 3. Koncentracijska razmerja skupin kemičnih prvin v tleh v odvisnosti od lokacije vzorčenja

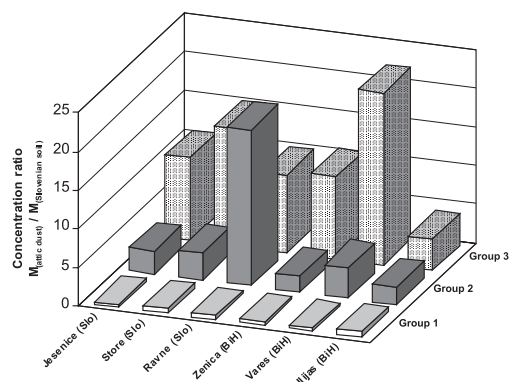


Figure 4. Concentration ratios of groups of elements in attic dust with regard to location of sampling

Slika 4. Koncentracijska razmerja skupin kemičnih prvin v podstrešnem prahu v odvisnosti od lokacije vzorčenja

Second group: anthropogenically introduced siderophile elements

The second group links mainly siderophile elements: Mo, Ni, Co, W, V, and Cr. As with the previous group, high values are observed for correlation coefficients (Tab. 3b), reinforced by results of Cluster analyses (Fig. 2) between analyzed chemical elements.

For these elements it is significant that their average concentration ratio in topsoil exceeds the average for Slovenian soil by a factor of around 2.2. Concentration ratios

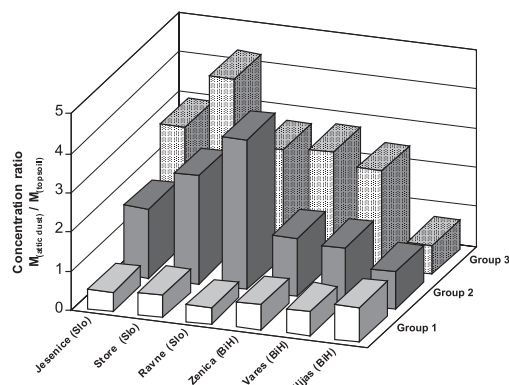


Fig. 5. Concentration ratios (attic dust/topsoil) of groups of elements with regard location of sampling

Slika 5. Koncentracijska razmerja (podstrešni prah/tla) skupin kemičnih prvin v odvisnosti od lokacije vzorčenja

vary between 0.6 and 42 (Tab. 2, Fig. 3). The highest concentration is again in the Ravne area. The average of these elements in attic dust exceeds by a factor of 4 average for Slovenian soil (variation is between 0.7 and 267). Again, the highest concentration is in the Ravne area (Tab. 2, Fig. 4). As in first group, the highest ratio between attic dust and topsoil is found in the Ravne area (3.8) and lowest in the Ilijaš area (0.95) (Tab. 2, Fig. 5).

From this, it is possible to conclude that the consequences of mining are most pronounced in Ravne and least pronounced in Ilijaš. However, ironwork in Ilijaš has a shorter history than in the other five localities. Similar relationships have been determined during previous research of soil and attic dust in the areas Celje (Šajn, 2005), Jesenice (Šajn et al., 1998) and Ravne (Šajn, 2002).

Table 3a. Correlation coefficients (r) between geogenic elements (n=30; $P_{0.05, 28}=0.361$)

Tabela 3a. Korelacijski koeficienti (r) med geogenimi kemičnimi prvinami (n=30; $P_{0.05, 28}=0.361$)

	Al	K	Ti	La	Sc	Th
Al	1.00					
K	0.90	1.00				
Ti	0.75	0.68	1.00			
La	0.78	0.79	0.61	1.00		
Sc	0.96	0.86	0.74	0.76	1.00	
Th	0.95	0.85	0.66	0.77	0.89	1.00

Third group: anthropogenically introduced chalcophile elements

This group links Ag, As, Cd, Pb, Zn, Sb, Sn, Hg, and two siderophile elements Fe and Mn. In this group, as with the two previous groups, we observe a strong relationship between correlation coefficients (Tab. 3c) and results of Cluster analyses (Fig. 2) between analyzed chemical elements.

The highest enrichments are in topsoil, in attic dust and in ratios attic dust/topsoil. In topsoil, the average concentration is 4.6 times higher than in average Slovenian soil (highest concentration is in Vareš and lowest in Štore) (Tab. 2, Fig.3). The average of these elements in attic dust exceeds by a factor of 11 the average for Slovenian soil (varying from 1.2 to 100). The highest concentration of these elements (22) is found in the Vareš area, and basically represents the maximum for this group (Tab. 2, Fig.4). The highest ratio between attic dust and topsoil

is found in the Štore area and, as with the two previous groups, the lowest in the Ilijaš area (Tab. 2, Fig.5).

The high content of the aforesaid group of elements in the Vareš area is consequence of the appearance of Pb-Zn. Metallurgical processes considerably increased the content of sulphide elements in all sampled materials and caused serious environmental pollution. A few kilometers west of the Štore is the town of Celje (Šajn, 2005), where there was an old Zn smelter (over 100 years old), that contributed to a high concentration of chalcophile elements.

Conclusion

Based on these analyses, we can compare pollution levels in each of these six iron-works. We have found that in the cities Zenica and Vareš there exist high concentrations of chalcophile and siderophile elements. Because of this it is very important to continue with further research on these two localities. In the Ilijaš area, by contrast, the pollution level is very low and, for now, further research will be discontinued.

In the Vareš area there is a very high concentration of chalcophile elements, which originate from ore deposits. This iron-works had a major influence on soil, stream sediments and stream terraces of the River Stavnja. My future work will focus more on this area.

It is also very important to continue with research in the city of Zenica, because this

Table 3b. Correlation coefficients (r) between anthropogenically introduced siderophile elements (n=30; $P_{0.05, 28}=0.361$)

Tabela 3c. Korelacijski koeficienti (r) med antropogeno vnesenimi siderofilnimi kemičnimi prvinami (n=30; $P_{0.05, 28}=0.361$)

	Co	Cr	Mo	Ni	V	W
Co	1.00					
Cr	0.56	1.00				
Mo	0.48	0.84	1.00			
Ni	0.70	0.86	0.68	1.00		
V	0.53	0.68	0.46	0.58	1.00	
W	0.68	0.74	0.85	0.61	0.49	1.00

Table 3c. Correlation coefficients (r) between anthropogenically introduced chalcophile elements (n=30; $P_{0.05, 28}=0.361$)

Tabela 3c. Korelacijski koeficienti (r) med antropogeno vnesenimi halkofilnimi kemičnimi prvinami (n=30; $P_{0.05, 28}=0.361$)

	Fe	Ag	As	Cd	Mn	Pb	Sb	Sn	Zn	Hg
Fe	1.00									
Ag	0.67	1.00								
As	0.62	0.53	1.00							
Cd	0.65	0.47	0.46	1.00						
Mn	0.77	0.72	0.41	0.42	1.00					
Pb	0.75	0.80	0.39	0.71	0.75	1.00				
Sb	0.67	0.82	0.62	0.43	0.58	0.74	1.00			
Sn	0.73	0.69	0.39	0.61	0.56	0.78	0.78	1.00		
Zn	0.68	0.62	0.35	0.86	0.60	0.88	0.62	0.77	1.00	
Hg	0.66	0.45	0.75	0.34	0.64	0.40	0.48	0.31	0.34	1.00

ironwork is the largest in the Balkans, and there is a prominent metallurgical tradition.

Based on the results, we can expect high pollution both siderophile and chalcophile elements. This two, in Zenica and Vareš and several other industrial giants are situated in the valley of the River Bosna. It would be very important to check the content of these elements in its stream sediments, as well as alluvial plains where there are intensive agricultural activities. This may have a huge influence on human health and groundwater.

Acknowledgements

The governments of the Slovenia and Bosnia and Herzegovina financed the project. We would like to thank to Geological Survey of Slovenia that help with data processing. But the authors would like to express our gratitude to all of them who participated in the project, especially to all kind people who allowed us out of their good will to take samples in their attics and gardens.

References

- Antončič, A. 2001: Statistical yearbook - Statistical office of the Republic of Slovenia, Ljubljana.
- Buser, S. & Cajhen, J. 1980: Basic geological map of SFRJ, sheet Celovec 1:100.000. - Federal Geological Survey, Beograd.
- Darnley, A. G., Björklund, A., Bolviken, B., Gustavsson, N., Koval, P. V., Plant, J. A., Steinfelt, A., Tauchid, M., Xuejing, X., Garrett, R. G. & Hall, G. E. M. 1995: A global geochemical database for environmental and resource management. Recommendations for international geochemical mapping. Final report of IGCP project 259: - UNESCO Publishing, 122 pp., Paris.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2003: Geochemical soil and attic dust survey in Idrija, Slovenia. - *Journal de Physique*, 107, 561-564. In: XIIth International Conference on Heavy Metals in the Environment; 2003, Grenoble. - *Journal de Physique*, 107, 561-564, Grenoble., Les Ulis.
- Gosar, M. & Šajn, R. 2001: Mercury in soil and attic dust as a reflection of Idrija mining and mineralization (Slovenia). - *Geologija*, 44/1, 137-159, Ljubljana.
- Jovanović, R., Mojičević, M., Tokić, S. & Rokić, M. 1978: Basic geological map of SFRJ, sheet Sarajevo 1:100.000. - Federal Geological Survey, Beograd.
- Jurkovšek, B. 1986: Basic geological map of SFRJ, sheet Beljak in Ponteba 1:100.000. - Federal Geological Survey, Beograd.
- Miesch, A. T. 1976: Geochemical survey of Missouri; methods of sampling, laboratory analyzing, and statistical reduction of data. Geological Survey Professional Paper, USGS, 954-A, Washington, D.C.
- Mioč, P., Žnidarčič, M., Jerše, Z., Ferjančič, L., Pleničar, M., Rijavec, J., Hinterlechner-Ravnik, A., & Orehek, A., S. 1983: Basic geological map of SFRJ, sheet Ravne na Koroškem: - Federal geological survey, Beograd.
- Mohorič, I., 1954: Industrialization of Meža valley: - Založba Obzorja, 315 pp., Maribor
- Olujic, J., Pamić, O., Pamić, J., Milojević, R., Velković, D. & Kapeler, I. 1978: Basic geological map of SFRJ, sheet Vareš 1:100.000. Federal Geological Survey, Beograd.
- Resman, B. 1990: Jesenice. In: Encyclopedia of Slovenia, 4, - Mladinska knjiga, 294-296, Ljubljana.
- Souvent, P. 1994: Results of pedological, geochemical and mineralogical investigation of soil around of ironworks Ravne: - RMZ - Materials and geoenvironment, 42, 179-192, Ljubljana.
- Šajn, R. 1999: Geochemical properties of urban sediments in the territory of Slovenia. - Geological Survey of Slovenia, 136 pp., Ljubljana.
- Šajn, R. 2002: Influence of mining and metallurgy on chemical composition of soil and attic dust in Meža valley, Slovenia. *Geologija*, 45/2, 547-552, Ljubljana.
- Šajn, R. 2003: Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. In: XIIth International Conference on Heavy Metals in the Environment; 2003, Grenoble. *Journal de Physique*, 107, 1173-1176, Les Ulis.
- Šajn, R. 2005: Using attic dust and soil for the separation of anthropogenic and geogenic elemental distributions in an old metallurgic area (Celje, Slovenia). - *Geochemistry: exploration, environment, analysis*, 5, 59-67, London.
- Šajn, R., Gosar, M. & Bidovec, M. 2000: Geochemical properties of soil, overbank sediment, household and attic dust in Mežica area (Slovenia). - *Geologija*, 43/2, 235-245, Ljubljana.
- Šajn, R., Bidovec, M., Gosar, M. & Pirc, S. 1998: Geochemical soil survey at Jesenice area, Slovenia. - *Geologija*, 41, 319-338, Ljubljana.
- Salminen, R., Batista, M.J., Bidovec, M., Demetriades, A., De Vivo, B., De Vos, W., Duris, M., Gilucis, A., Gregorauskiene, V., Halamic, J., Heitzmann, P., Jordan, G., Klaver, G., Klein, P., Lis, J., Locutura, J., Marsina, K., Mazreku, A., O'Connor, P.J., Olsson, S.Å., Ottesen, R.-T., Petersell, V., Plant, J.A., Reeder, S., Salpeteur, I., Sandström, H., Siewers, U., Steinfelt, A. & Tarvainen, T. 2005: Geochemical Atlas of Europe, Part 1, Background Information, Methodology and Maps. - Geological Survey of Finland, 526 pp, Espoo.
- Vreča, P., Pirc, S. & Šajn, R. 2001: Natural and anthropogenic influences on geochemistry of soils in barren and mineralized carbonate terrains: - *Journal of Geochemical Exploration*, 74, 99-108, Amsterdam.
- Žibret, G. 2002: Masna bilanca težkih kovin na območju Celja. - *Geologija*, 45/2, 613-618, Ljubljana.
- Živanović, M., Sofilj, J. & Milojević, R. 1975: Basic geological map of SFRJ, sheet Zenica 1:100.000. - Federal Geological Survey, Beograd.

HTTP sources

<http://bs.wikipedia.org/wiki/ilijas> (Wikipedia, the free encyclopedia – Basic information about municipality of Ilijaš)

<http://bs.wikipedia.org/wiki/vares> (Wikipedia, the free encyclopedia – Basic information about municipality Vareš)

<http://bs.wikipedia.org/wiki/zenica> (Wikipedia, the free encyclopedia – Basic information about municipality of Zenica)

<http://psychcentral.com/psypsy/Jesenice> (Basic information municipality of Jesenice)

<http://www.bhsteel.com.ba/istorija> (Basic information about ironworks Zenica)

<http://www.geocities.com/suceska2003/aktilijas> (Basic information about ironworks Ilijaš)

<http://www.jesenice.si/jeobc> (Basic information municipality of Jesenice)

<http://zeljezara-vares.com/onama> (Basic information about ironworks Vareš)

Izotopske značilnosti lupin školjke *Mytilus galloprovincialis* z vzhodne Jadranske obale

Isotopic characteristics of shells *Mytilus galloprovincialis* from eastern coastal area of Adriatic Sea

Tjaša KANDUČ¹, Davorin MEDAKOVIĆ² & Tadej DOLENEC³

¹Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija, tjasa.kanduc@ijs.si

²Institut Ruđer Bošković, Center za raziskave morskoga okolja, Giordano Paliaga 5, 52210 Rovinj, Hrvaška, medakovic@cim.irb.hr

³Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, tadej.dolenec@ntfgeo.uni-lj.si

Ključne besede: *Mytilus galloprovincialis*, izotopska sestava ogljika, izotopska sestava kisika, Jadransko morje (Hrvaška)

Key words: *Mytilus galloprovincialis*, isotopic composition of carbon, isotopic composition of oxygen, Adriatic Sea (Croatia)

Kratka vsebina

Vzorci lupin *Mytilus galloprovincialis* smo zbrali vzdolž celotne vzhodne Jadranske obale. Analizirali smo izotopsko sestavo ogljika in kisika v kalcitnem in aragonitnem delu skeleta školjke *M. galloprovincialis*. S pomočjo stabilnih izotopov ogljika in kisika smo preverili ali so lupine školjke *M. galloprovincialis* dober indikator pogojev v okolju (temperatura in slanost). S pomočjo izmerjene izotopske sestave kisika v školjčnih lupinah in privzete izotopske sestave kisika v vodi smo izračunali temperature izločanja kalcitnega in aragonitnega skeleta školjke *M. galloprovincialis*, ki se dobro ujemajo z izmerjenimi temperaturami morske vode. Glede na rezultate izotopske sestave ogljika in kisika v lupinah lahko raziskana območja razdelimo v tri skupine: z večjim vplivom sladke vode, z manjšim vplivom sladke vode in morska okolja, kjer ni vpliva sladke vode.

Abstract

Samples of *Mytilus galloprovincialis* were collected from entire Eastern Adriatic coast to determine $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ performed on calcite and aragonite shell layers. The aim of this work was to check whether shells of *M. galloprovincialis* are good environmental indicators (water temperature, salinity). Based on measured isotopic composition of oxygen in shell layers and assumed isotopic composition in water temperatures of calcite and aragonite of shell layers were calculated. The calculated temperatures for *M. galloprovincialis* shell growth of calcite and aragonite shell layer are in good agreement with measured temperatures of sea water. According to our results of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in shell layers we can separate the locations of the investigated area into three groups: those with more influence of fresh water, those with less influence of fresh water and those of marine environments.

Uvod

Lupino školjke *Mytilus galloprovincialis* sestavljata aragonit in kalcit. Školjka izloča dnevno prirastnice, zato vsebujejo le-te zapis fizikalno–kemijskih pogojev morske vo-

de. Školjka se prehranjuje z mešanico morskega planktona in naseljuje območja bližine sladke vode nizko energijskih okolij, kjer ni večjega vpliva valov. Največ lupine izloči v poletnem času od junija do septembra pri temperaturah morske vode od 22–23 °C, kar

pomeni, da večji delež lupine vsebuje zapis pogojev v okolju med poletnimi meseci (Milišić, 1991).

Izotopska sestava (δ vrednost) v karbonatih je definirana kot relativna razlika razmerij (R) koncentracij težjega proti lažjemu izotopu ogljika (kisika) raziskovanega vzorca (vz.) glede na določen referenčni material (RM) in jo izražamo v ‰. Izotopsko sestavo ogljika ($\delta^{13}\text{C}$) in kisika ($\delta^{18}\text{O}$) v karbonatnih vzorcih podajamo s sledečo enačbo (O'Neil, 1979):

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{vz}} = \frac{R_{\text{vz}} - R_{\text{RM}}}{R_{\text{RM}}} \cdot 1000 \quad [\text{‰}] \quad (1)$$

kjer je:

R_{vz} – razmerje $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ v vzorcu oziroma ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ za $\delta^{18}\text{O}$ v vzorcu)

R_{RM} – razmerje $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ v referenčnem materialu oziroma ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ za $\delta^{18}\text{O}$ v vzorcu)

Za ogljik je privzet karbonatni standard V-PDB – Vienna Pee Dee Belemnite (belemnite iz Amerike), kateremu so pripisali $\delta^{13}\text{C} = 0$ ‰. IAEA (Mednarodna agencija za jedrsko energijo) je določila referenčni material NBS 19 karbonat s točno določeno $\delta^{13}\text{C} = +1,95$ ‰ in $\delta^{18}\text{O} = -2,2$ ‰ relativno na VPDB (Coplen, 1996). Za merjenje izotopske sestave kisika v vodi uporabljamo mednarodni standard V-SMOW (Vienna Standard

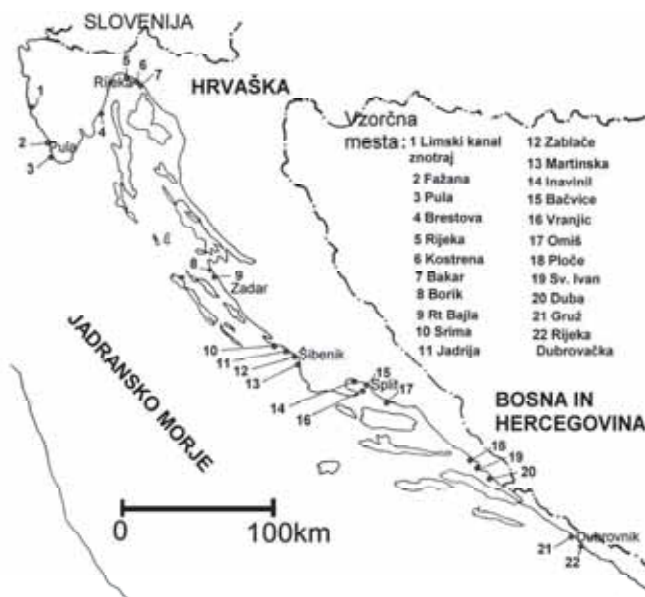
Mean Ocean Water – pripravljen iz destilirane vode, na tak način da odraža povprečno izotopsko sestavo globokih vod iz oceanov po svetu), ki ga je definirala IAEA.

Morske školjke izločajo lupino blizu izotopskega ravnotežja z morskovo vodo (Mook & Vogel, 1968). Razmerje $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ v karbonatih je določeno z razmerjem $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ v vodi, v kateri pride do izločanja karbonatnega skeleta (Anderson & Arthur, 1983). Najvišje vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ imajo karbonatni skeleti vrst, ki živijo v hladnem arktičnem oceanu in v velikih globinah, kjer so temperature zelo nizke. Večina morskih karbonatov odraža $\delta^{13}\text{C}$ celotnega raztopljenega ogljika vode, iz katere izločajo organizmi skelet. Moluski odražajo t.i. minimalni metabolični efekt, ki vpliva na $\delta^{13}\text{C}$ v karbonatnem skeletu, zato njihove izotopske vrednosti predstavljajo reprezentativne rezultate pogojev v okolju (Jones, 1995).

Namen naloge je preveriti ali so školjčne lupine dober indikator pogojev v okolju (temperature vode, dotoka sladke vode oz. slanosti) obalnih morskih vod vzhodnega Jadrana.

Metode dela

Vzorčenje lupin školjke *Mytilus galloprovincialis* so izvedli v plitvem obalnem pro-



Slika 1. Karta vzorčnih točk školjčnih lupin *Mytilus galloprovincialis* vzdolž vzhodne Jadranske obale

storu raziskovalci Centra za raziskovanje morskega okolja Instituta Ruđer Bošković z 22 lokacij vzdolž celotne vzhodne Jadranske obale oktobra 1998 (sl. 1). Lokacije predstavljajo gojišča školjk kot tudi naravna območja, kjer se pojavljajo tovrstne školjke v večjem številu.

Z vsake lokacije smo odvzeli 5 školjčnih lupin, katerim smo izmerili dolžino lupine (tabela 1).

Organske ostanke školjčnih lupin smo odstranili s plastičnim nožem. Za izotopske analize smo aragonitne in kalcitne lupine školjke *M. galloprovincialis* ločili s poliranjem z uporabo smirkovega papirja in jih homogenizirali. Pred meritvami stabilnih izotopov smo organsko snov odstranili iz lupin z dvournim žganjem karbonatnega prahu na 190 eC. Nato smo približno 40 mg vzorca prelili z 2 cm³ 100 % H₃PO₄ v vakuumu. Reakcija poteka 2 uri pri konstantni temperaturi 55 °C (vodna kopel). Nato smo s tekočim dušikom zamrznili CO₂ v posebne ampule (McCreary, 1950). Izotopsko sestavo

smo izmerili z masnim spektrometrom Varian Mat 250 z dvojnimi uvajalnimi sistemi za referenčni material in za vzorce na Institutu Jožef Stefan. Pri meritvah smo uporabljali referenčni material NBS 19. Natančnost meritve za $\delta^{13}\text{C}$ in $\delta^{18}\text{O}$ v karbonatih je $\pm 0,1$ ‰.

Podatke izotopskih analiz školjčnih lupin smo obdelali tudi s clustersko analizo, ki se uporablja za določevanje skupin podatkov s podobnimi lastnostmi, t.i. grupiranje podatkov (Zupan, 1992).

Rezultati in razprava

Temperature izločanje karbonatnega skeleta školjke *Mytilus galloprovincialis*

Neenakomerno izločanje skeleta školjke *M. galloprovincialis* v posameznih letnih časih povzroči tudi neenakomerno izotopsko sestavo, ki je pogojena s temperaturo vode. Ugotovili so, da nekatere školjke prenehajo

Tabela 1. Izmerjene vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ za kalcitni in aragonitni del školjčnih lupin *Mytilus galloprovincialis* ter izračunane temperature izločanja skeleta. $\delta^{18}\text{O}_{\text{vode}}$ so privzete po podatkih Herleca (1994).

Lokacija	Dolžina lupine (cm)	T _{vode} (oktober 1998) (°C)	δ ¹³ C _{kalcit} (‰)	δ ¹⁸ O _{kalcit} (‰)	δ ¹³ C _{aragonit} (‰)	δ ¹⁸ O _{aragonit} (‰)	δ ¹⁸ O _{vode} (‰)	T _{izločanja skeleta}	
								kalcit (°C)	aragonit (°C)
Limski									
1 kanal	5,1-6,2	17,0	-5,0	-1,2	-3,5	-1,1	0,0	22,1	26,7
2 Fažana	4,1-4,6	18,0	-1	0,2	-0,1	0,5	0,5	18,0	21,7
3 Pula	4,7-5,4	18,0	-1,7	0,8	-0,6	0,2	1,0	17,7	25,7
4 Brestova	4,0-4,8	17,0	-1,5	0,4	-0,2	1,3	1,0	19,7	20,6
5 Rijeka	4,9-5,2	15,5	-2,8	-0,7	-1,7	-0,4	0,5	22,1	25,8
6 Kostrena	4,0-4,7	17,0	-1,6	0,1	-0,5	0,1	0,5	18,5	23,8
7 Bakar	4,3-4,8	17,0	-4,6	-2,1	-3,9	-1,7	-1,0	21,6	25,1
8 Borik	4,1-4,9	20,8	-1,3	0,2	-0,2	0,1	1,0	20,4	25,9
9 Rt Bajla	3,5-4,0	21,0	-0,9	0,4	-0,3	0,8	1,0	19,5	22,9
10 Srima	3,1-4,0	21,0	-3,3	-1,0	-2,3	-0,2	0,5	23,5	25,0
11 Jadrija	4,1-4,6	20,6	-2,7	-0,5	-0,5	-0,5	0,5	21,2	26,4
12 Zablače	3,3-4,1	20,5	-3,7	-0,5	-2,0	-0,3	0,5	21,1	25,4
13 Martinska	4,9-5,9	19,5	-5,9	-2,8	-4,4	-2,4	-1,0	24,8	28,3
14 Inavinil	4,5-5,2	20,6	-2,6	-1,2	-1,6	-1,2	0,0	22,1	27,5
15 Bačvice	2,5-3,0	20,5	-0,9	0,0	0,1	0,1	1,0	21,2	26,2
16 Vranjic	3,8-4,8	21,0	-3,1	-0,9	-1,3	-0,3	0,5	23,3	25,5
17 Omiš	3,3-3,8	20,5	-3,8	-1,2	-2,8	-0,2	0,0	22,2	22,8
18 Ploče	3,3-3,6	17,8	-3,9	-1,9	-3,2	-2,3	-1,0	20,7	28,0
19 Sv. Ivan	4,1-4,5	17,5	-6,3	-1,9	-5,4	-2,3	-1,0	21,0	27,7
20 Duba	2,9-4,1	19,0	-2,4	-0,4	-1,1	-0,7	0,5	20,9	27,4
21 Gruž	3,1-3,4	18,5	-2,0	-0,9	-1,1	-0,8	0,5	22,8	28,0
Rijeka									
22 Dubrovačka	4,7-4,9	15,5	-4,5	-0,7	-4,3	-2,2	-1,0	20,3	27,6

z rastjo lupine, ko temperatura pade pod določeno mejno temperaturo (Dettmann & Lohmann, 1994). Ker rast školjke *M. galloprovincialis* preneha v zimskem času, najvišje vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ v karbonatnem skeletu niso zapisane.

Ugotovljeno je (Romanek & Grossman, 1992), da je anorgansko izločen aragonit v povprečju obogaten za 0,6 ‰ s težjim kisikovim izotopom (^{18}O) pri temperaturi 25 °C napram kalcitu. Razlika v izotopski sestavi v ogljikovih izotopih med kalcitnim in aragonitnim delom lupin mehkužcev pa je $1,7 \pm 0,4 \text{ ‰}$ in ni odvisna od temperature izločanja skeleta.

V tabeli 1 so podane izmerjene vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ za kalcitne in aragonitne dele školjčnega skeleta. Razpon vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ za aragonit je od -2,4 do 1,3 ‰ in za kalcit od -2,8 do 0,8 ‰ (tabela 1). Aragonit je v povprečju obogaten za 0,2 ‰ s težjim kisikovim izotopom v primerjavi s kalcitom. Razpon vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ za aragonit je od -5,4 do 0,1 ‰ in za kalcit od -6,3 do -0,8 ‰ (tabela 1). Aragonit je v povprečju obogaten za 1,1 ‰ s težjim ogljikovim izotopom. Aragonitni del skeleta je na vseh lokacijah obogaten s težjim ogljikovim izotopom.

Temperaturo izločanja kalcitnega skeleta školjke *M. galloprovincialis* izračunamo po splošni enačbi za izločanje karbonatov (Craig, 1965):

$$T^{\circ}\text{C} = 16,9 - 4,2 \times (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) + 0,13 \times (\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w)^2 \quad (2)$$

kjer je :

$\delta^{18}\text{O}_c$ - izotopska sestava kisika v kalcitnem delu skeleta, relativno na VPDB

$\delta^{18}\text{O}_w$ - izotopska sestava kisika vode, iz katere se je izločil kalcit, relativno na VSMOW

Za aragonitni del skeleta pa se uporablja sledeča enačba (Grossman & Ku, 1986):

$$T^{\circ}\text{C} = 21,8 - 4,96 \times (\delta^{18}\text{O}_a - \delta^{18}\text{O}_w) \quad (3)$$

kjer je:

$\delta^{18}\text{O}_a$ - izotopska sestava aragonita, relativno na VPDB

$\delta^{18}\text{O}_w$ - izotopska sestava kisika vode, iz katere se je izločil aragonit, relativno na VSMOW

Ker s posameznih lokacij nismo dobili vzorcev vode za analizo $\delta^{18}\text{O}_w$ smo privzeli podatke iz literature (Herlec, 1994; 2005), ki so podane v tabeli 1 skupaj z izračunanimi vrednostmi temperatur izločanja aragonitnega in kalcitnega dela skeleta *M. galloprovincialis*.

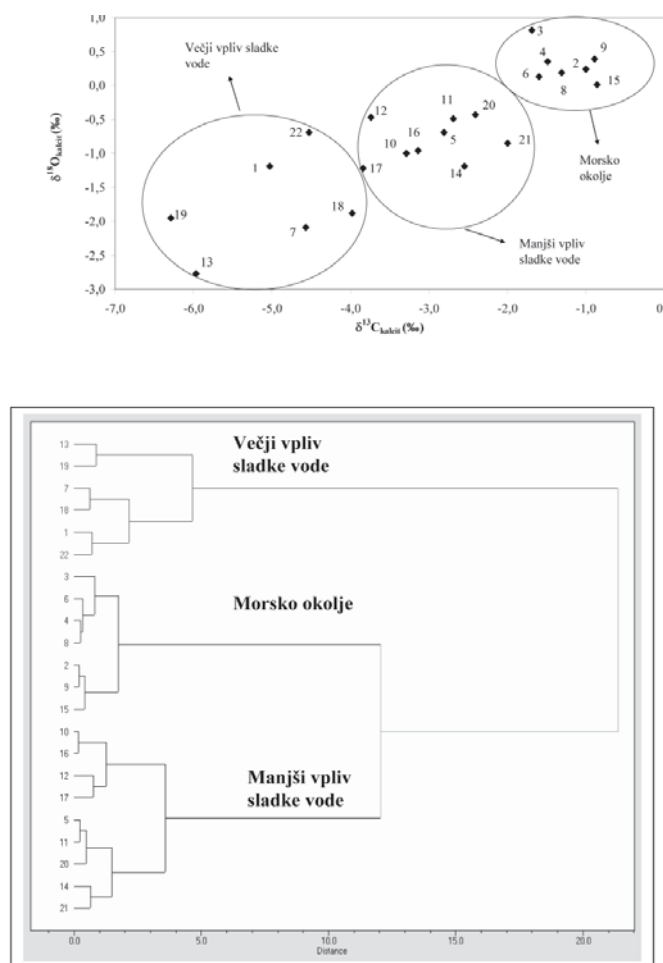
V Jadranskem morju v splošnem nihajo temperature od 8 °C v zimskih mesecih do 28 °C v poletnih mesecih (Milišić, 1991). Školjke *M. galloprovincialis* izločajo kalcitni del lupine v temperaturnem razponu od 17,7 do 24,7 °C, aragonitni del lupine pa izločajo v temperaturnem razponu od 20,5 do 28,3 °C (tabela 1). Aragonitni del skeleta se izloča pri višji temperaturi kot kalcitni del skeleta.

Glede na podatke izmerjenih temperatur morske vode v mesecu oktobru leta 1998 (Institut Ruđer Bošković), ki smo jih dobili s posameznih lokacij v splošnem velja, da so temperature v Srednjem Jadranu najvišje, v Severnem Jadranu pa najnižje, kar se ujema z našimi izračunanimi temperaturami po enačbah (2) in (3), v kateri so školjke izločale karbonatni skelet (tabela 1).

Vpliv slanosti na izotopsko sestavo karbonatov školjke *M. galloprovincialis*

Za školjke, ki živijo na ustjih rek in izločajo lupine velja, da imajo nižje vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ kot morske školjke. Njihova $\delta^{18}\text{O}$ v skeletu je pod -2 ‰, v nasprotju z morskimi školjčnimi lupinami, ki imajo vrednost $\delta^{18}\text{O}$ nad -2 ‰. Morske karbonate z vrednostmi $\delta^{13}\text{C}$ manj od 0 ‰ najdemo na obalnih območjih in estuarijih, kjer površinske vode prenašajo organski ogljik in raztopljeni ogljik kopenskega izvora (Mook & Vogel, 1968).

Iz naših rezultatov $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ za aragonitni in kalcitni del lupine *M. galloprovincialis* med posameznimi lokacijami lahko sklepamo, da je največji vpliv sladke vode na lokacijah z najnižjimi vrednostmi $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$, minimalen vpliv sladke vode pa na območjih z višjimi $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ (sliki 2 in 3). Za razvrstitev vzorcev školjčnih lupin glede na vpliv sladke vode smo s pomočjo podatkov $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$ za karbonatni (slika 2a) in aragonitni del (slika 3a) lupin školjke *M. galloprovincialis* uporabili clustersko analizo, ki se uporablja za grupiranje podatkov (Zupan, 1992). Velik vpliv sladke vode je na lokaciji Sv. Ivan (Južni Jadran) ob izlivu reke Neretve v Jadransko morje, proti Pločam se vpliv Neretve manjša, ker leži v večji oddaljenosti od njenega izliva, in sicer severno od Sv. Ivana (slika 1). Vpliv Neretve proti jugu, na lokaciji Duba, se na izotopski



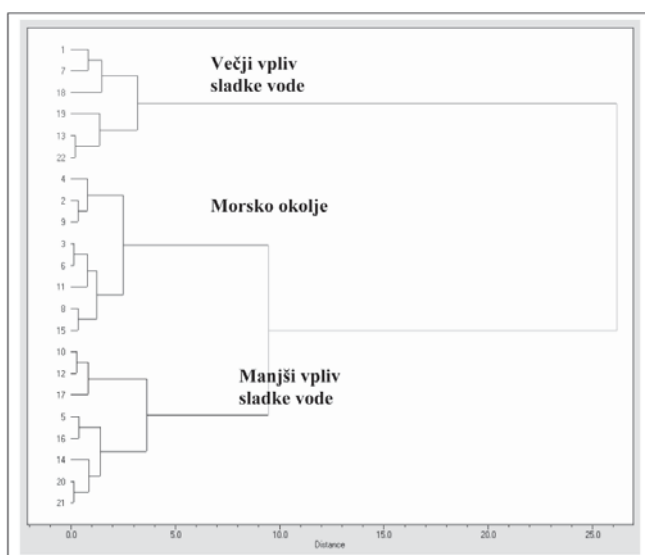
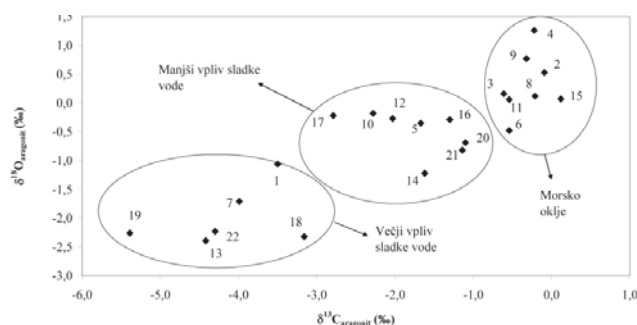
Slika 2. $\delta^{18}\text{O}$ v odvisnosti od $\delta^{13}\text{C}$ v kalcitnem delu lupine *M. galloprovincialis*; grupiranje školjčnih lupin v različne skupine je posledica različnega vpliva sladke vode (vzorčne točke označene kot na sliki 1)

Slika 2a. Dendrogram clusterske analize glede na spremenljivki $\delta^{13}\text{C}$ in $\delta^{18}\text{O}$. Vzorce školjčnih lupin lahko razdelimo v 3 skupine: večji vpliv sladke vode, manjši vpliv sladke vode in morsko okolje ("Distance" - oddaljenost gledanja podobnosti med vzorci)

sestavi kisika in ogljika ne odraža, saj morški tok ob izlivu Neretve teče proti severu (protiurna regionalna smer morskoga toka). Nadalje imamo velik vpliv sladke vode na lokacijah Martinska ob izlivu reke Krke v Šibeniškem zalivu, njen vpliv se proti izlivu v morje manjša, saj dobimo na lokacijah Srma in Jadrija nižje vrednosti $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$. Velik vpliv sladke vode imamo še na lokacijah Bakar, zaradi podmorskih sladkovodnih izlivov in Rijeke Dubrovačke, kjer so podmorski kraški izviri ter Limskega kanala znotraj, ki je bolj sladkovoden, zaradi omejene cirkulacije z morjem. Manjši vpliv sladke vode imamo na lokacijah Omiš (vpliv reke Cetine), Gruž, Srma, Jadrija, Zablače, Rijeka, Inavinil, Vranjic, Duba (Slika 1). Na lokacijah Brestova, Bajla, Pula Kostrena, Fa-

žana, Borik, Bačvice pa vpliva sladke vode ni oz. je okolje morsko.

Iz slik 2 in 3 je razvidno, da sladka voda znižuje $\delta^{18}\text{O}$ in $\delta^{13}\text{C}$, saj vsebuje več "preperinskega" ogljika, ki nastane z razgradnjo organske snovi na kopnem in je obogaten z lažjim ogljikovim izotopom in zato zniža $\delta^{13}\text{C}$ v karbonatnem (aragonitnem in kalcitnem) skeletu *M. galloprovincialis*. Na območjih, kjer ni vpliva sladke vode (Pula, Brestova, Bajla, Kostrena, Fažana, Borik, Bačvice) dobimo višjo izotopsko sestavo ogljika in kisika v karbonatnem skeletu. Iz tega lahko sklepamo, da na izotopsko sestavo kisika v karbonatnem skeletu *M. galloprovincialis* najbolj vpliva dotok sladke vode (sprememba slanosti) in posledično na izotopsko sestavo ogljika, saj nosi organski ogljik, ki je



Slika 3. $\delta^{18}\text{O}$ v odvisnosti od $\delta^{13}\text{C}$ v aragonitnem delu lupine *M. galloprovincialis*; grupiranje školjčnih lupin v različne skupine je posledica različnega vpliva sladke vode (vzorčne točke označene kot na sliki 1)

Slika 3a. Dendrogram clusterske analize glede na spremenljivki $\delta^{13}\text{C}$ in $\delta^{18}\text{O}$. Vzorce školjčnih lupin lahko razdelimo v 3 skupine: večji vpliv sladke vode, manjši vpliv sladke vode in morsko okolje ("Distance" – oddaljenost gledanja podobnosti med vzorci)

izotopsko lažji. Manjši vpliv na $\delta^{13}\text{C}$ ima organski ogljik, ki je posledica razpada organske snovi v morju in prav tako znižuje $\delta^{13}\text{C}$ v karbonatnem skeletu.

Sklepi

Kljub temu, da s smirkovim papirjem nismo uspeli popolnoma ločiti aragonitnega in kalcitnega skeleta, smo dobili razlike v izotopski sestavi ogljika in kisika med aragonitnim in kalcitnim delom lupine *M. galloprovincialis*. Ugotovili smo, da je aragonit v povprečju obogaten za 1,1 ‰ s težjim ogljikovim izotopom in za 0,2 ‰ s težjim kisikovim izotopom na vseh raziskanih lokacijah.

Za izračun temperaturnih vrednosti izločanja skeleta *M. galloprovincialis* smo privzeli podatke iz literature o izotopski sestavi vode, ki bi jo morali odvzeti in izmeriti na vsaki vzorčni lokaciji hkrati z vzorčenjem školjčnih lupin. Izračunali smo, da školjka *M. galloprovincialis* izloča skelet v temperaturnem razponu od 17,7 do 28,3°C, kar se dobro ujema z izmerjenimi temperaturami v Jadranskem morju na vzorčnih mestih.

Razpon izotopske sestave kisika izmerjene v skeletu kaže tako na morską okolja kot tudi na morską okolja z dotokom sladke vode. Sladka voda prav tako znižuje izotopsko sestavo ogljika v karbonatnem skeletu *M. galloprovincialis*, saj dovaja izotopsko lažji anorganski ogljik s kopnega.

Za podrobnejše proučevanje izločanja skeleta posameznih primerkov mehkužcev je potrebno vzorčiti posamezne prirastnice, ki rastejo tekom leta s starostjo organizma. Metoda točkovnega laserskega odvzema mikrovzorca, ki je tudi v naj sodobnejših laboratorijih razmeroma redka, omogoča tudi analizo prirastnic debeline pod 10 μm , ki so bile izločene v zelo kratkih časovnih intervalih (Vander Putten et. al., 2000).

Isotopic characteristics of shells *Mytilus galloprovincialis* from eastern coastal area of Adriatic Sea

M. galloprovincialis uses aragonite and calcite to build its shell. Because it deposits daily accretion growth bands, the shell contains a continuous record of seawater physical and chemical conditions. Bivalve *M. galloprovincialis* forms most of its shell in summer season, which means it reflects isotopic and geochemical composition conditions in seawater primarily during the summer.

Molluscs, in general are believed to exert only a minimal vital (metabolic) effects over their isotopic composition and thus their isotopic values are representative of environmental water conditions (Jones, 1985). The $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio of carbonate is determined by the ratio in the water at which the deposition occurs. Most marine carbonates reflect the $\delta^{13}\text{C}$ of total dissolved carbon of the water in which they form their shell (Anderson & Arthur, 1983).

Samples of *M. galloprovincialis* were taken at 22 sampling locations along the E Adriatic coast. At each site, 5 samples ranging from 2.5 to 5.9 cm in length were collected. Remnant parts of the tissue were removed by plastic knife. For isotopic analysis, the aragonite and calcite layers of the shells were separated by careful grinding with emery paper. $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of both layers were determined using a dual inlet Varian Mat 250 mass spectrometer. The carbonate was transformed into CO_2 by reacting with anhydrous H_3PO_4 at 55°C under vacuum. NBS 18 and NBS 19 reference materials were used to report all isotopic signatures in ‰ relative to the V – PDB (Coplen, 1996).

We found out, on average, aragonite is enriched by 1.1 ‰ in ^{13}C and by 0.2 ‰ in ^{18}O . The calculated temperatures for *M. gallo-*

provincialis shell growth from the investigated area range from 17.7 to 24.7°C for calcite and from 20.5 to 28.3°C for aragonite, which is in good agreement with observed temperatures. According to our results of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in shell layers of *M. galloprovincialis* we can separate the locations of the investigated area into three groups: those of more influence of fresh water, those with less influence of fresh water and those of marine environments. Influx of freshwater into marine environment causes enrichment with light stable isotopes (^{12}C and ^{16}O), which is also reflected in carbonate shells of *M. galloprovincialis*. The results of preliminary monitoring showed that shells are good biomonitors for environmental conditions in water.

Literatura

- Anderson, T.F. & Arthur, M.A. 1983: Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. - V: Arthur M.A. & Anderson T.F., Kaplan I.R., Veizer J., Land L.S. (Eds.) Stable isotopes in sedimentary geology. - SEPM short course, 10, 1–151.
- Coplen, T. B. 1996: Reporting of stable hydrogen, carbon and oxygen isotopic abundances. - V: Reference and intercomparison materials for stable isotopes of light elements. IAEA – TECDOC – 825, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- Craig, H. 1965: The measurement of oxygen isotope paleotemperature. - V: Tongiorgi, E. (Ed.), Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures. Spoleto 1965, 3, Nazionale della Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, 1–24, Pisa.
- Dettman, D. L. & Lohmann, K. C. 1994: Seasonal change in Paleogene surface water $\delta^{18}\text{O}$: Fresh – water bivalves of western North America. - V: Swart, P. K., et. al., (Eds.), Climate change in continental isotopic records: Geophysical Monograph, 78, 153–163.
- Grossman, E. L. & Ku T.L. 1986: Oxygen and carbon isotope fractionation in biogenic aragonite: temperature effects. - Chemical Geology, 59, 59–74.
- Herlec, U. 1994: Stabilni izotopi kisika in ogljika karbonatov v ekoloških in paleontoloških raziskavah. - Magistrsko delo, Arhiv NTF, 290 str., Ljubljana.
- Herlec, U. 2005: Izotopska sestava kisika in ogljika v jadranskih moluskih, iglokožcih, serpulah, otolithih, rdečih algah, briozojih, ciripednih rakih in brachiopodih. - Doktorska disertacija, Arhiv NTF, 290 str., Ljubljana.
- Jones, D.S. 1985: Growth increments and geochemical variations in the molluscan shell. V: Broadhead, T.W., (Ed.), Mollusks. - Univ. of Tennessee, Knoxville, Tenn. Stud. Geol., 13, 72–87.
- McCrea, J. M. 1950: On the Isotopic Chemistry of Carbonates and a Paleotemperature Scale, J. - Chemical Physics, 18, 849–857.

- Milišić, M. 1991: Školjke i puževi Jadrana. - Logos, 302 pp., Split
- Mook, W. G. & Vogel, J. C. 1968: Isotopic Equilibrium between Shells and Their Environment. - Science, 159, 874 – 875.
- O'Neil, J.R. 1979: Stable Isotope Geochemistry of Rocks and Minerals. - V: Lectures in Isotope Geology, Jager, E., Hunzinger, J. C., (Eds). - Springer Verlag, 235–263, Berlin.
- Vander Putten, E., Dehairs, F., Kerpens, E. & Baeyens, W., 2000: High resolution of trace elements in the calcite shell layer of modern *Mytilus edulis*: Environmental and biological controls. - Geochimica Cosmochimica Acta, 64, 997–1011.
- Romanek, C.S., Grossman, E.L. & Morse, J.W. 1992: Carbon isotopic fractionation in synthetic aragonite and calcite: effects temperature and precipitation rate. - Geochimica Cosmochimica Acta, 46, 419-430.
- Zupan, J. 1992: Uporaba računalniških metod v kemiji. - Državna založba Slovenije, 277 pp., Ljubljana.

Application of a perialpine landslide susceptibility model in the Alpine region (Slovenia)

Uporabnost predalpskega modela verjetnosti pojavljanja plazov na alpskem območju

Marko KOMAC

Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 14, SI – 1000 Ljubljana, marko.komac@geo-zs.si

Keywords: landslide, susceptibility model, spatial factor, factor weight, Alps, Slovenia
Ključne besede: plazovi, verjetnost pojavljanja, model, prostorski dejavniki, uteži, Alpe, Slovenija

Abstract

A very good landslide susceptibility prediction model was developed for the area in the perialpine region in the central western Slovenia. Using multivariate statistics the interactions between spatial factors and landslide distribution were tested, and the importance of individual factor to the landslide susceptibility was defined. On the basis of the statistical results several landslide prediction models were developed using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. These models gave very different results, with a prediction error ranging from 6,89 % to 31,8 %. As a final result of the research, weights of different spatial factors from the best models calculated with the AHP method were derived. The results showed that the lithology (31 % variance), the slope inclination (21,2 % variance), land cover type (13,7 % variance), the terrain roughness (10,1 % variance), and the terrain curvature (8,6 % variance) play an important role in landslide susceptibility in general. Minor roles also play the distance to streams and the distance to structural elements. These factors weights values were later used as input values in a simple linear weighted landslide susceptibility prediction model for the area in the Alpine region (north-western Slovenia). The fact is that the ideal weight's value of a factor differs from area to area. Each original weight value used in the new (Alpine) model presented only the mean of the new weight's range/distribution, which was used as an input to the linear model. The analysis of the ideal factors weights in the Alpine area included several analytical trials, where different factors with different weight distribution were used. Altogether, almost 65 000 different models were calculated and tested to the landslide distribution. The best prediction results gave the model, where lithology played the major role in the landslide susceptibility (30 %), slope inclination contributed less (22 %), and land cover type contributed 20 % to the landslide susceptibility. The terrain curvature contributed 16 % to the landslide susceptibility. The distance to streams 10 % and the distance to structural elements contributed 2 % to the landslide susceptibility. When the importance of the synchronism of strata dipping and slope aspect was tested, this factor showed to be very significant (18 % - 22 %). The application of calculated weights from one area into another showed that general principles of spatial factor significance do exist, although they differ in some extent. This proof could be effectively used for fast and relatively inexpensive assessments of landslide susceptibility predictions in the remote and inaccessible regions such as are Alpine areas, but one should always bear in mind that some site specific spatial factors, i.e. synchronism of strata dipping and slope aspect, also play an important role in the landslide susceptibility, especially in the steep areas.

Kratka vsebina

Za območje v predalpskem svetu osrednje Slovenije je bil s pomočjo multivariatne statistike razvit kvaliteten model napovedi verjetnosti pojavljanja plazov. Pri izdelavi

modela je bil določen vpliv posameznih prostorskih dejavnikov na pojavljanje plazov, njihovo medsebojno delovanje in pomembnost dejavnikov pri pojavljanju plazov. Na podlagi statističnih rezultatov je bilo z uporabo metode Analytical Hierarchy Process (AHP) izdelanih več modelov napovedi verjetnosti pojavljanja plazov, ki so dali zelo različne rezultate napovedi. Natančnost napovedi se je gibala med 6,89 % in 31,8 %. Z metodo AHP so bili za najboljše modele izračunani deleži vpliva prostorskih dejavnikov na pojavljanje plazov. Rezultati so pokazali, da igra pri napovedi pojavljanja plazov litologija najpomembnejšo vlogo (31 % variance), sledijo ji naklon pobočij (21,2 % variance), raba tal (13,7 % variance), razgibanost terena (10,1 % variance) in ukrivljenost terena (8,6 %). Manjši vlogi pripadajo dejavnikoma oddaljenosti od površinskih tokov in od strukturnih elementov (prelomov in narivov). Ti podatki o pomembnosti prostorskih dejavnikov so bili nato uporabljeni kot vhodni utežni podatki pri izdelavi modela napovedi verjetnosti pojavljanja plazov za območje v alpskem svetu severo-zahodne Slovenije. Pričakovati je, da se vrednosti uteži prostorskih dejavnikov razlikujejo od lokacije do lokacije, kar postavlja pod vprašaj uporabnost modela napovedi oz. vrednosti uteži predalpskega območja pri izdelavi modela napovedi za alpsko območje. Uporabljene vrednosti uteži iz predalpskega modela so v novem, alpskem modelu linearno utežene vsote predstavljale srednje vrednosti razponov uteži. Iskanje idealnih uteži vplivnih dejavnikov na pojavljanje plazov v Alpsem svetu je bilo sestavljeno iz več analitičnih poskusov, pri katerih so bili uporabljeni različni razponi uteži za različne prostorske dejavnike. Skupaj je bilo izdelanih in testiranih na pojavljanje plazov skoraj 65.000 različnih matematičnih modelov. Modeli z najboljšimi rezultati napovedi so pokazali, da igra pri napovedi verjetnosti pojavljanja plazov v alpskem modelu, tako kot pri predalpskem modelu, litologija najpomembnejšo vlogo (30 %), z 22 % ji sledi naklon pobočij, z 20 % pa raba tal. Ukrivljenost pobočij prispeva k napovedi 16 %, oddaljenost od površinskih tokov 10 % in oddaljenost od strukturnih elementov 2 %. Pri modelih, v katere je bil vključen dejavnik sinhronosti vpadov plasti z usmerjenostjo pobočij, se je izkazalo, da je ta dejavnik vsaj tako pomemben kot raba tal (18 % - 22 %). Prenos vrednosti uteži prostorskih dejavnikov iz enega območja na drugo je kljub manjšim odstopanjem pokazal, da obstajajo neka splošna načela vpliva dejavnikov na pojavljanje plazov, kar bi bila lahko dobra osnova za enostavno in relativno hitro izdelavo ocene verjetnosti pojavljanja plazov na nedostopnih območjih, ki jih v alpskem svetu ne manjka. Obenem je nujno upoštevati dejstvo, da lahko lokalno specifični dejavniki močno spremenijo verjetnost pojavljanja plazov.

Introduction

The occurrence of spatially distributed events or phenomena is the result of numerous interacting spatial and temporal factors. To predict these events is always a tricky task. Even trickier is the application of the prediction results from one research area to another without loosening the rules that model is based on. It is not very difficult to apply a model to some other area than the learning one, if model's rules are universal. When predicting landslide susceptibility this is a rare case, since the combinations of different factors that influence the spatial distribution and those that govern the triggering conditions are numerous and site specific. Or aren't they?

In the most ideal circumstances of course, only one model for each type of phenomenon would be enough for a prediction of the same phenomenon anywhere. There are several reasons/obstacles that indicate the restrictions of model applicability. Those reasons are (1) spatial and temporal diversity of the pheno-

menon governing factors, (2) inexact definitions of phenomena, (3) misclassification of phenomena, and (4) inaccuracy of the data on governing factors. Since it is almost impossible to overcome all the obstacles given above, the prediction models' usefulness' is limited.

The paper will show the development of linear weighted landslide susceptibility prediction model using multivariate statistics and Analytical Hierarchy Process (AHP), its accuracy testing in the same area, and its application to the non-related, distant area. The testing of the landslide susceptibility prediction applicability will be carried out with numerous models with varying factors' weights values. The results will show the level of the applicability of perialpine landslide susceptibility model to the Alpine area.

The research will only take into account the causal factors, since the triggering factors are rather difficult to predict and to model, due to their temporal variation. Despite their complexity some researchers did try to tackle the problem (Kojima & Obayashi, 2002; 2004).

Study area and data used

The landslide susceptibility prediction model was developed in the perialpine area in the central Slovenia. The area that spreads approximately 1220 square kilometres (35×35 km) and lies in the central part of Slovenia, west of Ljubljana, its capital. The model was later applied to the municipality of Bovec (367 km²) that lies in the Alpine region in the north-western part of Slovenia. Both areas are shown in Figure 1.

elevation model (DEM) data were obtained from the national 25 m resolution InSAR DEM 25 (Survey and Mapping Administration, 2000). All the additional data on the terrain morphology (curvature, elevation, slope, aspect, basins, and primary slope-units) were derived from the DEM. The "Basic Geological Map at the scale of 1:100 000" served as a source for the geologic data of the perialpine area, and for the Alpine area the 1:25 000 scaled geological map was used. For the land use and the vegetation cover in

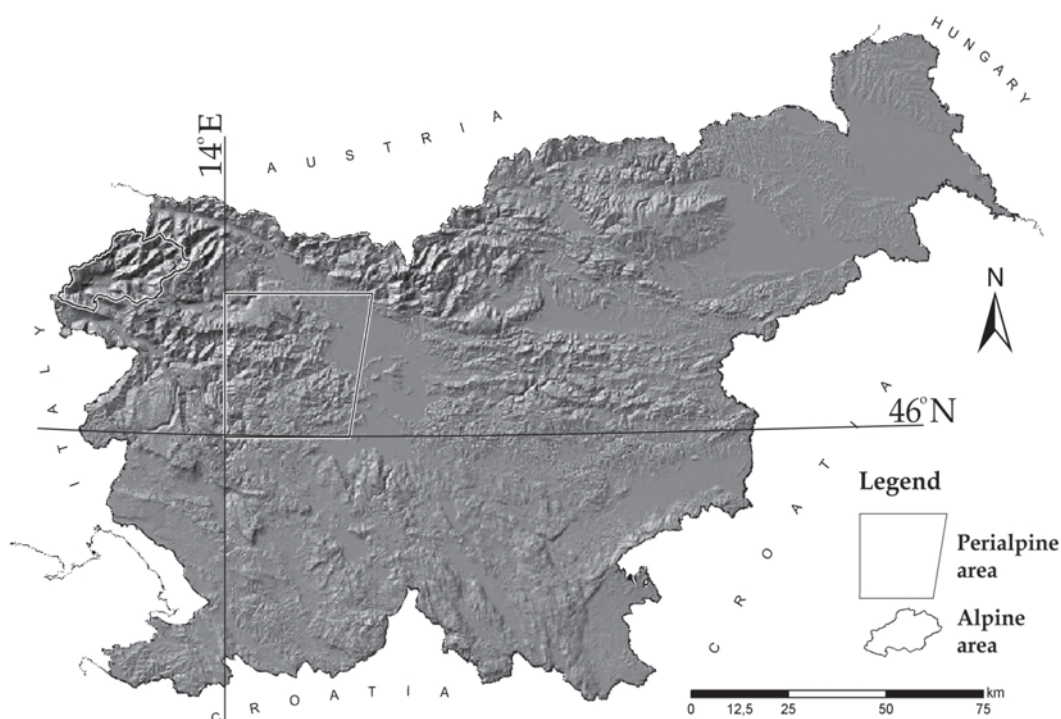


Fig. 1. Research (perialpine) area and application (Alpine) area.

Slika 1. Obravnavano predalpsko območje in alpsko območje uporabe razvitega modela.

For the purpose of model development the spatial factors' data that have already been proven by many authors (Carrara, 1983; Carrara, et al. 1991; Kojima et al., 2000; Fabbri et al., 2003; Crozier & Glade, 2005) to be relevant to the landslide susceptibility were gathered. The landslide data were obtained from the landslide database that was constructed at Geological Survey of Slovenia. For the perialpine area, it consists of the data on 614 landslides, and 27 landslides for the Alpine area. The digital

the perialpine region, satellite images from different sources were used and combined, using PCA (Principal Component Analysis) merging method, where the first principal component image from the multi-spectral satellite data was replaced with the first principal component image of the high-resolution part. The multi-spectral part of the satellite data was obtained from the Landsat-5 TM images, and the high-resolution part was obtained from the Resurs-F2 MK-4 images. For the land use and the vegetati-

on cover in the Alpine region, already classified and interpreted data from orthophoto were used (Ministry of Agriculture, Forestry and Nutrition, 2004). The topologic map in scale 1:50 000 was used as a source of the surface water data (Survey and Mapping Administration, 1994).

Methodology

The whole process was divided into two phases. In the first phase the models were developed and tested on the data from the learning area (perialpine area) and in the second phase, the developed models were applied to the Alpine area, and their accuracy and applicability was assessed. Figure 2 presents the whole process of model development and its application.

Perialpine area modelling

Univariate statistical analyses (Kolmogorov-Smirnov test and Chi-square test) were performed to confirm the role of a specific factor or to rule it out. Prior to the multivariate statistical analysis, the study area was automatically divided to 78365 slope units (Carrara, 1983; Carrara et al., 1991; Van Westen, 1993; Ardizzone et al., 2002), for which 24 new statistical variables were calculated. The division of the area into the slope units was necessary step due to the point nature of the landslide data. Based on its temporal distribution the perialpine landslide data set was divided into the learning set (65 %) and into the testing set (35 %). Using multivariate statistical analysis, the interactions between factors and landslide learning set distribution were tested. As a result the importance of individual factors on the landslide occurrence was defined. The results from the multivariate statistical analyses were used for defining the relations between spatial factors prior to the AHP (Analytical Hierarchy Process) model development. For the model development, the results from multivariate analyses, both linear regression and factor analysis, were used. One part of the models was developed using the values from statistical analyses for defining subjectively the relationship values between different factors. The rest of the

models were developed by importing the calculated relationship values between different factors, based on their statistical function values, into the AHP matrixes. The application of the AHP method, developed by Saaty (1977), on the landslide prediction has been shown before (Barredo et al., 2000; Mwasi, 2001; Nie et al., 2001) and it was used to more transparently define the factors that govern the landslide occurrence. For all the models, where AHP was used, the CR (*Consistency Ratio*) was calculated and those with CR higher than 0.1 were immediately eliminated. For more details refer to Komac (2005).

Taking into account the normal distribution of the results, an approximation was done, where in each of the model, the highest value represents the highest landslide susceptibility, and vice versa, the lowest value represents the lowest landslide susceptibility. Considering the normal distribution, the mean represents the crude boundary between the landslide "safe" and landslide prone areas. Models were then tested for their landslide susceptibility accuracy on the testing set. The slope unit(s) with landslide(s) where the landslide susceptibility was lower than the model's mean value represented the error.

Alpine area modelling

For each spatial factor the weigh value from the best perialpine model represented the mean value of the weights' uniform distribution in the model application phase in the Alpine area. All the models calculated for the Alpine area were tested for their accuracy to the known landslide distribution in the same area. For the test areas, the upper 20 % of the landslide area was taken. The estimation was made that roughly upper one fifth of the landslide area represents the triggering area that actually represents the area influenced by causal factors. Prior to the model calculation each spatial factor's data were classified according to landslide susceptibility and standardised since the calculations are based on linear weighted equations. After the model calculation and prior to the test, all the models were normalised, like in the case of perialpine area model testing. Almost 65 000 models

were calculated and tested. The landslide cells that occurred in areas below the model's mean value represented the error. For the landslide susceptibility factor classification random 2/3 (671 cells) of the Alpine landslide population was taken. The rest, 1/3 (269 cells) of the population was used for the susceptibility model testing.

ble 1 shows the modelling results for the perialpine area.

Various factor combinations and weight values for the seven Alpine modelling trials are presented in the Table 1. There are three statistical variables used in the perialpine models that were not applied to the Alpine area, at least not directly. Variables terrain

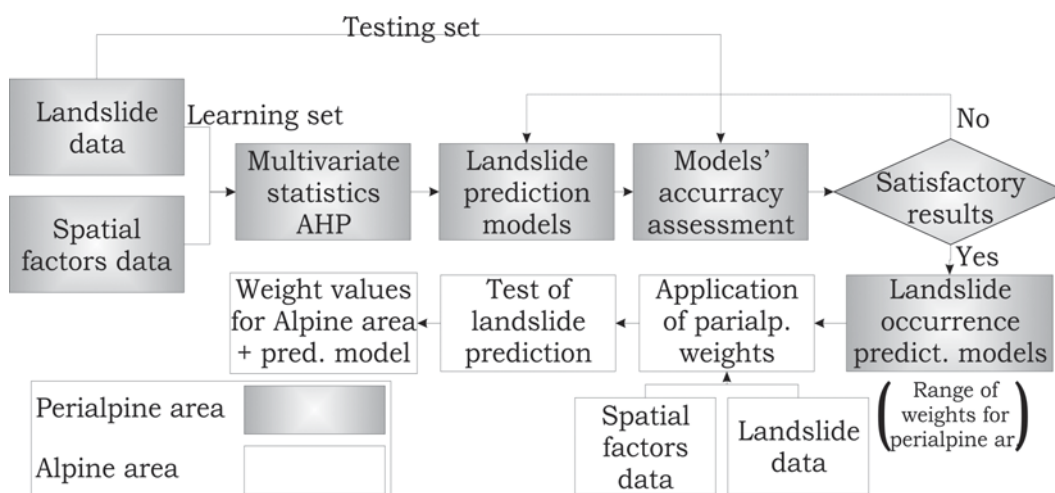


Fig. 2. Flowchart of the development and application process.

Slika 2. Diagram procesa izgradnje modela napovedi verjetnosti pojavljanja plazov in prenosa rezultatov na drugo območje.

Results and discussion

Model's prediction capability of the landslide susceptibility is expressed in the term of error, in other words, in the term of number of landslide cells that fall in the areas of low landslide susceptibility. The errors of perialpine landslide susceptibility models ranged from 6,89 % to 31,8 %. The best model, based on the results of the factor analysis, showed that lithology plays the most important role (31 % of variance) in the landslide susceptibility. Slope inclination is also important and accounts for 21,2 % of variance, land cover type accounts for 13,7 % of variance, the terrain roughness for 10,1 % of variance. The terrain curvature is responsible for 8,6 % of variance, lithologic diversity for 5,5 %, and land cover diversity for 3,9 % of variance. Distance to streams and distance to structural elements (faults and thrusts) also play a role, but a minor one. They account for 3,6 % and 2,3 % of variance respectively. The second row of Ta-

roughness, lithologic diversity and land cover diversity are in the case of Alpine area incorporated into terrain curvature or slope inclination, lithology, and land cover respectively. There is also one variable that was introduced to the Alpine prediction model and it was not analysed in the perialpine prediction model, the synchronism between the strata dipping and slope orientation and angle. The purpose of the inclusion was to test the importance of the synchronicity in the landslide susceptibility modelling.

For every combination the model error was calculated based on the principle that is given in the previous chapter. Table 2 lists the range of error for each trial. The span of the errors is between 4,07 % and 66,4 %. The results in Table 2 clearly show that the errors of the Alpine models are smaller in trials, where the weights' values were similar to the weights' values of perialpine area. Results of the 8th, 9th and 13th trial, where all the factors used, except the elevation factor that was used only in the 8th trial, confirm

Table 1. Weights' values for perialpine and Alpine area.

Preglednica 1. Vrednosti uteži za predalpski model in za alpski model napovedi.

Area	No. models	Spatial factor	Litho	Slope	LC	Rough	Curv	Litho. divers.	LC divers.	Dist. streams	Dist. struct. el.	Synchro	Asp	Elev
Perialpine area	28	Weight	0,31	0,212	0,137	0,101	0,086	0,055	0,039	0,036	0,023	-	-	-
Alpine area – trial 1	2435	Max	0,39	0,34	0,19	-	0,08	-	-	-	-	0,19	-	-
		Min	0,2	0,15	0,1	-	0,05	-	-	-	-	0,1	-	-
		Step	0,01	0,01	0,01	-	0,01	-	-	-	-	0,01	-	-
Alpine area – trial 2	460	Max	0,38	0,33	0,2	-	0,07	-	-	-	-	0,2	-	-
		Min	0,2	0,15	0,1	-	0,05	-	-	-	-	0,1	-	-
		Step	0,02	0,02	0,02	-	0,02	-	-	-	-	0,02	-	-
Alpine area – trial 3	9308	Max	0,5	0,5	-	-	0,5	-	-	0,5	0,5	0,05	-	-
		Min	0	0	-	-	0	-	-	0	0	0	-	-
		Step	0,05	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	0,05	0,05	-	-
Alpine area – trial 4	17654	Max	0,38	0,38	0,38	-	0,38	-	-	-	-	0,38	-	-
		Min	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	-	-	-	0,1	-	-
		Step	0,02	0,02	0,02	-	0,02	-	-	-	-	0,02	-	-
Alpine area – trial 5	12199	Max	1	1	1	-	1	-	-	1	1	-	1	1
		Min	0	0	0	-	0	-	-	0	0	-	0	0
		Step	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	-	0,1	0,1	-	0,1	0,1
Alpine area – trial 6	3219	Max	0,45	0,35	0,3	-	0,15	-	-	0,1	0,1	-	0,02	0,15
		Min	0,2	0,1	0,1	-	0,05	-	-	0	0	-	0	0
		Step	0,05	0,05	0,05	-	0,05	-	-	0,05	0,05	-	0,01	0,05
Alpine area – trial 7	1711	Max	0,4	0,3	-	-	0,1	-	-	0,1	0,1	0,3	-	-
		Min	0,2	0,1	-	-	0,05	-	-	0	0	0,1	-	-
		Step	0,05	0,05	-	-	0,05	-	-	0,05	0,05	0,05	-	-
Alpine area – trial 8	909	Max	1	1	1	-	1	-	-	1	1	1	1	1
		Min	0	0	0	-	0	-	-	0	0	0	0	0
		Step	0,2	0,2	0,2	-	0,2	-	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Alpine area – trial 9	3016	Max	0,7	0,7	0,7	-	0,7	-	-	0,7	0,7	0,7	1	-
		Min	0	0	0	-	0	-	-	0	0	0	0	-
		Step	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Alpine area – trial 10	273	Max	1	1	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-
		Min	0	0	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-
		Step	0,1	0,1	-	-	0,1	-	-	-	-	0,1	-	-
Alpine area – trial 11	273	Max	-	1	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-
		Min	-	0	0	-	0	-	-	-	-	0	-	-
		Step	-	0,1	0,1	-	0,1	-	-	-	-	0,1	-	-
Alpine area – trial 12	273	Max	-	1	-	-	1	-	-	1	1	-	-	-
		Min	-	0	-	-	0	-	-	0	0	-	-	-
		Step	-	0,1	-	-	0,1	-	-	0,1	0,1	-	-	-
Alpine area – trial 13	9000	Max	1	1	1	-	1	-	-	1	1	1	1	-
		Min	0	0	0	-	0	-	-	0	0	0,1	0	-
		Step	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Alpine area – trial 14	4872	Max	0,42	0,3	0,2	-	0,2	-	-	0,1	0,1	-	-	-
		Min	0,3	0,2	0,1	-	0,1	-	-	0	0	-	-	-
		Step	0,02	0,02	0,02	-	0,02	-	-	0,02	0,02	-	-	-

Explanation to the Table 1 / Razlaga k Preglednici 1: Perialpine area / predalpsko območje; Alpine area / alpsko območje; No. models / št. modelov; Spatial factor / Prostorski dejavnik; Weight / Utež; Max – Maximum value / Največja vrednost; Min – Minimum value / Najmanjša vrednost; Step / Korak; Litho – Lithology / Litologija; Slope – Slope inclination / Naklon pobočij; LC – Land cover type / Raba tal; Rough – Terrain roughness / Razgibanost terena; Curv – Terrain curvature / Ukrivljenost pobočij; Litho. divers. – Lithologic diversity / Litološka raznolikost; LC divers. – Land cover type diversity / Raznolikost rabe tal; Dist. streams – Distance to streams / Oddaljenost od površinskih tokov; Dist. struct. el. – Distance to structural elements / Oddaljenost od strukturnih elementov; Synchro – Strata dip/slope orientation synchronism / Sinhronost vpadov plasti z usmerjenostjo pobočij; Asp – Slope aspect / Usmerjenost pobočij; Elev – Elevation / Nadmorska višina.

that the factors' weights are important, and that random selection of the values gives worst results.

Where lithology, slope inclination and land use cover were excluded or played minor roles in models, models gave the worst prediction results with error around 66 %. Vice versa, the best results of models, where synchronism was not included but also slope aspect and elevation factors were included, showed that in the case of coarse weights (5th trial) the land-cover factor played the most important role (80 %) with the lithology playing a minor role (20 %). When analysis was done on more precise weight values (6th trial), the results were different. The lithology accounted for 23 %, the slope inclination for 20 %, the land-cover type for 30 %, the terrain curvature and distance to streams each for 10 %, the elevation for 5 %, and the slope aspect accounted for 2 %.

Results of the 14th trial, where the same factors were used for the susceptibility model development as for the perialpine landslide susceptibility model, showed that the lithology accounts for 30 % of the susceptibility model, slope inclination for 22 %, and land cover type for 20 %. The terrain curvature covers for 16 %, and the rest is split between the distance to streams (10 %) and the distance to structural elements (2 %).

Where lithology was not included, results were surprisingly good. In the 11th trial the land-cover factor accounted for 90 % and the terrain curvature for 10 %. The results of the 12th trial show that slope inclination and distance to streams play an equal role (50 %).

When the synchronism was included in the modelling landslide susceptibility, it accounted for the 18 % - 22 % (1st, 2nd and 4th trial). The rest of the included spatial factors bore more or less the same importance as in the model where synchronism between the strata dipping and slope orientation was not included. When the two "distance to" factors were excluded from the model, the lithology accounted for 12 % - 30 %, the slope inclination for 18 % - 33 %, the land-cover type for 18 % - 36 %, and the terrain curvature for 5 % - 10 %. When the land-cover factor was excluded from the model, the lithology accounted for 25 % - 40 %, the slope inclination for 5 % - 30 %, the terrain curvature for 10 % - 50 %, the distance to

streams for 5 % - 10 %, and the distance to structural elements for 0 % - 10 %.

The best overall results (4,6 % - 6,5 % error) were achieved when the land-cover factor played the most important role (70 % - 90 %), and the rest was accounted for the lithology, the slope aspect, the terrain curvature, or for the synchronism.

The factors' weights values for the best models, calculated in 1st, 4th, 7th and 14th trial are shown in the Table 3 under rows "Alpine M1", "Alpine M4", "Alpine M7" and "Alpine M14" respectively.

The factors' weights values of the best models for the Alpine area are compared in the Table 3. For comparison also the weights' values for the best perialpine model are given (Perialpine PM1). If it is assumed that the factors "Lithological diversity", "Land cover diversity" and "Terrain roughness" can be represented with factors "Lithology", "Land cover", and "Terrain curvature" or "Slope inclination" respectively, it is clear, that the correlation between the spatial factors of the two comparable models exists (Spearman $R = 0,942857$; for PM1 and M14).

Figure 3 shows the area distribution of the landslide susceptibility classes for the model, in which the perialpine factors' weight values were directly applied to the Alpine model (PM1; *error* = 22,98 %), the best Alpine models, from trials where the synchronism factor was included (M1; *error* = 17,34 %, M4; *error* = 6,78 %), the best Alpine model, from trials where the synchronism was included and land-cover factor was excluded (M7; *error* = 21,95 %), and the best Alpine model, in which the synchronism was not included (M14; *error* = 17,07 %). LSP1, LS1, LS4, LS7, and LS14 represent the cumulative distribution of landslides for models M1 to M14 respectively.

The Alpine (M14) model and perialpine model are shown in Figure 4. Darker areas represent higher landslide susceptibility.

The results suggest that same spatial factors with slightly different importance govern the landslide occurrence in the Alpine region in comparison to the perialpine region. The role of land-cover factor is definitely an important one, but some facts have to be considered. The land-cover data was obtained from the Ministry of Agriculture, where the importance is focused on agricul-

Alpine area		Error	Error (%)	Alpine area		Error	Error (%)
Trial 1 Poskus 1	Max	90	24,39%	Trial 8 Poskus 8	Max	245	66,40%
	Min	64	17,34%		Min	24	6,50%
Trial 2 Poskus 2	Max	90	24,39%	Trial 9 Poskus 9	Max	245	66,40%
	Min	55	14,91%		Min	24	6,50%
Trial 3 Poskus 3	Max	162	43,90%	Trial 10 Poskus 10	Max	174	47,15%
	Min	24	6,50%		Min	68	18,43%
Trial 4 Poskus 4	Max	116	31,44%	Trial 11 Poskus 11	Max	154	41,73%
	Min	25	6,78%		Min	15	4,07%
Trial 5 Poskus 5	Max	176	47,70%	Trial 12 Poskus 12	Max	145	39,30%
	Min	24	6,50%		Min	51	13,82%
Trial 6 Poskus 6	Max	101	27,37%	Trial 13 Poskus 13	Max	245	66,40%
	Min	36	9,76%		Min	24	6,50%
Trial 7 Poskus 7	Max	96	26,02%	Trial 14 Poskus 14	Max	102	27,64%
	Min	81	21,95%		Min	63	17,07%

Table 2. Error range for each trial.

Preglednica 2. Razpon napak napovedi za posamezni analitični poskus

Explanation to the Table 2 / Razlaga k Preglednici 2: Error - Prediction error of model / Napaka

tural land and the rest land-cover types are not defined in detail. Hence the generalisation effect of the land-cover data and the resulted over-estimated importance of the factor. Considering the fact of the over-estimation of the land-cover factor, the best Alpine model (M14) gives similar results as the one developed for the perialpine region. Nevertheless the relations between weights of spatial factors in the perialpine model (PM1) and Alpine model (M14) are very similar, which gives a confirmation to the universality of the landslide susceptibility modelling.

Concluding remarks

It has been shown that some uniform principles of interaction between the spatial factors that govern the landslide occurrence and the landslide susceptibility do exist, inde-

pendently of the location. If simplified, these interactions can be represented in a form of linear weighted equations or models. Landslide susceptibility is governed by numerous spatial factors that can be cut down to several important ones, the lithological properties, the slope inclination, the land use, the curvature, the distance to streams and the distance to structural elements. When the synchronism between strata dipping and slope orientation was used in the modelling of landslide susceptibility, the results have shown that this factor was as important as the land-cover type (M1), or as important as the terrain curvature and the distance to streams (M14), or even more important than lithology (M4). In the case of the Alpine susceptibility models, the independency and correlation between spatial factors were not analysed, but it is clear that they exist. This is also the important but unfortunately missing part of most landsli-

Table 3. Weight values of best models for perialpine and Alpine area.

Preglednica 3. Vrednosti uteži pri najboljših modelih napovedi (predalpski in alpski).

Model	Litho	Slope	LC	Curv	Dist. struct. el.	Dist. streams	Asp	Elev	Synchro	Rough.	Litho. divers.	LC divers.
Perialpine PM1	36,5 %	26,25 %	17,6 %	13,65 %	3,6 %	2,3 %	-	-	-	In Slope & Curv	In Litho	In LC
Alpine M1	28 %	30 %	18 %	6 %	-	-	-	-	18 %	-	-	-
Alpine M4	12 %	5 %	50 %	10 %	-	-	-	-	22 %	-	-	-
Alpine M7	40 %	30 %	-	10 %	0 %	10 %	0 %	-	10 %	-	-	-
Alpine M14	30 %	22 %	20 %	16 %	2 %	10 %	-	-	-	-	-	-

The acronyms are the same as in Table 1. / Razlaga je enaka tisti za Preglednico 1.

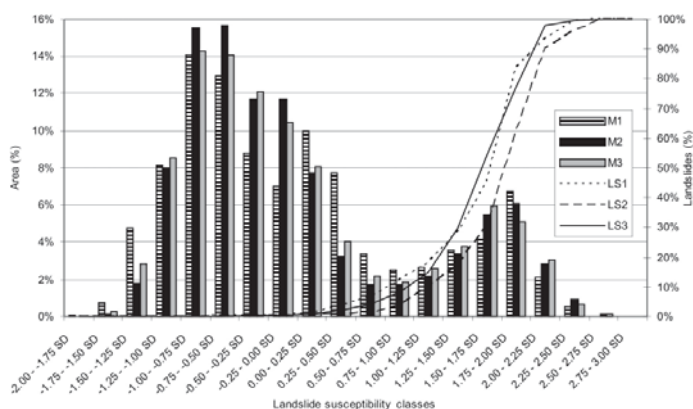


Fig. 3. Distribution of area for susceptibility models (PM1, M1, M4, M7 and M14) and cumulative distribution of landslides (LSP1, LS1, LS4, LS7 and LS14) according to the normalised landslide susceptibility classes of models PM1, M1, M4, M7 and M14 respectively.

Slika 3. Porazdelitev površin razredov verjetnosti pojavljanja plazov za modele (PM1, M1, M4, M7 in M14) in kumulativna porazdelitev plazov (LSP1, LS1, LS4, LS7 in LS14) glede na normalizirane razrede verjetnosti pojavljanja plazov za modele PM1, M1, M4, M7 in M14.

de susceptibility analyses done in recent years by numerous researchers. The analyses for the purpose of assessment of model applicability were done based on the absolute simplification of the landslide susceptibility model. The interaction or correlation between the synchronism and other spatial factors remains to be analysed.

The results would be even more realistic and reliable if more landslides would be included in the study, since the landslide population would be more representative.

The rock-fall phenomena was not analysed in this research since it is clearly governed by slightly different spatial factors' interactions and by additional spatial factors, like frosting/thawing process etc.

The results of the research are interesting from several aspects. They give a good overview of the models' inter-spatial applicability, and at the same time give an overview of factor's influence to model errors due to the change in the factor's value.

Successful inter-spatial application of the landslide susceptibility models to some extent has been shown. The differences between diverse regions still pose problems to model's simple application from one region to another. To a certain degree of error, these inter-spatial models are applicable. For more accurate or even for a universal landslide susceptibility model these obstacles will probably be overcome only when really abundant, detailed and sufficient spatial data will

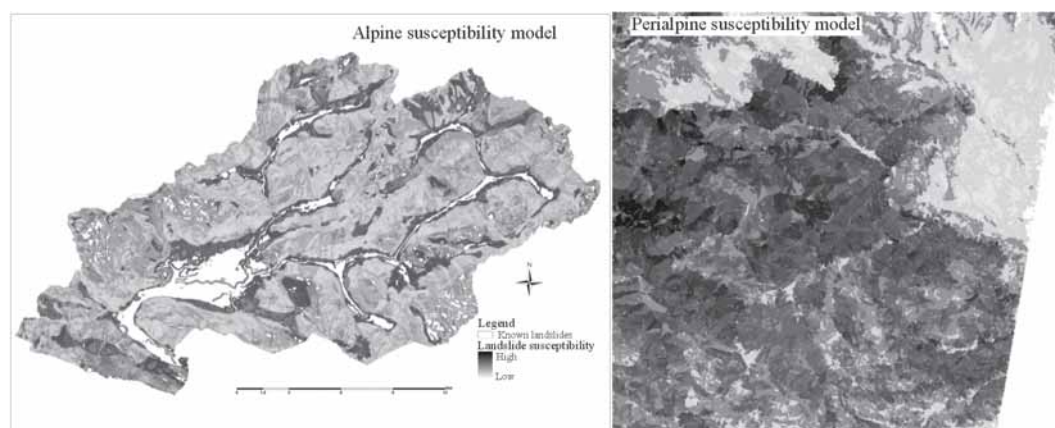


Fig. 4. Alpine landslide susceptibility model M14 (left) and perialpine landslide susceptibility model (right).

Slika 4. Alpski model napovedi verjetnosti pojavljanja plazov M14 (levo) in predalpski model napovedi verjetnosti pojavljanja plazov (desno).

be available. Until then the uncertainty of the interpolated spatial data is too big and the phenomena observed too complex to easily overcome the problem of its diversity in space and time.

Acknowledgments

The author would like to thank Mr. Marko Tukič, the student of the Faculty for Computer and Information Science at University of Ljubljana for making "that loop script" work.

References

- Ardizzone, F., Cardinali, M., Carrara, A., Guzzetti, F. & Reichenbach, P. 2002: Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. - *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2 (1/2), 3-14.
- Barredo, J. I., Benavides, A., Hervas, J. & Van Westen, C. J. 2000: Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain. - *Int. Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2/1, 9-23.
- Carrara, A. 1983: Multivariate models for landslide hazard evaluation. - *Mathematical Geology*, 15, 403-426.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. & Reichenbach, P. 1991: GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. - *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 427-445.
- Crozier, M.J. & Glade, T. 2005: Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach. - In Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J., eds., *Landslide Hazard and Risk*, John Wiley & Sons, p. 1-40, New York.
- Fabbri, A.G., Chung, C.F., Cendreo, A. & Remondo, J. 2003: Is Prediction of Future Landslides Possible with a GIS? - *Natural Hazards*, 30, 287-499.
- Kojima, H., Chung, C.F. & Van Westen, C.J. 2000: Strategy on the landslide type analysis based on the expert knowledge and the quantitative prediction model. - *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 33/Part-B7, p. 701-708.
- Kojima, H. & Obayashi, S. 2002: An inverse analysis of unobserved trigger factors of the slope failures based on structural equation modeling. - *International Archives of Photogrammetry & Remote Sensing*, 34/4, "GeoSpatial Theory, Processing and Applications". (<http://www.isprs.org/commission4/proceedings/pdfpapers/207.pdf>).
- Kojima, H. & Obayashi, S. 2004: Decompositional analysis of unobserved trigger factors of slope failures based on structural equation modelling. - In Brebbia, C.A. (ed.), *Risk analysis IV*, (Management information systems, 9), WIT, 307-318, Southampton.
- Komac, M. 2005: Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov = Landslide occurrence probability prediction with analysis of satellite images and other spatial data. - *Geološki zavod Slovenije*, 284 p., Ljubljana.
- Ministry of Agriculture, Forestry and Nutrition 2004: Landuse cover (derived from orthophoto). - Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in tuzizem, Ljubljana.
- Mwasi, B. 2001: Land use conflicts resolution in a fragile ecosystem using multi-criteria evaluation (MCE) and a GIS-based decision support system (DSS). In *International Conference on Spatial Information for Sustainable Development*, Nairobi, Kenya: Proceedings. - *Fédération Internationale des Géomètres*, 11 p., Frederiksberg.
- Nie, H. F., Diao, S. J., Liu, J. X. & Huang, H. 2001: The application of remote sensing technique and AHP-fuzzy method in comprehensive analysis and assessment for regional stability of Chongqing City, China. In *22nd Asian Conf. on Remote Sensing: Proceedings*, 1, 660-665, Singapore.
- Saaty, T. L. 1977: A scaling method for priorities in hierarchical structures. - *Journal of Mathematical Psychology*, 15, Society for Mathematical Psychology, Academic Press, 234-281, New York.
- Survey and Mapping Administration 1994: Skanogrami TK 50 - topografske karte merila 1:50 000. Datum vira: 1978 - 1987 = TK 50 - Topographic maps at scale 1:50 000, acquisition date 1978 - 1987. - Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana.
- Survey and Mapping Administration 2000: InSAR DMV 25 (Digitalni model višin) = InSAR DEM 25 (Digital Elevation Model). - Geodetska uprava Republike Slovenije, Ljubljana.
- Van Westen, C. J. 1993: GISSIZ - training package for geographic information systems in slope instability zonation. 1, Theory. - ITC, 1993, ITC, 245 pp., Enschede.

Ali smo ogroženi kadar tvegamo? Pojmi in izrazje teorije tveganj zaradi naravnih, geološko pogojenih nevarnosti

Are we under threat when we risk? Notions and terminology of risk theory due to geological hazards

Blažo ĐUROVIĆ¹ & Matjaž MIKOŠ²

¹Blažo Đurović, Inštitut za vode Republike Slovenije, Hajdrihova ul. 28c, Ljubljana, blazo.djurovic@izvrs.si

²Matjaž Mikoš, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova c. 2, 1000 Ljubljana, matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

Ključne besede: naravne nesreče, rizični menedžment, nevarnost, ranljivost, tveganje, ogroženost, tveganost, preventivno delovanje, izrazoslovje

Key words: natural disasters, risk management, hazard, vulnerability, risk, specific risk, total risk, preventive action, terminology

Kratka vsebina

Dobra terminološka opredelitev pojmov s področja naravnih in drugih nesreč omogoča kakovostno strokovno razpravo in poglobljeno izmenjavo znanj različnih strokovnjakov na tem interdisciplinarnem področju. Iz svetovne literature je povzeto pojmovanje temeljnih izrazov kot so nevarnost, tveganje in nesreča. V nadaljevanju je podrobno opisan pomen tudi številnih drugih relevantnih izrazov na področju rizičnega menedžmenta, na primer ranljivosti in ogroženosti. Predlagana je enotna raba pojmovnega in izraznega sosledja “nevarnost-ogroženost-tveganost”.

Abstract

Well explained terminology in the field of natural and other disasters makes possible qualitative professional discussion and full exchange of knowledge between different professionals in this interdisciplinary field. From literature we extract definitions of terms hazard, risk and disaster. Additionally, we show also the detailed meaning of a sequence of other relevant terms in the field of risk management such as vulnerability and specific risk. Unified use of the conceptual and terminological sequence “hazard-specific risk-risk” is suggested.

Uvod

Vedno znova se potrjuje dejstvo, da kakovostna presoja tveganj v zvezi z naravnimi in drugimi nesrečami ni mogoča brez uporabe nedvoumno opredeljenih temeljnih pojmov in ustrezno izbranih pripadajočih izrazov. Številni izrazi s tega področja, na primer tveganje, hazard, nevarnost, riziko, ogroženost, ranljivost, vulnerabilnost in podobno,

se pogosto uporabljajo kot sopomenke, kar zamegljuje natančnost sporazumevanja in ostrino strokovne razprave. Problem postane akuten zlasti pri prenosu strokovnih znanj iz tujih govornih področij ter usklajevanju definicij z domačim razpoložljivim izrazjem. Tako že desetletja govorimo o “upravljanju s tveganjem”, kot se pogosto prevaja angleški izraz “risk management”, čeprav s tveganjem težje upravljamo kot ga

na primer obvladujemo, in še vedno lahko zasledimo od avtorja do avtorja različne razlage pojmov in pripadajočih izrazov. To samo po sebi sicer ni problematično dokler se nahajamo znotraj enotnega izraznega sistema, vedno večja potreba po multidisciplinarnosti pa nas postavlja pred dejstvo, da je treba poiskati enotno dogovorno rešitev glede izrazja s področja ti. "rizičnega menedžmenta (!)".

Razvitje modela tveganj zaradi naravnih nevarnosti ni enostavno, večinoma zaradi ujetosti v lastno izrazje, saj pomenu posameznih besed večinoma manjka potrebna natančnost. Težavno je še zlasti zato, ker ti pojmi nastopajo tudi v vsakdanji jezikovni rabi, da ne omenjamo prevajanja v razne jezike, pri čemer ti termini prevzamejo še širši obseg definicij (Varnes, 1984). Čeprav so naravni dogodki, nevarnosti in nesreče od nekdaj globoko vplivali na družbo, se je moderna analiza nevarnosti začela šele v prvi polovici prejšnjega stoletja. Ker je popularnost raziskav v zvezi z nevarnostmi naraščala, so v sedemdesetih White in drugi raziskovalci razvili študijsko področje, ki je izzvalo znanstvenike vsega sveta k nadaljnjemu razvijanju modela naravnih nevarnosti (Smith, 2004).

Nevarnost in "hazard"

Raziskovanje pojma naravne nevarnosti se je verjetno začelo kot preučevanje družbeno kulturoloških zaznav izjemnih dogodkov, ki se pojavljajo v naravi. Samo preučevanje naravnih nevarnosti verjetno sega v leto 79, ko je bil detajlno zabeležen izbruh Vezuva, vendar je od tistega časa znanje napredovalo predvsem na področju obravnavanja naravnih pojavov kot izoliranih geofizikalnih dogodkov, ki niso v zvezi z družbo, njeno stopnjo ranljivosti in sposobnosti odziva na nevarnost. Številni znanstveniki so dogodke videli kot nekaj, kar lahko kontroliramo s spremembo krajine in inženirskimi rešitvami (Smith 2004). Znotraj tega je obstajala dilema med idejo, da se geofizikalni dogodki v sedanosti pojavljajo z enako frekvenco, jakostjo in učinki kot so se v preteklosti in skozi celotno zemeljsko zgodovino ter idejo, da zgodovino Zemlje lahko tolmačimo kot serijo katastrofičnih dogodkov (Alexander, 2000).

Naravni dogodek (geološki, geomorfološki, klimatološki, ...) je preprosto naravni pojav ali proces oziroma kot navaja White (1974): "katerikoli dogodek v geofizikalnem sistemu, ki izkazuje relativno visoko varianco", medtem ko je *naravna nevarnost* potencialno nevarna človeškim življenjem in materialnim dobrinam ali povedano drugače: "Naravna nevarnost je objektivno grozeča nesreča zaradi nevarnega procesa v naravi in povezuje vse poteke in vplive narave, ki so lahko škodljivi za osebe in/ali stvari" (Kienholz et al., 1998).

Najbolj razširjena je definicija nevarnosti kot "verjetnost nastopa potencialno nevarnega pojava v določenem časovnem intervalu in na nekem območju" (Varnes, 1984).

Ameriški geološki inštitut opredeljuje nevarnost kot "geološko stanje ali pojav, ki se pojavlja v naravi ali ga je povzročil človek, in predstavlja tveganje oziroma je potencialno nevaren za življenja ali lastnino" (Alexander, 1993).

"Nevarnost je najopaznejša kot proces, ki se pojavlja v naravi ali ga je sprožil človek oziroma kot dogodek s potencialom ustvariti izgubo" (Smith, 2004).

"Nevarnost je stanje, razmere ali potek, iz katerega lahko nastane škoda. Je možnost nastopa nevarnega procesa s povzročitvijo škode. Obstajajo tri vrste nevarnosti: izpeljana (ni dokazana za neko mesto), pogojna (v sedanjih okoliščinah ne obstaja) in dokazana (ponekod deluje in pušča sledi, kakor je dokazano)" (Kienholz et al., 1998).

Večina avtorjev se strinja, da mora definicija nevarnosti vključevati interakcijo med ljudmi in dogodkom:

- "Nevarnost vključuje človeško populacijo, ki je podvržena tveganju zaradi geofizikalnih dogodkov" (Alexander, 1993).

- "Nevarnost je naravni dogodek, ki ogroža življenja in lastnino" (Whittow, 1980).

- "Je potencialna grožnja ljudem in njihovim dobrinam" (Smith, 2004).

Vendar pa te definicije ne upoštevajo pomembnosti različne percepcije pojma nevarnosti s strani posameznika in/ali družbe, ki v različnih svetovnih regijah izjemne dogodke različno zaznava in jih torej tudi različno klasificira. White (1975) meni, da naravne nevarnosti ne morejo obstajati ločeno od človeške prilagoditve tem nevarnostim, ponostavljeno rečeno, človeška prisotnost ustvarja nevarnost. S tem se strinjajo tudi Bur-

ton et al. (1978): "Nesreč ne povzročajo le fizikalni pojavi sami, raba tal in gostota poselitve sta tudi glavna dejavnika, ki prispevata k nesrečam". V preglednici 1 so opredeljene osnovne značilnosti nevarnosti.

Trditev, da človeška prisotnost ustvarja nevarnost, je vezana na dihotomijo naturalizma in sproži vprašanje, ali z antropocentričnega gledišča dopuščamo obstoj nevarnosti, ki ne učinkuje na kulturo, je pa objektivna v naravnem okolju, na primer učinek vulkanskega prahu, pepela in drugih snovi na lokalni živalski in rastlinski ekosistem. Če taka nevarnost obstaja in je kulturi lahko nevarna le posredno, potem je naravna nevarnost objektivni del nature, ki pa ima v zvezi s potencialom vplivanja na kulturo tudi svojo subjektivno plat. Torej lahko s tega stališča zaključimo, da je nevarnost sama po sebi objektivna, človeška ogroženost pa subjektivna. Tako definirana naravna nevarnost torej obstaja tudi kadar je potencialno nevarna le (!) živalskim življenjem in njihovem naravnemu okolju, torej je objektivnega značaja in šele družba jo subjektivizira v smislu ogrožanja te iste družbe, neposredno ali posredno.

Opomba: Angleško besedo **hazard** (1. risk; danger; Hornby, 1998) prevajamo kot **nevarnost** (2. razmere, okoliščine, zaradi katerih lahko pride do nesreče, škode ali česa slabega, neprijetnega sploh 5. lastnost, značilnost nevarnega; SSKJ, 1994), ker se pojem nevarnost v slovenščini (pomensko namesto angleških ustreznikov: fire hazard, earthquake hazard, ...) že uporablja v uveljavljenih besednih zvezah s področja varstva pred naravnimi nesrečami: poplavna nevarnost, potresna nevarnost, požarna nevarnost, nevarnost snežnega plazu ipd. Slovenski izraz hazard se uporablja izključno v smislu igranja iger na srečo.

Tveganje in "riziko"

Pojem tveganje pogosto zamenjujemo s pojmom nevarnost in del krivde lahko pripišemo laičnemu prevajanju strokovnih besedil: "Zlasti naši francoski kolegi svetujejo, da je francoska beseda *risque* sopomenka angleške besede *hazard*, ki se uporablja za nastop dogodka namesto za posledično škodo ali izgubo" (Varnes, 1984). Verjetno pa jezikovni problem te vrste igra manjšo vlogo v splošni pojmovni zmedi med tveganjem in nevarnostjo.

Smith (2004) opredeli tveganje kot "verjetnost nastopa nevarnosti", medtem ko Varnes (1984) definira nevarnost kot "verjetnost nastopa potencialno škodljivega pojava". Ti dve definiciji sta praktično identični, kar se odraža v nezanesljivosti terminologije in napeljuje na natančnejši premislek o tem, ali sta tveganje in nevarnost le dve različni besedi za isti pojem. Na primer, oblak kumulus je nevarnost za letalstvo, morski greben je nevarnost za plovbo in poledica je cestna nevarnost. Dokler te nevarnosti puščamo ob strani in ne morejo interagirati z letalom, ladjo ali avtomobilom, tudi ni tveganja, čeprav nevarnost obstaja. Tako lahko zmotno pridemo do zaključka, da pojma nevarnosti sploh ne rabimo in se lahko osredotočimo le na tveganja. A temu ni tako, ker nevarnost opisuje vrsto pogojev, ki lahko nastopijo na različnih lokacijah v oblaku in vzdolž grebena ali ceste. Za kvalifikacijo oziroma kvantifikacijo tveganja pa je potreben dobro definiran, detajliran prostorsko-časovni scenarij. Med tveganjem in nevarnostjo lahko ločimo tudi po analogiji s primerom o dveh osebah, ki prečkata morje, ena na ladji in druga v čolnu. Glavna nevarnost (globoka voda in visoki valovi) je za obe osebi enaka, toda tvega-

Preglednica 1. Značilnosti nevarnosti in njihove opredelitve (Burton, 1978).

Table 1. Hazard characteristics and their definitions (Burton, 1978).

Značilnost nevarnosti	Definicija
magnituda	izjemni so le tisti nastopi, ki presegajo neki običajni nivo magnitude
frekvenca	kako pogosto lahko pričakujemo, da bo neki dogodek dane magnitude nastopil v dolgotrajnem povprečju
trajanje	čas trajanja vrhunca nevarnega dogodka
področna razsežnost	prostor, ki ga pokriva nevarni dogodek
hitrost začetka	čas med prvim nastopom in vrhuncem dogodka
prostorska razpršenost	vzorec porazdelitve po prostoru, v katerem lahko nastopijo njegovi učinki
časovni interval	naključno do periodično razporejeno zaporedje dogodkov vzdolž kontinuuma

nje (verjetnost utopitve) je večje za osebo v čolnu. Zveza med tveganjem in verjetnostjo je v literaturi pogosto prisotna in opisuje tveganje bodisi kot verjetnost dogodka, pomnoženega s posledicami, če se dogodek pojavi, bodisi kot funkcijo verjetnosti nastopa naravne nevarnosti in ranljivosti družbenih entitet. Kot že rečeno, so kulture v svoji zaznavi izjemnih dogodkov in v svojih življenjskih vrednotah različne. Zaznavanje vrednot in prilagajanje izjemnemu dogodku naredita ranljivost spremenljivo od kulture do kulture in posledica tega je možnost variiranja opredelitve tveganja glede na različne stopnje ranljivosti. Temeljita definicija tveganja mora vključevati verjetnost izgube in spoznati je treba, da se stopnje ranljivosti spreminjajo s tem, kar ljudem predstavlja vrednost. "Tveganje je dejanska izpostavljenost nevarnosti nečesa, kar je za človeka vredno, in se pogosto smatra kot kombiniranje verjetnosti in izgube" (Smith, 2004).

Poskus ureditve izraza s področja analize tveganj sega v leto 1982, ko je UNDR0 (United Nations Disaster Relief Organization; zdaj UNDHA, United Nations Department of Humanitarian Affairs) razmejila izraz *nevarnost* od izraza *tveganje* z definicijama, ki sta bili mišljeni za univerzalno uporabo, a se je njuna narava žal izkazala za ne dovolj splošno, saj so bili avtorji še vedno prisiljeni uporabiti lastne definicije. UNDR0 podaja kvantitativno definicijo tveganja z množenjem verjetnosti nastopa nevarnosti (H), ranljivosti (V) in socialnih elementov (E), torej (Alexander, 1993): $R_t = E * (H * V)$. Definicije pojmov po UNDR0 povzemamo po Lapajne (1987):

- Nevarnost (*hazard*) je (naravna ali druga ustrezna) danost za kateri koli neugoden pojav, ki je povezan z mogočo nesrečo in lahko povzroči neugodne učinke. Govorimo o potresni, poplavni, požarni itd. nevarnosti. Nevarnost je verjetnostni pojem in jo opredeljujemo z "verjetnostjo prekoračitve", torej z vrednostmi med 0 in 1.

- Ogroženost (*specific risk*) so mogoče družbene in ekonomske posledice bodočih nesreč. Govorimo o potresni, poplavni, požarni itd. ogroženosti. Ogroženost je verjetnostni pojem in jo lahko opredelimo z "verjetnostjo prekoračitve". Odvisna je od nevarnosti, ranljivosti in od časa izpostavljanja. Določujejo jo vrednosti med 0 in 1.

- Ranljivost (*vulnerability*) je pričakovana stopnja izgub (ali poškodb) danega ogroženca ali skupine ogrožencev ob morebitni nesreči. Govorimo o potresni, poplavni, požarni itd. ranljivosti. Ocenjujemo jo navadno z vrednostmi med 0 in 1.

- Tveganje (*acceptable risk*) je tista ogroženost, ki jo zavestno sprejmemo kot sprejemljivo. Natančneje je to "verjetnost prekoračitve", ki jo jemljemo kot osnovo za določitev projektnih zahtev v graditeljstvu ali pri družbenoekonomskih posegih.

- Ogroženci (*elements at risk*) so vse sestavine življenjskega prostora, npr. prebivalstvo, družbena in zasebna lastnina, družbene in ekonomske aktivnosti, ki so ogrožene na danem območju.

- Ogrožena vrednost (*value at risk*) so mogoče ekonomske izgube na danem območju.

- Verjetnost prekoračitve (*exceedance probability*) je verjetnost, da bo v danem obdobju na danem kraju ali območju prekoračena določena vrednost značilne fizikalne oz. geofizikalne (lahko tudi statistične) velikosti, ki za dane potrebe sprejemljivo količinsko opredeljuje nesrečo, ali verjetnost, da bodo presežene določene družbene in ekonomske posledice nesreče. Ima vrednost med 0 in 1.

- Čas izpostavljanja (*exposure time*) je doba, ki jo upoštevamo pri ocenjevanju nevarnosti ali ogroženosti. Pri projektiranju je to navadno življenjska (amortizacijska) doba objekta.

- Škoda (*damage*) obsega ekonomske izgube, ocenjene po nesreči.

Navedimo in komentirajmo še nekaj konkretnih različic vrednotenja tveganja. Precej splošno razširjena je opredelitev tveganja, ki jo podaja UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization):

tveganje = nevarnost * ranljivost * potencialna izguba

V tej enačbi kaže ranljivost obnašanje objekta pod vplivom nevarnosti in v zvezi s škodo. Nekateri avtorji pomotoma enačijo ranljivost s stroški škode (čeprav velja: *stroški škode = ranljivost * potencialna izguba*) in zato uvajajo bolj standardno definicijo tveganja (USDOE, US Department Of Energy in USNRC, US Nuclear Regulatory Commission):

tveganost scenarija = verjetnost * posledice

Tu predstavlja *verjetnost* mero frekvence ali verjetnosti nastopa določenega scenarija, tj. zaporedja dogodkov in *posledice* mero izida tega scenarija. Pri tem je za dovolj veliko število scenarijev *skupna tveganost* enaka vsoti posameznih *tveganosti scenarija*:

skupna tveganost = Σ tveganost scenarija

To lahko pomeni precenitev tveganja (saj preprosto seštevanje tveganosti scenarijev ne pove nič o scenarijih, ki se prekrivajo) ali njegovo podcenitev (saj scenariji, ki so izključeni iz ti. dovolj velikega števila scenarijev, lahko predstavljajo pomembno tveganje).

Francosko verzijo Unescove definicije večinoma uporabljajo Evropejci na področju naravnih nesreč in opisuje *tveganje* kot produkt *možnosti nevarnosti* in *ranljivosti*:

tveganje = možnost nevarnosti * ranljivost

Če vzamemo francosko verzijo in jo smiselno prevedemo v angleščino, se znova znajdemo nedaleč od prej navedene definicije (*tveganost scenarija ...*), z edino pripombo, ki se nanaša nanjo, in sicer glede člena *verjetnost*, ki ga prej ne bi smeli omejiti zgolj na mero frekvence ali verjetnosti scenarija, saj bi to izločilo alternativne pristope (npr. mehka logika). Francoska beseda "*aléa*" se nanaša na *možnost nevarnosti*, torej na možnost, ki bi morale vključevati verjetnosti in se lahko nanašajo tudi na alternativne matematične pristope. Tako Besson (1996) opredeljuje tveganje kot rezultat zveze med določenim naravnim pojavom, imenovanim "*možnost nevarnosti*" (fr. *aléa*; nevarnost, ob razširitvi osnovnega pomena besede /ekonomija: borzni riziki/, je tudi možnost /ali ne/ nastopa naravnega pojava kot posledice dejavnikov ali človeku, vsaj delno, nerazumljivih procesov), in človeško zasedbo prostora (dobrine ali osebe):

tveganje = možnost nevarnosti * družbeno-ekonomski vložki

V nadaljevanju še navaja, da zavarovalnice vrednotijo ranljivost vložkov z vpeljavo njihove vrednosti, po Unescovi definiciji:

tveganje = možnost nevarnosti $\times$ ranljivost

Po tem načelu torej ne bi smeli uporabljati izraza *tveganje*, ne da bi se že poprej lotili problema *ranljivosti* ter rezervirali izraz *možnost nevarnosti* izključno za naravne pojave brez upoštevanja njihovih posledic na družbeno-ekonomske vložke.

Kakorkoli že, obstajajo določeni zadržki glede definicije nevarnosti, saj imata definicija in pristop do takega termina lahko različen pomen glede na interesno področje. Če nevarnost ne štejemo za verjetnost nastopa dogodka, ampak za dogodek sam, tedaj je tveganje verjetnost nastopa dogodka in izgube življenj (ali dobrin), torej *posledice* te nevarnosti. Termin *dogodek* je bolj uporabljan zato, da ne bi pozabili, da analiza tveganja ni le analiza "slabih" dogodkov (ali nevarnosti), ampak lahko pripelje do analize potencialnih *priložnosti*. *Vrednost ali premoženje* je skupna količina analiziranih elementov, *ranljivost* odstotek teh elementov, ki bodo verjetno izgubljeni ob nastopu nevarnosti in *verjetnost* tveganje, da ta nevarnost nastopi. To je dejansko le vprašanje terminologije. Tveganje je prej bilo opisano kot količina izgube po izračunu, medtem ko ga zdaj vzamemo kot verjetnost, da dogodek nastopi. Po taki definiciji bi se obrazec glasil:

posledice = vrednost * ranljivost * tveganje

Definicija, ki jo lahko zasledimo v švicarski literaturi, za nas zanimivi zlasti zaradi podobnosti naravnih nevarnosti v alpskem prostoru: "Tveganje je kakovostna ali količinska označitev določene škode glede na možnost nastopa in dosež škodnega delovanja. Pogosto uporabimo kar zmnožek obeh veličin (kadar ju lahko količinsko vrednotimo)" (Heinimann et al., 1998). Kienholz et al. (1998) opredeljuje *tveganje na mestu nevarnosti* kot velikost in verjetnost mogoče škode, ki je odvisna od magnitude in verjetnosti nastopa nevarnosti na mestu nevarnosti ter od vrednosti in izpostavljenosti (verjetnosti obstoja škodnega potenciala - oseb, stvari - na območju delovanja nevarnega procesa) potencialnih škodnih objektov na tem istem mestu nevarnosti. V tako postavljeni definiciji je očitno izpuščena ranljivost teh potencialnih škodnih objektov.

Na koncu zapišimo še splošno enačbo UNDMTP-a (United Nations Disaster Management Training Programme) za izračun specifičnega tveganja:

$$R_{ij} = H_j \times V_{ij}$$

kjer za *element tveganja i* v enoti časa velja:

R_{ij} – *specifično tveganje, ogroženost*; verjetna izguba za element *i* zaradi nevarnosti intenzitete *j*,

H_j – *nevarnost*; verjetnost doživetja *nevarnega dogodka* intenzitete *j*,

V_{ij} – *ranljivost*; stopnja izgube na elementu *i* kot posledica nevarnosti intenzitete *j*.

S seštetjem tveganj iz vseh stopenj nevarnosti ($\min \leq j \leq \max$) lahko izpeljemo celotno specifično tveganje katerega koli posameznega elementa. *Tveganje* je nato zmnožek specifičnega tveganja in vrednosti elementa tveganosti.

Opomba: Obstajajo torej določene definicije pojmov, ki niso nujno v skladu z definicijami iz slovarja, medtem ko so analiza, vrednotenje in obvladovanje tveganja svetovno razširjena, večjezična dejavnost. Tako se angleški ustreznik **risk** (1. (instance of) possibility or chance of meeting danger, suffering loss, injury, etc; Hornby, 1998), ki je bodisi arabskega (risq) bodisi latinskega izvora (risicum) in je nastal preko francoskega črkovanja (risque), prvič pojavi sredi 17. st. Okrog leta 1830 se pojem v svoji moderni verziji začne pojavljati pri zavarovalniških transakcijah. Sčasoma se prvotni pomen, ki je preprosto opisoval katerikoli nepričakovan izid, dober ali slab, spremeni v pomen v zvezi z neželenimi izidi. V sedanji običajni rabi angleščine ima negativen pomen: "run the risk of..." ali "at risk". V slovenščino ga je mogoče prevesti kot **tveganje** (glagolnik od tvegati; 1. za dosego cilja iti v nevarnost, da se doživi kaj nezaželenega, slabega: tvegati nevarnost – izpostaviti se nevarnosti; SSKJ, 1994), **tvéganost** (lastnost, značilnost tveganega; SSKJ, 1994), **riziko** (1. tveganje, nevarnost 2. ekon. možnost, da pride do škode, izgube v poslovanju; jur. možnost, da se zavarovana oseba ponesreči, zavarovani predmet poškoduje, uniči; SSKJ 1994). Predlagamo uporabo splošnega slovenskega ter-

mina tveganje kot ustreznika za angleško besedo risk in francosko risque, na področju analize tveganja in kartografije v zvezi s tem pa termin **tveganost** (**tvéganost**, lastnost, značilnost tveganega; SSKJ, 1994) in sicer zaradi pomenske analogije s terminom **nevarnost** (**nevárnost**, lastnost, značilnost nevarnega; SSKJ, 1994), kakor tudi zaradi nadaljnje možnosti njune uporabe npr. v besednih zvezah potresna nevarnost (earthquake hazard) → potresna ogroženost (earthquake danger) → potresna tveganost (earthquake risk).

Nesreča

Večina avtorjev se strinja, da nesreča nastopi, kadar je nevarnost realizirana. Težava pri taki definiciji je, da pojmuje nevarnost kot univerzalen pojem z malo odstopanji; od prej pa vemo, da je definicija nevarnosti odvisna od različnih družbenih zaznav izjemnega dogodka. Smith (2004) ponuja širšo definicijo nesreče, ki implicira čut za percepcijo: "Nesreča je v splošnem posledica interakcije fizične izpostavljenosti nevarnemu procesu in ranljive človeške populacije v času in prostoru." Kot je bilo že prej rečeno, je ranljivost odvisna od tega, kaj ljudje štejejo za vrednost, ki posledično vpliva na njihovo zaznavo. Vključitev ranljivosti v Smithovo definicijo nesreče ne samo da implicira družbeno zaznavo, ampak tudi sugerira, da morata biti tveganje, kakor tudi nevarnost, realizirani. Zaključimo, da bi bilo najbolj pravilno reči, da nesreča nastopi, kadar je *ogroženost realizirana*.

Dvournost pojma nesreča leži znotraj vprašanja: če je za nastop nesreče potrebno, da verjetnost škode postane tudi dejanska škoda, kolikšna škoda je potemtakem enaka nesreči? Definicija nesreče je odvisna od kulture in njene zaznave izgub oziroma škode. Lahko tudi rečemo, da je "nesreča dogodek (naravnega ali tehničnega izvora) z izjemnim škodnim obsegom po vrednotenju posameznikov ali skupnosti; nezgoda (redko uporabljan izraz v zvezi z naravnimi nevarnostmi) pa dogodek, ki pripelje do takojšnje in nezaželene škode (Kienholz et. al., 1998)." Isti avtor ločuje med nezgodo in nesrečo s pomočjo kriterija števila smrtnih žrtev (> 20 mrtvih) in ocenjene vrednosti škode (> 10 milijonov CHF); značilne vrednosti škod pri

nezgodi, nesreči in katastrofi so prikazane v preglednici 2, pri čemer so možni tekoči prehodi med podanimi vrednostmi.

Ranljivost in "vulnerabilnost"

Ranljivost je pomemben pojem za razumevanje analize tveganja. Definicija ranljivosti se je okoli leta 1975 močno razpršila po posameznih raziskovalnih področjih (Smith, 2004). Geologi, hidrologi in gradbeniki so preučevali znanstvene rešitve v zvezi z naravnimi nevarnostmi, medtem ko so sociologi, antropologi in družbene vede poudarjale človeško obnašanje, odzive in pripravljenost na nesreče (Alexander, 2000; Smith, 2004). Naravne nevarnosti pridobivajo na jakosti in verjetnosti nastopa zato, ker se manjša oziroma izginja vmesnik med družbenimi in naravnimi sistemi, tj. ranljivost. Družbena ranljivost je hkrati funkcija nevarnostnega in škodnega potenciala, torej povezovalen in ločevalen dejavnik hkrati. Soobstoj naravnega in družbenega okolja pogojuje nastanek ogroženosti, ki je tako določena z medsebojno interakcijo naravnih in družbenih ekosistemov. Poudariti moramo, da se ogroženost družbenega okolja in njegovega škodnega potenciala lahko pojavi le v tistem delu prostorsko-časovnega kontinuuma, kjer se istočasno nahaja tudi naravna nevarnost iz naravnega okolja.

Smith (2004) uporablja naslednjo definicijo ranljivosti: "Ranljivost je stopnja do katere sistem ali del sistema lahko reagira proti nastopu nevarnega dogodka". Kako konceptualizirati termin ranljivosti? Obstajata dva pogleda na ranljivost. Prvi, "dominantna paradigma", obravnava ranljivost kot nivo izpostavljenosti naravni nevarnosti. Na primer, Alexander (2000) definira

ranljivost kot "potencial za žrtve, uničenje, škodo, prekinitev ali drugo oblika izgube glede na posamezen element". Predpostavljajo, da so ljudje ranljivi, ker zasedajo območje tveganja. Drugi, "strukturna paradigma", obravnava ranljivost kot funkcijo socialne in ekonomske situacije izpostavljenosti družbe.

Blaikie et al. (1994) opredelijo ranljivost kot "karakteristike osebe ali skupine v smislu njihove sposobnosti predvidevanja, ravnanja, upiranja in okrevanja od učinkov naravne nevarnosti", kar predpostavlja da so nekatere skupine znotraj družbe bolj nagnjene k temu, da utrpijo škodo in izgubo zaradi dane naravne nevarnosti. Podoben razmislek lahko uporabimo na primeru ranljivosti vozil. Ranljivost dodatno konstrukcijsko ojačanega vozila je veliko manjša kot ranljivost navadnega – pri enaki jakosti nevarnosti. Torej, pri fiksni jakosti imamo različne stopnje ranljivosti za različne vrste vozil, pri fiksni vrsti vozila pa pri različnih stopnjah jakosti različne ranljivosti – ob predpostavki seveda, da je mera ranljivosti škoda, ki nastane ob realizaciji nevarnosti z določeno jakostjo.

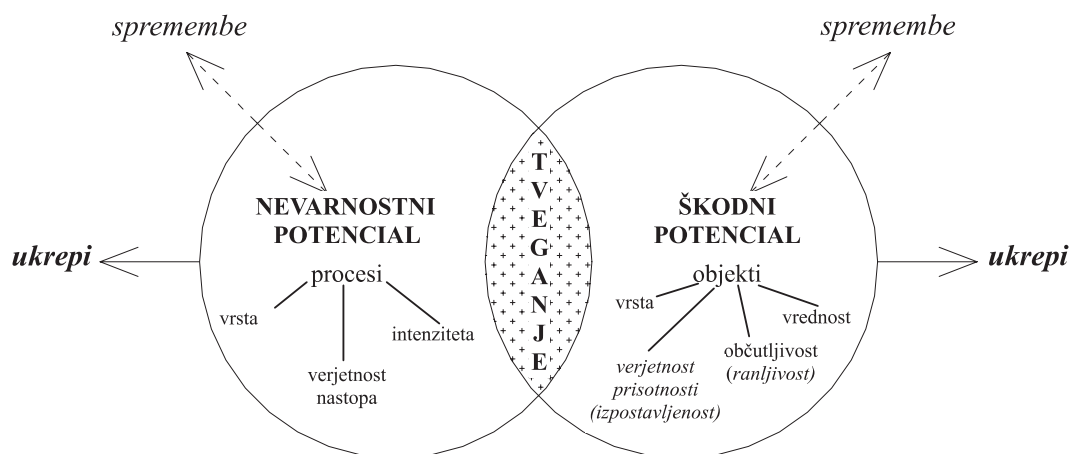
Nevarnost – ogroženost – tveganost

Sodobna družbena ureditev implicira odgovornost države pri varovanju človeških življenj in materialnih dobrin. S skokovitim naraščanjem stopnje izkoriščenosti in izrabiljenosti življenjskega prostora so se zlasti v zadnjih stotih letih poleg pozitivnih začeli pojavljati tudi negativni stranski učinki, ki se kažejo v nastanku konfliktnih območij (slika 1) in jih je treba obravnavati z vidika družbeno-kulturoloških zaznav naravnih nevarnosti in naravnih nesreč. Znova opozori-

Preglednica 2. Kriteriji uvrščanja škodnih pojavov v nezgode, nesreče in katastrofe (Heinimann et al., 1998).

Table 2. Criteria for classifying damaging events into accidents, disasters and catastrophes (Heinimann et al., 1998).

	Nezgoda		Nesreča		Katastrofa	
Vrednost motnje	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Število smrtnih žrtev med ljudmi		4	20	100	500	2.500
Število mrtvih večjih živali		200	1.300	8.000	50.000	350.000
Poškodovana površina ekosistema (km ²)		1	10	100	1.000	10.000
Diskontirana vrednost (mio CHF)		20	80	400	2.200	10.000



Slika 1. Parametri določitve tveganja (Romang, 2004).

Figure 1. Parameters of risk determination (Romang, 2004).

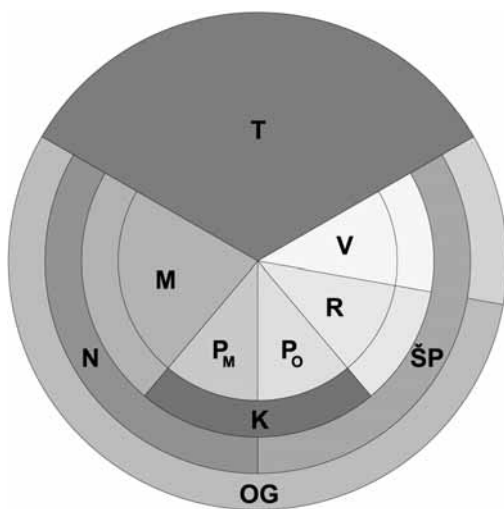
mo, da pomeni naravna nesreča (angl. *natural disaster*, fr. *catastrophe naturel*, nem. *Naturkatastrophe*, it. *disastro naturale*) že udeleženo ogroženost elementov prostora zaradi določene naravne nevarnosti (potres, plaz, drobirski tok, snežni plaz), ki jo spremlja dejanska škoda, medtem ko je naravna nevarnost (angl. *natural hazard*, fr. *aléa naturel*, nem. *Naturgefahr*, it. *pericolo naturale*) potencialnega značaja in vedno nastopa v relaciji z določenim škodnim potencialom. Zaznavanje in odnos posameznika ali skupine posameznikov ter vrednostni sistem so ključ do pravilnega razumevanja tveganja (angl. *risk*, fr. *risque*, nem. *Risiko*, it. *rischio*), ki nastane na konfliktnih območjih.

Med posameznimi pojmi najlažje ločujemo po analogiji s primerom dveh oseb, ki plujeta po morju in sta namenjeni iz pristanišča A v pristanišče B. *Nevihтна nevarnost* lahko nastopi nekje na poti med A in B, *verjetnost nastopa* in *jakost* nevarnosti na mestu nevarnosti med pristaniščema A in B pa sta odvisni od meteoroloških in klimatskih dejavnikov. Torej, ko osemi zaplujeta na odprto morje (*območje nevarnosti*), postaneta ogroženi osemi (*ogroženca*). *Tveganje*, ki ga sprejmeta (na primer poškodba, smrt) ob podajanju na območje nevarnosti – in s tem izrabita *priložnost* (na primer hitrejšega prihoda v pristanišče B kot po kopnem) – določa še njuna *ranljivost*, ki je odvisna od tehničnega stanja plovil, njunih sposobnosti, načina plovbe in drugega. K

ranljivosti lahko štejemo tudi njuno *izpostavljenost* (verjetnost, da se nahajata na mestu nevarnosti v trenutku nastopa nevihtne nevarnosti). Vrednost plovila, predmetov in potnikov v njem je *vrednost ogroženecv*. Opozorimo naj, da sta bistvena parametra verjetnost nastopa in jakost nevarnosti na mestu, kjer se istočasno nahaja tudi ogroženec, saj včasih prihaja do napačnih interpretacij in se verjetnosti in jakosti računajo le na območjih nastanka nevarnosti.

Nevarnost je za obe osebi enaka, njuna ogroženost in sprejeto tveganje pa ne! Na primer, za osebo 1 tveganje (izgube materialne dobrine, ne življenja!) praktično ni, saj ta svoje plovilo zaznava kot "že odsluženo in amortizirano", a še vedno konstrukcijsko dovolj zanesljivo in tehnično brezhibno. Pri osebi 2, ki pluje s popolnoma novo jadralnico enake velikosti (in brez kasko zavarovanja vodnih plovil!), se tveganje za izrabo priložnosti močno poveča, čeprav je ranljivost enaka. Če bi oseba 1 plula z veliko manjšo in tehnično neizpravno jadralnico, bi se njeno tveganje opazno povečalo. Pri nespremenljivi nevarnosti se torej tveganje lahko močno spreminja v odvisnosti od ranljivosti in vrednosti ogroženca.

Primer napeljuje na misel, da je tveganje odvisno od treh dejavnikov: nevarnosti, ranljivosti in vrednosti ogroženca. Enačbe, ki povezujejo te štiri parametre, so praviloma lastne posameznim avtorjem. Navedimo eno izmed njih in jo komentirajmo (CENAT, 2004):



Slika 2. Odnosi med parametri analize tveganja.

Figure 2. Relationships between the parameters of risk analysis.

$$T = N \cdot R \cdot V$$

T (tveganje): Pričakovane izgube (smrtne žrtve, poškodovanci, škoda na premoženju in motnje v ekonomski dejavnosti) zaradi določene nevarnosti in za neko površino ter referenčno obdobje. Na podlagi matematičnih izračunov je tveganje zmnožek nevarnosti, ranljivosti in vrednosti ogroženecov.

N (nevarnost): Dogodek ali fizikalno stanje, ki je potencialen vzrok smrtnih žrtev, poškodovancev, škode na premoženju, škode na infrastrukturi, izgub poljščin, okoljskih škod, prekinitev poslovanja ali drugih vrst poškodb ali izgub. Magnituda pojava, verjetnost njegovega nastopa in razsežnost ter jakost njegovega učinka lahko variirajo, čeprav jih je v številnih primerih mogoče predvideti ali oceniti.

R (ranljivost): Značilnost človeškega obnašanja, socialnih in fizikalnih okolij, ki opisuje stopnjo dovzetnosti (ali odpornosti) učinkom npr. naravnih nevarnosti. Ranljivost je določena s kombiniranjem zavedanja o nevarnosti, stanja človeških naselbin in infrastrukture, javne politike in administracije in organizacijske moči pri obvladovanju nesreč. Revščina je v mnogih krajih sveta eden glavnih vzrokov ranljivosti.

V (vrednost ogroženecov): Vrednost naravnih in družbenih prostorskih elementov je

stvar subjektivne presoje ali objektivnega ekonomskega vrednotenja.

V tej definiciji se znotraj členov *N* in *R* skrivata dva verjetnostna parametra, ki sta lastna nevarnostnemu in škodnemu potencialu. Gre za:

- verjetnost nastopa nevarnosti z določeno jakostjo P_M na mestu ogroženca ter
- verjetnost prisotnosti ogroženca P_O na tem istem mestu.

Verjetnost kolizije *K* nevarnosti in ogroženca določa možnost interakcije med obema, med nevarnostnim in škodnim potencialom, ter pogojuje nastanek konfliktnega območja in s tem tudi tveganja:

$K = N(P_M) \cdot R(P_O)$. Produkt nevarnosti *N* in ranljivosti *R* iz enačbe $T = N \cdot R \cdot V$ je *specifično tveganje ali ogroženost OG*, produkt ranljivosti in vrednosti ogroženca pa *škodni potencial ŠP*. Kienholz et al. (1998) opredelijo škodo kot negativno vrednoteno posledico dogodka ali poteka, ki je lahko neposredna ali posledična; *škodni potencial* pa pomeni skupek mogoče škode v nevarnem procesu, velikost takšne škode in vsoto ogroženih ali škodno ogroženih vrednosti v opazovanem okolju; *škodni proces* opredeljuje kot naravni potek, ki lahko povzroči škodo.

Izpostavljenost ogroženca P_O lahko obravnavamo tudi ločeno od ranljivosti ogroženca – v tem primeru ranljivost določajo le dejavniki v zvezi z odpornostjo na nevarnost (npr. konstrukcijski materiali, starost, vzdrževnost ipd.).

Sprejetje tveganja za izrabo priložnosti s strani človeka-ogroženca lahko kvalificiramo kot *tveganost ogroženca*, podobno kot govorimo na primer o tveganosti naložbe za investitorja. Navidez paradoksalna situacija se pojavi, kadar imamo nevarnost in objektivno ogroženost, tveganosti pa ni. Primer: voznik je kasko zavaroval svoje vozilo, ki je na cesti objektivno ogroženo, subjektivne tveganosti vozila pa za lastnika ni, saj kljub nesreči (z izključno materialno škodo), tj. udejanjeni objektivni ogroženosti, lastnik dobi povrnjeno škodo. Torej je tveganost ogroženca (vozila) za lastnika z materialnega stališča nična, z emocionalnega ali kakšnega drugega stališča pa morda ne. Pri opazovanju pojavov z antropocentričnega gledišča vedno lahko določimo tveganost, z aspekta vozila pa lahko govorimo le o ogroženosti. Tako opredeljeni pojmi nas postavi-

jo pred dejstvo, da za ogroženost lahko trdimo, da je merljiva objektivna lastnost nekega ali nečesa, tveganost pa predstavlja subjektivno lastnost in je konstrukt ogroženih ljudi ter kot taka objektivno ne more obstajati brez ljudi. "Tveganost" je vedno družbeno konstruirana s strani ljudi in objektivno ne obstaja. Jasanoff (1998) navaja: "Vse percepcije tveganja, bodisi laične bodisi ekspertne, predstavljajo parcialne ali selektivne poglede na zadeve in situacije, ki nas ogrožajo." V skladu s tem je tudi observacija, da "empirični rezultati kažejo, da so družbeni procesi, ki ustvarjajo in vzdržujejo tveganje v očeh javnosti, vsaj toliko pomembni kot fizikalne in psihološke dimenzije tveganja" (Rogers, 1997).

Vrnimo se k ravnanju s konfliktnimi območji. Ob prevladujočem mnenju, da je naravne procese mogoče "regulirati" in s tem poseči zgolj v parameter magnitude nevarnosti na konfliktnem območju, včasih celo v parameter verjetnosti nastopa nevarnosti na istem območju, se je nemoteno povečeval obseg dejanskih škod ob nastopu naravnih nesreč. Druga rešitev, v današnjem času veliko bolj aktualna in v skladu s konceptom trajnostnega in celovitega reševanja problemov na konfliktnih območjih, se pojavi pozneje. Gre za zmanjševanje škodnega potenciala znotraj konfliktnih območij. Iz enačbe je razvidno, da je za zmanjšanje tveganja treba zmanjšati bodisi nevarnost ali škodni potencial bodisi oboje hkrati. Optimizacija teh razmerij je odvisna od stopnje sprejemljivega tveganja T_{dop} , ki pa je močno odvisna od

vrednostnega sistema posameznika ali skupine posameznikov in ga določamo znotraj procesa vrednotenja tveganja.

Torej, če je $T > T_{dop}$, je z zmanjšanjem členov N , R in/ali V treba izničiti razliko $\Delta T = T - T_{dop}$. Limitni postopek $\Delta T \rightarrow 0$ imenujemo *preventivno obvladovanje tveganja*!

Po Kienholzu et al. (1998) se obvladovanje tveganja lahko izvaja *preventivno* (z zmanjšanjem verjetnosti ali škod na nivo sprejemljivega tveganja), *reaktivno* (z ukrepanjem ob nesreči) ter *inaktivno* (s preprosto ohranitvijo in nadzorom statusa quo), cilj obvladovanja tveganja pa je najvišja možna učinkovitost (mera za stopnjo doseženosti cilja, brez upoštevanja porabe sredstev) in eficienta (razmerje med doseženim delovanjem ukrepa in porabljenimi sredstvi).

Pomensko ustrezni prevodi so ključnega pomena za poenotenje izrazja s področja analize tveganja, kar bi omogočilo boljše sporazumevanje med strokami (preglednica 3).

Zaključki

Primerjava definicij nekaterih najpomembnejših izrazov s področja presoje tveganj zaradi naravnih nevarnosti je pokazala, da zaradi družbene dimenzije problema praktično ni poenotenega pristopa k analizi in da obstaja precejšnje neskladje med posameznimi opredelitvami pojmov. Z navajanjem prevodov tujih definicij in splošno rabo nekaterih izrazov v slovenščini smo poudarili pomenske in vsebinske razlike med najpomembnejšimi izrazi

Preglednica 3. Osnovni termini analize tveganja, prevedeni v pet evropskih jezikov.

Table 3. Basic terms of risk analysis, translated into five European languages.

oznaka	SL	EN	DE	FR	IT
M	jakost nevarnosti	magnitude	Magnitude	magnitude	magnitudo
P_M	verjetnost nastopa nevarnosti	occurrence probability	Eintretenswahrscheinlichkeit	probabilité d'occurrence	probabilità di occorrenza
D	dovzetnost za nastanek nevarnosti	susceptibility	Suszeptibilität	susceptibilité	susceptibilità
R	ranljivost ogroženca	vulnerability	Vulnerabilität, Verwundbarkeit	vulnerabilité	vulnerabilità
P_0	izpostavljenost ogroženca	exposition	Präsenzwahrscheinlichkeit	exposition	esposizione al rischio
V	vrednost ogroženca	value of element at risk	Wert vom Risikoelement	valeur de l'élément à risque	valore degli elementi a rischio
N	nevarnost	hazard	Gefahr	aléa	pericolosità
T	tveganost	(total) risk	(totales) Risiko	risque (totale)	rischio (totale)
K	verjetnost kolizije	impact probability	Kollisionswahrscheinlichkeit, Treffwahrscheinlichkeit	probabilité d'impact	probabilità di impatto
ŠP	škodni potencial	damage potential	Schadenspotential	dommage potentiel	danno potenziale
OG	ogroženost	(specific) risk	(spezifisches) Risiko	risque (spécifique)	rischio (specifico)

kot so nevarnost, ogroženost, ranljivost, tveganje, tveganost in nesreča. Primer uporabe nekaterih pojmov rizičnega menedžmenta pa smo že prikazali na primeru analize potencialne ogroženosti zaradi odlomne nevarnosti (Đurović et al., 2005).

Zahvala

V prispevku zbran pregled izrazoslovja s področja teorije tveganj zaradi naravnih nesreč je začel nastajati v okviru dela na Ciljnem raziskovalnem programu »Metodologija za določanje ogroženih območij in način razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti zaradi zemeljskih plazov«, ki so ga v letih od 2002 do 2004 financirala naslednja ministrstva Republike Slovenije: Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo ter Ministrstvo za obrambo – Uprava RS za zaščito in reševanje.

Literatura

- Alexander, D. E. 1993: Natural disasters. - UCL Press Limited, 632 pp., London.
- Alexander, D. E. 2000: Confronting catastrophe: New perspectives on natural disaster. - Harpenden, Terra.
- Besson, L. 1996: Les risques naturels en montagne: Traitement, prévention, surveillance. - Artès-Publiatp, 438 pp., Grenoble.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. 1994: At risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters. - Routledge. London, New York.
- Burton, I., Kates, R. W., White, G. F. 1978: The environment as hazard, druga izdaja. - Oxford University Press, 240 pp., New York.
- CENAT, 2004: Coping with risks due to natural hazards in the 21st century. Monte Verità Workshop 2004, 28. 11.–3. 12. 2004. <http://www.cenat.ch> (2.2.2006)
- Đurović, B., Ribičič, M. & Mikoš, M. 2005: RHDM postopek analize potencialne ogroženosti zaradi odlomne nevarnosti = RHDM procedure for analysis of the potential specific risk due to a rock fall hazard. - Geologija, 48/1, 33–51, Ljubljana.
- Heinimann, H. R., Hollenstein, K., Kienholz, H., Krummenacher, B., Mani, P. 1998: Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. - Umwelt-Materialien 85, Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 284 pp., Bern.
- Hornby, A.S. 1998: Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English. - Oxford University Press. Oxford.
- Jasanoff, S. 1998: The political science of risk perception. - Reliability engineering and system safety, 59. Amsterdam.
- Kienholz, H., Zeilstra, P., Hollenstein, K. 1998: Begriffsdefinitionen Naturgefahren. - Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 74 pp., Bern.
- Lapajne, J. 1987: Stokovna beseda. - Ujma 1, 94, Ljubljana.
- Rogers, G. 1997: The dynamics of risk perception: how does perceived risk respond to risk events? Risk analysis, 17/6, Oxford.
- Romang, H. 2004: Wirksamkeit und Kosten von Wildbach-Schutzmassnahmen. Geographica bernensia. Geographisches Institut der Universität Bern. Bern.
- Smith, K. 2004: Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster, fourth edition - Routledge, 306 pp., London, New York.
- SSKJ 1994: Slovar slovenskega knjižnega jezika. - Državna založba Slovenije. Ljubljana.
- Varnes, D. J. 1984: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. - Commission of Landslides of the IAEG, 63 pp., UNESCO. Paris.
- White, G. F. (ur.) 1974: Natural hazards: local, national, global. - Oxford University Press, 288 pp., New York, London, Toronto.
- Whittow, J. 1980: Disasters: The anatomy of environmental hazards. - Allen Lane. London.

The effect of policy choices on mineral availability

Učinek izbire politik na razpoložljivost mineralnih surovin

Slavko V. ŠOLAR¹ & Deborah SHIELDS²,

¹Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, Slovenia

²USDA Forest Service – Research and Development, 2150 Centre Ave., Bldg. A, Fort Collins, CO 80526, USA

Key words: mineral resources, policy, sustainable development, Eastern Europe

Ključne besede: mineralne surovine, razvojne usmeritve – politike, trajnostni razvoj, Vzhodna Evropa

Abstract

During the late 1980s and early 1990s almost 100 nations introduced new or revised existing mineral policies and laws. We are now in another period of revision, particularly in the Eastern European nations. National mineral policies in these countries are being, or recently have been, reconsidered for several reasons. First, policies from the prior political era were not consistent with market driven economic policies. Second, they did not reflect the regulatory framework or policy directives of the new, integrating Europe. Finally, old policies did not address the concerns, issues and needs of societies today, primary among these being the desire for a sustainable future. In this paper we argue that each country's mix of imported and domestically produced minerals should be economically profitable, socially acceptable, and in compliance with sustainable development principles. In this paper we focus on the ongoing revision of mineral policies in Eastern European countries transitioning to market-driven economies. We first review basic policy concepts, placing emphasis on the purpose and scope of mineral policies. We then briefly describe EU positions on sustainability, and economic and mineral policy. This is followed by a general review of the mineral policies and management situation in the transition economies of Eastern Europe. We conclude that of number of the current policies have the potential to limit the availability of minerals to countries in this region rather than ensuring their supply. We also identify several policy trends that are inconsistent with sustainability principles.

Kratka vsebina

Koncem osemdesetih in v začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja je skoraj 100 držav spremenilo, obnovilo svoje politike in zakonodajo na področju rudarstva. V začetku novega tisočletja smo, predvsem v Vzhodni Evropi, ponovno v fazi prenove. Nacionalne rudarske politike so bile obnovljene zaradi različnih razlogov. Prvič, politike izpred devetdesetih, niso bile primerljive s politikami tržnega gospodarstva, drugič, politike niso ustrezale zakonodajnem okviru integrirane Evrope, končno stare politike niso upoštevale skrbi, potreb in odprtih vprašanj današnje družbe, predvsem želje po prihodnosti temelječi na načelih trajnostnega razvoja. V članku smo se osredotočili na potekajočo revizijo rudarskih politik v Vzhodni Evropi v prehodnem obdobju, na poti k tržnem gospodarstvu. Prvo smo pregledali temeljne koncepte politik, s posebnim ozirom na namen in področje delovanja rudarskih politik. Potem na kratko opišemo stališča Evropske Unije v zvezi s trajnostnim razvojem, gospodarsko in rudarsko politiko. Temu sledi splošen pregled rudarskih politik in gospodarjenja z mineralnimi surovinami v gospodarstvih Vzhodne Evrope. Zaključujemo z ugotovitvijo, da številne rudarske politike vsebujejo usmeritve, ki lahko na regionalni ali državni ravni bolj omejujejo dostopnost do mineralnih surovin kot oskrbo z njimi. Poleg tega tudi ugotavljamo, da številni trendi rudarskih politik niso skladni z načeli trajnostnega razvoja.

INTRODUCTION

In the last twenty years, Eastern Europe has experienced changes that were unforeseeable in their magnitude before they began. During this period nations disintegrated (Soviet Union, Yugoslavia, Czechoslovakia), which in some cases led to war. Eastern European countries embraced democracy as the social system. There was a shift to market-based economic policies. In 2004, ten mostly Eastern European countries joined the European Union (EU); some countries in the southeast of Europe are now in the process of joining the EU.

Accession to the EU necessitates adoption of EU legislation. It has also led to an increasingly free flow of capital, labor, products and information among nations of the enlarged European Union (EU). The understanding of sustainability principles and a desire for sustainable futures is spreading. The impacts of such major events permeate virtually all aspects of these societies. Policies are changing, albeit at different rates and to different degrees in each accessioning country.

In this paper we focus on the ongoing revision of mineral policies in Eastern European countries transitioning to market-driven economies. We first review basic policy concepts, placing emphasis on the purpose and scope of mineral policies. We then briefly describe EU positions on sustainability, and economic and mineral policies. This is followed by a general review of the mineral policies and management situation in the transition economies of Eastern Europe. Finally, we conclude with a discussion of the potential impacts of selected Eastern European mineral policies on the availability of minerals.

POLICY CONCEPTS

Policies reflect the values and goals of the people involved in their creation. In the best of circumstances, they articulate the desires of a society and their perspectives about important issues of the day. They codify objectives about the kind of world people want to live in and the means they consider acceptable in achieving those specified end-states, and do so in a manner consistent with the social and political system of the coun-

try (Shields et al., 2002a). This is true for all policies, be they economic, environmental, or mineral.

An economic system is the set of policies, mechanisms, rules and institutions that a society uses to make decisions about economic issues and implement those decisions. The environment of the economic system includes the level of development, resource endowment, and the stocks of human and built physical capital, and consumer preferences. The economic system in Eastern Europe has been shifting from the central-planning model, which existed previously in countries belonging to Council for Mutual Economic Assistance, to the market-directed model existing in the EU. Production levels will no longer be dictated by the state, but rather will vary in response to market demand. Prices will not be prespecified; they will be the outcome of agreements between willing buyers and sellers.

In Europe, and other parts of the world, policies are being reconsidered in light of sustainability principles. Gibson (2005) lists requirements for progress towards sustainability: 1) socio-ecological integrity, 2) livelihood sufficiency and opportunity, 3) intra-generational equity, 4) intergenerational equity, 5) resource maintenance and efficiency, 6) socio-ecological civility and democratic governance, 7) precaution and adaptation, and 8) immediate and long term integration. They provide a way to look at whether or in what areas we are or are not making progress toward sustainability. As we discuss later in this paper, the EU has placed considerable emphasis on sustainability and has created a Sustainable Development Strategy.

Development, sustainable or otherwise, requires raw materials. A case in point is infrastructure development in Eastern Europe, which will require large volumes of construction materials. Because of the importance of raw materials to societies, most countries have official minerals policies. In the next section we consider the basis for, and necessary content of, mineral policies.

Mineral Policies

Mineral policy is complex because of the range of resources involved. Each commo-

dity has its own economic, military, social, and environmental considerations. Some authors have gone so far as to suggest that no minerals policy beyond 'pious generalizations that compromise a number of conflicting private interests and national objectives' has been achieved (Mikesell, 1987, p. 1). That inherent complexity has only been increased by the addition of sustainable development concerns. Achieving goals of environmental protection, intra- and inter-generational equity, and economic growth and stability, will require tradeoffs across space and time, and among objectives.

Sustainable mineral policies can provide a framework for balancing benefits and costs to society with regard to minerals. The main benefits are supplying a material basis for society, wealth creation by mining activities, tax revenues to the state, and employment; major costs are environmental pollution, social disturbance in local communities, and land use conflicts. Priorities with respect to benefits and costs differ from country to country.

One major governmental role in sustainable development policy for minerals is to create an enabling economic environment that aligns a country's investments with its underlying comparative advantage, so as to improve the use of scarce capital and human resources (Auty, 2003). More generally, the foundational concepts of sustainable mineral policies are: 1) facilitating the transformation of natural mineral capital into built physical, economic, environmental or social capital of equal or greater value; 2) ensuring that environmental and social impacts of mining are minimized; 3) addressing the trade offs that society needs to make; and 4) taking all relevant scale hierarchies into consideration (Shields & Šolar, 2004). It is also essential that a sustainable mineral policy be correlated and consistent with other governmental policies (Shields et al., 2002a).

Mineral policy should endeavor to ensure adequate mineral supply, comprised of a mix of domestically produced and imported materials that has been produced in ways that are compatible with sustainable development principles. We term this a sustainable supply mix.

National minerals policies also need to provide the regulatory certainty necessary

to foster investments in mineral development that have been designed to achieve sound economic, environmental and social objectives (Carpenter, 2005). In particular, mineral policy must deal with allocation of rights to subsurface resources. Europe has a tradition of predominately state ownership of mineral rights, whereas in the United States many mineral rights are held by private individuals. Regardless of who holds that right to a mineral deposit, surety about who holds them is essential. Private investors will not explore for, develop and extract minerals in the absence of clear, enforceable and enforced ownership rights.

Competitiveness of the minerals sector has been, and continues to be an important issue for policy makers. In the past, competitiveness was believed to be a function of deposit quality: mines with high grade ores would have a cost advantage in the marketplace. The resulting mineral policies focused on land access and exploration to replace depleting high quality reserves. It is now recognized that ore is defined economically and that technological innovation can lower cut off grade. Thus, newer mineral policies often include language supporting research and development, and encouraging the implementation of innovative practices.

Overall, a country's national mineral policy should include: policy scope, sovereignty, economics, quality of life, legislative framework, and regulatory agencies (Otto, 1997). It should also clearly define types of acceptable mineral activity and types of minerals that can be exploited. These elements will be addressed further in the section on mineral policies in transition economies.

POLICIES IN THE EUROPEAN UNION AND TRANSITION ECONOMIES

Policies in the European Union

At meeting in Lisbon in March 2000, the European Council adopted a strategy intended to inform all EU policy initiatives (Lisbon European Council, 2000). The goal of the Lisbon Strategy was to enable the Union to become, by 2010, the most competitive and dynamic knowledge-based economy in the world, capable of sustainable economic growth with more and better jobs and gre-

ater social cohesion. The Lisbon Strategy was revised in the spring of 2005 with a stronger focus on jobs and growth (EU, 2005a). An Integrated Guidelines Package was negotiated for the 2005–2008 period and key areas for achieving Lisbon objectives were identified. These include: free and fair trade, improving European infrastructure, and boosting innovation among others.

The EU Treaty requires the integration of sustainable development into all European policies, so they are designed in a balanced and mutually reinforcing way to meet economic, environmental and social objectives. The EU adopted the Brundlandt Commission's sustainable development definition as a basic guideline. Building on the Lisbon strategy, the Gothenburg summit adopted "A European Union Strategy for Sustainable Development" in 2001 (EU, 2001). It represented the first EU Sustainable Development Strategy and focused on environmental protection, social equity and cohesion, economic prosperity and active promotion of sustainable development worldwide. It proposed headline objectives and a series of policy measures. Priorities relevant to our discussion here included:

- Combat poverty and social exclusion,
- Ensure sustainable transport, and
- Manage natural resources more responsibly.

Since the adoption of the strategy in 2001, significant changes have occurred: the enlargement of the European Union to 25 Member States; increased instability due to the terrorist threats and violence; further globalisation and changes in EU and world economy; persistent and increasingly apparent signs of environmental problems. In response, the Commission published "On the review of the Sustainable Development Strategy: A platform for action" (EU, 2005b). The updated strategy focuses on a number of key challenges, including:

- Social exclusion, demography and migration;
- Global poverty and development;
- Sustainable transport; and
- The management of natural resources.

Prior to the 21st century, the mineral policies of EU nations tended to be fragmented and inconsistent, with more emphasis on en-

vironmental protection than on ensuring sufficient supply or supporting competitiveness. This occurred in part because until recently EU mineral policies were influenced by three assumptions:

1. That there will always be total access to the world's mineral supplies;
2. That world mineral production will keep pace not only with increasing mineral requirements of established industrial countries as well as the newly industrialized economies, but also with the dynamic growth of world population; and
3. That the EU will always find the means to pay increased mineral imports" (Scheffold, 1997).

Clearly, these assumptions are no longer valid given the current world situation noted above and are inconsistent with the original and reconsidered Lisbon Strategies. A strong and competitive EU mineral industry is needed. It can contribute to the interests of Europe by helping to insulate the EU economy from major disruptions in the world market that might restrict access to essential raw materials (Allegre, 1991). A policy framework for sustainable resource management will be required both to guarantee the material basis and energy supply for EU economy and safeguard the natural resource basis in future (Bringezu, 2002).

The Communication from the Commission entitled "Promoting sustainable development in the EU non-energy extractive industry" begins to address this issue (EU, 2000). The objective of the Communication was to set out broad guidelines for a sustainable development-based mineral policy that would promote both pollution control and reduction, and also industry competitiveness. Priority issues include a high level of environmental protection, land access for exploration, worker health and safety, and research and development. The impact of Communication 265 on national mineral policies is currently being evaluated (TEEC, 2006).

The Strategies and Communications discussed above notwithstanding, the EU has no declared and agreed upon mineral policy. (The Constitution that was recently voted upon specifically stated that the EU would not have a mineral policy). To date, the EU has various guidelines that are dispersed in

many EU documents. For example, industrial policy can promote heavy industry, transportation infrastructure development, and export promotion, each of which have the potential to impact the pattern and level of mineral material consumption. (Hewett, 1980). Recent policy advice on EU industrial policy highlights competitiveness. The Communication on Industrial Policy COM474 (EU, 2005c) looks at:

- Screening of competitiveness of 27 sectors (including the non-energy extractive industry),
- Main policy challenges,
- Setting of cross-sectoral policy initiatives, and
- Setting of sector-specific initiatives.

These and other documents point out characteristics of sustainable societies, i.e., they attempt to acknowledge, address and balance social, economic and environmental concerns. In setting policies for the minerals sector, EU nations will have to consider the following several issues in detail as they develop and revise their mineral policies (Anciaux, 2005):

- Land access,
- Levels of investment,
- Legal framework,
- Human resources and skills,
- Research and development, and
- Access to markets and globalization.

Analysis of Mineral Policy Elements in Eastern Europe

Mineral policies are usually part of industrial policies of transition countries. While not typically written in stand-alone documents, they are firmly coded in mining laws that have been revised at least twice in recent years. The first revision was a consequence of the change of socio-economic system, i.e., from state planned to free market economy. The second change was related to harmonization to EU legislation in period prior to uniting with the European Union.

Countries joining the EU go through a process in which their existing legislation is screened. In the case of mining, certain requests are made, for example that mining legislation be translated into English. Specific policy and legislative areas are scruti-

nized, including subsidies to the mining sector, provisions for worker health and safety, and royalties and concessions. The EU is particularly interested in ensuring that all EU members have equal opportunities to invest in the country minerals sector and that capital can flow freely between EU nations.

It will take years, perhaps several decades, for well-integrated systems of law to emerge that address the many regulatory matters associated with mining. Surveys of EU member states national mineral (planning) policies were done in 1994 (Land Use Consultants et al.) and 2004 (Wagner). The following discussion is based both on these documents and the knowledge of the authors. Policy elements introduced by Otto (1997) are useful cornerstones for observation of the status and trends of mineral policy in transition-economy EU member states. We identify the contents of each of Otto's categories, providing detail in selected areas; however, comprehensive discussion here of policy status for all Eastern European nations is precluded by space limitations.

Policy Scope has following sub-sections: a) types of mineral activity, b) types of minerals, and c) relationship of mineral policy to other national policies.

Types of mineral activity – In pre-transition Eastern Europe, all stages of the mine cycle, i.e., exploration, mine development, operation, closure and reclamation, were typically present wherever there was a mining industry. Further, there were well established linkages to beneficiation, processing and/or smelting. These phases logically proceeded to manufacturing, sales, use and disposal of products, including even some recycling. Industry systems were complete in terms of material flow, but inefficient with regard to competitiveness, material use, and environmental protection.

Parts of the mine and product cycles had been very profitable, either due to the failure to account for externalities or to other market imperfections. For example, not all costs, particularly environmental ones, were included in the production costs. In other cases, parts of the system were subsidized either by direct monetary transfers or were profitable because the state-mandated market price of their product was intentionally set in excess of their costs. Without these special circumstances, many of the large sta-

te-owned companies were not able to compete under the open market conditions.

At the beginning of the transition period the state ceased to regulate or plan materials supply and demand. In many cases, the state focused on maintaining employment levels and gave no special attention to the minerals industry. Previously, the state had ensured that every activity necessary to move minerals from a mine to a product in the market would be present and linked together. With the downfall of central planning, mineral industry systems broke apart to small companies. The uncompetitive subsidiaries, or business segments, went bankrupt. Many of the rest were marketed to western companies, often at low prices, and subsequently were reorganized, and downsized, in an effort to make them economically viable. Links in the supply chain disappeared as some newly independent firms went out of business and others changed their focus to activities that their new owners thought would be more profitable than activities designed to support the minerals sector had been. Inevitably, mineral production and mineral activities in general has decreased substantially from the pre-transition era. For example, between 1992 and 2000 mineral extraction in Lithuania reduced to 15 – 22 % of former annual volume (Gasiuniene, 2000).

Types of minerals – Prior to transition, the types of minerals produced in Eastern European countries was a function of known national mineral wealth and planned state material demand. Deposits of minerals that would be considered uneconomic in a market economy were developed, and production subsidized, if the resource was deemed necessary for fulfillment of the central plan. As noted in the previous section, after the change in early 1990s, overall mineral production decreased; however, the situation was not the same for all mineral commodities.

Previously, metal production had been done mostly by large companies, industrial mineral production by both large and small companies, and construction materials mostly in small companies or subsidiaries of larger companies (construction, brick industry, cement, etc.). The state usually oversaw the disposition of large mineral firms, which were either closed, rehabilitated and/or prepared for privatization, depending on the

quality of the deposit, amount of remaining reserves, and other factors. Smaller companies were more or less left to new market conditions, meaning that they either went bankrupt or were privatized. In the end, regardless of the size of the firm, only those commodities that can be sold at a profit will continue to be produced. However, as is discussed in a later section, some subsidized state-owned minerals firms do continue to exist for the time being.

Over time, as free market supply and demand conditions have taken hold, the economies in many Eastern European countries have begun to recover. That recovery has led to increased demand for minerals. The market response has been a combination of higher prices, selected instances of increased domestic production, and increased imports. In the case infrastructure reconstruction and expansion, and particularly for transportation infrastructure, the increased demand for minerals (aggregates) has been met by domestically extracted resources due to the low ratio of market value to transportation costs.

Relationship of mineral policy to other national policies – As mentioned above, in the first half of 1990s economic policy dominated other policy priorities in the industrial and mineral sectors. Privatization, unemployment, and restructuring were the main issues of concern. In many cases, sectoral policies were in conflict. Implementing one policy would have unintended consequences, or even generate negative or undesirable outcomes, that would make other policy goals unachievable. This has particularly been the case with industrial and environmental policies (Shields et al., 2002b).

Sovereignty includes these elements: a) role of government in investment decision-making, b) role of State enterprises, c) mineral ownership, d) foreign participation, e) state equity requirement, and f) local joint venture or other equity requirements.

Role of government in investment decision-making – Most state investments in Eastern Europe are now being directed into the enterprise reorganization, environmental rehabilitation, and reducing social pressures (unemployment). Substantial prior exploration by state agencies identified potentially economic deposits in some countries. Efforts

to market these deposits through bidding processes have met with generally unfavorable results (Otto, 1999).

Regulatory and fiscal frameworks support investments, but circumstances in Eastern Europe can make the investment climate for non-governmental entities challenging. Often prior-existing mining companies have past environmental burdens that will make it difficult, if not impossible, and certainly costly for them to comply with environmental regulations posed by European regulatory framework. In addition, some Eastern European governments are attempting to pass historic environmental burdens on to privatized mining companies making investment in those firms less attractive. Investment climate is also affected by governmental assumptions about the value of mineral properties, which has led them to over-valued certain properties relative to what investors are willing to pay. In some cases, investment is also being slowed or stopped by policies and legislation that is being promulgated in non-mining areas such as land use planning.

Role of State enterprises - New EU member states are not founding new state mining enterprises. All new firms are being established by private investors with or without (mostly) a state share. However, the idea of keeping state owned (or controlled) enterprises has returned to public debate, especially with regard to strategic mineral or energy resources. Some countries are now seeking to continue State mining but under market-based objectives (Otto, 1999). This reemerging thinking is in part a reaction to market shortages and insufficient supply that followed the closure of some state firms and rise of prices that occurred during the initial transition period.

In addition, state enterprises are in a privileged position with respect to private sector because of subsidies and better access to state agencies services. Subsidies ease their market position; access to state agencies can provide additional state assistance in the areas of exploration, environment performance and monitoring and can ensure sales of minerals to state projects such as infrastructure construction or building maintenance, or to other state enterprises.

Mineral ownership - All strategic and high value, as well as some other, mineral resources

are state owned in Eastern European nations. In a few countries (Poland, Latvia, Estonia), bulk materials and construction materials are owned by the landowner or other private individuals (Wagner, 2004). In the 1990's each country re-introduced a process for granting mining rights. Most require the payment of fees for the right and the payment of some form of royalty to the state.

Foreign participation - Many foreign companies have participated in the privatization of the mining sector. The nature of their participation has depended on the legislation of the specific country. In some Eastern European countries foreign companies could not mine as stand alone firms during the early 1990s. They could participate as part of joint ventures with domestic companies, which were in many cases established with foreign capital. Later, in phase of joining the EU, foreign companies were allowed to enter the mining sector directly (without joint ventures) and many of them have performed sectoral concentration by buying smaller companies dealing with the same or similar commodities. The aggregates (construction materials) sector was particularly affected by concentration of production capacities.

Economics have an important role in every policy. With regard to mineral policy economic issues include: a) taxation types, levels and distribution, b) export restrictions, costs, incentives, c) import restrictions, costs, d) role in economic development, e) employment requirements, f) conservation and efficiency, and h) land use.

Export restrictions, costs, incentives - Most restrictions on the export of minerals resources were removed during the first phase of privatization, immediately after the change from planned to market economy. Many states are beginning to rethink export and self-sufficiency policy concepts for parts of or even for the entire mineral sector. There remains a strong feeling that mineral resources are part of the country's patrimony and should be kept for the benefit of the nation. This attitude, when combined with a strong preference for exporting value-added products versus primary materials, has created almost an unofficial ban on exporting raw materials. The issue remains open and controversial in some countries.

Employment requirements - Full employment was an important policy goal in pre-transition economies. This led to over-employment in some sectors, including in the minerals sector. As state owned enterprises have been privatized, employment levels have decreased to the levels seen in the industry in other regions of the world. The closure of some firms and decreases in mineral production has further reduced employment in the sector. Unemployment was, and remains, a serious social problem in transition countries.

Land use - Land use planning is an important development tool that takes into account a range of spatial components, such as environmental protection, biodiversity, protection of national heritage, etc.). Previously, mining had priority as a land use due to overall societal priorities. That is no longer the case. Obtaining land use permits has become a major obstacle in the mine permitting process in transition economies. When a mine site has been placed in the local land use plan, it is a sign that the mine has passed a major step in obtaining the social license to mine. There will be minimal obstacles to its continued operation, or its development, assuming that the proper environmental permits can be obtained. Conversely, in many countries it is difficult, if not impossible, to operate or open a mine that is not in an approved land use plan.

Quality of life looks at impacts on a) society and b) environment.

Social impact - In transition economy countries, governments finance, or are deeply involved, in mine closure and restoration. In these areas the most visible negative social impacts are unemployment, and other negative consequences related to unemployment, such as alcoholism, crime, and family violence. Substantial money from national budgets is being directed to these areas in order to help impacted citizens and minimize social unrest. The state is typically not involved in the operational phase of most mines and is much less likely to be dealing directly with the social impacts of ongoing operations. Unfortunately, many mines and open pits are having little positive impact on local communities. Employment, if any remains, is low; contributions to the local economy are insignificant; and the relationship between the mining company and the local com-

munity is often tense. Here the negative impacts have to do with quality of life issues.

Legislative Framework includes: a) applicable laws, b) exploration/mining rights regulatory approach, c) exploration and mining application priority, and d) security of tenure.

Exploration and mining application priority - In the past, national geological surveys performed geologic research, conducted exploration, and collected mineral information that was used by mining authorities. This information is insufficient for current uses and is mostly out of date due to a lack of resources to fund these agencies. Investments are going into mining operations and social programs; very little is being invested by governments in exploration. Countries in Eastern Europe have not formally identified areas with high mineral potential for exploration that could and lead to the tendering of mining rights and subsequent exploitation. In cases where mining authorities have little or no information on mineral wealth, areas are chosen by industry and investors and proposed to mining authorities for development.

Security of tenure - Security of tenure is less assured now by mining policies and legislation than was the case in the past. Other policies are taking precedence, such as those related to environmental protection and the management of other natural resources. Security of tenure is also endangered also by public opposition to mining. Public opposition is two-fold: concern about environmental protection, and opposition to foreign exploitation of countries' natural wealth. And as is the case in many parts of the world, legal license to mine is no longer adequate to ensure tenure. Social license to mine is also necessary and that is granted by the public rather than the state (Shields et al. 2006).

Regulatory agencies are a) governmental agencies or organizations mandated for b) mineral information.

Information availability - Official mineral information is obtained from government agencies. Some countries have official information support organizations such as geological surveys or mining institutes. Reporting of minerals and mining information both obligatory and voluntary. Obligatory information is typically related to mineral pro-

duction and economic reserves, and is collected annually. Voluntary information collection usually relates to specific projects and is collected over the duration of the project. Support organizations also collect and disseminate other data such as research results. Much existing mineral information is neither adequate nor sufficient for the needs of policy makers, land managers, investors, NGO's, and the general public.

CONCLUSIONS

Policies are typically judged on their cost-effectiveness, equity, administrative flexibility and feasibility, and efficiency. These criteria interact and also vary in importance depending upon the issues being addressed (Stern, 2003). A more over-arching criterion against which to judge a policy is the degree to which it facilitates achievement of societal goals. Granted, the legislation codifying policies may inadequately capture the policy intent; the regulatory frameworks may encourage behaviours that are at odds with the original goals; and the implementing and enforcing agencies may have their own conflicting, or at least different, agendas. All that notwithstanding, the fundamental question is whether a policy has the potential to generate desired outcomes. This is not a simple question to answer. Policies intended to produce a specified result almost always have other results as well. Sometimes pursuing one goal precludes reaching another. But, sometimes the policy is simply insufficient to the task or poorly crafted.

The countries of Eastern Europe are going through a period of major changes. Their economies are transitioning toward free markets and ten have already joined the EU. A process of policy revision is ongoing. Regarding minerals, governments main function is promulgating policies and facilitating mineral resource management in ways that are consistent with general and specific societal objectives. The goals of interest here are mineral sector competitiveness, minerals availability and sustainable development. Unfortunately, some of the policies currently being implemented are inconsistent with the precepts of free markets, will hamper the country's ability to achieve other goals, or are in conflict with the princi-

ples of sustainable development. The examples below are representative of these problems.

Policies protecting national mineral wealth and precluding exports are inconsistent with EU goals of greater economic integration. Mining companies diversify sources of supply as a means of improving their reserve position and as a protection against supply interruptions, i.e., so as to ensure mineral availability. If countries limit the free flow of materials they limit minerals availability.

Policies that insist on the utilization of domestic resources, or that promote self sufficiency, may decrease the likelihood of supply interruptions at the potential cost of producing a resource that is neither the most economically efficient nor the least environmentally damaging. Such an outcome is inconsistent with both goals of competitiveness and sustainability.

Infrastructure reconstruction and expansion is occurring in all transition economies, but to date policy revisions have largely focused on metallic and industrial minerals. Minimal effort has been put into developing policies for construction materials. This situation will make achieving the EU's goals for sustainable transport even more challenging. Moreover, mineral policies in isolation will not ensure availability of aggregates needed for transportation infrastructure. Only by comprehensively addressing the interactions of the minerals sector with other sectors will nations be able to ensure adequate supply. This is not currently being done.

Mineral policies in Eastern Europe as they now stand will not ensure adequate and sufficient mineral supply provided in a manner that is consistent with sustainable development principles. There is a need for new mineral policies that are consistent with EU legislation and directives covering a vast multitude of topics. This process will necessarily be different for each country. Despite the fact that significant political, economic, technological and social obstacles will need to be overcome, there is a clear call for a minerals policy framework on the EU level and minerals policy on member state level.

Paper was presented in Sarajevo, BIH, at the "5th Pan-European Conference on Planning for Minerals and Transport Infrastructure: the way forward!" in May 2006.

References

- Allegre, M. 1991: The EEC mining industry: where and how to develop. *Erzmetall*, 44(7-8), 357-363.
- Anciaux, P. 2005: The importance of a skilled workforce for a competitive extractive industry in Europe. European Commission. DG Enterprise and Industry – Unit I.2, Steel, non-ferrous metals and other materials. Presentation at TA-IEIX Workshop – EFG. 26-27 October, 2005, Brussels.
- Auty, R. 2003: Natural resources, development models and sustainable development. IISD Environmental Economics Programme, Discussion Paper 03-01. IISD: Winnipeg. World Wide Web Address: <http://www.iied.org/eeep>
- Bringezu, S. 2002: Towards Sustainable Resource Management in the European Union. Wuppertal Papers no. 121. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie: Germany.
- Carpenter, A. S. 2005: Issues That Affect the Competitiveness of America's Mining Industry. Testimony to the House Resources Subcommittee on Energy and Mineral Resources Oversight Hearing „Improving the Competitiveness of America Mining Industry“. Washington, DC. 28 April, 2005.
- European Union, 2000: Communication from the Commission: Promoting sustainable development in the EU non-energy extractive industry. COM (2000) 265 Final. Commission of the European Communities: Brussels.
- European Union, 2001: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development. COM (2001) 264 Final. Commission of the European Communities: Brussels.
- European Union, 2005a: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: Working together for growth and jobs – A new start for the Lisbon Strategy. COM (2005) 24 Final. Commission of the European Communities: Brussels.
- European Union, 2005b: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: On the review of the Sustainable Development Strategy. COM (2005) 658 Final. Commission of the European Communities: Brussels.
- European Union, 2005c: Communication from the Commission to the Council and the European Parliament: industrial. COM (2005) 474 Final. Commission of the European Communities: Brussels.
- Gasiuniene, V. E. 2000: State Mineral Resource Policies. Written presentation at the NATO Advanced Research Workshop "Sustainable Mineral Resource Management in Karst Areas". Portorož, Slovenia.
- Gibson, R., Hassan, S., Holtz, S., Tansey, J. & Whitelaw, G. 2005: Sustainability Assessment: criteria and processes. Earthscan: London.
- Hewett, E. 1980: Alternative econometric approaches for studying the link between economic systems and economic outcomes. *J. Comparative Economics*, 494, 274-294.
- Land Use Consultants, EURONET, and Windnell Chartered Surveyors, 1994: Mineral Planning Policy and Supply Practices in Europe. United Kingdom, Dept. of Environment: London.
- Lisbon European Council, 2000: Presidency Conclusions. Available at: http://www.bologna-berlin2003.de/pdf/PRESIDENCY_CONCLUSIONS_Lisabon.pdf#search=bsbon%20european%20spring%20council
- Mikesell, R.F. 1987: Non-fuel Minerals - Foreign Dependence and National Security. University of Michigan Press: Ann Arbor.
- Otto, J. 1997: A National Mineral Policy as a Regulatory Tool Resources Policy, 23: 1-7.
- Otto, J. 1999: Mineral policy, legislation and regulation. Mining, Environment and Development. A Series of Papers for UNCTAD. Advanced Copy. UNCTAD, New York.
- Scheffold, H.M. 1997: The Non-Fuel Mineral Position of the European Union. Doctoral Thesis. Centre for Energy, Petroleum & Mineral Law & Policy. University of Dundee.
- Shields, D.J. & Šolar, S.V. 2004: Sustainable mineral resource management and indicators: case study Slovenia. Geological Survey of Slovenia, Ljubljana.
- Shields, D., Šolar, S.V. & Langer, B. 2006: Sustainable Development and Industrial Minerals. p. 65-74 In: Kogel, J.C., Trivedi, N.C., Barker, J.M. and Krukowski, S.T. Industrial Minerals and Rocks, 7th Edition. Society of Mining, Metallurgy and Exploration: Denver.
- Shields, D., Šolar, S.V. & Martin, W. 2002a: The Role of Values and Objectives in Communicating Indicators of Sustainability. *Ecological Indicators*, 34, 1-13.
- Shields, D., Šolar, S.V., Martin, W. & Martin, I. 2002b: Conflicting objectives for mineral resource management: the case of aggregate quarries in Slovenia. p. 33-40 In: CICC, Raimondo (ed.). Environmental issues and waste management in energy and mineral production: Proceedings SWEMP 2002, 7-10 October, 2002. Cagliari, Italy.
- Sterner, T. 2003: Policy Instruments for Environmental and Natural Resource Management. Resources for the Future: Washington, D.C.
- The European Evaluation Consortium (TEEC) 2006: Evaluation of the Communication on Promoting sustainable development in the EU non-energy extractive industry¹. Draft of Final Report - Executive Summary.p 16. The Evaluation Partnership Limited (TEP). Middlesex. United Kingdom.
- Wagner, H. (ed.). 2004: Study of Minerals Planning Policies and Supply Practices in Europe. Department of Mining and Tunnelling. University of Leoben. Austria.
- Internet:
European Union (EU) 2005: Available online at: (<http://europa.eu.int/comm/environment/eussd/>)
European Union (EU) 2006: Available online at: (http://europa.eu.int/comm/sustainable/welcome/index_en.htm)

Nove knjige – New books

Uroš PREMUR, 2005: **TEKTONIKA IN TEKTOGENEZA SLOVENIJE** Geološka zgradba in geološki razvoj Slovenije (**Tectonics and tectogenesis of Slovenia**); pp 518; format A4; priloženih 5 kart: Narivna in nagubana zgradba Slovenije (81 × 59 cm), Shematski preseki narivne in nagubane zgradbe (67 × 47 cm), Karta pomembnejših prelomov (67 × 47 cm), Obdobja glavnih deformacij v Sloveniji (67 × 47 cm) in Palinspastična karta Slovenije (60 × 49 cm); prevod v angleščino Simon Pirc; naklada 300 izvodov. Izdajo knjige sta finančno podprla Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo ter Geološki zavod Slovenije. Izdal in založil Geološki zavod Slovenije.

Pred nami je težko pričakovano in obsežno delo Uroša Premruja, tektonika v skupini raziskovalcev za izdelavo slovenskega dela Osnovne geološke karte Jugoslavije 1 : 100.000. Ta sestavek je obvestilo o izidu knjige in na kratko seznanja zainteresirane z njeno vsebino.

Knjiga Tektonika in tectogeneza Slovenije je zasnovana sistematično in obsežno in ima tri razdelke. V prvem so uvodna poglavja (strani 5–51). Uvod, metode raziskav, kjer avtor predstavi osnovne podatke ter kritično analizo podatkov, ki je zajela facialno analizo sedimentnih, magmatskih in metamorfnih kamnin, analizo pred-, med in postdeformacijskih tectofaciesov ter analizo prelomnih sistemov, narivne zgradbe, nagubane zgradbe in globokih struktur. Seznanani nas z metodologijo sinteze zbranih podatkov. Nato predstavi dosedanje raziskave in na kratko poda splošni prikaz geološke zgradbe in tectogeneze slovenskega prostora.

Drugi razdelek je najobsežnejši (strani 52–382). V njem je obravnavana **Tektonika** raziskanegega ozemlja. Opisane so posamezne tektonske ere s pripadajočimi strukturno-facialnimi enotami ali conami. Najprej predstavi strukturno-facialne enote Bajkalske (?) in Kaledonske tektonske ere v Avstroalpidih in v Južnih Alpah, nato strukturno-facialne enote variscijske (hercinske) tektonske ere v Avstroalpidih, Južnih Alpah, Dinaridih in Panonidih; strukturno-facialne enote staro alpidске tektonske ere v Avstroalpidih, Južnih Alpah in Dinaridih; strukturno-facialne enote srednje alpidске in mlado alpidске tektonske ere v Dinaridih; strukturno-facialne enote srednje alpidске in mlado alpidске tektonske ere v Panonskem bazenu in Jadranskem bazenu, poleg pa opiše še miocensko-pliokvartarne kontinentalne tectofaciese v osrednjih Dinaridih, jugovzhodnih Dinaridih, Južnih Alpah in Avstroalpidih ter sredogorne udorine miocensko-pliokvartarne starosti ter številne pliokvartarne udorine, npr. Ljubljansko in druge. Strukturno-facialnim enotam sledi poglavje o narivni in nagubani zgradbi, kjer so opisane deformacije obdelanega ozemlja, obdobja deformiranja in tipi deformiranja. Predstavljena je narivna zgradba Avstroalpidov (Vzhodnih Alp), Severnih Karavank, vplivnega območja Periadriatskega lineamenta, Južnih Alp (narivi Julijskih in Savinjskih Alp, Južnih Karavank, Posavskih gub), Dinaridov, Balatonskega pasu in Panonskega bazena. Posebej so opisane antiforme in sinforme, osi gravimetričnih anomalij, osi magnetnih anomalij, obroča-ste strukture in prelomni sistemi. Ti so razdeljeni po tektonskih erah, posebni poglavji pa sta posvečeni neotektonskim prelomnim sistemom in seizmotektoniki.

Tretji razdelek je **Tectogeneza** (strani 383–452) obravnavanega ozemlja skozi geološko zgodovino, kjer je v luči tektonike plošč pojasnjen časovni potek in stil deformiranja ter zakonitosti razmestitve strukturno-facialnih con. Tu je prvič v naši geološki literaturi obdelan proces geneze slovenskega ozemlja na enem mestu. Tako kot faktografska sistematika je tudi

dogajanje opisano v poglavjih Kaledonska in Variscična tektonska era (500–225 milijonov let), Staro alpidaska tektonska era (225–65 milijonov let), Srednje alpidaska tektonska era (65–20 milijonov let) in Mlado alpidaska tektonska era (20 milijonov let do danes).

Sledi prevod v angleški jezik (strani 453–473), ki ga je pripravil prof. dr. Simon Pirc, **Literatura** (strani 474–485) in **Kazalo stvarnih in geografskih imen** (strani 487–518).

Pred nami je obsežno in sistematično koncipirano geološko delo o tektoniki slovenskega ozemlja, prvo te vrste, ki zajema napore in znanje cele generacije geologov, raziskovalcev pri izdelavi Osnovne geološke karte. Z obžalovanjem pa ugotavljam, da knjiga pred izidom ni doživela strokovne recenzije, zaradi česar je predstavljena ideja o tektonski zgradbi in tekto-genezi Slovenije avtorjev osebni pogled na to pomembno naravoslovno vprašanje, ki pa bo vsekakor moral prestati strokovni pretres. V naravi stvari je, da tektonske interpretacije, tako kot vse hipoteze v znanosti, nikoli niso dokončne. Vendar pa iz osebnega poznavanja avtorjevega dela lahko trdim, da vsebuje TEKTONIKA IN TEKTOGENEZA SLOVENIJE številne faktografske podatke in interpretacijske rešitve, ki so bile in so še vedno inovativne.

Ladislav Placer

Marko KOMAC, 2005: **Napoved verjetnosti pojavljanja plazov z analizo satelitskih in drugih prostorskih podatkov**, 232 strani in 52 strani prilog, format 17 x 24 cm, trda vezava. Izdal in založil Geološki zavod Slovenije, naklada 300 izvodov.

Knjigo dr. Marka Komaca lahko uvrstimo v tisti del obrambe pred zemeljskimi plazovi, ki sodi v proučevanje in napoved posledic tega pojava na okolje in za človeka.

Osnovna tema knjige je napovedovanje verjetnosti pojavljanja plazov. Avtor z uporabo modernih statističnih orodij, uporabljenih na prostorskih podatkih iz različnih virov, za osrednje območje Slovenije napoveduje stopnjo tveganja zaradi plazov. Bralcu knjige pokaže, kako naj se med seboj statistično povežejo različni viri prostorskih podatkov in kako se na tej osnovi izdela napoved verjetnosti pojavljanja plazov.

Na uporabljenih podatkih z metodami univariatne statistike najprej določi vplive posameznih dejavnikov, kot so litološka zgradba in naklon terena, na pojavljanje posameznih tipov plazov. Sledi ugotavljanje možnosti napovedovanja plazov s pomočjo podatkov daljinskega zaznavanja z visokospektralnimi satelitskimi podobami Landsat-5 TM in visoko-ločljivimi (8 metrov) satelitskimi podobami Resurs-F2 MK-4. Medsebojne odnose med vplivnimi dejavniki razišče z metodami multivariatne statistike in poda njihov posamezni relativni prispevek k nastanku oz. pojavu posameznih tipov opazovanega pojava. Končno preuči večje število modelov za napoved potencialnih plazovitih območij in na osnovi najprimernejšega izbranega napovedovalnega modela izdela karto verjetnosti pojavljanja plazov na obravnavanem območju ter oceni ogroženost zaradi njihovega pojavljanja. Praktičen rezultat tega dela je dobljena karta tveganja za območje osrednjega dela Slovenije v velikosti 35 x 35 km.

Skozi celotno delo je avtor razvil uporabno metodologijo za izdelavo kart verjetnosti pojavljanja plazov. Dobljena metodologija ima lahko široko uporabo pri izdelavi različnih prostorskih aktov, pri načrtovanju vzdrževalnih del za ceste, železnice, plinovode in drugo infrastrukturo, pri določevanju zavarovalniških premij za nepremičnine, itd.

Mihael Ribičič

Evgen DERVARIČ, Uroš HERLEC, Jakob LIKAR, Uroš BAJŽELJ & Vojko STAHOVNIK, 2005: **Rudniki in premogovniki v Sloveniji**, 175 str., 24 x 32 cm

Slovenija je od nekdaj slovela po mineralnih surovinah. Rude so začeli kopati in topiti že pred rimskimi časi, v Idriji so v pol tisočletja obratovanja pridobili več kakor desetino svetovne proizvodnje živega srebra, in naši strokovnjaki so razvili slovito velenjsko metodo odkopavanja premoga na čelu, širokem do 150 m. Ob 150-letnici velenjskega premogovnika so izdali knjigo, v kateri je nad dva ducata strokovnjakov zbralo številne zanimive podatke, da bo pritegnila tudi bralca, ki mu sicer ta problematika ni dosti mar. Uredil jo je Vojko Strahovnik, uvod pa je napisal Evgen Dervarič.

Lepo izdelana in ilustrirana knjiga formata 24 x 32 cm ni samo fotografska monografija, kakršne pogosto natisnejo ob raznih jubilejih, marveč poljuden uvod v stroko in v njen razvoj ter uporaben zbornik podatkov o zgodovini rudarstva v Sloveniji. Težišče knjige je na premogu in manj na rudah. Opisani so tudi muzeji in zbirke, izobraževalne ustanove, in ni pozabljen vpogled v rudarsko izročilo. Bralec dobi predstavo o pomembnem vplivu te dejavnosti na industrijski razvoj, nastanek delavstva in rast gospodarske moči Slovenije.

Zanimiva sta poljudna sestavka o nastanku premogov iz organskih ostankov in o nastanku poglavitnih rud na Slovenskem. Ne kaže spregledati poudarka, da je poznavanje mineralnih surovin potrebno vzdrževati in dopolnjevati, saj najbrž še pride prav v prihodnosti. Dodana sta zemljevida z nad sto nekdanjimi rudniki in nahajališči premoga – od šote prek lignita, rjavega in črnega premoga do antracita – in prek dvesto, zdaj opuščenih rudnikov in nahajališč svinčevo-cinkove, bakrove, piritne, boksitne, železove, manganove, uranove, živosrebrove, antimonove in arzenove rude ter zlata.

Podrobneje so opisani premogovniki, edina še delujoča Velenje in Trbovlje-Hrastnik ter opuščeni Laško, Kanižarica, Senovo, Zabukovica-Liboje ter Leše in nekateri manjši na Koroškem. Zanimiv je podatek, da je v Sloveniji še okoli 2 milijardi ton možnih zalog raznih vrst premoga, predvsem na območju Velenja, Krškega in v Prekmurju. Izmed rudnikov so širše predstavljeni živosrebrni rudnik Idrija, svinčevo-cinkov Mežica in uranov rudnik Žirovski vrh.

Žal se je prikradlo v vsebinsko bogato knjigo nekaj pomanjkljivosti. Viri podatkov, kart in slik niso navedeni, zato bralcu knjiga ne more pomagati do izvirne in bolj poglobljene informacije. Likovna oprema ni najbolj posrečena. Srebrne črke naslovov poglavij in opisov na temni osnovi so slabo berljive; osnova sama je pa videti zanimiva – posnetki kamnin, rude, mineralov ali česa, vendar tega ne zvemo, ker ni opisov. Slednjič bi zaslužil poseben komentar slovar rudarskih izrazov na koncu knjige. Gre namreč zvečine za germanizme iz časov, ko je v rudarstvu krojil usodo Nemec. Po nekaj generacijah našega rudarskega šolanja se je tudi v jami uveljavilo slovensko izrazje.

Naštete pripombe knjigi ne jemljejo njene temeljne vrednosti: opozoriti javnost na zelo pomembno vlogo rudarstva na Slovenskem v preteklosti. Zdaj tu klasičnega rudarstva skoraj ni več, izjemi sta kot rečeno le še premogovnika v Velenju in Zasavju. Je pa rudarstvo v širšem pomenu še vedno zelo pomembna gospodarska panoga, predvsem za dobivanje gradbenih surovin: glin, peska, prod in gradbenega kamna.

Knjiga je vsekakor lepa obogatitev, sicer skromne police knjig o rudarstvu in geologiji na Slovenskem.

Simon Pirc

Josip TIŠLJAR, 2004: **Sedimentologija klastičnih i silicijskih taloženja**, Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 426 str., broširano, 18,5 x 24,4 cm.

Akademik prof. dr. Josip Tišljar je po izdaji knjige »Sedimentologija karbonata i evaporita«, ki je izšla leta 2001, napisal drugo knjigo z naslovom **Sedimentologija klastičnih i silicijskih taloženja**. Obe knjigi obravnavata dopolnjeno in posodobljeno vsebino, ki jo je avtor podal v učbeniku »Sedimentne stjene«, ki ga je leta 1994 izdala Univerza v Zagrebu in predstavlja razširjeno in dopolnjeno drugo izdajo učbenika »Petrologija sedimentnih stjena«, ki je izšel leta 1987.

Knjiga **Sedimentologija klastičnih i silicijskih taloženja** je razdeljena na pet delov.

V prvem delu obravnava nastanek klastičnih sedimentov in njihove teksturno-strukturne značilnosti. Podana je razprostranjenost, vloga in pomembnost sedimentov in sedimentnih kamnin v Zemljini skorji ter njihova osnovna razdelitev. Slede procesi nastanka klastičnih sedimentov: preperevanje, transport, sedimentacija in diageneza. Teksturne-strukturne značilnosti in sestava klastičnih sedimentov in sedimentnih kamnin obravnava sedimentne teksture, med katerimi so podani različni tipi plastnatosti in primarnih ter sekundarnih sedimentnih tekstur, sestavo zrn, njihovo velikost, morfologijo ter značilnosti zloga (orientacije in zgoščenosti). Podrobneje so opisane metode določanja velikosti zrn ter nekateri vidiki interpretacije njihove porazdelitve.

Drugi del obravnava sistematiko in diagenezo klastičnih kamnin. Pričenja se z debelozrnatimi kamninami - konglomerati in brečami, slede srednjezrnate kamnine - peščenjaki in drobozrnate, muljaste kamnine ter rezidualne kamnine - lateriti, rezidulane gline, rdeča zemlja (terra rossa) in boksiti ter na koncu vulkanoklastične kamnine.

Tretji del je posvečen nastanku in diagnezi kremeničnih sedimentov in sedimentnih kamnin - rožencev.

V četrtem delu so na kratko obravnavani organogeni sedimenti - premogi.

Peti del je posvečen mehanizmom, pogojem in okoljem sedimentacije ter metodologiji zbiranja relevantnih podatkov, na temelju katerih je možno podati interpretacijo faciesov in vseh drugih sedimentacijskih pogojev klastičnih, vulkanoklastičnih in kremeničnih sedimentov. Najprej obravnava odnos med sedimentacijskimi okolji in faciesi na splošno, nato pa podrobneje kontinentalna - puščavska in eolska, ledeniška, rečna, jezerska in močvirska ter prehodna - deltna sedimentacijska okolja ter končno različna morska - klastične obale, plitvomorska - šelfna, globokomorska sedimentacijska okolja klastičnih sedimentov ter njihove faciese.

Na koncu je navedena obsežna literatura, tolmač angleških izrazov in stvarno kazalo. Zelo koristen je tolmač (slovarček) angleških pojmov, ki so bili uporabljeni zaradi pomanjkanja domače (hrvaške) strokovne terminologije.

Tekst je pisan jasno in razumljivo ter je bogato ilustriran z risbami, terenskimi in mikroskopskimi fotografijami. Večina ilustrativnega materiala izvira iz raziskav hrvaškega ozemlja, risbe pa so delo avtorja.

Knjiga naj bi služila kot usmeritev in pomoč raziskovalcem, študentom in vsem geologom, ki raziskujejo klastične in kremenične sedimente in sedimentne kamnine za izdelavo geoloških, inženirsko-geoloških in hidrogeoloških kart ter za potrebe raziskovanja in izkoriščanja mineralnih surovin. Koristna pa bo tudi strokovnjakom drugih, predvsem geotehniških in okoljevarstvenih strok, ki se ukvarjajo s posegi v območja, kjer nastopajo klastični sedimenti in sedimentne kamnine.

Dragomir Skaberne

Gertrud BARIČ, 2006: **Naftna geokemija**

Pred nami je obsežna knjiga dr. Gertrud Barić. Ker poznam znanje in izkušnje avtorice že vrsto let, me ne preseneča tudi kakovost vsebine. Z raziskavami in analitiko organskih derivatov, od matičnih kamnin do naftnih polj ter izčrpane nafte in plina, se ukvarja že od leta 1968, ko se je zaposlila v INA-Naftaplina. Doktorirala je v Ljubljani na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo s področja organske kemije. Takrat smo začeli tudi sodelovati na področju izotopske geokemije. Njena bibliografija je mednarodno bogata, kar nam zagotavlja visok nivo in mednarodno usklajenost podanih vsebin.

Knjiga ima 253 strani in je izšla spomladi leta 2006 pri INA INDUSTRIJA NAFTE, d.d. Zagreb, Kigen, d.o.o. Zagreb. Tehnično je zelo lepo urejena. Grafične priloge so za tip izdaje – mehka vezava – dodelane in pregledne. Literatura je obsežna in zajema zelo širok časovni interval, kar nam omogoča, da dobimo vpogled v napredek poznavanja razvoja naftne geokemije.

Avtorica nas popelje od organskih faciesov, preko dozorevanja organske snovi v kerogene, do nastajanja in migracije nafte in plina. Potem se posveti sekundarnim procesom in opredeli naftni sistem s klasifikacijo. Njej najbližji je tisti del, kjer obravnava geokemijo izvornih kamnin in biomarkerje z vso analitiko. Vse to spet združi v genetski karakterizaciji ogljikovodikov. Zadnji poglavji sta seveda posvečeni izvornim kamninam in ogljikovodikom na Hrvaškem, saj je tam naftna industrija pomembna in visoko razvita, tako raziskovalno kot tehnološko.

Nespecializiranemu bralcu, kakor tudi poglobljenemu študiju njenega dela o genezi in prepoznavanju ekonomsko pomembnih ogljikovodikov bo v veliko pomoč obsežen slovar strokovnih izrazov na koncu knjige.

Torej, knjigo Gertrud Barić, ki sem jo prebral z veseljem, priporočam vsem, ki se ukvarjajo z geokemijo organske snovi, pa tudi tistim, ki se ukvarjajo z raziskavami sedimentacijskih bazenov, ki so praviloma bogati z organsko snovjo. Zvedeli boste kar precej stvari, ki dajejo pomembnost dozorevanja biomase v naftne derivate. Obenem želim poudariti, da je prisotnost organske snovi v sedimentih izjemno pomembna pri diagenezi sedimentacijskih bazenov, čeprav rezultat niso vedno ekonomske zaloge.

Jože Pezdnič

Recenzije – Reviws

Meta DOBNIKAR, Edo FERME, Marjeta HUMAR, Simona JARC, Miha JERŠEK, Drago MLAKAR, Borut RAZINGER & Marko ŠTURM, 2005: **Gemološki terminološki slovar**, 230 str., format 14,4 x 21,5 cm, trda vezava.

Pred kratkim smo dobili slovenski gemološki terminološki slovar. S tem je zapolnjena vrzel v zanimivi vedi o dragih in okrasnih kamnih ter je tako vložen trud vse pohvale vreden.

Kot pri vsaki znanstveni ali strokovni razpravi pa prihaja do razlik v mišljenjih, do nerodnih formuliranj pri definiciji neke-ga pojma, do nezaželenih napak itd. V naslednjem želim prikazati take neskladnosti.

1. V vsem slovarju uporabljajo avtorji izraz "kamen" v smislu "dragi kamen". Ta pojav, ki se imenuje elipsa t.j. izpuščanje enega ali več stavčnih členov, je opravičljiv samo takrat, kadar je popolnoma jasno, zakaj ta člen izpuščamo. Nemogoč pa je ta izraz n.pr. na str. 103 z iztočnico NAHAJALIŠČE KAMNOV z razlago, da je to "območje.....kjer je večja količina kamnov primerna za izkoriščanje". Navedeni angleški izraz »gem deposit« je popolnoma jassen, dočim je po slovenski razlagi lahko tako nahajališče vsako prodišče; isto velja za na str. 79 dano iztočnico KAMEN z razlago, da je to »naravnasnov, ki se vgrajuje v nakit«. Smatram, da je treba zadržati izraz »dragi kamen«.

2. Skozi ves slovar se vleče nejasen in dvosmiseln pogled na velikost zrn ali kristalov v nekem mineralnem agregatu. Dosledno se uporablja izraz »drobnokristalen kremen« za kalcedon, ki je kriptokristalen agregat kremenca. V slovarju najdemo na str. 50 pod DROBNOKRISTALNA SNOV, da je to snov, katere kristali so vidni z optičnim mikroskopom.« in da je ang. »microcrystalline substance«. Pod KRIPTOKRISTALNA SNOV (str. 86) je razlaga, da je »snov, katere kristali niso vidni z optičnim mikroskopom« in da je ang. cryptocrystalline substance«. Razlaga za kriptokristalno snov odgovarja kalcedonu, za drobnokristalno snov pa ne. Vendar pa je ravno ta pogrešana razlaga prevladujoča v slovarju. Že sam izraz »kriptokristalen« pomeni »skrito« in torej nima zveze z »drobno«. Kako moremo primerjati n.pr. alabastr, ki je drobnozrnata sadra s kalcedonom?

3. Namen slovarja je, da nam pojasni, kaj pomenijo posamezne iztočnice. Pred to razlago stoji včasih v mali pisavi vrednostni označevalnik kot trg., napačno, zastar., in tu smo večkrat v zadregi. N.pr. INDIJSKI ŽAD...napačno »zelen aventurinski kremen«. Pod iztočnico INDIJSKI TOPAZ imamo celo 3 razlage pomena in pred vsemi tremi stoji napačno. Kaj torej pomenita ti dve iztočnici? Še bolj očitno je to n.pr. pri iztočnici KALIFORNIJSKI RUBIN. napačno »rdeč granat«. Kaj je torej KALIFORNIJSKI RUBIN?

Včasih sploh ni jasno, na kaj se nanaša vrednostni označevalnik: n.pr. KALCEDONOV ONIKS...trg. »dvoplastni sivo-bel kalcedon«. Kam spada torej trg., k iztočnici ali k razlagi. Pri označevalniku - napačno« se nanaša običajno na razlago, pri "trg" pa kot zgleđa na iztočnico, a oba sta pisana na istem mestu.

4. Problem je tudi fonetična izgovorjava raznih iztočnic; ne moremo jih namreč vse po vrsti izgovarjati kot da so angleškega izvora. N.pr. str. 53 EBAVŠIRANJE. Beseda je nastala iz francoske »ébaucher« ter se torej izgovarja »eboširanje«. Nemci izgovarjajo au kot au, ne pa

kot av. Mineral HAUSMANNIT se izgovarja torej kot »hausmanit« ne pa kot »havsmanit«. FRAUNHOFERJEVE ČRTE so torej »fraunhoferjeve...« ne pa »fravnhoferjeve...«.

5. Skozi ves slovar se vleče izraz "lik" pri kristalografskih opisih in razlagah. Kot nas uči geometrija so liki omejene ploskve kot n.pr. trikotnik, četverokotnik, krog itd. in so torej dvodimenzionalen pojem. Razne oblike kristalov t.j. tridimenzionalne geometrijske oblike so pa telesa. Prav tako je napačno n.pr. na str. 153 pod TETRAGONALNA PIRAMIDA, da naj bi bila "lik.., katerega ploskve se sekajo v skupni točki...". Pravilno bi moralo biti, telo telokatega ploskve plašča se sekajo...".

6. V slovarju je med iztočnicami navedena kopica mineralov, predvsem obarvanih, običajno z nizko trdoto in ki niso niti dragi, niti okrasni kamni n.pr. amesit, halit, halloisit, paligorskit itd. Če je vzrok temu želja, da se zadovolji zbiratelj barvnih mineralov brez ozira na njihovo gemološko vrednost, je v redu, sicer pa je nepotreben balast. Ni pa jasno, s kakšnim namenom navaja slovar n.pr. črne minerale kot hromit, magnetit, maghemit, manganit itd.

7. Posamezne važnejše pripombe k iztočnicam so sledeče:

Str. 16 ALABASTER – V smislu slovarja bi bilo umestno pojasniti, da se lepo obarvani alabaster uporablja za izdelavo okrasnih predmetov.

Str. 18 ALOKROMATSKI MINERALI – Nerodna formulacija, da je "brezbarven mineral, različno obarvan..."

Srt. 20 ANGLEZIT – Ni karbonat, temveč sulfat; formula pa je pravilna.

Str. 20 ANIOLIT – Področje rabe ni "trg", temveč strokovno. V sestavu kamnine ni omenjen beli plagioklaz. Nepravilno je tudi, da je sestavni del "neprosojen rubin". Al_2O_3 nastopa namreč v aniolitu delno kot neprosojen korund, v glavnem pa kot prosojen do prozoren rubin; žal pa je zadnji dostikrat več ali manj razpokan, tako da so večji primerki rubina redki. Tanzanijski rudnik rubina Longido dobiva rubin izključno iz aniolita. Izbrani kosi te kamnine služijo tudi kot lep okrasni kamen.

Str. 21 APATIT – Ni "eden od skupine mineralov..", ampak je splošno ime za skupino. IMA (International Mineralogical Association) naziv apatit ne priznava več, Strunz pa ga uporablja kot skupinsko ime.

Str. 24 BARIT – Pri opisu barv manjka »brezbarven«. (Glej krasne primerke v septiolarijih na avtocest Maribor-Šentilj)

Str. 26 BERIL – V smislu slovarja bi morali dodati, da so njegovi različki akvamarin, smaragd itd.

Str. 37 CEYLONIT – Nejasna je navedba... z razmerjem $\text{Mg}:\text{Fe} = 3:1$ in $1:1$. Po Ramdohrju je naziv minerala ceylanit.

Str. 37 CIBJO – Prevod je treba popraviti v »Mednarodna organizacija za nakit, draguljarstvo, zlatarstvo, diamante, bisere in drage kamne«.

Str. 41 ČRNI KRISTAL OPAL – Razlaga je nerodna: »prozoren brezbarven dragi opal s temno osnovno barvo«.

Str. 47 DIASPORESCENCA – Namesto »...diaspora v rubinu« je bolj umestno »...diaspora na korundu«.

Str. 59 FOSILNI BISER – naj bi bil »okamenel biser«, čeprav ni jasno, kaj naj to pomeni.

Str. 61 GEMA – V prvotnem smislu je gema vbočena reliefna podoba (intaglio), kameja (str. 79) pa izbočena.

Str. 63 GLINICA – Angleški izraz je »alumina«, ne pa »hydrated alumina«.

GROSULARIT – Ni mineral grosular, temveč kamnina sestavljena pretežno iz grosularja.

Str. 70 HRIZOLIT – Nepravilna je razlaga, da je zastarel naziv za hrizoberil, peridot, turmalin. Pravilno je, da je hrizolit ime za mineral olivin ali peridot. Hrizoberil in turmalin sta druga minerala.

Str. 70 HRUŠKA – Ni »...hruškast sintetični kristal...«. Je le oblika sintetičnega minerala, dobljenega z Verneuiljevim postopkom.

Str. 80 KAMENA STRELA – Kot sinonim bi morali navesti: napačno »cerkniški diamant«.

Str. 81 KARNEOLOV ONIKS – Dvoplasten oranžno - bel kalcedon je sardoniks. Iztočnica pa je nesmiselna tako kot kalcedonov oniks (str. 78), saj pomeni isto kot n.pr. korundov rubin.

Str. 82 KIMBERLIT – kot sinonim je navedena »modra zemlja«. Ta izraz ni pravilen, ker se nanaša na kamnino kimberlit v svežem stanju. Ta je tedaj modrozeleno do modrosive barve ter

so jo zato v Kimberleyu imenovali »blue ground«, kar bi bolj odgovarjalo našemu izrazu modra osnova ali podobno, ne pa izrazu zemlja. V površinskem delu kimberlit preperi v rumeno preperino »yellow ground«; ta pa je prstena

Str. 85 KORUND – V smislu slovarja bi bilo potrebno navesti drage različke rubin, safir itd.

Str. 95 MAGHEMIT – Ne drži, da je neobstoje mineral, pač pa ga je težko prepoznati. Prav tako ne drži, da je spinel; važna njegova lastnost pa je, da je magneten.

Str. 98 MELILIT – Strunz uporablja v novi klasifikaciji to ime samo še kot skupinsko ime za 10 mineralov.

Str. 101 MODRI KREMEN – Kaj naj pomeni, da je »...modro obarvan zaradi neoksidiranega krokidolita, rutila...« Ni jasno, kaj naj bi bil oksidirani krokidolit, rutil itd...

Str. 101 MOISSANIT – Ni samorodna prvina, ampak spojina SiC.

Str. 104 NEFRIT Naj bi bil žilav drobnozrnat različek aktinolita ali tremolita. V resnici je mikrokristalen, močno prepleten, vlaknat agregat aktinolita in je zato tako žilav.

Str. 109 OKRASNI KAMEN – Čudna je razlaga, da je v naravi pogost kamen..., katerega masa se meri v karatih in gramih«. Prvič niso pogosti, drugič pa ne drži, da se meri njihova masa samo v ct in gr. N.pr. za malahit kot zelo cenjen okrasni kamen navaja Sinkakas (Van Norstrand Standard Catalog of Gems) ceno v librah, isto za amazonit, lepo obarvani alabaster itd. Tehtanje z manjšimi enotami ostaja za redkejše in vrednejše okrasne kamne, kot so nekatere vrste kalcedona, kremenita itd.

Str. 112 ORGANSKA SNOV – Je po slovarju »...snov..., ki se uporablja za izdelavo nakita...«. Ker je iztočnica splošen pojem, je definicija neumestna.

Str. 113 ORTOHRIZOTIL – kot sinonim navaja slovar »serpentinski žad«. To drži samo v premeru, ko gre za plemeniti serpentin.

Str. 113 ORTOROMBSKA PIRAMIDA – Razlaga velja samo za ploskve plašča piramide.

Str. 116 PALIGORSKIT – Slovar navaja kot sinonim »gorsko usnje«. Po Ramdohru je gorsko usnje hrizotilazbest, deloma pa aktinolit. Paligorskit je drug mineral.

Str. 125 PRIMERJALNI BARVNI SET – Če definiramo BREZBARVNI DIAMANT (str. 31) kot diamant, ki ni obarvan, je nelogična razlaga, da služi ta barvni set »pri presoji barvne stopnje brezbarvnih brušenih diamantov.«

Str. 127 PSEUDOSEKUNDARNI VKLJUČEK – Razlaga je nelogična: »... vključek, nastal po končani rasti kristala gostitelja, ki se je kasneje še nadaljevala«. Isto velja za SEKUNDARNI VKLJUČEK (str. 135)

Str. 129 RAZLIČEK MINERALA – Razlaga, da je »... eden od mineralov iste skupine...« je neustrezna, ker bi lahko rekli, da je grosular različek granata; v resnici pa je vrsta granata. Pravilno je »eden od načinov nastopanja istega minerala, n.pr. rubin je različek korunda. Prav tako ne velja, da morajo imeti različki minerala »nekoliko različno kemično sestavo«, razen če avtor razlage smatra, da je prisotnost nekega slednega elementa, ki je spremenil barvo minerala, vzrok spremembe kemične sestave. To pa v iztočnici SLEDNA PRVINA (str. 143) zanika.

Str. 131 RODOLIT – Ni različek piropa, temveč vmesni člen vrste pirop – almandin. Poznan je po zelo lepi rdeči barvi.

Str. 134 SADRA – Kot sinonim je naveden gips, ki pa je v naši nomenklaturi žgana sadra $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$.

Str. 134 SAGENTITNI KREMEN – Naj bi bil v obliki mreže oblikovan igličast rutil; manjka pa »v kremenu«.

Str. 149 SVILA – Naj bi bila posledica mikrovključkov rutila ali hematita, nastalih »z delnim taljenjem iz kristala gostitelja...«. Taka razlaga je nerazumljiva.

Str. 152 TANZANIT – Morali bi dodati, da je prozoren ter da je drag kamen.

Str. 155 TETRAGONTRIOKTAEDER – Predstavljena slika 40 ni tetragontrioktaeder temveč deltoidikozitetraeder. Tetragontrioktaeder ni sestavljen iz »štiriindvajsetih ploskev v obliki trapeza« temveč iz 24 enakokrakih trikotnikov.

Str. 155 TETRAGONTRITETRAEDER – Prikazana slika 41 ni tetragontrioktaeder temveč deltoiddodekaeder. Tetragontritetraeder ni sestavljen iz »dvanajstih ploskev v obliki trapeza«, temveč iz 12 enakokrakih trikotnikov.

Str. 159 TRIGONTRITETRAEDER- prikazana slika 45 ni trigontritetraeder temveč deltoiddodekaeder.

8. Ker prevzemamo novo Strunzovo mineraloško klasifikacijo, bi morali spremeniti pri spodaj navedenih mineralih kemično formulo:

iridij, iridijev allanit, kanasit, klinozoisit, liddiocoatit, magnezijev ferit, magnezijev foitit, manganit, magnezijev kromit, margarit, marialit, melifanit, paligorskit, pargasit, purpurit, riebeckit, simpsonit, sogdianit, stilpnomelan, tinaksit, torit, uvit.

Spremembe za te minerale so več ali manj malenkostne, zato niso pomembne. Večje razlike v formuli pa so za:

kornerupin, lazurit, piroksmangit, saponit, skapolit, stavrolit, šorlomit, vezuvianit.

IMA ne priznava lantanov allanit in skapolit; v Strunzovi klasifikaciji pa ni naveden neodimijev parizit (glej str.105).

9. Nekateri pojmi oz. iztočnice so premalo pojasnjeni, n.pr.str. 148- STRONCIJEV TITANAT- Razlaga pove, da je to SrTiO_3 , ne omenja pa, da je to sintetični dragi kamen, niti pa da je njegov sinonim fabulit. Po drugi strani na str. 57 navaja pojem FABULIT kot stroncijev titanat, ne omenja pa, da je to sintetični dragi kamen.

10. V gemološki slovar vsekakor sodijo različni brusi dragih kamnov, predvsem diamantov. V našem slovarju jih najdemo večje število. Ker moramo pri nas skozi zgodovinski razvoj poznati brusne oblike, ki so se razvijale v nemškem in francoskem svetu, pa pogrešamo bruse, ki jih najdemo lepo prikazane v članku Misiorowski E.B. »Eine funkelnde Geschichte« (Extralapis No. 18, str. 94 -103). Če zasledujemo vrste brusov od 12. stoletja navzgor, potem vidimo, da manjkajo v slovarju sledeči brusi: Point Cut, Knob ali Nail Cut, Table Cut, Chiffre Cut, Hogback in še moderni brusi Spirit Sun, Barion Cut, Context Cut in Lion Cut.

Prav tako manjkajo nazivi oblik diamantnega nakita v zvezi z razvojem mode skozi stoletja kot so n.pr. Rosette, Aigrette, Sevigné, Brandenbourg, Girandole itd.

11. Nič čudnega ni, če pri sestavljanju takega slovarja uide nek bolj ali manj pomemben izraz brez ozira, če je pravilen ali napačen. Nekaj primerov: amazonit, cerkniški diamant, damascenca, marmorni oniks (trg., Tearce pri Tetovu), sardoniks.

Kljub naštetim pomanjkljivostim in spodrsrljajem je slovar prvi tovrstni slovenski slovar, ki je zajel precej obsežno problematiko gemologije. Je dokaz pridnega dela naših mlajših strokovnjakov in je vreden pohvale.

Marjan Dolenc

Odgovor na recenzijo Gemološkega terminološkega slovarja

Veseli nas, da smo v pregled prejeli neodvisen, kritičen in natančen pregled Gemološkega terminološkega slovarja s strani spoštovanega kolega Marjana Dolenca. Bralcem želimo pojasniti nekatere razlage posameznih gesel, ki jih je v objavo uredništvu Geologije poslal navedeni recenzent.

Ad 2: V strokovni literaturi je kalcedon definiran kot vlaknat različek mikrokristalnega kremenca (Cornelis, K. & Hurlbut, 1999; Wenk, H. R. & Bulakh, 2004).

Ad 4: Pri ebavširanju je bila upoštevana raba. Ta pa je pri tako redkem izrazu lahko tudi različna. V navedenih primerih (hausmannit, Fraunhoferjeve črte) se fonem *v* ne izgovarja niti kot *u* niti kot *v*, tudi ne v obeh primerih enako. V prvem nezveneče, v drugem zveneče. Mi smo ga zapisali z *v* (prim. J. Toporišič *Slovenska slovnica*, str. 74–76).

Ad 5: Izraz lik ima v kristalografiji poseben pomen in se v slovarju uporablja kot sinonim za kristalni lik, kar je v slovarju tudi razloženo (str. 93, 87): **kristalni lík** -ega -a m vse ponovitve ene ploskve, ki izhajajo iz simetrijskih elementov **S**: lík

(Bloss, F. D., 1994; Phillips, F. C., 1986; Cornelis, K. & Hurlbut, C. S., 1999)

Tetragonalna piramida je torej (kristalni) lik, ki ga sestavljajo štiri enake ploskve, ki se sekajo v skupni točki.

Ad 6: Recenzent navaja, da je med iztočnicami navedena kopica mineralov, predvsem obarvanih, običajno z nizko trdoto, ki niso niti dragi niti okrasni kamni, npr. amesit, halit itd.

V Gemološki terminološki slovar smo uvrstili precej mineralov, tudi zbirateljskih. Nekateri minerali morda na prvi pogled res nimajo »gemološke vrednosti«, a so za gemologa lahko zelo pomembni. Številni minerali so lahko v dragulju kot vključki in prav vključki so lahko eden najpomembnejših znakov za prepoznavanje draguljev. Tako je kromit zelo prepoznaven vključek v olivinu in serpentinitu, magnetit je kot vključek v diamantu in cordieritu, maghemit je kot vključek v skapolitu, manganit v rodohrozitu itd (Gübelin & Koivula, 1997). Tovrstni vključki so izjemno pomembni za ugotavljanje razmer, pri katerih so minerali (draguljske kakovosti) nastali. Velika večina znanstvenih člankov s področja gemologije natančno opisuje vključke v draguljih in zato smo v slovar uvrstili tudi nekatere manj pogoste minerale, ki se negemologu morda zdijo odveč. Najbolj strnjen pregled vključkov in njihov pomen si lahko ogledamo v fotoatlasu vključkov, ki ga na tem mestu tudi citiramo (Gübelin & Koivula, 1997). Monografija ni samo atlas, ampak izjemen vir podatkov dveh izjemnih gemologov, ki sta priznana v svetovnem merilu.

Glede halita: seveda ni cenjen kot dragulj. Vendar pa so zelo pogosti okrasni predmeti iz tega minerala (himalajska sol ipd.). Halit torej sodi med okrasne kamne.

Ad 7:

Str. 16 – Alabaster se res uporablja za izdelavo okrasnih predmetov in je lahko tudi brezbarven. Glede na to, da je slovar namenjen dragim in okrasnim predmetom, je opis namena uporabe posameznih mineralov na tem mestu odveč, ker bi tako rabo morali navajati pri večini.

Str. 18 – Vzrok obarvanosti alokromatskih mineralov so primesi ionov, ki so v dragulju običajno pod 0,1 mas % in jih v formulah ne pišemo. Primer: korund s kemično formulo Al_2O_3 , ki ne vsebuje prav nobenih primesi niti vključkov, je brezbarven. Primes kroma ga obarva rdeče, titana modro itd. Alokromatski minerali so torej v osnovi brezbarvni, že majhna količina (< 0,1 mas %) primesi kemičnih prvin ali strukturne napake pa so lahko vzrok za obarvanost teh mineralov.

Str. 20 – Anglezit je seveda sulfat, in to napako bomo v prihodnje popravili.

Str. 21 – Aniolit je kamnina, sestavljena iz zoisita in pretežno neprosojnega rubina (Manutcher-Danai, 2000). V strokovni geološki literaturi (Blatt & Tracy, 1996) imena nismo zasledili, zato smo ga označili kot trgovsko.

Str. 37 – Ceylonit – v strokovni literaturi (de Fourestier, J., 1999) so sinonimi za imenovani mineral: ceylonit, ceylanit, zeylanith in zeylanit ter pleonast.

Str. 41 – Črni kristal opal. Recenzent meni, da je razlaga nerodna, ne pove pa zakaj. Zato navajamo razlago:

črni kristal opal -ega — -a m trg. *prozoren, brezbarven dragi opal s temno osnovno barvo*

Obrazložitev: Vrednotenje opalov temelji predvsem na njihovi pojavi obliki, barvi, barvnem vzorcu itd. Za lažje razumevanje, kaj sploh je črni kristalni opal, si pogledajmo kar neposredno iz slovarja, kaj pomeni kristal opal in kaj črni opal. Črni opal je dragi opal z osnovno temno barvo. Kristal opal pa je prozoren brezbarvni opal z igro barv. Črni kristal opal je torej prozoren, brezbarven dragi opal s temno osnovno barvo, kakor smo zapisali v slovarju. Verjetno recenzenta moti osnovna barva, zato si pogledajmo, kaj v slovarju piše za osnovno barvo. To je barva, določena neposredno z valovno dolžino elektromagnetnega valovanja. To so rdeča, rumena, zelena, modra, vijoličasta ... V praksi zgleđa črni kristal opal temen, če ga gledamo v odbiti svetlobi. Če ga opazujemo v presevalni svetlobi, je prozoren. Njegova igra barv, ki je svojevrsten optični pojav, pa ga naredi plemenitega in zato je na videz lahko zelo barvit. Pri opalih je torej pomembno ločiti osnovno barvo in barvo, ki jo daje igra barv, ki odlikuje ta edinstveni dragulj.

Str. 47 – Diasporescenca

Obrazložitev: V tem primeru ne vemo, kaj želi recenzent povedati, zato navajamo razlago termina:

diasporescência -e ž *optični pojav, pri katerem nastane na površini kamna bel odsev svetlobe na orientirano preraščenih kristalih diaspora v rubinu*

ang.: diasporescence

Diaspor ni samo na kristalih korunda temveč se diaspor in korund orientirano preraščata. Zato je smiselno diaspor v rubinu in ne na rubinu (oziroma korundu).

Str. 59 – Fosilni biser je v slovarju prikazan takole: **fosilni biser** –ega –a m *okamenel biser*

Recenzent meni, da ni jasno kaj to pomeni. Okamenel biser je biser v fosilnem stanju. Proces fosilizacije na tem mestu verjetno ni potrebno razlagati.

Str. 61 – Gema po Gemološkem terminološkem slovarju: **géma** –e ž 1. v kamen vgravirana *vbočena ali izbočena podoba* **2. intaglio ali kameja**

Obrazložitev: Gema je droben predmet iz okrasnega kamna ali stekla z reliefno podobo, ki je bil prvotno namenjen pečatenju. Geme delimo na kameje, ki imajo upodobitev v pozitivu (dvignjenem reliefu) in na intalije oz. geme v ožjem pomenu, ki imajo upodobitev v negativu (v vrezanem reliefu) (Nestorović, 2005).

Str. 63 – glinica – pravilno je, da je angleški izraz alumina (hydrated alumina je napačno)

Str. 63 – Grosularit je sinonim (sopomenka) za mineral grosular in tudi ime za kamnino, sestavljeno pretežno iz grosularja (de Fourestier, 1999).

Str. 70 – Hrizolit – razlaga v slovarju je povzeta po Manutcher-Danai, 2000.

Str. 70 – Hruška je v slovarju prikazana takole: **hrúška** –e ž valjast *ali hruškast sintetični kristal, nastal s postopkom taljenja v plamenu z Verneuilijevim postopkom*

Dodatna razlaga ni potrebna.

Str. 80 – Kamena strela: Izrazi kot npr. cerkniški diamant so v praksi prepovedani, saj zavajajo kupce kamnov. Cerkniški diamanti namreč nimajo čisto nič in prav nič skupnega z diamanti. V slovarju smo taka imena označili kot napačna, saj nismo sodniki o tem, kaj je dovoljeno, kaj pa ne. Z odkritjem kremenov v zadnjem času v Sloveniji bi potem lahko imeli celo poplavo diamantov: halški, crngrobski, turjaški ... Res je, da so cerkniške diamante poznali že v Zoisovem času, vendar se v sodobni strokovni literaturi ta izraz ne uporablja za kameno strelo. Takih ljudskih imen bi lahko navedli veliko, kar pa k jasnosti poimenovanj ne bi nič prispevalo.

Str. 81 – Izrazi, kot so karneolov oniks, kalcedonov oniks in podobni, so v slovarju preprosto zato, ker so v gemološki praksi pogosti, najdemo pa jih tudi v poljudni literaturi. Gre za trgoške izraze in tako je tudi zapisano. Namenjeni so torej potrošnikom, ki morda ne vedo, kaj kupujejo.

Str. 82 – V gemološki praksi v Sloveniji se kot sinonim za kimberlit uporablja izraz modra zemlja. O primernosti izraza naj presodi bralec sam.

Str. 85 – Pri mineralih nismo navajali njihovih draguljarskih različkov. Smo pa vedno pri draguljarskem različku povedali, za kateri mineral gre. Primeri iz slovarja:

korúnd –a m *raznobarven mineral, trigonalni oksid, Al_2O_3 , $G = 4-4,1$, $T = 9$, $n = 1,762-1,770$, lahko z optičnim pojavom mačjega očesa, asterizmom, spreminjanjem barv, diasporescenco* **S:** napačno orientálski mésečev kámen (2)

rubín –a m *rdeč različek korunda*

safír –ja m *raznobarven, navadno moder različek korunda*

Str. 95 – Maghemit res ni spinel, ima pa enako strukturo, zaradi katere ga uvrščamo v skupino spinelov (Strunz, H. & Nickel, E. H., 2001).

Str. 101 – Modri kremen. Čist kremen brez primesi je brezbarven. Vključki nekaterih mineralov ga lahko obarvajo. Krokidolit je modrikasto siv in če je kot vključek v kremenu, potem ima takšen dragulj na videz modro barvo. Oksidirani krokidolit je rumen in zato takrat ne govorimo o modrem kremenu. Kot je razvidno iz slovarja, pa so naštet minerali običajno modri in kot modri vključki v kremenu dajo kremen na videz modre barve.

Prikazi v slovarju:

módri krêmen –ega kreména m *neprozoren zrnat drobnokristalni kremen, modro obarvan zaradi neoksidiranega krokidolita, rutila, lazulita, hrizokole, indigolita ali drugih modrih mineralov* **S:** safírni krêmen

Str. 101 – Moissanit sodi v skupino samorodnih prvin (Strunz, H. & Nickel, E. H., 2001) zaradi narave kemičnih vezi, čeprav je spojina. Značaj vezi Si-C v moissanitu je zelo podoben značaju vezi med enakimi prvinami, kot je na primer vez C-C v diamantu.

Str. 104 – Nefrit je različek aktinolita in tremolita (Cornelis, K. & Hurlbut, C. S., 1999; Strunz, H. & Nickel, E. H., 2001; Manutcher-Danai, 2000)

Str. 109 – **okrásni kámen** -ega -mna m v naravi pogost kamen različnih barv, srednje trdote in z nižjim lomnim količnikom, katerega masa se meri v karatih in gramih **S:** neutr. pôldrági kámen

V naravi pogost smo zapisali v primerjavi z dragimi kamni.

Str. 112 – Organska snov je v slovarju opisana takole: **orgánska snôv** -e snóví ž naravna ali umetna snov iz ogljika, vodika, dušika, kisika in nekaterih drugih prvin, ki se uporablja za izdelavo nakita in okrasnih predmetov.

V slovar je bila uvrščena, ker se pogosto pojavlja v razlagah. Slovar pa naj bi bil samora-zlagalen.

Str. 113 – Ortorombska piramida – razlaga velja za kristalni lik, imenovan ortorombska piramida

Str. 116 – Paligorskit – gorsko usnje je sinonim za vlaknat različek paligorskita (de Fournestier, 1999; Strunz, H. & Nickel, E. H., 2001). Ime gorsko usnje pa se uporablja tudi za vlaknate različke drugih mineralov, npr. aktinolit, tremolit, sepiolit.

Str. 125 – Brezbarvni diamant je na videz brezbarven. Vendar pa bo izkušen strokovnjak lahko ločil vsaj pet stopenj rahle obarvanosti pri presoji obarvanosti brezbarvnih diamantov (po ameriški lestvici inštituta GIA so to: D, E, F, G, H). Te razlike se najlažje določajo z omenjenim primerjalnim barvnim setom. Razlike so res zelo majhne, vendar pa vplivajo na kakovost diamanta in s tem na njegovo ceno.

Str. 127: Pseudosekundarni vključek in str. 135 sekundarni vključek

Iz slovarja: **psévdosekundárni vključek** -ega -čka m *tekočinski vključek, nastal po končani rasti kristala gostitelja, ki se je kasneje še nadaljevala*

sekundárni vključek -ega -čka m *tekočinski vključek, nastal po končani rasti kristala gostitelja*

Proces kristalizacije minerala v naravi je povezan s številnimi dejavniki, ki vplivajo na videz kristala, njegovo kakovost, velikost, obarvanost itd. Vemo, da procesi ne potekajo v idealnih razmerah. Vemo na primer, da lahko robovi kristalov kremenca rastejo hitreje kot osrednji deli istega kristala. Pri tem lahko kristal kremenca zajame primarni tekočinski vključek, ki ostaja ujet v njem. Ko razmere za kristalizacijo niso več primerne za nadaljnjo rast kristala, se proces kristalizacije ustavi. Zaradi P/T sprememb lahko kristal razpoka, v te razpoke pa se ujame tekoča faza. Tako lahko nastane sekundarni vključek. Glavna razlika med primarnimi in sekundarnimi tekočinskimi vključki je ta, da so primarni vključki običajno vzporedni smerem rasti kristala v času njegove rasti. Sekundarni vključki pa sekajo te smeri. Če pa se rast kristalov nadaljuje, nastanejo pseudosekundarni vključki.

Str. 129: Različek minerala je v slovarju opisan:

različek minerála -čka — m *eden od mineralov iste skupine z enako strukturo, nekoliko različno kemično sestavo in različnimi fizikalnimi lastnostmi, zlasti optičnimi*

Razlago potrjuje tudi strokovna literatura (Manutcher-Danai, 2000).

Str. 131: Rodolit je različek piropa (Slovenec, D. & Bermanec, V., 2006) oziroma vmesni člen vrste pirop – almandin (de Fournestier, 1999).

Str. 134: Sadra – V Sloveniji se ime gips uporablja kot poslovenjen izraz za sadro iz angleške besede gypsum oz. iz nemške besede gips, čeprav je izraz napačen. Izraz gips je prav tako napačno uporabljen za sadro, ki je nastala s hidratacijo iz kalcijevega sulfata polhidrata-bassanita. Za kalcijev sulfat polhidrat-bassanit pa nikakor ne smemo uporabljati izraza gips.

Gips torej ni sinonim za sadro, temveč trgovsko poimenovanje.

Str. 149: Termin je opisan tako, kot pravi avtor:

svíla -e ž *zelo majhni igličasti vključki rutila ali ploščasti vključki hematita, ki se med seboj sekajo pod kotoma 60° in 120°, nastali z delnim taljenjem iz kristala gostitelja, s katerim se orientirano preraščajo in ustvarjajo značilen svilnati sijaj*

Vseh strokovnih izrazov se ne da opisati povsem preprosto.

Str. 152: Tanzanit je draguljarski različek zoisita, smaragd je draguljarski različek berila itd. V slovarju nismo posebej izpostavljali, da so to draguljarski različki, saj gre že v osnovi za gemološki terminološki slovar.

Str. 155: Tetragontrioktaeder – slika 40 predstavlja kristalni lik z Millerjevimi indeksi

{h l l}, $h > l$, kristali pa v razredih: m3, 43 in m3m. Za predstavljeni kristalni lik je v literaturi več imen: trapezoeder, tetragon-trioktaeder (Cornelis, K. & Hurlbut, C. S., 1999), ikozitetraeder (Phillips, F. C., 1986). V slovarju smo uporabili poimenovanje, ki lik tudi opiše, saj je iz slike razvidno, da ima na prostoru, ki pripada eni ploskvi oktaedra, razvite tri ploskve štirikotne oblike. Lik torej sestavlja 24 (3*8) ploskev trapezaste oblike.

Str. 155: Tetragontritetraeder – slika 41 predstavlja kristalni lik z Millerjevimi indeksi {h h l}, $h > l$, kristali pa v razredih: 23 in -43m. Za predstavljeni kristalni lik sta v literaturi dve poimenovanji: deltoidni dodekaeder (Cornelis, K. & Hurlbut, C. S., 1999; Phillips, F. C., 1986), tetragon-tritetraeder (Cornelis, K. & Hurlbut, C. S., 1999). V slovarju smo uporabili poimenovanje, ki lik tudi opiše, saj je iz slike razvidno, da ima na prostoru, ki pripada eni ploskvi tetraedra, razvite tri ploskve štirikotne oblike. Lik torej sestavlja 12 (3*4) ploskev trapezaste oblike.

Str. 159: Trigonttritetraeder – slika 45 dejansko predstavlja tetragontritetraeder in ne trigonttritetraeder, kot je zapisano.

Ad 8:

Lantanov allanit je naveden na spletnih straneh IMA – komisije za nove minerale, nomenklaturu in klasifikacijo (www.geo.vu.nl/~ima-cnmmn) z dne 9.2.2004 z oznako R (redifined or renamed). Mineral je naveden v knjigi Slovenec & Bermanec (2006), soavtor knjige, prof. dr. V. Bermanec je član imenovane komisije.

Skapolit je trdna raztopina marialita in mejonita.

Parasite-(Nd) – Strunz, H. & Nickel, E. H., 2001

Ad 9:

Str. 148: Stroncijev titanat ima več pomenov. Poznamo tako naravni kot sintetični stroncijev titanat, na kar nas navaja tudi slovar. Pri sintetičnem stroncijevem titanatu pa je jasno razloženo, da gre za sintetični proizvod in da je sinonim, med drugim, tudi fabulit. Pri fabulitu (str. 57) pa je kazalka pravilno samo na sintetični stroncijev titanat.

Ad 10:

Brusi so vsekakor pomembni za gemologa in zato smo jih, kot ugotavlja tudi recenzent, opisali kar veliko. Recenzent meni, da bi morali uvrstiti še nekaj pomembnih brusov. Morda res, vendar menimo, da je izbor brusov za prvo izdajo Gemološkega terminološkega slovarja primeren. Danes je namreč vrst brusov toliko, da bi lahko napisali kar slovar brusov. Vendar pa smo pri izbiri brusov sledili razvoju briljantnega brusa, dodali vse glavne načine in oblike brusov. Vsi ostali brusi pa so zgolj kombinacija oblik in načina brusa, kar pa bo zahtevnejši bralec lahko nedvomno ugotovil tudi sam.

Ad 11:

Kaj vsebuje slovar, določa več dejavnikov: obseg slovarja, čas, ki ga zajema, komu je namenjen itd. Osrednji strokovni izrazi pa morajo biti prikazani. Med manjkajočimi, ki jih navaja avtor recenzije, takih ni. Res pa je, da tudi vsi navedeni ne manjkajo, npr. sardoniks:

sardóniks -a m trg. *dvoplastni rdečerjavo-bel ali belo-črn kalcedon*.

Meta Dobnikar

Marjeta Humar

Simona Jarc

Miha Jeršek

Literatura:

- Blatt, H. & Tracy, R. J.: *Petrology*, W. H. Freeman and Company, 1996, 529 str.
 Bloss, F. D.: *Crystallography and crystal chemistry*, MSA 1994, 545 str.
 Cornelis, K. & Hurlbut, C. S.: *Manual of mineralogy*, John Wiley & Sons, 1999, 681 str.
 de Fourestier, J.: *Glossary of mineral synonyms*, The Canadian Mineralogist special publication, 1999, 434 str.
 Gübelin, E.J. & Koivula, J.I.: *Photoatlas of inclusions in Gemstones*. Winthertur dw AG, 1997, 532 str.
 Manutcher-Danai, M.: *Dictionary of Gems and Gemology*, Springer Verlag, 2000, 565 str.
 Nestorović, A.: *V dragulje vbrušene podobe sveta (Rimske geme v Sloveniji)*, Narodni muzej Slovenije, 2005, 45 str.
 Phillips, F. C.: *An introduction to crystallography*, Longman, 1986, 351 str.

-
- Slovenec, D. & Bermanec, V.: *Sistematska mineralogija – mineralogija silikata*, Sveučilište u Zagrebu, 2006, 359 str.
- Strunz, H. & Nickel, E. H.: *Strunz mineralogical tables*, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 2001, 870 str.
- Wenk, H. R. & Bulakh, A.: *Minerals, their constitution and origine*, Cambridge University Press, 2004, 646 str.

Navodila avtorjem

GEOLOGIJA objavlja originalne znanstvene razprave in strokovna poročila iz geoloških in sorodnih ved. Njen osnovni namen je seznanjati domačo in tujo strokovno javnost s sprotnimi stanji geološke nacionalne vede v Sloveniji in z dosežki tujih geologov v svetu. Rokopisi prispevkov naj praviloma ne bodo daljši od 25 računalniško izpisanih strani, v kar so vštete tudi slike, tabele in table. Le v izjemnih primerih (natisi habilitacijskih, doktorskih in magistrskih del) je možno ob predhodnem dogovoru z uredništvom tiskati tudi daljše prispevke.

GEOLOGIJA od leta 2000 izhaja praviloma dvakrat letno v obsegu 20 do 25 avtorskih pol. Vse prispevke recenzirajo domači in tuji vrhunski strokovnjaki. Avtorji so dolžni njihovo pisno mnenje upoštevati ter svoje prispevke po potrebi tudi dopolniti.

V želji, da bi z našimi izsledki v slovenski geološki vedi seznanjali čimširši krog strokovnjakov po svetu, je večina prispevkov v GEOLOGIJI objavljena razen v slovenskem tudi v angleškem oziroma nemškem jeziku. Prispevke, ki obravnavajo snov slovenske geologije, morajo avtorji pripraviti vsaj v tretjini celotne vsebine za objavo v slovenskem jeziku kot povzetke. Za prevode poskrbijo avtorji prispevkov sami, uredništvo opravi le jezikovne popravke.

Prispevke oddajte uredništvu v enem izvodu pisno in na disketi ali CD-ROMU. Pisni prispevkovi naj imena citiranih avtorjev med besedilom prispevka in pri naštevanju literature pišejo brez presledkov med črkami. Imena avtorjev naj samo podčrtajo ročno z rdečim svinčnikom, razpiranje bo urenila tiskarna. Imena fosilov (rod in vrsto) pa naj pišejo poševno. Vse drugo bo uredilo uredništvo.

Naslovi prispevkov naj bodo kratki in praviloma ne presegajo 12 besed. Če je prispevek napisan v slovenskem jeziku, mora biti njegov naslov preveden tudi v angleški oziroma nemški jezik. Poleg avtorjevega polnega imena in priimka naj bo podan tudi njegov naslov. Vsebine oziroma kazala pri normalno dolgih prispevkih ne objavljamo.

Kratka vsebina oziroma abstract naj ne presega tisoč tiskovnih znakov. Pri slovensko napisanih prispevkih mora biti kratka vsebina napisana v slovenskem in angleškem oziroma nemškem jeziku.

V literaturi naj avtorji prispevkov praviloma upoštevajo le tiskane vire, rokopise naj navajajo v izjemnih in nujnih primerih z navedbo, kjer so shranjeni. V seznamu literature navajajte samo v prispevku omenjena dela. Med besedilom prispevka citirajte samo avtorjev priimek brez inicialke njegovega imena (inicialko navajajte samo, če je več avtorjev z istim ali enakim priimkom), v oklepaju pa navajajte letnico izida navedenega dela in po potrebi tudi stran. Če navajate delo dveh avtorjev, izpišite med tekstom prispevka oba priimka (npr. Pleničar & Buser, 1967, 152), pri teh ali večih avtorjih pa napišite samo prvo ime in dodajte et al. z letnico (npr. Mlakar et al., 1992). Literaturo navajajte po abecednem redu.

Primer citirane revije:

Pleničar, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest-Komen Plateau). – *Geologija*, 35, 65–68, Ljubljana.

Kendall, A. C. 1978: Subaqueous evaporites. In: R. G. Walker (ed.), *Facies models*. – *Geol. Ass. Canada*, 159–174. Toronto.

Fabricius, F., Friedrichsen, H. & Jacobshagen, V. 1970: Zur Methodik der Paläotemperatur-Ermittlung in Obertrias und Lias der Alpen und benachbarten Mediterran-Gebieten. – *Verh. Geol. B.A.*, 4, 538–593, Wien.

Primer citirane knjige:

Flügel, E. 1978: *Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken*. – Springer Verlag, 454 pp., Berlin.

Črno-bele in barvne fotografije morajo biti v elektronski obliki v EPS, TIF ali PDF zapisu z ločljivostjo okrog 300 dpi. Le izjemno je možno objaviti tudi barvne slike, vendar samo po predhodnem dogovoru z uredništvom. Črtne risbe morajo avtorji oddati v računalniški obliki z ločljivostjo 800 dpi. Pri pripravi črtnih slik obvezno upoštevajte zrcalo revije 13,7 × 19,6 cm, zato pazite na velikost črk, znakov in debelino črt in imejte v mislih, da morajo biti ob morebitni pomanjšanosti slik črke visoke najmanj 1 mm. Večjih formatov od omenjenega zrcala GEOLOGIJE ne tiskamo na zgib, je pa možno, da večje oziroma daljše slike natisnemo na dveh straneh (skupaj na levi in desni strani) z vmesnim »rezom«. Slike obeležite s številkami.

V besedilu prispevka morate omeniti vsako sliko po številčnem vrstnem redu.

Tabele napišite s tiskalnikom tako, da jih je možno neposredno preslikati oziroma kliširati. Pri tem upoštevajte zrcalo revije in velikost črk ob morebitni pomanjšavi. Pri korekturah tabel ni možno več popravljati ali dopolnjevati.

Table pripravite v formatu zrcala naše revije. Če jih je potrebno pomanjšati, podajte na njihovih slikah merilo ali ob že upoštevane zmanjšanju navedite velikost predmetov v podnaslovu. Prostor na tablah čimboj zapolnite in ne puščajte nepotrebnih praznin.

Podnaslove k slikam, tabelam in tablam, ki morajo biti pri dvojezičnih člankih tudi dvojezično napisani, avtorji priložijo na posebnih listih enega pod drugim. Zato teh podnaslovov ne pišete med besedilom pri-

spevka. Podnaslovi naj bodo po možnosti čimkrajši.

Korekture odtisov opravijo avtorji prispevkov, ki lahko popravijo samo tiskovne napake. Krajši dodatki ali spremembe pri korekturah so možne samo na avtorjeve stroške. Če avtor v določenem roku korektur ne vrne, le-te opravi uredništvo na avtorjeve stroške.

Avtorji prejmejo 40 separatov brezplačno. Uredništvo sprejema prispevke do vključno 1. marca (1. št.) in 1. septembra (2. št.) v tekočem letu in se obveže, da bodo le-ti tiskani v tekočem letu. Avtorje prosimo, da prispevke pošiljajo na naslov uredništva:

GEOLOGIJA

Geološki zavod Slovenije

Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

Uredništvo

Instructions to authors

GEOLOGIJA issues authentic scientific papers as well as expert reports on the sphere of geological and related sciences, its main purpose being to appeal to the Slovene and foreign public and make it acquainted with the state of the national geologic science and the acquisitions of experts in the geology domain of the world. The article manuscripts should not exceed the extent of 25 pages, figures, tables and plates included. Exceptions to this rule i.e. publication of longer articles (such as papers presenting university habilitation as well as master degrees and doctor theses) could be agreed upon on the basis of a preliminary arrangement made with the editorial board.

GEOLOGIJA appears from 2000 normally twice a year comprising 20 to 25 author sheets. All the articles are subdued to a professional revision by eminent Slovene and foreign experts, moreover the authors of the articles are bound to take into consideration their written account and even to complete their contributions eventually.

Aiming at a worldwide recognition of the latest discoveries in the field of Slovene geology bringing it thus closer to a larger circle of experts, we have envisaged a predominantly English and German version of the

articles published from now on in the GEOLOGIJA review. The articles dealing with the issues on Slovene geology are supposed to have at least one third of the entire content published in Slovene in the form of an abstract.

One copy of each article, printed as well as on a floppy disk or CD-ROM, is to be delivered to the editorial office. The names of authors quoted in the text and in the bibliography should be written without spaces, while the names of fossils (species and genus) should be written in italics. The rest will be seen to by the editorial board.

The title of the article should be rather short. In case of the article being written in Slovene language, there is a demand for the title being provided in English or German, as well. Besides the author full name, his official address should be stated, too.

The article should be preceded by a brief summary or abstract not surpassing 1000 print signs. Articles written in the Slovene language should dispose of a short outline in Slovene, English and German respectively.

As to the bibliography, the authors should, as a rule, consider only printed sources, manuscripts being quoted exceptionally, when

absolutely necessary, with the exact address of the manuscript depository. The bibliographic list should comprise only the works mentioned in the article. In the article text the mere surname of the author is to be quoted, i.e. without the initials of his name (initials being quoted only in case of several authors by the same name), while the year of publication – if needed, even the page – is quoted in parentheses. In case of a two-author quotation, the two surnames are to be written out within the text of the article (for example: Pleničar & Buser, 1967, 152), while in case of a three or several authors quotation, write out only the first name and add et al., the year included (ex. g. Mlakar et al., 1992). The literature is to be quoted following an alphabetic order.

Example of review quotation:

Pleničar, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest-Komen Plateau). – *Geologija*, 35, 65–68, Ljubljana.

Kendall, A. C. 1978: Subaqueous evaporites. In: R. G. Walker (ed.), *Facies models*. – *Geol. Ass. Canada*, 159–174. Toronto.

Fabricius, F., Friedrichsen, H. & Jacobs-hagen, V. 1970: Zur Methodik der Paläotemperatur-Ermittlung in Obertrias und Lias der Alpen und benachbarten Mediteran-Gebieten. – *Verh. Geol. B.A.*, 4, 5383–593, Wien.

Example of book quotation:

Flügel, E. 1978: *Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken*. – Springer Verlag, 454 pp., Berlin.

Black and white photographs are to be in electronic version in EPS, TIF or PDF formats with the resolution of at least 300dpi. Coloured photographs will be published exceptionally only, according to a previous agreement with the editor. Line drawings are to be in electronic version with the resolution of 800 dpi. While preparing the sketches, pay attention to the review type face 13,7 × 19,6 cm, heed the size of letters, signs, and line boldness as well bear in mind the cases of figure diminishing where letters must preserve the size of 1 mm, at least.

Greater formats than the above mentioned type face of GEOLOGIJA are not printed as folded additons. The boarding staff admits, nevertheless, of the possibility of having a larger and longer figure printed on two pages (left and right side together) with an intermediate “cut” or folding.

Tables should be made on a printer to permit their immediate copying or clichéing, respectively. The review type face should not be neglected, either, as well as the letter size in case of diminishing.

The plates are to conform to the review type face; if a diminishing is needed, add a scale to their pictures or, in case of the diminishing having already been taken into account, the size of objects in the subtitles should be stated. The space on tables should be made a good use of, leaving no unnecessary blanks.

Subtitles to figures, tables and plates of bilingual articles are to be written in both languages as well, authors are asked to deliver them in a subsequent order on special sheets, that why these subtitles do not figure in the text itself. Subtitles should be as brief as possible.

Proof-checkings are carried out by the authors of the articles themselves who are only to correct the misprints, however. Shorter additional remarks or changes while proofreading will be tolerated only at the expenses of the author himself. If the corrections are not returned in due time, the editor staff will effectuate proff-reading at the expensis of the author.

Authors will be sent 40 issues free. Articles shall have been entered by 1st March (Vol. 1) and 1st September (Vol. 2) the editorial board will commit itself to print them in the current year. The authors are requested to send the articles to the address of the editorial board. i.e.:

GEOLOGIJA

Gological Survey of Slovenia

Dimičeva 14, 1000 Ljubljana, SLO

Editorial Board

