

ISSN 0016-7789
ISSN 1854-620X

GEOLOGIJA

53/2 – 2010



GEOLOGIJA	2010	53/2	109–216	Ljubljana
------------------	-------------	-------------	----------------	------------------

GEOLOGIJA

ISSN 0016-7789

© Geološki zavod Slovenije

Izdajatelj: Geološki zavod Slovenije, zanj direktor MARKO KOMAC

Publisher: Geological Survey of Slovenia, represented by Director MARKO KOMAC

Financirata Javna agencija za knjigo Republike Slovenije in Geološki zavod Slovenije

Financed by the Slovenian Book Agency and the Geological Survey of Slovenia

Vsebina številke 53/2 je bila sprejeta na seji Uredniškega odbora, dne 1. 12. 2010.

Manuscripts of the Volume 53/2 accepted by Editorial and Scientific Advisory Board on December 1, 2010.

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

Uredniški in recenzijski odbor / Scientific Advisory Board:

DUNJA ALJINOVIC, Rudarsko-geološki naftni fakultet, Zagreb

MIHAEL BRENČIČ, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

GIOVANNI BATTISTA CARULLI, Dip. di Sci. Geol., Ambientali e Marine, Università di Trieste

KATICA DROBNE, Znanstveno Raziskovalni Center SAZU, Ljubljana

MATIJA DROVENIK, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana

JADRAN FAGANELI, Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja Piran

JANOS HAAS, Etvös Lorand University, Budapest

BOGDAN JURKOVŠEK, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana

ROMAN KOCH, Institut für Paläontologie, Universität Erlangen-Nürnberg

MARKO KOMAC, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana

HARALD LOBITZER, Geologische Bundesanstalt, Wien

RINALDO NICOLICH, D.I.N.M.A., Sezione Georisorse e Ambiente, Università di Trieste

BOJAN OGORELEC, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana

SIMON PIRC, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

MARIO PLENIČAR, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana

DANILO RAVNIK, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

MIHAEL RIBIČIČ, Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

MARKO ŠPARICA, Institut za geološka istraživanja, Zagreb

SAŠO ŠTURM, Institut »Jožef Stefan«, Ljubljana

DRAGICA TURNŠEK, Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana

MIRAN VESELIČ, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani

Tehnična urednica / Technical Editor: BERNARDA BOLE

Naslov uredništva / Editorial Office: GEOLOGIJA Geološki zavod Slovenije / Geological Survey of Slovenia

Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

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

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

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

GEOLOGIJA je na voljo tudi preko medknjižnične izmenjave publikacij / GEOLOGIJA is available also on exchange basis

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

Cena / Price

Posamezni izvod / Single Issue

Posameznik / Individual: 15 €

Institucija / Institutional: 25 €

Letna naročnina / Annual Subscription

Posameznik / Individual: 25 €

Institucija / Institutional: 40 €

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

Slika na naslovni strani: Goethitna skorja okoli sploščenega prodnika muljevca v Šamčevem peskokopu – detajl iz geološkega profila na točki 9, Poti treh znamenitih ponkovških mož, 1,7x pov. (Rman, članek v tej številki, foto: N. Rman)

Cover page: Goethite crust surrounding flattened mudstone at Šamec sandpit – a detail from geological cross-section at point 9 of The Trail of Ponikva's three Notable Inhabitants, 1.7x. (Rman, paper in this issue, photo: N. Rman)

VSEBINA – CONTENTS

<i>Godec, M. & Sinčič, P.</i> V spomin dr. Renatu Vidrihu	113
<i>Ogorelec, B. & Mikuž, V.</i> V spomin mag. Bogoljuba Aničiču	114
Mag. Bogoljub Aničič – tiskana bibliografija 1979-2009	115
<i>Zupančič, N. & Trajanova, M.</i> V spomin akademiku prof. dr. Stanku Grafenauerju	118
Akademik prof. dr. Stanko Grafenauer – pomembnejša bibliografija 1956-2009	119
<i>Teršič, T.</i> Contents and spatial distributions of chemical elements in soil at the ancient roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia)	121
Vsebnosti in prostorske razporeditve kemijskih prvin na območju nekdanje žgalnice živega srebra Pšenk (Idrijsko, Slovenija)	
<i>Raslan, M. F. & Ali, M. A.</i> Mineral chemistry of polymetallic mineralization associated with altered granite, Hangaliya area, South Eastern Desert, Egypt	129
<i>Lenart, A., Jeršek, M., Mirtič, B. & Šturm, S.</i> Meteorite Jesenice: Mineral and chemical composition of the fusion crust of ordinary chondrite	139
Meteorit Jesenice: Mineralno-kemijska sestava žgalne skorje navadnega hondrita	
<i>Fifer Bizjak, K.</i> Determining the surface roughness coefficient by 3D scanner	147
Določitev koeficienta hrapavosti razpoke s 3D skenerjem	
<i>Mikuž, V.</i> Največja korona fosilnega morskega ježka na Slovenskem	153
The largest corona of fossil sea urchin in Slovenia	161
<i>Mikuž, V.</i> <i>Cyrtorhina globosa</i> iz srednjeeocenskih plasti Čopija v Istri, Hrvaška	165
<i>Cyrtorhina globosa</i> from Middle Eocene beds of Čopi in Istria, Croatia	168
<i>Čarman, M.</i> Pojavi nestabilnosti terena na dolenskem krasu	169
Some cases of terrain unstability from the Dolenjska karst area	
<i>Čarman, M. & Peternel, T.</i> Skalni podori Stara gora pri Dvoru v občini Žužemberk	173
Rockfalls Stara gora near Dvor in municipality Žužemberk	
<i>Petkovšek, A., Maček, M. & Majes, B.</i> Prispevek k boljšemu prepoznavanju nabrekalnega potenciala v zemljinah in mehkih kamninah.....	181
A contribution to the better understanding of swelling in soils and soft rocks	
<i>Rman, N.</i> Geološke značilnosti učnih poti na Ponikvi	197
Geologic characteristics of the educational trails at Ponikva	

Nove knjige

<i>Jurkovšek, B.</i> : Geološka karta severnega dela Tržaško-komenske planote 1:25.000; Tolmač	202
<i>Reimann, C. & Birke, M. (ur.)</i> : Geochemistry of European Bottled Water	203
<i>Markič, M. & Sachsenhofer, R.F.</i> : The Velenje Lignite – Its Petrology and Genesis	204

Poročila

<i>Rajver, D.</i> : 4. Svetovni geotermalni kongres na Baliu (Indonezija), 25.–30. 4. 2010	206
<i>Zupan Hajna, N.</i> : 3. Slovenski geološki kongres, Bovec 16.–18. 9. 2010	210
<i>Mikuž, V. & Horvat, A.</i> : 4. Hrvatski geološki kongres, Šibenik 14.–16. 10. 2010	210
<i>Brenčič, M.</i> : 4. Hidrogeološki kolokvij, Ljubljana, 25. 11. 2010	212

Navodila avtorjem	213
Instructions to authors	214

V spomin dr. Renatu Vidrihu



Po kratki in hudi bolezni je 13. februarja 2010 umrl dr. Renato Vidrih, direktor Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje.

Renato Vidrih je bil rojen leta 1957 v Postojni. Po diplomi iz geologije na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo ljubljanske univerze se je zaposlil na takratnem Seizmološkem zavodu SR Slovenije. Magistriral je s področja seizmotektonike, doktoriral pa leta 2006 s področja seizmogeologije z disertacijo Geološki vidiki potresa 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Delati je začel leta 1980 kot svetovalec za seizmogeologijo, njegova delovna področja pa so bila poleg obdelave ter študija domačih in tujih potresov še makroseizmične, seizmotektonske ter predvsem seizmogeološke raziskave. Kot svetovalec vlade je nadaljeval delo na nekdanji Upravi RS za geofiziko. Izdelal je več kart potresne nevarnosti in ogroženosti na podlagi seizmogeoloških pojavov ter karte seizmične mikrorajonizacije za različne predele Slovenije. Od leta 2001 je bil direktor Urada za seizmologijo in geologijo pri Agenciji RS za okolje. Zelo se je angažiral pri izgradnji nove državne mreže potresnih opazovalnic, ki je bila dokončana leta 2006.

Ob številnih poročilih, elaboratih, strokovnih mnenjih in recenzijah je napisal okoli 300 strokovnih in več kot 150 poljudnih člankov. S prispevki je sodeloval na številnih domačih in mednarodnih strokovnih ter znanstvenih konferencah. Bil je tudi avtor, soavtor in urednik več publikacij ter knjig s področja seizmologije kot sta knjigi Potresna dejavnost zgornjega Posočja (2008) in Nemirna zemlja (2009). S področja geologije pa je sodeloval pri publikacijah Prirodoslovnega muzeja Slovenije Kaj spreminja svet (2006) ter Evolucija zemlje in geološke značilnosti Slovenije (2009). Med drugim je bil član uredniškega odbora revije Življenje in tehnika ter urednik vsakoletne publikacije Urada za seizmologijo in geologijo Potresi v letu ... V zadnjih tednih, že težko bolan, je zaključeval pisanje knjige o Albinu Belarju, pionirju slovenske seizmologije in varstva narave, ki sta jo napisala skupaj z Jožetom Miheličem. Redno je pisal o potresih v prilogi Dela Znanost in v Življenje in tehnika ter z razlagami potresne dejavnosti nastopal v televizijskih in radijskih oddajah.

Za odličnost v komuniciranju znanosti je dvakrat prejel priznanje Prometej znanosti, drugič leta 2009 skupaj s soavtorji knjige in razstave v Prirodoslovnem muzeju Slovenije: Evolucija zemlje in geološke značilnosti Slovenije ter Zoisovo priznanje Prirodoslovnega muzeja.

Neizbrisno sled je pustil tudi v delu Uprave Republike Slovenije za zaščito in reševanje kot član štaba Civilne zaščite RS in pisec številnih člankov na temo potresov v reviji Ujma. Za svoje dolgoletno delo na področju zaščite in reševanja je leta 2009 prejel srebrni znak CZ.

Ob svojem rednem poklicu seizmologa in geologa je bil zelo dejaven tudi na področju mineralogije. Že od študentskih let naprej so ga zanimali minerali in vse, kar je v zvezi z njimi. Le povabilo prof. dr. Vladimirja Ribariča k sodelovanju in ponujeno delovno mesto v observatoriju tedanjega Seizmološkega zavoda Slovenije na Golovcu je vplivalo na njegovo takratno odločitev, kaj početi v naslednjih desetletjih. Zato mu je mineralogija ostala ljubiteljska, vendar ne nepomembna dejavnost. V tridesetih letih zbiranja mineralov je postala njegova zbirka, ki obsega prek 3500 registriranih primerkov, ena od največjih sistematskih mineraloških zbirk v Sloveniji. S področja mineralogije je sam ali s soavtorji napisal več deset poljudnih člankov in nekaj knjig. Tehniška založba Slovenije je leta 1995 izdala knjigo Minerali na Slovenskem, ki sta jo napisala skupaj z dr. Vasjo Mikužem in je prvo tovrstno delo o mineralnem bogastvu Slovenije. Leta 2002 pa je kot tematska priloga revije Življenje in tehnika izšla še knjiga z naslovom Svet mineralov, ki predstavlja avtorjevo zbirko in je bila leta 2009 ponatisnjena. Pomagal je pri postavitvi več mineraloških razstav in ureditvi več zbirk po Sloveniji, nekatere so predstavljene tudi v knjižni obliki. Minerali iz njegove zbirke so pogosto fotografirani za različne fotografske razstave, razne publikacije in knjige, številne članke, nekateri zelo redki pa so objavljeni v Enciklopediji Slovenije in v Velikem leksikonu.

V zadnjih letih je imel Renato tudi več samostojnih fotografskih razstav. Prek njih je ljubitelje narave seznanjal z lepotami geološkega sveta doma in po svetu, obenem pa s fotografijami katastrofalnih posledic potresov poskušal prebivalce ozaveščati glede potresne (ne)varnosti.

Z odhodom dr. Renata Vidriha je nastala vrzel, ki jo bo težko zapolniti. Težko bo nadomestiti človeka, ki je bil po srcu seizmolog in je vedno govoril, da je za delo na razpolago 24 ur na dan in to 7 dni v tednu. Težko bo nadomestiti človeka, katerega prepričanje je bilo, da so strokovnjaki svoje delo dolžni predstaviti v pisni obliki tako strokovni javnost, kot v poljudni obliki laični javnosti. Slovenski seizmologi se bomo potrudili, da bomo še naprej opravljali svoje poslanstvo na Renatov način.

*Matjaž Godec
Peter Sinčič*

V spomin mag. Bogoljubu Aničiću



V začetku julija 2010 smo se na ljubljanskih Žalah poslovili od našega dolgoletnega sodelavca in prijatelja, raziskovalnega svetnika mag. Bogoljuba Aničića, ki nas je zapustil v 74. letu starosti po kratki in težki bolezni. Boban, kot smo ga vsi klicali, je bil geolog z dušo in srcem, razpet med raziskovalno delo na terenu in v kabinetu, strokovnjak predvsem na področju regionalne geologije.

Bogoljub Aničić je bil rojen leta 1936 v zaselku Vrelo Prače v Bosni, kraju, ki je zaradi geoloških posebnosti in fosilov znan daleč po svetu. Morda so ga vile rojenice prav zato obdarile z ljubeznijo do kamna in narave. A razen te so mu v zibel položile tudi temne oblake. Že v najzgodnejši mladosti je okusil grenkobo življenja. Najprej je izgubil očeta, nato pa je bil zaradi vojne vihre prikrajšan še za brezskrbna otroška leta.

Kot dijak se je Bogoljub vpisal na srednjo geološko šolo v Beogradu ter se nato kot mlad tehnik za nekaj let zaposlil na Geološkem zavodu v Sarajevu. Sodeloval je pri terenskih raziskavah okolice rudišča Kreševo. Nemirni duh in želja po strokovni rasti pa ga je kmalu zvabila v svet.

Tako je prišel v Ljubljano, kjer je leta 1969 končal študij geologije in se nato zaposlil na Geološkem zavodu Ljubljana, oddelku za regionalno geologijo.

Regionalna geologija in posebej geološko kartiranje sta postala nato prava motivacija njegovega raziskovalnega dela. Na zavod je prišel ravno v času, ko je bil projekt Osnovne geološke karte v največjem razmahu. Večino najbolj ustvarjalnih let je preživel na terenu – sprva na Primorskem, nato pa v tolimskih grapah in hribih. V tem času je kot član terenske skupine intenzivno sodeloval s prof. Stanikom Buserjem. Vmes je bil eno leto kot član zavodske ekipe na geološkem kartiranju v severnem delu Alžirije. Sledilo je sodelovanje pri reambulaciji geološke karte lista Celje, eno sezono je kartiral tudi na Kočevskem v okviru izdelave lista Delnice. Od leta 1976 do upokojitve leta 2000 je raziskoval in vodil dela na listu Rogatec. Pokrajina med Bohorjem in Bočem mu je bila več let njegov drugi dom, sprva v sklopu Osnovne geološke karte SFRJ v merilu 1 : 100.000, nato pa formacijske geološke karte Kozjanskega v merilu 1 : 50.000. V te kraje se je rad vračal tudi po upokojitvi. »Grem spet malo med moje Kozjance,« je vedno dejal. Ti ga bodo močno pogrešali, saj so ga sprejeli za svojega in cenili kot spoštovanega strokovnjaka. Razen na geološki karti je Bogoljub v obdobju med leti 1984 in 1994 sodeloval pri več aplikativnih projektih, tako pri raziskavah za nafto in plin, pri iskanju lokacij za skladiščenje plina v Halozah, pri geološko-tehniških raziskavah za hidroelektrarne na spodnji Savi, iskanju možnih odlagališč radioaktivnih odpadkov v Halozah in na Kozjanskem, stratimetrijskih meritvah v severovzhodni Sloveniji, raziskavah premoga v Senovem in pri izdelavah občinskih prostorskih planov na Celjskem. Več let je bil tudi vodja raziskovalne naloge Terciarni bazeni v osrednji Sloveniji.

Terenskih raziskav in vsega dela se je Bogoljub loteval s predanostjo, zavzetostjo in z velikim spoštovanjem do kamna in stroke. Vrhunca teh raziskav sta list Rogatec, ki je bil tiskan skupaj s tolmačem leta 1985 v okviru Osnovne geološke karte SFRJ ter leta 2004 tiskana Geološka karta Kozjanskega. Slednje je bil še posebno vesel in nanjo ponosen. Na žalost pa ga je smrt prehitela, da k tej karti ni dočakal tudi tolmača, ki je v zaključni fazi pred tiskom. Pri terenskem delu se je srečeval z zanimivo geološko zgradbo in pestro paleto različnih in različno starih kamnin. Tako se je v prvi polovici svojega strokovnega dela dodobra seznanil s paleozojskimi in mezozojskimi, posebno triasnimi kamninami osrednje in zahodne Slovenije, kasneje pa je postal odličen poznavalec mlajših terciarnih formacij Panonskega bazena v vzhodni Sloveniji. Te terene je rad razkazal študentom in kolegom, večkrat pa je po njih vodil tudi strokovne geološke ekskurzije, tako že leta 1979 v okviru 16. evropskega mikropaleontološkega srečanja.

Kljub strokovno zahtevnemu in fizično napornemu terenskemu delu je Bogoljub našel čas tudi za dodatni študij. Tako je leta 1981 iz regionalne geologije magistriral s temo »Geološke razmere na Orlici«. Sam in s kolegi je objavil preko 30 znanstvenih člankov in prav toliko poljudnih objav. Aktivno je sodeloval tudi na več jugoslovanskih in kasneje na slovenskih geoloških kongresih. Po naravi je bil natančen in discipliniran, česar se je, kot je ob priložnostih rad poudaril, naučil že v srednji šoli. Na stroko je gledal sicer kritično, a z dobro namero po popravih napak.

Še posebej mu je bilo ljubo poljudnoznanstveno pisanje za revijo Proteus ter geološko izobraževanje mladih v obliki delavnic in šolskih zbirk kamnin. Urejeval je in z vzorci mineralov, fosilov in kamnin dopolnjeval učno zbirko Osnovne šole Kozje v Kozjem in geološko zbirko Osnovne šole XIV. divizije v Senovem. Bil je tudi pobudnik geološke učne poti na Rudnico in Virštanj in izdelave vodnika po tej

poti. Zelo dejaven je bil tudi v raznih društvih – Društvu prijateljev mineralov in fosilov Slovenije, v okviru katerega se je redno vsako leto udeleževal in aktivno sodeloval kot mentor, vodič in svetovalec na razstavah v Trzinu, prav tako tudi v Prirodoslovnem društvu in Slovenskem geološkem društvu, kjer je vodil več strokovnih ekskurzij ter pri Društvu ljubiteljev slovenskega naravnega kamna. Sodelava s slednjim je še posebej opazna in dragocena, saj je zaradi dobrega poznavanja terena uspel odkriti več že opuščanih kamnolomov peščenjakov in apnencev na Kozjanskem in v Halozah, kar je bilo pomembno za obnovo starejših zaščitanih objektov in spomenikov na Štajerskem z originalnim kamnom.

Po upokojitvi se je Bogoljub vedno rad vračal med sodelavce in prijatelje na Geološki zavod in na Oddelek za geologijo Ljubljanske univerze, saj njemu svojska ljubezen do kamna in zanimanje za stroko nista dala miru. Sprva nas je obiskoval bolj pogosto, v zadnjih letih pa je precejšen del svoje ljubezni kot skrbni dedek posvečal preživljanju trenutkov z vnučkoma, kar sta mu vračala z občutkom ponosa in radosti v njegovih očeh.

Vedeli smo, da je Bogoljub že dalj časa imel težave z zdravjem, v zadnjem letu tudi operacije, močno pa nas je pretresla novica o hitri in zahrbtni bolezni, za katero pred mesecem še sam ni vedel. Zato smo bili toliko bolj presunjeni ob sporočilu, da nas zapušča.

Med nami bo Bogoljub ostal v spominu kot dober strokovnjak, prijatelj in cenjen sodelavec. Dela, ki jih je zapustil, predvsem njegove geološke karte so osnova za vsa nadaljnja geološka raziskovanja širšega območja Kozjanskega.

Bojan Ogorelec
Vasja Mikuž

Mag. BOGOLJUB ANIČIĆ **tiskana bibliografija 1979–2009**

- RIJAVEC, L. & ANIČIĆ, B. 1979: Excursion A2, Section Trebče-Zagaj near Bistrica – Lower Miocene. V: DROBNE, K. (ed.): Geological development in Slovenia and Croatia, 16th European Micropal. Coll. Guidebook (Ljubljana): 137-140.
- RIJAVEC, L., ANIČIĆ, B. & ŠKERLJ, Ž. 1979: Excursion A1, Section Dekmanca-Bistrica on the Sotla river – Middle and Upper Miocene. V: DROBNE, K. (ed.): Geological development in Slovenia and Croatia, 16th European Micropal. Coll. Guidebook (Ljubljana): 131-136.
- ANIČIĆ, B. 1981: Biostratigrafske razmere na Orlici. (*magistrska naloga*). Univerza v Ljubljani, NTF (Ljubljana): 1-131.
- BUSER, S., PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1982: Globokomorske kredne plasti v vzhodni Sloveniji. Zbornik radova, 10. jubilarni kongres geologa Jugoslavije (Budva) 1: 11-23.
- ANIČIĆ, B. 1984: Geološka zgradba ozemlja občine Šmarje pri Jelšah. Zbornik: Med Bočem in Bohorjem (Šentjur pri Celju-Šmarje pri Jelšah): 46-55.
- ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 1984: Recentna in fosilna geologija: Nordsee ekskurzija. Jedro (Ljubljana), 46 (298): 9.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. 1985: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Rogatec. Zvezni geol. zavod, Beograd.
- ANIČIĆ, B. & JURIŠA, M. 1985: Tolmač za list Rogatec. L 33-68. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geol. zavod (Beograd): 1-76.
- MIOČ, P., ANIČIĆ, B. & ŽNIDARČIĆ, M. 1986: Sedimentation of the Smrekovec sedimentary - volcanic series in the northern Slovenia (NW Yugoslavia). V: V. skup sedimentologa Jugoslavije, Brioni 2-5. 6. 1986. Sažeci predavanja. Hrv. geol. dr., 61-64, Zagreb.
- PAUNOVIĆ, M., ANIČIĆ, B. & RAMOVŠ, A. 1986: Ein Beitrag zur Kenntnis der tertiären Fische Sloweniens. Rad Jugosl. akad. znan. i umjet., Razred za priro. znan. (Zagreb) 21: 153-164.
- RAMOVŠ, A., PAUNOVIĆ, M. & ANIČIĆ, B. 1986: Novi najdbi okamnelih rib v Sloveniji. Proteus (Ljubljana) 48/7: 268-269.
- BUSER, S., ANIČIĆ, B. & TERZAN, M. 1987: Terciarna arhitektonsko-gradbene kamnine vzhodne Slovenije. Geološki zbornik (Ljubljana) 8: 37-40.
- ANIČIĆ, B. 1991: Geološke razmere na Orlici. Geologija (Ljubljana) 33 (1990): 233-287.
- JELLEN, B., ANIČIĆ, B., BREZIGAR, A., BUSER, S., CIMERMAN, F., DROBNE, K., MONOSTORI, M., KEDVES, M., PAVŠIČ, J. & SKABERNE, D. 1992: Model of positional relationship for Upper Paleogene and Miocene strata in Slovenia. In: MONTANASI, A., COCCIONI R & ODIN, G.S. (eds.): Abstracts and field trips, 71-72. International Geological Conference on Miocene Epoch with Emphasis on Umbria-Marche Sequence, Ancona, Italy.
- MIOČ, P., ANIČIĆ, B. & ŽNIDARČIĆ, M. 1993: Pre-tertiary basement characteristics of the western border of Pannonian Basin in Slovenia. V: ERDELYI, G. & VETŐ, I. (eds.): Abstracts of papers, Hungarian Geol. Soc. (Budapest) p. 42.
- RAMOVŠ, A. & ANIČIĆ, B. 1995: Untertrias und Unteranis – Ausbildung im Mišnica-Tal, östlich von Rimske Toplice, Ostslowenien. RMZ (Ljubljana), 42/3-4: 143-155.
- ANIČIĆ, B. & RAMOVŠ, A. 1995: Antiklinala v Mestinju – zanimiv naravni spomenik. Proteus (Ljubljana) 57/ 8: 322.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1995: Rdeče alge – graditeljice sedimentov. Proteus (Ljubljana) 58/1: 26-30.
- ANIČIĆ, B. & RAMOVŠ, A. 1995: Prangerji na Kozjanskem. Proteus (Ljubljana) 58/1: 40-42.

- ŽNIDARČIČ, M. & ANIČIĆ, B. 1995: Geološke razmere med Halozami in Slovenskimi Goricami. *Geol. Zb. (Ljubljana)* 10: 76.
- ANIČIĆ, B. & RAMOVŠ, A. 1995: V Šmarju pri Jelšah postavili slovenski pranger *Homo humanus*. *Proteus (Ljubljana)* 58/4: 174-175.
- ANIČIĆ, B. & OGORELEC, B. 1996: Badenijski rodolit na Kozjanskem. *Geologija (Ljubljana)* 37/38 (1994/95): 225-249.
- RAMOVŠ, A. & ANIČIĆ, B. 1997: Počerenski slap na Gračnici. *Proteus (Ljubljana)* 60/3: 140.
- ANIČIĆ, B. & RAMOVŠ, A. 1997: Ložanski peščenjak z Maclja. *Proteus (Ljubljana)* 60/ 4: 167-171.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1998: Nanoplanktonska stratigrafija oligocenskih in miocenskih plasti na Plohovem bregu pri Podčetrtku (Vzhodna Slovenija). *Razprave SAZU, VI. Razreda (Ljubljana)* 39/2: 55-79.
- DOZET, S., RIJAVEC, J., ANIČIĆ, B., ŠKERLJ, Ž. & STOJANOVIČ, B. 1998: Neogene beds of the Krško – Brežice plain and its borderland (southeastern Slovenia). *RMZ-M&G (Ljubljana)* 45/3-4: 375-404.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1998: Časovna krogla. *Gea (Ljubljana)* 7/11: 65.
- ANIČIĆ, B. 1998: Vunduški peščenjak namesto ptujskogorski peščenjak – zahodne Haloze. *Geologija (Ljubljana)* 41: 103-108.
- ANIČIĆ, B. & RAMOVŠ, A. 1999: Kamen in kamniti portali na Kozjanskem. *Proteus (Ljubljana)* 61/6: 252-259.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1999: Okamneli raki dvo-klopniki. *Gea (Ljubljana)* 9/11: 67.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1999: Ostanek orjaka : paleontologija. *Gea (Ljubljana)* 9/2: 65.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 1999: S pentaliti bogate spodnjemiocenske plasti v profilu Plohov Breg pri Podčetrtku (Kozjansko, Vzhodna Slovenija). *Razprave SAZU, VI. Razreda (Ljubljana)* 40/4: 57-65.
- ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 2000: Mlajše paleozojske in mezozojske kamenine na severnem obrobju Krške kotline. *Geologija (Ljubljana)* 43/1: 13-35.
- DOZET, S. & ANIČIĆ, B. 2000: Pre-Tertiary basement of the Krško depression. *RMZ-M&G (Ljubljana)* 47/1: 27-55.
- RAMOVŠ, A. & ANIČIĆ, B. 2000: Repnice – posebnost Bizeljskega. *Proteus (Ljubljana)* 62/5: 229-230.
- ANIČIĆ, B. 2000: Mehanske ali klastične sedimentne kamnine : kamninska dediščina Slovenije. *Proteus (Ljubljana)* 63/2: 84-87.
- PAVŠIČ, J. & ANIČIĆ, B. 2000: Lower miocene *Brarudosphaera* – and *Micrantholithus* – rich layers of eastern Slovenia. *J. Nannoplankton Res.*, 22/2, 130-131.
- RAMOVŠ, A. , ANIČIĆ, B., PETROVIČ, A. & KLENOVŠEK, D. 2000: Naravne zanimivosti južnega pobočja Bohorja, Slapovi. Turistično društvo Senovo (Senovo) 1-38.
- ANIČIĆ, B., DOZET, S. & ŽNIDARČIČ, M. 2000: Correlation of Neogene beds in northeastern Slovenia. V: VLAHOVIČ, I. & BIONDIĆ, R. (eds.): 2. Hrvatski geol. kongr., Cavtat – Dubrovnik, Zbornik radova (Zagreb): 69-70.
- RAMOVŠ, A., ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 2001: Comparison of Lower Triassic developments in eastern Sava Folds and northern Julian Alps (Slovenia). *RMZ-M&G (Ljubljana)* 48/3: 415-432.
- ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 2001: Skitske plasti na Orlici (Posavske gube). V: HORVAT, A. (ur.). Povzetki referatov, Geološki zbornik NTF (Ljubljana) 16:1.
- ANIČIĆ, B., DOZET, S. & RAMOVŠ, A. 2001: Development of the Scythian series in the Orlica anticline area (Sava folds). *Acta carsol. (Ljubljana)* 30/1: 85-96.
- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B., KRALJ, P. & MIŠIČ, M. 2002: Litološke značilnosti terciarnih plasti na Kozjanskem. *Geologija (Ljubljana)* 45/1: 213-246.
- PLANJŠEK, M., MIRTIC, B. & ANIČIĆ, B. 2002: Naravovarstveno vrednotenje nahajališč miocenskih sedimentnih kamnin v kamnolomih severovzhodne Slovenije. *Geologija (Ljubljana)* 45/2: 485-492.
- ANIČIĆ, B. & DOZET, S. 2002: Development of the Anisian stage in the Orlica anticline area and Kozjansko (eastern Sava Folds). *RMZ-M&G (Ljubljana)* 49/1: 117-129.
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2002: Sedimentne kamnine ali usedline, Lapor in laporovec. *Proteus (Ljubljana)* 65/2: 77-81.
- ANIČIĆ, B. 2002: Sedimentne kamnine ali usedline, Dolomit. *Proteus (Ljubljana)* 64/7: 316-319.
- ANIČIĆ, B. & MIKUŽ, V. 2003: Hotaveljčan skozi čas. *Proteus (Ljubljana)* 65/8: 379.
- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B., KRALJ, P. & MIŠIČ, M. 2003: Poročanje ali dokazovanje: jezikovni problem ali kaj več? Odgovor, *Geologija (Ljubljana)* 46/2: 459-460.
- ANIČIĆ, B. & MIKUŽ, V. 2003: Podpeški in črni ter pisani lesnobraški apnenec skozi čas. (recenzija). Avtor knjige: Anton Ramovš. Izdal: Mineral d.d., Ljubljana. *Proteus (Ljubljana)* 65/9-10: 465-466.
- ANIČIĆ, B. & MIKUŽ, V. 2003: Barviti trogkofelski apnenec Dovžanove soteske – lepotni spev narave. (recenzija). Avtor knjige: Anton Ramovš. Izdala Občina Tržič. *Proteus (Ljubljana)* 65/9-10: 467.
- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B. & DOZET, S. 2004: Geološka karta Kozjanskega 1: 50.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- ANIČIĆ, B. & MIKUŽ, V. 2004: Osemdesetletnica profesorja dr. Antona Ramovša. *Proteus (Ljubljana)* 67/4: 163-169.
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2004: Prof. dr. Anton Ramovš, 80-letnik. Delo (Ljubljana) 23. dec., 19.
- ANIČIĆ, B. & PAVŠIČ, J. 2004: Geološka učna pot Kozjanski park Rudnica/Virštajn: vodnik po geološki učni poti. Kozjanski park (Podsreda) 1-95.
- ANIČIĆ, B. & PAVŠIČ, J. 2004: Geološka učna pot Kozjanski park Rudnica/Virštajn. Kozjanski park, Podsreda (zgibanka).
- ANIČIĆ, B. & OBLAK, K. 2005: Budinaž v plasteh srednjemiocenskih kamnin na Kozjanskem. *Proteus (Ljubljana)* 67/5: 224-225.

- Mikuž, V. & Aničić, B. 2005: Osemdeset let zaslužnega profesorja dr. Antona Ramovša. Društvene novice (Tržič) 32: 5-8.
- ANIČIĆ, B. & OGORELEC, B. 2006: Geološka karta Kozjanskega 1 : 50.000. V: REŽUN, B. (ur.): 2. Slov. geol. kongr. Idrija, Zbornik povzetkov. Idrija: Rudnik živega srebra v zapiranju, p. 35, Idrija.
- ANIČIĆ, B., JERŠEK, M. & PAJTLER, F. 2006: Minerali na južnem pobočju Rudnice in v bližnji okolici. V: JERŠEK, M. (ur.): Mineralna bogastva Slovenije, (Scopolia, Supplementum), Prirodoslovni muzej Slovenije (Ljubljana) 3:132-135.
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2006: Pisani kamen s Kordrastega vrha na Jelovici. Proteus (Ljubljana) 69/3: 133-135.
- ANIČIĆ, B. 2007: Geološka zbirka Osnovne šole XIV. divizije Senovo. Osnovna šola XIV. divizije Senovo in Turistično društvo Senovo, Senovo (zgibanka).
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2007: Zob antrakoterija iz oligocenskih (egerijskih) skladov premogovnika Senovo. Geologija (Ljubljana) 50/2: 285-292.
- ANIČIĆ, B., KRAJNC BRODAR, V., KUNAVAR, D., MESSAR, S., MIKUŽ, V., OGORELEC, B., SVETINA, J. & ŠTEMBAL CAPUDER, M. 2008: Društvo ljubiteljev slovenskega naravnega kamna : prvih pet let, 2003-2008. Ljubljana: *Društvo ljubiteljev slovenskega naravnega kamna*, 57 str., Ljubljana.
- ANIČIĆ, B. & KUNST, M. 2008: Geološka zgodovina – Kozjanski park. Kozjanski park, Podsreda (zgibanka).
- ANIČIĆ, B. & PETROVIČ, A. 2008: Geološka zgradba in geološke zanimivosti Bohorja. Turistično društvo Senovo (Senovo) 1-83.
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2009: Renato Vidrih: Potresna dejavnost zgornjega Posočja. Proteus (Ljubljana) 71/6: 275-276.
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2009: Anton Ramovš: Peračiški zeleni kamen. Pomnik mnogih gorenjskih cerkva in domačij (recenzija). Proteus (Ljubljana) 71/9-10: 464-465.
- MIKUŽ, V. & ANIČIĆ, B. 2009: Renato Vidrih: Nemirna zemlja. Ob 50-letnici moderne seizmologije na Slovenskem (recenzija). Proteus (Ljubljana) 72/1: 34-38.

V spomin akademiku prof. dr. Stanku Grafenauerju



Akademik prof. dr. Stanko Grafenauer se je rodil 13. maja 1922 v Ljubljani. Leta 1941 se je vpisal na rudarski odsek Tehniške fakultete Univerze v Ljubljani, a je njegov študij prekinila vojna. Več kot leto dni je preživel v internaciji v Gonarsu in Monigu. Po končani 2. svetovni vojni je s študijem nadaljeval in ga uspešno zaključil leta 1948.

Svojo strokovno pot je kot inženir rudarstva začel s krajšim službovanjem v Mežici, od koder ga je pot vodila v Makedonijo. Tam je prvih pet let delal kot tehnični vodja v rudniku kroma Raduša in potem na Geološkem zavodu LR Makedonije v Skopju. Želja po nadgrajevanju svojega znanja ga je vodila v Beograd, kjer je na univerzi leta 1955 dosegel naziv doktorja tehniških znanosti. Po vrnitvi v Slovenijo je med leti 1955 in 1961 ponovno služboval v Mežici. Že v teh prvih letih se ni omejil le na delo rudarskega inženirja, temveč je začel sistematično proučevati tako nastanek kromitnih rudišč in genezo peridotitov v Makedoniji, kot tudi najrazličnejšo problematiko povezano z rudnikom Mežica. Svoja dognanja je zapisal v člankih, objavljenih v Rudarsko metalurškem zborniku in

Geologiji. Dobro poznavanje svinčevo-cinkovega orudjenja mu je odprlo vrata v svet in s svojimi deli je prispeval k poznavanju podobnih rudišč v Vzhodnih Alpah.

Svoje znanje rudne mikroskopije in zlasti rentgenografije je izpopolnil v Heidelbergu. Leta 1959 je bil na Fakulteti za rudarstvo, metalurgijo in kemijsko tehnologijo izvoljen v naziv docenta za predmet Nauk o rudiščih, čez dve leti pa v isti naziv tudi na Katedri za mineralogijo in petrografijo pri Odseku za geologijo na Oddelku za montanistiko. S tem je postal eden izmed utemeljiteljev sodobnega študija geologije na ljubljanski univerzi. Leta 1965 je bil izvoljen za izrednega in 1970 za rednega profesorja kristalografije, mineralogije in laboratorijskega preiskovanja mineralov.

Generacije študentov, ki smo profesorja Grafenauerja poznali, je navdušil s svojim elanom in hitrostjo. Predvsem slednja nas je plašila ali zmedla, saj včasih nismo mogli slediti njegovim mislim. Veljal je za strogega in korektnega profesorja in vedeli smo, da bo naše znanje ocenjeno nepristransko. Po tistem smo se ga bali vse do terenskih vaj na Pohorju, kjer nam je s svojo neposrednostjo razkril tudi prijateljsko plat.

Krajše obdobje je bil predstojnik Oddelka za montanistiko. Od 1966 do 1976 je bil podpredsednik centra za kristalografijo pri JAZU v Zagrebu. V tem obdobju je opravljal tudi dolžnost mentorja pri podiplomskem študiju fakultete za rudarstvo, nafto in geologijo v Zagrebu za predmet kristalografija. Od julija 1973 do julija 1974 je bil gostujoči profesor na univerzi Purdue, West Lafayette, ZDA, kjer je predaval o kvantitativnih merjenjih z mikroskopom v odsevni in presevalni svetlobi ter izbrana poglavja o rudnih nahajališčih vzhodne Evrope. Ostal je zvest proučevanju rudišč, tako svinčevo-cinkovih, kot tudi nikljevih, kromovih, železovih ter kositrovo-antimonovih, zanimanje pa je razširil še na področje mineralogije in petrologije. V raziskavah je standardne optične metode nadgrajeval s kemijskimi. Raziskave mineralov s pomočjo elektronske mikroskopske so vodile do odkritij številnih redkih mineralov v Jugoslaviji. S skupino sodelavcev je uvažal metodo raziskave površine vzorcev kamnin in rud s povratno sipanimi β -žarki. Med prvimi se je lotil reševanja geoloških problemov z, za takratni čas, novim pristopom računalniškega programiranja. Bil je eden redkih, ki so leta 1965/66 sodelovali v skupini za mikroskopske raziskave vzorcev z Lune, pri čemer je pri določanju mineralov uporabljal tudi mikrosondo in rentgenski difraktometer.

Leta 1972 je kot priznanje za svoje raziskovalne dosežke dobil nagrado sklada Borisa Kidiča. Leta 1973 je postal izredni in 1981 redni član Slovenske akademije znanosti in umetnosti. Od leta 1981 dalje je bil sedem let tajnik razreda za naravoslovne vede.

Delo prof. Grafenauerja je zapisano v nad 80 znanstvenih in strokovnih sestavkih, 14 samostojnih publikacijah ter v nad 30 poljudnoznanstvenih sestavkih v domačih in tujih revijah. Napisal je okrog 280 recenzij za RMZ Rudarsko-metalurški zbornik in okrog 210 povzetkov iz 34 periodičnih publikacij za Zentralblatt für Mineralogie (Clausthal-Berlin). Tudi tisti, ki prof. Grafenauerja niso osebno poznali, so se srečali z njim preko učbenikov za kristalografijo, mineralogijo in petrologijo. S svojimi deli bo vedno ostal zapisan v slovenski geologiji. Stanko pa ni bil vdan samo stroki. Redki vedo za nežno plat njegove osebnosti, ki jo je predstavljala glasba, vendar zanjo nikdar ni imel dovolj časa. To ljubezen je prenesel na hčerko Ireno ter postal njen vsestranski vodnik. Nikdar ni prebolel udarca, ko je izvedel za njeno težko bolezen. Dinamično in pogosto težko življenje se je v zadnjih letih odrazilo na njegovem zdravju. Po hudi bolezni bi moral dlje časa počivati, toda kaj, ko tega ni bil varen. Namesto mirovanja je našel čas

za svojo drugo skrito strast, kulinariko. Plod tega »počitka« je bogata kuharska knjiga »Kuhinja naše družine«. Preko nje bo ostal z nami Stanko oče, sopro, prijatelj. Ostal bo živ njegov optimizem, vedri nasme, kuharski predpasnik in keramični vrček piva, s katerim je nazdravljajal polnosti življenja.

*Nina Zupančič
Mirka Trajanova*

**Akademik prof. dr. Stanko Grafenauer
pomembnejša bibliografija**

- GRAFENAUER, S. 1956: Diskusija k članku Nahajališča kromita skupine Raduša. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 3: 53-56.
- GRAFENAUER, S. 1956: Geologija in nastanek kromnih rudišč Raduša. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 3: 81-105.
- GRAFENAUER, S. 1957: Študije z jugoslovanskimi eksplozivi v rudniku Mežici. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 4: 43-57.
- GRAFENAUER, S. 1957: Mineraloško kemične značilnosti in sekundarne spremembe kromitov Makedonije. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 4: 227-251.
- GRAFENAUER, S. 1956: Nekateri novejši izsledki za stratigrafsko uvrstitev peridotitov Makedonije. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 5: 169-186.
- GRAFENAUER, S. 1958: O nastopanju svinčevih, cinkovih in molibdenovih orudenj v Mežici. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 5: 263-294.
- GRAFENAUER, S. 1959: Redki prirodni svinčevi oksidi v Mežici = Seltene natürliche bleioxyde in Mežica (Jugoslawien). Geologija. (Ljubljana) 5: 56-62.
- GRAFENAUER, S. 1959: Hidrotermalne raztopine, njihova narava in vrsta orudenja. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 6: 21-44.
- GRAFENAUER, S. 1959: Hidrogeologija in njena uporaba v Mežici. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 6: 259-288.
- GRAFENAUER, S. 1960: Aktualni problemi varnosti v rudniku Mežica. Delo in varnost 5/7(1955): 83-88.
- GRAFENAUER, S. 1960: Oksidne rude svinčevih in cinkovih orudenj Gorno (Bergamo-Italija) = Die Oxydationserze der Blei-zinklagerstätte Gorno bei Bergamo (Italien). Geologija (Ljubljana) 6: 279-285.
- GRAFENAUER, S. 1960: Halkografska raziskava rudnih mineralov kromnih ležišč in njihova genetska zveza. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 7: 25-46.
- GRAFENAUER, S. 1960: Izkušnje z uporabo vrtalnega jekla v Mežici. Tehnika (Beograd), 15/11: 1302-1309.
- GRAFENAUER, S. & BENEDIK, P. 1961: Razvoj in perspektive rudnika Mežica. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 8: 1-19.
- GRAFENAUER, S. 1961: Ekonomika ocenjevanja rudnih zalog v Mežici. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 8: 175-197.
- GRAFENAUER, S. & ŠTRUCL, I. 1961: Rudarske in geološke značilnosti rudnika Rabelj v Italiji. Rud. metal. zb., (Ljubljana) 8: 389-401.
- GRAFENAUER, S. 1962: Kristalografija : slike k tekstu.: Univerza v Ljubljani, (Ljubljana): 1 311.
- GRAFENAUER, S. 1962: Genesis of the East Alpine lead-zinc mineral deposits. Min. metall. q., 4: 5-15.
- GRAFENAUER, S. 1962: Geneza vzhodnoalpskih svinčevih in cinkovih nahajališč. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 9: 305-321.
- GRAFENAUER, S. 1963: Mineral paragenesis of Litiya and of the other Pb-Zn complex ore deposits in the Sava folds. Min. metall. q. 4: 59-75.
- GRAFENAUER, S. 1963: O mineralnih paragenezah Litije in drugih polimetalnih nahajališč v posavskih gubah. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 10: 245-260.
- GRAFENAUER, S. 1963: Petrologija. FNT Ljubljana 1-328, 60 prilog.
- GRAFENAUER, S. 1964: Sistematska petrologija: skripta. Univerzitetna založba (Ljubljana): III: 1-388.
- GRAFENAUER, S. 1964: Deposits of stibnite in Slovenia. Min. metall. q. 3: 37-50.
- GRAFENAUER, S. 1964: Najdišča antimonita v Sloveniji. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 11: 257-270.
- GRAFENAUER, S. 1965: The genetic classification of the lead and zinc deposits in Slovenia. Min. metall. q. 2: 35-42.
- GRAFENAUER, S. 1965: Genetska razčlenitev svinčevih in cinkovih nahajališč v Sloveniji. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 12: 165-171.
- GRAFENAUER, S. & STRMOLE, D. 1966: Texture and mineral composition of the Ržanovo nickeliferous iron ores. Min. metall. q. 1: 57-70.
- GRAFENAUER, S. & KOSOVINC, I. 1966: Optical investigation of the beta phase Sn-Sb. Min. metall. q. 3: 5-9.
- GRAFENAUER, S. & STRMOLE, D. 1966: Zlog in mineralna sestava nikljenosnih železovih rud Ržanova. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 13: 51-62.
- GRAFENAUER, S. & KOSOVINC, I. 1966: Optična študija faze beta Sn-Sb. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 13: 275-279.
- GRAFENAUER, S. 1967: Microscopic observation of fluorescence of Yugoslav sphalerites. Min. metall. q. 2: 5-10.
- GRAFENAUER, S. 1967: Mikroskopsko opazovanje fluorescence jugoslovanskih sfaleritov. Rud. metal. zb., (Ljubljana) 14: 81-86.
- GRAFENAUER, S. 1968: Garnets from the Kotlje village area in Carinthia. Min. metall. q. 1: 17-23.
- GRAFENAUER, S. 1968: Granati iz okolice Kotelja na Koroškem. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 15: 17-22.
- GRAFENAUER, S. 1969: On the triassic minerogenetic epoch in Yugoslavia. Min. metall. q. 3/4: 39-54.
- GRAFENAUER, S. 1969: O triadni metalogeni dobi v Jugoslaviji. Rud. metal. zb. (Ljubljana) 16: 353-364.

- GRAFENAUER, S. & STRMOLE, D. 1970: On the paragenesis and characteristics of Triassic ore deposits in Montenegro. *Min. metall. q.* 1: 19-38.
- GRAFENAUER, S. 1971: Recent results on Alpine type chromite deposits. *Min. metall. q.* 1: 5-14.
- GRAFENAUER, S. 1971: Novejša dognanja o alpinotipnih kromovih rudiščih. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 18: 1-10.
- GRAFENAUER, S. & MIRTIC, B. 1972: Unusual wulfenite crystals from Mežica. *Min. metall. q.* 4: 5-6.
- GRAFENAUER, S. & MIRTIC, B. 1972: O nenavadnih kristalih wulfenita iz Mežice. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 19: 329-330.
- GRAFENAUER, S., DUHOVNIK, J. & HINTERLECHNER-RAVNIK, A. 1972: Mineraloško petrološko izrazoslovje, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo (Ljubljana): 1-275.
- GRAFENAUER, S., MAKSIMOVIĆ, Z. & STRMOLE, D. 1973: Odvisnost med optičnimi lastnostmi rogovače in njeno kemično sestavo. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 20: 5-43.
- GRAFENAUER, S. 1974: Kristalografija. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo (Ljubljana): 1-364.
- GRAFENAUER, S. 1975: Rudna petrologija ultramafičnih kamnin Jugoslavije = Ore petrology of ultramafic associations in Yugoslavia. *Dela, SAZU (Ljubljana)* 22:1-151.
- GRAFENAUER, S. 1977: Nastanek kromita v alpinotipnih ofiolitih I. *Tehnika (Beograd)* 28: 1899-1907.
- GRAFENAUER, S. & DUHOVNIK, J. 1977: Sistematska mineralogija. Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo (Ljubljana): 1-260, 30 str. prilog.
- GRAFENAUER, S. 1978: Triadne magmatske kamnine na Slovenskem. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 25: 3-15.
- GRAFENAUER, S. 1978: Nastanek kromita v alpinotipnih ofiolitih II. *Tehnika (Beograd)* 29: 51-52.
- GRAFENAUER, S. 1980: Petrologija triadnih magmatskih kamnin na Slovenskem = Petrology of Triassic igneous rocks in Slovenia (Yugoslavia), Dela, SAZU (Ljubljana) 25: 1-220.
- GRAFENAUER, S. 1980: Uporaba žepnega računalnika TI-59 znamke Texas Instruments za programiranje v geologiji. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 27: 107-127.
- GRAFENAUER, S. & DUHOVNIK, J. 1980: Vpliv geologije na svetovni nazor. *Naši razgledi (Ljubljana)* 29: 71-72.
- GRAFENAUER, S. 1981: Geologija, njen razvoj in njen pomen danes. *Naši razgledi (Ljubljana)* 30: 258-259.
- GRAFENAUER, S., LESKOVAR, P., PREGL, G. & RANT, J. 1981: Radiografija s povratno sipanimi žarki beta pri topografski raziskavi površine vzorcev kamnin in rud. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 28: 3-23.
- GRAFENAUER, S., DUHOVNIK, J. & STRMOLE, D. 1981: Magmaške kamnine v zahodnih Karavankah. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 28: 127-150.
- GRAFENAUER, S., DUHOVNIK, J. & STRMOLE, D. 1983: Triadne magmaške kamnine vzhodne Slovenije = Triassic igneous rocks from eastern Slovenia. *Geologija (Ljubljana)* 26: 189-241.
- GRAFENAUER, S. 1984: Akademik Ivan Rakovec 85 letnik. *Razprave SAZU, Razr. naravosl. Vede (Ljubljana)* 25: I-IV.
- GRAFENAUER, S. 1984: Triadne predornine na Dolenjskem. *Rud. metal. zb. (Ljubljana)* 31: 350-361.
- GRAFENAUER, S. 1985: Akademik Ivan Rakovec : in memoriam, *Naši razgledi (Ljubljana)* 34: 475.
- GRAFENAUER, S. 1985: Mineralne surovine, (Srednje izobraževanje). 1. natis. Tehniška založba Slovenije (Ljubljana): 1-294.
- GRAFENAUER, S. 1986: Nastanek triadnih magmatskih kamnin na Slovenskem = Origin of Triassic igneous rocks in Slovenia. V: GRAFENAUER, S. (ur.), PLENIČAR, M. (ur.), DROBNE, K. (ur.), Zbornik Ivana Rakovca, *Razprave, SAZU (Ljubljana)* 26 (1985): 387-399.
- GRAFENAUER, S. 1986: Mineralne surovine, (Srednje izobraževanje). 1. nat.: Tehniška založba Slovenije (Ljubljana):1-297.
- GRAFENAUER, S. 1986: Ivan Rakovec : ob njegovi 85-letnici. V: GRAFENAUER, S. (ur.), PLENIČAR, M. (ur.) & DROBNE, K. (ur.): Zbornik Ivana Rakovca, *Razprave, SAZU (Ljubljana)* 26 (1985): 7-14.
- GRAFENAUER, S. 2002: Razvoj triadnih magmatskih kamnin v Sloveniji = The evolution of Triassic igneous rocks in Slovenia. *Razprave SAZU., Razr. naravosl. Vede (Ljubljana)* 43/1: 3-41.
- GRAFENAUER, S. 2002: Kuhinja naše družine : izbor receptov za vse priložnosti. Mladinska knjiga (Ljubljana): 1-438.

Contents and spatial distributions of chemical elements in soil at the ancient roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia)

Vsebnosti in prostorske razporeditve kemijskih prvin na območju nekdanje žgalnice živega srebra Pšenk (Idrijsko, Slovenija)

Tamara TERŠIČ

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

Prejeto / Received 18. 8. 2010; Sprejeto / Accepted 12. 10. 2010

Key words: geochemistry, soil, ore roasting, Pšenk, Idrija, Slovenia

Ključne besede: geokemija, tla, žgalnice, Pšenk, Idrija, Slovenija

Abstract

Analysis for 35 chemical elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn) was performed in soil and SOM (soil organic matter; 0–5 cm) at the ancient roasting site Pšenk in the surroundings of Idrija, which is highly contaminated with Hg. It was estimated that natural values of Al, Ba, Fe, K, Mn, Ni and Zn show normal distribution, while for the elements As, Au, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mg, Mo, P, Pb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U in V the logarithms of elemental contents were considered normally distributed. Contents of the analyzed elements in the sampling material are mostly within the normal values for soils as also within Slovenian and European averages for soil. High contents of As were determined in soils from investigated roasting site, reaching as much as 122 mg/kg in the depth of 5–20 cm. Additionally Cd, Mo, Pb and U contents in the soil (5–20 cm) are higher compared to natural soils. Cd and Mo show somewhat increased contents also in SOM from studied roasting site.

Izvleček

Na nekdanjem žgalniškem območju Pšenk v bližini Idrije, ki je močno onesnaženo z živim srebrom, smo v vzorcih tal in SOM (vrhnji, z organsko snovjo bogat sloj tal; 0–5 cm) določali vsebnost 35 kemijskih prvin (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn). Ugotovljeno je bilo, da normalni porazdelitvi ustrezajo naravne vrednosti Al, Ba, Fe, K, Mn, Ni in Zn. Za ostale prvine (As, Au, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mg, Mo, P, Pb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U in V) se logaritmizirane vrednosti bolje prilegajo normalni porazdelitvi. Vsebnosti obravnavanih prvin so večinoma istega reda velikosti kot ocenjena slovenska in evropska povprečja za tla. V obravnavanih tleh smo določili visoke vsebnosti As, ki v globini 5–20 cm dosežejo vrednost 122 mg/kg. Povišane so tudi vsebnosti Cd, Mo, Pb in U v tleh (5–20 cm). Cd in Mo kažeta nekoliko povišane vsebnosti tudi v SOM iz obravnavanega območja.

Introduction

Pšenk is one out of 21 localities of ancient ore roasting sites in the woods surrounding Idrija, where mercury ore was roasted in the first 150 years (16th and first half of 17th century) of mercury production in Idrija (ČAR & TERPIN, 2005; GOSAR & ČAR, 2006; KAVČIČ, 2008). It is located about 2 km south-west from Idrija, on flattened surface at Lačna voda stream below Hlevišje hill, above its confluence with the Padar ravine.

The detailed study on mercury contents in soils at the area of former roasting site and its surroundings, on approximately 210 x 180 m big area (TERŠIČ & GOSAR, 2009; TERŠIČ, 2010), has shown that the ancient roasting site Pšenk and its surroundings are highly contaminated with Hg. The estab-

lished median Hg content in soils (5–20 cm) of the investigated area is 70 mg/kg (5.5–8,600 mg/kg). In SOM (surface organic matter rich soil layer; 0–5 cm) the Hg contents ranged between 1.4 and 4,200 mg/kg with the median of 20 mg/kg. The highest Hg values were found in soil (5–20 cm) of supposed past roasting processes (approximately 40 x 50 m big area), where the determined median was 695 mg/kg (60–8,600 mg/kg). Spatial distributions of mercury in soil and SOM of the investigated area show the highest Hg concentrations in the central flat regions. On approximately 14 ha (37 % of studied area) the area is highly polluted (> 100 mg/kg Hg in soil). The contents decrease rapidly with the distance from this area although the anomaly in soil is continuing over the eastern margin of studied area. Extremely elevated Hg

concentrations in investigated soils are related to considerable losses of Hg during ore processing (spillages of liquid mercury and atmospheric emissions) and the possible presence of numerous Hg compounds in waste material (discarded roasting vessels and unroasted ore residues) (TERŠIČ, 2010).

Beside extremely elevated Hg contents in soils of investigated areas, the contents of 35 other elements were also analyzed in order to define their contents and spatial distribution in soil (and SOM) in researched area and to establish increased values of any of these elements. In this paper results of multielement analyses and major soil characteristics at the area of ancient roasting site Pšenk are presented.

Materials and methods

Soil (5–20 cm) and SOM (0–5 cm) samples were collected from 73 sampling points on approximately 210 x 180 m big area. At the supposed roasting site area (40 x 50 m big area in the central part of investigated area) soil samples in two depths were taken (5–20 cm and 20–30 cm). Sampling locations (Fig. 1) and the distribution of Hg concentrations in soil and SOM are given in the preliminary geochemical study at the Pšenk roasting site (TERŠIČ & GOSAR, 2009).

Determination of soil and SOM pH

Soil pH is a measure of the acidity or alkalinity of the soil solution. It affects the health of microorganisms in the soil and controls the availability of nutrients and trace elements in the soil solution. A number of compounds contribute to the development of acidic and basic soil reactions. Inorganic acids and organic acids, produced by the decomposition of soil organic matter, are common soil constituents that may affect soil acidity. The H^+ ions may be present in soils as adsorbed H^+

ions on the surface of the colloidal complex, or as free H^+ ions in the soil solution. The portion of H^+ ions adsorbed by the clay complex becomes exchangeable H^+ ions. The exchangeable H^+ ions dissociate into free H^+ ions, and the amount adsorbed is usually in equilibrium with the amount free in solution. The types of H^+ ions and the degree of ionization and dissociation into the soil solution determine the nature of soil acidity. The adsorbed or exchangeable H^+ ions are the reason for the development of *potential*, *reserve* or *exchangeable acidity* that can be measured by addition of an excess of extracting cation such as K^+ or Ca^{2+} . The free H^+ ions create the *active acidity*. Taking together, the active and exchangeable acidity make up the total soil acidity (TAN, 1998).

Soil pH is the most important parameter influencing metal-solution and soil-surface chemistry. The number of negatively charged surface sites increases with pH. In general, heavy metal adsorption is small at low pH values. Adsorption then increases at intermediate pH from near zero to near complete adsorption over a relatively small pH range; this pH range is referred to as the pH-adsorption edge. At high pH values, the metal ions are completely removed (BRADL, 2005).

A standard measurement of soil pH in $CaCl_2$ is probably the most commonly used method to characterize soil pH. The use of $CaCl_2$ has some advantages for pH measurements (SWYNGEDOUW & LESSARD, 2007): (1) the pH is not affected within a range of the soil to solution ratios used, (2) the pH is almost independent of the soluble salt concentrations for non-saline soils, (3) because the suspension remains flocculated, errors due to the liquid junction potential are minimized, (4) no significant differences in soil pH determination are observed for moist or air-dried soil and (5) one year of storage of air-dried soil does not affect the pH.

The acidity of soil samples was determined electrometrically using pH meter MA 5735 after addition of 25 ml of 0.01 M $CaCl_2$ solution to 10 g of



Fig.1. Location of Pšenk roasting site area with sampling locations

fresh sample. For SOM samples 125 ml of 0.01 M CaCl_2 solution was added to 10 g of fresh sample.

Multielemental analysis

The powdered soil samples were submitted for chemical analysis to ACME Analytical Laboratories in Vancouver (Canada) accredited under ISO 9001:2000. Analysis for 35 chemical elements (Ag, Al, As, Au, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Se, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn) was performed with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) after aqua regia digestion.

The accuracy and analytical precision of the analytical methods were verified against standard reference materials (standards GXR-2 (Park City, Summit Co., Utah), GXR-5 (Somerset Co., Maine), GXR-6 (Davidson Co., North Carolina) and SJS-1 (San Joaquin Soil) (Abbey, 1983; Epstein, 1990) and duplicate samples in each analytical set. The shipment of samples, duplicates ($n=30$) and geological standards ($n=7$) to the laboratory was carried out in a random succession to distribute evenly any errors due to laboratory performance. This procedure ensured an unbiased treatment of samples and a random distribution of possible drift of analytical conditions for all samples. Objectivity was assured through the use of neutral laboratory numbers.

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

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

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

Most elements determined in standards differ on average by less than 15 % from their recommended values in the sample concentration range. Higher average deviations have only Au (16.1 %) and Cr (15.4 %).

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

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

The precision of analytical determinations is acceptable; repeatability is not so good only for Au, Cd, Cr, Cu, Se and Tl, at which P exceeds 20 %. The reliability of analytical procedures was considered adequate for using the determined elemental contents in further statistical analyses.

Statistical analysis

In order to better describe and interpret analytical results, descriptive statistics (mean, median, standard deviation, first and third quartile, maximum, minimum, frequency histogram and Kolmogorov and Lilliefors test for normality) were determined using Statistica 6.1 software to the database of soil and SOM samples results. Although 35 elements were analysed, only 29 were considered in the statistical analysis. The rest of variables (Ag, B, Na, S, Sb and W) were excluded for having more than 30 % of observations below the method's detection limit and for not being considered relevant for this study.

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

Mapping/Kriging

Data analysis and production of maps were performed on a PC using the Statistica (ver. 6.1; StatSoft, Inc., USA), Autocad (ver. 2000) and Surfer (ver. 8.0; Golden Software, Inc., Colorado) software. The universal kriging with linear variogram interpolation method (DAVIS, 1986) was applied to construct the maps of areal distribution of Hg in SOM and soil (5–20 cm). For class limits the percentile values of the Hg distribution in investigated samples were chosen. Seven classes of the following percentile values were selected: 0–10, 10–25, 25–40, 40–60, 60–75, 75–90 and 90–100.

Results and discussion

Soil characteristics

The prevailing soil types are Cambisols with typical A-B-C/R layers sequence. Visibly observed, soils are generally rich in organic matter to the depth of 30–40 cm; deeper the clayey loam prevails. Soils are variable in depth; depth to the parent material is mainly about 50 cm, but tongues extend to depths of 1 meter and more. At the surface there is a loose leafy litter resting on a brown granular horizon containing numerous earthworms. Boundaries between A and B horizon are mostly gradual and irregular. B horizon changes horizontally from location to location from dark brown loose and sandy to light brown firmly and loamy. These changes are observed also with depth in soil profile. In places A horizon is greyish brown mixture of organic and mineral material; this changes into a grey brown sandy layer, followed by a sharp change into a brown blocky or prismatic horizon with a high content of clay, then there is gradation to unaltered material. Soils are also characterized by the presence of many rock frag-

ments, from fine pebbles to stones, and by densely developed root-system, which aggravated digging and collecting of soil samples, especially deeper soil layers. Rock fragments are mostly sandstone, interchanging with dolomite. At the central investigated area soils are developed on waste material (pottery fragments and pieces of unroasted ore fragments).

pH in soil and SOM

The determined pH values in SOM samples from investigated area Pšenk range from 3.0 to 6.8 with the average of 4.7. At the roasting site area the average pH in SOM is 3.9 (range 3.3–6.5). In soils the pH values range between 3.1 and 7.1 with the average of 5.3 at the total investigated area and between 3.1 and 6.9 with the average of 4.8 at the supposed roasting site area. In soil samples of the narrow roasting site area the average pH of 4.5 (range 3.1–6.8) was determined in the depth of 5–20 cm, and 5.1 (3.4–6.9) in the depth of 20–30 cm (Table 1). Generally, pH on certain location is the lowest in SOM and it increases with depth in soil profile. Regarding the whole investigated area, pH values are lower in SOM and soils of the supposed roasting site area.

Table 1. pH values in SOM and soils of the investigated area at Pšenk locality

Area		Depth (cm)	n	pH (CaCl ₂)			
				Mean	Md	Min	Max
total investigated area	SOM		67	4.7	4.4	3.0	6.8
	soil	5–30*	89	5.3	5.5	3.1	7.1
		5–20	73	5.3	5.7	3.1	7.1
roasting site area	SOM		20	3.9	3.7	3.3	6.5
	soil	5–30*	38	4.8	4.3	3.1	6.9
		5–20	22	4.5	3.8	3.1	6.8
		20–30	16	5.1	5.0	3.4	6.9

Md = median, min = minimum, max = maximum

* all soil samples

The spatial distributions of pH in SOM and soil of the investigated area (Figs. 2 and 3) are quite similar. They both show the lowest values in the central lowland part of the investigated area, while higher values prevail on the northern and southern elevated regions.

Elemental contents in soils and SOM

The univariate statistical results for analysed elements in soils and SOM of studied roasting sites Pšenk are given in Table 2.

On the basis of the results of normality tests and visual inspection of distribution histograms for all elements in soil and SOM, as also with comparison of average and mean values with the median values it was estimated that natural values of the following elements show normal distribution: Al, Ba, Fe, K, Mn, Ni and Zn. For all the rest elements

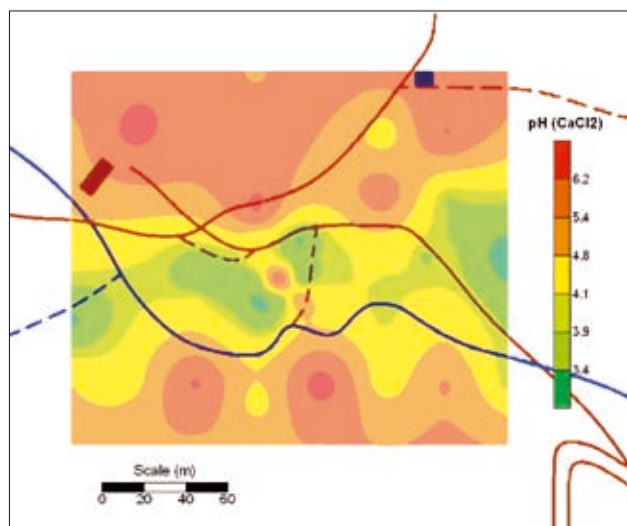


Fig. 2. Spatial distribution of pH (CaCl₂) in SOM at the roasting site Pšenk

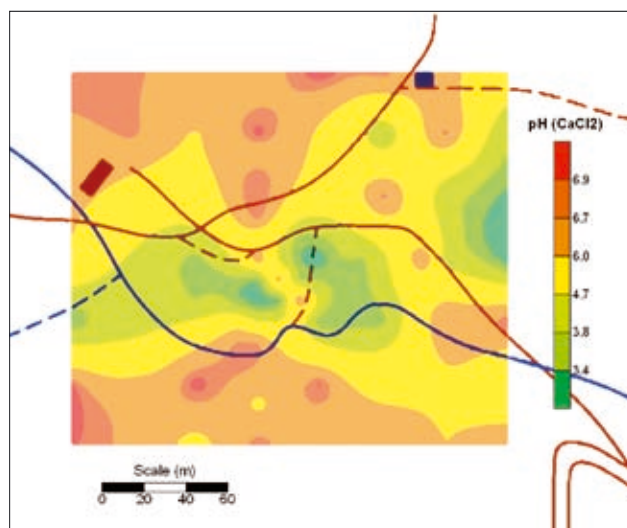


Fig. 3. Spatial distribution of pH (CaCl₂) in soil (5–20 cm) at the roasting site Pšenk

(As, Au, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, La, Mg, Mo, P, Pb, Sc, Se, Sr, Th, Tl, U and V) the logarithms of elemental contents were considered normally distributed.

Contents of the above mentioned chemical elements in the sampling material are, with some exceptions, within the normal values for soils (URE & BERROW, 1982 in BIDOVEC et al., 1998) as also within Slovenian (ŠAJN, 2003) and European (SALMINEN et al., 2005) averages for soil (Table 3). However, certain elements exhibit elevated and highly elevated concentrations in analyzed media. High contents of As were determined in soils from investigated roasting site, reaching as much as 122 mg/kg in the depth of 5–20 cm. Additionally Cd, Mo, Pb and U contents in the soil (5–20 cm) are higher compared to natural soils. Cd and Mo show somewhat increased contents also in SOM from studied roasting site.

It is unknown why these elements express elevated concentrations. Idrija ore deposit is classified as a monometal deposit (MLAKAR & DROVENIK, 1971); mercury is the only metal found in the

Table 2. Statistical parameters of elemental concentrations in soils and SOM at the Pšenk locality

	SOM (n=67)					soil (5-20 cm) (n=73)					soil (20-30 cm) (n=16)				
	Mean	Median	Min	Max	St.D.	Mean	Median	Min	Max	St.D.	Mean	Median	Min	Max	St.D.
Al	0.72	0.72	0.16	1.42	0.31	1.82	1.77	0.72	3.36	0.54	1.75	1.88	0.71	2.45	0.56
As	14.95	11.50	2.00	53.80	12.02	44.30	37.80	2.10	122.20	34.51	5.14	5.30	1.05	10.20	3.48
Au	28.65	3.10	0.50	299.80	64.69	27.85	2.00	0.30	667.40	105.72	31.99	14.30	1.00	117.35	40.78
Ba	32.98	31.50	11.00	62.00	10.83	38.95	40.75	11.00	85.00	16.00	25.17	19.00	2.00	64.00	20.60
Bi	0.39	0.30	0.10	3.60	0.43	0.55	0.50	0.20	1.20	0.19	0.47	0.35	0.10	2.00	0.44
Ca	1.17	0.89	0.20	5.25	0.93	2.38	0.83	0.01	11.96	3.07	1.53	0.51	0.02	8.63	2.71
Cd	0.70	0.70	0.20	1.50	0.27	1.06	1.00	0.10	4.00	0.74	1.32	0.55	0.20	9.10	2.22
Co	2.92	2.70	0.20	7.40	1.71	8.66	7.80	1.70	28.50	4.94	6.14	5.90	2.50	11.80	2.60
Cr	9.78	9.00	3.00	25.00	4.82	18.89	16.00	3.00	44.00	10.23	12.25	11.50	4.00	27.00	5.62
Cu	16.43	15.00	9.00	48.00	6.12	15.48	14.75	0.30	45.40	7.13	12.54	11.60	3.70	26.60	6.72
Fe	0.85	0.78	0.20	1.57	0.37	2.17	1.97	0.25	5.31	0.88	1.89	1.95	1.08	2.40	0.38
Ga	2.45	2.00	1.00	6.00	1.08	5.90	5.50	2.00	24.00	3.24	6.25	5.00	3.00	21.00	4.17
K	0.15	0.14	0.08	0.34	0.05	0.19	0.17	0.07	0.48	0.09	0.15	0.15	0.08	0.26	0.06
La	8.16	8.00	1.00	19.00	3.73	23.30	22.00	5.00	44.00	7.48	23.75	22.00	17.00	36.00	6.48
Mg	0.42	0.30	0.09	2.20	0.38	1.44	0.68	0.19	6.84	1.64	1.04	0.56	0.24	5.28	1.37
Mn	396.41	339.00	47.00	1025.00	228.27	757.26	712.00	48.00	2219.00	466.53	626.78	408.00	92.00	2348.00	581.44
Mo	9.88	4.30	0.60	74.25	13.79	23.69	10.00	1.10	170.50	33.01	11.89	4.70	1.20	79.40	19.71
Ni	9.36	8.80	2.70	17.90	3.88	18.83	16.30	3.80	39.20	10.42	10.14	9.15	4.70	19.70	4.50
P	0.07	0.07	0.05	0.12	0.01	0.04	0.04	0.01	0.10	0.02	0.03	0.03	0.02	0.06	0.01
Pb	65.56	59.80	21.60	427.40	48.31	57.47	56.90	3.30	112.70	16.69	39.78	41.50	25.40	56.10	9.06
Sb	1.46	1.30	0.40	4.40	0.68	1.66	1.30	0.35	9.70	1.44	0.69	0.60	0.20	1.50	0.38
Sc	1.22	1.05	0.10	4.70	0.88	2.65	2.40	0.60	5.10	1.23	2.26	1.55	1.00	5.00	1.44
Se	2.48	1.08	0.50	35.10	4.77	6.08	1.65	0.50	100.00	14.59	12.78	7.35	0.70	81.30	20.09
Sr	16.96	16.00	9.00	36.00	5.01	18.05	12.00	1.00	57.00	15.14	9.88	8.00	3.00	34.00	8.71
Th	1.41	1.43	0.20	3.70	0.73	4.47	4.50	1.15	9.20	1.51	4.42	4.50	1.80	6.40	1.31
Ti	0.44	0.30	0.10	4.00	0.53	0.77	0.70	0.20	4.30	0.56	0.69	0.50	0.20	3.20	0.72
U	2.87	1.30	0.10	24.75	5.42	7.33	3.75	0.90	69.90	11.85	6.52	1.83	1.00	39.10	11.26
V	39.16	28.50	5.00	159.00	32.80	118.18	66.00	2.00	2397.00	292.80	88.88	53.50	8.00	571.00	132.53
Zn	71.04	75.00	33.00	109.00	17.87	68.69	70.75	18.00	116.00	25.01	46.03	46.50	13.00	80.00	18.09

– Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P and Ti in %, Au in µg/kg, all the others elements in mg/kg

– Md = median, min = minimum, max = maximum, St.D. = standard deviation

Table 3. Slovenian averages of chemical elements in soil, overbank sediment and stream sediment and world averages for mudstone, limestone and soil

Element	Slovenia			Europe			World		
	Soil (0–5 cm)	Overbank sediment (n=142)	Stream sediment (n=129)	Soil (0–25 cm)	Overbank sediment	Stream sediment	Mudstone	Limestone	Soil
	(Šajn, 2003)	(Bidovec, 1998)	(Sotlar, 1995)	(Salminen et al., 2005)			(Turekian & Wedepohl, 1961)	(Bowen, 1979)	*(Ure & Berrow, 1982)
Al	6.9	5.18	6.62	11.1	10.4	10.4	8	0.7	6.7
Ca	0.7	5.82	1.98	0.922	2.07	2.44	2.2	34	2
Fe	3.5	2.77	3.04	1.69	3.33	3.57	4.7	1.7	3.2
K	1.6	1.17	1.48	1.92	2	2.01	2.7	0.3	1.8
Mg	0.7	2.31	0.83	0.77	1.2	1.2	1.5	0.6	0.8
Na	0.5	0.72	0.72	0.8	0.8	0.8	1	0.1	1.1
P	0.1	0.053	0.04	0.128	0.11	0.13	0.07	0.07	0.08
Ti	0.3	0.27	0.29	0.572	0.48	0.634	0.5	0.03	0.5
As	/	6.8	7	7.03	6	6	13	1	11.3
Ba	358	281	271	375	397	370	580	90	568
Cd	0.4	0.4	0.4	0.145	0.3	0.29	0.22	0.03	0.6
Ce	61.3	/	/	48.2	50.2	65.1	/	/	/
Co	16	10	12	7.78	7	8	19	0.1	12
Cr	90.9	60	66	60	59	64	90	11	84
Cu	30.6	19	23	13	17	17	45	5.1	26
Hf	1.4	/	/	5.55	4.51	8.11	/	/	/
La	32.1	24	28	23.5	24.9	31.9	40	4.1	30
Li	50.1	/	/	/	22.5	20.8	/	/	/
Mn	1054	606	695	650	710	770	850	620	760
Mo	0.8	/	/	0.62	0.62	0.6	/	/	/
Nb	8.3	5	7	20.8	21.3	27.6	18	0.3	15
Ni	49.5	32	37	18	22	23	68	7	34
Pb	41.7	21	22	22.6	22	21	20	5.7	29
Rb	107	/	/	80	71	70	/	/	/
Sb	1.1	0.4	0.4	0.6	0.74	0.64	1.5	0.3	1.7
Sc	12	10	13	8.21	/	/	13	1	10
Sr	77	104	98	89	131	124	140	610	278
Ta	0.6	/	/	0.68	0.83	1.01	/	/	/
Th	10.6	9	9	7.24	8	10	12	1.7	13
U	/	/	/	2	2	2	/	/	/
V	102	69	72	60.4	56	62	130	45	108
Y	17.3	12	12	21	20.1	24.9	41	3.8	50
Zn	124	78	81	52	65	71	95	20	60
Zr	38.5	28	42	231	215	386	160	20	345

– Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P and Ti in %, remaining elements in mg/kg

– * After BIDOVEC et al., 1998

Idrija ore deposit in economically important quantities, while other elements appear only in traces or insignificant quantities. Therefore high contents of above mentioned elements in studied soils are probably not the consequence of historical ore roasting, with the exception of uranium, whose increased concentrations might be the result of roasting extremely rich cinnabar ore from Skonca beds, which contain on average up to 7 times the average quantity of radioactive elements such as uranium, radium, thorium and potassium, and also radon as a consequence of radioactive decay (MLAKAR & DROVENIK, 1971).

Spatial distribution of chemical elements in soils and SOM

Contents of As and U in soil of studied roasting sites show interesting distribution patterns. Spa-

tial distributions of these elements in SOM and soil (5–20 cm) are shown on Figures 4 to 7.

Spatial distributions of As in SOM and soil (5–20 cm) from studied roasting site are very similar (Figs. 4 and 5). They both show the highest concentration at the northern and southern parts of investigated area, while the lowest values prevail in the central part, just the opposite from spatial distributions of Hg in SOM and soil (5–20 cm) from this area (TERŠIČ & GOSAR, 2009). High As concentrations in SOM (above 30.5 mg/kg) are continuing across NW margin and in soil (above 93.8 mg/kg) across NW and SW margins of investigated area.

The highest concentrations of U in SOM and soil (5–20 cm) from Pšenk roasting site (Figs. 6 and 7) appear in the centre of investigated area, with the highest anomaly at the region similar to the highest anomaly of Hg (TERŠIČ & GOSAR, 2009). High concentrations are then continuing in the medi-

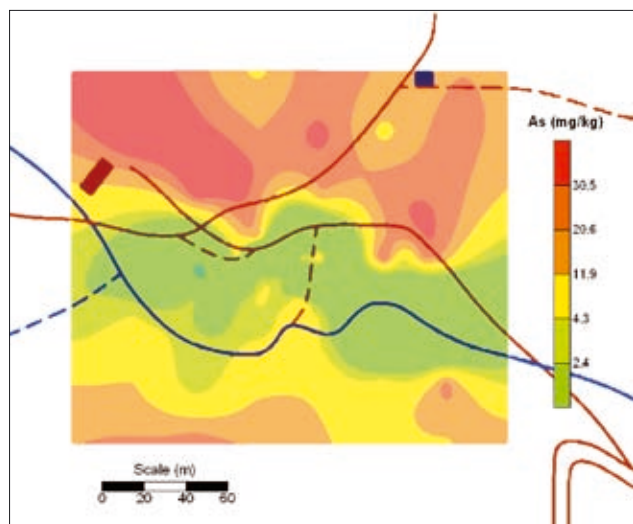


Fig. 4. Spatial distribution of As in SOM at the roasting site Pšenk

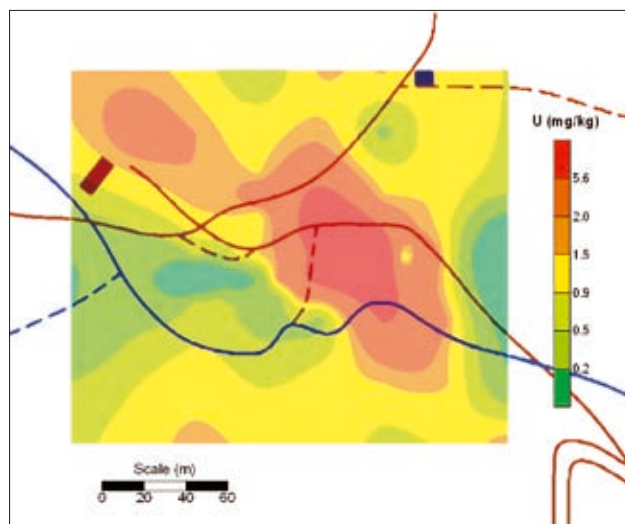


Fig. 6. Spatial distribution of U in SOM at the roasting site Pšenk

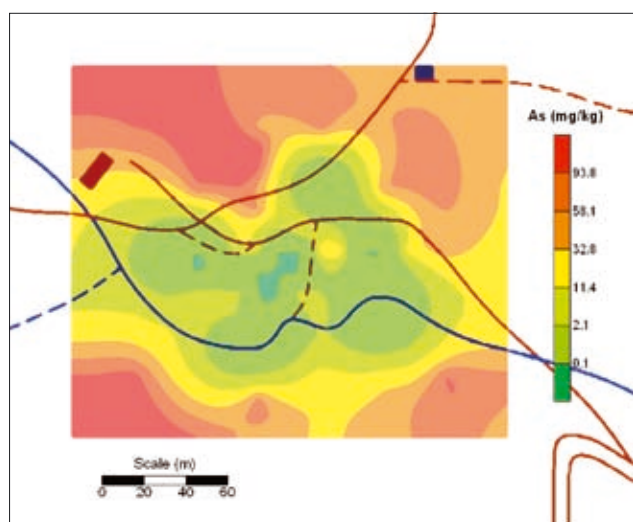


Fig. 5. Spatial distribution of As in soil (5–20 cm) at the roasting site Pšenk

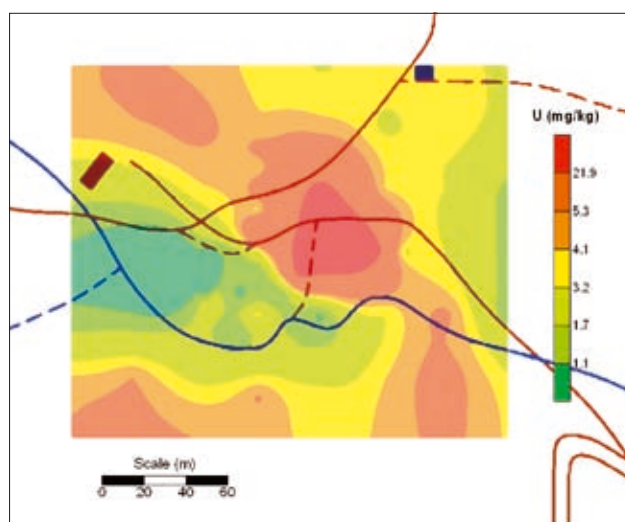


Fig. 7. Spatial distribution of U in soil (5–20 cm) at the roasting site Pšenk

um-sized zone towards the NW and SE. Interestingly, the lowest values prevail at the flat surface SE from the camper's cottage, where large amount of roasting vessels were found and highly elevated Hg contents were determined. This suggest that U is not linked only to roasting of ore from radioactive Skonca beds and that there might perhaps exist another source of elevated U in this area.

Acknowledgments

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

References

- ABBEY, S. 1983. Studies in "standard samples" of silicate rocks and minerals 1969–1982. Geological survey of Canada (Ottawa): 1–109.
- BIDOVEC, M., ŠAJN, R. & GOSAR, M. 1998: Uporaba recentnih poplavnih sedimentov v geokemičnem kartiranju Slovenije. *Geologija* (Ljubljana) 41: 275–317.
- BOWEN, H. J. 1979: Environmental chemistry of the elements. Academic Press (London): 1–318.
- BRADL, H.B. 2005: Heavy Metals in the Environment. Elsevier academic press: University of Applied Sciences Trier, Germany (Neubrucke): 1–269.
- ČAR, J. & TERPIN, R. 2005: Stare žgalnice živorsrebrove rude v okolici Idrije. *Idrijski razgledi* (Idrija) 50/1: 80–105.
- DAVIS, J.C. 1986: Statistics and data analysis in geology. Wiley & Sons (New York): 1–651.
- EPSTEIN, M.S. 1990: Report of analysis. U.S. Department of commerce, National institute of standards and technology, Gaithersburg, Maryland, 1–16.
- GOSAR, M. & ČAR, J. 2006: Vpliv žgalnic živorsrebrove 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 surround-

- dings of Idrija. *Geologija* (Ljubljana) 49/1: 91-101.
- KAVČIČ, I. 2008: Živo srebro: zgodovina idrijskega žgalništva. Založba Bogataj (Idrija):1-352.
- MLAKAR, I. & DROVENIK, M. 1971: Structural and genetic particularities of the Idrija mercury ore deposit. *Geologija* (Ljubljana) 14: 67-126.
- 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., STEENFELT, A. & TARVAINEN, T. 2005: *Geochemical Atlas of Europe, Part 1, Background Information, Methodology and Maps*. Geological Survey of Finland (Espoo): 1-526.
- SOTLAR, K. 1995. Potočni sediment kot vzorčno sredstvo za izdelavo geokemične karte Slovenije (in Slovenian): B.Sc. thesis. University of Ljubljana, Faculty of Natural and Technical Sciences, Department of Geology (Ljubljana): 1-114.
- SWYNGEDOUW, C. & LESSARD, R. 2007: Quality control in soil chemical analysis. In: *Soil Sampling and Methods of Analysis*, 2nd ed. Editors: M.R. CARTER, E.G. GREGORICH. CRC Press, Taylor & Francis Group, 1-1224.
- ŠAJN, R. 2003: Distribution of chemical elements in attic dust and soil as reflection of lithology and anthropogenic influence in Slovenia. *Journal de Physique (Grenoble)* 107: 1173-1176.
- TAN, K.H. 1998: *Principles of soil chemistry*, 3rd ed. M. DEKKER, (New York): 1-521.
- TERŠIČ, T. 2010: Environmental influences of historical small scale ore processing at Idrija area = Okoljski vplivi starih žgalnic na Idrijskem: Ph.D. thesis. University of Ljubljana, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology (Ljubljana): 1-203.
- TERŠIČ, T. & GOSAR, M. 2009: Preliminary results of detailed geochemical study of mercury at the ancient roasting site Pšenk (Idrija area, Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 52/1: 79-86.
- TUREKIAN, K. K. In WEDEPOHL, K. H. 1961: Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 72: 175-192.

Mineral chemistry of polymetallic mineralization associated with altered granite, Hangaliya area, South Eastern Desert, Egypt

Mohamed F. RASLAN & Mohamed A. ALI
Nuclear Materials Authority, P. O. Box 530, El-Maadi, Cairo, Egypt;
e-mail: raslangains@hotmail.com

Prejeto / Received 13. 4. 2010; Sprejeto / Accepted 30. 9. 2010

Key words: polymetallic mineralization, altered granites, quartz veins, Hangaliya gold deposit, Egypt

Abstract

The Hangaliya gold deposit, located in the South Eastern Desert of Egypt, comprises a series of milky quartz veins along NW-trending Hangaliya shear zone, cutting through granitic rocks of Gabal Nugrus monzogranite. This shear zone, along with a system of discrete shear and fault zones, formed in the late deformation history of the area. The quartz vein emplacement took place under a brittle-ductile shear regime. Auriferous quartz veins are slightly sheared and boudinaged within the shear zone, especially in the hematized granite. Hydrothermal alteration is pervasive in the granitic wall rocks including sericitization, chloritization, fluoritization, sulphidization and minor carbonatization. The altered zones and associating quartz veins contain sulphides, gold, silver, cobalt, bismuth, and uraninite minerals.

The Hangaliya gold veins include gold, silver, cobaltite, native bismuth, chalcopyrite, pyrite, galena, ferrocolumbite, fergusonite and uraninite. The Au-ore occurs in the quartz veins and adjacent wall rocks as dissemination in chalcopyrite and pyrite. Presence of refractory native silver, bismuth and cobalt in chalcopyrite is inferred from microprobe analyses. Wall rock sulphidization also likely contributed to destabilising the gold-silver, cobalt, bismuth assemblages and precipitation of the minerals in the hydrothermal alteration zone adjacent to the quartz veins. Gold occurs in two main modes: “invisible gold” in sulphides and native gold. Most of the “invisible gold” occurs in chalcopyrite and bismuth. The altered granites in the Hangaliya shear zone are enriched in Au, Ag, Bi, Co, and Ni with chalcopyrite, which suggests derivation of these metals from serpentinites due to interaction with the felsic Nugrus granite.

Introduction

The Eastern Desert of Egypt has long been a mining district for gold, with more than 95 gold occurrences mostly confined to the Neoproterozoic basement rocks (EL RAMELY et al., 1970; ABDEL TAWAB, 1992; TAKLA, 2001). Mining activity was extensive during the Pharaonic and Roman times and exploitation of the major gold deposits, e.g. El Sid, El Barramiya and El Sukari, continued until 1958 (SABET & BORDONOSOV, 1984). In most of the gold occurrences in the Eastern Desert of Egypt, gold occurs in the hydrothermal quartz veins cutting through basement rocks of different compositions including metavolcanics, schists, serpentinite and granitoids. Mineralogy of these veins commonly includes fine dissemination of native gold, As-bearing pyrite, arsenopyrite and chalcopyrite together with subordinate sphalerite, galena, tetrahedrite and stibnite (AZER, 1966). They are interpreted collectively as products of hydrothermal activity (GARSON & SHALABY, 1976) induced either by metamorphism or cooling of Early Palaeozoic magmatic rocks (ALMOND et al., 1984) or subduction-related younger calc-alka-

line magmatic rocks (EL-GABY et al., 1988). Other authors relate gold mineralization to the emplacement of granitoid rocks that intrude mafic/ultramafic rocks (EL SHAZLY, 1957). Gold was deposited at 300–400 °C and 1–2 kbar (KLEMM et al., 2001), the conclusion supported by HARRAZ (2000, 2002) for the deposits at the El-Sid and Atud mines, in the Central Eastern Desert. ALMOND et al. (1984) suggested that gold deposition was linked to an episode of shearing post-dating the emplacement of all batholithic intrusions and coeval with regional cooling. On the other hand, HUSSEIN (1990) argued that most of these hydrothermal vein deposits were epithermal rather than mesothermal. In all cases, gold is considered to have been leached either from metabasaltic or ultramafic rocks through the circulation of metamorphic or mixed metamorphic-magmatic fluids (e.g. HAS-SAN & EL-MEZAYEN, 1995; HARRAZ, 2000; KLEMM et al., 2001; BOTROS, 2004).

The old Hangaliya gold deposit is a typical example of a deposit formed in vicinity of granites. HUME (1937) mentioned that gold-bearing quartz veins at Hangaliya mine are associated with sericitization and silicification at the vein

contacts with the Nugrus granites. This was also observed by SOLIMAN (1986) who also added that the relative enrichment of the Nugrus granites in Sn at the Hangaliya deposit area is ascribed to its derivation from stanniferous S-type granitic magmas formed by partial melting of metasediments.

Mode of occurrence and genesis of gold at Hangaliya were subjects of studies by some authors. OSMAN and DARDIR (1986, 1989) showed that gold mineralization at Hangaliya occurs in simple fissure-filling quartz veins in the WNW-ESE trending sheared Nugrus granite. They recorded pronounced greisenization, chloritization, sericitization in addition to kaolinitization and ferrugination. Pyrite and native gold are common in the quartz veins of Hangaliya (OSMAN, 1989). KHALIL and HELBA (1998) showed the relation between gold mineralization at Hangaliya and the interaction of the granites with the ultramafic and metagabbro-diorite rocks association. SUROUR et al. (1999) studied in detail the microfabrics of this shear zone in the vicinity of the old gold mine of Hangaliya and concluded that conjugate fracture system and formation of mega- and microscopic porphyroclasts in the sheared granites are the most common features of the shear sense. Abundant gold (up to 3.3 ppm) in the shear zone is evidenced by the presence of microscopic native gold. SUROUR et al. (2001) showed that the source of gold is multiple, being leached from the ophiolitic serpentinites, arc-metavolcanics and sulphide-bearing dolerite dykes. Also, they reported that the rock varieties in the auriferous shear zones in the granite are enriched in Cr and Co, which suggests transfer of these metals from serpentinites due to the interaction with the felsic Nugrus granite, which is also enriched in U. The present paper presents mineral chemistry and mineralogy of the noble elements and minerals associated with the auriferous shear zones at Hangaliya deposit. Also, the source of Au, Ag, Bi, Co, Ni and U in the shear zones and adjacent country rocks is discussed.

Geological setting

The Hangaliya gold mine, located in the South Eastern Desert of Egypt (Fig. 1A), comprises a series of milky quartz veins along NW-trending shear zone, cutting through Gabal Nugrus monzogranites. Rocks along the shear zone show different types of hydrothermal alterations such as silicification, hematitization and kaolinitization. The vein emplacement took place under a brittle-ductile shear regime. Auriferous quartz veins are characterized by irregular walls. Hydrothermal alteration is pervasive in the granitic wall-rocks including sericitization, silicification, sulphidization and minor carbonatization. These types of alterations and associating quartz veins contain sulfides, gold, silver, bismuth and U- and Th- minerals.

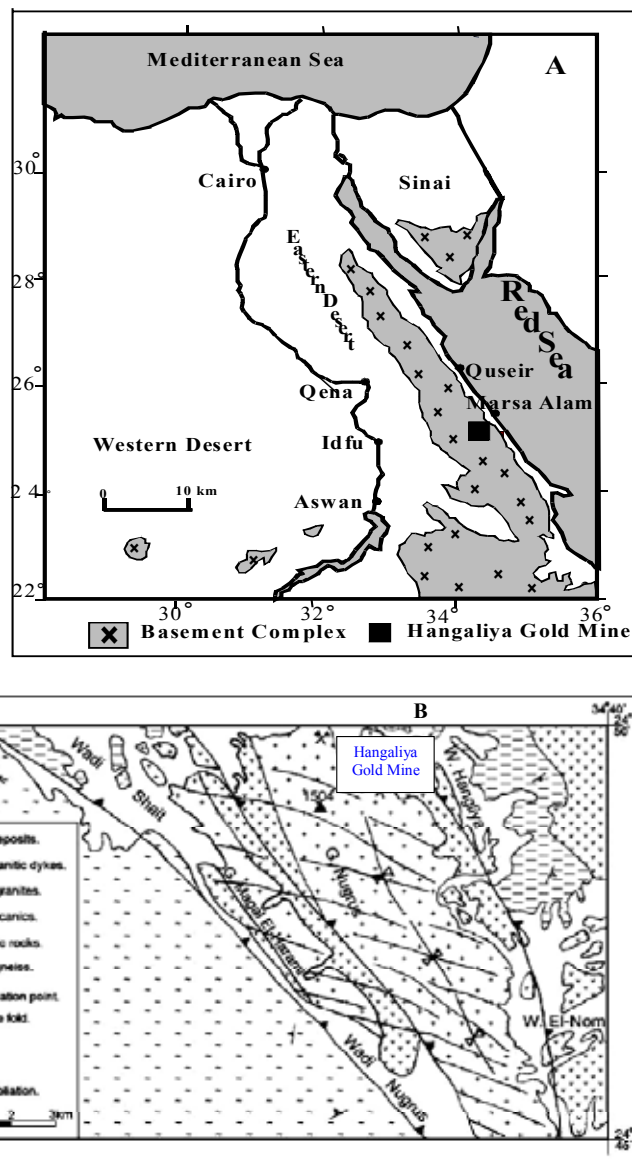


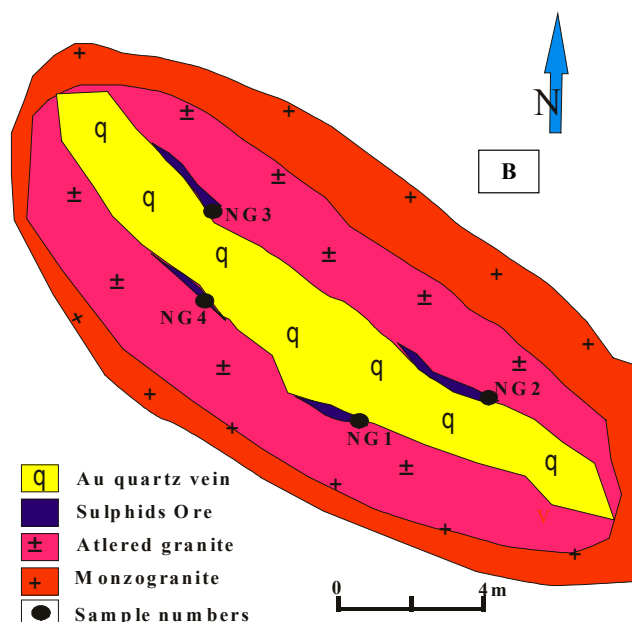
Fig. 1. A – Location map of the study area, B – Geological map of Gabal Nugrus monzogranite and location of the Hangaliya Gold mine (modified after SUROUR et al., 2001)

The younger granites (Gabal Nugrus & Gabal Magal El-Harami) in the studied area are represented by elongated belt trending in NW-SE direction (Fig. 1B). They intrude metavolcanics and contain xenoliths of different sizes and shapes from these rocks. The composition of the younger granites of Gabal Nugrus ranges from monzogranites to syenogranites. They are cut by several microgranitic dyke swarms (EL-HUSSEINY et al., 2006).

A shear zone trending NW-SE, crosscuts the northern segment of Gabal Nugrus (1504 m a.s.l) and extends for 300 meters (Fig. 2A). The identification of the shear zone was based on field observations. The younger granites are mylonitized and cataclased within the shear zone. The intensely mineralized part of the shear zone encountered in the monzogranites varies in width from 0.5 to 2.5 meters and in length from 100 to 300 meters. Some auriferous quartz veins occur along or cut the shear zone (Fig. 2B).



Fig. 2. A – Photo shows NW trending shear zone of the Hangaliya Gold mine, South Eastern Desert, Egypt, B – Sketch of the quartz vein cutting the altered granites of the Hangaliya shear zone, South Eastern Desert, Egypt



Methodology

About 10 rock specimens were collected from the mineralized shear zone of the Hangaliya gold deposit, from which 8 thin-sections were prepared. The petrographical study was achieved using a polarizing microscope. The study involved the preparation of heavy mineral fractions using heavy liquid separation and magnetic separation. Some of the selected mineral grains were analyzed with the environmental scanning electron microscope (ESEM) supported by energy dispersive spectrometer unit (EDS) model Philips XL 30. The analytical conditions were 25–30 kV accelerating voltages, 1–2 micron beam diameter and 60–120 second counting times. Minimum detectable weight concentration of elements from 0.1 to 1 wt. % was obtained. Precision well below 1 %, the relative accuracy of quantitative results

2–10 % for elements $Z > 9$ (F), and 10–20 % for the light elements B, C, N, O and F.

The analyses were carried out at laboratories of the Egyptian Nuclear Materials Authority (NMA).

Polished thin-sections were studied under reflected light in order to determine mineral associations and parageneses. Backscattered electron images (SEM-BSE) were taken with the scanning electron microscope, coupled with an energy dispersive spectrometer (model JEOL 6400 SEM) at the Microscopy and Microanalyses Facility, University of New Brunswick (UNB), Canada. Mineral compositions were determined with the electron probe microanalysis (EPMA) JEOL JXA-733 Superprobe. The EPMA accelerating voltage was 15 kV, with a beam current of 50 nA and peak counting times 30 seconds for all elements. Combinations of well characterized natural and synthetic minerals and pure metals were used as standards. Pure metals were used for Cu, Ag, Se, Au, Bi, Co, Ni, Fe, Nb, Ta, Mn, Sn, Th and U. From natural and synthetic minerals we used pyrite for Fe and S; stibnite for Sb, sphalerite for Zn, synthetic GaAs for As; jadeite, quartz and apatite for Na, Si, and P and Ca, respectively; SrTiO_3 for Ti, YAG for Y; La-, Ce-, Nd-, Pr- and Gd- Al; Si bearing glass for (La, Ce, Nd, Pr and Gd) and crocoite for Pb. Apparent concentrations were corrected for matrix effects with the PAP correction program.

Mineralogical and geochemical investigation

Optical microscopy study

Petrographically, quartz (35–55 %) sometimes shows clear signs of mylonitization. Alkali feldspars are represented by orthoclase perthite with subordinate microcline. They are penetrated by relatively fine-grained veinlets of quartz and are kaolinized along the cleavage planes and frac-

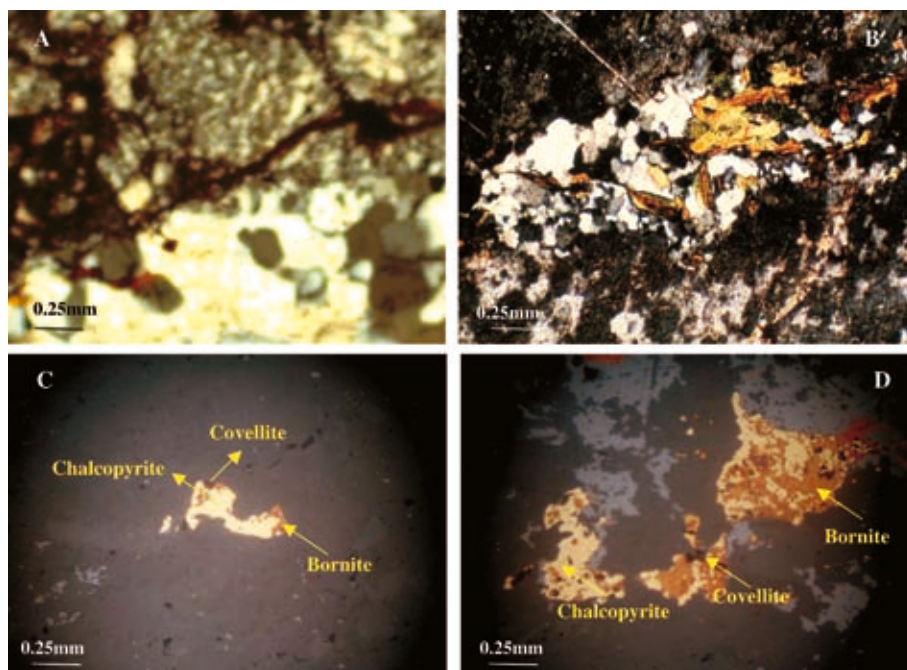


Fig. 3. A – Photomicrograph shows a general view of minerals composition of cataclastic (altered) granites, B – Biotite flakes associated with secondary quartz within altered granites, C – Photomicrograph show chalcopyrite altered to covellite and bornite, D – Large crystal of chalcopyrite that completely altered to bornite and covellite. All photographs in the figure are taken under Crossed Nichols, C.N.

tures. The cracks opened path for the late iron-rich hydrothermal solutions (Fig. 3A), which caused iron staining and gave the rock its red coloration (Fig. 3B). Cataclased albite (5 %) is commonly altered to sericite and the abundance of sericite increases in the mineralized samples. Due to cataclasis the grains are microfractured and twin lamellae are bent. Iron oxides occur in all studied sections either as a primary or as a secondary phase resulting from the alteration of other primary minerals, which are completely replaced by hematite. Locally, the original composition of the granites is obscured by the high intensity of hematitization and pyritization. Chalcopyrite occurs as euhedral to subhedral grains. Chalcopyrite is completely altered to bornite and covellite (Figs. 3C, D).

Environmental scanning electron microscope and energy dispersive spectroscopy (ESEM/EDS) study

Native gold was detected microscopically in the mineralized samples. Most of gold particles are generally in a form of aggregates, of scaly habit and very malleable and ductile. They have high reflectivity and brilliant luster (Fig. 4A). From some of the selected gold flakes three semiquantitative analyses using the (ESEM/EDS) were made. The obtained two semiquantitative analyses for gold (Figs. 4B, C, D) show Au as the essential component ranging from 66.6 to 78 wt.% with an average of 70.7 wt.%. Beside, significant amount of Ag ranging from 19.6 to 32.3 % with an average of 27.9 % and minor amount of Fe ranging from 0.7 to 2.4 % with an average of 1.4 % were found. The chemical composition of the separated pyrite crystals was analyzed by ESEM/EDS (Figs. 4E, F, G). The major elements in these crystals are S (51.3 %) and Fe (43.3 %) together with minor amounts of Si (2.7 %) and Zn (1.7 %). Galena occurs as inclusions

within pyrite crystals as indicated from ESEM/EDS analyses (Figs. 4F, H). The obtained spectra of these inclusions gave Pb (66.4 %) and S (22.8 %) as essential components together with minor Si and Fe. The EDS analysis (Fig. 4I) reflects the chemical composition of chalcopyrite crystals where the major elements are Cu (53.7 %), S (24 %) and Fe (10.7 %). Cobaltite crystals occur as inclusions in pyrite. Two semiquantitative analyses of cobaltite (Fig. 4J) yielded Co (12.8–10.4 %) with an average of 11.6 %, As (30.5–23.8 %) with an average of 27.2 % and S (17.7–15.7 %) with an average of 16.7 %. Significant amounts of Ni, Cu, Fe, Si and Al were also detected.

Electron probe microanalyses

Invisible and native gold (Au)

EPMA analyses indicated that the gold content in the studied chalcopyrite and native bismuth attains 300 and 313 ppm respectively. While average “invisible gold” can attain 240 ppm in cobaltite, it can reach 250 ppm in native Ag associated with chalcopyrite. Sulphides are actually the principal Au-bearing minerals in refractory gold ores where gold is often referred to as “invisible” gold. Recent spectroscopic and high-resolution electron imaging studies have revealed that the invisible gold occurs within the structure of pyrite and, to a lesser extent, as submicroscopic or nanoparticles of native gold (SIMON et al., 1999; PALENIK et al., 2004; REICH et al., 2005; PAKTUNC et al., 2006). The obtained data revealed that the detected gold in the studied minerals is present mainly as “invisible gold” rather than as submicroscopic or nanoparticles of native gold and occurs within the structure of chalcopyrite most probably incorporated as chemically bonded gold. CEPEDAL et al. (2008) favor a mechanism in which “invisible gold”

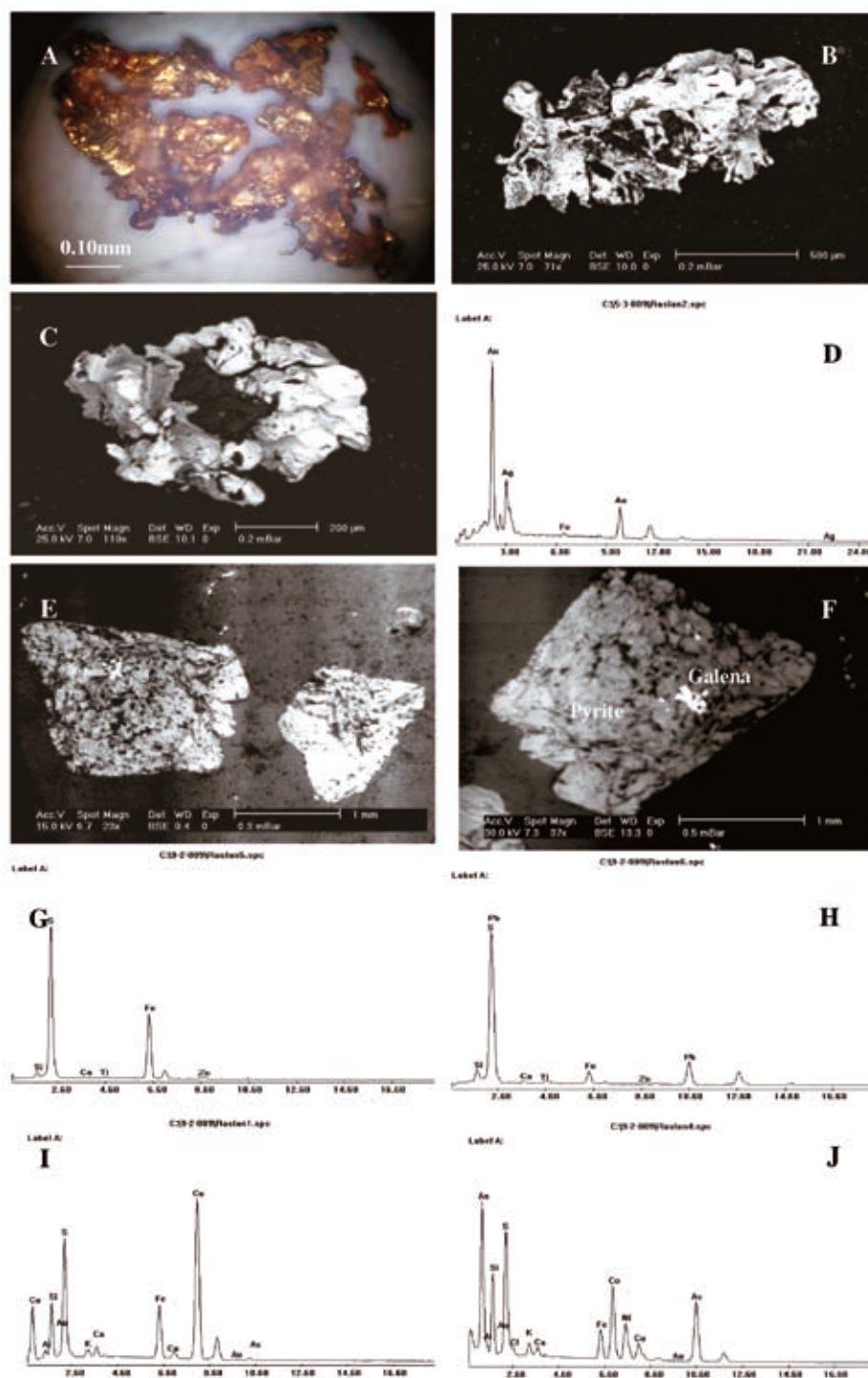


Fig. 4. A – Native gold with aggregate-like structure (Binocular microscope), B & C – Backscattered electron images illustrating the native gold aggregates, D – EDS spectrum of gold, E – SEM-BSE image of pyrite containing galena inclusions, F – SEM-BSE image of galena inclusion in pyrite, G, H, I & J – EDS spectra of pyrite, galena, chalcopyrite and cobaltite, respectively.

was removed from ore fluids by chemisorption at As-rich, Fe-deficient surface sites in As-rich pyrite and arsenopyrite and incorporated into the sulphides as solid solution. This process took place during sulphidization of the host rocks.

Native bismuth (Bi)

Bismuth occurs as numerous subhedral to anhedral crystals within chalcopyrite with size ranging from 0.5 to 3 μm (Fig. 5A). The EPMA analyses of these inclusions reflect the chemical composition of native bismuth. The major element is Bi (93.6 %) together with elemental composition of chalcopyrite ($\text{CuFeS}_2=6.4$ %). The bismuth-nickel association is found with composition of

Bi (62.7 %) and Ni (25.5 %) in chalcopyrite ($\text{CuFeS}_2=14.2$ %) (Table 1; Fig. 5A).

Chalcopyrite (CuFeS_2)

Chalcopyrite occurs as subhedral to euhedral crystals ranging in size from 50 to 200 μm (Fig. 5A, B). The EPMA analyses of the chalcopyrite reflect its chemical composition and gave [S (34–35 %), Fe (29–31 %), and Cu (29–34 %)], together with minor Bi, Ni, Co and Ag (Table 1; Fig. 5A, B).

Native silver (Ag)

Native silver (Ag) occurs as inclusions within the chalcopyrite and formed mainly from the hy-

Elements wt %	Chalcopyrite 4N2	Chalcopyrite 6N2	Chalcopyrite 8N2	Chalcopyrite 5N2	Bi-Ni in Chalcopyrite 2N2	Native-Bi 3N2	Native-Bi 4N2
S	34.97	34.22	35.15	34.41	10.41	1.602	1.493
Fe	30.76	28.93	30.45	29.41	1.767	1.5367	1.433
Cu	34.16	28.54	33.65	31.88	1.985	3.62	3.38
As	0.000	1.080	0.194	0.000	0.000	0.000	0.000
Co	0.043	1.946	0.593	0.028	0.010	0.034	0.036
Ni	0.042	1.016	0.122	0.000	25.51	0.002	0.002
Bi	0.125	0.712	0.099	0.070	62.74	93.17	93.63
Ag	0.000	0.295	0.053	1.095	0.021	0.000	0.000
Au	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.032	0.030
Sb	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Se	0.007	0.122	0.003	0.015	0.000	0.000	0.000
Sn	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.022	0.100	0.102	0.081	0.000	0.000	0.000
Total	100.14	96.96	100.44	96.99	102.44	100.00	100.02

Table 1. EPMA analysis of selected chalcopyrite, Bi-Ni in chalcopyrite and native Bi of Hangaliya shear zone (by wt.%), South Eastern Desert, Egypt

drothermal solutions. These inclusions occur as minute anhedral to subhedral crystals associated with chalcopyrite ranging in size from 1 to 5 μm (Figs. 5C, D). Silver was found only in chalcopyrite of the Hangaliya shear zone as an alteration phase, characterized by very light grey color and is potentially concentrated in the chalcopyrite together with traces of Au; This was obtained by SEM-BSE images and by EPMA chemical analyses. The silver is composed of Ag and Au (Figs. 5C, D; Table 2).

Cobaltite (CoAsS)

Cobaltite occurs as euhedral to subhedral crystals of the Hangaliya shear zone. Cobaltite appears brighter than chalcopyrite under SEM-BSE. The obtained results of EPMA analysis confirm the chemical composition of the studied cobaltite (Fig. 5B; Table 2). The contents of major elements in wt. % are Co (22–27 %), As (45 %), S (19 %) and Ni (6–10 %) (Table 2).

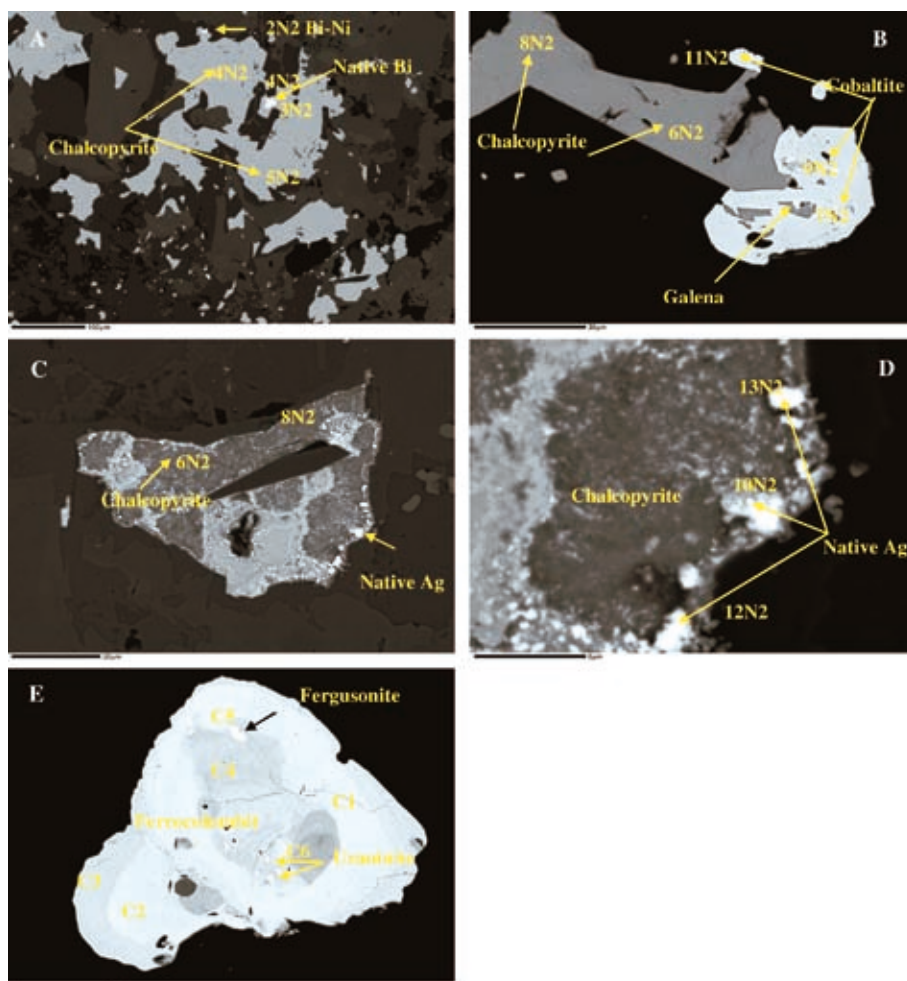


Fig. 5. SEM-BSE images of A – Chalcopyrite rich in native Bi as inclusions B – Chalcopyrite, cobaltite associated with galena as inclusion, D – Chalcopyrite rich in native Ag, C – Large crystal of native silver (Ag) as an inclusion in chalcopyrite, E – Uraninite and fergusonite as inclusions in the ferrocolumbite of the altered granite of Hangaliya mine.

Elements wt %	Cobaltite 7N2	Cobaltite 9N2	Cobaltite 11N2	Native-Ag in chalcopyrite 10N2	Native-Ag in chalcopyrite 12N2	Native-Ag in chalcopyrite 13N2
S	19.43	19.14	19.23	22.37	10.54	6.38
Fe	2.980	3.94	4.00	15.21	37.15	18.97
Cu	0.233	0.251	0.267	38.73	9.81	10.93
As	45.21	45.60	44.99	0.024	0.180	0.023
Co	27.02	21.50	22.92	0.000	0.010	0.070
Ni	5.97	9.77	6.88	0.017	0.180	0.096
Bi	0.074	0.041	0.043	0.131	0.042	0.029
Ag	0.023	0.039	0.000	23.25	41.77	63.33
Au	0.004	0.024	0.002	0.025	0.022	0.025
Sb	0.000	0.012	0.048	0.000	0.000	0.000
Zn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000
Se	0.163	0.165	0.226	0.000	0.038	0.069
Sn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pb	0.030	0.028	0.041	0.240	0.226	0.071
Total	101.09	100.51	98.65	100.00	100.06	100.2

Table 2. EPMA analysis of selected cobaltite, native Ag of Hangaliya shear zone (by wt.%), South Eastern Desert, Egypt

Galena (PbS)

Galena occurs as numerous inclusions of variable size in chalcopyrite and pyrite crystals (Figs. 4B, E, F).

Pyrite (FeS₂)

Pyrite has well developed octahedron crystals with pale-brass yellow color and metallic luster (Figs. 4E, F). Pyrite is usually disseminated in the altered rocks of the Hangaliya shear zone. Generally, pyrite of the studied shear zone is partly or entirely oxidized to Fe-oxy-hydroxides such as hematite and goethite. This process can be classified as pseudomorphic desulphidization under oxidizing conditions.

Columbite [(Fe, Mn) (Nb,Ta)O₄]

The columbite group of minerals comprises a large number of structurally related orthorhombic AB₂O₆ compounds (B= Ta, Nb). The columbite subgroup is Nb-dominant, and the tantalite subgroup is Ta-dominant. They contain U (and Th) in various amounts and are commonly metamict but none has been described with U as essential constituent. The relatively small octahedral A-site is commonly occupied by Mg²⁺ (magnesiocolumbite) and transition-metal cations such as Fe²⁺ (ferrocolumbite) and Mn²⁺ (manganocolumbite), while U and Th substitutions are relatively minor. Columbite that occurs in the altered rocks of the shear zone at Hangaliya area generally forms subhedral to anhedral (Fig. 5E). EPMA analyses of columbite crystals are presented in Table 3. The obtained results indicate that the chemical com-

Sample	NUG-N8	NUG-N8	NUG-N8	NUG-N8	NUG-N8	NUG-N8
Mineral	Ferro columbite (light) C1	Ferro columbite (light) C2	Ferro columbite (dark) C3	Ferro columbite (dark) C4	Fergusonite C5	Uraninite C6
Na ₂ O	0.087	0.085	0.036	0.036	0.004	0.046
SiO ₂	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.055
P ₂ O ₅	0.009	0.009	0.010	0.010	0.048	0.003
CaO	0.018	0.017	0.007	0.006	0.552	0.000
TiO ₂	0.674	0.6635	0.239	0.235	0.930	0.115
MnO	3.78	3.72	4.11	4.03	0.000	0.515
FeO	16.39	16.13	16.66	16.37	8.192	2.203
Y ₂ O ₃	0.039	0.039	0.242	0.238	18.10	0.277
Nb ₂ O ₅	66.45	65.39	77.12	75.79	51.20	8.86
SnO ₂	0.127	0.1246	0.126	0.124	0.000	0.000
La ₂ O ₃	0.000	0.000	0.190	0.187	0.000	0.001
Ce ₂ O ₃	0.143	0.141	0.000	0.000	0.151	0.340
Pr ₂ O ₃	0.041	0.0399	0.000	0.000	0.000	0.000
Nd ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.290	0.000
Gd ₂ O ₃	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300
Ta ₂ O ₅	13.81	13.59	2.963	2.912	0.430	1.515
PbO	0.000	0.000	0.012	0.010	0.978	4.93
ThO ₂	0.056	0.055	0.051	0.045	7.20	3.15
UO ₂	0.210	0.187	1.412	1.18	11.03	77.63
Total	101.83	100.19	102.27	101.19	99.77	99.64

Table 3. EPMA analysis of selected columbite, uraninite and fergusonite minerals in the Hangaliya shear zone, South Eastern Desert, Egypt.

position of the studied columbite crystals are ferrocolumbite. The major elements are Nb, Fe, Ta, and Mn. The EPMA analysis of the ferrocolumbite grain (Fig. 5E) showed that the composition in the light and dark parts (C1, C2 and C3, C4) ranges between 65–77 % for Nb₂O₅, 3–14 % for Ta₂O₅, 16–17 % for FeO and 3–7 % for MnO. Minor and trace contents of SnO₂, UO₂, ThO₂ and PbO were also measures (Table 3).

Fergusonite [(Y, REE>Ca,U,Th)(Nb,Ta)O₄]

The fergusonite group consists of REE-bearing Nb and Ta oxides, many of which are metamict and therefore commonly poorly characterized. Most of these minerals are monoclinic, although orthorhombic and tetragonal unit cells arise from cation ordering. Fergusonite occurs only in the altered granite shear zone of Hangaliya as light grey inclusion in the ferrocolumbite, which contains high concentrations of the Y, U, Th and Ca. The obtained EPMA chemical analyses and SEM-BSE images indicate that this fergusonite phase is predominantly composed of Y, Nb, Ta and U (Fig. 5E; Table 3).

Uraninite (UO₂)

Uraninite is a common accessory mineral in pegmatites and peraluminous granites, and is probably the most important source of dissolved U in groundwaters emanating from weathered granite terrains (FRONDEL, 1958; FÖRSTER, 1999). The uraninite (UO₂) occurs as primary U-mineral in the Ghadir shear zone and is formed during reduction reaction. It is found as minute euhedral crystals ranging from 1–3 µm in size (Fig. 5E). Uraninite crystals appear very bright under scanning electron microscope compared to other uranium minerals. The EPMA analyses of these crystals confirm the chemical composition of uraninite (Table 3). These results indicate that the major oxides in uraninite are [UO₂ (77.6 %), ThO₂ (3.15 %), and PbO (4.9 %), Nb₂O₅ (8.9 %), FeO (2.2 %) and Ta₂O₅ (1.5 %)]. Also, minor amounts of REE and Y were reported as substitutions in uraninite (Table 3).

Discussion

Pyrite occurs with chalcopyrite as euhedral to subhedral interstitial grains. Massive aggregates of chalcopyrite dominate, and commonly have a thin (100 µm) rim of bornite. Locally, covellite replaces bornite along fractures, but also occurs as euhedral grains rimming chalcopyrite. Associated with sulphides at Hangaliya gold deposits, native and invisible gold were observed in the studied samples of hydrothermally altered zone.

Three types of uraninite can be roughly defined in terms of their genesis (McMILLAN, 1978); 1 – Igneous, magmatic and metamorphic, including pegmatitic uraninite; 2 – Hydrothermal (e.g. vein type and unconformity-related deposits); 3 – Low temperature (sedimentary-hosted deposits). The chemistry of unaltered uraninite is a reliable indi-

cator of its origin (FRONDEL, 1958; FÖRSTER, 1999). Magmatic uraninite commonly contains Th and REE, whereas these elements are mostly absent from hydrothermal and low-temperature sedimentary uraninite (FRONDEL, 1958). Impurities in uraninite, such as Pb, Th, Ca, Y and lanthanides, can provide insight into the genesis of uraninite-fluid interactions and may also affect uraninite stability.

The U-mineralization was formed as a product of hydrothermal processes. It includes primary U-minerals with low Th-uraninite (ThO₂=3.15 %), while thorium contents of magmatic uraninite reach levels above approximately 10 or 12 wt. % ThO₂ (FRONDEL, 1958; FÖRSTER, 1999). It is obvious that for the generation of uranium mineralization, primary magmatic processes as well as post-magmatic, hydrothermal activity are important. The main magmatic differentiation process in peraluminous granites caused the progressive removal of poorly soluble minerals and thus corresponding enrichment of incompatible elements. In leucocratic facies, uranium is mainly located uraninite crystals (FRIEDRICH et al., 1989). The whole rock uranium content increases with the evolution grade of the magma. Additional uranium enrichments are related to uraninite concentrations in post-magmatic shear zones associated with mineralogical evidence of an ortho-derived fluid phase rich in F, B, Li, Sn, Be, Zr, LREE and PO₄³⁺ (FRIEDRICH et al., 1989). Therefore, uranium will be strongly held in the structure of refractory minerals and will not be easily leachable by hydrothermal solutions especially if they circulate shortly after magma emplacement and crystallization (CUNNEY & FRIEDRICH, 1987).

Conclusions

1 – Mineralization In the shear zone includes primary uranium uraninite with low- Th content, which indicates the mineral was formed by post-magmatic hydrothermal processes, along with minerals such as ferrocolumbite, fergusonite, uraninite, galena and hematite. Hydrothermal uraninite commonly contains low Th and REE, whereas these elements are largely absent from hydrothermal and low-temperature sedimentary uraninite (FRONDEL, 1958). According to ROMBERGER (1984), U is transported in the hydrothermal solutions in the uranyl state and precipitation of U would occur, if the physicochemical conditions of the solutions changed through reduction and an increase of pH. Increase in pH can be produced by loss of acid volatile components or reaction with host feldspars. There must be a reservoir of available electrons to allow this reduction to occur. Sources of exchangeable electrons in natural systems may be Fe²⁺ or organic material in wall rocks.

2 – The presence of galena is very good evidence for hydrothermal fluids. Therefore, the hydrothermal origin could be accepted for mineralizations within the shear zone associated with

quartz veins rich in gold, silver, bismuth and Bi-Ni in chalcopyrite.

3 – The altered granites of the Hangaliya shear zone are enriched in Au, Ag, Bi, Co and Ni with chalcopyrite, which suggests circulation of these metals from serpentinites due to the felsic intrusion (Nugrus granite). All of the gold in this assemblage was precipitated prior to sulphides, since native gold grains are visible within the pyrite, or in the chalcopyrite as inclusions. Nickel (Ni-Bi) is hosted mostly by chalcopyrite. The remainder of Ni-Bi precipitated from a hydrothermal fluid during metamorphism and enriched the products of the latest paragenesis.

4 – The U-mineralization was formed as product of hydrothermal processes. It includes primary U-minerals (uraninite with low Th content) and zircon minerals, with fluorite inclusions confirming their hydrothermal origin (i.e. low Th contents of hydrothermal uraninite).

References

- ABDEL TAWAB, M. M. 1992: Gold exploration in Egypt from Pharaonic to modern times. *Zentralbl. Geol. Paläont. Teil 1*: 2721-2733.
- ALMOND, D. C., AHMED, F. & SHADDAD, M. Z. 1984: Setting of gold mineralisations in the northern Red Sea hills of Sudan. *Econ. Geol.* 79: 389-392.
- AZER, N. 1966: Remarks on the origin of Precambrian mineral deposits in Egypt (U.A.R.). *Mineral Petrol.* 11/1-2: 41-64.
- BOTROS, N. S. 2004: A new classification of the gold deposits of Egypt. *Ore Geol. Rev.* 25: 1-37.
- CEPEDAL, A., FUENTE, M. F., IZARD, A. M., NISTAL, S. G. & BARRERO, M. 2008: Gold-bearing As-rich pyrite and arsenopyrite from the El Valle gold deposit, Asturias, Northwestern Spain. *The Canadian Mineralogist* 46/1: 233-247.
- CUNEY, M. & FRIEDRICH, M. 1987: Physicochemical and crystal-chemical controls on accessory mineral paragenesis in granitoids: implications for uranium metallogenesis. *Soc. fran. Minéral. Cristallog. Bull.* 110/2-3: 235-248.
- EL-GABY, S., LIST, F. K. & TEHRANI, R. 1988: Geology, evolution and metallogenesis of the Pan African belt in Egypt. In: EL-GABY, S. & GREILING, R. O. (eds.): *The Pan African belt of north east Africa and adjacent areas*. Braun Schweig (Vieweg): 17-68.
- EL-HUSSEINY, M. O., ALI, M. A. & ROZ, M. E. 2006: The Late Pan-African dykes within Nugrus granite, South Eastern Desert, Egypt: mineralogical and radiometrical constrains. *Proc. 4th International symposium on Geophysics*, Tanta Univ.: 340-349.
- EL RAMELY, M. F., IVANOV, S. S. & KOCHIN, G. C. 1970: The occurrence of gold in the Eastern Desert of Egypt. *Studies on some mineral deposits of Egypt. Part I, Sec. A. metallic minerals. Geol. Surv. Egypt.* 21: 1-22.
- EL SHAZLY, E. M. 1957: Classification of Egyptian mineral deposits. *Geol. J.* 1: 1-20.
- GARSON, M. S. & SHALABY, I. M. 1976: Pre-Cambrian-Lower Paleozoic plate tectonics and metallogenesis in the Red Sea region. *Spec. Pap. Geol. Assoc. Can.* 14: 573-596.
- FÖRSTER, H. J. 1999: The chemical composition of uraninite in variscan granites of the Erzgebirge, Germany. *Mineralogical Magazine* 63: 239-252.
- FRIEDRICH, M. H., CUNEY, M., & CREGU, G. 1989: Uranium geochemistry in peraluminous leucogranites, A conference Report. *Uranium* 3: 353-385.
- FRONDEL, C. 1958: Systematic mineralogy of uranium and thorium. *U. S. Geological Survey Bulletin*: 1064-1400.
- HASSAAN, M. M. & EL-MEZAYEN, A. M. 1995: Genesis of gold mineralization in Eastern Desert, Egypt. *Al-Azhar Bull. Sci.* 6: 921-939.
- HARRAZ, H. Z. 2000: A genetic model for a mesothermal Au deposit: evidence from fluid inclusions and stable isotopic studies at El Sid Gold Mine, Eastern Desert Egypt. *J. Afr. Earth Sci.* 30: 267-282.
- HARRAZ, H. Z. 2002: Fluid inclusions in the mesothermal gold deposit at Atud mine: evidence from fluid inclusions and stable isotopic studies at El Sid Gold Mine, Eastern Desert Egypt. *J. Afr. Earth Sci.* 35: 347-363.
- HUME, W. F. 1937: The minerals of economic value associated with the intrusive Precambrian igneous rocks. *Geology of Egypt. Geological Survey of Egypt* 3: 689-990.
- HUSSEIN, A. A. 1990: Mineral deposits. In: SAID, R. (ed.): *The geology of Egypt*, Balkema-Rotterdam, Rockfeild: 511-566.
- KHALIL, K. I. & HELBA, H. A. 1998: Gold mineralization and its alteration zones at Hangaliya gold mine, Eastern Desert Egypt. *The 10th Ann. Meet. Mineral. Soc. Egypt.* 4 (Abstract).
- KLEMM, D., KLEMM, R. & MURR, A. 2001: Gold of the Pharaohs-6000 years of the gold mining in Egypt and Nubia. *J. Afr. Earth. Sci.* 33: 643-659.
- MCMILLAN, R. H. 1978: Genetic aspects and classification of important Canadian uranium deposits. In: KIMBERLY, M. M. (ed.): *Uranium deposits: Their mineralogy and origin*. Mineral. Assoc. Can. Short course Handbook 3: 187-204.
- OSMAN, A. 1989: Distribution of gold among quartz, sulfides and oxides in the Hangaliya gold mine, Eastern Desert Egypt. *M.E.R.C., Earth Sci. Series, Ain Shams Univ.* 3: 168-178.
- OSMAN, A. & DARDIR, A. 1986: On the gold-bearing rocks and alteration zones at Hangaliya gold mine, Eastern Desert Egypt. *The 5th Symp. Precamb. Develop., Cairo* (Abstract).
- OSMAN, A. & DARDIR, A. 1989: On the mineralogy and geochemistry of some gold-bearing quartz vein in the Central Eastern Desert of Egypt and their wallrocks. *Annals Geol. Surv. Egypt.* 15: 17-25.
- PAKTUNC, D., KINGSTON, D. & PRATT, A. 2006: Distribution of gold in pyrite and in products of its transformation resulting from roasting of refractory gold ore. *The Canadian Mineralogist* 44: 213-227.

- PALENIK, C. S., UTSONOMIYA, S., REICH, M. KESLER, S. E., WANG, L. & EWING, R. C. 2004: "Invisible" gold revealed: direct imaging of gold nanoparticles in a Carlin-type deposits. *American Mineralogist* 89: 1359-1366.
- REICH, M., KESLER, S. E., UTSONOMIYA, S., PALENIK, C. S. & EWING, R. C. 2005: Solubility of gold in arsenian pyrite. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 69: 2781-2796.
- ROMBERGER, S. B. 1984: Transport and deposition of uranium in hydrothermal systems at temperatures up to 300 °C: geological implications. In: DEVIVO, B., IPPOLITO, F., CAPALDI, G. & SIMPSON, P. R. (eds.): *Uranium geochemistry and resources*. *Inst. Min. Metall.*: 12-17.
- SABET, A. H. & BORDONOSOV, V. P. 1984: The gold ore formations in the Eastern Desert of Egypt. *Ann. Geol. Surv. Egypt* 16: 35-42.
- SIMON, G., HIANG, H., PENNER-HAHN, J. E., KESLER, S. E. & KAO, L. 1999: Oxidation state of gold and arsenic in gold-bearing arsenian pyrite. *American Mineralogist* 84: 1071-1079.
- SOLIMAN, M. M. 1986: Ancient emerald mines and beryllium mineralization associated with Precambrian stanniferous granites in the Nugrus-Zabara area, southeastern Desert, Egypt. *Arab J. Sci. Res.* 4/2: 529-548.
- SUROUR, A. A., ATTAWIYA, M. Y., HUSSEIN, H. A. & EL-FEKY, M. G. 1999: Shear zone microfabrics and multiple source of gold at the Hangaliya gold mine, Eastern Desert, Egypt. *Egypt. Jour. Geol.* 43/1: 29-44.
- SUROUR, A. A., EL-BAYOUMI, R. M., ATTAWIYA, M. Y. & EL-FEKY, M. G. 2001: Geochemistry of wall rock alterations and radioactive mineralization in the vicinity of Hangaliya uraniferous shear zone, Eastern Desert, Egypt. *Egypt. Jour. Geol.* 45/1: 187-212.
- TAKLA, M. A. 2001: Gold mineralization in Egypt – An overview. *The Mineralogical Society of Egypt. The 14th Annual Meeting* 3 (Abstract).

Meteorite Jesenice: Mineral and chemical composition of the fusion crust of ordinary chondrite

Meteorit Jesenice: Mineralno-kemijska sestava žgalne skorje navadnega hondrita

Alenka LENART¹, Miha JERŠEK², Breda MIRTIC³ & Sašo ŠTURM⁴

Prejeto / Received 19. 10. 2010; Sprejeto / Accepted 25. 11. 2010

^{1,4}Department for Nanostructured Materials, Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: alenka.lenart@ijs.si, saso.sturm@ijs.si

²Slovenian Museum of Natural History, Prešernova 20, SI-1001 Ljubljana, Slovenia; e-mail: mjersek@pms-lj.si

³Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Geology, University of Ljubljana, Aškerčeva ulica 12, SI-1000 Ljubljana, Slovenia; e-mail: breda.mirtic@guest.arnes.si

Key words: meteorite Jesenice, fusion crust, SEM, EDS analysis, precipitates, silicate melting

Ključne besede: meteorit Jesenice, žgalna skorja, SEM, EDS analiza, precipitati, nataljevanje silikatnih zrn

Abstract

The composition of the well-preserved fusion crust of the meteorite Jesenice was characterised by means of optical and scanning electron microscopy (SEM). The SEM investigations revealed three structurally distinct layers within the crust. The features of the first layer on the surface are precipitates, enriched in metal elements (iron, nickel), and the partial melting of silicate grains, which continues deeper into the second layer. The second layer beneath has veins with a heterogeneous composition that indicates a different source of melting minerals. The third layer, which is located deeper within the fusion crust, has not undergone any structural changes and its features are similar to the interior of the meteorite. This is additionally confirmed by the presence of cracks, which are a consequence of shock metamorphism, and irregularly shaped metal and sulphide grains. The structural changes of the thin fusion crust on the surface of this stony meteorite indicate high temperatures (more than 1500 °C) accompanied by high pressures.

Izvleček

Sestavo dobro ohranjene žgalne skorje meteorita Jesenice smo preučevali z optičnim in vrstičnim elektronskim mikroskopom (SEM). V okviru SEM preiskav smo po globini ločili tri plasti, ki se med seboj razlikujejo glede na stopnjo strukturnih sprememb. Za prvo plast so značilni precipitati, obogateni s kovinskimi elementi (železo, nikelj) ter nataljevanje silikatnih zrn, ki se nadaljuje globlje v drugo plast. Druga plast vsebuje žile, zapolnjene s talino heterogene sestave, kar nakazuje taljenje različnih mineralov. Notranji, tretji pas žgalne skorje ni bil potrjen nobenimi strukturnimi spremembami. Njegove značilnosti so podobne notranjosti meteorita, s številnimi nezaopolnjenimi razpokami in nepravilnimi zrni kovin ter sulfidov. Strukturne spremembe žgalne skorje obravnavanega kamnitega meteorita kažejo na kratkotrajne visoke temperature (več kot 1500 °C) ter visoke pritiske pri prehodu skozi Zemljino atmosfero.

Introduction

Meteorites, as extraterrestrial objects that survive passage through the Earth's atmosphere and reach its surface, give important information about the formation of the early solar system as well as the origin and evolution of the Earth and other planets, comets, etc. Although meteorite falls are common phenomena, there are only limited numbers of meteorites with known orbits (ATANACKOV et al., 2010). One of them is the stony meteorite chondrite that fell in 2009 on the Mežakla plateau in the north-west of Slovenia. It was named meteorite Jesenice, after the nearby city. Altogether, three pieces with a total mass of approximately 2.3 kg were recovered. Usually, studies of chon-

drates focus more on the interior of the meteorite in order to reveal its origin based on investigations of the mineral assemblages. However, this study outlines the mineral and chemical properties of the well-preserved fusion crust on the surface of a fragment of the meteorite Jesenice. On the basis of the degree of the structural changes, different layers within the crust were distinguished. Of particular interest are the structural changes that occurred during its passage through the Earth's atmosphere. These changes could provide information about the high-temperature processes and the influence of terrestrial weathering.

All the minerals at the surface might not be completely melted and only partial mixing can occur. Recent investigations of meteorite fusion

crust variability revealed that the composition of a fusion crust can only approximate the bulk composition from which it originated due to its inhomogeneity and variability. The general investigations included petrographic studies of thin sections, electron microprobe analysis (EMPA), instrumental neutron activation analysis (INAA), geochemical studies, etc. (KOROTEV et al., 1996; DAY et al., 2006; BRANDSTÄTTER et al., 2008; THAISEN & TAYLOR, 2009).

Stony meteorites

A meteorite is a recovered fragment of a meteoroid that has survived transit through the Earth's atmosphere (McSWEEN, 1999). Meteorite Jesenice is a stony meteorite classified as an ordinary chondrite (ATANACKOV et al., 2010). Stony meteorites are very similar to the rocks on the Earth because they are composed mainly of silicate and oxide minerals, although they may also contain small metal grains (McSWEEN, 1999). They are the most commonly observed fallen meteorites (MACDONALD et al., 2003). Chondrites are the most common form of stony meteorites and represent 86 % of the mass of all the fallen meteorites on the Earth's surface. They consist of 40 %–90 % of chondrules (McSWEEN, 1999; TRIGLAV, 2000), which are subspherical or sometimes ellipsoidal structures with diameters of 0.1 mm up to 4 mm (KOHOUT, 2009). They may be porphyritic, granular or glassy in texture (MACDONALD et al., 2003). Chondrules are composed of different minerals, although olivine and pyroxene tend to prevail and small amounts of feldspars are also present. In addition, impurities of iron and other metals can be found.

Stony meteorites usually have a thin, dark coating, called the 'fusion crust', which distinguishes them from the rocks on the Earth. When a meteoroid travels through the atmosphere at high speed, the air in its path is compressed and the temperature of this air increases. Because a meteoroid has no shields to dissipate the heat generated by the atmospheric friction, its surface melts. A meteoroid is heated to melting temperatures during its fall, which results in loss of most of the molten material due to ablation before impact itself. When the meteoroid slows down to the point where no melting occurs, the last melt to form cools down, leaving only a very thin rind of quenched fusion crust (McSWEEN, 1999; THAISEN & TAYLOR, 2009). The fusion crust is a layer of solidified melt glass coating the exterior. Frequently, it is less than a millimetre thick, except for solidified pockets of melt on the trailing edges of oriented meteorites. Atmospheric heating does not significantly affect their interior because the heat conduction in stones, or even lumps of iron, takes much longer than a minute or so required for atmospheric transit. A stony meteorite's crust is originally black but lightens with prolonged exposure to the atmospheric conditions (McSWEEN, 1999). The weathered fusion crust is rusty brown and looks like many of the rocks on the Earth.

Mineralogy of ordinary chondrite

Meteorites contain no elements that are not already present in terrestrial rocks; however, these elements are often combined to form compounds that may be different from those in terrestrial rocks. They contain unique assemblages of minerals that tell us about the composition of other planets or about the origins of the minerals on Earth. The bulk of stony meteorites is composed of several minerals that are commonly found on Earth, e.g., olivine (magnesium iron silicate), pyroxene (magnesium iron calcium silicate), plagioclase (a sodium-calcium aluminosilicate), chromite (chromium iron oxide) and magnetite (iron oxide). Troilite (iron sulphide), cohenite (iron carbide) and several forms of nickel-iron metal (kamacite and taenite) are abundant in meteorites, but are extremely rare in terrestrial rocks and ores (McSWEEN, 1999). The main components of ordinary chondrites are the mafic silicates, Fe-Ni metal and troilite (BLAND et al., 2006). Meteorite Jesenice contains the following mineral phases: olivine, low-Ca pyroxene, Ca-pyroxene, plagioclase, kamacite, taenite, troilite and less abundant quantities of chromite, whitlockite, Cl-apatite and ilmenite (ATANACKOV et al., 2010).

Samples and methods

In order to investigate the mineral-chemical composition of the fusion crust on the surface of the meteorite Jesenice and its structural changes in comparison with the interior of the meteorite, different samples and investigation techniques were applied. A fragment of the meteorite was cut perpendicular to the surface and prepared as three polished thin sections. One of them contained the fusion crust, which was investigated with a Zeiss Axio Z1-m optical microscope in reflected and transmitted light. For the scanning electron microscopy (SEM) two types of samples were prepared. The first type was the original surface of a small fragment of the meteorite with some preserved crust on its surface (Fig. 1). The second type represented a petrographic thin section (thickness of 30 µm) that contained the meteorite's crust (Fig. 2). The specimens were mounted on aluminium stubs with a double-faced conductive adhesive tape. For conductivity, all samples were coated with thin conductive film of graphite, using a Balzers SCD 050 sputterer.

Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) were used to characterise mineral phases. The investigations were carried out on a Jeol JSM 5800 scanning electron microscope, equipped with a Si-Li detector (LINK ISIS300, Oxford Instruments), at the Jožef Stefan Institute in Ljubljana, Slovenia. Mineral databases, supplied by the manufacturer, were used for quantification of the expected chemical elements. The chemical composition of the crust was therefore determined by standardless EDS quantitative analysis, from here on referred to as EDS analysis. The chemical analy-



Fig. 1. The interior of a fragment of the stony meteorite Jesenice is light-coloured, while its surface is covered by well preserved dark fusion crust.

Sl. 1. Notranji del fragmenta kamnitega meteorita Jesenice je sive barve. Na površini ima ohranjeno temno žgalno skorjo.

ses were performed at an accelerating voltage of 20 kV and a working distance of 10 mm. The spectra-acquisition time was 60 s.

To distinguish the different mineral phases, the BSE (backscattered electrons) mode was used. Backscattered electrons carry useful information about the specimen's chemical composition, the topography, the crystallinity, etc. (GOLDSTEIN et al., 2003). The intensity of the signal of backscattered electrons, which are electrons with high energy, depends on the average atomic number (Z) and the local topography of the sample. To eliminate the differences that arise when a specimen has an irregular topography, the investigated samples had a flat surface and sufficient thickness. The atomic number contrast (also called the compositional contrast or the Z contrast) with backscattered electrons enables detection of regions with different chemical compositions within the specimen. Atomic number is unique for every element in the periodic system. For example, phases rich in heavy elements appear brighter than those that contain lighter elements. Elements with a higher atomic number Z generate more backscattered electrons, which originate from the deflection of the electron beam at the atoms in the sample. The

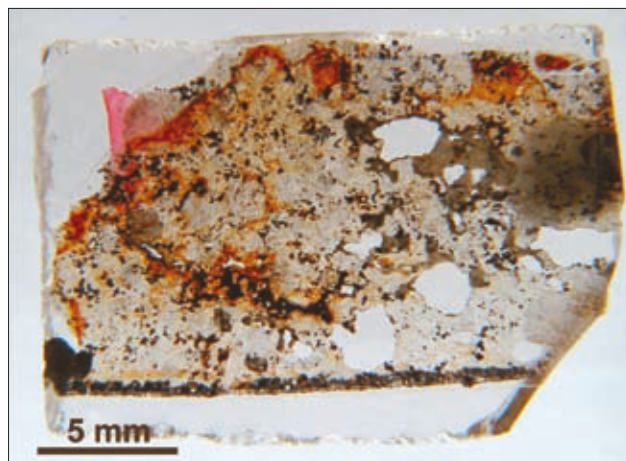


Fig. 2. Thin section of the meteorite Jesenice with the dark layer along the bottom corresponding to the fusion crust.

Sl. 2. Zbrusek meteorita Jesenice. Temna plast na spodnjem robu je žgalna skorja meteorita.

atomic number contrast between adjacent pairs of elements (separated by one unit of atomic number) is strong at low atomic numbers and decreases as the atomic number increases (GOLDSTEIN et al., 2003).

Results and discussion

The thickness of the fusion crust of meteorite Jesenice varies from 0.1 mm to 0.3 mm (ATANACKOV et al., 2010). The optical microscopy revealed that the inner part of the meteorite differs from the crust because the former contains chondrules of olivines and pyroxenes. In contrast, the latter provides information about the local structural alteration due to the exposure to conditions (changes in the temperature and pressure) during passage through the atmosphere. As viewed in thin sections, using an optical microscope, the boundary of the crust in reflected light was hard to distinguish from the rest of the rock (Fig. 3a). However, in transmitted polarized light the crust appeared as a black layer on the edge of a thin section (Fig. 3b).

Since optical microscopy is limited by its resolution and in order to obtain information about the chemical composition of the samples, scan-

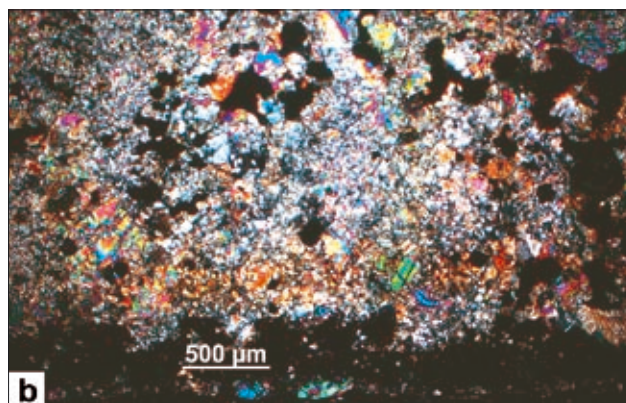
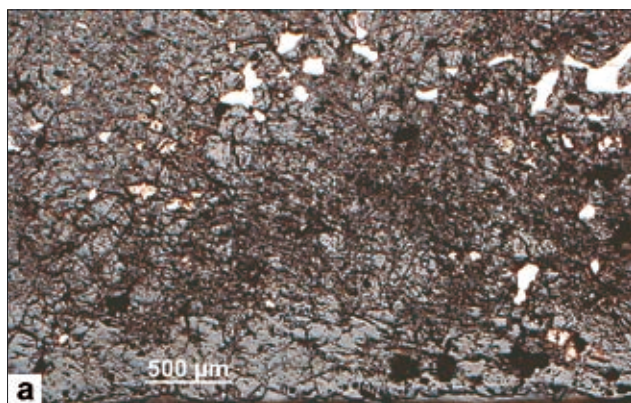


Fig. 3. Thin section of the meteorite Jesenice with fusion crust viewed in a) reflected and b) transmitted light in an optical microscope. The black layer in the lower part of a thin section, viewed in transmitted light, corresponds to the meteorite's crust.

Sl. 3. Zbrusek meteorita Jesenice z žgalno skorjo v a) odbiti in b) presevni polarizirani svetlobi pod optičnim mikroskopom. Temen pas v spodnjem predelu zbruska pod polarizirano presevno svetlobo ustreza skorji meteorita.

ning electron microscopy was applied. On the basis of the degree of structural changes, the SEM analyses revealed three layers within the meteorite's crust (Fig. 4).

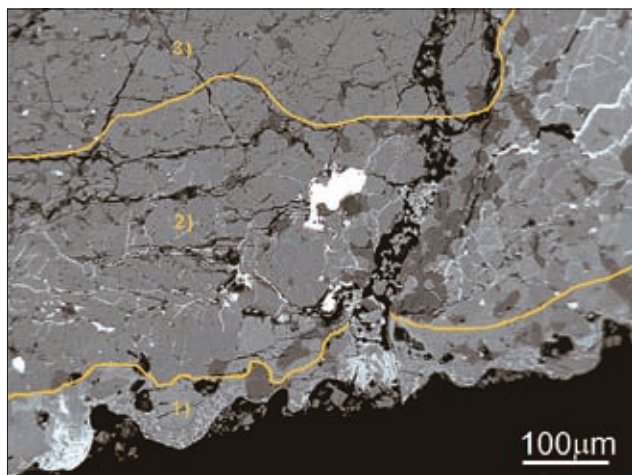


Fig. 4. Based on the degree of structural changes we distinguished three layers (1, 2, 3) within the meteorite's crust. This photomicrograph was taken with SEM in BSE mode.

Sl. 4. Glede na stopnjo strukturnih sprememb žgalne skorje meteorita se po globini razločijo trije pasovi (1, 2, 3). Slika je bila posneta z vrstičnim elektronskim mikroskopom v načinu povratno sipanih elektronov (BSE).

1) first layer of the meteorite's crust

The first layer of the fusion crust includes the surface of the meteorite and the outermost part of the crust. A characteristic of this layer are the precipitates (Fig. 5a). The dendritic growth of the precipitates indicates a fast precipitation from the melt (Fig. 5b). In BSE mode they are viewed as the brightest phases. EDS analyses of 15 measured precipitates revealed that in comparison with the glassy phase, their compositions mostly correspond to iron and nickel, although these compositions vary locally (Tab. 1). In the first layer, in addition to the appearance of the precipitates,

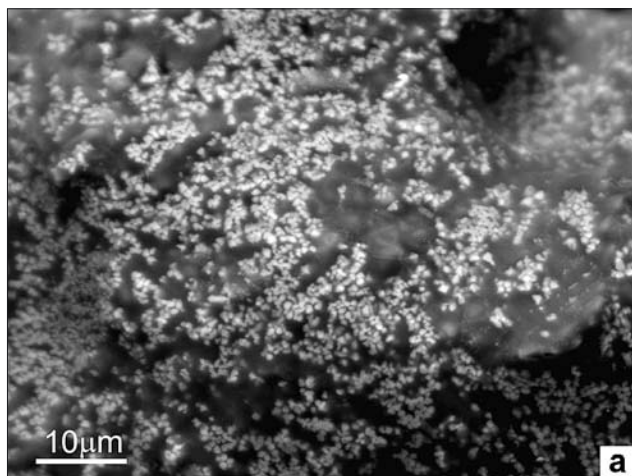


Fig. 5. a) Surface of a fragment of the meteorite Jesenice viewed in BSE mode. The white phases are precipitates rich in metal elements (iron, nickel). b) Closer view of the dendritic growth of precipitates in a thin section of the fusion crust of the meteorite Jesenice. Magnification 3000x, BSE mode.

Sl. 5. a) Površina kosa meteorita Jesenice, posneta v načinu povratno sipanih elektronov. Svetle faze pripadajo precipitatom, obogatim s kovinskimi elementi (železo, nikelj). b) Dendritska rast precipitatom v zbrusku z žgalno skorjo meteorita Jesenice. BSE način, povečava 3000x.

the partial melting of silicate grains, such as olivines, pyroxenes and feldspars, is also significant (Fig. 6). According to REIMOLD et al. (2004), the frictional temperature excursions must have attained values in excess of 1500 °C to allow a complete melting of the forsteritic olivine.

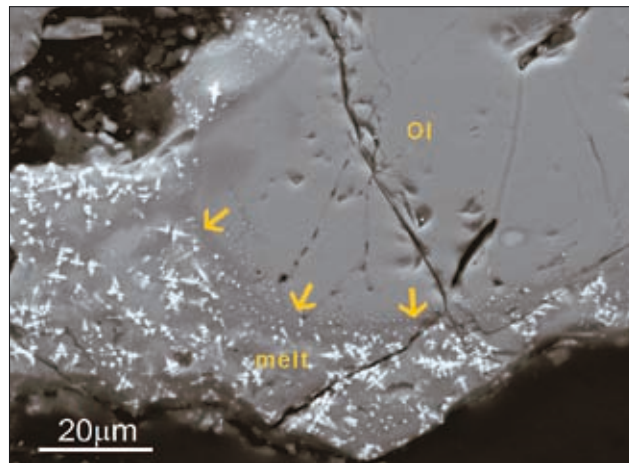


Fig. 6. BSE image of a thin section showing partial melting of an olivine grain. The line of melting progression is very sharp (marked by the arrows).

Sl. 6. BSE posnetek zbruska kaže nataljevanje zrna olivina z ostro nataljevalno fronto (označena s puščicami).

2) second layer of the meteorite's crust

The first layer of the meteorite's crust continues through the depth to the second layer. However, in some places the transition between the aforementioned layers is not sharp due to partial melting of the silicate grains, which continues from the first layer. Within the second layer there are abundant regions of melted feldspar grains and their melt partially covers the grains of minerals that belong to the pyroxene and olivine mineral group (Fig. 7). This is reflected in the fact that the plagioclases melt at lower temperatures than other major minerals in chondrites. The second layer within the

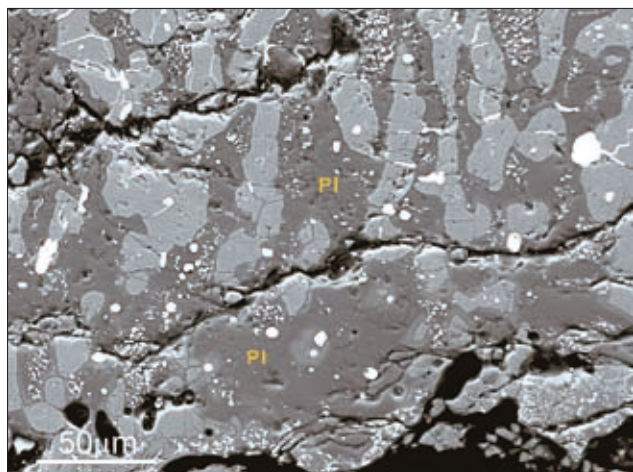


Fig. 7. Melting of plagioclase (Pl) grains, which appear dark grey in BSE mode.

Sl. 7. Nataljevanje zrn plagioklazov (Pl), ki so v BSE načinu opazovanja temno sive barve.

fusion crust differs from the first layer in terms of the presence of the veins that intersect the silicate grains (Fig. 8a). These veins are up to 2 µm wide, but they are often thinner. They are heterogeneously filled with metal-rich compounds, which are viewed as phases with different brightnesses in BSE mode (Fig. 8b). A heterogeneous filling of the cracks on a micrometer scale was formed from the melting of different local mineral assemblages

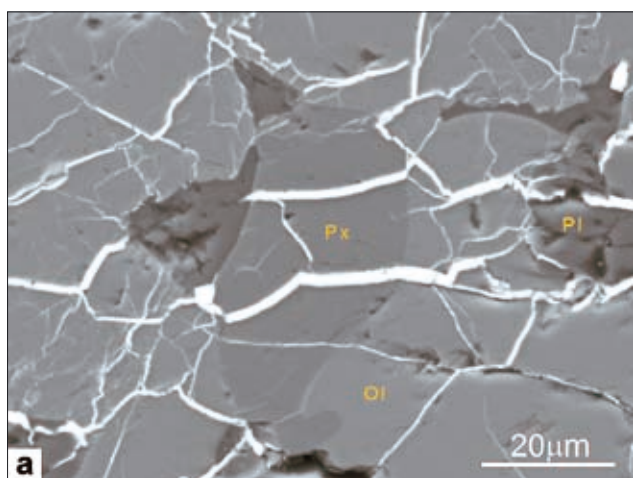


Fig. 8. BSE image of veins, intersecting different silicate grains. a) Olivine (Ol) and pyroxene (Px) grains are medium grey. Plagioclase (Pl) is dark grey. b) Inhomogeneous filling of the vein (magnification 3300x). Visible are phases with different Z contrast.

Sl. 8. Žile taline sekajo različna silikatna zrna. Posneto v BSE načinu. a) Zrna olivinov (Ol) in piroksenov (Px) so srednje siva. Zrna plagioklazov (Pl) so temno siva. b) Nehomogena polnitev razpoke (povečava 3300x). Vidne so faze z različnim Z kontrastom.

(Tab. 2). The large amount of detected Si and Mg is due to the melting of the olivine and/or pyroxene grains. Some fragments within the vein also show small abundances of Ca, which presumably derive from melted pyroxene or plagioclase.

3) third layer of the meteorite's crust

The third layer is located deeper than the second layer and it differs from the latter significantly. There is a clear evidence of numerous primary cracks, which shows that at this depth of the fusion crust the temperature was lower than in the

Tab. 1 EDS analyses of 15 precipitates, formed from the melt in the first layer of the fusion crust; average composition (x), standard deviation (s), range (min – max).

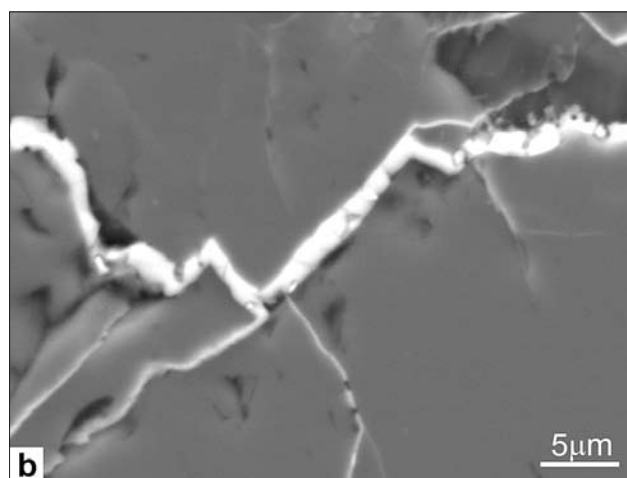
Tab. 1 EDS analize 15 precipitotov, ki so se izločili iz taline v prvi plasti žgalne skorje; povprečna sestava (x), standardni odklon (s), razpon (min – max).

element	x (at. %)	s (at. %)	min – max (at. %)
Si	32	8,8	17,8 – 44,0
Fe	31	16,1	7,8 – 54,7
Mg	26	10	14,0 – 42,4
Al	3	2,9	0,8 – 13,1
Ca	3	1,2	0,6 – 5,2
Na	2	1,2	0,8 – 4,8
K	2	5	0,0 – 19,6
Ni	1	0,4	0,2 – 1,4
Mn, Cr, S	< 1		

Tab. 2 EDS analyses of filling of the veins in the second layer of the fusion crust; average composition (x), standard deviation (s), range (min – max). Number of analyses is 5.

Tab. 2 EDS analize polnitve žil v drugi plasti žgalne skorje; povprečna sestava (x), standardni odklon (s), razpon (min – max). Število meritev je 5.

element	x (at. %)	s (at. %)	min – max (at. %)
Fe	41,0	8	29,1 – 49,6
S	29,1	12,5	12,7 – 40,0
Si	15,1	9,7	4,8 – 28,7
Mg	14,9	11,4	3,1 – 33,7
Ni	6,2	5,2	0,6 – 13,4
Ca	0,6	1	0,0 – 2,4
Al, Na, Cr, Mn, Ti, P, K	< 1		



first two layers, and consequently these irregular fractures were not filled with the melt (Fig. 9). Extensive fracturing is typical for all types of silicate minerals within the specimen. A significant feature of the third layer are the well-preserved and abundant xenomorphic metal and sulphide grains (Fig. 10). This additionally suggests the absence of melting. These metal and sulphide grains have a large size distribution and are commonly intergrown. Individual smaller grains occur in euhedral crystal shapes. These grains belong to metallic Fe-Ni and troilite (FeS). Within the Fe-Ni, according to the chemical composition, the

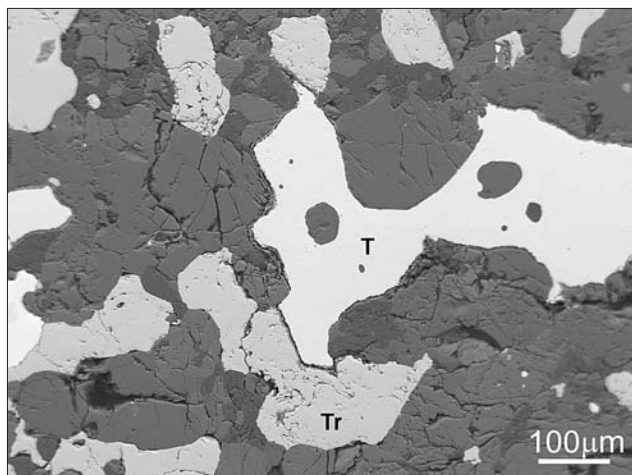


Fig. 9. Cracks in the silicate grains are not filled with the melt, which indicates lower temperatures within the third layer of the meteorite's crust.

Sl. 9. Nezapolnjene razpoke v silikatnih zrnih kažejo na nižjo temperaturo v tretji plasti skorje meteorita.

polymorphs taenite γ -(Fe, Ni) and kamacite α -(Fe, Ni) are visible. The third layer within the fusion crust is represented by structurally unchanged rock, which does not significantly differ from the interior of the meteorite.

Conclusion

Meteorite Jesenice is a stony meteorite chondrite that fell in Slovenia in 2009. It has a well-preserved fusion crust on its surface. This is a thin black coating that forms as the meteorite partially melts while passing through the Earth's atmosphere. The SEM investigations of its fusion crust revealed three structurally distinct layers within the crust. The features of the first layer are precipitates, enriched in metal elements (iron, nickel) and the partial melting of silicate grains (olivines, pyroxenes and feldspar). The aforementioned melting of the silicate grains continues deeper into the second layer. In the second layer there are veins, heterogeneously filled with metal compounds with a range of chemical compositions, which were determined by EDS analyses. These veins intersect different silicate grains. In the third layer, which is located deeper within the fusion crust, there is no evidence of any structural changes and its features are similar to the interior of the meteorite. This is confirmed by the presence of cracks, which intersect silicate grains, and larger irregularly shaped metal and sulphide grains. The structural changes of the thin fusion crust on the surface of this stony meteorite indicate high melting temperatures (more than 1500 °C). At the same time the preserved fusion crust presumably represents protection against further weathering, to which the meteorite was exposed after it landed on the Earth's surface.

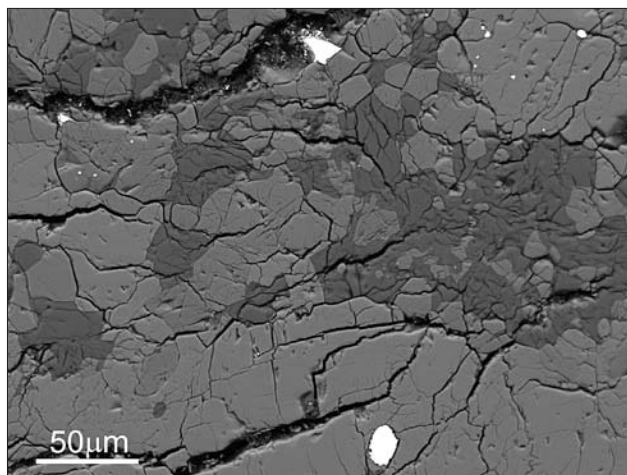


Fig. 10. SEM backscattered-electron image of the third layer within the fusion crust of the meteorite Jesenice showing the major metal and sulfide phases. Silicate is dark grey, troilite (Tr) is light grey and taenite (T) is white.

Sl. 10. Tretja plast žgalne skorje meteorita Jesenice, posneta v načinu povratno sipanih elektronov, vsebuje zrna kovin in sulfidov. Silikati so temnosivi, troilit (Tr) je svetlosiv, taenit (T) je bel.

References

- ATANACKOV, J., JERŠEK, M., KAC, J., Kladnik, G. & MIRTIC, B. 2010: Meteorit z Mežakle. Gornjesavski muzej Jesenice in Prirodoslovni muzej Slovenije. Ministrstvo RS za kulturo, Občina Jesenice in Občina Gorje: 1-55.
- BLAND, P. A., ZOLENSKY, M. E., BENEDIX, G. K. & SEPHTON, M. A. 2006: Weathering of Chondritic Meteorites. In: McSWEEN, H. Y. (ed.): Meteorites and the Early Solar System II. University of Arizona Press (Arizona): 853-867.
- BRANDSTÄTTER, F., BRACK, A., BAGLIONI, P., COCKELL, C. S., DEMETS, R., EDWARDS, H. G. M., KURAT, G., OSINSKI, G. R., PILLINGER, J. M., ROTEN, C.-A. & SANCISI-FREY, S. 2008: Mineralogical alteration of artificial meteorites during atmospheric entry. The STONE-5 experiment. Planetary and Space Science (Amsterdam) 56: 976-984.
- DAY, J. M. D., TAYLOR, L. A., FLOSS, C., PATCHEN, A. D., SCHNARE, D. W. & PEARSON, D. G. 2005: Comparative petrology, geochemistry, and petrogenesis of evolved, low-Ti lunar mare basalt meteorites from the LaPaz Icefield, Antarctica. Geochimica et Cosmochimica Acta (Amsterdam) 70: 1581-1600.
- GOLDSTEIN, J. I., NEWBURY, D. E., ECHLIN, P., JOY, D. C., LYMAN, C. E., LIFSHIN, E., SAWYER, L. & MICHAEL, J. R. 2003: Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis. Third edition, Kluwer Academic/Plenum Publishers (Boston): 1-296.
- KOHOUT, T. 2009: Physical properties of meteorites and their role in planetology. Report Series in Geophysics, no. 60. Academic Dissertation in Geophysics. University of Physics, Department of Physics (Helsinki): 1-60.
- KOROTEV, R. L., JOLLIFF, B. L. & ROCKOW, K. M. 1996: Lunar meteorite Queen Alexandra Range 93069 and the iron concentration of the lunar highlands surface. Meteoritics & Planetary

- Science, University of Arizona, Department of Geosciences (Arizona) 31: 909-924.
- MACDONALD, J. G., BURTON, C. J., WINSTANLEY, I. & LAPIDUS, D. F. 2003: Coolin's dictionary of Geology. HarperCollins Publishers (Glasgow): 1-480.
- McSWEEN, H. Y. 1999: Meteorites and Their parent Planets. Second edition, Cambridge University Press (Cambridge): 1-310.
- REIMOLD, W. U., BUCHANAN, P. C., AMBROSE, D., KOEBERL, C., FRANCHI, I., LALKHAN, C., SCHULTZ, L., FRANKE, L. & HEUSSER, G. 2004: Thuatse, a new H4/5 chondrite from Lesotho: History of the fall, petrography, and geochemistry. *Meteoritics & Planetary Science*, University of Arizona, Department of Geosciences (Arizona) 39/8: 1321-1341.
- THAISEN, K. G. & TAYLOR, L. A. 2009: Meteorite fusion crust variability. *Meteoritics & Planetary Science*, University of Arizona, Department of Geosciences (Arizona) 44/6: 871-878.
- TRIGLAV, M. 2000: Meteorji. Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije, Knjižnica Sigma (Ljubljana): 1-207.

Determining the surface roughness coefficient by 3D Scanner

Določitev koeficienta hrapavosti razpoke s 3D skenerjem

Karmen FIFER BIZJAK

Prejeto / Received 26. 8. 2010; Sprejeto / Accepted 5. 11. 2010

Slovenian national Building and Civil Engineering Institute, Dimičeva ul. 12, SI-1000 Ljubljana;
e-mail: Karmen.fifer@zag.si

Key words: camera-type 3D scanner, rock mechanics rock joint, roughness of the joints

Ključne besede: 3D skener s kamero, mehanika hribin, hrapavost razpok

Abstract

Currently, several test methods can be used in the laboratory to determine the roughness of rock joint surfaces. However, true roughness can be distorted and underestimated by the differences in the sampling interval of the measurement methods. Thus, these measurement methods produce a dead zone and distorted roughness profiles. In this paper a new rock joint surface roughness measurement method is presented, with the use of a camera-type three-dimensional (3D) scanner as an alternative to current methods. For this study, the surfaces of ten samples of tuff were digitized by means of a 3D scanner, and the results were compared with the corresponding Rock Joint Coefficient (JRC) values. Up until now such 3D scanner have been mostly used in the automotive industry, whereas their use for comparison with obtained JRC coefficient values in rock mechanics is presented here for the first time. The proposed new method is a faster, more precise and more accurate than other existing test methods, and is a promising technique for use in this area of study in the future.

Izvleček

Za določitev hrapavosti površine razpoke v hribini se v laboratoriju uporablja več metod. Realna hrapavost se lahko popači z uporabo različnih intervalov in merilnih metod. Pri vseh dosedanjih meritvah se pojavi mrtvi kot meritve, ki popači sliko površine razpoke. V predstavljenem članku je uporabljena nova metoda meritve hrapavosti razpok v hribini z uporabo 3D skenerja. Za predstavljeno študijo je bilo skeniranih 10 vzorcev tufa, rezultati pa so se primerjali z koeficientom hrapavosti razpoke (JRC). Do sedaj se je 3D skener večinoma uporabljal v avtomobilski industriji. Primerjava z JRC faktorjem na področju mehanike hribin, je s tem člankom predstavljena prvič. Predlagana nova metoda je hitra in bolj precizna od do sedaj uporabljenih metod, zato ima veliko možnosti, da se uveljavi tudi na področju mehanike hribin.

Introduction

One of the most challenging tasks in engineering rock mechanics is characterization of rock joints and jointed rock mass properties. Surface roughness has a major influence on the hydro-mechanical behaviour of rock fractures, and needs to be characterized accurately.

Rock joint roughness has been researched over the last 30 years because of its important influence on the shear strength of rock joints. Since BARTON (1973) first proposed the Joint Roughness Coefficient (JRC) for the quantification of rock joint roughness, this property has been quantified by various parameters (CARR & WARRINER, 1989; MAERZ et al., 1990; KULATILAKE et al. 1995; YU, 1991), which include the root mean square of the first derivative of the profile – Z₂, the micro-

average inclination angle A_i, the roughness profile index R_p, and the fractal dimension D.

Rock joint surface roughness has also been measured by several different methods in the laboratory. The most commonly used methods are mechanical profilometry (BARTON & CHOUBEY, 1977; BROWN & SCHOLZ, 1985), shadow profilometry (MAERZ & FRANKLIN, 1990), stylus profilometry (SWAN, 1983; KULATILAKE et al., 1995), and laser profilometry (HUANG et al., 1992; LANARO, 2000). Stylus profilometry and laser profilometry produce very detailed profiles of the roughness, but their performance is time-consuming and complex.

Until now 3D scanner was mostly used in the automotive industry, firstly in this study is used for the comparison with JRC coefficient and the surface Roughness Coefficient (R_s).

Methods

Calculations of roughness parameters

The usually used three-dimensional roughness parameters include the 3D mean angle Φ_s , the 3D root mean square of the first derivative Z_{2s} and the surface roughness coefficient R_s (BELEM et al., 2000). Many researchers have tried to apply 3D measurements to characterize the shape of rock joint surfaces (LANARO, 2000; FARDIN et al. 2001), but they did not use the actual 3D data.

The surface roughness coefficient R_s has been generally adopted, due to its simplicity (EL SODANI, 1978; LANGE et al. 1993; GOKHALE & UNDERWOOD, 1990; Lee et al., 2002). Recently, it has been used to quantify the rock surface roughness (BELEM et al., 2000; LEE et al., 2002). The following definition of the surface roughness coefficient R_s was suggested by EL SODANI (1978):

$$R_s = \frac{A_t}{A_n}$$

where A_t is the actual area of the surface, and A_n is the nominal area, which is a projection of the actual area (Fig 1). BELEM et al. (2000) later suggested the following specific roughness coefficient SR_s :

$$SR_s = R_s - 1$$

Previous researchers have obtained R_s from the correlation between R_s and R_L . Note that R_L is a two-dimensional parameter of the surface roughness.

$$SR_L = R_L - 1 = \frac{\sum(\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2)^{1/2}}{L_n}$$

where Δx_i^2 and Δy_i^2 are heights measured from the estimated reference line, and L_n is the interval between the measurements.

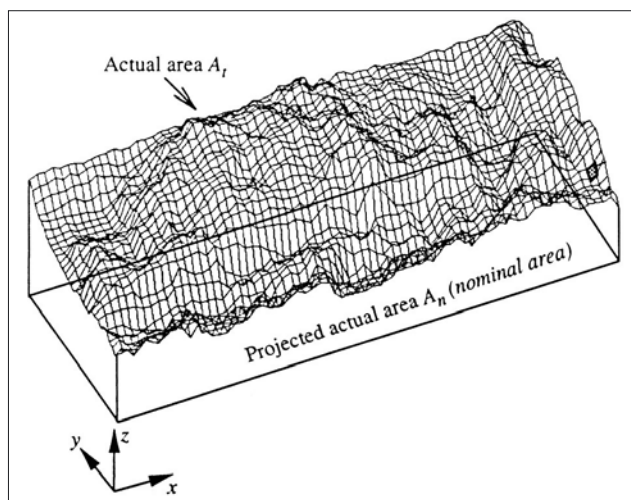


Fig. 1. Actual area and nominal surface area of the rock surface

Sl. 1. Dejanska površina in nominalna površina razpoke

BELEM et al. (2000) used laser profilometry to measure the ground and sanded surfaces of granite and rough undulated replicas of mortar, and

suggested the following correlation between R_s and R_L :

$$R_s \approx 2.3124 \bar{R}_{Lxy} - 1.3138$$

where R_{Lxy} is the average of the R_L value in the x-direction and the R_L value in the y-direction. In experimental equations the 2D parameter R_L is more usable, since up until now 3D measurements of rock surfaces has been technically difficult and time-consuming.

For the calculation of peak shear strength, Barton's curvilinear shear strength criterion for rock joints is the most useful. It is expressed as follows:

$$\tau = \sigma_n \tan \left[JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_b \right]$$

where:

τ = the peak shear strength,

σ_n = the effective normal stress,

JRC = the joint roughness coefficient,

JCS = the joint wall compressive strength,

ϕ_b = the base friction angle.

The term "joint roughness coefficient" is perhaps misleading, since JRC is not a measure of roughness geometry, but an empirical parameter in a shear strength equation. It cannot be measured directly, but has to be estimated by visually comparing a rough joint with the standard set of comparator profiles published by BARTON and CHOUBEY (1997).

Use of a 3D Scanner

For measuring rock joint roughness, a camera-type digital 3D scanner was used, which is a combined system with photogrammetry and fringe projection. It uses two cameras to capture the same position or asperity, and can thus produce three-dimensional images showing the height of the asperity (Fig. 2). The measurement method used by the camera-type 3D scanner is presented from Fig. 3 to Fig.4.

Photogrammetry can be used for the measurement of sensor coordinates, as well as for the global matching of partial views (Fig. 3).

In fringe projection, the projector illuminates the stripe of the patterned light on an object and two cameras capture the deformed shape of fringe by the object (Fig. 4).



Fig. 2. The camera and scanner

Sl. 2. Kamera in skener

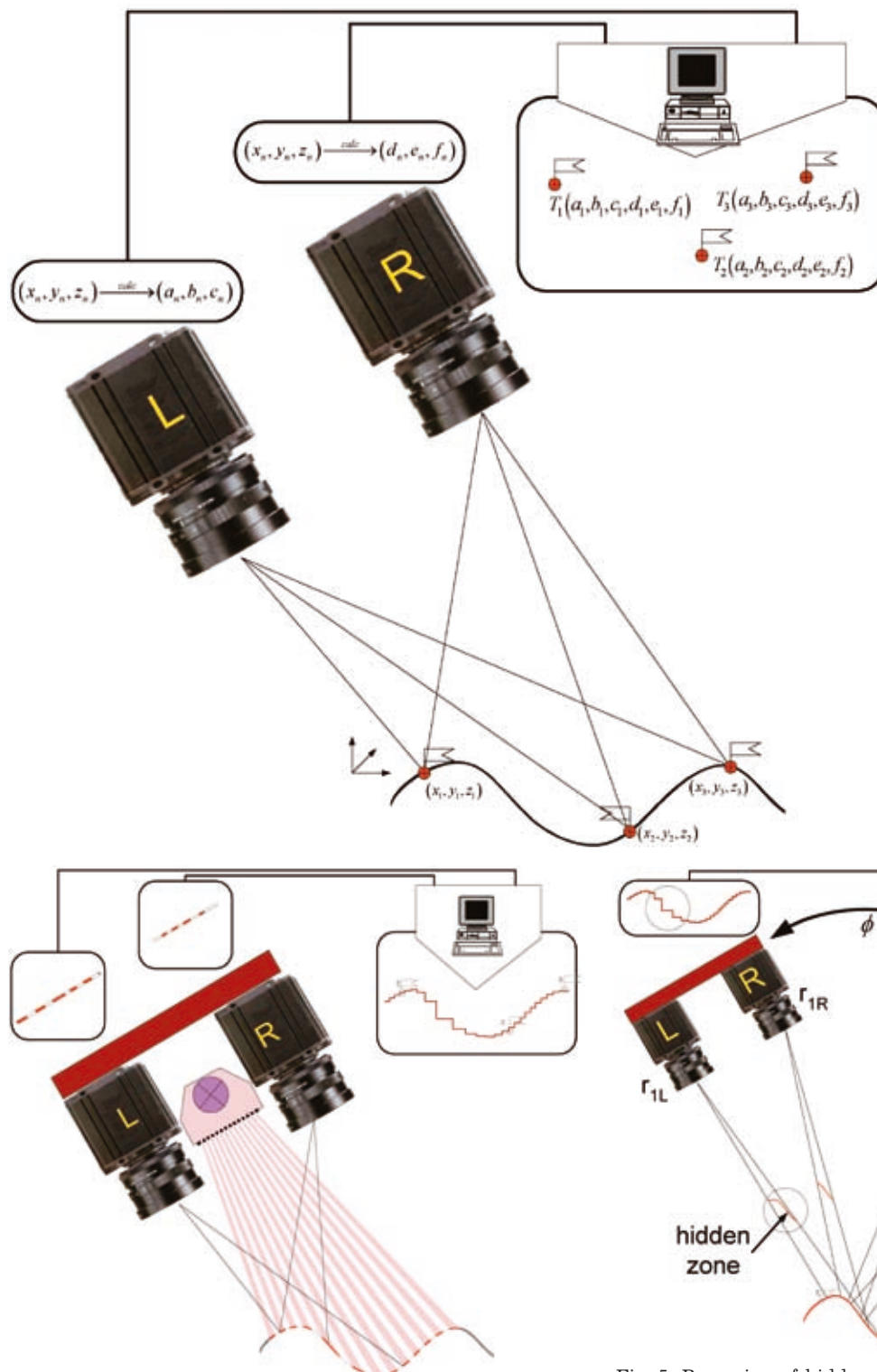


Fig. 3. The photogrammetry concept

Sl. 3. Princip izvedbe fotogrametrije

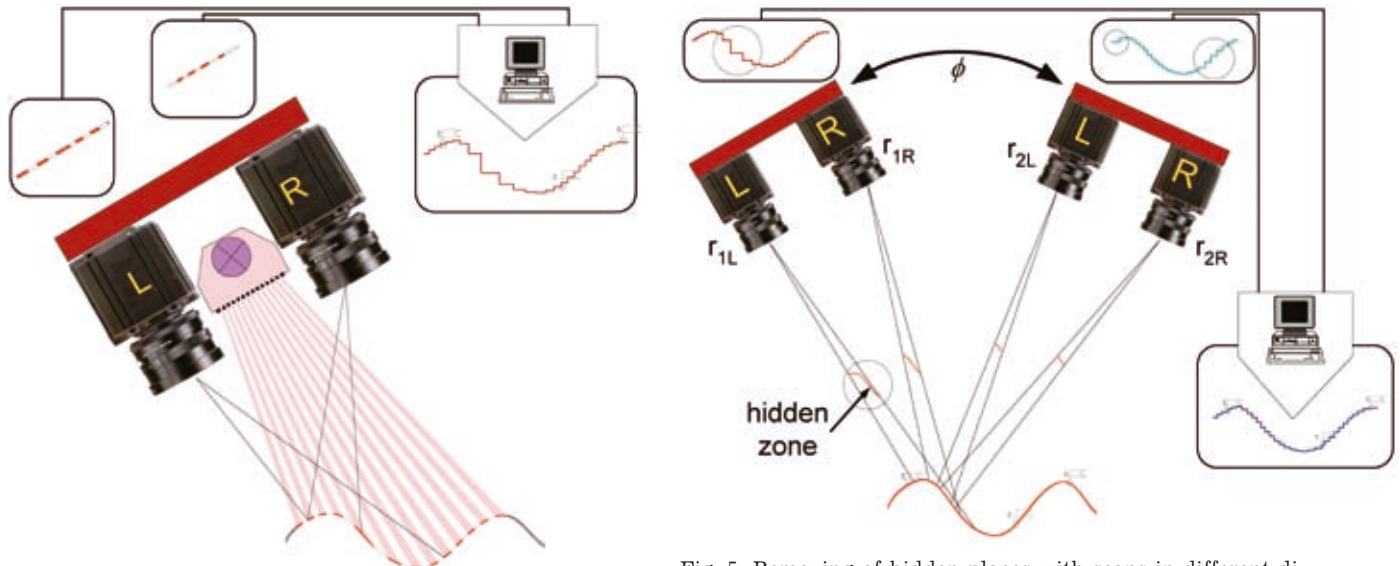


Fig. 4. The concept of measurement with the fringe (stripe) projection method

Sl. 4. Koncept meritve s pasovno projekcijsko metodo

An accurate roughness profile may be obtained by specific fringe characteristics. Therefore, the roughness underestimation of unevenness can be improved.

The specific asperity can be captured several times at different locations (r) and angles (ϕ), so that all hidden zones can be visible (Fig. 5). While this method can quickly provide the high density cloud point, it is very sensitive to environmental conditions.

Fig. 5. Removing of hidden places with scans in different directions

Sl. 5. Zmanjševanje mrtvih kotov površin z večkratnim skeniranjem

In this study, fringe projection has been used to obtain the high density cloud point, and photogrammetry was used to establish the coordinate information and to modify the data affected by the environment. Although this method requires a merging process because of image overlapping with “multi-viewing”, it produces a high resolution image quickly and conveniently (REICH et al., 2000; LEE & AHN, 2004).

The selected system for this study was Advanced TOpometric Sensor (ATOS I), which combines photogrammetry and fringe projection. Because this system can yield high density three-dimensional point clouds for each image, it also requires a high computing system. ATOS have been used in the field of engineering for product digitization in industries such as the automotive industry. Details of the selected system are summarized in Table 1.

Table 1. The camera-type 3D scanning system (ATOS I).
Preglednica 1. 3D skener s kamero (ATOS I)

Item	Value
Measured Points	800.000
Measurement Time (seconds)	0.8
Measuring Area (mm ²)	125 x 100 - 1000 x 800
Point Spacing (mm)	0.13-1.00
Measuring volume (mm ³)	125 x 100 x 90 to 1000 x 800 x 800
Measuring points per individual scan	1032 x 776 pixels

The camera-type 3D scanner has several advantages:

- the scanning process is fast and the image is accurate
- the large scale of the specimen can be digitized
- the scanning process can be performed in the field
- the rock surface is not damaged during digitizing.

Roughness measurements

For the study, ten samples of tuff were prepared. The diameter of the samples was about 6 cm. Digitalized images were obtained by the 3D scanner. The samples as imaged by the camera-type 3D scanner are shown in Fig. 6. The surface roughness is from planar to rough.

The digital camera was used to establish the global coordinate system and the reference points, and the measuring sensors were calibrated with a calibration plate. After the sample had been placed on a flat working table, several markers were fixed on the sample and to the table around it (Fig. 7), and a global coordinate system and reference points were established. The samples were then digitized with 7–8 shots taken by the 3D scanner. The measurement window size was 100 x 80 (length x width in millimeters), and the measuring point distance was about 0.1 mm.

Image processing software was applied to acquire 3D profiles of the rock joints for the analysis of the point cloud data. The procedures were as follows:

First, the point cloud data were polygonized, and triangulated irregular networks (TINs) were generated. After that a horizontal plane was formed for the calculated surface area of the sample. For this process, the image processing software of the ATOS system was used.



Fig. 6. The ATOS I 3D scanner and the sample
Sl. 6. 3D skener ATOS I in vzorec



Fig. 7. A sample of tuff, with markers
Sl. 7. Vzorec tufa z označbami

Results and discussion

Roughness coefficients (R_s) were calculated from the above-stated equation. The actual area of the surface (A_s) and the nominal area (A_n) were calculated by using the image processing programs from ATOS I.

The results for all ten samples are presented in Table 2. The calculated R_s value was between 1.02, which is for a plane joint, and 1.38, which indicates a very rough rock surface. The specific roughness coefficient was then calculated from the roughness coefficient. Some typical 3D scans are presented in Figures 9 to 11.

After 3D scanning of all the samples, the JRC factor was measured by using a Barton comb. The results are presented in Table 2. These are 2D measurements, so they cannot have the same

accuracy as 3D scanning. The 2D profile measured with Barton comb was compared with the profiles published by BARTON & CHOUBEY (1977), and also in the ISRM standard. According to the ISRM standard, there are 10 profiles assessed with JRC from 1–20 (two points for every profile). Even with measurements using the Barton comb, the number of JRC's was very difficult to determined. It varied according to the direction of the profile, and depended on the observer's view and estimation. Each sample was measured in different directions, and the average JRC was calculated at the end. The results are presented in Table 2.

Table 2. Results of the measurements with the 3D scanner and results of the measurements of the coefficient JRC

Preglednica 2. Rezultati meritev s 3D skenerjem in rezultati meritev koeficienta JRC

Depth m	A_t mm ²	A_n mm ²	R_s	SR_s	JRC
20	3274	3014.4	1.08612	0.08612	11
21.0	3584	2797.74	1.281034	0.281034	14
21.2	3327	3066.21	1.085053	0.085053	9
21.6	3255	3165.12	1.028397	0.028397	7
24.1	3659	3066.21	1.19333	0.19333	15
24.7	3475	2873.1	1.209495	0.209495	13
25.1	3609	3064.64	1.177626	0.177626	15
25.4	3593	3114.88	1.153495	0.153495	14
25.7	3631	2621.115	1.385288	0.385288	19
26.0	3357	2968.87	1.130733	0.130733	13

The coefficient of correlation between JRC and R_s amounts to 0.8, which shows good correlation between these two parameters (Fig. 12). It is well-known that JRC values are subject to the observer's subjective estimation, but that on the other hand this parameter is the very important for the shear stress calculation according to Barton's equation. Avoiding subjectivity, better results might be obtained by digitizing the standard profiles, measuring the Roughness coefficients (R_s), and correlating them with the published JRC values.

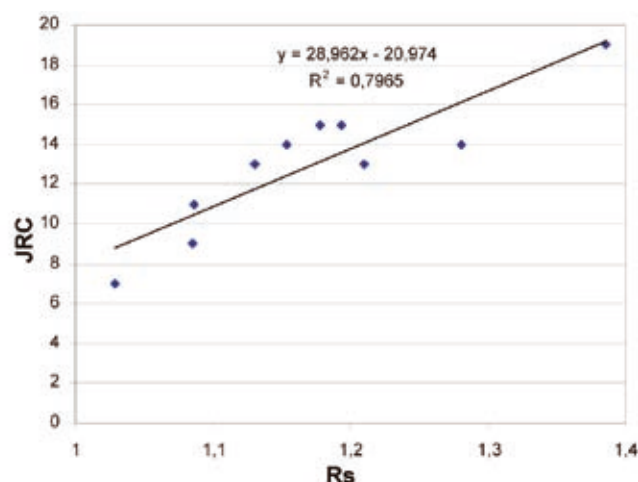


Figure 12. Comparison between the coefficients R_s and JRC
Slika 12. Primerjava med koeficientoma R_s in JRC

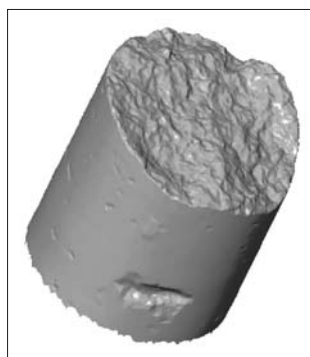


Fig. 8. Scan of the sample from a depth of 21 m

Sl. 8. Skenirani vzorec iz globine 21 m

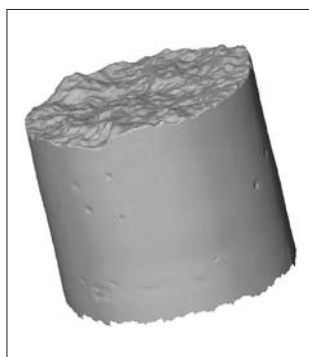


Fig. 9. Scan of the sample from a depth of 21.2 m

Sl. 9. Skenirani vzorec iz globine 21.2 m

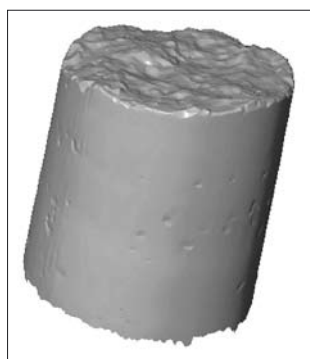


Fig. 10. Scan of the sample from a depth of 21.6 m

Sl. 10. Skenirani vzorec iz globine 21.6 m

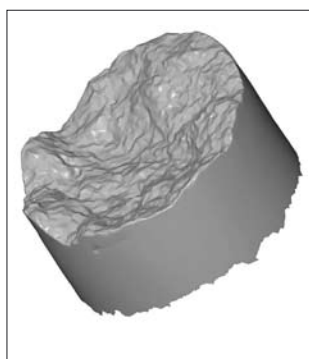


Fig. 11. Scan of the sample from a depth of 25.1 m

Sl. 11. Skenirani vzorec iz globine 25.1 m

Conclusions

Up until now the 3D scanner has been more frequently used in the automotive industry, but, as presented in the paper, it could be very useful tool for the rock joint measurement.

The roughness coefficients were measured with the 3D scanner for tuff samples. From the results of these measurements, values of the surface roughness coefficient (R_s) were calculated. The results were compared with the values of the Rock Joint Coefficient (JRC), and quite good correlation was achieved.

Most of the methods for rock surface measurement are carried out by means of 2D measurements, which deviate considerably from the precision 3D measurement. This is very obvious in the case of very rough rocks with cracks. This new technology can now be used to perform precise measurements of the surface joints and make accurate calculations. In future work, as further calculations of shear joints characteristics based on empirical estimates of 2D profiles and visual assessments are performed, additional shear tests of various materials will be needed. In this way it will be possible to predict accurately the maximum shear stresses based on the 3D measurements. The proposed camera-type 3D scanner in this study produced more accurate values of the roughness parameters since it effectively removed the dead zone on the joint surface.

References

- BARTON, N. R. 1973: Review of a New Shear-Strength Criterion for Rock Joints. *Eng. Geol.*, (Amsterdam) 7: 287-332.
- BARTON, N. & CHOUBEY, V. 1977: The shear strength of rock joints in theory and in practice. *Rock Mech.* (Vienna) 10: 1-54.
- BELEM, T., HOMAND-ETIENNE, F. & SOULEY, M. 2000: Quantitative Parameters for Rock Joint Surface Roughness. *Rock Mech. Rock Eng.*, (Heidelberg) 33/ 4: 217-242.
- BROWN, S.R. & SCHOLZ, C.H. 1985: Broad Bandwidth Study of the Topography of Natural Rock Surfaces. *J. Geophys. Res.* (Amsterdam) 90/B14: 125754-125782.
- CARR, J. R. & WARRINER, J. B. 1989: Relationship between the Fractal Dimension and Joint Roughness Coefficient. *Assn. Eng. Geolog., Bull.* (Amsterdam) 26: 253-264.
- DOVE, J. E. & FROST, J. D. 1996: A Method for Measuring Geomembrane Surface Roughness. *Geosynthet. Mt.*, (New York) 3: 369-392.
- EL SODANI, S. M. 1978: Profilometric Analysis of Fractures. *Metallography* (New York) 11: 246-336.
- FARDIN, N., STEPHANSSON, O. & JING, L. 2001: The Scale Dependence of Rock Joint Surface Roughness. *Mt. J Rock Mech. Min. Sci.* (Amsterdam) 38: 659-669.
- GOKHALE, A. M. & DRURY, W. J. 1990: A General Method for Estimation of Fracture Surface Roughness: Part II, Theoretical Aspects. *Metall. Trans. A* (New York) 21A: 1193-1199.
- GOKHALE, A. M. & UNDERWOOD, E. E. 1990: A General Method for Estimation of Fracture Surface Roughness: Part I. Practical Considerations. *Metall. Trans. A*, (New York) 21A: 1201-1207.
- HUANG, S. L., OELFKE, S. M. & SPECK, R. C. 1992: Applicability of Fractal Characterization and Modelling to Rock Joint Profiles. *Mt. J. Rock Mech. MM. Sci. Geomech. Abs.* (Kyushu) 29: 89-98.
- KULATILAKE, P. H. S. W, SHOU, G. & HUANG, T. H. 1995: Spectral-Based Peak-Shear-Strength Criterion for Rock Joints. *J. Geotech. Eng.* (New York): 789-796.
- KULATILAKE, P. H. S. W, UM, J., PANDA, B. B. & NGHIEM, N. 1999: Development of New Peak Shear-Strength Criterion for Anisotropic Rock Joints. *J. Eng. Mech.* (New York): 1010-1017.
- LANARO, F. 2000: A Random Field Model for Surface Roughness and Aperture of Rock Fractures. *Mt. Rock Mech. Min. Sci.* (New York) 37: 1195-1210.
- LANGE, D. A., JANNINGS, H. M. & SHAH, S. P. 1993: Relationship between Fracture Surface Roughness and Fracture Behaviour of Cement Paste and Mortar. *J. Am. Ceram. Soc.* (New York) 76/3: 587-597.
- LEE, H. S. & AHN, K. W. 2004: A Prototype of Digital Photogrammetric Algorithm for Estimating Roughness of Rock Surface. *Geosciences*, (Amsterdam) 8/ 3: 333-341.
- MAERZ, N. H. & FRANKLIN, J. A. 1990: Roughness Scale Effect and Fractal Dimension. *Proc. 1st Int. Workshop on Scale Effects in Rock Masses*, Leon, (Amsterdam): 121-125.
- REICH, C., RITTER, R. & THESING, J. 2000: 3-D Shape Measurement of Complex Objects by Combining Photogrammetry and Fringe Projection. *Opt. Eng.*, (Amsterdam) 39/1: 224-231.
- SANTAMARINA, J. C. & FRATTA, D. 1998. *Introduction to Discrete Signals and Inverse Problems in Civil Engineering*. ASCE (New York): 1-327.
- SWAN, G. 1983: Determination of Stiffness and Other Joint Properties from Roughness Measurements. *Rock Mech. Rock Eng.* (Amsterdam) 16: 19-38.
- YU, X. & VAYSSADE, B. 1991: Joint Profiles and Their Roughness Parameters. *Int. J Rock Mech. Min. Sci.* (Amsterdam) 28: 333-336.

Največja korona fosilnega morskega ježka na Slovenskem

The largest corona of fossil sea urchin in Slovenia

Vasja MIKUŽ

UL, NTF, Oddelek za geologijo, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: vasja.mikuz@ntf.uni-lj.si

Prejeto / Received 5. 11. 2010; Sprejeto / Accepted 25. 11. 2010

Ključne besede: morski ježki, Clypeasteridae, srednji miocen – badenij, Paratetida, Podsreda, Kozjansko, Slovenija

Key words: sea urchins, Clypeasteridae, Middle Miocene – Badenian, Paratethys, Podsreda, Kozje area, Slovenia

Izvleček

V prispevku je obravnavana največja korona morskega ježka na Slovenskem, ki je najdena v badenijskih plasteh blizu Levstikovega mlina pri Podsredi. Pripada obliki *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861. Podobno velike in podobno oblikovane korone so našli v enako starih kamninah pri Podsusedu na južnozahodnih obronkih Medvednice na Hrvaškem.

Abstract

The article deals with the largest corona of a fossil sea urchin in Slovenia. The corona was found in Badenian beds in surroundings of the Levstik mill near Podsreda. It belongs to the form *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861. Similar large and similarly shaped coronas were found in beds of the same age at Podused on southwestern slopes of Mt. Medvednica, Croatia.

Ta prispevek je posvečen spominu na pred kratkim preminulega prijatelja in kolega mag. Bogoljuba Aničića, univ. dipl. inž. geologije, ki je bil izvrsten poznavalec geoloških razmer Kozjanskega in bližnjih ozemelj, saj je večino svojega raziskovalnega časa namenil kartiranju in spoznavanju geološke zgradbe tega predela Slovenije.

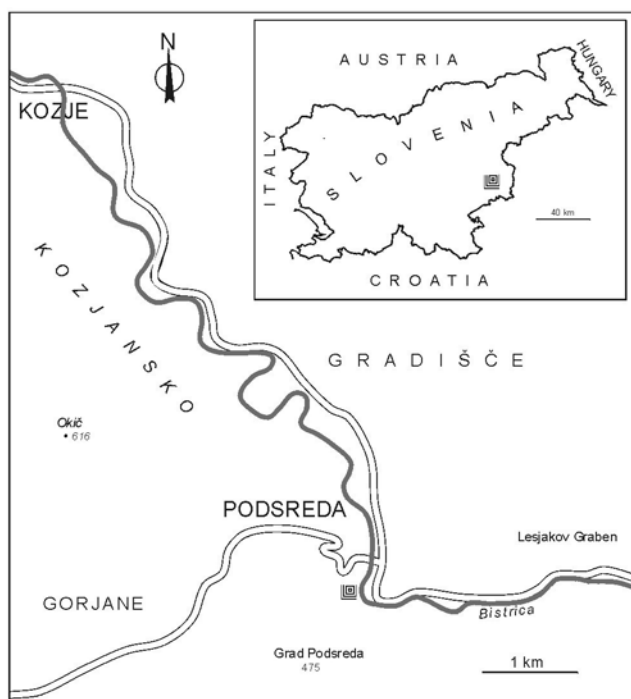
This contribution is dedicated to the memory of the recently deceased friend and colleague Bogoljub Aničić, M. Sc., Diploma Engineer of Geology, who was an excellent expert on geology of the Kozje area and surrounding terrains, and who spent much of his research time for geological mapping and study of geological structure of this part of Slovenia.

Uvod

21. februarja 1997 sva skupaj z gospodom Bogoljubom Aničićem pregledovala nekatera miocenska nahajališča v okolici Grobelnega, Selca, Okroga, Ponikve, Podčetrčka in Podsrede. Ogleдалa sva si briozoje pri Zgornjem Vrhu blizu Grobelnega, litotamnijski apnenec in laporovec pri Okrogu blizu Ponikve, horizont z rodoidi v Selcu pri Grobelnem, bel in tektonsko zelo zdrobljen litotamnijski apnenec v kamnolomu Zlateče pri Ponikvi ter peščen laporovec s številnimi makrofosili pri domačiji s hišno številko Okrog 22. Ker je gospod Aničić zelo dobro poznal omenjeno območje, sva se oglasila tudi v Levstikovem mlinu pri Podsredi (sliki 1 in 2), kjer so nama pokazali večje število miocenskih školjk, morskih ježkov in drugih fosilnih ostankov. Najino pozornost so pritegnile velike ostrige, velike pektenidne školjke in večje število različnih morskih ježkov. Med njimi je po obliki in velikosti izstopal nepravilni morski

ježek, ki ga predstavljamo v tem prispevku (sliki 3 in 4). Velika večina vseh naštetih fosilov je bila po pripovedovanju najditelja in lastnika gospoda Mirana Levstika najdena okrog leta 1977. Lastnik nama je dovolil, da sva jih fotografirala kar pred njihovo domačijo, vse primerke sva izmerila ter podatke ustrezno zabeležila.

14. julija 2005, torej dobrih osem let pozneje sva z mag. B. Aničićem znova pregledovala določene profile miocenskih kamnin v okolici Kozjega in Podsrede. Tistega dne sva si ogledala tudi geološko zbirko Osnovne šole Kozje in zbirko fosilov gospoda Marka Šmalčiča iz Podsrede 47. Takrat sva zopet obiskala Levstikov mlin in domače prosila za vnovični pregled njihove zbirke fosilov. Z dovoljenjem sva še enkrat pregledala njihove primerke, vendar medorskimi ježki nisva več našla največjega klipeastra. Domači so sicer zatrjevali, da so vsi primerki tam in da nič ne manjka. Nisva jih uspela prepričati, da pogrešava največjega klipeastra. Če ne bi že imela fotografij



Sl. 1. Geografski položaj najdišča blizu Podsrede
Fig. 1. Geographical position of site near Podsreda

in merskih podatkov pogrešanega morskega ježka, bi njihovim trditvam lahko celo verjela.

Ker ima klypeaster iz okolice Levstikovega mli-
na največjo korono med fosilnimi morskimi ježki
na Slovenskem, si zasluži predstavitev domači in
tuji strokovni srenji.

Geološka zgradba okolice Podsrede

ANIČIĆ, OGORELEC in DOZET (2004) predstavlja-
jo geološko zgradbo okolice Podsrede na skraj-
nem južnem robu geološke karte Kozjanskega
1: 50 000. Predterciarna podlaga sestoji iz norij-
sko-retijskega masivnega in zrnatega dolomita,
imenovanega tudi glavni dolomit. Terciarno
ozemlje pri Podsredi pripada Senovski sinklina-
li, ki sestoji iz spodaj ležečih egerijskih oziroma
spodnjegovških skladov. To so v glavnem klastiti,
pesek, peščenjak, peščen laporovec, glina in glina-
vec ponekod z vložki premoga. Sledi diskordanca
in zgoraj ležeče mlajše morske badenijske plasti,
ki pričenjajo s kalkareniti z redkimi litotamnija-
mi, lapornat in peščen apnenec, sledijo apnenčev
in peščen laporovec oziroma laški lapor. Slednji je
zelo bogat s fosilnimi ostanki.

Raziskave fosilnih morskih ježkov v Sloveniji

Raziskave fosilnih morskih ježkov na Sloven-
skem lahko razdelimo na štiri obdobja: v prve
začetke in vse do konca 19. stoletja, od začetka
do sredine 20. stoletja, po 2. svetovni vojni in do
konca 20. stoletja ter raziskave iz prvega deset-
letja 21. stoletja.

V Sloveniji je registriranih veliko ostankov
morskih ježkov iz najrazličnejših obdobij, od kar-

bona do vključno srednjega miocena. Med prvimi
poročata o morskih ježkih na Slovenskem LIPOLD
(1857) in STACHE (1858). LIPOLD (1857, 225) omenja
oligocenske peščene numulitne apnenec iz doline
Kamniške Bistrice, kjer so najdeni številni fosil-
ni ostanki, med njimi tudi morski ježki. STACHE
(1858, 383-384) iz okolice Velike Doline in Škocja-
na na Dolenjskem omenja oblike *Eupatagus* sp.,
Schizaster canaliferus Lamarck in *S. eurynotus*
Agassiz. FUCHS (1875, 49) omenja iz miocenskega
konglomerata polnega školjk v okolici Kamnika
tudi najdbo morskega ježka *Echinus* sp. ROBIČ
(1882, 36) omenja iz okolice Vrhovja tudi najd-
be morskega ježka *Cidaris* sp. HILBER (1883, 176)
iz rumenkastega peščenjaka v okolici Komende
omenja tudi ostanke morskega ježka *Cidaris* sp.

SAJOVIC (1909, 29) poroča o najdbah morskih jež-
kov v Tunjskem gričevju. Primerke *Echinus* sp.?
(dux Laube?) so našli ob Dobliču in pri Viševci,
Cidaris sp. pri Viševci ter *Spatangus reginae* For-
bes ob Dobliču blizu Viševce. RAKOVEC (1933, 136)
navaja, da so našli srednjetriasne morske ježke
pri Hudem klancu južno od Rovt in sicer dve vr-
sti: *Cidaris dorsata* Bronn in *C. braunii* Desor. V
podobno starih triasnih kamninah so našli bodice
morskih ježkov na vzhodnem pobočju Porezna,
vrsti *Cidaris dorsata* Bronn in *C. decorata* Mün-
ster pa severno od Podmelca (RAKOVEC 1933, 137).
Nadalje isti avtor (1933, 141) navaja še ostanke
morskih ježkov *Cidaris* sp. iz zgornjetriasnih gre-
benskih apnencev v Bohinjskem predoru. Iz lia-
snih plasti okolice Česnjice, Jereke in Bitnjega so
med številnimi ostanki našli tudi morske ježke
Cidaris sp., med Krko in Krčico na Koroškem je v
zgornjekrednih skladih veliko ostankov, med njimi
tudi morski ježek *Cidaris* cf. *vesiculosa* Goldfuss
(RAKOVEC 1933, 151). Iz kenozojskih skladov Slo-
venije navaja RAKOVEC (1933, 152) morske ježke
iz srednjeoligocenskih plasti Kamniške Bistrice
in omenja vrsto *Clypeaster breunigii* Laube, iz
Kopišča pa zdrobljene lupine morskih ježkov. Iz
spodnjemiocenskih skladov omenja iz okolice Tr-
bovelj in Dobrne pri Ostrožnem severno od Ce-
lja odlomke morskih ježkov (1933, 163), v okolici
Slovenj Gradca in pri Trbovljah primerke *Schi-
zaster* sp. (1933, 164), iz srednjemiocenskih plasti
kamniškega gričevja morskega ježka *Brissopsis*
sp. (1933, 167), pri Šentjerneju je najden *Cidaris*
sp. (1933, 168), v okolici sv. Križa pri Kostanjevi-
ci morski ježek *Clypeaster* sp. (1933, 169) ter pri
Veliki Dolini morski ježek *Scutella subrotundata*
Lamarck (1933, 170).

RAKOVEC (1952, 4) omenja ostanke morskih jež-
kov iz srednjemiocenskih morskih laporovcev Do-
lenjske (Krška kotlina), Gorenjske in Štajerske.
RAKOVEC (1952, 40) nadalje iz srednjemiocenskih
plasti pri Dobrni omenja velike ostrige z veliki-
mi morskimi ježki rodov *Clypeaster* in *Scutella*.
RAMOVŠ (1975, sl. 1-3) prikazuje ostanke zgornje-
karbonskih morskih ježkov rodu *Echinocrinus* iz
Spodnjih počival v Javorniškem rovtu nad Jese-
nicami. Med najstarejše ostanke morskih ježkov
na Slovenskem uvrščamo regularne iz rodu *Echi-
nocrinus* iz zgornjekarbonskih skrilavih glina-
cev Spodnjih počival nad Jesenicami. Ti zgornje-

karbonski morski ježki so imeli zelo dolge bodice, saj meri najdaljša bodica primerka iz Spodnjih počival kar 16,5 cm (RAMOVŠ 1978, 77-79, Sl. 39, Sl. 40 1, 2). RAMOVŠ (1978, 77) nadalje še piše, da se ostanke morskih ježkov najde tudi v mikroskopskih zbruskih permskih in mlajših kamnin. Predstavlja še presek bodice iz spodnjejurskih plasti izpod Malega Stola (Sl. 40. 4), omenja tudi korone morskih ježkov iz krednih apnencev na Nanosu ter iz miocenskih skladov pri Čatežu, Veliki in Mali Dolini in drugod po okolici. RAMOVŠ (1980, 72) navaja podatke o morskih ježkih tržiškega prostora, pravzaprav takšne kot v prispevku za območje jeseniškega prostora. KOŠIR (1992, 60) je raziskoval cordevolijske morske ježke iz Lesnega Brda in na koncu zapisal, da je ugotovljeno sedem generično določljivih vrst in enaintrideset (31) »vrst« določenih s pomočjo fragmentov. Različne oblike koron morskih ježkov in njihovih bodic pripadajo rodovom *Triadocidaris*, *Mikrocidaris*, *Zardinechinus*, *Megaporocidaris*, *Tiarechinus* in »*Cidaris*«. Po KOŠIR-jevem (1992) mnenju, je Lesno Brdo eno najbogatejših znanih najdišč triasnih morskih ježkov na svetu. JURKOVŠEK & KOLAR-JURKOVŠEK (1992, 59-60) prav tako omenjata več najdb morskih ježkov na Slovenskem: zgornjekarbonske iz Javorniškega Rovta v Karavanakah, mezozojske iz okolice Trebuše, našli so jih ob Tominškovi poti na Triglav, v Belci pri Mojstrani, na Drenovem Griču, pri Mežici, v Trnovskem gozdu, na Nanosu in pri Iški vasi. Iz kenozojskih plasti avtorja omenjata miocenske morske ježke Dolenjske (Čatež, Velika Dolina in Kostanjevica) in iz okolice Trbovelj (1992, sl. 48). PAVŠIČ (1995, 107-111) predstavlja nekaj miocenskih morskih ježkov rodov *Clypeaster* in *Schizaster* ter nekaj triasnih bodic regularnih morskih ježkov. Tudi PAVŠIČ (1995) omenja zgornjekarbonske morske ježke, različne triasne morske ježke iz Karavanke, Trnovskega gozda in Drenovega Griča ter miocenske iz nekaterih najdišč na Dolenjskem in Štajerskem. PAVLOVEC in MIKUŽ (1995, 5-7) omenjata bodice morskih ježkov in predstavljata primerek podvrste *Clypeaster scillae alienus* med miocensko favno litotamnijskega apnenca iz najdišča Kresnica pri Šentilju. PAVŠIČ, MIKUŽ in PODGORŠEK (1997, 33) so predstavili zelo lepo in dobro ohranjeno korono miocenskega morskega ježka, ki so ga pripisali obliki *Conoclypus plagiosomus*, ki dejansko pripada rodu *Conolampas*? MAJČEN, MIKUŽ in POHAR (1997, 106, 112-113) predstavljajo fosilne ostanke iz paleontološke zbirke Laškega muzeja, med njimi so tudi miocenski morski ježki *Echinolampas laurillardii* Agassiz, *Spatangus austriacus* Laube, *Clypeaster scillae alienus* Vadász in *Clypeaster* sp. večinoma iz okolice Laškega. ŽALO HAR in ZE VN I K (1998, 99) pišeta o terciarnih plasteh v okolici Kamnika in med številnimi fosilnimi ostanki omenjata tudi miocenskega morskega ježka vrste *Spatangus austriacus* Laube. MIKUŽ (1999a, 111) opisuje primerek vrste *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837 iz badenijskih plasti najdišča Podgračeno med Čateškimi Toplicami in Jesenicami na Dolenjskem. MIKUŽ (1999b, 7) predstavlja nekaj paleontoloških zani-

mivosti iz miocenskih plasti pri Šentilju, med njimi je omenjen tudi morski ježek vrste *Clypeaster balillai* (Lovisato).

MIKUŽ (2000, 119) poroča o dveh manjših oligocenskih morskih ježkih iz Česnjice pri Poljšici. Oba primerka sta majhna in pripadata rodu *Scutella* ali pa rodu *Parmulechinus*? MIKUŽ in HORVAT (2000, 6) poročata o najdbi oligocenskega morskega ježka iz najdišča Tirosek pri Novi Štiti in ga določila kot *Clypeaster* sp. MIKUŽ in MITROVIĆ-PETROVIĆ (2001, 61) poročata o sedmih vrstah in podvrstah miocenskih klipastrov iz okolice Šentilja v Slovenskih goricah, med njimi so oblike, ki jih drugod v Sloveniji še nismo našli. MIKUŽ in HORVAT (2003, 115) pišeta o evidentiranih najdbah miocenskih morskih ježkov v Sloveniji. MIKUŽ in HORVAT (2003, 121) predstavljata imena vrst in najdišč klipastrov v Sloveniji. KRIŽNAR (2003, 33) poroča o novih najdbah ostankov karbonskih morskih ježkov iz okolice Črne vrha pri Planini pod Golico, ki najverjetneje pripadajo rodu *Archaeocidaris* (= *Echinocrinus*). MIKUŽ (2004, 311-312) prikazuje nekaj miocenskih klipastrov in eno skutelo iz Dolenjske. MIKUŽ in PAVLOVEC (2004, 16) sta opisala prvo najdbo srednjecusijskega morskega ježka vrste *Amblypygus dilatatus* Agassiz & Desor, 1847, ki je bil najden v kamnolomu Griža v dolini reke Rižane. MIKUŽ in ČVOROVIC (2004, 142-143) predstavljata fragment korone nepravilnega morskega ježka iz eocenskih flišnih plasti blizu Kuteževega. ANIČIĆ in PAVŠIČ (2004, 36) pišeta, da izdanjajo južno od Rudnice badenijski konglomerati in peščenjaki, v katerih se najdejo tudi odlomki morskih ježkov. MIKUŽ (2006, 68) opisuje prvokrat pri nas najdeno vrsto morskega ježka *Meoma locardi* (Cotteau in Locard, 1877) iz badenijskih plasti kamnoloma Lipovica nad Brišami. MIKUŽ (2006, 49) piše med drugim tudi, da so primerki morskega ježka rodu *Conolampas* pri nas najdeni v miocenskih plasteh Slovenskih gor, na Kozjanskem in v Zasavju. Konolampasov še nismo zasledili v miocenskih plasteh Dolenjske. MIKUŽ (2007, 270) predstavlja spodnjeeocenske morske ježke vrst *Conoclypus anachoreta* Agassiz, 1839, *Echinolampas amygdala* Desor in Agassiz et Desor, 1847, *E. silensis* Desor in Lorient 1876, *Rhyncholampas lesinensis* (Bittner, 1880), *Ditremaster schweinfurthi* (De Loriol, 1881), *Schizaster globulus* Dames, 1877, *Linthia ybergensis* De Loriol, 1881, *Cyclaster* cf. *subquadratus* (Desor, 1858) in *Macropneustes deshayesi* (L. Agassiz, 1840) iz najdišča Plače pri Ajdovščini v Vipavski dolini. MIKUŽ in PRKIČ (2007, 76) predstavljata drugo najdbo morskega ježka *Amblypygus dilatatus* iz spodnjega dela prehodnih plasti, oziroma iz zgornjeilerdijskih do spodnjecusijskih apnencev v kamnolomu Razdrto. ANIČIĆ (2007) predstavlja med fosilnimi ostanki miocenskega morskega ježka rodu *Spatangus*, o najdišču ni podatkov. MIKUŽ in KNEZ (2008, 25) poročata o najdbi prvega morskega ježka rodu *Conoclypus* pri nas, ki je bil najden v alveolinsko-numulitnih apnencih na kraškem robu blizu viadukta Črni Kal. MIKUŽ in VESEL (2008, 98) pišeta o novi najdbi vrste *Clypeaster scillae* Desmoulin, 1837

iz badenijskih plasti najdišča Podgračeno. Mikuž (v: ANIČIĆ & KUNST, 2008) prikazuje na slikah 1 do 3 miocenske morske ježke iz okolice Podsrede, vrste *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis*, *C. scillae* in *Stylocidaris ? schwabenau*. ANIČIĆ in PETROVIĆ (2008, 25) omenjata miocenskega morskega ježka vrste *Clypeaster scillae*, najdenega na obrobju Bohorja. Ista avtorja (2008, 76) še prikazuje med fosili sliko morskega ježka z visoko korono in podnapisom *Clypeaster scillae*, ki prav gotovo ne pripada omenjeni vrsti. Vrsta *C. scillae* ima bistveno nižjo korono. MIKUŽ (2009, 208-211, Tab. 1-4) prikazuje tri primerke skutel vrste *Parascutella gibbercula* (de Serres, 1829) iz srednjemiocenskih litotamnijskih apnencev med Gričem in Orehovcem blizu Kostanjevice na Krki in okolice Podsrede ter iz laporastih apnencev Zagrada blizu Škocjana, četrto skutelo vrste *Parascutella paulensis* (Agassiz, 1841) pa iz spodnjemiocenskih govških peščenjakov v okolici Laškega. ŽALOHAR et al. (2010, 18, 28, 34) iz okolice Kamnika znova omenjajo ostanke morskih ježkov, iz oligocenskih plasti pri Podgorju ter iz spodnje in srednjemiocenskih skladov južno od sv. Ane v Tunjiškem gričevju.

Paleontološki del

Sistematika po: DURHAM 1966, SMITH 1984
in KROH 2005

Classis Echinoidea Leske, 1778
Ordo Clypeasteroidea A. Agassiz, 1872
Subordo Clypeasterina A. Agassiz, 1872
Familia Clypeasteridae L. Agassiz, 1835
Genus *Clypeaster* Lamarck, 1801

MITROVIĆ-PETROVIĆ-eva (1984, 218) med drugim piše, da so klipeastri razmeroma dobri facialni fosili, saj so zelo veliki in običajno številni. Živeli so v majhnih globinah, okrog 20 m globoko, na peščenem dnu ali trdnem dnu blizu koralnih grebenov, izjemoma na prodnato-peščenem dnu, v zelo razgibanem in toplen morju, tropskega do subtropskega značaja.

Clypeaster campanulatus forma *pyramidalis*
Michelin, 1861
Slike 3-10

- 1871 *Clypeaster pyramidalis* Michelin – LAUBE, 64
- 1915 *Clypeaster hungaricus* n. sp. – VADÁSZ, 155, Textfigs. 47-48
- 1915 *Clypeaster magnus* n. sp. – VADÁSZ, 160, Textfigs. 51-52
- 1938 *Clypeaster pyramidalis* Michelin 1861 – POLJAK, 187, Tab. 7, Figs. 1, 1a
- 1948 *Clypeaster campanulatus camapnulatus* (Schlotheim, 1820) – KALABIS, 97, Pl. 3, Figs. 1-3
- 1972 *Clypeaster pyramidalis* Michelin – COMASCHI CARIA, 35, Tav. 41, Figs. 1-3
- 1984 *Clypeaster pyramidalis* Michelin – MITROVIĆ-PETROVIĆ, 226-227, Pl. 6, Figs. 1, 1a; Pl. 7, Fig. 1

- 2005 *Clypeaster campanulatus* (Schlotheim, 1820) – KROH, 52, Pl. 22-27
- 2005 *C. forma pyramidalis* Michelin, 1861 – KROH, 60, Pl. 24, Figs. 1a-1c, 2a-2c
- 2008 *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* – Mikuž (v: ANIČIĆ & KUNST), Sl. 1

Material: En razmeroma dobro ohranjen in zelo velik primerek (sliki 3 in 4). Videli smo ga v zbirki v Levstikovem mlinu pri Podsredi 76. Našel ga je gospod Miran Levstik iz omenjene domačije. Na oralni strani primerka so pritrjeni številni različno veliki in raznobarvni prodniki konglomeratne plasti.

Najdišče: V neposredni bližini Levstikovega mlina pri Podsredi (slika 2) so srednjemiocenske – badenijske konglomeratno-peščene in laporaste plasti z mnogimi fosilnimi ostanki.



Sl. 2. Domačija Levstikov mlin pri Podsredi (foto: V. Mikuž, 21. februarja 1997)

Fig. 2. Home of Levstik mill at Podsreda (Photo: V. Mikuž, 21 February 1997)

Opis: Zvonasto oblikovana in velika korona, precej robustnega videza. Sprednji del korone je v profilu strm, zadnji je nekoliko bolj položen. Vrh je približno na sredini korone z manjkajočim apikalnim diskom. Zgornji del korone ob vrhu je zaradi korodiranosti nižji in izravnane. Petali (I. do V.) so približno enakih velikosti, dolgi so okrog 90 mm, v najširšem delu so široki med 36 in 38 mm in precej izbočeni oziroma poudarjeni. Petala II. in IV. sta močno korodirana, zato sta videti manj izbočena od ostalih. Leva stran korone je ohranjena skoraj v celoti, desna stran je zelo poškodovana. Sprednji rob ima na sredini medpetalnega dela manjšo in plitvo zajedo, levi stranski rob korone je dokaj raven, zadnji rob ima globljo zajedo. Na 4. medpetalnem območju in na robu V. petala, je večja in debelejša brizojska prevleka. Oralna stran korone je bolj ravna do ploščata in prekrita z ostanki konglomerata.

Dimenzije primerka iz Podsrede (Dimensions of specimen from Podsreda):

dolžina (Length) = 197 mm
širina (Width) = ~ 190 mm
višina (Height) = 96 mm

Primerjava: Če primerjamo velikosti posameznih primerkov vrste *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Avstrije in Madžarske ugotavljamo, da je naš primerek v dveh dimenzijah največji, ni pa najvišji. Noben VADÁSZ-ev klipaster ne dosega dimenzij našega primerka, še najbolj se mu približa primerek vrste *Clypeaster agassizi* Sismonda, 1841 (VADÁSZ 1915, 163) (180 x 162 x 82 mm). Klipaster iz Podsrede je po obliki zelo podoben primerkom podvrste *Clypeaster campanulatus campanulatus*, ki jih prikazuje KALABIS (1948, Pl. 3, Figs. 1-3). Podatkov o velikostih omenjenih primerkov KALABIS (1948) ne navaja. Tudi primerki, ki jih navajata KROH (2005, 49) in COMASCHI CARIA (1972, 36) vrste *Clypeaster campanulatus* f. *pyramidalis* so manjši in ne dosegajo velikosti našega primerka. Po velikosti je naš primerek še najbolj podoben klipasteru (Inv. št. H. 1699) iz Podsuseda na Hrvaškem (tabela 1; slike 5-7), po oblikovanosti korone pa primerku z inv. št. 1699 (slike 8-10). Očitno so njihove korone po obliki in velikosti zelo variabilne.

Tabela 1. Primerjava primerka *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* iz Slovenije s primerkoma iz Hrvaške

Table 1. Comparison of specimen *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* from Slovenia with specimens from Croatia

Primerek Specimen	Dolžina Length	Širina Width	Višina Height	Nahajališče Location	Tabla Plate
Brez inv. št.	197	~190	96	Levstikov mlin pri Podsredi	Slike 3-4
Inv. št. H.1699	~195	183	98	Podsused, Hrvaška	Slike 5-7
Inv. št. 1699	172	152	80	Podsused, Hrvaška	Slike 8-10

Opomba: V knjigi »Inventarski zapisnik za okamenine in kamenine, III. b« iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo ljubljanske univerze na Privozu 11 piše na 49. strani, da so fosilni ostanki z inventarnimi številkami od 1627 do 1684 in od 1686 do 1712, kupljeni leta 1920 v Zagrebu za 600 din. Med njimi sta tudi dva velika



Sl. 3. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz srednjemiocenskih – badenijskih plasti Levstikovega mлина pri Podsredi, zgornja stran, velikost primerka 197 x ~190 x 96 mm (foto: M. Grm)

Fig. 3. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Middle Miocene – Badenian beds of Levstik mill at Podsreda, aboral side, size of specimen 197 x ~190 x 96 mm



Sl. 4. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Levstikovega mlina pri Podsredi, s strani, velikost primerka 197 x ~190 x 96 mm (foto: M. Grm)

Fig. 4. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Levstik mill at Podsreda, lateral side, size of specimen 197 x ~190 x 96 mm

klipeastra z inv. št. H. 1699 in 1699 (slike 5-10), s taksonomsko pripadnostjo vrsti *Clypeaster pyramidalis* Michelin iz badenijskih plasti najdišča Podsused na Hrvaškem. Podatki ŠIKIĆA, BASCHA in ŠIMUNIĆA (1978) potrjujejo, da izdanjajo na južno-zahodnih obronkih Medvednice blizu Podsuseda tudi neogenske plasti – badenijske, sarmatijske in panonijske starosti. Torej je najdišče klipeastrov pri Podsusedu povsem mogoče.

Stratigrafska in geografska razširjenost: Opisano vrsto *Clypeaster pyramidalis* omenja LAUBE (1869, 183) iz najdišča Mittenberg pri kraju Baden v Avstriji. LAUBE (1870, 314) zopet poroča o

najdbah te vrste v Avstriji. LAUBE (1871, 64) znova poroča o najdbah iste vrste morskega ježka iz litotamnijskih apnencev najdišča Mittenberg pri kraju Baden v Avstriji. POLJAK (1938, 187) vrsto *Clypeaster pyramidalis* omenja iz srednjemiocenskih plasti blizu Samobora na Hrvaškem. MITROVIĆ-PETROVIĆ (1966, 104-106) omenja obliko *Clypeaster* cf. *pyramidalis* iz srednjemiocenskih plasti najdišča Bukovac na Fruški gori v Srbiji. MITROVIĆ-PETROVIĆ v seznamu srednjemiocenskih morskih ježkov takratne Jugoslavije (1970, Tableau) navaja tudi vrsto *Clypeaster pyramidalis* Michelin iz Srbije, Hrvaške in Bosne ter iz Francije. COMASCHI CARIA (1972, 36) jih omenja iz burdi-



Sl. 5. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz badenijskih plasti pri Podsusedu na Hrvaškem, zgornja stran, primerki H 1699 iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo v Ljubljani, velikost primerka ~195 x 183 x 98 mm (foto: M. Grm)

Fig. 5. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Badenian beds of Podsused in Croatia, aboral side, specimen H 1699 from paleontological collection of Department of Geology in Ljubljana, size of specimen ~195 x 183 x 98 mm



Sl. 6. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Podsuseda na Hrvaškem, s strani, primerek H 1699 iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo, velikost primerka ~195 x 183 x 98 mm (foto: M. Grm)

Fig. 6. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Podsused in Croatia, lateral side, specimen H 1699 from paleontological collection of Department of Geology in Ljubljana, size of specimen ~195 x 183 x 98 mm

galijskih (nekdanjih helvetijskih) plasti blizu Cagliarija na Sardiniji. Nadalje še piše, da so takšne klipeastre registrirali tudi v miocenskih plasteh Avstrije, Španije in Jugoslavije. Vrsto *Clypeaster campanulatus* (Schlotheim, 1820) omenja PHILIPPE (1998, 123-124) iz burdigalijskih plasti kotline reke Rhône v Franciji. Oblika nepravilnega morskega ježka *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 je po podatkih KROH-a (2005, 60) razširjena v spodnje in srednje-badenijskih skladih Avstrije in Madžarske. MIKŠA in MEZGA (2010, 95-96) pišeta, da so klipeastri dominantni v združbi morskih ježkov v kamnolomu

Sutinska vrela na Medvednici in da predstavljajo klipeastri 80% vseh morskih ježkov, ki so najdeni v miocenskih plasteh severne Hrvaške.

Zaključki

V Sloveniji so najdeni številni ostanki morskih ježkov, večinoma so to posamezni deli bodic, skeletni deli njihovih koron in fragmenti »Aristotelove svetilke« oziroma čeljustnih elementov. Iz določenih geoloških obdobij in v primerljivih kamninah so najdene tudi celotne korone. Morski ježki so pri nas zanesljivo ugotovljeni v



Sl. 7. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Podsuseda na Hrvaškem, spodnja stran, primerek H 1699 iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo, velikost primerka ~195 x 183 x 98 mm (foto: M. Grm)

Fig. 7. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Podsused in Croatia, oral side, specimen H 1699 from paleontological collection of Department of Geology in Ljubljana, size of specimen ~195 x 183 x 98 mm



Sl. 8. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Podsuseda na Hrvaškem, zgornja stran, primerek 1699 iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo, velikost primerka 172 x 152 x 80 (foto: M. Grm)

Fig. 8. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Podsused in Croatia, aboral side, specimen 1699 from paleontological collection of Department of Geology in Ljubljana, size of specimen 172 x 152 x 80

karbonskih, permskih, triasnih, jurskih, krednih, eocenskih, oligocenskih in miocenskih kamninah. Predvidevamo, da je pri nas največ nahajališč z makroskopskimi ostanki miocenskih morskih ježkov v osrednji in vzhodni, ter eocenskih v južno-zahodni Sloveniji. Večji ostanki morskih ježkov iz drugih geoloških obdobij so pri nas razmeroma redki.

V miocenskih kamninah je na Slovenskem najdenih že veliko najrazličnejših morskih ježkov, vendar zaradi njihove pomanjkljive raziskanosti še ne poznamo večine oblik in ne vemo, katere prevladujejo. Vsekakor je opazno manj regularnih in bistveno več ostankov iregularnih morskih ježkov. Zelo pogostni so primerki iz družine Clypeasteridae in družine Spatangidae. Tudi med posa-

Sl. 9. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Podsuseda na Hrvaškem, s strani, primerek 1699 iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo, velikost primerka 172 x 152 x 80 (foto: M. Grm)

Fig. 9. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 from Podsused in Croatia, lateral side, specimen 1699 from paleontological collection of Department of Geology in Ljubljana, size of specimen 172 x 152 x 80





Sl. 10. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Podsuseda na Hrvaškem, spodnja stran, primerek 1699 iz paleontološke zbirke Oddelka za geologijo, velikost primerka 172 x 152 x 80 (foto: M. Grm)

Fig. 10. *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz Podsuseda na Hrvaškem, oral side, specimen 1699 from paleontological collection of Department of Geology in Ljubljana, size of specimen 172 x 152 x 80

meznimi najdišči so opazne manjše ali večje razlike. Med klipeastri je registriranih več primerkov različnih oblik in velikosti, eni so majhni in nizki, drugi so veliki in srednjevisoki, tretji so veliki ter visoki ali pa veliki in zelo nizki. Največji in najvišji med našimi morskimi ježki je klipeaster *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861 iz srednjemiocenskih – badenijskih konglomeratov Levstikovega mlina pri Podsredi na Kozjanskem, blizu slovensko-hrvaške meje. V dolžino meri 197 mm, v višino pa 96 mm. Primerk iz Podsrede (slike 3-4) kot tudi primerka iz Podsuseda na Hrvaškem (slike 5-10), sodijo med večje klipeastre z območja nekdanje Centralne Paratetide.

Klipeastrova korona s Kozjanskega je verjetno dalj časa ležala na takratnem morskem dnu, saj so se na njej ohranili debelejši ostanki nekdanjih epibiontov, briozojev, so pa vidne tudi številne drobne luknjice spongij rodu *Cliona* in večje vdolbine, ki so jih najverjetneje naredile kamnovrte školjke. Če upoštevamo vse vidne znake omenjenih organizmov na koroni in groboklastično kamnino, v kateri je bila korona najdena, potem lahko sklepamo na bližino obale in relativno plitvo morje.

V najdišču pri Podsredi je bila korona dalj časa v prsti blizu današnjega površja in pod vplivom močnejše korozije, saj so na koroni opazne posledice. Določeni predeli so zelo korodirani in deformirani, predvsem njen obvršni del, rob korone ter IV. in II petal. Po poškodbah na koroni in po nezasigani aboralni površini lahko tudi ugotovimo, da je bila njena oralna stran v plasti obrnjena navzdol, aboralna pa navzgor, torej tako kot v nekdanjem življenjskem položaju morskega ježka.

The largest corona of fossil sea urchin in Slovenia

Conclusions

In Slovenia were found numerous remains of sea urchins, mostly separate parts of spines, skeletal parts of coronas and fragments of the "Aristotle's lantern", respectively the jaw apparatus elements. In favorable rocks of certain geologic times also entire coronas were found. In Slovenia the sea urchins were recorded with certainty in Carboniferous, Triassic, Jurassic, Cretaceous, Eocene, Oligocene and Miocene rocks. We estimate

that the majority of localities with macroscopic sea urchin remains from Miocene occur in central and eastern Slovenia, and those from Eocene in southwestern Slovenia. Larger remains of sea urchins from other geological periods are in Slovenia relatively rare.

In Miocene beds of Slovenia a great number of various sea urchins were found, but the finds were not sufficiently studied to know the distribution and frequencies of their forms. In any case largely prevail the remains of irregular sea urchins, and less frequent are regular ones. Very frequent are individuals of the Clypeasteridae and Spatangidae families. Noticeable are also larger or smaller differences. Among the clypeaters a number of individuals of various shapes and size were recognized, certain being small and low, others large and medium high, and still others large and high, or high and very low. The largest and highest among our sea urchins is the clypeaster species *Clypeaster campanulatus* forma *pyramidalis* Michelin, 1861, from Middle Miocene Badenian conglomerates of Levstik mill near Podsreda in the Kozje area, close to Slovenian-Croatian border. Its length is 197 mm and height 96 mm. The Podsreda specimen (figs. 3 – 4) as well as specimens from Podsused in Croatia (figs. 5 – 10) belong to larger-sized clypeasters from the region of the ancient Central Paratethys.

The corona of clypeaster from Kozje was most probably situated for longer time on the ancient sea floor, as indicated by thicker remains of ancient epibionts, the bryozoans, fixed on it. Also numerous tiny holes of sponges of genus *Cliona* are visible as well as larger hollows made most probably by stone boring bivalves. Taking in consideration all observed traces of mentioned organisms on corona, and the coarse clastic rock in which the fossil was found, a near-shore and relatively shallow sea could be presumed.

In the locality near Podsreda the corona was lying a longer time in soil, close to the present surface, exposed to stronger corrosion that can be observed on its surface. Certain parts are deeply corroded and deformed, especially its part near apical disc, edge of corona, and IV. and II. petals. Damages on corona and the unsintered aboral surface permit the conclusion that its oral side was turned downwards in the bed, and its aboral side upwards, and so in the bed as well as in the sea urchins living position.

Zahvale

Za prevode v angleščino se zahvaljujemo zaslužnemu profesorju dr. Simonu Pircu, za fotografske in ostale dokumentacijske usluge pa sodelavcu Marijanu Grmu.

References

ANIČIĆ, B. 2007: Geološka zbirka Osnovne šole XIV. divizije Senovo. OŠ XIV. divizije Senovo in Turistično društvo Senovo (Senovo) (zgi-banka).

- ANIČIĆ, B. & KUNST, M. 2008: Geološka zgodovina. Kozjanski park. Kozjanski park (Podsreda) (zgi-banka).
- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B. & DOZET, S. 2004: Geološka karta Kozjanskega 1:50 000. (Geological map of Kozjansko 1:50 000). Geološki zavod Slovenije (Ljubljana).
- ANIČIĆ, B. & PAVŠIČ, J. 2004: Vodnik po geološki učni poti. Geološka učna pot Kozjanski park Rudnica/Virštanj. Kozjanski park (Podsreda): 1–95.
- ANIČIĆ, B. & PETROVIČ, A. 2008: Geološka zgradba in geološke zanimivosti Bohorja. Turistično društvo Senovo (Senovo): 1–83.
- COMASCHI CARIA, I. 1972: Gli Echinidi del Miocene della Sardegna. Stabilimento Tipografico Editoriale Fossataro (Cagliari): 1–95, Tav. 1–50.
- DURHAM, J. W. 1966: *Clypeasteroids*. In: R. C. Moore, Treatise on Invertebrate Paleontology, Part U, Echinodermata 3/2. The Geological Society of America and The University of Kansas Press (Lawrence): U450–U491.
- FUCHS, T. 1875: Die Tertiärbildungen von Stein in Krain. Verh. Geol. R. A. (Wien): 48–49.
- HILBER, V. 1883: Ueber eine neue Fossilsendung aus der Miocän-Bucht von Stein in Krain. verh. geol. R. A. (Wien): 175–179.
- JURKOVŠEK, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 1992: Fosili v Sloveniji. Didakta (Radovljica): 1–71.
- KALABIS, V. 1948: Monografie Clypeasterů z československého miocenu. Rozpravy Stát. geol. Úst. Rep. Českoslov. (V Praze) 11: 1–115, Tab. 1–8.
- KOŠIR, A. 1992: Cordevolska ehinidna favna z Lesnega brda. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, Oddelek za montanistiko, Diplomsko delo (Ljubljana): 1–72, Tab. 1–24.
- KRIŽNAR, M. 2003: Nove najdbe karbonskih morskih ježkov v Sloveniji. Društvene novice (Tržič) 28: 33–34.
- KROH, A. 2005: Echinoidea neogenica. In: W. E. Piller (editor), Catalogus Fossilium Austriae, Band. 2. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (Wien): I-LVI, 1–210, Pl. 1–82.
- LAUBE, G. C. 1869: Die Echinoiden der österreichisch-ungarischen oberen Tertiärlagerungen. Verh. Geol. R. A. (Wien): 182–184.
- LAUBE, G. C. 1870: Die Echinoiden der österreichisch-ungarischen oberen Tertiärlagerungen. Verh. Geol. R. A. (Wien): 313–314.
- LAUBE, G. C. 1871: Die Echinoiden der österreichisch-ungarischen oberen Tertiärlagerungen. Abh. Geol. R. A. (Wien) 5/3: 55–74, Tab. 16–19.
- LORIOL, P. de, 1876: Description des Échinides tertiaires de la Suisse. Deuxième Partie. Abh. Schweiz. paläont. Gesell., Mém. Soc. Paléont. Suisse (Basel und Genf) 3: 65–142, Pl. 9–23.
- LIPOLD, M. V. 1857: Bericht über die geologischen Aufnahmen in Ober-Krain im Jahre 1856. Jb. Geol. R. A. (Wien) 8: 205–234.
- MAJCEN, T., MIKUŽ, V. & POHAR, V. 1997: Okamnine v paleontološki zbirki Laškega muzeja. Geološki zbornik (Ljubljana) 13: 104–118, (Tab. 1–11).

- MIKŠA, G. & MEZGA, A. 2010: Taphonomic selection among echinoids or why *Clypeaster* the most abundant echinoid in the Miocene of Croatia. (Tafonomska selekcija među ježincima ili zašto je *Clypeaster* najčešći ježinac u miocenu Hrvatske). V: M. HORVAT (Ur.), 4. Hrvatski geološki kongres – 4th Croatian Geological Congress – Šibenik 2010, Knjiga sažetaka-Abstract Book, 95-96. Hrvatski geološki institut (Zagreb).
- MIKUŽ, V. 1999 a: *Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837 iz miocenskih plasti pri Podgračenem. (*Clypeaster scillae* Desmoulins, 1837 from Miocene beds near Podgračeno, Eastern Slovenia). *Geologija* 1998 (Ljubljana) 41: 109-116, (Tab. 1-2).
- MIKUŽ, V. 1999 b: Preservation of Geologic Natural Heritage at Šentilj, Slovenia. *Progeo News* (Oslo) 3: 6-8.
- MIKUŽ, V. 2000: Morska ježka iz oligocenskih plasti pri Česnjici blizu Poljšice. (Sea-urchins from Oligocene beds at Česnjica near Poljšica, W-Slovenia). *Geologija* 1999 (Ljubljana) 42: 117-122, (Tab. 1).
- MIKUŽ, V. 2004: Fosilna dediščina Dolenjske v sliki in besedi. (Das Fossilienerbe von Dolenjsko in Bild und Wort). In: Smrekar, A. (urednik), Vekov tek: Kostanjevica na Krki 1252-2002, Zbornik ob 750. letnici prve listinske omembe mesta. Krajevna skupnost (Kostanjevica na Krki): 302-315.
- MIKUŽ, V. 2006: Morski ježek rodu *Meoma* (Spatangoida) iz badenijskih plasti kamnoloma Lipovica. (Sea urchin *Meoma* (Spatangoida) from Badenian beds in the Lipovica quarry, Slovenia). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 47 (2): 65-77, (Tab. 1-2).
- MIKUŽ, V. 2006: Konolampasi slovenskih nahajališč. 2. slovenski geološki kongres. Zbornik povzetkov. Rudnik živega srebra v zapiranju (Idrija): 49-50.
- MIKUŽ, V. 2007: Eocenski morski ježki iz najdišča Plače pri Ajdovščini. (The Eocene sea urchins from Plače near Ajdovščina, Western Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 50 (2): 269-284, (Tab. 1-6).
- MIKUŽ, V. 2009: Skutele iz miocenskih skladov Slovenije. (Scutellids from Miocene beds in Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 52/2: 205-212, (Tab. 1-4).
- MIKUŽ, V. & ČVOROVIĆ, B. 2004: Mehkužci in ostali makrofosili iz eocenskih flišnih plasti v okolici Kuteževega in Trpčan. (The molluscs and other macrofossils from Eocene flysch beds in neighbourhood of Kutežovo and Trpčane, SW – Slovenia). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 45/3: 91-143, (Tab. 1-6).
- MIKUŽ, V. & HORVAT, A. 2000: Nepravilni morski ježek iz oligocenskih plasti pri Novi Štifti. (Irregular echinoid from Oligocene beds near Nova Štifta, Central Slovenia). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 41/1: 3-11, (Tab. 1).
- MIKUŽ, V. & HORVAT, A. 2003: Miocenski morski ježki Slovenije. *Geološki zbornik* (Ljubljana) 17: 115-119.
- MIKUŽ, V. & HORVAT, A. 2003: Paleobiogeografija klipeastrov (Echinoidea). *Geološki zbornik* (Ljubljana) 17: 119-123.
- MIKUŽ, V. & KNEZ, M. 2008: Paleogenski morski ježek s kraškega roba blizu Črnega Kala. (Paleogene sea urchin from the Kras edge near Črni Kal). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 49/2: 21-35, (Tab. 1-2).
- MIKUŽ, V. & MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. 2001: Miocenski morski ježki iz okolice Šentilja v Slovenskih goricah. 1. *Clypeasteridae*. (Miocene sea urchins from surroundings Šentilj in Slovenske gorice, NE-Slovenia. 1. *Clypeasteridae*). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 42/1: 47-77, (Tab. 1-6).
- MIKUŽ, V. & PAVLOVEC, R. 2004: Morski ježek *Amblypygus dilatatus* iz spodnjeeocenskega apnenca v kamnolomu Griža v dolini reke Rižane. (Sea urchin *Amblypygus dilatatus* from Lower Eocene limestone in the Griža quarry in the Rižana river valley, Western Slovenia). *Geologija* (Ljubljana) 47/1: 15-21, (Tab. 1-2).
- MIKUŽ, V. & PRKIČ, M. 2007: Nova najdba morskega ježka vrste *Amblypygus dilatatus* v Sloveniji. (A new find of sea urchin *Amblypygus dilatatus* in Slovenia). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 48/1: 73-85, (Tab. 1).
- MIKUŽ, V. & VESEL, M. 2008: Nova najdba klipeastra v badenijskih plasteh pri Podgračenem. (A new find of *Clypeaster* in Badenian beds near Podgračeno). *Razprave IV. razreda SAZU* (Ljubljana) 49/2: 95-105, (Tab. 1).
- MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. 1966: Kredni i miocenski ehinidi Srbije. *Geološki anali balk. poluostrva* (Beograd) 32: 87-461, Tab. 1-7.
- MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. 1970: Les caractéristiques biostratigraphiques et paléoécologiques des Échinides du Miocène moyen en Yougoslavie. *Giornale Geologia* (Bologna) 35/1: 335-346.
- MITROVIĆ-PETROVIĆ, J. 1984: Importance biostratigraphique et paleoecologique du genre *Clypeaster* (Echinoidea) pour les sediments Neogenes de la Yougoslavie. *Ann. Geol. Pays Hellen.* (Athens) 32: 211-235, (Pl. 1-13).
- PAVLOVEC, R. & MIKUŽ, V. 1995: Fosili v miocenskem litotamnijskem apnencu v okolici Šentilja. *Znan. rev., Naravosl. mat. (Maribor)* 7 /1: 3-8.
- PAVŠIČ, J. 1995: Fosili. Zanimive okamnine iz Slovenije. Tehniška založba Slovenije (Ljubljana): 1-139.
- PAVŠIČ, J., MIKUŽ, V. & V. PODGORŠEK, 1997: Kamniti hlebci. *Gea* (Ljubljana) 7 (1): 33.
- PHILIPPE, M. 1998: Les Échinides Miocènes du bassin du Rhône: révision systématique. Première partie. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat. Lyon* (Lyon) 36: 3-241, Pl. 1-2.
- PHILIPPE, M. 1998: Les Échinides Miocènes du bassin du Rhône: révision systématique. Deuxième partie. *Nouv. Arch. Mus. Hist. nat. Lyon* (Lyon) 36: 249-441, Pl. 3-26.
- POLJAK, J. 1938: Prilog poznavanju miocenskih Echinoidea Hrvatske i Slavonije. *Vesnik geol. instituta kralj. Jugosl. (Beograd)* 7: 167-203, Tab. 2-10.

- RAKOVEC, I. 1933: Geološko-paleontološki oddelek. V: Vodnik po zbirkah Narodnega muzeja v Ljubljani. Prorodopisni del. Narodni muzej v Ljubljani (Ljubljana): 119-185.
- RAKOVEC, I. 1952: Naši kraji v miocenski dobi I. *Proteus* (1952-1953) (Ljubljana) 15/1: 1-5.
- RAKOVEC, I. 1952: Naši kraji v miocenski dobi II. *Proteus* (1952-1953) (Ljubljana) 15/2: 38-41.
- RAMOVŠ, A. 1975: Zanimiva najdba zgornjekarbonskega morskega ježka v Javorniškem rovtu. *Proteus* (1974-1975) (Ljubljana) 37: 433-436.
- RAMOVŠ, A. 1978: Okamnelo življenje v jeseniškem prostoru. Vodnik po paleontološki zbirki Tehniškega muzeja Železarne Jesenice. Tehniški muzej Železarne Jesenice (Jesenice): 1-80.
- RAMOVŠ, A. 1980: Po poteh okamnelega življenja v tržiškem prostoru. Društvo prijateljev mineralov in fosilov Tržič (Tržič): 1-80. (Tržiški zbornik 2)
- ROBIČ, S. 1882: Kratek popis nekaterih gričev in jarkov v vznožji Šenturške gore v geološkem in paleontološkem obziru. Novice gospodarske, obrtniške in narodne (V Ljubljani) 40: 20, 27-28, 36.
- SAJOVIC, G. 1909: Ein Beitrag zur Geschichte der Steiner Alpen. Carniola (Laibach) 2: 24-29.
- SMITH, A. 1984: Echinoid Palaeobiology. George Allen & Unwin (Boston, Sydney): 1-190.
- STACHE, G. 1858: Die neogenen Tertiärbildungen in Unter-Krain. *Jb. Geol. R. A.* (Wien) 9: 366-398.
- ŠIKIĆ, K., BASCH, O. & ŠIMUNIĆ, A. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ Zagreb 1:100 000. Savezni geološki zavod Beograd (Beograd).
- VADÁSZ, E. 1915: Die mediterranen Echinodermen Ungarns. *Geologica Hungarica* (Budapest) 1/2: 79-253, Taf. 7 (1) – 12 (6).
- ŽALOHAR, J., KRIŽNAR, M., HITLIJ, T. & GRMŠEK, E. 2010: Fosili iz okolice Kamnika. Medobčinski muzej Kamnik (Kamnik): 1-48.
- ŽALOHAR, J. & ZEVIK, J. 1998: Terciarni plasti v okolici Kamnika. *Kamniški zbornik* (Kamnik) 14: 96-101.

Cyrtorhina globosa iz srednjeeocenskih plasti Čopija v Istri, Hrvaška

Cyrtorhina globosa from Middle Eocene beds of Čopi in Istria, Croatia

Vasja MIKUŽ

Prejeto / Received 5. 11. 2010; Sprejeto / Accepted 25. 11. 2010

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

Ključne besede: rakovice, Raninidae, *Cyrtorhina*, srednji eocen, Čopi, Istra, Hrvaška
Key words: Decapode, Raninidae, *Cyrtorhina*, Middle Eocene, Čopi, Istria, Croatia

Izvleček

V prispevku je opisan in predstavljen ostanek karapaksa rakovice vrste *Cyrtorhina globosa* Beschin, Busulini, De Angeli & Tessier 1988, ki je najden v srednjeeocenskih-lutetijskih skladih blizu zaselka Čopi v osrednji Istri na Hrvaškem.

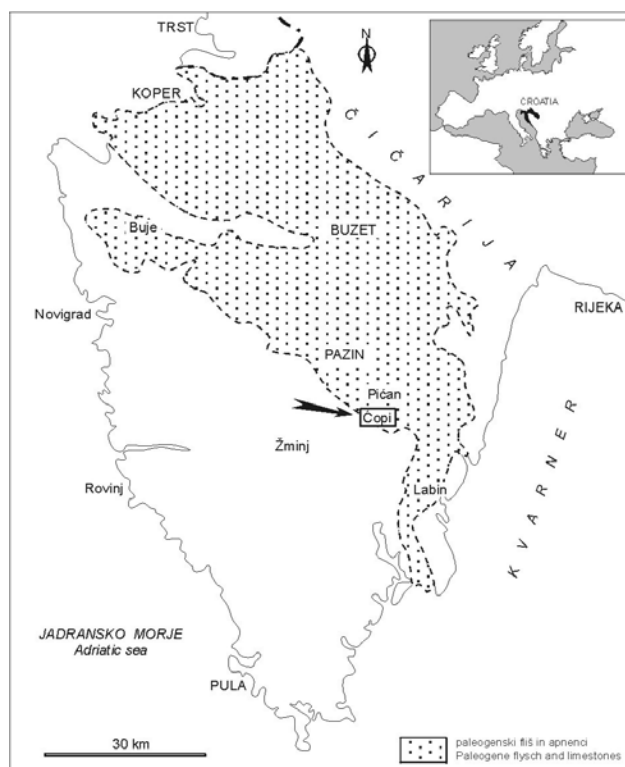
Abstract

The contribution contains the description and presentation of carapax remain of crab species *Cyrtorhina globosa* Beschin, Busulini, De Angeli & Tessier 1988, found in Middle Eocene – Lutetian beds near the Čopi settlement in central Istria, Croatia.

Uvod

Blizu vasi Čopi v osrednji Istri na Hrvaškem (sliki 1 in 2) izdajajo eocenski apneneci in flišne plasti. Na dveh mestih je najdena in raziskovana makrofavna, kjer prevladujejo ostanki numulitin, morskih ježkov in mehkužcev. Ostanke rakovic so razmeroma redki in razmeroma slabo ohranjeni. Med rakovicami je največ primerkov iz družine Raninidae, predvsem rodu *Lophorantina*.

V torek 27. aprila 2010 smo znova obiskali in pregledovali omenjeni najdišči in našli rakovico nepoznane identitete. Po pregledu ustrezne literature smo ugotovili, da ostanek pripada rakovici vrste *Cyrtorhina globosa*, ki je iz tega najdišča še nismo poznali in je najverjetneje prva najdba te vrste na Hrvaškem. Zato si najdba zasluži posebno pozornost. Vrsto so prvič opisali italijanski geologi in paleontologi (BESCHIN in sodel., 1988), našli so jo v najdišču Cava Boschetto (Chiampo – VI) v spodnjeeocenskih skladih območja berico-lessineo, med Vincenzo na vzhodu in Verono na zahodu. Deset let kasneje RIZZOTTO (1998) znova poroča o novi in dobro ohranjeni najdbi enake rakovice iz istega območja v Italiji.



Sl. 1. Geografski položaj najdišča eocene rakovice v Istri
Fig. 1. Geographic position of site of Eocene crab in Istria

Paleontološki del

Sistematika po: GLAESSNER 1966,
ARTAL & CASTILLO 2005 in SCHWEITZER et al., 2007

Classis Malacostraca Latreille, 1806
Ordo Decapoda Latreille, 1803
Subordo Brachyura Latreille, 1802
Superfamilia Raninoidea de Haan, 1839
Familia Raninidae de Haan, 1839
Subfamilia Cyrtorhininae Guinot, 1993
Genus *Cyrtorhina* Monod, 1956

Čeprav je rakovičin rod *Cyrtorhina* postavil Monod že leta 1956, tega rodu ne najdemo v GLAESSNER-jevem registru dekapodov iz 1969. leta. To je precej presenetljivo, da so ga spregledali in izpustili. VIA (1970, 122) samo omenja rod *Cyrtorhina* Monod, 1956 med devetimi recentnimi rodovi družine Raninidae.

RIZZOTTO (1998, 22) poroča, da danes živita samo dve vrsti: *Cyrtorhina granulosa* Monod, 1956 ob zahodnoafriški obali in *C. balabacensis* Serene, 1971 ob obalah Filipinov. Nadalje še piše, da so poznane še tri terciarne oblike: *Cyrtorhina globosa* Beschin et al., 1988, *C. oblonga* Beschin et al., 1988, obe iz najdišča Valle del Chiampo v Italiji in tretja *C. fusseli* Blow & Manning, 1996 iz Karoline v ZDA.

Cyrtorhina globosa Beschin, Busulini,
De Angeli & Tessier, 1988
Tab. 1, sl. 1a-1e

1988 *Cyrtorhina globosa* n. sp. – BESCHIN et al.,
163, fig. 3, Tav. 2, Figs. 1a-1d

1998 *Cyrtorhina globosa* Beschin, Busulini,
De Angeli & Tessier, 1988 – RIZZOTTO, 21,
Tav. 1-2

Material: En poškodovan ostanek karapaksa iz Čopija (Čr-25), z ohranjenimi vsemi ključnimi značilnostmi vrste. Ostalih delov rakovice nismo našli.

Nahajališče: Prepereli karbonatni člen na meji z laporovci flišnega horizonta, kakšnih 40 višinskih metrov pod zaselkom Čopi (slika 2).

Opis: Karapaks je majhen in zelo izbočen (tab. 1, sl. 1c), obod oziroma rob sprednjega in srednjega dela je okrogel, zadnji zožen (tab. 1, sl. 1a). Frontalni del karapaksa je nizek in nazobčan (tab. 1, sl. 1b, 1d). V sredini je rostrum iz treh ploščato zašiljenih izrastkov, srednji ali kardinalni izrastek je največji (tab. 1, sl. 1a, 1e). Širina rostruma je med 9 in 10 mm. Na obeh straneh rostruma so še po trije trni, ki so pri primerku iz Čopija odlomljeni. Površina karapaksa je v sprednjem delu posuta z drobnimi in različno velikimi izboklinicami (tab. 1, sl. 1e), v srednjem delu se zmanjšajo (tab. 1, sl. 1a), vendar se njihovo število močno poveča, v zadnjem delu so izboklinice znova večje, redkejša in kažejo že nekakšno razvrščanje izboklinic v nizke prečne grebene (tab. 1, sl. 1b). Nastala površinska ornamentacija



Sl. 2. Izdanki eocenskega apnenca blizu Čopija
(foto: V. Mikuž)

Fig. 2. Outcrops of Eocene limestone near Čopi
(Photo: V. Mikuž)

v posteriornem delu karapaksa zelo spominja na vzorec karapaksa pri rodu *Lophoranina*.

Tabela 1. Velikost in nekatere morfološke značilnosti karapaksa vrste *Cyrtorhina globosa* iz Čopija v Istri.

Table 1. Size and some morphological characteristics of carapace of *Cyrtorhina globosa* from Čopi in Istria.

Primerki/ Specimen	Dolžina/ Length	Širina/ Width	Rostrum – št. izrastkov/ Rostrum – No. of protuberances	Št. bočnih trnov/ No. of antero-lateral spines
Čr-25	44 mm	42 mm	1 + 2	3L + 3R

Rostrum: (1) one cardinal protuberance and (2) two lateral protuberances; (3L) three spines on the left side and (3R) three spines on the right side.

Pripombe: BESCHIN s sodel. (1988, 163) poročajo, da je za vrsto značilna okrogla in konveksna oblika karapaksa, z nizkim sprednjim delom in trikotnim rostrumom ter tremi lateralnimi trni. Dorzalna površina karapaksa je drobno zrnata. Sternum je zelo značilen.

Večina značilnosti vrste *Cyrtorhina globosa*, ki jih navajajo BESCHIN s sodel. (1988), je ohranjena tudi na primerku (Čr-25) iz Čopija. Žal ventralni ali sternalni deli karapaksa in ekstremitete, niso ohranjeni.

ARTAL in CASTILLO (2005, Figs. 2-3) prikazujeta in opisujeta novo vrsto *Cyrtorhina ripacurtae* iz spodnjeeocenskih plasti najdišča Puebla de Roda v Španiji. Omenjena oblika je v marsičem podobna vrsti *Cyrtorhina globosa*, morda se razlikuje v tretjem sprednjem trnu, ki je pri španski vrsti na notranji strani ukrivljen proti sredini, manjše razlike so tudi v površinski ornamentaciji, predvsem zadnjega ali posteriornega dela karapaksa.

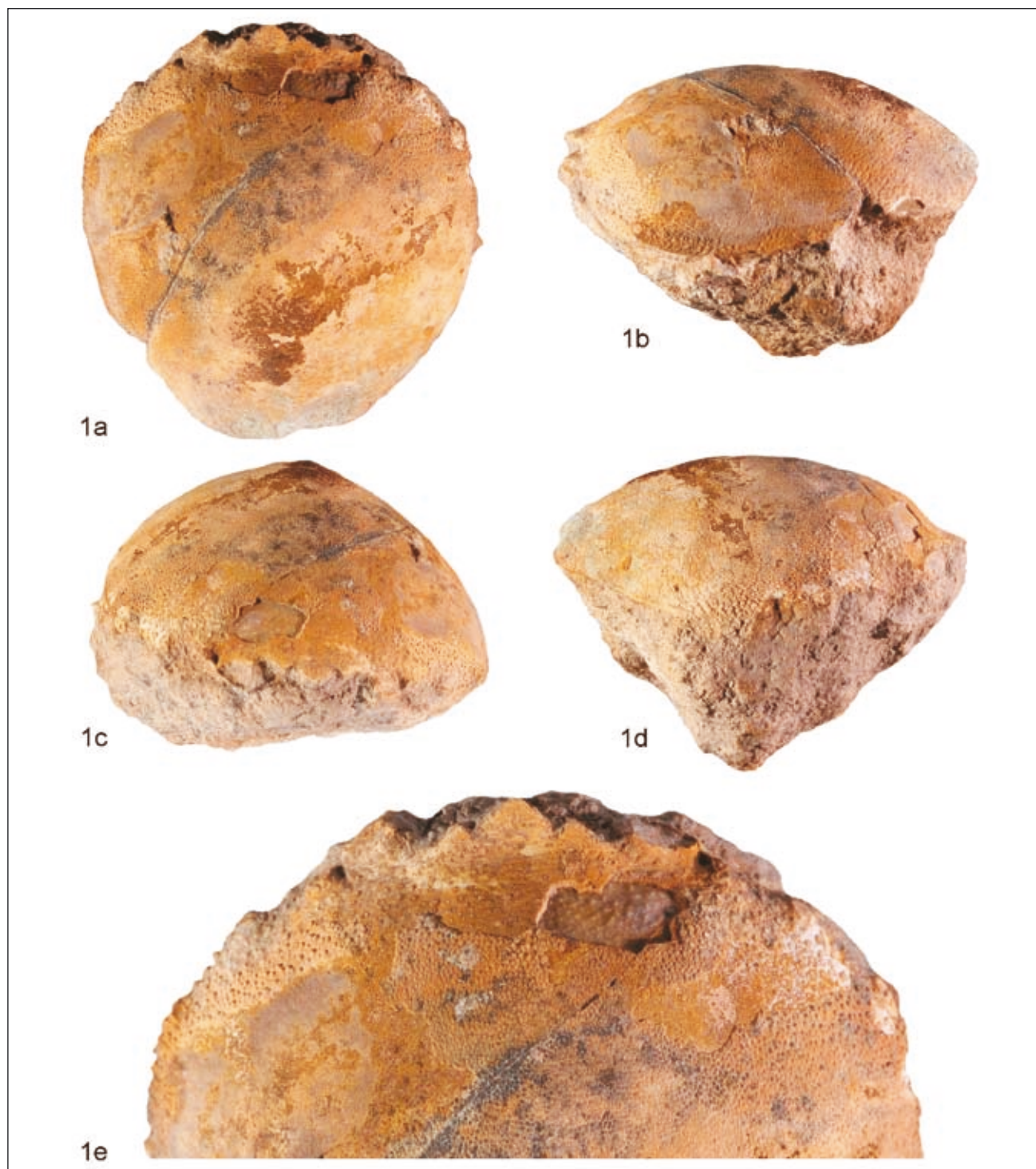


TABLA 1 – PLATE 1

- 1a *Cyrtorhina globosa* Beschin et al., 1988; karapaks s hrbtne oziroma zgornje strani, primerek Čr-25, Čopi, x 1,5
Cyrtorhina globosa Beschin et al., 1988; dorsal view of carapace, specimen Čr-25, Čopi, x 1,5
- 1b Isti primerek z leve strani, Čopi, x 1,8
 Left side of the same carapace, Čopi, x 1,8
- 1c Isti primerek s sprednje strani, Čopi, x 1,5
 The same specimen, anterior view of carapace, Čopi, x 1,5
- 1d Isti primerek z desne strani, Čopi, x 1,8
 Right side of the same carapace, Čopi, x 1,8
- 1e Sprednji del karapaksa z zgornje strani, Čopi, x 3
 Dorsal view of frontal side of carapace, Čopi, x 3

Fotografije (Photos): Marijan Grm

Italijanska vrsta ima nakazane vzdolžne grebene, ki so značilni za družino Raninidae, španska je bolj gladka, ponekod zelo drobno bradavičasta.

Stratigrafska in geografska razširjenost: BESCHIN s sodel. (1988, 166) poročajo, da je holotip vrste *Cyrtorhina globosa* najden v spodnjeeocenskih plasteh najdišča Cava Boschetto di Chiampo (VI). RIZZOTTO (1998, 21) opisuje in predstavlja novo najdbo zelo dobro ohranjenega primerka rakovice, najdenega v srednjeeocenskih skladih najdišča Valle del Chiampo blizu Vicenze v severni Italiji.

Zaključki

V Čopiju so ostanki rakovic razmeroma redki. Prevladujejo foraminifere, numulitine, asiline in druge mikrofavnistične oblike, pogostni so še morski ježki rodov *Cyclaster*, *Echinolampas*, *Schizaster*, *Linthia* in *Prenaster* ter številni raznovrstni mehkužci. Med rakovicami smo že ugotovili vrsto *Lophoranina marestiana* (König, 1825) (MIKUŽ, 2010). Ni pa izključeno, da je med njimi še kakšna druga že opisana oblika loforanin.

Tokrat predstavljamo primerek vrste *Cyrtorhina globosa* Beschin, Busulini, De Angeli & Tessier 1988, ki je najden v istih plasteh kot loforanine. Ta vrsta pripada isti dekapodni družini Raninidae, primerki te vrste pa so doslej najdeni samo v Italiji. Predstavljeni primerek vrste *Cyrtorhina globosa* iz Čopija (Čr-25, tab. 1, sl. 1a-1e) je prvi, ki je registriran v srednjeeocenskih – lutetijskih kamninah Istre, in prav gotovo tudi iz drugih delov Hrvaške. Hrvaška je drugo območje z registracijo te rakovice na širšem ozemlju Evrope oziroma nekdanjega Tetidinega sedimentacijskega bazena. Iz podobno ali enako starih kamnin Slovenije, ostankov rakovice *Cyrtorhina globosa* ne poznamo.

Cyrtorhina globosa from Middle Eocene beds of Čopi in Istria, Croatia

Conclusions

At Čopi crab remains are rather rare. Prevail foraminifers, nummulitinas, asilinas and other microfaunistic forms, quite frequent are further the sea urchins of genera *Cyclaster*, *Echinolampas*, *Schizaster*, *Linthia* and *Prenaster* as well as an abundance of diverse molluscs. Among the crabs we already determined the species *Lophoranina marestiana* (König, 1825) (MIKUŽ, 2010). It is not excluded that among them also some other already described form of lophoraninas may appear.

The actually presented individual of species *Cyrtorhina globosa* Beschin, Busulini, De Angeli & Tessier 1988, has been found in the same beds as lophoraninas. This species belongs to the same decapod family of Raninidae, and representatives of the species were found so far in Italy. The

presented individual of species *Cyrtorhina globosa* from Čopi (Čr-25, pl. 1, figs. 1a-1e) is the first one to be recorded in Middle Eocene – Lutetian carbonate rocks in Istria, and most certainly also in Croatia. Croatia is the second region with this crab recorded in the wider territory of Europe respectively the former Tethyan sedimentation basin. In rocks of similar or same age in Slovenia remains of the crab *Cyrtorhina globosa* are not known.

Zahvale

Iskreno se zahvaljujemo prof. dr. Claudiu Beschinu iz ustanove »Museo Civico »G. Zannato« Montecchio Maggiore» v Italiji za posredovano strokovno literaturo, zaslužnemu profesorju dr. Simonu Pircu za angleške prevode in Marijanu Grmu za fotografsko in tehnično dokumentacijo.

Acknowledgements

Our sincere thanks go to Prof. Dr. Claudio Beschin from the Museo Civico »G. Zannato« at Montecchio Maggiore, Italy, for the forwarded literature, to deserved Prof. Simon Pirc for English translation, and to Marijan Grm for photographic and technical documentation.

References

- ARTAL, P. & CASTILLO, J. 2005: *Cyrtorhina ripacurtae* n. sp. (Crustacea, Decapoda, Raninidae), primera cita del género en el Eoceno inferior español. *Batalleria* (2004-2005) (Barcelona) 12: 33-38.
- BESCHIN, C., BUSULINI, A., DE ANGELI, A. & TESSIER, G. 1988: Raninidae del Terziario berico-lessinense (Italia settentrionale). *Lavori Soc. Ven. Sc. Nat. (Venezia)* 13: 155-215, (Tav. 1-11).
- GLAESSNER, M. F. 1969: Decapoda. In: R. C. Moore (Editor), *Treatise on Invertebrate Paleontology*, Part R, Arthropoda 4. The Geological Society of America, Inc. and The University of Kansas (Lawrence): R399-R533.
- MIKUŽ, V. 2010: Lophoranine iz eocenskih plasti srednje Istre. (Lophoraninas from Eocene beds in central Istria, Croatia). *Geologija* (Ljubljana) 53/1: 47-54, (Tab. 1).
- RIZZOTTO, D. 1998: Nuovo esemplare di *Cyrtorhina globosa* nell'Eocene medio della Valle del Chiampo (Vicenza). *Studi e Ricerche, Assoc. Amici Museo Civico »G. Zannato«* (Montecchio Maggiore) 6: 21-24, (Tav. 1-2).
- SCHWEITZER, C. E., FELDMANN, R. M., GONZÁLEZ-BARBA, G. & ČOSOVÍČ, V. 2007: Decapod crustaceans (Brachyura) from the Eocene Tepetate Formation, Baja California Sur, Mexico. *Annals of Carnegie Museum* (Pittsburg) 76/1: 1-14.
- VIA, L. 1970: Crustáceos Decápodos del Eoceno Español. *Pirineos, Rev. Inst. Est. Pirenaicos* 1969 (Jaca) 25/91-94: 1-479, Lám. 1-39.

Pojavi nestabilnosti terena na dolenskem krasu

Some cases of terrain unstability from the Dolenjska karst area

Magda ČARMAN

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

Prejeto / Received 19. 10. 2010; Sprejeto / Accepted 17. 11. 2010

Ključne besede: plaz, podor, udor, karbonatne kamnine, dolenski kras, Dolenjsko-Notranjske grude, Žužemberška prelomna cona, Slovenija

Key words: landslide, rockfall, sinkhole collapse, carbonate rocks, Dolenjska karst, Dolenjsko-Notranjska horst, Žužemberk fault zone, Slovenia

Izvleček

V prispevku predstavljam različne pojave nestabilnosti tal na dolenskem krasu, ki so nastali v zadnjih letih v okolici Žužemberka in Dolenjskih Toplic. Dolenski kras je svojevrstno razvit. Njegovi glavni značilnosti sta debel preperinski pokrov, večinoma iz glinastih zemljin in visoka gladina podtalnice, ki zelo niha.

Opisujem zemeljski plaz, dva skalna podora in en udor. Plaz iz okolice Žužemberka je nastal na debelejšem zemljinskem pokrovu, skalna podora pa v pretrtih karbonatnih kamninah ob Žužemberškem prelomu. Nastanek udara na območju Dolenjskih Toplic je vezan na tektonsko pretrte karbonatne kamnine v Dolenjsko-Notranjskih gradah in obilno deževje.

Abstract

The paper presents some cases of terrain unstability from the Dolenjska karst area formed in the last years around Žužemberk and Dolenjske Toplice. The Dolenjska karst has its own characteristic way of development. The main features are thick soil top, mainly composed of clay, and high and strongly fluctuating water table. Presented are a landslide, two rockfalls and a sinkhole collapse. A landslide nearby Žužemberk was initiated in soil top. Both rockfalls appeared in tectonically highly disturbed carbonate rocks along the Žužemberk fault. The sinkhole collapse in the area around Dolenjske Toplice developed in tectonically damaged rocks inside the Dolenjska - Notranjska horst and during a period of heavy rain.

Uvod

Zemeljski plazovi se redko pojavljajo na območjih karbonatnih kamnin. Vezani so na pobočja, kjer karbonatne kamnine prekriva debelejša glinasta ali gruščnata glinasta preperina. Za dolenski kras je značilno, da so karbonatne kamnine prekrivane z do nekaj metrov debelim zemljinskim pokrovom, ki pa je na geoloških kartah redko izdvojen.

Podori so v karbonatnih kamninah pogost pojav, na katere vpliva več faktorjev, kot so strma pobočja, pojav več sistemov razpok (še zlasti pri tektonsko pretrtih kamninah), vpad plasti, vzporeden s pobočjem in intenzivno fizikalno prepevanje. Pojavljajo se predvsem v času velikih temperaturnih nihanj (zmrzal v razpokah), v času dolgotrajnejšega deževja (izpiranje) in ob potresih (tresenje tal).

Udori so na karbonatnih oz. kraških tleh precej pogost pojav, ker pa so običajno manjših dimenzij, ljudje njihovega nastanka ne prijavljajo. Na širšem območju Novega mesta v povprečju beležijo do štiri udore na leto, največ jeseni. Njihov

premer običajno ne presega 3 m, globina pa znaša od 1 m do 2 m (ustna informacija, Pršina, Jamarški klub Novo mesto, 2010).

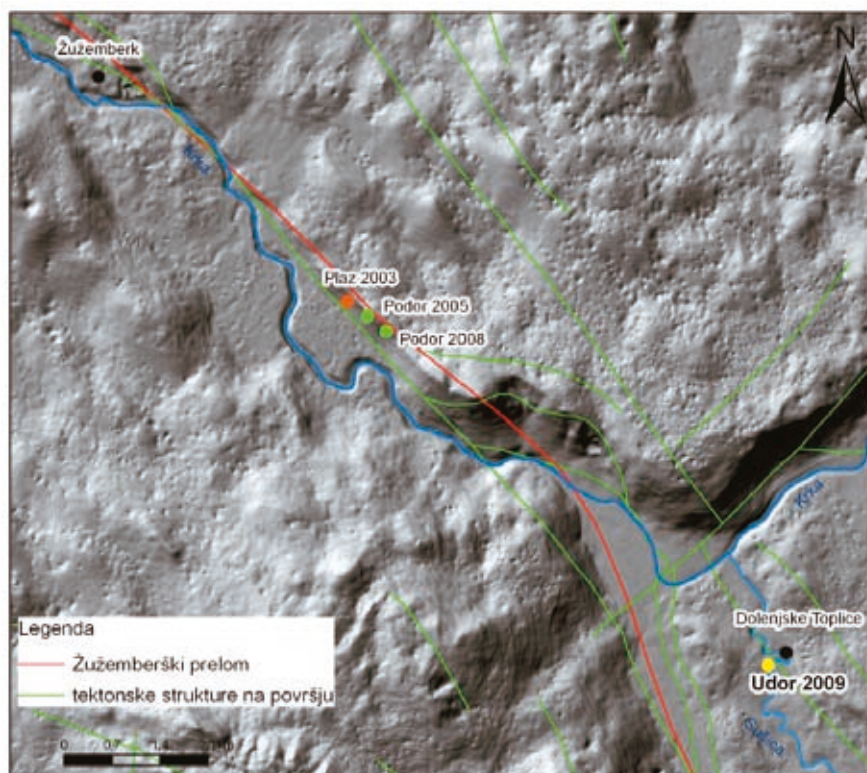
Lokacije opisanih pojavov so prikazane na sliki 1.

Pojavov nestabilnosti tal časovno ni mogoče vnaprej napovedati, vemo pa, da so bolj pogosti v jesenskih obdobjih večjih padavin, zimsko-pomladnih obdobjih, za katera so značilna velika temperaturna nihanja ter ob potresnih in popotresnih dogodkih. Nestabilnost terena je pogosto tudi posledica človekove dejavnosti v prostoru.

Glede na Seizmološko karto Slovenije s 475-letno povratno dobo potresov, se območji Dvor in Dolenjske Toplice nahajata na območju z 8. potresno stopnjo. Tveganje nastanka podorov, plazov in udorov je ob 8. ali višji potresni stopnji zvečano (VIDRIH & RIBIČIČ, 1999).

Tektonske značilnosti območja

Obravnavano ozemlje pripada tektonski enoti Zunanjih Dinaridov, ki obsegajo skoraj celotno



Sl.1. Lokacije pojavov nestabilnosti

Fig.1. The locations of the cases of terrain instability

javljajo apnenčev drobir in zaglinjen grušč z lečami mastne gline, vzdolž katerih se preceja voda. Plaz se je aktiviral po omočeni glinasti plasti. Podlago gradi pretrt kredni apnenec. Plaz še vedno ni saniran.

Podori

V zadnjih letih prihaja do proženja blokov apnenca pri Dvoru v občini Žužemberk. Porušeni bloki so že povzročili škodo na stanovanjskem objektu in ogrožajo imetje in življenje lastnikov (ČARMAN, 2009). Strmo pobočje na levem bregu reke Krke prehaja v skalni greben (slika 4), ki je zgrajen iz tektonsko poškodovanih karbonatnih kamnin ter je podvr-

južno Slovenijo (POLJAK, 2006). Na območju OGK lista Ribnica, pripadajo Dinarski oz. Dinarsko-Jadranski karbonatni platformi. Strukturno je to območje zgrajeno iz vzdolžnih gub, prelomov in narivov v smeri severozahod–jugovzhod, ki ozemlje razdelijo v večje tektonske bloke in grude – Dolenjsko-notranjske grude (PLENIČAR & PREMUR, 1977). Nekateri prelomi v smeri severozahod–jugovzhod imajo regionalni pomen (Žužemberški, Dobropoljski, Ortniški, ...) in se nadaljujejo v Južne Alpe.

Žužemberški prelom je eden najdaljših in najbolj izrazitih prelomov v Zahodnodolenjskih mezozojskih grudah (BUSER, 1974). Prelom s tipično dinarsko smerjo vseskozi poteka ob severni strani reke Krke in je na svoji celotni dolžini pokrit. Domneva se, da na obravnavanem terenu vpada pod strmim kotom proti severovzhodu. Ob močni prelomni coni Žužemberškega preloma so kamnine intenzivno poškodovane. Na Žužemberško prelomno so vezani pojavi termalnih izvirov, med njimi tudi termalni izviri v Dolenjskih Toplicah.

Zemeljski plaz

V neposredni bližini podorov pod Šempavelsko goro se je leta 2003 sprožil plitev zemeljski plaz (slika 2). Plaz, širok okoli 50 m in dolg 60 m, je nastal v vinogradu na osrednjem delu jugozahodnega pobočja z naklonom 20°–30° (DOKL & ZORIČ, 2003). Pri tem so bili poškodovani vinograd, javna pot, oporni in podporni zidovi (slika 3) ter trije objekti (zidanice), od katerih so morali enega kasneje porušiti v celoti. Z vrtanjem so na območju plazu določili sestavo preperinskega pokrova, ki je debel dobre 4 m. V preperini se po-



Sl. 2. Približne meje plazu

Fig. 2. Approximate contours of a landslide



Sl. 3. Poškodovan zid na območju plazu (foto: M. Čarman)

Fig. 3. A damaged wall on landslide area



Sl. 4. Nestabilni bloki apnenca na grebenu (foto: Občina Žužemberk)

Fig. 4. Unstable blocks of limestone on the ridge

žen intenzivnemu in stalnemu procesu denudacije, kar povzroča odlamljanje blokov velikosti od nekaj dm^3 do več m^3 .

Izvorno območje podornih blokov se nahaja v Žužemberški prelomni coni, kjer se stikajo jurske in kredne karbonatne kamnine. Apnenec je svetlo siv, gost in trden, lokalno je lahko nekoliko dolomitiziran, vzdolž lezik je zakrasel. Je skladnat z zelo položnim vpadom plasti v pobočje ali vzporedno s pobočjem. Kamnino sekata dva izrazita sistema subvertikalnih razpok, ki vpadata proti jugozahodu in severovzhodu, ob katerih apnenec razpada v različno velike bloke. Natezne razpoke so odprte, valovite, večinoma gladke in široke do 15 cm.

Dva večja apnenčeva bloka sta se sprožila v letih 2005 in 2008. Na način gibanja podornega bloka prizmatične oblike iz leta 2008 (slika 5), dimenzij cca 1,5 m x 1,2 m x 1 m, je vplival naklon pobočja, ki v odlomnem delu znaša okoli 45° , nato pa se zmanjša na 25° do 30° . Blok se je po pobočju izmenoma kotalil in odbijal, vse do ravnine. V obdobjih sprožitve blokov na območju Žužemberka in v njegovi okolici ni bil zabeležen noben potres, tako da njune sprožitve ne moremo povezati s potresom (ARSO, 2007, 2009).



Sl. 5. Podorni blok iz leta 2008 (foto: Občina Žužemberk)

Fig. 5. Rock block fallen in 2008

Udor

Konec leta 2009 je po obilnem deževju na vrtu za stanovanjsko hišo v Dolenjskih Toplicah nastal manjši udor, skoraj idealno okrogla odprtina s premerom in globino preko enega metra (sliki 6, 7). Podlago tvori jurski apnenec, ki ga prekrivajo glinaste zemljine. Po besedah lastnice hiše, je izkop za 10 let staro hišo v celoti potekal v glini in je bil brez posebnosti. Udor je nastal brez kakršnih koli predhodnih znakov, verjetno zaradi izpiranja gline v kraške kanale. Ena od značilnosti dolenskega krasa je tudi, da se podtalnica nahaja plitvo pod površjem (KNEZ et al., 2004). Njena gladina zelo niha in pri tem izpira material; pojav se imenuje podpovršinska erozija vode (<http://www.mgs.md.gov/esic/fs/fs11.html>), dodatno pa je k izpiranju prispevalo še obilno deževje.



Sl. 6. Udor za hišo v Dolenjskih Toplicah (foto: A. Ivekovič)

Fig. 6. A sinkhole collapse behind the house in Dolenjske Toplice



Sl. 7. Udor od blizu (foto: A. Ivekovič)

Fig. 7. A sinkhole collapse, a close-up

Zaključki

V zadnjih letih so bile na območju dolenskega krasa zabeležene tri različne vrste nestabilnosti tal. Njihov nastanek je večinoma posledica razpokanosti kamnin ob tektonskih conah in/ali padavinskih viškov.

Skalna podora in zemeljski plaz se nahajajo na območju Žužemberške prelomne cone, kjer se stikajo jurske in kredne karbonatne kamnine. Zaradi prelomne cone so kamnine močno razpokane, kar povzroča njihovo hitro erodiranje in razpadanje. Podorni bloki v okolici Žužemberka so posledica erozije skalnega grebena in se bodo najverjetneje pojavljali tudi v bodoče.

Pojav zemeljskega plazju na karbonatnih kamninah je vezan na debelejši zaglinjen preperinski pokrov na strmejšem pobočju. Plaz se je pojavil kot posledica precejšnje vode po glinasti plasti. S podatki iz vrtin in izkopov za različne objekte ter iz preiskav terena z dinamičnim penetrometrom, bi lahko izdelali karto debelin glinastega pokrova. Na osnovi takšne karte bi nato lahko določevali potencialna območja plazenja.

Udor je nastal v glinastih zemljinah na pretrtih jurskih apnencih. Na tem območju s kompleksno tektonsko zgradbo, v povprečju beležijo do štiri takšne pojave na leto, predvsem v jeseni. Smiselno bi bilo izvesti analizo pojavljanja udorov glede na letni čas in količino padavin, pri interpretaciji pa upoštevati tudi tektonsko zgradbo.

Literatura:

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2007: Potresi v letu 2005 (zbornik). splet: <http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/potresi%20v%20letu%202005.pdf>
- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2009: Potresi v letu 2008 (zbornik).splet: <http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Potresi%20v%20letu%202008.pdf>
- BUSER, S. 1974: OGK, M 1: 100 000, Tolmač za list Ribnica (Beograd): 1-60.
- ČARMAN, M. 2009: Inženirsko-geološko poročilo o pregledu skalnega podora Stara gora pri Dvoru (občina Žužemberk). 20 str. in priloge. Arhiv GeoZS, Ljubljana.
- DOKL, S. & ZORIČ, Z. 2003: Plaz Stara Gora pri Dvoru (Konte). Geotehnično poročilo z idejno rešitvijo sanacije plazju. 34 str. in priloge. Georing d.o.o., Maribor.
- KNEZ, M., SLABE, T. & ŠEBELA, S. 2004: Karst uncovered during the Bič – Korenitka motorway construction (Dolenjska, Slovenija). Acta Carsologica (Ljubljana) 33/2-4: 75-89.
- PLENIČAR, M. & PREMRU, U. 1977: OGK, M 1 : 100.000, Tolmač za list Novo mesto (Beograd): 1-60.
- POLJAK, M. 2006: Tolmač za Strukturno-tektonsko karto Slovenije, M 1: 250.000, (Ljubljana): 1-53.
- VIDRIH, R. & RIBIČIČ, M. 1999: Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98), Geologija (Ljubljana) 41: 365-410.
- splet: <http://www.mgs.md.gov/esic/fs/fs11.html>, 20.10.2010.

Skalni podori Stara gora pri Dvoru v občini Žužemberk

Rockfalls Stara gora near Dvor in municipality Žužemberk

Magda ČARMAN¹ & Tina PETERNEL²

¹Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana; e-mail: magda.carman@geo-zs.si

²Geoportal d.o.o., Brdo, Tehnološki park 21, SI-1000 Ljubljana; e-mail: tina@geoportal.si

Prejeto / Received 19. 10. 2010; Sprejeto / Accepted 1. 12. 2010

Ključne besede: podor, prevračanje in padanje, karta ogroženosti, karbonatne kamnine, Žužemberški prelom, Stara gora pri Dvoru, občina Žužemberk, Slovenija

Key words: rockfall, toppling, hazard map, carbonate rocks, Žužemberk fault, Stara gora pri Dvoru, municipality Žužemberk, Slovenia

Izvleček

V zadnjih letih v Sloveniji opažamo povečano podorno dejavnost, ki je povezana z vremenskimi ekstremi. Na območju Stara gora pri Dvoru v občini Žužemberk so porušeni karbonatni bloki že povzročili škodo na stanovanjskem objektu in ogrožajo imetje in življenja lastnikov. Izvorno območje podornih blokov se nahaja na območju Žužemberške prelomne cone. Zato so apnenci močno razpokani, kar povzroča njihovo hitro erodiranje in razpadanje. Podorni bloki nastajajo z erozijo skalnega grebena in se bodo pojavljali tudi v bodoče. S pomočjo detajlnega terenskega geološkega in inženirsko-geološkega kartiranja ter simuliranja padanja kamnov in blokov s programom RocFall smo ocenili stopnjo ogroženosti in oceno varovanja ter izdelali karto ogroženosti za obravnavano območje.

Abstract

In Slovenia, an increased number of rockfall events have been noticed in the last years. They were most likely in relation to weather extremes. At Stara gora near Dvor in municipality Žužemberk, fallen blocks of carbonate rock have already caused damage on a residential object and represent a danger to real property and human lives. The blocks source area is situated in the Žužemberk fault zone. The carbonate rocks in the fault zone are tectonically highly disturbed, which leads to their rapid erosion and disintegration. The rockfall events are a result of the ridge erosion and will also appear in the future. Hazard degree assessment and protection assessment were based on the results of detailed geological and engineering geological mapping and rock fall simulation with RocFall computer software. A rock fall hazard map was also produced.

Uvod

Podori so v karbonatnih kamninah pogost pojav, predvsem v gorskem svetu. Na njihovo pojavljanje vpliva več faktorjev. Prevladujoča so strma pobočja, sistemi prelomov in razpok, močna pretrtost kamnin ter intenzivno fizikalno prepevanje. Pojavljajo se predvsem v času velikih temperaturnih nihanj zaradi zmrzali v razpokah, v času dolgotrajnejšega deževja in ob potresih. Dogodka časovno ni mogoče vnaprej napovedati, vemo pa, da je pogostnost teh pojavov vezana na jesenska obdobja večjih padavin, zimsko-pomladna obdobja, za katera so značilna velika temperaturna nihanja ter na potresne in popotresne dogodke. Vsi naštetih dejavniki so značilni tudi za podore Stara gora. Do proženja blokov pa lahko pride tudi ob morebitnih človeških posegih v pobočje.

Značilnosti širšega območja lokacije

Tektonske razmere

Ozemlje okrog Žužemberka pripada tektonski enoti Zunanjih Dinaridov, ki obsega skoraj celotno južno Slovenijo. Strukturno je to območje zgrajeno iz vzdolžnih gub, prelomov in narivov, ki ozemlje razdelijo v večje tektonske bloke in grude. Nekateri prelomi s smerjo severozahod-jugovzhod, kot so Žužemberški, Dobropoljski in Ortniški imajo regionalni pomen. Žužemberški prelom je eden najdaljših in najbolj izrazitih prelomov v Zahodnodolenjskih mezozojskih grudah (BUSER, 1974). Prelom s tipično dinarsko smerjo vseskozi poteka po dolini reke Krke in je na svoji celotni dolžini pokrit. Domneva se, da na preiskovanem terenu vpada pod strmim kotom proti severovzhodu. Ob močni prelomni coni Žužemberškega preloma so kamnine tektonsko močno poškodovane.

Seizmičnost območja

Glede na Seizmološko karto Slovenije s 475-letno povratno dobo potresov se območje Stare gore pri Dvoru nahaja na območju z 8. potresno stopnjo (MORS, 2006). Tveganje nastanka podorov ob 8. ali višji potresni stopnji je zvečano in na podlagi dosedanjih opazovanj med potresno aktivnostjo in pojavljanjem podorov lahko trdimo, da bodo potresni sunki tudi v bodoče vplivali na pojave skalnih podorov (VIDRIH & RIBIČIČ, 1999).

Geografsko morfološki opis

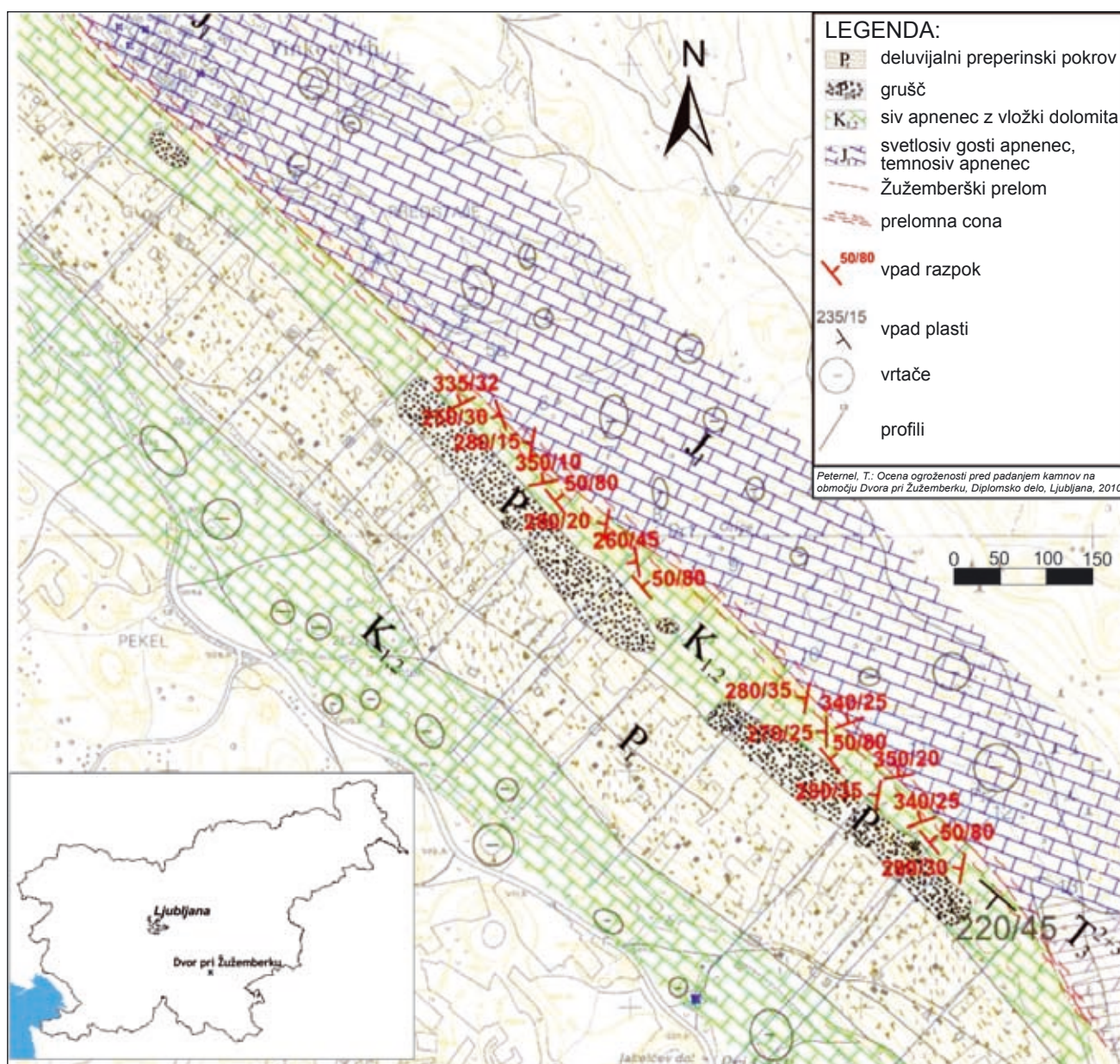
Obravnavano območje se nahaja v Suhi krajini, ki leži na severozahodnem delu Dolenjske, za katero so tako obsežna potencialna območja podorov redka. Izvorno področje podornih blokov se razteza vzdolž grebena Podšempavelske gore na dolžini okoli 1300 m. Strmo pobočje se naha-

ja na levem bregu reke Krke in mestoma prehaja v greben, kjer prihaja zaradi erozijskih procesov do odlamljanja kamninskih blokov. Na spodnjem delu jugozahodnega dela Podšempavelske gore so vinogradi z zidanicami, navzgor sledi gozd. V gozdu so na drevesih vidne sveže poškodbe zaradi udarcev že sproženih blokov. Vinogradi ležijo na debelejši glinasti preperini. Nagib terena znaša v spodnjem delu okoli 30°–35°, v območju gozda pa preide v nagib okoli 40°–45°. Skalni greben je subvertikalen.

Metodologija dela

Geološko in inženirsko-geološko kartiranje

Obravnavano območje, ki ga gradijo gradijo kamnine mezozojske starosti in sicer triasni dolomit, jurski in kredni apnenec ter kvartarni sedimenti (slika 1), smo podrobno litološko in



Slika 1. Inženirsko-geološka karta obravnavanega območja

Figure 1. Engineering geological map of the studied area

inženirsko-geološko kartirali (ČARMAN, 2009; PETERNEL, 2010). Spodnje triasni glavni dolomit se nahaja na vzhodnem delu kartiranega območja in sicer na severozahodnem delu Podšempavelske gore. Jurski apnenec spodnje in srednje liasne starosti se nahaja na severnem in severozahodnem delu kartiranega območja, natančneje na območju Vinkovega vrha in severnem delu Podšempavelske gore. Največji del kartiranega ozemlja sestavljajo spodnje kredni in cenomanijski apnenci, ki zavzemajo celoten osrednji in južni del kartiranega ozemlja. Pas melišča kvartarne starosti predstavlja material, ki je nakopičen pod vznožjem pretrtih krednih apnencev in oblikujejo pobočje pod njimi. Nevezano preperinsko gmoto sestavljajo predvsem kosi krednega apnenca, ki gradijo zgoraj ležečo močno preperelo hribino, in v manjši meri glinasto-meljno vezivo. Deluvijalni preperinski pokrov pliocensko- kvartarne starosti se pojavlja na območju zidanic in vinogradov, kjer so tla pokrita s približno 4 m debelo plastjo rdeče glinaste preperine, mestoma pomešane z apnenčevim gruščem.

Izvorno območje podornih blokov gradi kredni apnenec s tankimi kalcitnimi žilicami. Skladnat apnenec je svetlo siv, gost in trden, lokalno je lahko nekoliko dolomitiziran. Vzdljž lezik je zakrasel. V kamnini se neenakomerno pojavljajo kalcitne žilice, ki sekundarno cementirajo prvotne razpoke in korozijske votline. Primesi glinene in limonitne komponente se pojavljajo v obliki tankih prevlek. Apnenec je skladnat z zelo položnim (subhorizontalnim) vpadom plasti v ali iz pobočja ($230^{\circ}/5^{\circ}$) (slika 2). Kamnino sekata dva izrazita sistema subvertikalnih razpok, ki vpadajo proti jugozahodu in severovzhodu ter sistem položnejših razpok z vpadom proti severozahodu, ob katerih je apnenec pretrt v različno velike bloke (ČARMAN, 2009). Natezne razpoke so odprte, valovite, večinoma gladke (slabo izražena hrapavost je bolj korozivnega značaja) in široke od 0,5 cm do 15 cm. V odprte razpoke se vraščajo korenine dreves, kar še dodatno pospešuje razpadanje kamnine. Odprte razpoke kažejo na pojav nateznih sil v kamnini, kar nakazuje verjetnost oz.



Slika 2. Nestabilni bloki z odprtimi razpokami na vrhu grebena (foto: M. Grčar)

Figure 2. Unstable blocks of limestone with opened fractures on a ridge

nevarnost nadaljnjega rušenja in padanja kamninskih blokov. Zaradi neugodne medsebojne lege plastnatosti in razpok prihaja do drsenja blokov po plastnatosti in njihovega prevračanja oz. izpadanja iz prvotne lege.

Pregled pobočja in grebena kaže na intenziven in stalen proces denudacije kamninske mase, ki se izraža v odlamljanju različno velikih blokov in kosov apnenca. Neposredno pod grebenom so na večji površini razkriti podorni bloki in kamenje, ki so se z grebena samo prevrnili in obstali pod njim in tvorijo melišče (slika 3). Do večjih premikov prosto ležečih blokov in kamenja lahko pride pri sprožitvi novih blokov z grebena, ki ob udarcu v že premaknjene bloke, le-te spravijo v ponovno gibanje po pobočju.



Slika 3. Podorni bloki in kamenje neposredno pod grebenom (foto: M. Čarman)

Figure 3. Rockfall blocks and gravel under the ridge

V manjši meri pa se na pobočju pojavljajo tudi posamezni prosto ležeči, že premaknjeni bloki (slika 4). Ocenjujemo, da volumen prosto ležečih skalnih blokov ne presega 3 m^3 , prevladujejo pa



Slika 4. Prosto ležeč že premaknjen blok (foto: M. Čarman)

Figure 4. Detached block

kosi s prostornino, manjšo od $0,3 \text{ m}^3$. Možen in verjeten je pojav posameznih blokov, ki presegajo volumen 3 m^3 .

Simuliranje padanja kamninskih blokov

V izvornem območju podora, ki predstavlja neposredno nevarnost za spodaj živeče ljudi in objekte, ločimo (ČARMAN, 2009):

- razpokan skalni greben, s katerega bi se lahko ob močnejših potresnih sunkih sprožili različno veliki bloki. Diskontinuite (razpoke in plastnatost) delijo kamnino v večje bloke, ti pa lahko razpadejo v manjše prizmatične kose oz. bloke;
- prosto ležeče kamenje velikosti do $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ nastopa na celotnem pregledanem območju; kosi nepravilne do ploščaste oblike večinoma ležijo tako, da se ne morejo zakotaliti, na večjem delu pobočja se lahko le neznatno premaknejo;
- prosto ležeči skalni bloki dimenzij do $3 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$.

Kamninski blok, ki se je sprožil leta 2005, se je kotalil in odbijal po pobočju do ravnine. Drugi večji kamninski blok se je sprožil leta 2008 in je poškodoval bivalni objekt ter se pri tem ustavil. Oba bloka sta se sprožila v jesenskem času, ko je več padavin. Na območju Žužemberka in v njegovi okolici v času sproženja blokov ni bil zabeležen noben potres, tako da njune sprožitve ne moremo povezati s potresom (ARSO, 2007, 2009).

S pomočjo računalniškega programa RocFall, verzije 4.048, podjetja Rocscience Inc., Kanada, smo za obravnavano območje ocenili doseg podornih blokov ter stopnjo ogroženosti posameznih delov znotraj obravnavanega območja (PETERNEL, 2010). Simulacija s programom RocFall temelji na zakonih gibanja ter teoriji trkov, hkrati pa omogoča prikaz ter interpretacijo trajektorije gibanja enega do 10.000 kamnov. Pri izračunu trajektorij gibanja je tako upoštevano drsenje, kotaljenje, prevračanje, prosti pad in poševni met premikajočega telesa (kamninskega bloka) ter sprememba vrtilne količine med trki. Simulacija poteka do zaustavitve kamninskega bloka, ko le ta trči v oviro (npr. hiša ali zaščitna pregrada) oziroma se zaradi izgube momenta zaustavi na položnem pobočju.

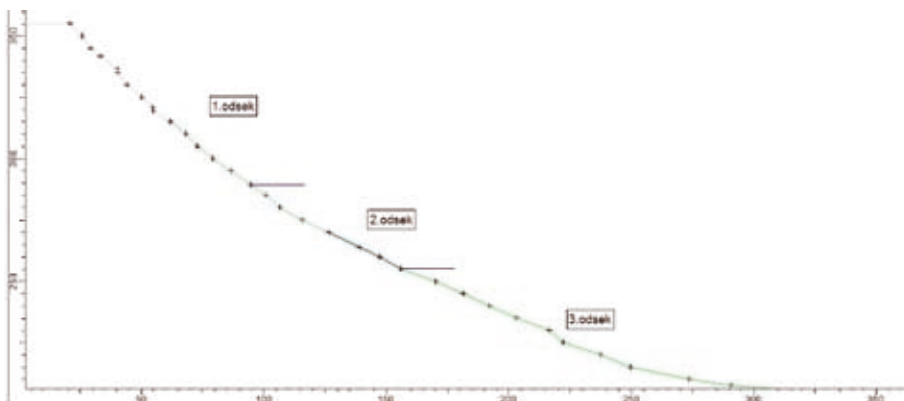
Za simulacijo v programu RocFall je potrebno določiti vhodne podatke z oceno katerih se poskušamo približati dejanskim razmeram. Simulacija temelji na geometriji pobočja, ki smo jo določili glede na temeljni topografski načrt merila 1 : 5.000 (TTN5) in je v programu prikazana z dvodimenzionalnim profilom. S preostalimi vhodnimi parametri moramo določiti lastnosti pobočja, kot so normalni odbojni koeficient R_n , tangencialni odbojni koeficient R_t , kot trenja Φ in hrapavost območja. Ocenjene vhodne vrednosti teh parametrov smo določili s povratno analizo. Za simulacijo je potrebno določiti še fizikalne lastnosti padajočih blokov, kot so njegova masa, ocenjeno vertikalno in horizontalno hitrost padajočega bloka ter nadmorsko višino lokacije odloma. Program poda rezultate v obliki grafičnega prikaza ovojnic trajektorij gibanja po izhodiščnem dvodimenzionalnem profilu in prikaže statistične rezultate izračuna kinetične, translacijske in rotacijske energije ter odbojno višino in hitrost gibanja za katerokoli izbrano točko na profilu v obliki grafov in histogramov. Za obravnavano območje so bile s pomočjo programa RocFall izvedene simulacije za območja z dokumentiranimi padlimi bloki in za potencialno ogrožena območja (PETERNEL, 2010). Na osnovi rezultatov simulacij smo podali predlog zaščite s podajnimi zaščitnimi ograjami.

Rezultati in razprava

Simulacija za območje z dokumentiranim padcem bloka

Predstavljamo simulacijo, ki je bila izvedena na območju dokumentiranega padca prvega bloka z dimenzijami $1,5 \times 1,3 \times 1 \text{ m}^3$. Tu poteka profil od nadmorske višine 355 m n.m., do nadmorske višine 205 m n.m (slika 5). Višinska razlika znaša 150 m. Na podlagi geometrije pobočja in teren-skih podatkov je dani profil razdeljen na tri odseke, ki se med seboj razlikujejo po naklonu ter po lastnostih pobočja, ki so bile določene s povratno analizo.

Prvi obravnavani odsek se nahaja med nadmorskima višinama 335 m n.m., do 305 m n.m. z naklonom 45° in je sestavljen iz nizkih subvertikalnih sten. Teren pa je pokrit z izpadlimi kamninskimi bloki, grušči in z organskim materialom. Za dru-



Slika 5. Profil trase dokumentiranega padlega bloka
Figure 5. Profile with the route of the fallen block

gi odsek smo upoštevali del med 305 m n.m. in 255 m n.m. z naklonom 31° . Na obravnavanem delu je pas melišča, ki najverjetneje upočasnjuje hitrost in energijo padlih kamninskih gmot, zato je na tem delu višji kotalni upor. Zadnji izbrani odsek poteka od višine 255 m n.m., do najnižje točke profila na nadmorski višini 205 m. Naklon odseka znaša 16° . Ta del pobočja je popolnoma neporaščen in brez gruča, zato je na tem delu kotalni upor najnižji. Privzeti vhodni podatki za blok so sledeči: ocenjena masa znaša 4860 kg, horizontalna hitrost 1,5 m/s in vertikalna hitrost 0,5 m/s.

V preglednici 1 so prikazane lastnosti pobočja, določene na podlagi povratne analize.

Preglednica 1. Lastnosti pobočja na območju dokumentiranega padca bloka

	Prvi odsek	Drugi odsek	Tretji odsek
odbojni koeficient R_n	0,3	0,32	0,35
tangencialni odbojni koeficient R_t	0,85	0,8	0,81
kot trenja Φ	15	25	10

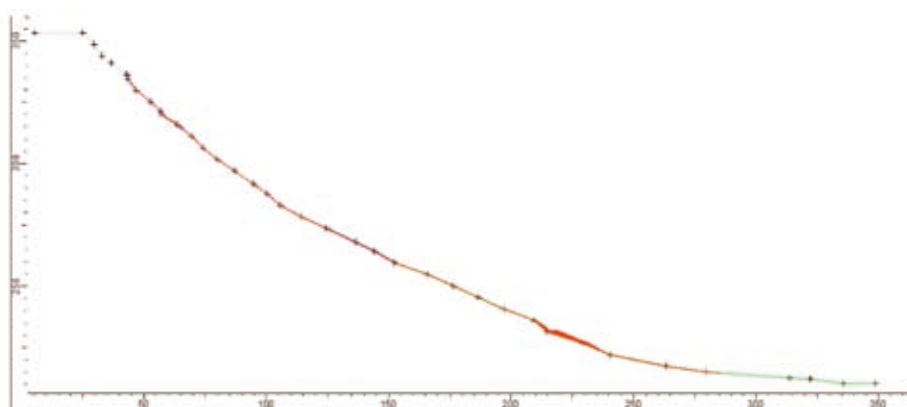
Rezultat simulacije je grafični prikaz trajektorij gibanja padlega dokumentiranega bloka (slika 6), kjer so z rdečo barvo prikazane možne poti

gibanja padajočega bloka. Iz slike 6 je razviden skok bloka na »smučarski skakalnici« na nadmorski višini 230 m.

Izračuna simulacije, prikazana v obliki grafa kinetične energije in odbojne višine kažeta, da najvišjo vrednost kinetične energije ter odbojne višine blok doseže na nadmorski višini 230 m n.m., kjer je pobočje oblikovano v »smučarsko skakalnico«. Na tem delu blok doseže vrednost kinetične energije do 700 kJ (slika 7) in odbojno višino 1,75 m (slika 8). Najnižje vrednosti kinetične energije in odbojne višine so v zgornjem delu pobočja, kjer je zaradi poraščenosti in z gručcem pokritega terena, relativno visok kotalni upor.

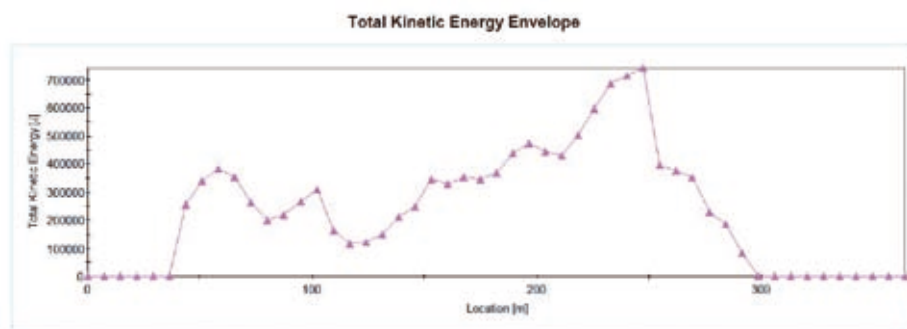
Simulacija padanja potencialnih blokov

Naslednji primer simulacije je bil izveden na potencialno ogroženemu območju. Potencialno ogrožena območja so bila določena na podlagi terenskega ogleda, kjer smo na izvornem območju padanja podornih blokov določili lokacije in dimenzije labilnih podornih blokov. Simulacija je bila izvedena za blok dimenzije $3 \times 3 \times 0,75 \text{ m}^3$, ki se nahaja na nadmorski višini 335 m n.m. in ogroža stanovanjsko hišo, katero je v preteklosti



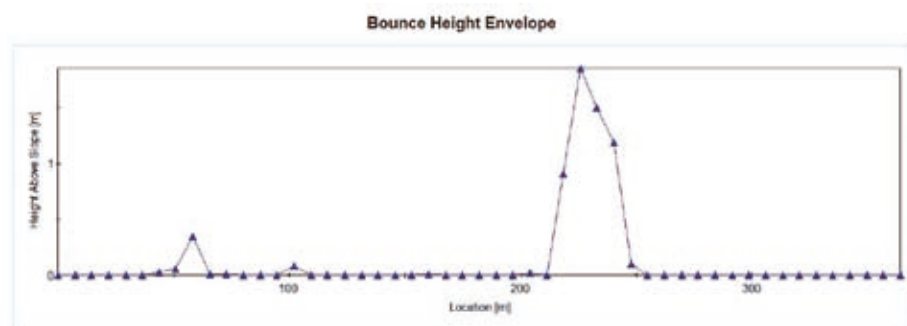
Slika 6. Grafični prikaz trajektorij gibanja dokumentiranega bloka v programu RocFall

Figure 6. Diagram of movement trajectories of the block drawn with the RocFall software



Slika 7. Graf kinetične energije bloka

Figure 7. Graph showing kinetic energy of the block



Slika 8. Graf odbojne višine bloka

Figure 8. Graph showing repulsion height of the block

padajoči blok že poškodoval. V tem primeru nas je predvsem zanimalo s kakšno kinetično energijo bi udaril blok v ogrožen stanovanjski objekt in ali bi lahko odbojna ograja, ki je postavljena na nadmorski višini 245 m n.m., zadržala padajoči blok.

Iz spodnjega histograma je razvidno, da postavljena odbojna ograja ne bi zadržala niti enega bloka, saj bi se 60 % primerov zaustavilo šele ob trku v stanovanjsko hišo, medtem ko bi se ostali zaustavili na pasu melišča, kjer je visok kotalni upor (slika 9).

V primeru trka kamninskega bloka v stanovanjsko hišo, ki je v preteklosti že bila poškodovana, bi kinetična energija lahko dosegla vrednost 584 kJ (slika 10).

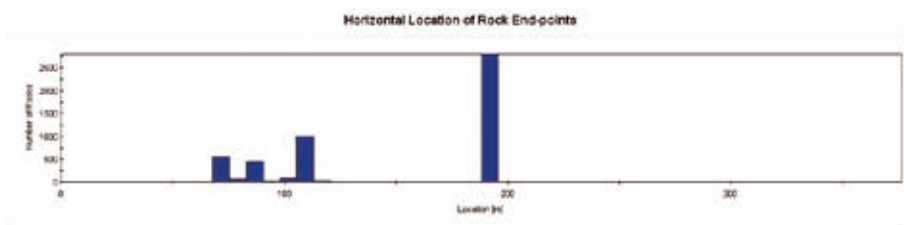
Karta ogroženosti

Na osnovi detajlnega terenskega pregleda, inženirsko-geološkega kartiranja, morfologije terena in nemih prič ter analize s programom RocFall

smo za obravnavano območje izdelali karto ogroženosti, ki prikazuje stopnjo nevarnosti nastanka podorov in padanja kamnov (PETERNEL, 2010). Pri kategorizaciji ogroženosti smo upoštevali tudi stalno in občasno naseljenost objektov.

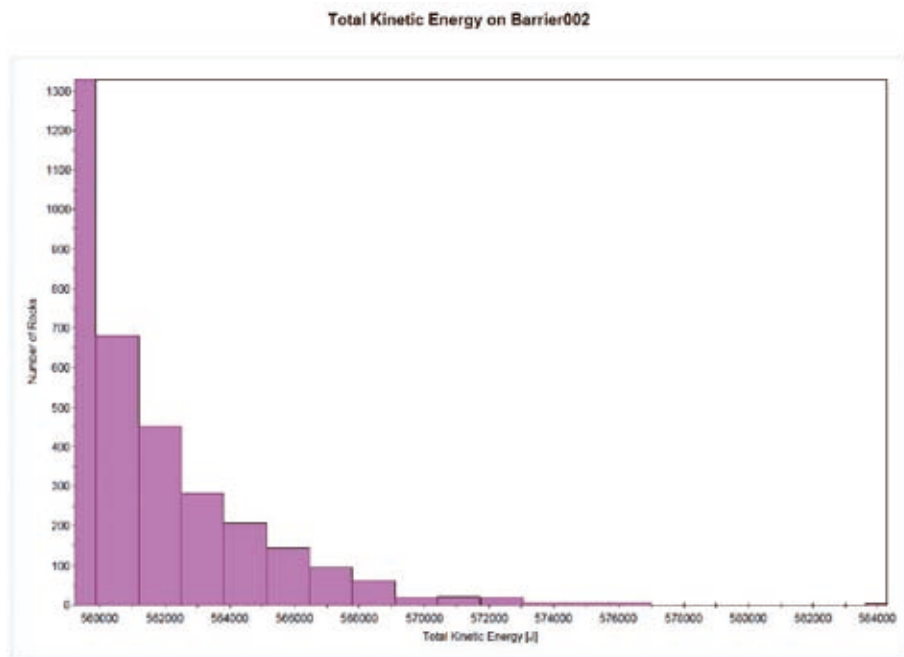
Karta ogroženosti izvorno območje deli na območja nestabilnih, labilnih in potencialno labilnih blokov, medtem ko obravnavano območje deli na območja z veliko, srednjo ter majhno ogroženostjo in na neogrožena območja (slika 11).

Območja z visoko ogroženostjo so območja s strmim pobočjem, kjer obstaja največja nevarnost padajočega kamnja. Na tem območju so v preteklosti že bili dokumentirani padci kamninskih blokov, ki so poškodovali stanovanjske objekte. Srednje ogrožena območja so območja s strmim terenom in z labilnimi bloki. Labilnost kamninskih blokov je pogojena z nenadnimi spremembami, ki povzročijo, da srednje labilni bloki zdrsijo po pobočju navzdol. Območja z majhno ogroženostjo imajo manjši nagib terena in majhno število labilnih blokov.



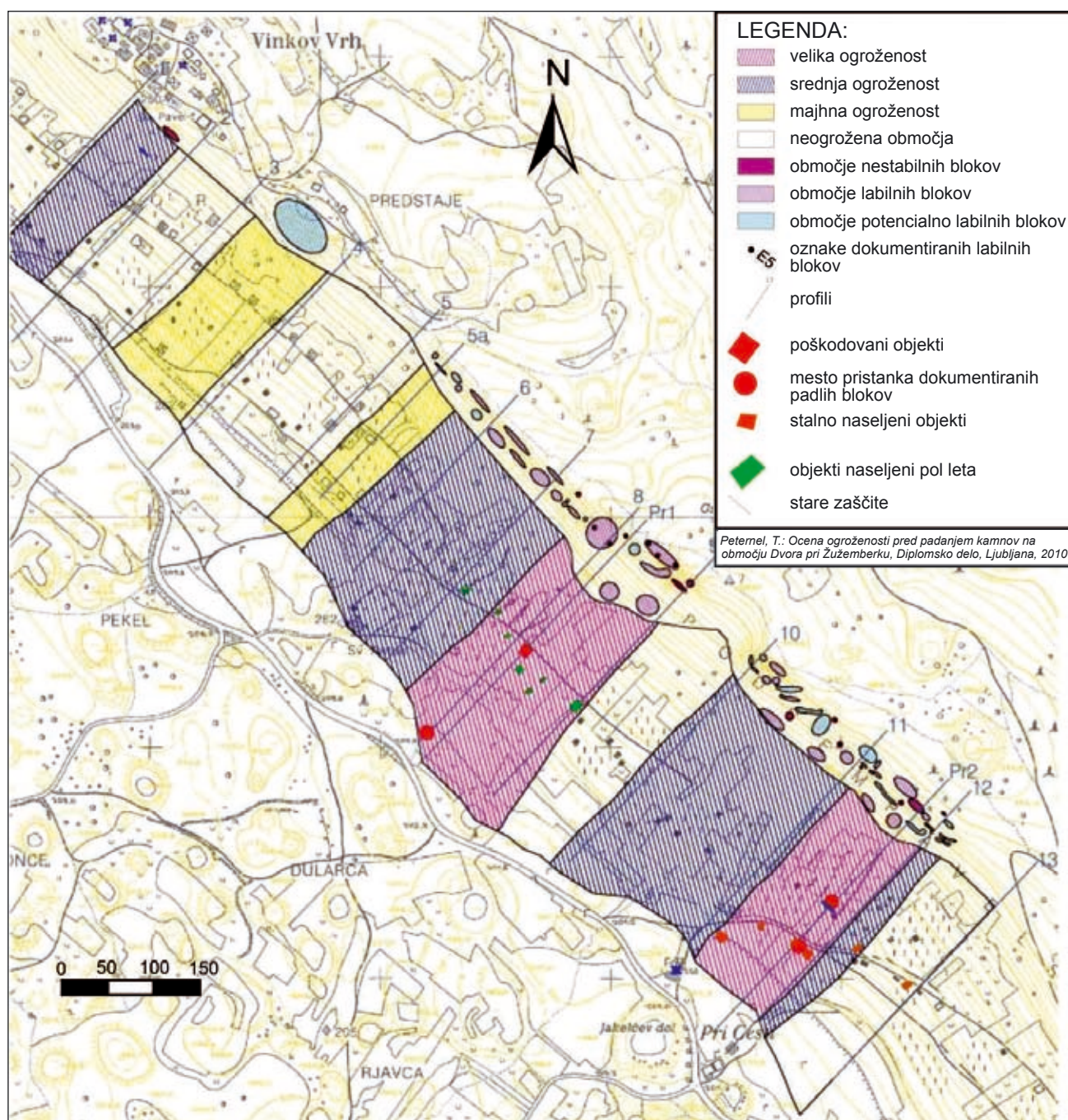
Slika 9. Histogram lokacij, kjer se zaustavi kamninski blok

Figure 9. Histogram showing locations at which the block stops



Slika 10. Histogram vrednosti kinetične energije ob udarcu v hišo

Figure 10. Histogram showing kinetic energy values at a time of collision with the house



Slika 11. Karta ogroženosti za obravnavano območje
Figure 11. Rock fall hazard map of the studied area

Zaključki

Tako obsežna potencialna območja podorov, kot je obravnavano, so na Dolenjskem redka. Naselje pod Podšempavelsko goro je že vrsto let ogroženo zaradi padanja kamnov in kamninskih blokov. Nahaja se v prelomni coni Žužemberškega preloma, kjer so karbonatne kamnine zaradi preloma tektonsko močno poškodovane, to pa povzroča njihovo hitro erodiranje in razpadanje. Obstoj različnih sistemov diskontinuitet in njihova neugodna medsebojna povezanost (subhorizontalna plastnatost, subvertikalne razpoke) nakazujejo veliko verjetnost proženja kamenja in blokov tudi v bodoče. Večje število nestabilnih oz. pogojno sta-

bilnih blokov na grebenu predstavlja neposredno nevarnost za spodaj živeče ljudi in objekte.

V prispevku predstavljamo pomembnost prepoznavanja potencialnega območja podorov, presoje nevarnosti in določitve stopnje potencialne ogroženosti. S pomočjo teh podatkov smo predvideli preventivne in sanacijske ukrepe, s katerimi se preprečijo posledice sprožitve podornih blokov.

Literatura:

ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2007: Potresi v letu 2005 (zbornik).

- splet:<http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/potresi%20v%20letu%202005.pdf>
- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2009: Potresi v letu 2008 (zbornik).
- splet:<http://www.arso.gov.si/potresi/poro%c4%8dila%20in%20publikacije/Potresi%20v%20letu%202008.pdf>
- BUSER, S. 1974: OGK v M 1: 100 000, Tolmač za list Ribnica. 1-60, Beograd.
- ČARMAN, M. 2009: Inženirsko-geološko poročilo o pregledu skalnega podora Stara gora pri Dvoru (občina Žužemberk). 20 str. + priloge. Neobjavljeno poročilo, arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Ministrstvo za obrambo, Uprava RS za zaščito in reševanje, 2006: Ocena potresne ogroženosti Republike Slovenije. Verzija 1.0. Ljubljana.
- splet: http://sos112.si/slo/tdocs/ogrozenost_potres.pdf
- PETERNEL, T. 2010: Ocena ogroženosti pred padanjem kamnov na območju Dvora pri Žužemberku. Diplomsko delo, NTF, Univerza v Ljubljani (Ljubljana): 1-54 str. + priloge.
- VIDRIH, R. & RIBIČIČ, M. 1999: Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in Evropska makroseizmična lestvica (EMS-98), Geologija (Ljubljana) 41: 365-410.

Prispevek k boljšemu prepoznavanju nabrekalnega potenciala v zemljinah in mehkih kamninah

A contribution to the better understanding of swelling in soils and soft rocks

Ana PETKOVŠEK, Matej MAČEK & Bojan MAJES

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za mehaniko tal z laboratorijem, Jamova 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija; e-mail: matej.macek@fgg.uni-lj.si

Prejeto / Received 6. 9. 2010; Sprejeto / Accepted 7. 10. 2010

Ključne besede: deformacija, nabrekanje, retencijska krivulja, sukcija
Key words: deformation, swelling, soil water retention curve, suction

Izvleček

Nabrekanje in krčenje z glino bogatih sedimentov sodi med geološko pogojene dejavnike tveganja. Gospodarska škoda, ki nastaja zaradi volumskih sprememb v geološkem zaledju zgradb in infrastrukturnih objektov, je ogromna. Nepravočasno prepoznano nabrekanje povzroča podražitve in nepotrebne zamude med gradnjo. V primerih, ko z globokimi vkopi in podzemnimi prostori posegamo v visoko prekonsolidirane zemljine in mehke kamnine, ki vsebujejo glino, porušitve brežin in pod-dimenzioniranih opornih ukrepov zaradi nabrekanja niso redke. Tudi periodično pojavljanje plazov na določenih ozemljih je lahko posledica nabrekanja. Nekatere države, na primer ZDA, imajo že desetletja uveljavljene smernice in standarde za prepoznavanje, vrednotenje in ravnanje z nabreklijimi geološkimi materiali. Zaradi drugih, bolj aktualnih geološko pogojenih tveganj, kot so plazovi, potresi in gradnje na mehkih tleh, je razvoj znanj na področju nabreklijih zemljin v Sloveniji dolga leta zaostajal za znanji v svetu. Pri gradnji slovensko madžarske železniške povezave po letu 1998, avtocest v Pomurju in z vpeljavo novih znanj o zemljinski sukciji pa smo tudi v Sloveniji dobili drugačen vpogled v razsežnost problema, ki ga predstavljajo nabreklije zemljine, pridobili pomembne izkušnje in odprli nove možnosti raziskovanja in razumevanja volumskega obnašanja nabreklijih zemljin. To je še posebej pomembno ob napovedanih vremenskih ekstremih, saj bomo le z ustreznimi znanji znali nove pojave v tleh pravilno razložiti in se pred njimi tudi ustrezno zavarovati.

Abstract

Swelling and shrinkage of sediments rich with clay belong to geologically conditioned risk factors. Economic loss as the consequence of volume changes in the geological catchment area of buildings and infrastructural objects is immense. Untimely detected swelling causes higher prices and unnecessary delays during the construction. In those cases when deep cuts and underground spaces are used as intervention into highly preconsolidated soils and soft rock with clay contents, failures of embankments and improperly designed supporting measures due to swelling are not infrequent. Also periodic appearance of landslides at certain areas can be the consequence of swelling. Some countries, such as the USA, introduced the guidelines and standards for the detection, assessment and handling with swellable geological materials decades ago. Due to some other more urgent geologically conditioned risks, such as landslides, earthquakes and constructions on soft ground, in Slovenia the development of knowledge in the area of swelling soils was several years behind the knowledge in the rest of the world. With the construction of the Slovenian-Hungarian railway connection after 1998, motorways and the introduction of new knowledge about soil suction, also Slovenian experts were introduced to a different dimension of the problem of swelling soils, as well as some important experiences were learned and new possibilities for the investigation and understanding of volume behaviour of swelling soils were opened. This is especially important for the predicted weather extremes, as only adequate knowledge will allow us to adequately explain any new phenomena in the ground and prepare appropriate protection.

Uvod

Na spremembo vlage in sukcije se nekatere zemljine in kamnine odzovejo s spremembo volumna. V času vlaženja nabrekajo, v času sušenja pa se krčijo. V določenih napetostnih razmerah lahko nabreklije zemljine v času vlaženja tudi

kolapsirajo. Krčenja in nabrekanja z glino bogatih sedimentov uvrščamo v skupino geoloških nevarnosti (geohazard), na katere imajo podnebne spremembe velik vpliv (KOMAC, 2009). Nabrekajo lahko nezasičene in zasičene zemljine kot tudi kamnine, ki vsebujejo glino.

Razlaga deformacijskega obnašanja zasičenih zemljin temelji na načelu efektivnih tlakov (TERZAGHI, 1936), po katerem so volumske spremembe v zemljini posledica spremembe efektivnih napetosti ($\Delta\sigma'$), zveza med totalnimi napetostmi (σ), efektivnimi napetostmi (σ') in tlakom porne vode (u) pa je določena z enačbo (1). TERZAGHI (1936) je predpostavil, da so vsa zrna v zemljini inertna, sprememba volumna zemljine je tako po spremembi efektivnih napetosti proporcionalna spremembi volumna vode v zemljini.

$$\sigma' = \sigma - u \quad (1)$$

Volumenske spremembe so v nezasičenih zemljinah veliko bolj zapletene kot v zasičenih zemljinah. Elektrokemične privlačne in odbojne sile ter kapilarnost, ki delujejo med zrni, ustvarjajo v nezasičeni zemljini stanje tako imenovane »meta« stabilne strukture. Zemljinska sukcija ($u_a - u_w$) prispeva k medzrnskem tlaku (σ') in posledično k trdnosti zemljine. Ob navzemanju vode zemljinska sukcija upada, zato se med zrni niža efektivna napetost, volumen se večja (lahko pa tudi nenadoma upade – kolaps). Zemljina izgublja na trdnosti in se mehča (angl. softening). Če je v saturiranih zemljinah sprememba vlage proporcionalna spremembi volumna, pa v nesaturiranih zemljinah načelo proporcionalnosti ne velja. BISHOP A. W. (1959) je za nezasičene zemljine predlagal korekcijo Terzaghijeve enačbe v obliko (2).

$$\sigma' = \sigma - u_a + \chi (u_a - u_w) \quad (2)$$

kjer je: χ parameter, direktno odvisen od stopnje zasičenosti, u_a tlak zraka v porah, u_w tlak vode v porah, $u_a - u_w$ zemljinska sukcija.

Vendar pa z enačbo (2) ne moremo pojasniti kolapsa. FREDLUND D. G. (1985) je spremembo volumna v povezavi s sukcijo opisal z zvezo (3).

$$de = a_t d (\sigma - u_a) + a_m d (u_a - u_w) \quad (3)$$

kjer je e – količnik por, a_t – koeficient stisljivosti glede na spremembo ($\sigma - u_a$) in a_m – koeficient stisljivosti glede na spremembo ($u_a - u_w$).

Med novjšimi modeli nesaturiranih zemljin je danes najbolj znan tako imenovani BExM ali Barcelona oz. Alonso model (GENS & ALONSO, 1990). Ta razlikuje med mikro in makro porami. Ko sukcija upade, lahko zemljina na mikro nivoju nabreka, na makro nivoju pa tudi kolapsira.

V preteklosti (v Sloveniji pa vse prevečkrat tudi še danes) se je nabrekljivost zemljine v glavnem prepoznavala glede na mineralno sestavo, približno po načelu:

- v zemljini ali kamnini ni nabrekljivih mineralov glin – zemljina ne bo nabrekala
- v zemljini so prisotni nabrekljivi minerali glin (npr. montmorillonit) – zemljina bo verjetno nabrekala
- v zemljini je več nabrekljivih mineralov glin – zemljina bo bolj nabrekala.

Izkušnje kažejo, da so geološke napovedi nabrekanja, kadar temeljijo samo na podatkih mineraloške analize, za geotehnično rabo premalo zanesljive ali celo zavajajoče. Po novem standardu za geotehnično projektiranje Evrokod (SIST EN, 1997-1) je preiskovanje nabrekljivosti uvrščeno med preizkuse za razvrščanje in identificiranje zemljin in kamnin. S kakšnimi postopki naj se nabrekljivost preizkuša in kako postaviti mejo med nabrekljivimi in nenabrekljivimi geološkimi materiali, standard ne določa. Zato je napovedovanje nabrekalnih deformacij in nabrekalnih tlakov, ki se lahko razvijejo v zemljinah in kamninah zaradi spremembe napetostnega stanja porne vode, še vedno velik inženirski izziv.

Ta prispevek smo pripravili z namenom, da bi bolje razumeli procese nabrekanja in znali tveganja, povezana z volumskimi spremembami zaradi trajno ali sezonsko pogojenih sprememb vlage v zemljinah in mehkih kamninah, pravočasno prepoznati in pravilno ovrednotiti. Pa tudi zato, da že pridobljena znanja in izkušnje ne bi utonila v pozabo.

Nabrekanje – geološko pogojeni dejavnik tveganja

Škoda, ki jo na infrastrukturnih objektih po svetu povzroča nabrekanje, je večja od skupne škode, povzročene zaradi potresov, poplav in orkanov (CHEN, 1975; NAGARAJ & MURTHY, 1985; FREDLUND & RAHARDJO, 1993) in še narašča. Izjemna suša, ki je leta 2003 prizadela Evropo, je po oceni zavarovalnic samo v Franciji povzročila za ca 1060 milijonov evrov škode (CORTI et al., 2009). Z nabrekljivimi zemljinami se srečujemo na vseh petih kontinentih, nekatere nabrekljive zemljine pa so splošno prepoznavne s svojimi lokalnimi imeni, na primer »Warsaw clay«, »Belgrade marl«, »Black cotton clay«, »Oligocenska sivica« itd.. V zbornikih geoloških in geotehničnih kongresov ter v znanstvenih revijah najdemo na desetine objav na temo nabrekljivosti (DEMENGHI, 2009; SKUTNIK & GARBULEWSKI, 2006; HOFFMAN et al., 2005; CHIAPPONE et al., 2004; COKCA, 2002; ABDULJAUWAD et al., 2000; DAY, 1993).

Vplivi nabrekanja in krčenja na obnašanje zgradb in prometnic so odvisni od lokalnih razmer in lokalno uveljavljenih načinov gradnje (CRILLY, 2001). Zato so se v svetu uveljavili različni postopki za preiskovanje in vrednotenje nabrekljivosti. V ZDA imajo v okviru Ministrstva za obrambo izdelane tehnične pogoje za preiskave, vrednotenje podatkov in projektiranje na nabrekljivih zemljinah (UFC, 2004). V Franciji so po letu 2003 pričeli z obsežnimi raziskavami odziva stavb na periodične dvizke in skrčke tal, torej nekaj podobnega, kot jih izvajamo v Sloveniji v primerih potresno varne gradnje (TOMAŽEVIČ, 2010). Na modelih zgradb, zgrajenih v realnem merilu, simulirajo dvizke in skrčke tal pod temelji z uporabo hidravličnih batov. Ozko gledano, francoske modelne raziskave nimajo veliko skupnega z raziskavami nabrekljivosti, kažejo pa, kako moderna

država pravočasno reagira na prepoznano tveganje, zaradi katerega je potrebno izboljšati načine gradnje. V Libiji na primer, kamor se širi tudi delovanje slovenskega gradbeništva, tehnični pogoji za gradnjo nekaterih pomembnih prometnic prepovedujejo rabo zemljin z mejo židkosti $w_L > 45\%$. V Sloveniji je bila do leta 1989 ta meja postavljena na $w_L < 65\%$ (PTP, Zagreb, 1986), z novjšimi dokumenti pa je ta preprosta a nadvse učinkovita zahteva za zaščito cest pred nabrekanjem utonila v pozabo.

Po avstrijskih smernicah (ÖGG, 2001) se tla uvrščajo v 11 tipov (BT – behaviour type) glede na obnašanje v izkopu predora brez podpiranja. V kategorijo 10 je uvrščeno nabrekanje – to je časovno pogojeni prirastek volumna hribine, razbremenjene ob izkopu.

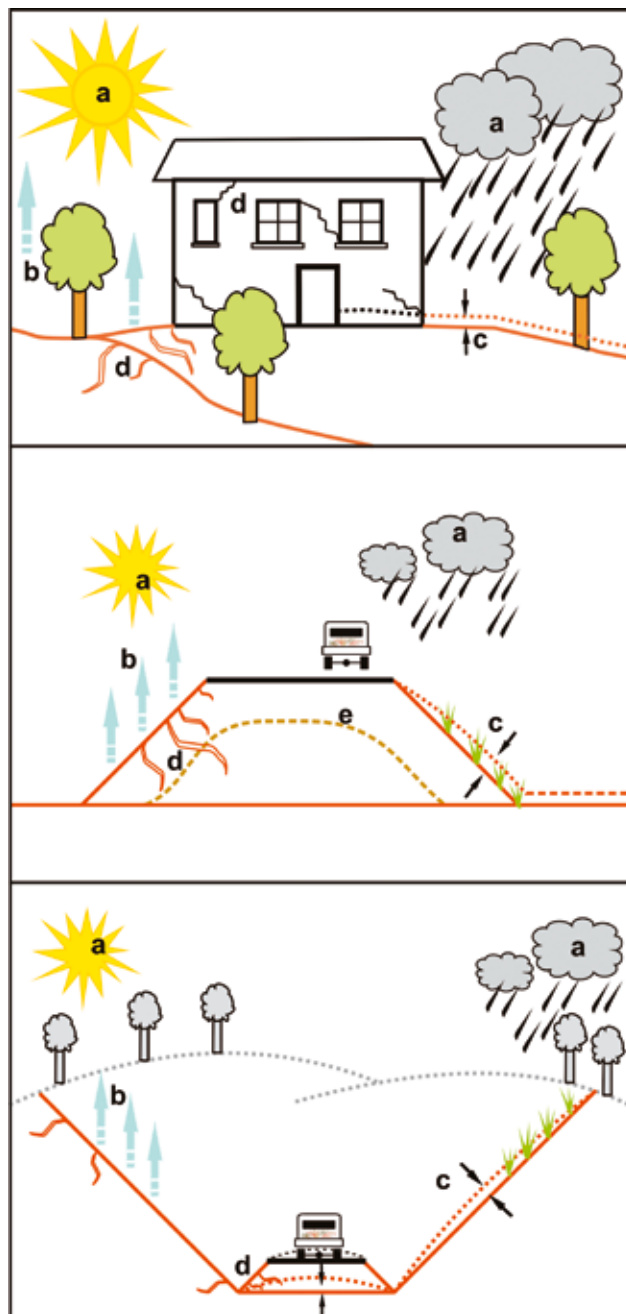
Za vrednotenje kakovosti z vezivi (apnom, cementom) izboljšanih zemljin je vidik volumske stabilnosti enakovreden vidiku trdnosti in odpornosti. Volumsko stabilnost se vrednoti z linearnim nabrekanjem in volumsko ekspanzijo (SIST EN 14227-10), materiali pa se razvrščajo v več razredov (kategorij). Razredi so opredeljeni z absolutnimi vrednostmi volumske ekspanzije, na primer: razred G_{v3} pomeni manj kot 3 % ekspanzijo, razred G_{v5} manj kot 5 %, razred G_{DV} pomeni s projektom deklarirano vrednost. Tveganju nastanka poškodb zaradi nabrekanja se v zgradbah z različno konstrukcijo izognemo z izbiro ustreznega razreda G_v .

V geotehnikih ne moremo izbirati želene kategorije geološkega materiala, zato pa moramo čim bolj natančno oceniti nabrekalni potencial v geološkem okolju načrtovane zgradbe. Žal je pomen pravočasnega prepoznavanja nabrekljivosti v Sloveniji absolutno podcenjen. V projektnih nalogah za velike infrastrukturne gradnje, kljub jasnim določilom Evrokod 7 (SIST EN 1997-1:2005) in drugih smernic, preiskave nabrekljivosti največkrat niso predvidene. V procesu izobraževanja je bodoči inženir geologije ali gradbeništva premalo in enostransko poučen o nabrekanju, razloge za celo vrsto »presenečenj«, ki nastajajo med gradnjo in so posledica nabrekljivosti pa se največkrat pripiše drugim vzrokom, kar pravzaprav niti ni težko.

Prispevek M. KOMACA (2009) je eden redkih, zato pa toliko bolj dragocen v slovenski geološki literaturi, ki je eksplicitno pokazal, da sodi nabrekanje med splošne geološke nevarnosti, tako kot na primer plazovi, poplave in erozija. Da pa bo sporočilo doseglo svoj namen, bo treba na vseh nivojih geo-inženirskih znanosti izboljšati razumevanje fenomena nabrekljivosti, ne le pri obravnavi splošnih geoloških nevarnosti temveč tudi pri vrednotenju geoloških raziskav za gradnjo konkretnih geotehničnih objektov.

Nabrekanje – povratni (reverzibilni) in nepovratni proces

Procesi nabrekanja so povratni (reverzibilni) ali nepovratni (slika 1).



Sl. 1. Shema delovanja reverzibilnega nabrekanja (nabrekanje, krčenje) zgoraj in v sredini ter shema delovanja nepovratnega in/ali reverzibilnega nabrekanja spodaj.

Fig. 1. Scheme of reversible swelling (swelling, shrinkage) activities above and in the middle, and scheme of non-recurring and/or reversible swelling activities below.

Na reverzibilno nabrekanje so najbolj občutljive lahke zgradbe in prometnice, zgrajene v ravnini naravnih tal in na nizkih nasipih na nabrekljivih zemljinah (slika 1 zgoraj in v sredini). Ker so nabrekljive zemljine občutljive na vlago, so gonilo reverzibilnega nabrekanja sezonsko pogojene meteorološke razmere (na sliki 1 pomenijo: a, b: temperatura, celokupna in sezonska razporeditev padavin, evapotranspiracija), ki vplivajo na sezonske spremembe vlage v tleh, odločujoči dejavnik pa so lastnosti tal, predvsem vsebnost nabrekljivih mineralov glin, debelina plasti iz nabrekljive zemljine in globina, do katere segajo sezonske spremembe vlage. V času padavin

zemljina nabreka, kar se odraža v neenakomernih dvizkih (c). V času suše se zemljina krči (d), krčitvene razpoke pa napredujejo globoko v tla in odpirajo nove poti za vodo tudi v plasteh tal, ki v običajnih sezonah niso bile podvržene nabrekanju. Zaradi vremenskih ekstremov se debeli plast zemljine, izpostavljene vplivom sezonsko pogojenih sprememb vlage (e), zato globine temeljev stavb ali spodnjih ustrojev cest, ki so v preteklosti veljale za varne, danes niso več.

Nepovratno nabrekanje je značilno za globoke vkope in podzemne prostore, zgrajene v visoko prekonsolidiranih zemljinah ali mehkih kamninah, ki vsebujejo glino (slika 1 spodaj). Ker so visoko prekonsolidirane zemljine razmeroma malo občutljive na spremembo vlage in močno občutljive na spremembo napetostnega stanja (sukcije), je gonilo nabrekanja ekvilibracija sukucije v razbremenjeni zemljini/kamnini, odločujoči dejavniki pa so velikost spremembe efektivnega tlaka in sukucije, velikost zemljinske sukucije pred razbremenitvijo, sposobnost zemljine/kamnine za navzemanje vode in debelina in prepustnost plasti, ki navzema vodo.

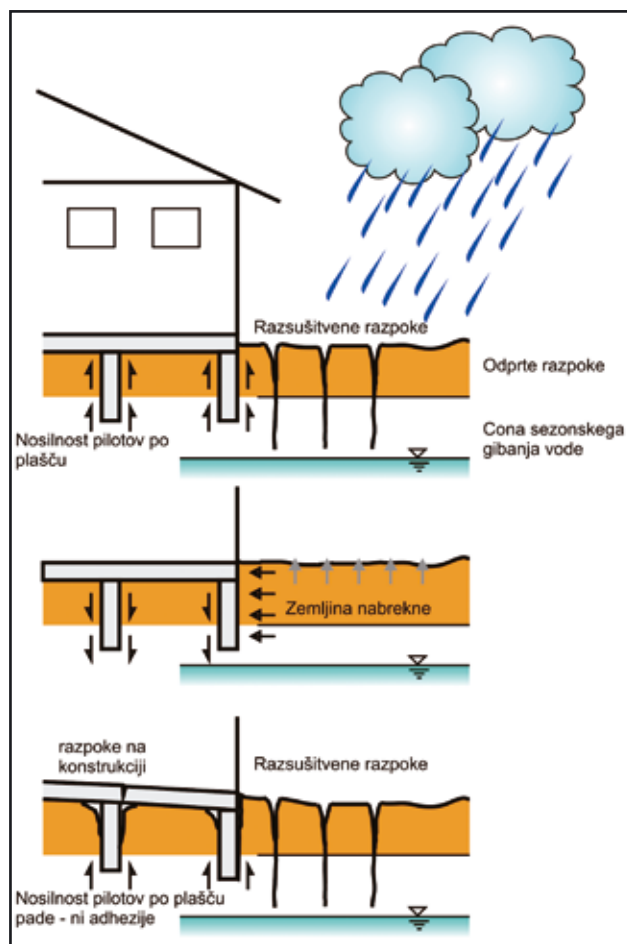
Nepovratno nabrekanje se lahko pojavi tudi v nasipih, če so bili ti dobro kompaktirani pri prenizki stopnji zasičenja. Pri rahlih tleh ali premalo kompaktiranih nasipih pri prenizki stopnji zasičenja se pojavi kolaps.

Geotehnična razlaga interakcij med objektom in tlemi med nabrekanjem

Primer vpliva reverzibilnega nabrekanja na obnašanje lahke zgradbe lahko obrazložimo s pomočjo slike 2. Zgradba je temeljena na visečih kolih. Med sušo, ko je idealen čas za gradnjo, so se v glini na površini pojavile krčitvene razpoke (slika zgoraj). Po nastopu padavin voda vdira v razpoke, razsušena zemljina nabreka (slika v sredini). Adhezija ob plašču se v času nabrekanja poveča. Debelina nabrekajoče plasti narašča, saj padavine segajo vse globlje v tla zaradi razpok, nastalih ob sezonski suši (slika spodaj).

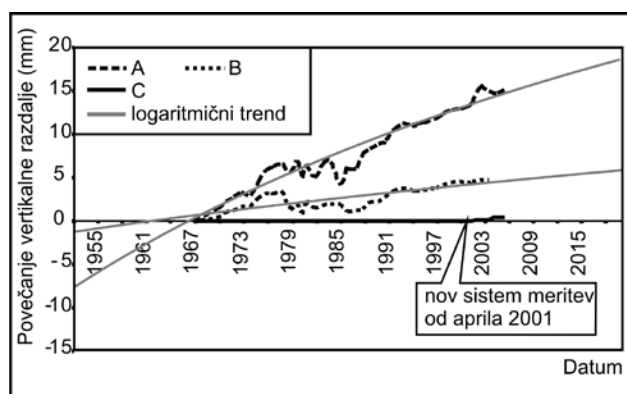
Če bi bila stavba temeljena na plitvih temeljih, bi v času padavin opazovali diferenčne dvizge objekta – zunanje stene bi se relativno bolj dvignile od notranjih. V času ponovne sezone suše se zemljina znova krči. Zaradi krčenja se zmanjša adhezija med zemljino in plaščem kolov, zmanjša se nosilnost kolov in zunanji koli popustijo. V nabrekli zemljini se zunanji deli zgradbe posedejo, zaradi diferenčnih posedkov med zunanjimi in notranjimi temelji se temeljna plošča upogne, zgradba se nagne in razpoka. Opazujemo torej svojevrsten paradoks: na nabrekli zemljini se zgradba zaradi posledic nabrekanja diferenčno poseda – podobno kot se na primer posedejo stare zgradbe na barju potem, ko so v njihovi bližini napeljali kanalizacijo in s tem znižali gladino podzemne vode.

Procesi nepovratnega nabrekanja so vselej specifični za posamezno geotehnično zgradbo in interakcijo med zgradbo in geološkim zaledjem.



Sl. 2. Razlaga mehanizmov reverzibilnega nabrekanja v vplivnem območju lahke zgradbe.

Fig. 2. Explanation of reversible swelling mechanisms in the influential area of a light-weight structure.



Sl. 3. Napredujoče deformacije značilnih opazovalnih reperjev A, B in C v strojnici HE Moste. Začasna umiritev deformacij je vezana na sanacijska dela (MAJES, 2006).

Fig. 3. Advanced deformations of typical monitored benchmarks A, B and C in the engine room of PP Moste. Temporary arrest of deformations is related to repair works (MAJES, 2006).

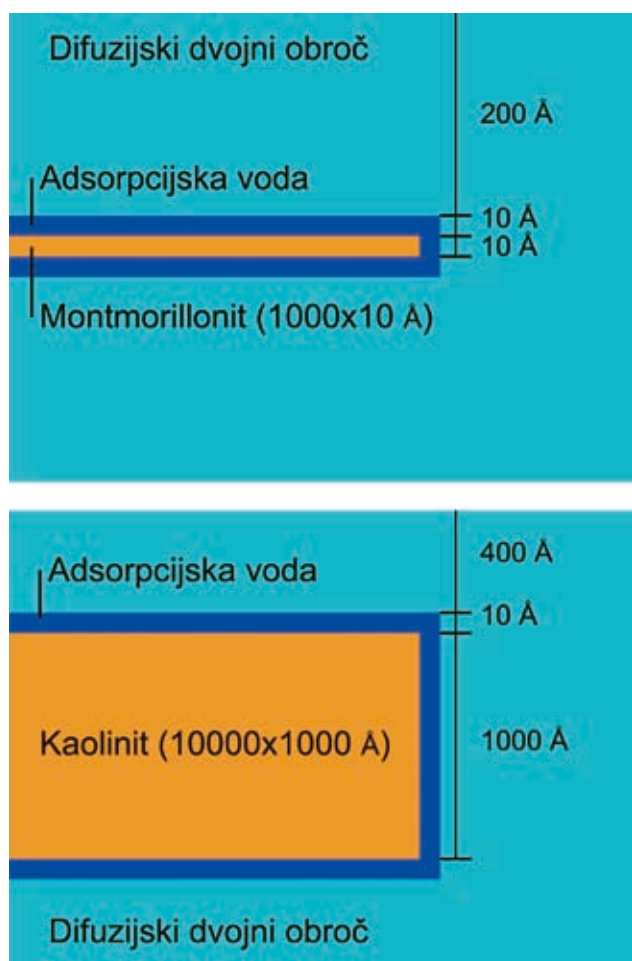
Med značilne primere nepovratnega nabrekanja lahko uvrstimo deformacije v podzemni strojnici HE Moste na zgornji Savi. Na objektu, vkopanem v oligocensko sivico so se kmalu po izgradnji objekta leta 1952 pojavile poškodbe in se do leta 2007 niso zaustavile kljub stalnim vzdrževalnim in sanacijskim delom (ŠUKLJE, 1980). Zaradi spremembe napetostnega stanja in mikroklimе v

vplivnem zaledju strojnice, se je proces nabrekanja širil v zaledje (slika 3). Danes je strojnica HE Moste v popolni rekonstrukciji.

Različnost geološke in geotehnične razlage nabrekanja

Geološka razlaga nabrekanja

V geologiji obravnavamo nabrekanje kot posledico adsorpcije vode nabreklih mineralov glin (CHEN, 1975). Osnovna geološka ocena nabreklih mineralov temelji na podatkih mineraloške petrografske analize, podpirata pa jo BET (Brunauer-Elmet-Teller) določitev specifične površine zrn in določitev kationske izmenjalne kapacitete (CEC). Z mineraloško analizo identificiramo prisotnost nabreklih glinenih mineralov, z vrednostmi CEC in BET pa potencialno aktivnost in specifično površino zrn. Ker geokemične reakcije potekajo na stiku med površino zrna in raztopino, sta vrednosti CEC in BET hkrati tudi kvantitativna geološka kazalnika nabreklih mineralov (slika 4).



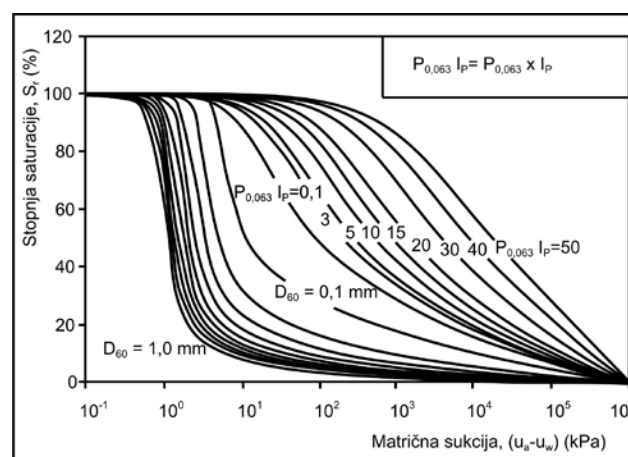
Sl. 4. Shematski prikaz adsorpcijskega ovoja vode na zrnju nabreklih mineralov (montmorillonit, slika zgoraj) in ne-nabreklih mineralov (kaolinit, slika spodaj), glinenega minerala, na katerem temelji geološka razlaga nabrekanja glin (prirejeno po DAS, 1993).

Fig. 4. Schematic presentation of adsorption double layer of water on a grain of expansive (montmorillonite, top) and non-expansive clay (kaolinite, bottom), which represents the basis of the geological explanation of swelling (adapted according to DAS, 1993).

Nasprotni pojav »geološkemu« tipu nabrekanja je krčenje, ki nastopi, ko se začne difuzijski dvojni obroč tanjšati. Po geološki razlagi je velikost nabrekanja ali krčenja proporcionalna debelini vodnega obroča, ki se lahko ustvari na zrnju glin. Od tod izvira tudi podatek, da lahko nekatere montmorillonitne glin povečajo svoj volumen tudi za več desetkrat. Vendar ta podatek lahko velja le za posamezno glineno zrno. V zemljinah – trifaznih sistemih mineralnih zrn, vode in zraka – do tako velikega nabrekanja ne more priti zaradi velikega volumna, ki ga v zemljinah delež zavzemajo pore.

Geološka razlaga nabrekanja v povezavi z zemljiško sukcijo

Na potencialno nabreklih mineralov zemljin lahko v geološkem smislu sklepamo tudi iz poteka retencijske krivulje. Retencijska krivulja je temeljna zveza, s katero opišemo obnašanje zemljine v stiku z vodo. Vsaka zemljina ima svojo značilno retencijsko krivuljo (slika 5), katere potek je odvisen od mineralne sestave, zrnivosti, zgoščenosti in preteklih napetostnih stanj.



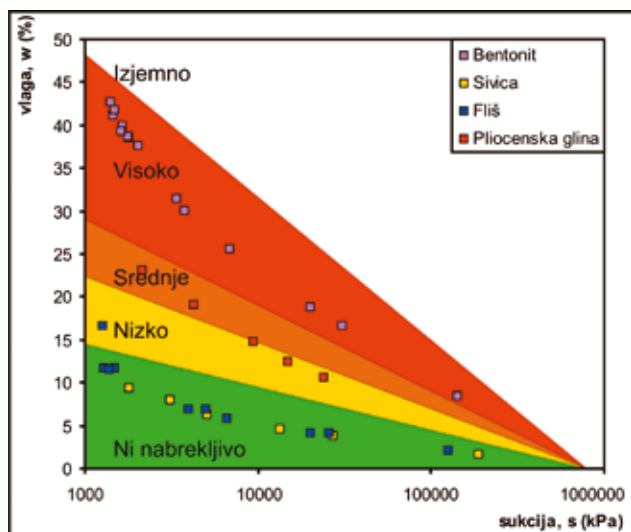
Sl. 5. Retencijske krivulje za značilne zemljine (po ZAPATA et al., 2005). D_{60} pomeni velikost sита pri presejku 60%, I_p je indeks plastičnosti in $P_{0.063}$ delež finih zrn.

Fig. 5. Soil water characteristic curve for typical soils (according to ZAPATA et al., 2005). D_{60} represents the particle size such that 60% of the particles by weight are smaller than that size, I_p is the plasticity index and $P_{0.063}$ is the fines fraction.

R. G. McKEEN (1992) je izdelal klasifikacijski diagram na osnovi poteka retencijske krivulje v coni rezidualne vlage, to je pri sukcijah nad 1000 kPa. Zaradi lažjega razumevanja smo osnovni diagram po McKEENU priredili tako, da sukcijo podajamo kot negativni tlak porne vode (v kPa) in ne kot pF vrednost (logaritem višine v cm vodnega stolpca) (slika 6). V diagram smo vnesli tudi retencijske krivulje treh značilnih slovenskih zemljin: oligocenske sivice iz območja predora Ljubno, fliša iz območja plazu Slano blato ter pliocenske glin iz trase pomurske avtoceste na odseku Cogetinci – Vučja vas. Za ilustracijo smo dodali še retencijsko krivuljo komercialnega makedonskega kalcijevega bentonita.

Iz diagrama vidimo, da so zemljine z retencijskimi krivuljami, ki ležijo zgoraj v diagramu na

sliki 6 veliko bolj nabreklijive od tistih spodaj. Sivica in fliš se po McKEENU nahajata v coni »nenabreklijih« in »nizko nabreklijih« materialov, čeprav vemo, da so tako v sivici kot v flišu dokumentirani številni pojavi nabrekanja. Ali je torej diagram po McKEENU lahko sploh splošno veljaven? Podobno kot smo s primerom na sliki 2 pojasnili, zakaj se na stavbah, temeljenih na nabreklijih zemljinah, pojavljajo poškodbe v obliki posedanja, bomo tudi primere na sliki 6 pojasnili z nekaj osnovnimi geotehničnimi zakonitostmi.



Sl. 6. Diagram za prepoznavanje nabreklijih zemljin na osnovi retencijske krivulje (prirejeno po McKEEN, 1992).

Fig. 6. Diagram for the recognition of swelling soils based on soil water characteristic curve (adapted according to McKEEN, 1992).

McKEEN je postavil meje za ocenjevanje nabreklijivosti zemljin glede na vlago pri sukcijski 1000 kPa. Sukcija 1000 kPa ustreza približno meji plastičnosti (w_p) večine zemljin. Pri tej sukcijski je tudi večina vode vezana na adsorpcijski obroč in ne kot kapilarna voda. Flišni lapor in sivica sta v naravnem stanju v trdnem konsistentnem stanju in ju po veljavnih standardih za opisovanje zemljin (SIST ISO) lahko opišemo kot kamnini. V naravnem stanju je njuna naravna vlaga daleč pod mejo plastičnosti (w_p) in se običajno giblje okoli meje krčenja (w_s). Zato je gonilo nabrekanja v flišu in sivici ekvilibracija sukcijske v območju med naravno vlago in vlago v točki rezidualne vlage. Za tako nabrekanje so značilni pojavi nenakomernega napihovanja in odpiranja razpok zaradi gradienta sukcijske.

Na sliki 7 so prikazane posledice nabrekanja sivice v avtocestnem vkopu pri Vranskem. Nabrekanje sivice v času gradnje avtoceste (1996–1997) je predstavljalo prvovrstno »geološko presenečenje«, zaradi katerega je bilo treba izdelati nov projekt varovanja vkopne brežine, ki je danes namesto s prvotno predvideno nizko kamnito zložbo zavarovana s sidrano pilotno steno.

Nasprotno pa se retencijski krivulji malo prekonsolidirane pliocenske gline in komercialnega bentonita nahajata na sliki 6 v pričakovanem območju in dobro identificirata naravo materia-

la brez dodatne razlage. Opisani primer sivice v vkopu na Vranskem je torej značilen primer, pri katerem samo geološka razlaga nabreklijivosti



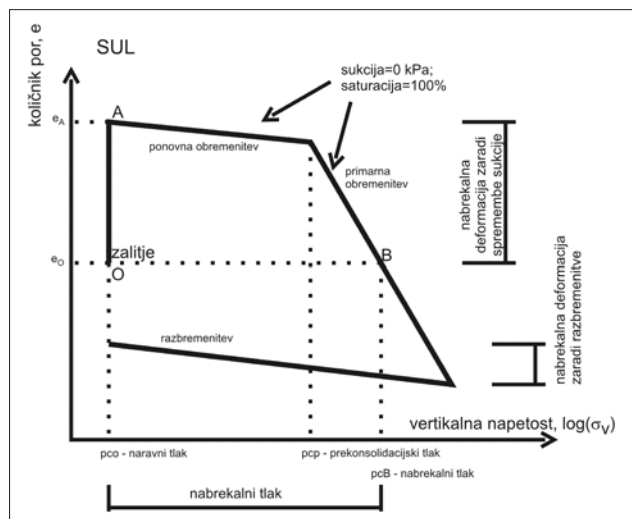
Sl. 7. Nabrekanje in odpiranje razpok v sivici zaradi gradienta sukcijske, avtocestni vkop pri Vranskem v letih 1996–1997, sveže odkopana brežina. Predhodne geološke raziskave niso opozorile na možnost nabrekanja.

Fig. 7. Swelling and opening of cracks in the siltstone "sivica" due to suction gradient, motorway cut near Vransko in 1996–1997, freshly excavated embankment. Previous geological investigations did not indicate the possibilities of swelling.

odpove in je treba za dobro razumevanje možnih volumskih sprememb geološkega materiala preveriti tudi druge, predvsem geotehnične vplive.

Geotehnična razlaga nabrekanja

V geotehniko obravnavamo nabrekanje kot povečanje volumna zaradi znižanja efektivnega tlaka (SIST EN 1997-2), do katerega pride ali zaradi znižanja totalnih tlakov ob razbremenitvi ali zaradi adsorpcije vode v nezasičeno zemljino pri nespremenjenem totalnem tlaku (slika 8).



Sl. 8. Obremenilna in razbremenilna krivulja v diagramu količnik por – vertikalna napetost.

Fig. 8. Loading and unloading curve in the diagram pore coefficient – vertical stress.

Nabrekalna deformacija med točkama O-A na sliki 8 je posledica navzemanja vode v nezasičeno zemljino (zemljino s sukcijo) pri nizkem in konstantnem totalnem tlaku. Velikost vertikalne nabrekalne deformacije (ϵ_{lin}) ob omejenem bočnem širjenju lahko zapišemo z enačbo (4).

$$\epsilon_{lin} = (e_A - e_0) / (1 + e_0) \quad (4)$$

Kako se spreminja efektivni tlak v zemljini v času nabrekanja pri taki raziskavi ne vemo, vemo pa, da se v času nabrekanja sukcija znižuje, saj vzporedno z naraščanjem vlage narašča tudi poroznost. V točki A je zemljina zelo verjetno zasičena. Ko nabreklo zemljino obremenjujemo, bo v zasičenem stanju dosegla začetni volumen v točki B. Tlak med točkama A in B imenujemo

nabrekalni tlak (σ_{nab}). Če zemljino po obremenitvi razbremenimo, se bo relaksirala. Tudi to deformacijo imenujemo nabrekalna deformacija, vendar pa se njena velikost močno razlikuje glede na začetno nabrekalno deformacijo, določeno po enačbi (4), saj so se od točke A dalje, vsi dogodki odvijali v stanju popolne saturacije, torej pri nizki oz. nični sukciji in v pogojih drugačnih efektivnih napetostnih stanj.

Nasprotna pojava »geotehničnemu« tipu nabrekanja sta kompresija in konsolidacija.

Posledice nabrekanja merimo kot nabrekalni dvizek bočno omejenega vzorca ali kot nabrekalni tlak, to je tlak, s katerim vzdržujemo konstantni volumen vzorca ob navzemanju vode.

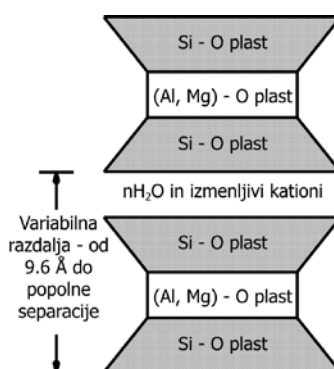
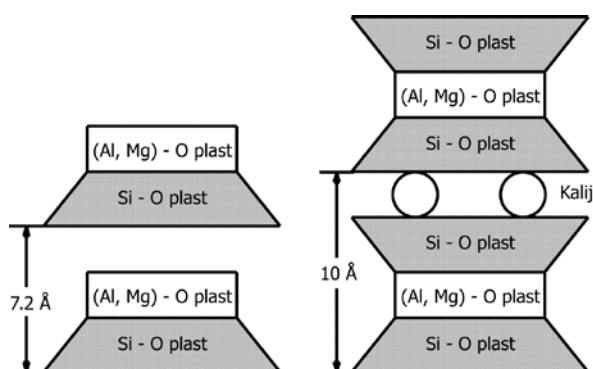
Ne glede na različnost geološke in geotehnične definicije, se nabrekljivost vselej razume kot težnjo po spremembi volumna zaradi spremembe vlage ali sukcije v porah zemljine in razpokah kamnine. Geotehnična definicija nabrekanja je širša od geološke, saj pokriva tudi volumske spremembe zaradi spremembe napetostnih stanj v tistih zemljinah in kamninah, ki jih po geološki definiciji sicer ne prepoznamo kot nabrekljive.

Nobena od obeh definicij pa v tem kontekstu ne vključuje volumskih sprememb zaradi prehodov nestabilnih v stabilne mineralne faze, zaradi reakcij med različnimi minerali v zemljini ob spremembi pogojev v okolju (na primer nastanek sadre zaradi reakcij med piritom in kalcitom) ali zaradi kristalizacije soli iz pre-nasičenih raztopin.

Geotehnična identifikacija nabrekljivih zemljin v povezavi z geološko razlago nabrekljivosti

Mineralna sestava glin in identifikacijski parametri zemljin

Iz mineralogije glin vemo (MITCHELL, 1993), da sta za strukturo mineralov glin značilna dva gradbena geometrijsko orientirana elementa: silicijev tetraeder in aluminijev ali magnezijev oktaeder, ki se menjavata v značilnih zaporedjih – paketih, kot je shematsko prikazano na sliki 9. Med paketi je medpaketni prostor, v katerega se lahko vrinejo molekule vode ali drugi ioni. Najbolj urejeno in zato tudi najbolj stabilno strukturo ima kaolinit ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), zato imajo kaolinitne glin majhno specifično površino, nizko plastičnost, nizko kationsko izmenjalno kapaciteto in niso podvržene krčenju in nabrekanju.



Sl. 9. Shematski prikaz značilne paketne zgradbe nenabrekajočega kaolinita in illita ter nabrekajočega montmorillonita (DAS, 1993). Namesto gibsitne plasti se lahko pojavi tudi brucitna. Fig. 9. Schematic presentation of clay layers with stable kaolinite and illite structure and unstable montmorillonite structure (DAS, 1993). Instead of Gibbsite sheet also Brucite sheet occurs.

V montmorillonitovi strukturi se ponavljajo tetraedrska, oktaedrska in spet tetraedrska plast. V njej so zelo pogoste izomorfne zamenjave višje valentnih z nižje valentnimi kationi, zato se tudi kemična formula prikazuje v širokem razponu kemične sestave ($\text{Na}_{0,35}(\text{Al}_{1,65}\text{Mg}_{0,35})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). V tetraedrski plasti so pogoste zamenjave Si^{4+} z Al^{3+} , v oktaedrski pa Al^{3+} z Mg^{2+} in številnimi drugimi dvo in tro valentnimi kationi. Zaradi naštetih možnih nadomeščanj na kationskih tetraedrskih in oktaedrskih mestih takšen paket ni več električno nevtralen. Zato se na površino montmorillonitnega zrna adsorbirajo molekule vode. Posamezni negativni paketi se med seboj odbijajo, vmes pa se lahko vrivajo molekule vode, različni anioni in tuji kationi. Pojav vrivanja spremljajo velike volumenske spremembe, ki jih razlagamo kot geološko nabrekanje, minerale pa označujemo kot nabreklijve ali nabrekajoče minerale.

Značilna struktura v povezavi z defekti strukture in energijo, s katero so različni kationi vezani na površino zrna, vpliva na značilne prepoznavne lastnosti glin, ki jih lahko merimo samo v specializiranih laboratorijih in so:

- Specifična površina zrn (A_s)
- Aktivnost (A_c)
- Kationska izmenjalna kapaciteta (CEC)
- Permanentni strukturni naboj na površini itd.

V geotehniki je določanje vlažnosti (w) s sušenjem pri 105°C najbolj razširjena in tudi najbolj enostavna preiskava. V tej vlažnosti so zajeti vsi tipi vode: medzrnska (kapilarna), adsorpcijska in medpaketna voda. V posebnih primerih, na primer če je v glinah prisotna sadra, je v vlago vključen tudi del kristalno vezane vode. Ker je v zemljinah, ki vsebujejo nabrekajoče minerale, delež medpaketne in adsorpcijske vode neprimerno večji kot v inertnih zemljinah, lahko vrsto mineralov glin ali nabrekalni značaj glinenih zemljin prepoznamo posredno, z merjenjem količine vode, ki jo zemljina zadrži pri karakterističnih konsistenčnih stanjih, karakterističnih sukcijah, karakteristični nedrenirani trdnosti in podobno. To pomeni, da lahko nabreklijvost zemljine prepoznamo z uporabo najbolj enostavnih indeksnih kazalnikov, kot so:

- meja židkosti (w_L)
- indeks plastičnosti (I_p)
- meja krčenja (w_s)
- linearno krčenje (ϵ_s)
- adsorpcija vode (w_A)
- prosto nabrekanje (ϵ_{lin})
- točka vstopa zraka in točka rezidualne vlage ali tudi meja venenja na retencijski krivulji.

V skupino takih enostavnih metod uvrščamo tudi vse bolj popularno titracijsko metodo, s katero ugotovljamo adsorpcijsko sposobnost zemljine za organski kation metilen modro (MB , MB_f , MB_i) (SIST EN 933-9:2009, ASTM C837 - 09).

Zvezo med mineralno sestavo in geotehničnimi identifikacijskimi parametri zemljin so prepozna-

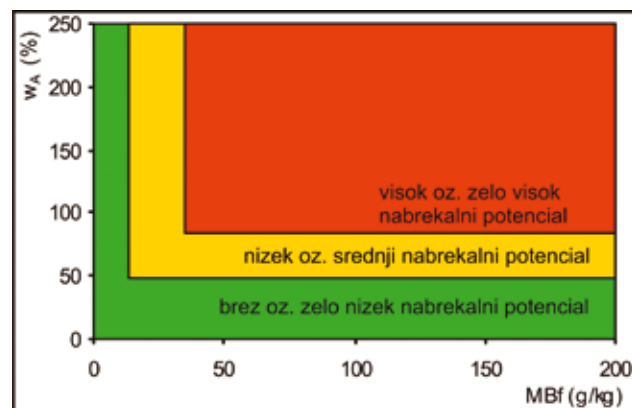
li različni avtorji že pred več kot štiridesetimi leti (HOLTZ & GIBBS, 1956; SEED et al. 1962; FARRAR & COLMAN, 1967). Na osnovi eksperimentov so izpeljali empirične enačbe med mejo židkosti, indeksom plastičnosti, specifično površino zrn in /ali nabrekalno deformacijo. Te enačbe so se kasneje izkazale za uporabne le za ozke skupine zemljin, na katerih so se eksperimenti tudi izvajali, saj je vsaka enačba vsebovala določen koeficient, veljaven samo za izbrano skupino testiranih zemljin. Kljub temu pa je bilo možno na osnovi ustvarjene baze podatkov povezati mineralno sestavo, katere določanje je možno le v specializiranih laboratorijih z enostavnimi indikativnimi lastnostmi, ki jih lahko izmerimo tudi v najbolj skromno opremljenem laboratoriju (razpredelnica 1).

Adsorpcija vode po Enslin – Neff in retencijska krivulja pri prepoznavanju nabreklijvosti

Enostavno metodo za določanje kapacitete finih zrn za adsorpcijo vode je odkril Enslin leta 1933. Metoda, ki je bila po odkritju deležna številnih dopolnitev, je danes vključena v nemški standard DIN 18132 in je znana kot Enslin Neff test adsorpcije vode. Metoda se danes na veliko uporablja v industriji, med drugim na primer za preizkušanje bentonitov (DIENG, 2006; PETKOVŠEK et al., 2009). Z eksperimenti je potrjena tudi neposredna zveza med adsorpcijo vode (w_A) in retencijsko krivuljo (PETKOVŠEK et al., 2009). Parameter adsorpcije vode (w_A) je hkrati tudi prva točka na deviški retencijski krivulji. To pomeni, da je možno na osnovi enostavnega testa z določitvijo (w_A) ugotoviti tudi, kakšen bo nabrekalni potencial zemljine (razpredelnica 1, slika 10).

McKEEN R.G. (1992) je predlagal klasifikacijski sistem za oceno nabreklijvosti na osnovi zemljinske sukcije. Zemljine razvršča v 5 kategorij na osnovi treh kazalnikov, prikazanih v razpredelnici 2 in na sliki 6.

V Sloveniji je A. PETKOVŠEK (2002) izdelala empirični diagram za hitro prepoznavanje nabreklij-



Sl. 10. Diagram za hitro prepoznavanje potencialne nabreklijvosti (prirejen po PETKOVŠEK, 2002). Legenda: w_A – vodovpojnost po Enslin-Neff postopku v masnih procentih, MB_f – metilen modro vrednost.

Fig. 10: Diagram for quick recognition of swelling soils (adapted according to PETKOVŠEK, 2002). Legend: w_A – wateradsorption after Enslin-Neff in mass percent, MB_f – methylene blue value.

Parameter	Kaolinit	Illit	Montmorillonit
Debelina zrn (μm)	0,5–2	0,003–0,1	< 9,5A
Premjer zrn (μm)	0,5–4	0,5–10	0,05–10
Specifična površina (m^2/g)	10–20	65–180	50–840
Kationska izm. kapaciteta CEC ($\text{meq}/100\text{g}$)	3–15	10–40	70–80
Meja židkosti, w_L (%)	29–39	61–90	158–344
Indeks plastičnosti, I_P (%)	1–11	27–44	99–251
Indeks plastičnosti, I_P^{**} (%)	10–25	50–70	250–650
Aktivnost, A_c	0,4–0,5	0,5–1	1–7
Adsorpcija po Enslinu, w_A^{***} (%)	42–57	88–130	> 230

* različni avtorji navajajo različne vrednosti; ** po HEAD (1980), *** (test po DIN 18132)

Kategorija	$(\Delta h/\Delta w)$	C_h	ΔH (%)	Nabrekanje
I	< 6	– 0,227	10	Izjemno
II	6–10	– 0,227 do – 0,12	5,3	Visoko
III	10–13	– 0,12 do – 0,04	1,8	Srednje
IV	13–20	– 0,04 do 0	---	Nizko
V	> 20	0	---	Ni nabrekljivo

*v razpredelnici je $(\Delta h/\Delta w)$ nagib retencijske krivulje, C_h sukcijski kompresijski indeks in ΔH vertikalni dvizek, oboje računsko določeno po McKEENU (1992).

vosti na osnovi dveh enostavnih indeksnih kazalnikov, adsorpcija barvila metilen modro in adsorpcije vode (slika 10). Oba indeksna kazalnika zemljin je povezala z njihovo mineralno sestavo, kationsko izmenjalno kapaciteto CEC in z direktnimi meritvami nabrekalnih tlakov in nabrekalnih deformacij. V raziskavo je vključila tipične vzorce slovenskih klastičnih kamnin, ki vsebujejo glino (karbonski, triadni, eocenski glinavci), visoko prekonsolidirane zemljine (sivica, miocenski laporji, tufi) ter visoko plastične pliocenske gline iz vzhodne ter osrednje Slovenije. Diagram je bil prvič preizkušen v času gradnje slovensko madžarske železniške povezave v letih 1999–2001 in se izkazal za dokaj zanesljivega (PETKOVŠEK, 2006). V diagramu, prikazanem na sliki 10 je izvedena korekcija osnovnega diagrama za kazalnik metilen modro MB_f . V času postavitve osnovnega modela so se za preiskovanje uporabljali ameriški standardi ASTM, metilen modro vrednost pa se je določala kot vrednost MBI. Po sprejetju skupnih evropskih standardov se je za preiskave metilen modro v Evropi uveljavil modificiran francoski postopek, po katerem se rezultat raziskave podaja kot MB , če se raziskava izvaja na zrnih velikosti pod 2 mm ali MB_f za zrna velikosti pod 0,125 mm. Kot zanimivost naj dodamo, da je diagram zelo uporaben tudi v kamninah. Pri vrtnanju vrtin za avtocestno tretjo razvojno os, smo v vzorcih meljevcev iz trase na območju južno od Velenja odkrili plast meljevca z vrednostjo w_A nad 100% in vrednostjo MB_f nad 25 g/kg, kar kaže na prisotnost nabrekljive kamnine.

Nabrekanje in periodično ponavljajoči se plazovi

Znano je, da se na določenih območjih plazovi ponavljajo v določenem sosledju nekaj let ali več deset let. Običajno se zadovoljimo z razlago, da je glavni prožitelj plazov obilno deževje, kar tudi

Razpredelnica 1. Značilni kazalniki za prepoznavanje osnovnih vrst glin (CHEN, 1975)*
Table 1. Typical indicators for the detection of the basic clay types (CHEN, 1975)*

Razpredelnica 2. Klasifikacija nabrekljivih zemljin (McKEEN, 1992)

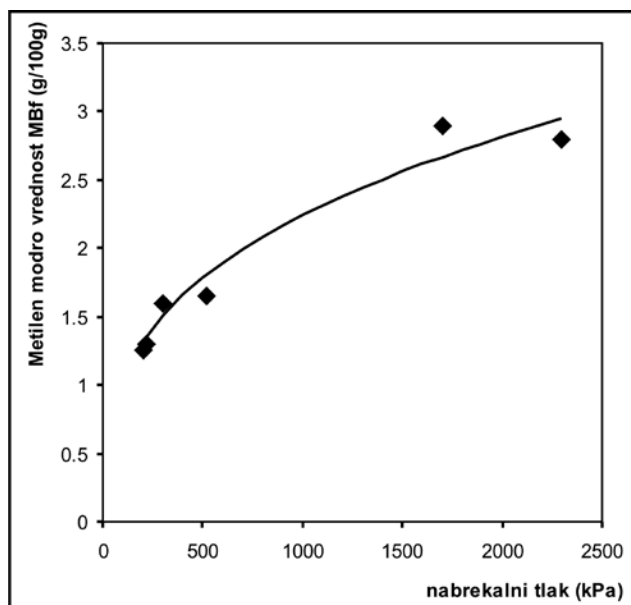
Table 2: Classification of swelling soils (McKEEN, 1992)

drži. Vendar pa k dodatnemu znižanju varnosti na plazovitih pobočjih znatno prispeva znižanje sukcije in večanje debeline »zmehčane« cone oz. preperine, ki se v letih »mirovanja« ustvarja nad trdno podlago ali v posameznih plasteh znotraj nje.

CHIAPONE in njeni sodelavci (2004) so raziskovali zvezo med vrednostjo metilen modro in nabrekalnim tlakom na zemljinah iz različnih plazov v Italiji. Povod za raziskave so bile poplave leta 1994 v severozahodni italijanski pokrajini Langhe, kjer se je po obilnem deževju sprožilo okoli 800 plazov na relativno položnih pobočjih (nakloni 8–15°), zgrajenih iz sedimentov oligocenske in miocenske starosti. Za sedimentacijo je značilno menjavanje laporjev in peskov. Da bi razjasnili fenomen proženja so bile opravljene obsežne raziskave, ki so pokazale, da je znotraj posameznih plasti prisoten visok nabrekalni tlak, od 1–3 MPa. Z usmerjenimi preiskavami so ugotovili direktno zvezo med nabrekalnim tlakom in vrednostjo metilen modro (slika 11). Pazljivemu bralcu ali poznavalcu razmer verjetno ne bo ušla podobnost med opisanim primerom iz pokrajine Langhe in nastopanjem plazov v Goriških brdih, na Bizeljskem itd.

Omenili smo že, da je vrednost metilen modro za ocenjevanje nabrekljivosti v Sloveniji vpeljana in v uporabi že od gradnje slovensko madžarske proge (PETKOVŠEK, 2002), že več desetletij jo uporabljajo v Turčiji in drugih arabskih državah, pogosto v povezavi s sukcijo (COKCA, 2002).

Glavna težava pri uporabi literaturnih podatkov in enačb, ki vključujejo vrednosti metilen modro za izračune potencialnih nabrekalnih dvizkov in nabrekalnih tlakov je, da se postopek izvaja na različne načine, vrednosti pa podajajo kot parametri MBI, MB , MB_f , V_B in medsebojno niso direktno primerljive. Zato velikanskega nabora podatkov, ki je sicer na razpolago v svetovni literaturi, ni možno kar direktno uporabiti.



Sl. 11. Zveza med metilen modro vrednostjo in nabrekalnim tlakom, določena na oligo- miocenskih sedimentih v pokrajini Langhe (CHIAPONE et al., 2004).

Fig. 11. Relation between methylene blue and swelling pressure, defined on Oligo-Miocene sediments in the region Langhe (CHIAPONE et al., 2004).

Pomen zemljinske sukcije pri določanju nabrekljivosti v geotehničnih gradnjah

Smernice ameriškega ministrstva za obrambo (UFC, 2004, TM 5-818-7) za fundiranje na nabrekljivih zemljinah vsebujejo karto ZDA z opredeljenim hazardom zaradi nabrekljivih zemljin in med drugim predlagajo več različnih postopkov za preiskovanje in evalvacijo nabrekljivosti. Na prvem mestu je opisan postopek WES (razpredelnica 3), ki temelji na raziskavah različnih glin in glinavcev iz teritorija ZDA. Nabrekalne dvižke so merili v edometrih, v katerih so bile zemljine obremenjene z vertikalnim tlakom, ekvivalentnim geološkemu tlaku na globini od 0,3 m do 2,5 m. Za zemljine z oznako »nizko« smernice pravijo, da nadaljnje raziskave načeloma niso potrebne, ko je meja židkosti (w_L) nižja od 40 % in indeks plastičnosti (I_p) nižji od 15 %, razen če gre za konstrukcije, zelo občutljive na deformacije. Ostale postopke je možno najti v smernicah, ki so dosegljive na svetovnem spletu ali pa v delih številnih avtorjev (FREDLUND, 1979; AITCHISON & MARTIN, 1993 in drugi).

Posebnost smernic ameriške vojske (UFC, 2004, TM 5-818-7) je aneks B, v katerem je podrobno obrazložena karakterizacija nabrekalnega obnašanja zemljin z uporabo zemljinske sukcije. Zveza med nabrekalnimi dvižki in sukcijo je določena z enačbo 5.

Ocena potencialnega nabrekanja	Potencialni nabrekalni dvižek ϵ (%)	Meja židkosti w_L (%)	Indeks plastičnosti I_p (%)	Sukcija v naravnem stanju s (kPa)
Nizko	< 0,5	< 50	< 25	< 144
Mejno	0,5–1,5	50–60	25–35	144–383
Visoko	> 1,5	> 60	> 35	> 383

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} = \frac{c_\tau}{1 + e_0} \log \frac{\tau_{m0}}{\tau_{mf}} \quad (5)$$

kjer pomenijo: ΔH – potencialni dvig temeljnega dna, H – debelina nabrekljive zemljine, e_1 in e_0 – končni in začetni količnik por, $C_\tau = \alpha G_s / 100B$ – sukcijski indeks, α – kompresijski faktor, B – parameter nagiba retencijske krivulje, τ_{m0} – začetna matrična sukcijska brez obremenitve in τ_{mf} – končna matrična sukcijska brez obremenitve.

Sukcija je vključena tudi v druge izpeljanke enačb za vrednotenje nabrekalnih dvižkov (LYTTON, 1977; FREDLUND, 1979; MCKEEN, 1981).

Zemljinska sukcijska ima v sodobni geotehniko vse večji pomen. Danes si je težko zamišljati napredne raziskave nabrekljivosti brez poznavanja retencijske krivulje in zemljinske sukcije. Retencijska krivulja igra pomembno vlogo med tremi osnovnimi faktorji, ki kontrolirajo procese nabrekanja in jih opišemo kot:

- indikatorji nabrekanja (dvižka, potenciala, tlaka) ki so kar indeksni kazalniki lastnosti zemljin (meja plastičnosti, indeks plastičnosti, adsorpcija, metilen modro, retencijska krivulja),
- sedanja ter pričakovana nova (totalna, efektivna) napetostna stanja ter
- sedanji ter pričakovani novi negativni tlak porne vode oziroma sukcije.

Zemljine ali kamnine, ki vsebujejo glino imajo pri enaki mineralni sestavi in enakih indeksnih kazalnikih plastičnosti in adsorpcijske sposobnosti lahko zelo različno sukcijsko, kar torej pomeni tudi zelo različne nabrekalne potenciale oziroma dovzetnost za volumske spremembe.

Monitoring sukcije v geotehničnih objektih v Sloveniji

Meritve sukcije v Sloveniji

Oprema za laboratorijsko merjenje sukcije za geotehnično rabo je v času objave tega prispevka v redni rabi v Sloveniji samo na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo Univerze v Ljubljani.

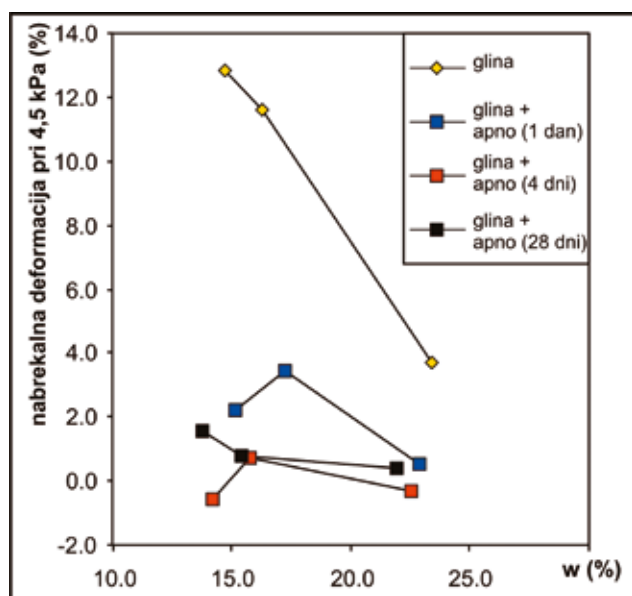
Kontinuirane meritve sukcije na terenu se že več let izvajajo na plazu Slano blato nad Lokavcem za nadzorovanje proženja blatnega toka (PETKOVŠEK et al., 2009; MIKOŠ et al., 2009), v pokrovu jalovišča Jazbec pri Rudniku Žirovski vrh za nadzorovanje delovanja pokrova in v nasipih avtoceste Cogetinci – Vučja vas za nadzorovanje nabrekanja in krčenja (MAČEK et al., 2010).

Razpredelnica 3. Postopek WES ocenjevanja nabrekljivosti zemljin po smernicah UFC, 2004

Table 3. Procedure of WES assessment of soil swellability according to UFC guidelines, 2004

*Predstavitev monitoringa sukcije v nasipih
na avtocesti Cogetinci – Vučja vas*

Odločitev, da se v nasipe avtoceste med Cogetinci in Vučjo vasjo v vzhodni Sloveniji vgrajujejo lokalne nabrekljive zemljine je bila povezana z veliko inženirsko odgovornostjo. Iz diagrama na sliki 12 je vidno, da so nabrekalne deformacije – linearni dvizki naravne gline iz globokih vkopov na trasi presegle 10 %. Z dodatnim vlaženjem se je nabrekalni potencial sicer nižal, vendar pa se je hkrati z naraščajočo vlago zmanjševala možnost vgrajevanja in zagotavljanja potrebne togosti vgrajenih plasti iz gline.



Sl. 12. Diagram odvisnosti nabrekalnih deformacij nasipne gline brez in po izboljšanju z apnom. Legenda: w – vlaga v masnih odstotkih

Fig. 12. Diagram of dependence of swelling deformations in embankment clay without and after improvement with lime. Legend: w – water content in mass percent

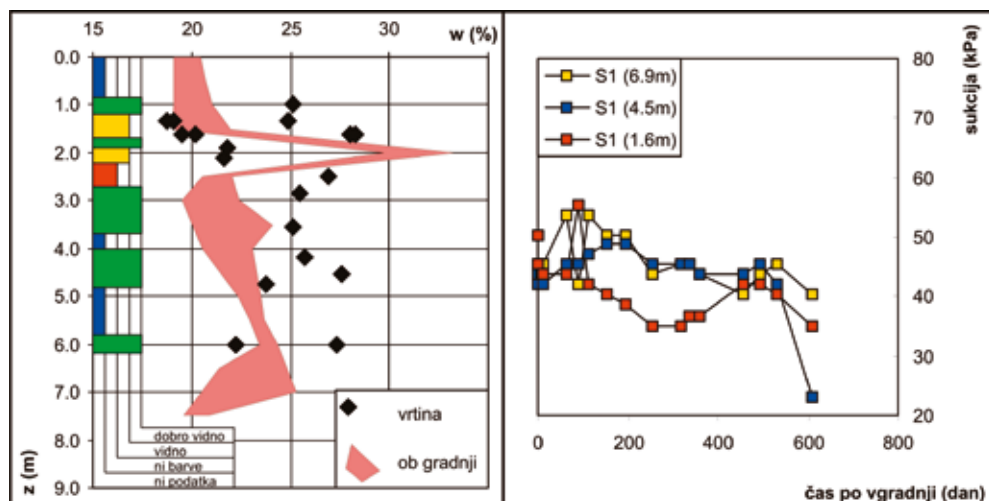
Zato so se za znižanje nabrekalnega potenciala vse gline za nasipe izboljšale z apnom. Vendar pa apno ni v celoti izničilo nabrekalnega potenciala (slika 12, spodnje krivulje), kar smo v laboratoriju ugotavljali z direktnimi meritvami nabrekalnih deformacij in sukcije.

Za izboljšanje nadzora nad učinkovitostjo kemične stabilizacije z apnom in nadzora nad ekvilibracijo vlage in sukcije so bili v treh avtocestnih nasipih vgrajeni merilniki sukcije na po treh karakterističnih globinah. Iz dosedanjih meritev je vidno (slika 13 in 14), da je bil na terenu doslej prisoten samo proces enosmernega nabrekanja in mehčanja, kar je tudi bilo upoštevano v terminskih planih gradnje in pri dimenzioniranju zgornjega avtocestnega ustroja. Vezane plasti voziščne konstrukcije je bilo dovoljeno vgrajevati šele potem, ko so nasipi odležali in so meritve pokazale ekvilibracijo zemljinske sukcije na sprejemljive vrednosti.

V kontekstu tega prispevka je treba poudariti velik pomen razumevanja ekvilibracije vlage in sukcije v novem geološkem okolju, ki nastopi ob vsaki geotehnični gradnji. Na sliki 13 (levo) vidimo, da so vse vlage iz kontrolnih vrtin S1 višje od vlage, zabeležene pri kontrolnih meritvah v času gradnje. Tudi merilniki sukcije (slika 13 desno) kažejo, da so bile že ob vgradnji merilnikov, sukcije nizke in v varnem območju. Po dveh letih opazovanj se razmere niso bistveno spreminjale. Lepo so vidni odzivi sukcije na sezonsko pogoje – vremenske spremembe, nobena vrednost pa ne sega v nevarno območje.

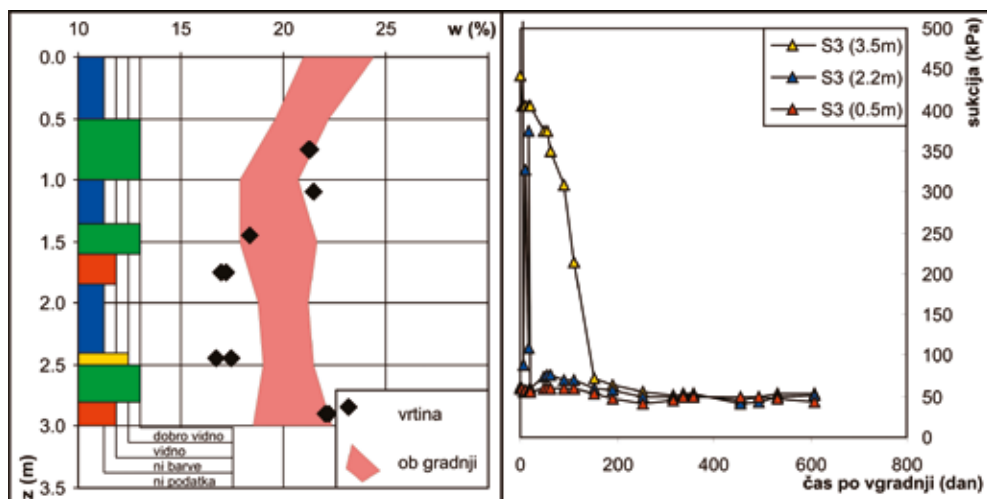
Na merskem profilu S 3 so razmere precej drugačne (slika 14). Ob vrtanju kontrolnih vrtin je bila ugotovljena vlaga nasipnih plasti do 5 % nižja od tiste, dosežene ob vgrajevanju. Tudi merilniki sukcije kažejo na visoko vrednost sukcije, ki po ameriških smernicah (razpredelnica 3) uvršča material med tiste z visokim nabrekalnim potencialom. Po približno 180 dneh mirovanja nasipa opazujemo ekvilibracijo sukcije pri okoli 50 kPa. Vezane plasti avtocestnega vozišča so bile vgrajene šele po ekvilibraciji sukcije. Po dveh letih obratovanja se vozišče obnaša skladno s pričakovanji, kar je dodaten dokaz, da je možno z ustreznimi inženirskimi znanji dobro obvladovati gradnje v nabrekljivem geološkem okolju.

Če bodo nastopili podobni vremenski ekstremi kot je bil primer izjemne suše v letu 2003, ko je v Pomurju v času med aprilom in septembrom padlo manj kot 50 % povprečnih 20 letnih padavin, povprečne temperature pa so bile za nekaj



Sl. 13. Rezultati monitoringa sukcije na kontrolnem profilu S 1 avtoceste Cogetinci – Vučja vas. Legenda: w – vlaga v masnih odstotkih, z – globina

Fig. 13. Results of suction monitoring at the control profile S 1 on the motorway Cogetinci – Vučja vas. Legend: w – water content in mass percent, z – depth



Sl. 14. Rezultati monitoringa sukcije na kontrolnem profilu S 3 avtoceste Cogetinci – Vučja vas. Legenda: w – vlaga v masnih odstotkih, z – globina

Fig. 14. Results of suction monitoring at the control profile S3 of the motorway Cogetinci – Vučja vas. Legend: w – water content in mass percent, z – depth

stopinj Celzija višje od dolgoletnega povprečja (ČEĖNAR, 2004), bo verjetno treba brežine avtocestnih vkopov in nasipov namakati, sicer bo prišlo do poškodb zaradi krčenja in ponovnega nabrekanja tako, kot smo pokazali na shemi na sliki 1. Odločitev o potrebi po namakanju bo možno sprejeti prav na osnovi vgrajenih merilnikov sukcije (če pristojne službe ne bodo prehitro pozabile na njihovo vzdrževanje).



Sl. 15. Posnetek iz časa gradnje avtocestnih nasipov iz nabreklih glin na odseku Cogetinci – Vučja vas.

Fig. 15. Picture from the time of embankment construction made of expansive clays at the motorway section Cogetinci – Vučja vas.

Merjenje nabrekalnih tlakov in nabrekalnih deformacij pri geoloških raziskavah

Če zasičeno zemljino obremenimo enodimenzionalno, na primer v edometru, pride do časovnega zmanjševanja količnika por tako, kot je poenostavljeno prikazano na sliki 8 od točke A v smeri proti desni. Ko zasičeno konsolidirano zemljino razbremenimo, beležimo dvižke ali povečanje količnika por. Zemljina je ves čas zasičena, sukcija je minimalna oz. je nižja od vrednosti pri točki vstopa zraka.

Iz slike 8 lahko zaključimo, da »nabreka« vsaka zemljina, podvržena razbremenitvi (npr. po odstranitvi nasipa na mehkih tleh, po izvedbi glo-

bokega izkopa). To tudi drži in pri geotehničnih delih računsko ovrednotimo in na terenu tudi merimo takšne dvižke, a jih v običajnem inženirskem žargonu ne imenujemo nabrekalni dvižki, temveč dvižki (deformacije) zaradi relaksacije. Če bi se dosledno držali terminologije relevantnih standardov (SIST EN 1997-2), bi seveda morali uporabljati termin nabrekanje (angleško swelling) tudi za dogajanja na razbremenilni krivulji.

Če je končna efektivna napetost, imenujmo jo σ'_b , po izkopu globokega vkopa ali predora manjša od nabrekalne napetosti σ'_{nab} , bo obremenjen vzorec po stiku z vodo nabrekal. Količnik por se bo povečal za Δe_{nab} , deformacijo pa lahko opišemo z enačbo (6).

$$\Delta \varepsilon_{nab} = \frac{\Delta e_{nab}}{1 + e_\beta} \quad (6)$$

kjer je e_β količnik por takoj po izkopu, še preden se izvršijo nabrekalne deformacije, Δe_{nab} sprememba količnika por zaradi nabrekalnih deformacij.

Nabrekanje bo navidezno teklo pri konstantni obremenitvi oziroma napetosti, saj je vzorec v edometru obremenjen z znano totalno obremenitvijo σ_b . V resnici pa se bodo zaradi nabrekanja (adsorpcije vode) zrnca zemljine razmaknila, dejanska efektivna medzrnska napetost σ'_{ig} pa se bo zmanjšala, a je v razmerah, ki vladajo v edometru, dejansko ne poznamo.

Kot smo že uvodoma ugotovili, je slaba stran rabe postopkov, razvitih za preiskovanje saturiranih zemljin in kasneje preprosto prenesenih v nesaturirane zemljine ta, da ne poznamo dejanske velikosti efektivnega tlaka med nabrekanjem in v posameznih fazah merjenja »nabrekalnega tlaka« in tudi ne dejanske stopnje zasičenja v času nabrekanja. Zato pa lahko dokaj natančno ovrednotimo končno vlago nabrekle zemljine in posredno, preko retencijske krivulje tudi njeno končno sukcijo.

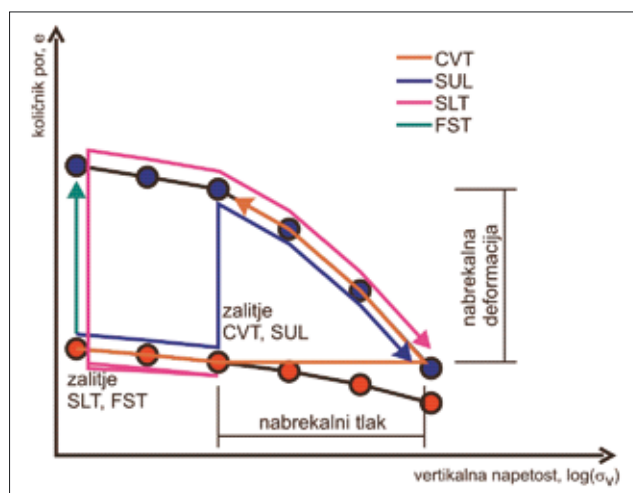
Za merjenje nabrekalnih tlakov in deformacij so bili razviti najrazličnejši standardizirani (ASTM 4546-96) in nestandardizirani raziskovalni postopki (KASSIFF & BEN SHALOM, 1971; BUCHER & SPIEGEL, 1984). Med najpopolnejše naprave za izvajanje temeljnih raziskav v tem trenutku sodi

sukcijski edometer, a si ga lahko privoščijo le veliki raziskovalni centri in ga v Sloveniji nimamo.

Komercialne metode za merjenje nabrekalnih tlakov in nabrekalnih dvizkov za inženirsko rabo lahko v splošnem razdelimo v štiri glavne skupine, izvajamo pa jih predvsem v edometrih ali v edometrom podobnih aparatih in so:

- prosto nabrekanje pri ničnem tlaku (FST – free swelling test).
- nabrekalni tlak pri konstantnem volumnu (CVT- constant volume test),
- nabrekanje pod znanim tlakom (SUL – swelling under load) in
- nabrekanje in obremenjevanje (SLT – swelling load test).

Ker je rezultat vsake meritve odvisen od postopka merjenja, bomo z uporabo naštetih postopkov na istem materialu izmerili različne vrednosti nabrekalnega tlaka ali nabrekalne deformacije, kar je tudi prav in pričakovano. Vendar pa je treba pri podajanju izmerjenih vrednosti precizno opisati pogoje (napetosti), pri katerih je raziskava potekala (slika 16).



Sl. 16. Merjenje nabrekalnih tlakov in deformacij z uporabo različnih metod v edometru.

Fig. 16. Measurement of swelling pressures and swelling deformations by using different methods in oedometer.

Najbolj enostavne so meritve prostega nabrekanja (FST) na umetnih zemljinskih kompozitih, nabitih v kontroliranih pogojih, na primer po Proctorju. V standardni kalup nabiti preizkušane potopimo v vodo, nabrekalno deformacijo pa merimo z mikrometrsko urico, nameščeno na kovinsko ploščo na površini preizkušanca. Ta postopek je v redni rabi pri vrednotenju uporabnosti zemljin za konstrukcijske nasipe, meja med uporabnimi in neuporabnimi zemljinami pa je v srednje-evropskem geološkem okolju ocenjena z linearnim dvizkom, ki se giblje med 3 in 4 %.

Pri CVT testu naravno vlažno zemljino ali kamnino (lahko pa tudi nabito zemljino) v kalupu zalijemo in z dodajanjem uteži preprečujemo vsako deformacijo. Nabrekalni tlak imenujemo tlak, pri katerem potopljen vzorec ne kaže več želje po nabrekanju. Če vzorec razbremenimo na naravni tlak, lahko ocenimo nabrekalne deformacije.

Pri SUL testu nesaturirano zemljino najprej pripeljemo do izbranega totalnega tlaka in jo nato zalijemo. Merimo deformacije (nabrekanje ali kolaps) pri znanem totalnem tlaku. Če vzorec obremenimo do tlaka, ki stisne vzorec nazaj na volumen nesaturiranega vzorca pri naravnem stanju, dobimo oceno nabrekalnega tlaka.

SLT test se od FST testa razlikuje samo po tem, da najprej v nesaturiranem stanju izvedemo obremenilno – razbremenilni preizkus do izbranega totalnega tlaka, šele nato vzorec saturiramo in najprej opazujemo nabrekalne deformacije, nato pa izvajamo kompresijo saturiranega vzorca. Razlika volumna saturiranega in nesaturiranega vzorca pri naravnem tlaku služi za oceno nabrekalne deformacije. Tlak, pri katerem ima saturiran vzorec enak volumen kot nesaturiran vzorec pri naravnem tlaku, pa nam služi za oceno nabrekalnega tlaka.

Poudariti je treba, da so pri visoko prekonsolidiranih zemljinah nabrekalni tlaki zelo visoki, pri nekaterih sivicah tudi preko 1500 kPa. Zato se priporoča kombinacija različnih postopkov merjenja tlakov in deformacij, z interpretacijo katerih se nato poskušajo določiti karakteristične vrednosti nabrekalnega tlaka in deformacij kot tudi zmanjšanje trdnosti zaradi nabrekanja.

Nabrekljive zemljine med stanjem in dogajanjem

Nabrekljive zemljine spremenijo svoj volumen potem, ko pride do spremembe vlage in/ali sukcije. Nabrekaajo vse glinene zemljine, razlika med »nenabrekljivimi« in »nabrekljivimi« zemljinami je le v tem, da slednje nabrekaajo tudi pri visoki vlagi. V sušnem vremenu se nabrekljive zemljine krčijo. V razpredelnici 4 so prikazani glavni vzroki, zaradi katerih prihaja do spremembe vlage in sukcije v zemljinah.

Pri obravnavi nabrekljivosti moramo razlikovati med karakterističnim začetnim stanjem in pričakovanimi dogajanjem, kot je informativno prikazano v razpredelnici 4 in na slikah 1 in 2.

Terminološke zagate v povezavi z nabrekanjem

Za pravilno razumevanje stanj in dogajanj v zvezi z nabrekanjem v zemljinah in mehkih kamninah je treba vzpostaviti ustrezno terminologijo, s katero bomo nedvoumno znali razlikovati med pomembnimi pojmi, kot so: nabrekljivost, nabrekanje, nabrekalni potencial, nabrekalni tlak in nabrekalni dvizek (deformacija). Avtorji predlagamo v uporabo naslednjo slovensko terminologijo:

Nabrekljivost: je lastnost zrna ali združbe zrn v hribinski masi, da ob navzemanju vode ali ob znižanju efektivne napetosti pri nespremenjeni vlagi povečajo svoj volumen. Tudi če se vlaga ne spremeni, se ob nabrekanju spremeni zemljinska sukcija.

Razpredelnica 4. Vzroki volumskih sprememb zaradi sprememb vlage in sukcije

Table 4 Reasons for volume changes due to water content and suction changes

Spremembe v naravnem okolju:	– Spremembe klime: dolgotrajna suša, ekstremno visoke padavine, nenavadna koncentracija padavin v določenem obdobju – Trajne spremembe gladine podzemne vode: gradnja akumulacij, prekomerno črpanje vode, melioracije
Spremembe zaradi geotehničnih gradenj:	– Razgaljene površine (odstranjena drevesa) povečujejo infiltracijo in znižujejo sukcijo – Slabo izvedeni drenažni in kanalizacijski vodi »umetno močijo« zemljine, ki so bile predhodno suhe – V globokih vkopih so zemljine podvržene intenzivnemu sušenju in močenju – Pokrite površine (na primer raba geomembran za zaščito podzemne vode pred onesnaženji) zmanjšujejo naravno evaporacijo iz tal in povečujejo vlago v zemljini – Pokrite površine zmanjšujejo transpiracijo preko koreninskega sistema in na ta način povečujejo vlago v tleh – Globoki vkopi in velike razbremenitve (zmanjšanje totalnih tlakov) povzročijo velike gradientne sukcije med zemljino na razgaljeni brežini in zemljino v zaledju brežine – Drugi pogoji (na primer gradnja nasipov iz presuhih materialov)
Spremembe zaradi uporabe objekta:	– V ogrevanih podzemnih objektih prihaja do gibanja vode z vodno paro v smeri od toplih sten objekta proti hladnemu zaledju, kar povzroča počasno trajno nabrekanje (strojnica Moste), ki bi ga lahko poimenovali tudi »nabrekalno lezenje« – Ogrevani vkopani objekti lahko vplivajo na sušenje in krčenje zemljine za objektom – Umetno vzdrževanje zatravljenih površin prispeva k dodatnemu vlaženju

Nabrekanje: je proces, ki poteka v zemljini ob spremembi razmer v geološkem okolju in se odraža v povečanem volumnu (npr. dvizku tal) ali povečanih tlakih na oviro (konstrukcijo).

Nabrekalni potencial: je zmožnost, da se v zemljini sproži proces nabrekanja in je direktno odvisen od sukcije. Visok nabrekalni potencial imajo lahko tudi zemljine, ki ne vsebujejo nabrekajočih mineralov glin, imajo pa zelo visoko sukcijo.

Nabrekalna deformacija: je prirastek volumna zaradi nabrekanja, ki jo lahko izrazimo kot linearni nabrekalni dvizek ali nabrekalno volumen-sko ekspanzijo. Velikost nabrekalne deformacije je odvisna od nabrekalnega potenciala in zunanje obremenitve. Pri dovolj visoki zunanji obremenitvi (totalnem tlaku) nabrekljiva zemljina ne bo spremenila volumna, tudi če ima visok nabrekalni potencial.

Nabrekalni tlak: je tlak, s katerim vzdržujemo konstantni volumen zemljine ob navzemanju vode ali zniževanju sukcije. Velikosti nabrekalnega tlaka in nabrekalne deformacije nista v neposredni zvezi. Nekatere zemljine, na primer oligocenska sivica, lahko razvijejo zelo visoke nabrekalne tlake ob relativno majhnih deformacijah in obratno.

Kako zanesljive so napovedi nabrekanja za geotehnično rabo

V saturirani zemljini je možno deformacije zaradi konsolidacije ali nabrekanja računsko dokaj natančno napovedati, razmerja med spremembo vlage in volumna pa so proporcionalna. V nesaturirani zemljini so nabrekalne deformacije vselej nehomogene, ker procesa navzemanja vode in ekvibracije sukcije ne potekata enakomerno. Tudi čas, v katerem se izkoristi celoten nabrekalni potencial je težko napovedati, saj so mehanizmi gibanja vode v nezasičeni coni veliko bolj kompleksni od tistih, ki potekajo v zasičeni coni.

Na splošno velja, da je v primerih, ko imamo opravka z normalno konsolidiranimi zemljinami ali umetno nabitimi kompoziti, napovedovanje nabrekalnega potenciala, nabrekalnih dvizkov in tlakov kljub vsemu razmeroma enostavno. Ker so napovedi zanesljive, lahko temu primerno tudi prilagodimo potrebne zavarovalne ukrepe. Te smo opisali na primeru gradnje nasipov na avtocesti med Cogetinci in Vučjo vasjo.

V nezasičenih, visoko prekonsolidiranih zemljinah, v katerih so prisotni aktivni glineni minerali in soli pa je napovedovanje deformacijskega obnašanja izjemno težavno, predvsem pa je še vedno zelo slabo raziskano. Zato se v prekonsolidiranih zemljinah vseh vrst in starosti kar naprej srečujemo s pojavi, ki jim pravimo geološka presenečenja. Dolgotrajne deformacije zaradi mehčanja, strukturni razkroj, popuščanje geotehničnih sider, periodično pojavljanje plazov na določenih območjih so značilne oblike dogajanj v prekonsolidiranih zemljinah. Velja tudi obratno. Iz marsikaterega gradbišča poročajo, da so bile geološke napovedi preveč pesimistične. Ali slednje tudi drži, ne vemo, ker o preveč pesimističnih napovedih slišimo predvsem iz gradbišč, kjer so bile med gradnjo uporabljene ustrezno dimenzionirane podporne konstrukcije.

Največja težava pri vrednotenju nabrekljivosti v visoko prekonsolidiranih glinah in mehkih kamninah je v tem, da so le te v naravnem stanju trdne in ne kažejo posebnih znakov, ki bi nas opozorili na nabrekanje. Smola je tudi, da so se v sodobni geotehniki uveljavile napredne terenske preiskave s presiometri, dilatometri in najrazličnejšimi penetracijskimi preizkusi, s katerimi zelo dobro identificiramo in situ trdnost, deformabilnost, razmerja med vertikalnimi in horizontalnimi napetostmi, zelo malo pa izvemo o obnašanju zemljine, v spremenjenih razmerah geološkega okolja in na dolgi rok.

Zato so za vrednotenje nabrekljivosti laboratorijske raziskave neobhodno potrebne.

Posebno pomemben vidik nabrekanja v visoko prekonsolidiranih zemljinah in mehkih kamni-

nah je mehčanje (softening) in zniževanje trdnosti s časom ter razpad po razpokah. Tudi ta vidik obnašanja materiala je možno ustrezno raziskati le s kombinacijo terenskih in laboratorijskih preiskav.

Nabrekalni tlaki, merjeni v laboratoriju, so v prekonsolidiranih zemljinah včasih tako visoki, da bi njihova direktna uporaba v geostatičnem izračunu narekovala izjemno močne in neekonomične podporne konstrukcije. Zato je pogosto treba pri projektiranju poiskati kompromis med laboratorijskimi meritvami in izkušnjami, z opazovanji med samo gradnjo pa po potrebi sprejemati dodatne zavarovalne ukrepe.

Zaključek

Novi standardi in smernice za geotehnično projektiranje namenjajo raziskavam nabreklijivosti vse večji pomen. Vzroka sta dva: prvi je ta, da bodo napovedane klimatske spremembe močno vplivale na obnašanje tal v plitvem, pripovršinskem delu, kjer je temeljenih večina lahkkih zgradb in prometnic, drugi pa ta, da se nove velike gradnje selijo globoko v tla, v območje visoko prekonsolidiranih zemljin in mehkih kamnin, ki vsebujejo glino. Tam so dogajanja v zvezi z volumenskimi deformacijami še posebej zapletena.

Za identifikacijo nabreklijivosti v geotehničnih zgradbah samo podatki mineraloško petrografskih raziskav ne zadoščajo. Potencialno nabreklijivost zemljin in mehkih kamnin je treba prepoznati z uporabo indeksnih kazalnikov lastnosti materiala v povezavi z določitvijo naravne vlage in sukcije. Če indeksni kazalniki potrdijo sum na nabrekanje, je treba pričakovano velikost nabrekalnih tlakov ali deformacij ovrednotiti z direktnimi meritvami, prilagojenimi pričakovanim spremembam efektivnih napetosti, ki jih bo novogradnja vnesla v geološko okolje.

Pri načrtovanju geološko geotehničnih raziskav za velike infrastrukturne objekte bi morali bazičnim preiskavam, to je mineraloško petrografskim raziskavam in raziskavam za identifikacijo obnašanja materiala v »pogojih uporabe« vselej namenjati ustrezno pozornost. Izkušnje zadnjih let kažejo, da se je ob uvajanju naprednih in situ raziskav za merjenje napetostno deformacijskih parametrov s presiometri, dilatometri in različnimi tipi penetrometrov, nekako pozabilo na temeljne geološke raziskave, brez katerih pa ni možno razumeti in napovedati obnašanja materiala. Zato se v nekaterih geoloških sredinah geološka presenečenja med gradnjo kar prepogosto ponavljajo. Veliko teh presenečenj je posledica premajhnega obsega temeljnih raziskav in nerazumevanja volumenskih sprememb, ki se lahko razvijejo v nekaterih geoloških materialih.

Literatura

ABDULJAUWAD, S. N., AL-SULAIMANI, G. J., BASUNBUL, I. A. & AL-BURAIN, I. 2000: Laboratory and field studies of response of structures to heave

of expansive clay. *Geotechnique* (London) 50/2: 197-198.

AITCHISON, G. D. & MARTIN, R. 1973: The quantitative description of the stress-deformation behaviour of expansive soils. 2: A membrane oedometer for complex stress-path studies in Expansive clays. V: *Proc. of the 3rd int. conf. on expansive soils*, (Haifa, Izrael) 2: 83-88.

ALONSO, E. E., GENS, A. & JOSA, A. 1990: A constitutive model for partially saturated soils. *Geotechnique* (London) 40/3: 405-430.

BISHOP, A. W. 1959: The principle of effective stress. *Teknisk Ukeblad* (Oslo) 106/39: 859-863.

BUCHER, F. & SPIEGEL, U. 1984: *Quelldruck von hochverdichteten Bentoniten*. Nagra Technical Report NTB 84-18 (Wettingen, Švica).

CEGNAR, T. 2004: Podnebne razmere v letih 2002 in 2003. *Ujma* (Ljubljana) 17/18: 16-31.

CHEN, F. 1975: *Foundations on expansive soils*. Elsevier Scientific Publishing Company (Amsterdam): 1-282.

CHIAPPONE, A., MARELLO, S., SCAVIA, C. & SETTI, M. 2004: Clay mineral characterization through the methylene blue test: comparison with other experimental techniques and application of the method. *Canadian Geotechnical Journal* (Montreal, Kanada) 41: 1168-1178.

COKCA, E. 2002: Relationship between Methylene blue value, initial soil suction and swell percent of Expansive Soils. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* (Ankara) 26: 521-529.

CORTI, T., MUCCIONE, V., KÖLLNER-HECK, P., BRESCH, D. & SENEVIRATE, S. I. 2009: Simulating past droughts and associated building damages in France. *Hydrol. earth syst. sci.* (Göttingen) 13: 1739-1747.

CRILLY, M. 2001: Analysis of a database of subsidence damage, Structural survey (Bingley, Velika Britanija) 19: 7-14.

DAS, B. M. 1993: *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS Publishing company (Boston).

DAY, R. W. 1993: Expansion Potential According to Uniform Building Code. *Journal of Geotechnical Engineering* (New York). 119/6: 1067-1071.

DEMENGHI, A. 2009: Deformations assessment in expansive soils. V: HAMZA, M., SHAHIEN, M. & EL-MOSSALLAMY, Y. (eds.): *Proc. of the 17th inter. conf. on soil mech. and geotech. eng.*, 5-9 October 2009, Alexandria, Egypt (Aleksandrija): 719-722.

DIENG, M. A. 2006: Bestimmungsmethode der Konsistenzgrenzen mittels Wasseraufnahmeversuchen, *Bautechnik* (Berlin) 83/7: 492-496.

FARRAR, D. M. & COLEMAN, J. D. 1967: The correlation of surface area with other properties on nineteen British clay soils. *Journal of Soil Science* (Oxford) 18/1: 118-124.

FREDLUND, D. G. 1979: Appropriate concepts and technology for insaturated soils. *Can. Geotech. J.* (Montreal, Kanada) 16: 121-139.

FREDLUND, D. G. & RAHARDJO, H. 1985: Theoretical context for understanding unsaturated residual soils behaviour. *Proceeding of the 1st International conference Geomechanics in Tropical*

- Laterite and Saprolitic Soils (Sao Paolo, Brazil): 295-306.
- FREDLUND, D.G. & RAHARDJO, H. 1993: Soil Mechanics for unsaturated Soils. John Wiley & Sons (New York): 1-517.
- HEAD, K. H. 1980: Manual of Soil Laboratory testing. John Wiley & Sons (London): Volume 1, 2, 3.
- HOFFMANN, C., ROMERO, E. & ALONSO, E. E. 2005: Combining different controlled-suction techniques to study expansive clays. V: TARANTINO, A., ROMERO, E. & CUI, Y.J. (eds.): Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechanics – Proceedings of an International Symposium, Trento, Italy, 27-29 June 2005 (Trento, Italija): 61-67.
- HOLTZ, W.G. & GIBBS, H. J. 1956: Engineering properties of expansive clays, Transactions of the American society of civil engineering. (ZDA) 121: 641-677.
- KASSIFF, G. & BEN SHALOM, A. 1971: Experimental relationship between swell pressure and suction. Geotechnique (London) 21: 245-255.
- KOMAC, M. 2009: Vloga javnega instituta geološkega zavoda pri preprečevanju geohazardov in zmanjševanju njihovih posledic. Geologija (Ljubljana) 52/1: 105-112.
- LYTTON, R. L. 1977: Foundations in expansive soils. V: DESAI, C.S. & CHRISTIAN, J. T. (eds.) Numerical methods in geotechnical engineering. McGraw Hill Book Company. (New York).
- MAJES, B. 2006: Slovenian geotechnics. V: LOGAR, J., GABERC, A. & MAJES, B. (eds.): Proc. XIIIth Danube European Conference on Geotechnical Engineering. (Ljubljana): 3-54.
- McKEEN, R. G. 1981: Design of Airport Pavements for Expansive Soils. Engineering Res. Inst., University of New Mexico, NMERI-AP-37.
- McKEEN, R. G. 1992: A model for predicting expansive soil behavior. V: 7th International Conference on Expansive Soils, Dallas, (Dallas, ZDA) 1: 1-6 (izsek članka).
- MAČEK, M., BEBAR, M. & PETKOVŠEK, A. 2010: High embankments from highly plastic, stiff clays in North-East Slovenia. V: FRANKOVSKÁ, J. (ed.): XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Bratislava, Slovak Republic, 2nd - 4th June 2010. From research to design in European practice: proceedings of the XIVth Danube-European Conference on Geotechnical Engineering, Bratislava, Slovak Republic, 2nd - 4th June 2010. Bratislava: Slovak University of Technology, Faculty of Civil Engineering. (Bratislava): 1-10, zgoščenka
- MIKOŠ, M., PETKOVŠEK, A. & MAJES, B. 2009: Mechanisms of landslides in over-consolidated clays and flysch. Landslides (Springer) 6/4: 367-371.
- MITCHELL, J. K. 1993: Fundamentals of Soil behaviour. John Wiley and sons (New York) 1-437.
- NAGARAJ, T. S. & MURTHY, BRS. 1985: Rational approach to predict Swelling soil behaviour. Transportation Research Record TRB (Washington) 1032: 1-8.
- PETKOVŠEK, A. 2002: Metilen modro test – enostavna in hitra metoda za prepoznavanje nabrekliivosti zemljin in drobnih zrn v tamponskih agregatih. V: VILHAR, M. (ur.). 6. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 23.-25. oktobra 2002. Zbornik referatov. Ljubljana, (Ljubljana): 1. del: 197-205.
- PETKOVŠEK, A. 2006: Stabiliziranje zemljin pri gradnji avtocest v severovzhodni Sloveniji. Zbornik referatov. Megra 2006 - Gornja Radgona. DRC Ljubljana (Ljubljana): 13-35.
- PETKOVŠEK, A., MAČEK, M. & MAJES, B. 2009: A laboratory characterization of soils and clay-bearing rocks using the Enslin-Neff water-adsorption test. Acta geotech. Slov. (Maribor) 6/2: 4-13.
- SEED, H. B., WOODWARD, R. J. & LUNDGREN, R. 1962: Prediction of swelling potential for compacted clays. J. Soil Mech. Found. Div. ASCE (ZDA) 88: 53-57.
- SKUTNIK, Z., BOROWCZYK, M. & KRYSIAK, S. 2006: Long term pore water pressure measurements for effective stress evaluation in Warsaw clays. V: LOGAR, J., GABERC, A. & MAJES, B. (eds.). Proc. of the 13th Danube-European conf. on geotech. eng., 29-31 May 2006, Ljubljana, Slovenia, Active geotechnical design in infrastructure development (Ljubljana) 2: 113-118.
- ŠUKLJE, L. 1980: Zemeljski pritiski na podzemno strojnico Moste. Gradbeni vestnik. (Ljubljana) 29/10: 202-212.
- TERZAGHI, K. 1936: The shear resistance of saturated soil. V: Proc. 1st int. conf. soil. mech. found. eng. Cambridge MA (Cambridge): 1.
- TOMAŽEVIČ, M. & GAMS, M. 2010: Obnašanje hiš Ytong pri potresni obtežbi : modelne preiskave na potresni mizi = Seismic behaviour of confined aerated autoclaved concrete masonry buildings : a shaking table study. Gradb. vestn. (Ljubljana) 59/6: 130-146.
- ZAPATA, C. E., ANDREI, D., WITCZAK, M. W. & HOUTSTON, W. N. 2005: Incorporation of environmental effects in pavement design. V: International Workshop on Water in Pavements-wip 2005. (Madrid)
- ASTM C837 - 09 Standard Test Method for Methylen Blue Index of Clay.
- ASTM 4546-96: Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils.
- DIN 18132:1995. Messung der Wasseraufnahme von Boden.
- ÖGG - Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2001 Österreichische Gesellschaft für Geomechanik, 2001. Richtlinie für Geomechanische Planung von Untertagebauarbeiten mit Zyklischem Vortrieb, Salzburg.
- SIST EN 14227-10 Hidravlično vezane zmesi – Specifikacije – 10. del: Izboljšanje zemljin s cementom.
- SIST EN 1997-1:2005 Evrokod 7: Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila.
- SIST EN 933-9:2009 Preskusi geometričnih lastnosti agregatov – 9. del: Ugotavljanje finih delcev – Preskus z metilen modrim.
- TM 5-818-7, Foundations in expansive soils (technical manual), 1983.
- UFC 3-220-07 Unified Facilities Criteria, Foundations in expansive soils, 2004.

Geološke značilnosti učnih poti na Ponikvi

Geologic characteristics of the educational trails at Ponikva

Nina RMAN

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

Prejeto / Received 26. 5. 2010; Sprejeto / Accepted 7. 10. 2010

Ključne besede: geološka pot, kras, ponikalnica, litotamnijski apnenec, šentjurski apnenec, Ponikva pri Grobelnem, Slovenija

Keywords: geologic trail, karst, sinking stream, Lithotamnian limestone, Šentjur limestone, Ponikva at Grobelno, Slovenia

Izvleček

Turistično olepševalno društvo Ponikva je v letu 2010 odprlo dve turistični učni poti: Pot treh znamenitih ponkovskih mož in Kraško vodno učno pot Stanka Buserja. Prva opisuje predvsem kulturno-zgodovinske znamenitosti pokrajine. S točko v Šamčevem peskokopu predstavi kamninsko zgradbo Ponikve z govškimi plastmi, z litotamnijskim in šentjurskim apnencem. Druga pot poteka mimo domačije geologa prof. dr. Stanka Buserja in pojasnjuje povezavo med kamninsko sestavo, reliefom, kraškimi pojavi ter vodooskrbo prebivalcev. Opozarja na vrtače, suhe doline, ponikalnice, kraške izvire in kraške jame ter predstavi 'štepíhe' oz. vodnjake, s katerimi so se prebivalci oskrbovali s pitno vodo.

Abstract

Tourist society for the care and improvement of a district Ponikva opened two tourist educational trails in 2010: the Trail of Ponikva's Three Notable Inhabitants and the Karstic Water Educational Trail of Stanko Buser. The first describes mainly cultural-historical remarkableness of the area, but the spot at Šamec sand pit presents also Ponikva's lithological composition with Govce layers, Lithotamnian and Šentjur limestone. The second trail passes by the home of well-known geologist Prof. Dr. Stanko Buser, and explains connections between lithological composition, topography, karst features and inhabitant's water supply. It points out dolines, dry valleys, sinking streams, karst springs and karst caves, and also presents so called štepíh, wells used to acquire drinking water.

Uvod

Sodobne turistično-učne poti težijo k strokovno poglobljeni, a hkrati vsestranski predstavitvi naravnih in kulturnih danosti pokrajin. PAVLOVEC (2002) predlaga, da temu ustrezajo tudi nove geološke poti. Turistično olepševalno društvo Ponikva je v letu 2009 pristopilo k izdelavi dveh izobraževalnih turističnih poti na območju Ponikve pri Grobelnem, ki sta bili uradno odprti aprila 2010. Zaradi njune raznolike tematike smo pod strokovnim vodstvom Tomislava Goloba z Osnovne šole Blaža Kocena na Ponikvi sodelovali tudi geografa dr. Jurij Kunaver, dr. Ana Vovk Korže in geologinja Nina Rman. Omenjeni učni poti pričneta pri osnovni šoli. Proti zahodu poteka Pot treh znamenitih ponkovskih mož, proti vzhodu pa Kraška vodna učna pot Stanka Buserja.

Kraška vodna učna pot Stanka Buserja (GOLOB et al., 2010) je posvečena geologu prof. dr. Stanku Buserju, in poteka mimo njegove domačije. Na njej v dobrih dveh urah spoznamo kraške in hidrogeološke značilnosti ponkovške pokrajine

in potrebo po njihovi zaščiti. Za simbol poti je izbrana silhueta enega izmed petih fosilov, ki so poimenovani po prof. Buserju, rudista *Pironaea buseri* (Pejović). Informativne točke na nekoliko daljši Poti treh znamenitih ponkovskih mož opozarjajo na bogato zgodovino kraja ter življenje in delo sovaščanov škofa A. M. Slomška, geografa Blaža Kocena in slovničarja Mihaela Zagajška. Vendarle ima pot tudi pomembno geološko točko – Šamčev peskokop, v katerem izdanjajo govške plasti. V pričujočem članku so podrobneje predstavljene geološke in hidrogeološke značilnosti obeh poti.

Geografska lega Ponikve

Ponikva leži na Ponikevskem/Ponkovškem gričevju severno od Šentjurja pri Celju. Zahodna meja gričevja je dolina Pirešice, severna dolina Cecinjskega potoka, na severovzhodu rob kraške planote Vodenovega in Sotenskega, proti jugu in Šentjurju pa ni izrazitejša sprememba reliefa. Na-

ravnogeografsko je gričevje, ki se dviga približno 200 m nad podoljem, vzhodni podaljšek Celjske kotline in del Voglajnsko-Zgornje Sotelskega podolja (ATLAS SLOVENIJE, 2005).

Zaradi morebitne zamenjave je potrebno opozoriti na podobno kraško območje, ki se nahaja zahodno od doline Pirešice. Severno od Žalca leži Ponikvanska planota z zavarovanim območjem narave – Krajinskim parkom Ponikvanski kras, znanem predvsem po jami Pekel (INTERNETNI VIR 1).

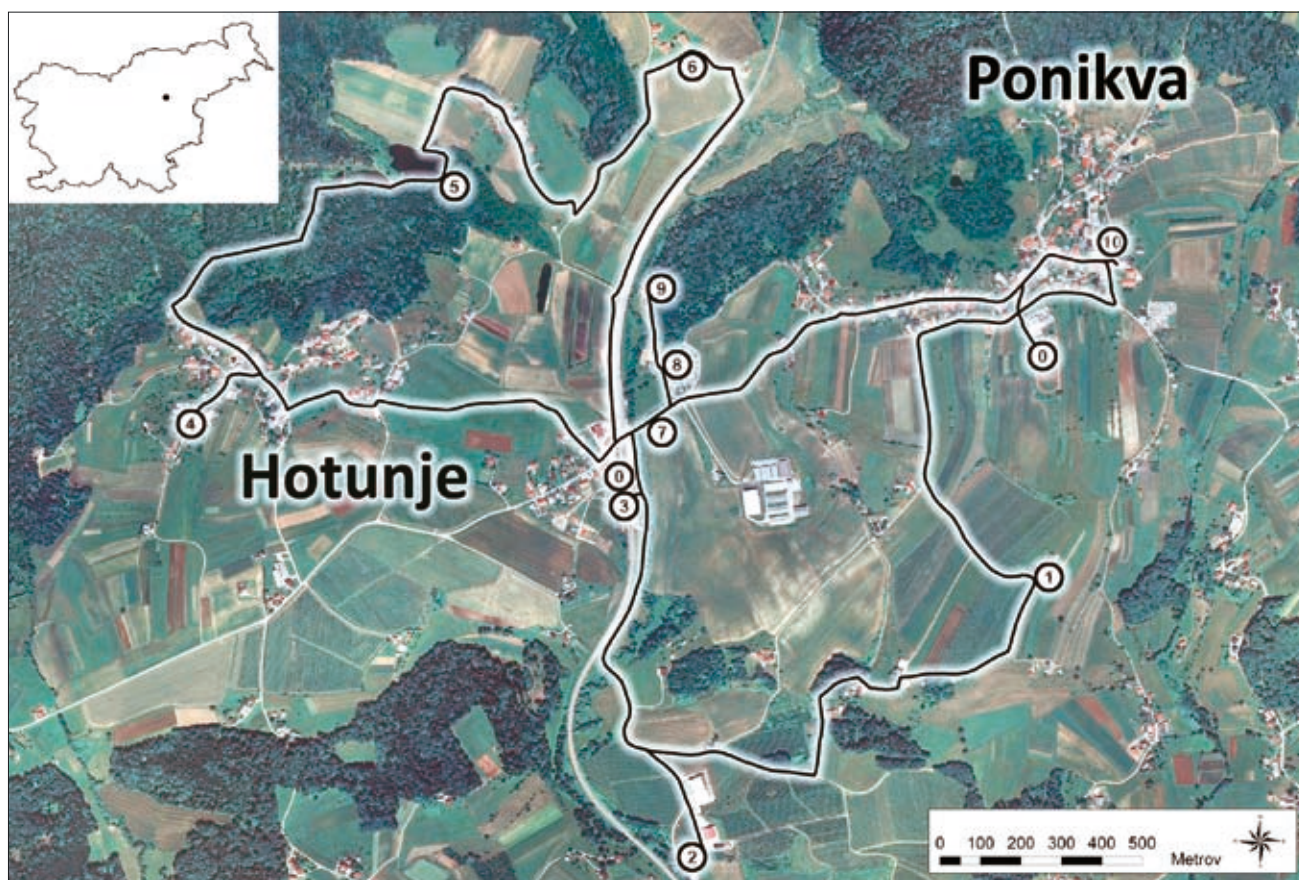
Geologija Ponikve z okolico

Ponikva geotektonsko leži na severnem krilu Celjske sinklinale, ki pripada Posavskim gubam, te pa Notranjim Dinaridom (BUSER, 1978, 1979). Severno prevladujejo oligocensko-miocenski slabo sprijeti klastični sedimenti, južno pa trša in erozijsko bolj odporna litotamnijski in šentjurski apnenec badenijske starosti. Sedimentacija je do pliocena potekala v obrobem delu Panonskega bazena.

Severno od Ponikve izdanjajo egerijski klastični sedimenti molasnega tipa, t.i. govške plasti (ANIČIĆ et al., 2002, 2004). Morski pesek, peščenjak in laporvec s foraminiferami so odloženi v debelini okoli 500 m. Severno od železniške postaje Ponikva, v Šamčevem peskokopu (slika 1, točka 9), izdanjajo meljevec, slabo sprijet prodnat peščenjak

in pesek. Ta vsebuje zrna kremena, mikritnega apnenca, dolomita, muskovita, glincev, metamorfnih in vulkanskih kamnin, meljevca... Opazni so številni sploščeni prodniki meljevca, obdani z nekaj milimetrom debelo rdečkasto skorjo. Po ANIČIĆU in sodelavcih (2002) je skorja goethitna in je nastala z izluževanjem železa iz femičnih mineralov peska v oksidacijski coni sladkovodnega okolja ter predstavlja preperinsko tvorbo v času otnangijske in karpatijske emerzijske faze. Železo je migriralo vzdolž bolj prepustnih poti in se adsorbiralo na glinene minerale, kjer je kasneje kristaliziralo v goethit. Poleg te mineraloške zanimivosti je peskokop bogato nahajališče školjčnih lupin, ki najverjetneje pripadajo pektenom in ostrigam (BUSER, 1979). Večje primerke omenjenih školjk vam z veseljem pokaže bližnji lastnik parcele. Slabo sprijete govške plasti preperevajo v kislo prst s pogostimi zemeljski udori. Sipek material prebivalci uporabljajo predvsem kot vezni gradbeni material (GRMEK et al., 1993).

Nad govškimi plastmi je transgresivno in diskordantno odložen badenijski litotamnijski apnenec oziroma peščenjak. V ozkem pasu izdanja južno od Ponikve, v večji debelini pa vzhodno od nje na območju vrhov Kozjak in Bukovica in je razširjen vse do Rogaške Slatine. Ta masivna ali debeloplastnata kamnina je grajena pretežno iz fragmentov litotamnijskih alg, prisotni pa so tudi moluski, briozoji, foraminifere, morski jež-



Slika 1. Potek poti treh znamenitih ponkovških mož z označenimi informativnimi točkami: 0 – Osnovna šola Blaža Kocena na Ponikvi, 1 – cerkev Sv. Ožbalta, 2 – rojstna hiša Antona Martina Slomška, 3 – železniška postaja Ponikva pri Hotunjah, kjer je ponovljena enaka začetna tabla kot pri osnovni šoli (ponovljena točka 0), 4 – spominska soba in plošča Blaža Kocena, 5 – Maštenovi ribniki, 6 – nekdanje posestvo Zagajškovih / Mihael Zagajšek, 7 – kostanjev drevored, 8 – Gobčeva hiša / vila Rosenau, 9 – Šamčev peskokop, 10 – cerkev Sv. Martina na Ponikvi

ki in korale. Apnenec se je odlagal v plitvem, dokaj odprtem litoralnem šelfu s stalnim dotokom detritičnega materiala, ki je pritekal iz obrobja Panonskega bazena (ANIČIĆ et al., 2002). Zelo čist litotamnijski apnenec, z le do 3 % dolomita in do 5 % primesi (organska snov, sljuda, limonit, kremen, drobci skrilavca), so v manjših kamnolomih kopali za žganje apna (KROŠL-KUŠČER, 1977). Izvir Boletinskega potoka leži na območju preloma, ob katerem je litotamnijski apnenec tako pretrt, da so material neposredno uporabljali za posipanje cest (GRMEK et al., 1993). Masivni in nepretrt apnenec so nekoč uporabljali za gradnjo in temelje hiš ter za izdelavo podpornih zidov ob cestah.

Med Štorami, Šentjurjem, Ponikvo in Sv. Lovrencem (PAVŠIČ, 2006) je na litotamnijski apnenec odložen badenijski plastnat sivo rumenkast laporni apnenec z moluski in pelagičnimi foraminiferami, poimenovan tudi šentjurski apnenec (BUSER, 1979). Je ekvivalent laškega laporja in vsebuje vmesne plasti kalkarenita in peska. Sedimentacija je potekala v plitvih in zatišnih lagunah ali bolj oddaljenih in globljih deltnih okoljih (ANIČIĆ et al., 2002). Tudi ta skladoviti apnenec ponekod uporabljajo kot gradbeni material.

Zahodno od Ponikve so odloženi pliocenski in pleistocenski glina, prod in pesek. Siva in rjava glina sta uporabni kot lončarski material (GRMEK et al., 1993). Recentna sedimentacija rečnih nanosov poteka v dolinah s potoki.

Širša okolica Ponikve je preprejena s prelomi v smeri SZ-JV. Najizrazitejši je po dolini Cecinjskega potoka potekajoč regionalni Šoštanjski prelom, ki ločuje mehkejšo klastito na severu od trših apnencev na jugu. Z južneje ležečim Celjskim prelomom se združi zahodno od Rogaške Slatine (BUSER, 1979).

Ponikovski kras in vodni viri

Na apnencu je razvit plitvi osameli fluviokras predalpskega hribovja, ki je nastal zaradi delovanja rek in drugih površinskih vodnih tokov (GAMS, 2003). Zakrasevanje je mlad pojav, nastal po eroziji miocenskih sedimentov. Prevladuje slemenasto-dolinasti strukturni relief, ki je posledica delovanja vodnih tokov in geološke sestave ozemlja. Na kraški značaj pokrajine nakazuje že samo ime naselja Ponikva.

Močnejše je zakrasel litotamnijski apnenec (KUNAVER et al., 2007). Na šentjurskem apnencu so tudi razvite značilne kraške oblike. V bližini Ponikve je identificiranih 24 večinoma plitvih skledastih vrtač (GRMEK et al., 1993). Med kraškimi pojavi lahko opazujemo še ponikalnice, kraške izvire, suhe doline in manjše kraške jame. Indikator zakraselosti predstavljajo tudi odlomki kapnikov, ki so jih kmetje trebili iz polj in travnikov ter jih zlagali v groblje (kamnite ograje) na meje ali vgrajevali v hiše. Manjši stalaktiti so opaženi tudi v kaverni v Šmidovem štepihu (slika 2, točka 8), delno zasigana pa naj bi bila tudi kraška jama Vragova luknja. To je suha kraška jama, izoblikovana v šentjurskem apnencu in usmerjena

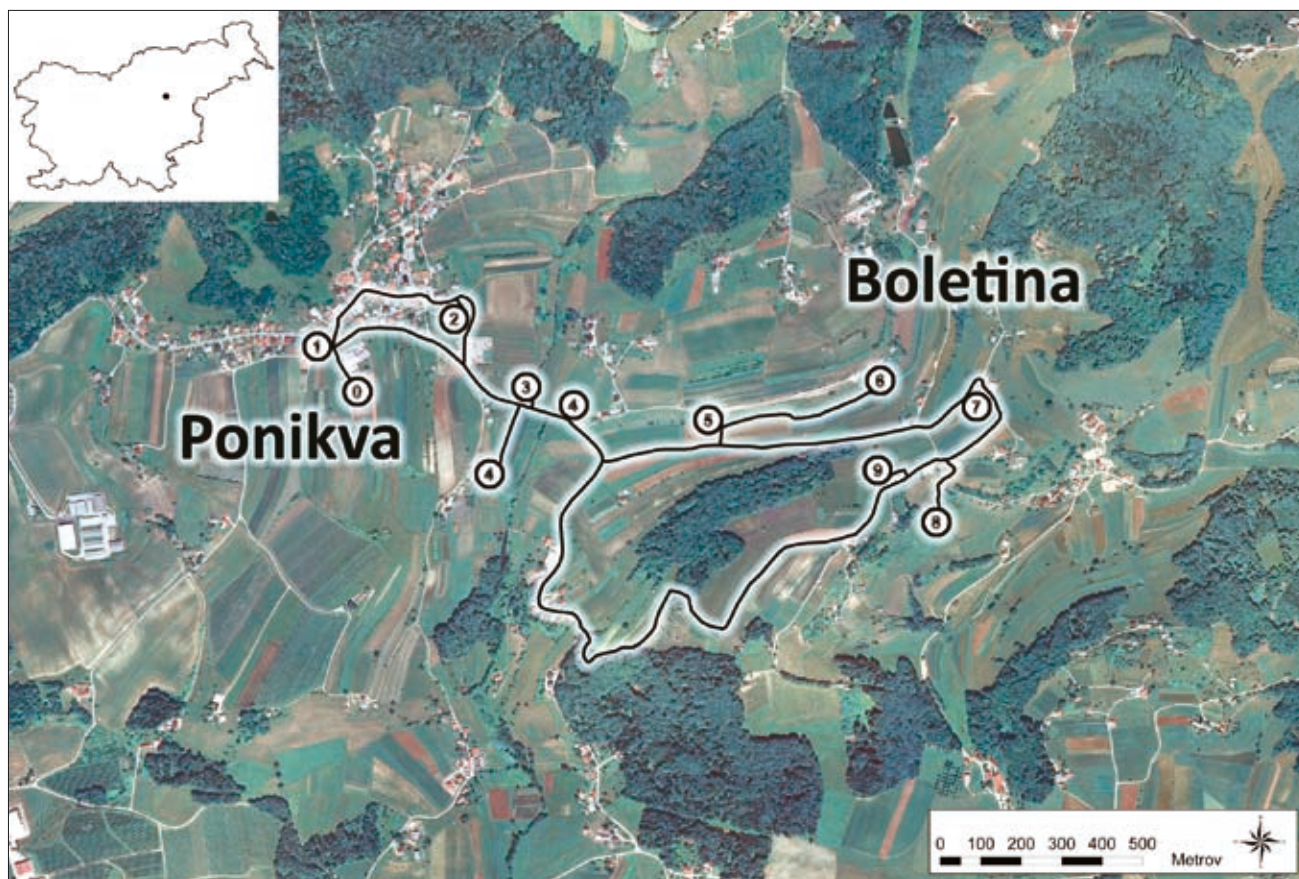
proti jugu. Nahaja se v pobočju severovzhodno od Okroga na nadmorski višini 366 m. Vhod je zasut s smetmi, a po izročilu je dolga okoli 15 m.

Na ponikovskem krasu so razviti odprti vodonosniki s kraško-razpoklinsko poroznostjo in kraškimi izviri (VERBOVŠEK, 1978). Potoki tečejo s severa proti jugu in na zakraselem apnencu poniknejo, s čimer rečne doline preidejo v suhe doline. Sklenjen površinski tok obstoji le na zelo slabo prepustni preperini, ki se kopiči na najnižjih točkah dolin in kotlin.

Podzemna voda na Ponikvi je Ca-HCO_3 tipa, saj raztaplja pretežno apnenec. Je nevtralna do rahlo bazična (pH med 7 in 7,6) ter vsebuje do 290 mg/l raztopljenih snovi (VERBOVŠEK, 1978). Analize ponikalnic Boletinskega in Srževiškega potoka na ponoru in ponovnem izviru ob nizkih vodah marca 1993 kažejo, da so vode zmerno trde (10–13°dH) in z izrazito karbonatno trdoto. Zaradi prevladujoče apnenčaste podlage kalcijeva trdota prevladuje nad magnezijevo (GRMEK et al., 1993).

Stalni površinski tok imata obe Ponkvi (imenovani tudi Selski potok in potok skozi Dole), medtem ko sta Boletinski in Srževiški potok ponikalnici. Boletinski potok izvira na prelomu severno od Boletine. Glavna struga ima majhen strmec, dodatno vodo pa dobi iz zahodnega potočka, ki je vrezal globoko strugo v bližnjo grapo. Ob njegovem izviru so opazni udori zemljine iz katere se izceja voda. Združen tok napaja ribnika pri vasi Boletina ter na stiku s prepustnim apnencem ponikne v Mlakarjevih rupah. Požiralniki so bili prvotno štirje, danes sta dva zasuta (GRMEK et al., 1993; KUNAVER et al., 2007). Prvi je stalno aktiven, medtem ko do nekaj metrov oddaljenega drugega, ki je pogosto zatrpan z različnimi odpadki, voda priteče le ob obilnejšem deževju. Ob visoki vodi spodnji del doline poplavi, medtem ko ima zahodni in hkrati višji del doline značaj suhe obvisle doline. Na njej je eno redkih rastišč velikonočnice (slika 2, točka 5). Voda iz Rup se najverjetneje drenira v kilometer oddaljena kraška izvira ob lokalni cesti (slika 2, točka 4). Zahodni izvir je stalen, vzhodni, ki leži vsaj meter više na pobočju, pa je aktiven le ob visoki vodi. V literaturi je dokaj nejasno, ali se omenjena kraška izvira imenujeta Periša (GRMEK et al., 1993), ali pa to ime pripada stalnemu izviru potoka Meklen pod gričem Sv. Ožbolta (slika 2, točka 4). Slednji ima zavetrno lego v manjši kotanji. Čeprav nima povišane temperature vode glede na okolico, je zaradi njegove izdatnosti verjetno, da pozimi stali snežno odejo in tako omogoči dostop do vode, kar so lahko v preteklosti izrabljale perice.

V Srževici je niz izvirov, a potok kmalu ponikne v požiralnikih jugozahodno od naselja. Po kilometru podzemnega toka izvira v stalnih in občasnih kraških izviri v Tiski, na ozki luski šentjurskega apnenca. Lusko obdaja močno zakrasel litotamnijski apnenec, odložena glina pa je palinološko dokazana kot pleistocenska (VERBOVŠEK, 1978). Potok teče površinsko le okoli 150 m, nato zopet ponikne. Po 750 m podzemeljskega toka izvira kot srednji izvir v Dolah/Okrogu. Povezava je

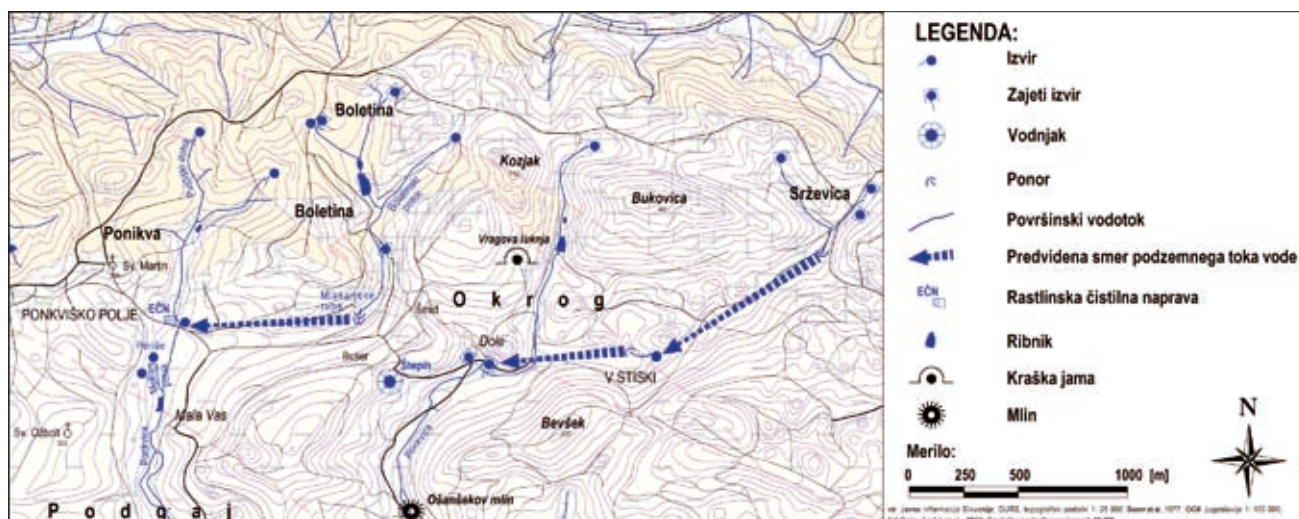


Slika 2. Potek kraške vodne učne poti Stanka Buserja z označenimi informativnimi točkami: 0 – Osnovna šola Blaža Kocena na Ponikvi, 1 – vodno korito, 2 – leseni štepih (vodnjak), 3 – rastlinska čistilna naprava, 4 – kraška izvira ob cesti (severna točka 4) in izvir Periša pod Sv. Ožboltom (južna točka 4), 5 – velikonočnica, 6 – Mlakarjeve rupe v Boletini, 7 – ponikovski kras, 8 – Šmidov štepih, 9 – rojstna hiša Stanka Buserja

bila dokazana z onesnaženjem z gnojnico, ki se je v vodo izlila pri kmetiji Šuc (GRMEK et al., 1993). Poleg tega sta v Dolah zajeta vsaj še dva izdatna izvira, ki se napajata z južnih pobočij Kozjaka in Bukovice ter severnih pobočij Bevska (VERBOVŠEK, 1978). Izviri večinoma ne presahnejo niti ob suši.

Zaradi zakraselega površja je preskrba z ustreznimi viri pitne vode izrednega pomena. V preteklosti so bili v ta namen izdelani mnogi kopani vodnjaki, t.i. štepihi, ki so marsikje še ohranjeni. Na kraški učni poti sta označena dva vodnja-

ka. Manj je znanega o prvem štepihu pri cerkvi Sv. Martina na Ponikvi (slika 2, točka 2), medtem ko ima Šmidov štepih (slika 2, točka 8) burno zgodovino. V tem vodnjaku je na globini 6 m zajet stalni izvir, kamor voda priteka po dnu manjše kaverne. Votlina je ob močnejših nalivih zalita z vodo, drugače pa razmeroma suha. V njej so razviti nekaj centimetrov dolgi stalaktiti. Pod kaverno je vodnjak skopan v globini približno štirih metrov, kar služi shranjevanju dodatnih količin vode za sušna obdobja. Ob močnejših nalivih voda



Slika 3. Karta vodnih tokov na ponikovskem krasu

kali in je začasno nepitna. V času terenskih meritev (april 2009) je imela bistra voda temperaturo 10 °C in elektroprevodnost 470 µS/cm. V 19. in 20. stoletju so Šmidov štepih uporabljali prebivalci petih okoliških hiš, a ob suši ni bilo dovolj vode za vse. Zato so bili pogosto vpleteni v tožbe in prisiljeni sklepati različne pogodbe o uporabi pitne vode (GOLOB et al., 2010).

Ker je kraški svet prekrit le s tanko prepereno ali prstjo, morebitno onesnaženje zelo hitro doseže izvire pitne vode. Zato je pomembno, da je ravnanje z odpadnimi komunalnimi vodami ustrezno, divja odlagališča sanirana ter kmetijske aktivnosti (predvsem gnojenje) zmerne in ob pravem času. Primerno zaščito vodnih virov omogoča tudi učinkovita čistilna naprava. Odpadne komunalne vode na Ponikvi že od leta 1991 čistijo z rastlinsko čistilno napravo (slika 2, točka 3), ki ne predstavlja motečega krajinskega elementa, hkrati pa zadosti potrebi po čiščenju odpadne vode pred izlivom v bližnji potok.

Zaključek

Novi učni poti sledita sodobnim smernicam postavitve informativnih in učnih poti v naravi. Strokovno in vsestransko prikazujeta glavne značilnosti dobro poraščene kmetijske pokrajine, ki se lahko naključnemu opazovalcu zdi manj zanimiva. Zaradi zmerne dolžine nista utrudljivi. Njuna vsebina dopolnjuje in se povezuje z nastajajočo učilnico v naravi v občini Poljčane, s čimer pridobita še dodatno vrednost. Natančnejše informacije o Poti treh znamenitih ponkovskih mož in Kraški vodni učni poti Stanka Buserja so na voljo v informativni knjižici (GOLOB et al., 2010), zloženki in na internetni strani (INTERNETNI VIR 2).

Zahvala

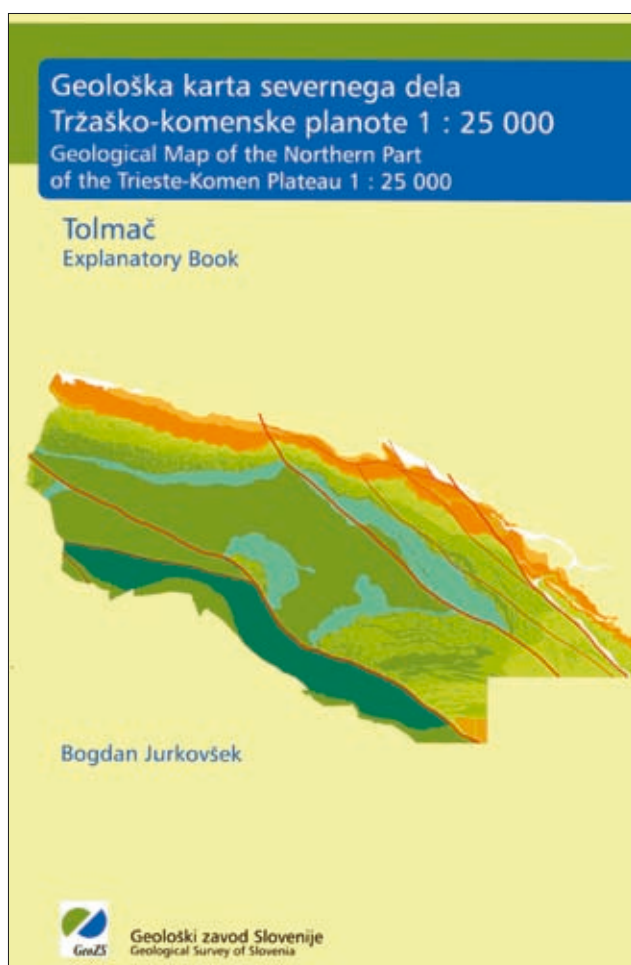
Za pomoč pri pripravi informativnega kartografskega in slikovnega gradiva se zahvaljujem Simonu Mozetiču. Projekt je bil sofinanciran s strani Evropskega kmetijskega sklada, Krajevne skupnosti Ponikva, Občine Šentjur in Turistično olepševalnega društva Ponikva.

Literatura

- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B. & DOZET, S. 2004: Geološka karta Kozjanskega 1: 50.000. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana).
- ANIČIĆ, B., OGORELEC, B., KRALJ, P. & MIŠIČ, M. 2002: Litološke značilnosti terciarnih plasti na Kozjanskem. *Geologija* (Ljubljana) 45/1: 213-246.
- ATLAS SLOVENIJE, 2005: Merilo 1: 50 000, 4. posodobljena izdaja, Mladinska knjiga Ljubljana.
- BUSER, S. 1978: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Celje. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- BUSER, S. 1979: Tolmač za list Celje, Geološka karta SFRJ 1 : 100.000. Zvezni geološki zavod (Beograd):1-72.
- GAMS, I. 2003: Kras v Sloveniji v prostoru in času. Založba ZRC (Ljubljana): 1-516.
- GOLOB, T., VOVK KORŽE, A., KUNAVER, J. & RMAN, N. 2010: Učne poti po Ponikvi: Kraška vodna učna pot Stanka Buserja, Pot treh znamenitih ponkovskih mož. *TOD Ponikva* (Ponikva): 1-27.
- GRMEK, N. & OBROVNIK, M. 1993: Ponikovski kras pri Grobelnem, raziskovalna naloga. Gimnazija Celje-Center (Celje):1-53.
- KROŠL-KUŠČER, N. 1977: Poročilo o geološki prospekciji ozemlja občine Šentjur pri Celju v letu 1976, 3. faza. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana):1-18.
- KUNAVER, J., KOVAČIČ, S. & PAVLOVEC, R. 2007: Ponikva in njena okolica – vodnik ekskurzije Simpozij o Blažu Kocenu. Slovenska matica (Ljubljana):1-10.
- PAVLOVEC, R. 2002: Razmišljanja o slovenskih geoloških poteh. *Geologija* (Ljubljana) 45/2: 475-478.
- PAVŠIČ, J. (ed.) 2006: Geološki terminološki slovar. Založba ZRC (Ljubljana):1-331.
- VERBOVŠEK, R. 1978: Poročilo o raziskovalno-kaptažnih delih pri kraju Okrog (Ponikva) in Mnenje o možnosti zajetja pitne vode v Okrogu (zahodno od Ponikve). Geološki zavod Slovenije (Ljubljana).
- INTERNETNI VIR 1: dostopno 1. 5. 2010 na naslovu <http://www.td-sempeter.si/sl/narava/ponikvanski-kras> http://www.zrsvn.si/sl/informacija.asp?id_informacija=452&id_meta_type=63
- INTERNETNI VIR 2: dostopno 20. 5. 2010 na naslovu <http://www.turizem-sentjur.com/Aktualno/Vabljeni-na-prvi-pohod-po-novoodprtih-poteh-na-Ponikvi.html>

Nove knjige

Bogdan JURKOVŠEK, 2010: **Geološka karta severnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 25.000;**
Tolmač. Geološki zavod Slovenije, 72 str., Ljubljana
(*Geological Map of the Northern Part of the Trieste-Komen Plateau 1 : 25.000; Explanatory Book.*
Geological survey of Slovenia, 72 p., Ljubljana)



Leto in pol po izidu Geološke karte severnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 25.000 je Geološki zavod Slovenije izdal še tolmač h karti, ki je tokrat predstavljen v novi bolj priročni preobleki. Poglavja v tolmaču so podobna kot v tolmačih Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000, ki nedvomno velja za najuspešnejši geološki projekt nekdanje jugoslovanske (in slovenske) geologije. Seveda so bili pri izdelavi nove karte in pisanju tolmača uporabljeni modernejši prijemi in sveže znanje. Geološko kartiranje je namreč kontinuiran proces, ki ni nikoli končan, saj se nenehno pojavljajo nove raziskovalne metode in novi pogledi na zgradbo zemljine notranjosti. Zato je bila že ob prvih razmišljanjih o novi geološki karti, sredi devetdesetih let preteklega stoletja, kot osnova in temeljno izhodišče izpostavljena sekvenčna str-

tigrafija. Za razliko od Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000 je bila pri geoloških kartah nove generacije dana prednost homogenim litološkim enotam, ne glede na njihov kronostratigrafski razpon, seveda ob upoštevanju vseh diskordanc in anomalij znotraj istega litološkega kompleksa. Cilj sodobnega geološkega kartiranja v Sloveniji ni bil več čim hitrejša formalno pokritje države s podrobnejšo geološko karto, temveč vsebinsko reševanje nastanka in razvoja kamnin ter čim boljše razumevanje geološke zgradbe nacionalnega ozemlja. Osnovna poglavja v tolmaču so kljub temu ostala bolj ali manj nespremenjena: od uvoda, geografskega pregleda in dosedanjih raziskav, do opisa litostratigrafskih enot, tektonike in mineralnih surovin. Posebna pozornost je tokrat posvečena povzetku raziskav in diskusiji, v katerem so predstavljeni sodobni pogledi in razmišljanja o paleogeografskem in geotektonskem razvoju ožjega in širšega prostora raziskav.

Tržaško-komenska planota, ki se razprostira v dinarski smeri (severozahod-jugovzhod) nad Tržaškim zalivom na skrajnem severnem koncu Jadranskega morja si prav gotovo zasluži vsestransko geološko obdelavo. Planota je bolj znana pod imenom Kras, ki zaseda med slovenskim kraškimi regijami posebno mesto, saj je po pokrajinskem imenu nastal mednarodni strokovni izraz kras (karst) in bil sprejet skupaj s prvo predstavo o tem kaj je kras: »kamnita pusta goličava z na gosto posejanimi vrtačami«. Krasu v ožjem pomenu pripisujemo le apnenčevo in dolomitno ozemlje, ki ga na zahodu in jugozahodu omejujejo naplavine Soče in fliš ob Tržaškem zalivu, na slovenski strani pa meji na fliš, ki sega iz Vipavske doline do Trsteljskih brd. Na vzhodu se Kras razprostira do fliša Brkinov. Raziskano ozemlje leži na severnem delu Tržaško-komenske planote in je med domačini bolj znano pod imenom Dolenji Kras.

Predzgodovina prostora v katerem so nastajale kamnine današnjega Krasa sega daleč nazaj v začetek mezozoika na epikontinentalni šelf Gondvane, od katere se je šele v srednjem triasu odcepila Jadransko-dinarska karbonatna platforma. Danes so na površini Krasa vidne le tiste plasti, ki so na njej nastajale v kredni periodi in starejšem delu terciarja, torej v času, ki predstavlja bolj ali manj zaključno obdobje tega do 700 km dolgega in več kot 200 km širokega intraoceanskega plitvomorskega prostora. Dokončno so Kras izoblikovale (in ga še vedno oblikujejo) tektonske sile di-

namičnega prostora med Afriško in Evropsko ploščo ter erozija, ki je Krasu dala oblike zaradi katerih se kras tudi drugod po svetu imenuje kras.

Tolmač Geološke karte severnega dela Tržaško-komenske planote 1 : 25.000 so recenzirali ugledni geologi, specialisti za posamezna področja raziskav: akademik prof. dr. Ivan Gušić (stratigrafija in paleontologija kredne periode), prof. dr. Bojan Ogorelec (splošni geološki pregled), mag. Adrijan Košir (kamnine Kraške grupe) in dr. Ladislav Placer (tektonika).

Čeprav geološka karta uporabniku nudi dovolj osnovnih podatkov, predstavlja tolmač nujno dopolnilo, v katerem avtor podrobno razloži svoje kronostratigrafske, biostarigrafske, paleoekološke ali tektonske odločitve, ki jih je upošteval pri izdelavi geološke karte. V tolmaču

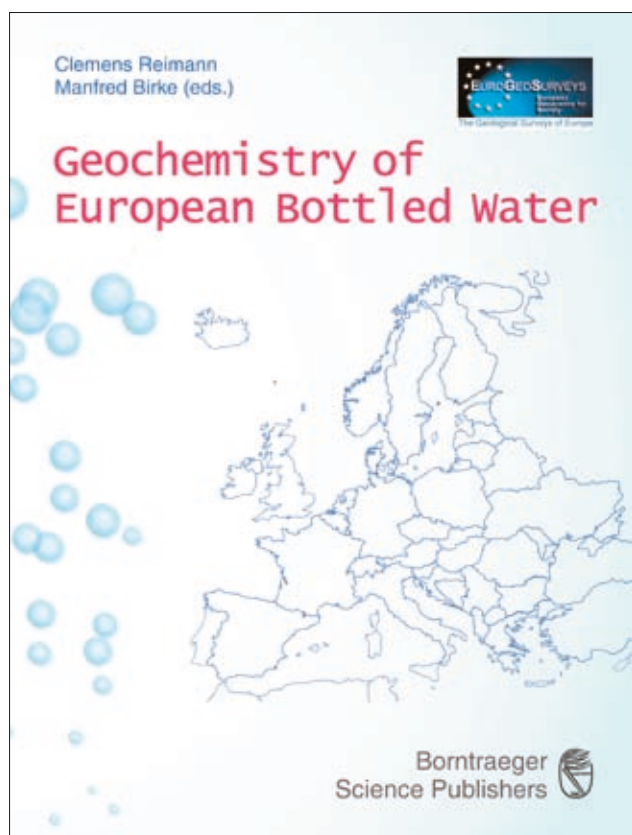
je devet preglednih slik, ki ob besedilu nudijo podrobno geološko sliko raziskanega ozemlja severnega dela Tržaško-komenske planote, torej je uporaben tudi kot samostojna publikacija. Tako geološka karta kot tolmač sta namenjena strokovnjakom različnih profilov, ki se s Krasom srečujejo po svoji službeni dolžnosti, s pridom pa lahko po njem posežejo tudi vsi tisti, ki jih zanima geologija Krasa iz kateregakoli naravoslovnega vidika. Vsi bistveni deli tolmača so enako kot besedila na geološki karti prevedeni v angleški jezik.

Novo sodobno preobleko geološke karte in tolmača, v skupnem ovitku s plastično zaščitno folijo, bodo znali ceniti zlasti uporabniki na terenu, teh pa je običajno največ.

Bogdan Jurkovšek

Urednika: Clemens REIMANN & Manfred BIRKE (80 avtorjev), 2010:

Geochemistry of European Bottled Water, Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, 268 strani.



Jeseni 2010 je pri založbi Borntraeger Science Publishers izšla monografija o geokemiji ustekleničenih vod. Knjiga je rezultat dela geokemične ekspertne skupine geoloških zavodov Evrope (EGS). V projektu »Geokemija ustekleničenih vod Evrope« je sodelovalo tudi nekaj držav izven Evropske skupnosti. Tako so v knjigi zbrani podatki o ustekleničenih vodah iz 40-tih evropskih držav od Portugalske do Rusije. V projektu je bila posebna pozornost posvečena kvaliteti analitike. Analitski podatki so bili izmerjeni v enem

samem hidrokemičnem laboratoriju (BGR – Zvezni geološki zavod Nemčije) z najodobnejšo analitsko tehniko z ultra nizkimi mejami detekcije (ICPMS, ICPOES, IC). Vsi pridobljeni kemični podatki (več kot 70 parametrov) so zbrani na knjigi priloženi zgoščenki. Izmerjeno je bilo 1785 vzorcev ustekleničenih vod, za primerjavo pa še 1247 podzemnih vod iz vrtin in 500 vzorcev vodovodnih voda. Hipoteza projekta je bila, da ustekleničene vode predstavljajo vzorčno sredstvo s katerim je možno oceniti kemijsko stanje oz. karakteristike podzemne vode. Pridobljeni rezultati omogočajo vpogled v porazdelitev raztopljenih zvrsti v ustekleničenih vodah, hkrati pa nakazujejo na nekatere produkcijske procese, ki vplivajo na sliko kemijskega stanja podzemne vode. Proces, ki vpliva na kemijsko stanje – sliko podzemnih voda je veliko. Najpomembnejši dejavniki in procesi so: kemizem padavinskih voda, podnebje, rastlinstvo, tla, interakcije med minerali v vodonosnikih in vodo, hitrost raztapljanja mineralov in zadrževalni čas vode v vodonosnikih in morebitna onesnaženost vodonosnika. Podani rezultati pričakovano nakazujejo, da geološki pogoji v vodonosnikih močno vplivajo na geokemične karakteristike podzemne vode in s tem tudi ustekleničene vode. Tako je bilo ugotovljeno, da so visoke vsebnosti kroma v vodah vezane na ofiolite; berilij, cezij, germanij, kalij, litij in rubidij so povišani na hercinskih granitih. Na območjih bazičnih vulkanskih kamnin pa so ugotovili povišane vrednosti aluminija, arzena, flora in še nekaterih prvin. Pomembna ugotovitev je tudi, da je naravna variabilnost koncentracij zvrsti zelo visoka, pri večini zvrsti tri do štiri velikostne rede, pri nekaterih pa tudi sedem velikostnih redov. V knjigi je podana tudi interpretacija vpliva embalažnega materiala. Tako je prikazan vpliv antimona, ki se izloča iz plastične embalaže in je tako močan, da podatkov o vsebnostih te prvine v ustekleničenih vodah ne

moremo uporabiti za približek ocene sestave podzemne vode.

Knjigo sestavlja 9 poglavij: uvod, hidrogeokemija podzemnih voda, osnovne informacije, uporabljene metode vzorčenja in analitike, nabori podatkov, primerjava kemizma ustekleničenih vod in vodovodnih vod, karte in njihova interpretacija, vplivi na zdravje ter zaključki. Zaradi izjemo dobre geografske zastopanosti obravnavanih ustekleničenih in vodovodnih vod je možno na podlagi teh podatkov sklepati na povprečne geokemične karakteristike podzemnih voda na ravni evropske celine.

V nekaterih obravnavanih ustekleničenih vodah koncentracije posameznih zvrsti presegajo kriterije za pitno in mineralno vodo. To zlasti velja za arzen, barij, fluoride, nitrate, nitrite in se-

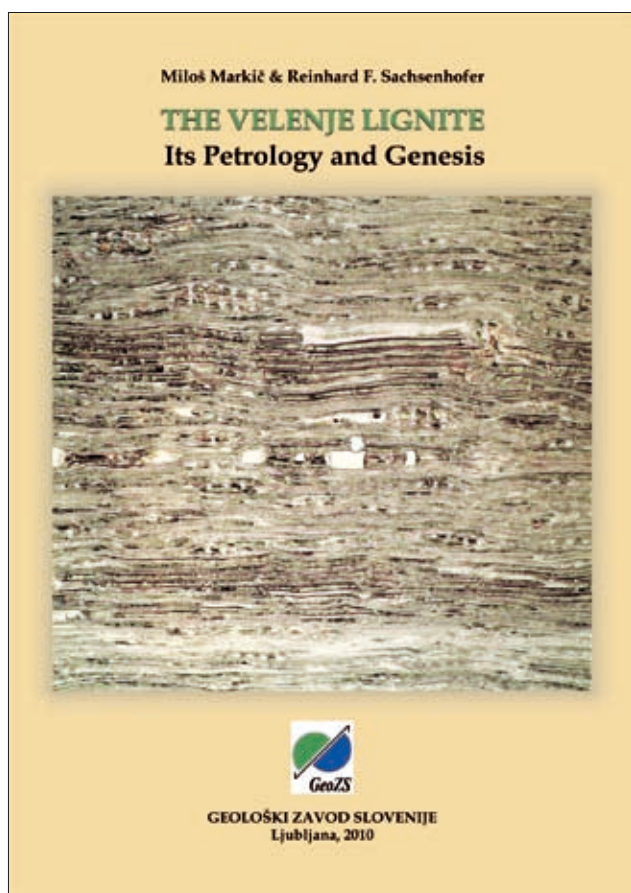
len. Kot kritične so se v nekaterih vodah izkazale tudi koncentracije urana, kar terja skupno ukrepanje na evropski ravni. V splošnem pa velja ugotovitev, da so naravne mineralne vode zelo kvalitetne.

Več o knjigi si lahko preberete na svetovnem spletu (schweizerbart.com/9783443010676).

Istovrstno s knjigo je kot rezultat projekta izšla tudi posebna številka revije *Journal of Geochemical Exploration*, ki je v celoti posvečena ustekleničenim vodam Evrope. V reviji so zbrani prispevki posameznih nacionalnih skupin, ki so sodelovali pri študiji. Z dvema prispevkoma smo sodelovali tudi slovenski hidrogeologi in geokemiki.

*Mateja Gosar
Mihael Brenčič*

Miloš MARKIČ and Reinhard F. SACHSENHOFER, 2010:
The Velenje Lignite – Its Petrology and Genesis. – Geološki zavod Slovenije, 218 strani.



Julija 2010 je Geološki zavod Slovenije izdal monografijo z naslovom »**The Velenje Lignite – Its Petrology and Genesis**«. Avtorja monografije – Miloš Markič z Geološkega zavoda Slovenije in Reinhard F. Sachsenhofer z Montanistične univerze v Leobnu v Avstriji – v tem delu predstavljata rezultate več kot 15-letnega bolj ali manj zveznega proučevanja velenjskega lignita. Velenjski lignitni sloj je pliocenske starosti, je petrološko

heterogen in ima obliko velike leče, ki je dolga dobrih 8 km, široka do 2,2 km in debela povprečno 60 m, v osrednjem južnem območju pa več kot 100 m. S tem predstavlja največje nahajališče premoga v Sloveniji in se v svetovnem merilu uvršča med tako imenovane debele sloje lignitov v tektonsko omejenih medgorskih (intermontanih) bazenih.

Prvi del monografije na kratko spregovori o razvoju premogovništva v Šaleški dolini, poda osnovne podatke o geološki zgradbi obravnavanega območja in samega lignita, ter predstavi pregled dosedanjih raziskav. Največji del monografije obravnava petrografijo lignita ter iz nje izpeljano razlago prvotnih šotiščnih okolij nastajanja lignita ter procesov biokemične karbonizacije oziroma zgodnje diageneze premoške snovi. V monografiji je predstavljena posebej za velenjski lignit izdelana petrografska litotipna klasifikacija. Za litotipe lignitov je značilno, da v njih še jasno vidimo posamezne rjavkaste lesne ali ksilitne kose in koščke, vtopljene v temno maso homogenega rastlinskega drobirja ali detritusa. Litotipnost lignitov torej opisujemo z razmerji med navedenimi sestavinami in jih delimo v ksilitni, ksilodetritni in detritni lignit. V posebnih poglavjih sta obravnavani geokemija velenjskega lignita in opredelitev stopnje karbonizacije. Zaključni in najpomembnejši del monografije je končna diskusija o genezi. V njej so komplementarno upoštevani tudi glavni objavljeni rezultati spremljajočih raziskav v zadnjih 15-ih letih. To so predvsem dognanja s področij palinologije ter organske in izotopske geokemije, ki jih neposredno nista izvedla sama avtorja, temveč njuni kolegi, med njimi zlasti Angela Bruch (Institut und Museum für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen), Achim Bechtel (Montanuniversität Leoben), Jože Pezdič (NTF – Univerza v Ljubljani) in Tjaša Kanduč (Inštitut Jožef Stefan). Zato gre po besedah avtorjev zahvala za

sedanje celovito védenje o petrologiji in genezi velenjskega lignita vsekakor tudi njim.

To pregledno in v nekaterih delih tudi zelo poglobljeno delo o velenjskem lignitu je napisano v angleškem jeziku in predstavlja nekoliko predelano in dopolnjeno doktorsko disertacijo Miloša Markiča (prvega avtorja), kateremu mentorja sta bila univerzitetna profesorja dr. Jože Pezdič in dr. Reinhard F. Sachsenhofer. Delo sta recenzirala prof. dr. Jadran Faganeli in prof. dr. Bojan Ogorelec. Monografija obsega 218 strani. Lažjemu razumevanju besedila so v veliko pomoč številne dobre slike, tabele in grafi. Delo odlikuje tudi izjemno dolg seznam uporabljene literature. Natisnjena je v 200 izvodih, v celoti pa je dostopna v *pdf* obliki tudi na domači spletni strani Geološkega zavoda Slovenije (<http://www.geo-zs.si>).

The monograph entitled »**The Velenje Lignite – Its Petrology and Genesis**« was published by the Geological Survey of Slovenia (Geološki zavod Slovenije) in July 2010. The authors, Miloš Markič from the Geological Survey of Slovenia, and Reinhard F. Sachsenhofer from The Mining University Leoben in Austria (Montanuniversität Leoben – Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik) present in the monograph results of more than 15-years lasting study of this Pliocene lignite embedded in the intermountain Velenje basin, which is located at the junction of the easternmost part of the Southern Calcareous Alps and the Karavanke / Karawanken Mts. in N Slovenia. The lignite seam of a “mega-lens” geometry, 8 km long, up to 2.2 km wide, on average 60 m but in the central southern part more than 100 m thick, represents one of thicker lignite seams worldwide. The seam is exploited 300–450 m underground by a modern mining technology, known as the “Velenje mining method”. The lignite, which provides ca. one third of electric energy produced and used in Slovenia, is medium to low grade by its ash yield and sulphur content. It can be designated as the calcium (moderately) rich lignite, which is a consequence of its evolution from a primary biomass in a relatively alkaline, low-lying, eutrophic to minerotrophic (paleo)geoenvironment considerably influenced by the pre-Tertiary carbonates of the basin's hinterland and the basement. This is a ge-

neral explanation why the Velenje lignite contains mostly 1.5–3 % (db) (extremely up to 5 % (db)) sulphur and why it is more or less well gelified, as well as characterized by trends in contents and ratios of different organo-chemical (biomarker) compounds. Original vegetation environments, giving to the seam a general division into five coal facies units, were identified as wet forest swamps, bush moors and fens, less and less minerotrophic upwards the seam.

The monograph starts with presentation of early geological studies and mining history. It continues with short presentation of the geological setting of the area, of the lignite itself and of the most outstanding geological studies in the last 40 years. The largest part deals with macro- and micro-petrography of the lignite, interpretation of original peat-forming environments and explanation of effects of biochemical coalification process. A special part presents a lithotype classification, which was originally developed for the Velenje lignite. One chapter talks about the coal rank determination and one chapter about the inorganic geochemical characterization. The final part of the monograph is discussion on genesis in which also published results of other than strictly petrological investigations – as especially of palynology, and of organic and isotopic geochemistry – have been taken into account. For these, as the authors say, they are grateful for cooperation especially with the following colleagues: Angela Bruch (Institut und Museum für Geologie und Paläontologie der Universität Tübingen), Achim Bechtel (Montanuniversität Leoben), Jože Pezdič (NTF – Univerza v Ljubljani) and Tjaša Kanduč (Inštitut Jožef Stefan).

The monograph is written in English language. It is a slightly modified and supplemented PhD Thesis work of the first author, mentored by professors Jože Pezdič (University in Ljubljana) and Reinhard F. Sachsenhofer (Mining University Leoben). Final revision was made by professors Jadran Faganeli and Bojan Ogorelec. The monograph comprises 218 pages with numerous figures, tables and graphs, and list of references. Number of copies is 200. The monograph is accessible in the *pdf* format at the home page of the Geological Survey of Slovenia (<http://www.geo-zs.si>).

Mateja Gosar

Poročila

4. Svetovni geotermalni kongres na Baliu (Indonezija) 25.–30. april 2010

Dušan RAJVER

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

V mestu Nusa Dua na otoku Bali se je odvijal 4. Svetovni geotermalni kongres z geslom: »Geothermal: The Energy to Change the World« (»Geotermalna: energija za spremembo sveta«). Bali, ki je pretežno gorat otok vulkanskega izvora, je gosto naseljen, saj na površini 5561 km² živi 3,5 milijona prebivalcev. Svetovni geotermalni kongresi se organizirajo vsakih pet let. Leta 2005 se je odvijal v Turčiji (Antalya), leta 2000 na Japonskem (Beppu in Morioka), prvi pa leta 1995 v Italiji (Firence). Pred letom 1995 so se prav tako odvijali vsakih 5 let Mednarodni simpoziji o razvoju in izkoriščanju geotermalnih virov pod okriljem Združenih narodov. Prvi tovrsten simpozij je bil leta 1970 v Italiji (Pisa). Naslednji simpoziji so postali za svetovno javnost že zanimivejši, saj so sledili prvemu svetovnemu naftnemu šoku leta 1973. Tako je leta 1975 sledil drugi simpozij v San Franciscu. Leta 1980 tovrstnega svetovnega simpozija ni bilo. Leta 1985 in 1990 pa so pod okriljem ameriškega sveta za geotermalne vire (Geothermal Resources Council) organizirali Mednarodni simpozij o geotermalni energiji, obakrat na Havajih.

Tokratni kongres je bil sklican s strani Mednarodnega geotermalnega združenja (IGA) skupaj z Indonezijskim geotermalnim združenjem (INAGA). Kot tretja po vrsti v proizvodnji elektrike iz geotermalne energije in s svojim ogromnim potencialom je Indonezija danes najprimernejša država za predstavitev sodobnega stanja v razvoju in uporabi geotermalne energije. Program kongresa je bil sestavljen iz naslednjih dogodkov: otvoritvena seja, 130 tehničnih sej in zaključna seja s podpisom Balijske deklaracije. Vmes sta bili še dve panelni diskusiji – o mednarodnih naporih o privabljanju investicij za geotermalno energijo in o mednarodnem obetu za podporo geotermalnemu razvoju v Indoneziji. Otvoritve sta se udeležila tudi indonezijski predsednik Susilo Bambang Yudhoyono, ki je kongres odprl s tradicionalnim gongom, in islandski predsednik Olafur Ragnar Grimsson. Oba sta v svojih govorih fascinirala kongres s temeljitim geotermalnim znanjem in jasnovidnimi ugotovitvami. Če geotermalna energija pridobi svetovno podporo, potem bi resnično lahko »spremenila svet«. V primerjavi s kongresom leta 2005 je bil Balijski rekorden v vseh pogledih (tabela 1), saj je bilo udeležencev 2500, referatov pa preko tisoč.

Tabela 1. Statistika zadnjih treh kongresov WGC (World Geothermal Congress)

Kongres	WGC 2000	WGC 2005	WGC 2010
Država	Japonska	Turčija	Indonezija
Kraj	Beppu & Morioka	Antalya	Nusa Dua, Bali
Udeleženci	1700	1350 (od tega 350 sprem. oseb)	2500 (od tega 500 sprem. oseb)
Države	61	80	85
Referati (papers)	670	706	1039
Govorne predstavitve	320	330	650
Posterji	350	376	350
Tehnične seje	64	65	130
Tématike sej	44	26	40
Razstavljanci	54	43	47

Če primerjamo stanje geotermalnega razvoja v obdobju teh treh mejnikov, lahko rečemo, da je bil kongres na Baliu priča ponovnega geotermalnega zagona (tabela 2). Od kongresa WGC 2000 dalje je skupno 78 držav prikazalo oz. poročalo o izkoriščanju geotermalne energije: za proizvodnjo elektrike, za direktno rabo ali oboje (BERTANI, 2010; LUND et al., 2010; VUATAZ, 2010).

Tabela 2. Stanje izkoriščanja geotermalne energije v svetu (BERTANI, 2010; LUND et al., 2010)

leto	2000	2005	2010
Proizvodnja elektrike			
Inštalirana kapaciteta (MW _e)	7972	8933	10716
Proizvedena elektrika (GWh/leto)	49261	55709	67246
Koeficient izkoristka	0,71	0,71	0,72
Število držav	21	23	24
Direktna raba			
Inštalirana kapaciteta (MW _g)	15145	28269	50583
Izkoriščena energija (TJ/leto)	190699	273372	438071
Koeficient izkoristka	0,40	0,31	0,27
Število držav	58	72	78

Glede na število referatov v predlaganih 40 témah med 130 tehničnimi sejami, je zanimivo pogledati, kam so osredotočeni glavni napor (VUATAZ, 2010). Dejansko predstavlja osem od 40 tém točno 50 % vseh referatov Zbornika (tabela 3).

Tabela 3. Najpomembnejše tematike po številu referatov na CD Zborniku (≥ 50 referatov)

Glavne teme	Št. referatov	Št. sej
Geofizika	73	9
Raziskave	71	8
Sedanje stanje izkoriščanja po državah	67	7
Inženiring rezervoarjev	64	9
Geologija	64	7
Geokemija	63	6
Izboljšani geotermalni sistemi (EGS)	61	9
Okoljski in družbeni vidiki	50	7
Skupno	513	62

Izkaže se, da so indirektne in površinske metode (geofizika, geokemija in geologija) še vedno zelo pomembne v raziskavah in upravljanju geotermalnih virov. Številni referati o raziskavah kažejo kako dejavno je iskanje novih virov. Še nikoli ni bilo na kongresu toliko referatov in sej osredotočenih na »Izboljšane geotermalne sisteme« (Enhanced Geothermal Systems). Čeprav so potekali v zadnjih petih letih številni projekti na več celinah, so poglavitne težave, vezane na vrtanje in stimulacijo rezervoarja, nekako zavlekale razvoj te tehnologije. Kot rezultat sta danes v obratovanju le dve majhni pilotni elektrarni (Soultz-sous-Forêts, Francija in Landau, Nemčija), obe se nahajata v Renskem tektonskem jarku.

Med mnogimi zanimivimi in pomembnimi projekti posebej izstopa raziskava za superkritičnimi fluidi, osupljiv islandski globoki vrtni projekt, katerega cilj je izkoriščati superkritični fluid v globini 4–5 km in pri temperaturi 400–600 °C. Pri danem pretoku bi bila količina s takim fluidom proizvedene elektrike dvakrat tolikšna kot jo proizvaja klasično visokotemperaturno geotermalno polje. Po prvem poskusnem vrtanju so morali 2,1 km globoko vrtino na geotermalnem polju Krafla (SV Islandija) na žalost zaustaviti, ko so naleteli na staljeno magmo. Projekt bodo nadaljevali z novimi vrtinami na drugih krajih.

Izkoriščanje geotermalne energije v letu 2010

Številke o proizvodnji elektrike (tabela 2) so precej točne, medtem ko so tiste o direktni rabi manj zanesljive in so mogoče podcenjene do 20 % (LUND & BERTANI, 2010). Avtorji LUND in sodelavci (2010) se zavedajo, da je še vsaj pet držav, ki izkoriščajo geotermalno energijo za neposredno rabo toplote, toda niso poslale poročila za zbornik tega kongresa. Zanimivo je, da je na vsaki pomembni celini razmerje med instalirano močjo geotermalnih elektrarn in proizvedeno elektriko iz le teh približno enako. Obe Ameriki in Azija proizvedejo preko 75 % vse geotermalne elektrike. Glede direktne rabe pa je znatno padlo razmerje instalirane kapacitete glede na izkoriščeno energijo za Ameriko (28,9 % instalirane moči vsega sveta in le 18,4 % izkoriščene energije vsega sveta), kar je posledica visokega deleža geotermalnih toplotnih črpalk z nizkim faktorjem izkoristka za te enote v ZDA in Kanadi.

Proizvodnja električne energije

Električno energijo proizvajajo iz geotermalnih virov v 27 državah, vendar pa so Grčija, Tajska in Argentina zaprle svoje elektrarne zaradi okoljskih in ekonomskih razlogov (zato 24 držav v tabeli 2). Parno-prevladujoči (suha para) vir se lahko izkorišča neposredno, medtem ko se mora vir vroče vode z znižanjem tlaka bliskovito upariti, da se proizvaja para. Nizkotemperaturni viri, na splošno pod 150 °C, zahtevajo uporabo sekundarnega fluida z nizkim vreliščem za ustvarjanje pare, v binarni ali ORC (angl. organic Rankine cycle) elektrarni. Potem ko para zapusti turbino, se navadno uporablja mokri ali suhi hladilni stolp za kondenzacijo pare, da se do skrajnosti poveča temperaturni padec med prihajajočo in odhajajočo paro ter tako poviša učinkovitost delovanja. Svetovna instalirana kapaciteta elektrarn je porazdeljena glede na tip elektrarn takole (BERTANI, 2010): 27 % na suho paro, 41 % na enojno uparitev, 20 % na dvojno uparitev, 11 % binarni / kombinirani cikel / hibridni in 1 % na znižani tlak.

Tabela 4. Vodilne države v proizvodnji elektrike iz geotermalne energije (> 100 MW_e) (BERTANI, 2010)

Država	Instalirana kapaciteta (MW _e)	Delujoča kapaciteta* (MW _e)	Letna proizvedena energija (GWh/yr)	Faktor izkoristka z delujočo kapaciteto	Število delujočih enot elektrarn
ZDA	3093	2024	16603	0,94	209
Filipini	1904	1774	10311	0,66	56
Indonezija	1197	1197	9600	0,92	22
Mehika	958	958	7047	0,84	37
Italija	843	843	5520	0,75	33
Nova Zelandija	628	628	4055	0,74	43
Islandija	575	575	4597	0,91	25
Japonska	536	422	3064	0,83	20
El Salvador	204	192	1422	0,85	7
Kenija	167	167	1430	0,98	10
Kostarika	166	166	1131	0,78	6

* Opomba: nekatere številke o delujoči kapaciteti niso bile dostopne in so torej (predpostavljeno) enake instalirani kapaciteti.

Eden od pomembnejših vidikov razvoja geotermalnih elektrarn je delež njihovega prispevka v nacionalni in regionalni kapaciteti in proizvodnji električne energije določenih držav. Naslednje države ali regije vodijo v tem prispevku z več kot 5 % električne energije iz geotermalne (tabela 5).

Direktno izkoriščanje geotermalnih virov

Neposredna raba geotermalnih virov se primarno odvija za ogrevanje in hlajenje prostorov. Navadno zajema temperature virov pod 150 °C. Glavna prednost izkoriščanja geotermalne energije za projekte direktne rabe v tem nizko do srednje temperaturnem razponu je, da so ti viri bolj razširjeni in obstajajo v vsaj 80 državah v ekonomsko dosegljivih globinah. Tipična oprema za sistem direktne rabe vsebuje: črpalke v vrtini in obtočne črpalke, toplotne izmenjevalce, cevovode

Tabela 5. Nacionalni in regionalni prispevek geotermalne elektrike v celotni proizvodnji električne energije države ali regije

Država ali regija	Delež (%) državne ali regionalne kapacitete (MW _e)	Delež (%) državne ali regionalne energije (GWh/leto)
otok Lahir,		
Papua Nova Gvineja	75	ni dostopno
Tibet	30	30
otok San Miguel, Azori	25	ni dostopno
Toskana, Italija	25	25
Islandija	22	27
El Salvador	15	26
Kenija	12	17
Filipini	12	17
Nikaragva	11	10
Guadalupe (franc. Karibi)	9	9
Kostarika	8	12
Nova Zelandija	6	10

za prenos in porazdelitev termalne vode, opremo za odvzem toplote, vršne in pomožne energetske obrate (običajno na fosilna goriva) za znižanje izrabe geotermalnega fluida in znižanje števila potrebnih vrtin, ter sisteme za odstranitev izrabljenega fluida (reinjekcijske vrtine). Poleg 78 držav, ki so poslale podatke o direktni rabi (6 držav več kot leta 2005), se LUND in sodelavci (2010), ki so obdelali podatke, zavedajo, da so še vsaj 3 države (Malezija, Mozambik, Zambija) z direktno geotermalno rabo, ki pa niso poslale poročila za ta kongres.

Druga znatna sprememba od leta 2005 je velik porast v postavljenih geotermalnih toplotnih črpalkah (geothermal heat pumps-GHP) na vir toplote tal oz. plitvega podzemlja. Sedaj GHP tvorijo največji delež v skupni instalirani kapaciteti direktne rabe (69,7%) in v letni direktni rabi geotermalne energije (49,0%). Skupno število ekvivalentnih 12-kWt postavljenih enot teh toplotnih črpalk (poprečna velikost) je okrog 2.940.000 v 43 državah, največ v ZDA, Kanadi in Evropi, seveda pa so podatki pomanjkljivi (LUND & BERTANI, 2010). Povzetek instalirane kapacitete direktne rabe in letne izkoriščene energije kaže naslednje (brez GHP z 69,7% in 49,0% od skupnega): bazeni v zdraviliščih 43,6% in 48,8%, ogrevanje prostorov 35,1% in 28,2% (daljinsko ogrevanje zajema 85% vsega ogrevanja prostorov), ogrevanje rastlinjakov 10,1% in 10,4%, akvakultura 4,3% in 5,2%, industrijska raba 3,5% in 5,3%, sušenje v kmetijstvu 0,8% in 0,7%, hlajenje in taljenje snega 2,4% in 1,0%, drugo 0,2% in 0,4%.

Glede prispevka geotermalne direktne rabe k nacionalnemu energetskeemu proračunu se dve državi izdvajata: Islandija in Turčija. Na Islandiji geotermalna energija pokriva 89% državnih potreb po ogrevanju prostorov, kar je pomembno, saj je ogrevanje nujna skoraj vse leto, poleg tega pa privarčujejo 100 mil. USD za uvoz goriv. Turčija je povečala svojo instalirano moč v zadnjih petih letih od 1495 MW_t na 2084 MW_t, večinoma za sisteme daljinskega ogrevanja (tabela 6).

Tabela 6. Vodilne države v direktni (iz)rabi geotermalne energije

država	GWh/leto	MW _t	Najvažnejša uporaba
Kitajska	20932	8898	kopanje/daljinsko ogrevanje
ZDA	15710	12611	GHP
Švedska	12585	4460	GHP
Turčija	10247	2084	daljinsko ogrevanje
Japonska	7139	2100	kopanje (t.i. onsen topli izviri)
Norveška	7001	3300	GHP
Islandija	6768	1826	daljinsko ogrevanje
Francija	3592	1345	daljinsko ogrevanje
Nemčija	3546	2485	kopanje/daljinsko ogrevanje
Nizozemska	2972	1410	GHP
Italija	2762	867	zdravilišča/ogrevanje prostorov
Madžarska	2713	655	zdravilišča/rastlinjaki
Nova Zelandija	2654	393	industrijska procesna raba
Kanada	2465	1126	GHP
Švica	2143	1061	GHP

In kje smo glede izkoriščanja geotermalne energije v Sloveniji? Skupna instalirana kapaciteta za direktno rabo pri nas znaša 115,6 MW_t, letna izkoriščena geotermalna energija pa je 1015,1 TJ ali 282 GWh (posodobljeno po RAJVER et al., 2010), vključno z geotermalnimi toplotnimi črpalkami. Prispevek geotermalnih toplotnih črpalk znaša 49,9 MW_t oziroma 243,5 TJ/leto. Različne vrste uporabe zajemajo: individualno ogrevanje prostorov, daljinsko ogrevanje, klimatizacijo/hlajenje, ogrevanje rastlinjakov, kopanje in plavanje z balneologijo ter geotermalne toplotne črpalke.

Obeti geotermalne energije, njeni izzivi in bodoče usmeritve

Porast in razvoj proizvodnje elektrike iz geotermalne energije se je znatno povečal v zadnjih 40 letih, skoraj 11% letno v začetnem delu tega obdobja, nato pa je padel na 3% letno v zadnjih desetih letih zaradi cene konkurenčnih goriv. Direktna raba je ostala pretežno stalna v tem 40-letnem obdobju z 10% letnim porastom. Večina porasta se pripisuje geotermalnim toplotnim črpalkam. Razvoj v bodoče bo vseboval večji poudarek na obratih (elektrarnah) za kombinirano toploto in elektriko, posebno na tistih, ki bodo uporabljale nižje temperaturne fluide do 100°C. Ta nizko-temperaturna kaskadna izraba bo izboljšala ekonomičnost in učinkovitost teh sistemov, kakršni so se izkazali v Nemčiji in Avstriji ter na Aljaski (Chena Hot Springs). Povečano je zanimanje za sušenje kmetijskih pridelkov in zamrzovanje v tropskih podnebjih, kar bo rešilo te pridelke, ki bi se normalno sicer zavrgli. Največji porast bo zajemala instalacija in uporaba GHP, ker se te lahko uporabljajo kjerkoli v svetu, kot se je pokazalo v Švici, v Skandinaviji, v Avstriji, Nemčiji, Kanadi in ZDA.

Čeprav je geotermalna energija dobro uveljavljena med obnovljivimi viri in je geotermalna proizvodnja elektrike še leta 2008 več kot 3-krat pre-

segla tisto iz sončne fotovoltaike (PV), pa je njen porast stalen, vendar počasen. Medtem, ko vetrna in sončna fotovoltaika kažeta eksponenten porast, se kapaciteta geotermalnih elektrarn razvija precej linearno. Do danes postavljene enote delujejo skoraj izključno na hidrotermalnih virih, ki se nahajajo v posebnih geoloških okoljih. Univerzalno razvita tehnologija izboljšanih geotermalnih sistemov (EGS) bi lahko pospešila porast moči geotermalnih elektrarn, čeprav so potrebni znatni napori v raziskavah in razvoju za rešitev še vedno odprtih problemov (RYBACH, 2010). Da bi se univerzalno in globalno izrabili velikanski viri, ki jih predvidoma zajemajo sistemi EGS, se moramo dotakniti zanimivih problemov raziskav in razvoja: 1) razvoj tehnologije za proizvodnjo elektrike in/ali toplote iz v osnovi vsepovsod prisotnega vira, neodvisno od podzemnih pogojev lokacije (»EGS tehnologija«); 2) pridobivanje izkušenj o možnih spremembah v delovanju toplotnega EGS izmenjevalca s časom; 3) povečanje kapacitete EGS elektrarn od sedanjih nekaj MW_e na nekaj 10–100 MW_e. Eden od glavnih bodočih ciljev bo dognati kako naj bi se kapaciteta EGS elektrarn povišala, kajti do sedaj obstajajo samo nekateri teoretični izračuni. V vsakem primeru bo po RYBACHU velikopotezna širitev EGS tehnologije zahtevala znaten čas, predvidoma nekaj desetletij.

Iz Slovenije se je kongresa udeležil le pisec tega članka, ki je predstavil dva posterja (RAJVER et al., 2010; Rman et al., 2010), na eni seji pa je bil rezervni govornik. Pred kongresom se je odvijalo pet kratkih tečajev, kjer so predavali priznani strokovnjaki za geotermalne raziskave in njen razvoj ter izkoriščanje. Prvi štirje so bili v angleščini, peti tečaj pa je bil namenjen le poslušalcem iz Indonezije:

1. Vrtanje, dovršitev in testiranje geotermalnih vrtin (Ungemach, Antics, Hole, Danielsen)
2. Načrt, gradnja in delovanje geotermalnih elektrarn (Campbell, Walenciak)
3. Geotermalne toplotne črpalke (Lund, Anderson, Bjelm)
4. Financiranje geotermalnih projektov (Bloomquist, Quinlivan, Christen)
5. Uvod v geotermalno energijo (Sudarman, Daud, Saptadji).

Pred in po kongresu so bili organizirani tudi trije strokovni izleti. Ti so vodili udeležence po geografsko, geološko in geotermalno zanimivih predelih Jave z obiskom ene od večjih geotermalnih elektrarn, četrti izlet na otok Sulawesi pa je bil odpovedan. Svetovni geotermalni kongres je postal tako v zadnjih 15 letih precej obsežen, na tem kongresu so predavanja namreč potekala v desetih vzporednih sekcijah. Posterska sekcija je bila

umeščena sredi tedna, tako da so bili posterji na ogled skoraj 3 dni.

Organizacijski komite kongresa je vseh pet dni izdajal uradni, dnevni 8-stranski časopis WGC 2010 Daily News, ki je poročal o dogajanju na kongresu, s povzetki zanimivih mnenj prejšnjega dne. V časopisu so bili komentarji posameznih funkcionarjev, bodisi iz vlade, ali iz raziskovalnih ustanov ter univerz ter vodij mednarodnih organizacij, dejavnih v geotermiji. Razstava najbolj znanih razvojnih institucij ter proizvajalcev in serviserjev raziskovalne in proizvodne opreme (za vrtine, cevovode, toplotne postaje, itd.) v geotermalnih raziskavah in razvoju ter izkoriščanju geotermalne energije je potekala prav tako v mednarodnem konvencijskem centru. Kot družabne dogodke lahko izpostavim izjemno prijateljsko dobrodošlico domačinov kongresa, spektakularno Indonezijsko kulturno noč z zanimivimi indonezijskimi plesi (in popestreno z dežjem) v izjemnem okolju kamnitih stolpov in strmih pobočij kraja Lotus Pond & Jendela pod kipom Garuda orla, balijskega božanstva življenja in miru (Garuda Wisnu Kencana) ter nazadnje vroč zaključni večer. Naslednji svetovni geotermalni kongres bo aprila 2015 v Melbournu.

Viri

- BERTANI, R. 2010: Geothermal power generation in the World, 2005-2010 Update Report. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010, 1-41.
- LUND, J. W. & BERTANI, R. 2010: Worldwide geothermal utilization 2010. IGA News No. 80, 7-11.
- LUND, J. W., FREESTON, D. H. & BOYD, T. L. 2010: Direct utilization of geothermal energy 2010 Worldwide review. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010, 1-23.
- RAJVER, D., LAPANJE, A. & RMAN, N. 2010: Geothermal development in Slovenia: Country update report 2005-2009. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010, 1-10.
- RMAN, N., LAPANJE, A. & PRESTOR, J. 2010: Hydrogeological expert basis to water permitting in the low temperature geothermal system in the Mura-Zala basin in the NE Slovenia. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010, 1-5.
- RYBACH, L. 2010: »The Future of Geothermal Energy« and Its Challenges. Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-30 April 2010, 1-4.
- VUATAZ, F.-D. 2010: WGC 2010 in Bali: a Record-Breaking Congress. IGA News No. 80: 5-6.

3. Slovenski geološki kongres v Bovcu 16.–18. september 2010

Nadja ZUPAN HAJNA

Inštitut za raziskovanje Krasa ZRC-SAZU, Titov trg 2, SI-6230 Postojna, Slovenija
zupan@zrc-sazu.si

Znanstvenoraziskovalni center ZRC SAZU (Paleontološki inštitut Ivana Rakovca in Inštitut za raziskovanje krasi) je v sodelovanju s Slovenskim geološkim društvom med 16. in 18. septembrom 2010 organiziral 3. Slovenski geološki kongres v Bovcu. Za srečanje geologov je bil izbran Bovec, predvsem zaradi svoje lege na geološko pestrem in kompleksnem območju, za katerega je v zadnjem času značilna močna potresna dejavnost in proženje raznovrstnih zemeljskih plazov. Bovec se nahaja tudi v neposredni bližini Triglavskega narodnega parka in nad njim se na območju Kanina in Rombona razprostirajo obsežni kraški podi z najglobljimi jamami v Sloveniji.

3. Slovenski geološki kongres v Bovcu je po štirih letih (po prvemu v Črni na Koroškem leta 2002 in drugem v Idriji leta 2006) spet omogočil slovenskim geologom, da se srečajo, predstavijo svoje delo, preverijo kakovost raziskovalnih rezultatov, razpravljajo o novih idejah in o vpetosti v svetovne geološke tokove.

Delo kongresa je bilo razdeljeno na tri nivoje:

- a.) vabljeni predavanja, ki so celovito predstavila geološke značilnosti zgornjega Posočja in Kaninskega pogorja ter problematiko plazov in močne potresne aktivnosti na področju;
- b.) predavanja in posterji; udeleženci so lahko predstavili svoje raziskovalno delo v sekcijah, razvrščenih v dva tematsko neodvisna sklopa: sklopa A – uporabna (aplikativna) geologija ter sklop B – temeljna (bazična) geologija. Vsa predavanja so se odvijala v hotelu Alp in Stergulčevi hiši; ter sklop
- c.) terensko delo v obliki ekskurzij. Ob kongresu smo izdali Zbornik povzetkov predstavitev in ekskurzij ter izdelali spletno stran kongresa.

Predvidene ekskurzije so bile posvečene Geološkim katastrofam in razvoju Bovške kotline v kvartarju (vodja dr. Miloš Bavec); Triglavski narodni park in geologija Trente (vodje: dr. Nadja Zupan Hajna, dr. Metka Petrič in Aleš Zdešar), Mangart (vodje dr. Andrej Šmuc, dr. Špela Goričan in dr. Alenka Eva Črne) in Kras na Kaninskih podih (vodji dr. Franci Gabrovšek in dr. Bojan Otoničar).

Vseh registriranih udeležencev kongresa je bilo 119, z nekaj gosti. Poslušali smo 2 uvodni predavanja (dr. Miloš Bavec »Geološke katastrofe in razvoj Bovške kotline v kvartarju« in dr. Franci Gabrovšek »Kras na Kaninskih podih«), 58 predavanj in si ogledali 24 posterjev. Vseh avtorjev in soavtorjev povzetkov je bilo 178. Prvi cilj kongresa, predstavitev dela, je bil tako uspešno izpeljan.

V četrtek, 16. 9. smo izpeljali popoldansko ekskurzijo Geološke katastrofe in razvoj Bovške kotline v kvartarju z 90 udeleženci. Zaradi izrednih vremenskih razmer v soboto 18. 10. (velike količine padavin (rdeči alarm), plazov in poplav), smo ekskurzijo na Kaninske pode odpovedali, Mangartsko ekskurzijo priredili in jo izvedli samo v spodnjem delu (Log pod Mangartom) ter organizirali obisk rudnika svinca v Rablju in ogled njihovega muzeja (25 udeležencev). Ekskurzijo v Trento smo pa prilagodili razmeram na cesti in terenu (35 udeležencev).

V okviru kongresa smo imeli organizirani tudi dve družabni dejavnosti, to je večer SGD-ja s plesom v četrtek in kongresno večerjo v petek. Veliko smo se družili in pogovarjali, tako, da je bil tudi drugi cilj, druženje in izmenjava informacij, zelo uspešen.

V petek zvečer smo na Skupščini Slovenskega geološkega društva izvolili novega predsednika društva dr. Timoteja Verbovskega in določili organizatorja 4. Slovenskega geološkega kongresa, to je Oddelek za geologijo NTF.

4. Hrvaški geološki kongres v Šibeniku 14.–15. oktober 2010

Vasja MIKUŽ & Aleksander HORVAT

Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana, Slovenija in Paleontološki inštitut Ivana Rakovca ZRC SAZU, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija
e-mail: vasja.mikuz@ntf.uni-lj.si; aleksander.horvat@ntf.uni-lj.si

4. Hrvaški geološki kongres z mednarodnim sodelovanjem so organizirali: Hrvatsko geološko društvo, Hrvatski geološki inštitut, Prirodoslovno-matematiški fakultet in Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu ter INA -

Industrija nafte, d.d. Pokrovitelj kongresa je bil predsednik Republike Hrvaške prof. dr. Ivo Josipović.

Uvodoma so bile izpeljane tri predkongresne ekskurzije. Prva enodnevna s tematiko »Geološka

baština Geoparka Papuk« je bila 10. oktobra, druga tridnevna »Dinaridi: evolucija i recentni geotektonski odnosi (Bosna i Hercegovina, Hrvatska)« se je odvijala od 11. do 13. oktobra in tretja dvodnevna ekskurzija »Geološka ekskurzija kroz hrvatske Dinaride: geologija, hidrogeologija i mineralne sirovine« od 12. do 13. oktobra 2010.

Nekateri slovenski udeleženci kongresa smo se udeležili ekskurzije čez Hrvaško in BiH. V odlično organizirani ekskurziji je prof. dr. Ivan Dragičević (Rudarsko-geološko-naftni fakultet) s sodelavci pripravil pregleden presek čez vse tektonske enote Dinaridov od Savsko-Vardarske cone do Jadransko-Dinarske karbonatne platforme vključno z neogenskimi Dinarskimi sladkovodnimi bazeni (*Dinaric Lake System*). V treh dneh smo si ogledali izbor najbolj tipičnih izdankov v 14 profilih. Med Slovenci so bili največjega navdušenja deležni ofioliti in metamorfno Srednjobosansko skrilavo gorje, saj ekvivalentov teh con v Sloveniji nimamo. Prav tako so bili fascinantni neogenski razvoji dinarskih jezerskih sistemov, predvsem zaradi enormnih debelin in časovnega trajanja teh sistemov ter v sodobnem, interdisciplinarnem pristopu študija sedimentnih zaporedij.

Sam kongres je potekal v Šibeniku 14. in 15. oktobra v »Hotelu Ivan« v sklopu večjega turističnega naselja »Solaris«. V obeh dneh so potekala predavanja in posterske predstavitve. Predavanja so bila v treh dvoranh: »Kornati«, »Krapanj« in »Žirje«. Udeležencev je bilo več kot 300, večinoma domačih, pri katerih je bilo tudi opaziti veliko zamenjavo generacij, saj je bilo med predavatelji zelo malo starejših in že uveljavljenih hrvaških geologov. Med tujimi udeleženci so bili predstavniki Švice, Španije, Nemčije, Avstrije, Madžarske, Bosne in Hercegovine ter Slovenije. Iz Slovenije je pri pisnih izdelkih sodelovalo okrog 27 geologov, ki so imeli deset predavanj in devet posterskih predstavitev. Seveda se nekateri soavtorji prispevkov kongresa niso udeležili.

Kongres se je pričel s tremi vabljenimi predavanji, in sicer J. Mc Kenzie: Linking the Geosphere & Biosphere to Understand Dolomite Formation, M. Frechen: Loess - High Resolution Sediment Archives in Z. Nakić: Zaštita strateških zaliha podzemnih voda Republike Hrvatske.

V četrtek 14. oktobra je bilo v dveh dvoranh izvedenih 35 predavanj in na hodnikih 72 posterskih predstavitev, naslednji dan 15. oktobra pa 48 predavanj in 80 posterskih predstavitev. V obeh dneh skupaj 235 predstavitev, 83 predavanj in 152 posterjev. Vzporedno s predavanji je potekala tudi celodnevna delavnica na temo »Geologists in Europe – the legislative and regulatory framework«, v soorganizaciji Hrvatskog geološkog društva (HGD) in European Federation of Geologists (EFG).

Vsebina predavanj in posterjev je bila strokovno zelo pestra. Če združimo vsebine obeh načinov predstavitve rezultatov raziskovanj ugotavljamo, da je bilo največ hidrogeoloških vsebin. Sledijo sedimentološke, paleontološke, geologije ogljikovodikov, geofizike in seizmologije, geokemije, biostratigrafije, inženirske geologije, mineralogije in petrologije, strukturne geologije, krasoslovja, s področja geološke naravne dediščine, mineralne surovine, geološkega kartiranja, geomorfologije, tektonike, paleoklimatologije, geotermije, paleogeografije, paleomagnetizma, kemostratigrafije in akvakulture.

Organizatorji so skupaj s podpornikom »Ministarstvo znanosti, obrazovanja i športa Republike Hrvatske« in petih sponzorjev izdali dve publikaciji. Prva, »Knjiga sažetaka – Abstracts Book« je objavljena zgolj v elektronski verziji v obliki PDF datoteke in ima 423 strani, druga, »Vodič ekskurzija – Excursion Guide-book« je bogato opremljena in natisnjena knjiga z obsegom 201 strani. Obe sta izšli v Zagrebu 2010.

Po zaključenem kongresu so bile predvidene tri pokongresne ekskurzije: »Razvitak predgornog bazena Dinarida: fliš i molasa sjeverne Dalmacije« (16. in 17. 10.), »Geologija južnog Kornatskog otočja« (16. 10.) in »Prikaz odabranih lokaliteta iz geološkog inženjerstva na području srednje Dalmacije i Like« (17. 10.).

Skupina 5 slovenskih in 7 hrvaških geologov se je udeležila dvodnevne ekskurzije povezane z geološkim razvojem Dinarskega predorogenega (*foreland*) bazena. Pod vodstvom prof. dr. Ljuba Babića (Prirodoslovno-matematički fakultet) smo si v 17 izredno zanimivih profilih med Drnišem in Maslenico ogledali celoten razvoj paleogenskega predorogenega bazena od baze fliša do aluvijalnih konglomeratov v najvišjem delu prominskih plasti. Program je bil odlično koncipiran in ekskurzija je bila prava sedimentološka poslastica.

Organizacijo kongresa in odvijanje kongresnih dejavnosti lahko ocenimo s prav dobro do odlično, saj kakšnih posebnih pomanjkljivosti in spodrsiljav ni bilo. Izvedbo izpeljanih ekskurzij lahko ocenimo s čisto desetko. Morda bi se dalo posterske predstavitve v bodoče izpeljati nekoliko drugače. Večino posterjev si nismo mogli zadostno ogledati, zaradi prehitrih zamenjav posterjev in zaradi obojestranskih panojev v zelo ozkih hodnikih.

V petek 15. oktobra zvečer je bilo še svečano zapiranje kongresa, kjer so se organizatorji najprej zahvalili vsem za udeležbo in skupaj s hrvaškimi udeleženci sprejeli več pobud. Ena izmed predlaganih in bistvenih pobud je bilo skrajšanje obdobja med dvema kongresoma.

Do zdaj so hrvaški geologi imeli kongres vsakih pet let, zdaj je predlog na vsake štiri ali celo tri leta.

4. Hidrogeološki kolokvij Ljubljana 25.11.2009

Mihael BRENČIČ^{1,2}

¹Oddelek za geologijo, NTF, UL, Aškerčeva cesta 12, SI-1000 Ljubljana; e-mail: mihael.brencic@ntf.uni-lj.si

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

Oddelek za geologijo na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani je tudi v letu 2010 v sodelovanju s Slovenskim komitejem mednarodnega združenja hidrogeologov – SKIAH organiziral Hidrogeološki kolokvij. Dogodka se je udeležilo okoli štirideset poslušalcev, med katerimi so močno prevladovali strokovnjaki s področja hidrogeologije. Z udeležbo pa so bili lepo zastopani tudi študentje različnih letnikov študija geologije. Pri tokratnem dogodku smo ponovno sledili izhodiščem, ki smo jih zastavili ob organizaciji prvega hidrogeološkega kolokvija. Namen kolokvija je predstaviti tako rezultate mlajših kolegov, ki so šele stopili na strokovno in znanstveno pot, a so pri tem že pokazali veliko znanja in sposobnosti, kot tudi prepustiti besedo že uveljavljenim slovenskim hidrogeologom. Tudi tokrat smo v svoje vrste povabili kolege iz tujine. Letošnji dogodek je bil v svojem drugem delu posvečen predstavitvi dela Madžarskih hidrogeologov. Žal pa je bilo predavanje »XXL model podzemne vode Panonskega bazena in njegova uporaba za upravljanje s prekomernim sistemom vodonosnikov« Gyorgya Tótha z Madžarskega geološkega zavoda zaradi bolezni odpovedano.

V prvem predavanju z naslovom »Hidrogeološka analiza izvirov v jugovzhodnem predelu Cerkniškega polja« je mlada raziskovalka **Špela Bavec**, ki deluje na Geološkem zavodu Slovenije, predstavila rezultate svojega diplomskega dela. Navkljub temu, da je njeno delo potekalo na območju, ki je v domači in svetovni krasoslovni literaturi podrobno obdelano je z natančnim geološkim in hidrogeološkim kartiranjem prišla do številnih novih spoznanj. V jugozahodnem zatrepnem delu Cerkniškega polja je določila natančno lego preko tridesetih izvirov in določila njihove hidrodinamske značilnosti. Zelo pomemben strokovni prispevek predstavlja tudi njena natančna strukturna litološka karta območja s pomočjo katere je razložila lego izvirov. Njeno delo je nakazalo različna napajalna zaledja posameznih izvirov, tako na območju Javornikov in Loškega polja, kot verjetno tudi Blok. Na podlagi teh rezultatov bo možno načrtovati nadaljnje podrobnejše raziskave, ki ne bodo pomembne le s stališča poznavanja lokalnih razmer, temveč tudi dinamike toka podzemne vode v krasu na sploh.

Drugo predavanje z naslovom »Raziskave termalne vode v severovzhodni Sloveniji« so pri-

pravili sodelavci Geološkega zavoda Slovenije **Andrej Lapanje**, **Nina Rman** in **Dušan Rajver**, ki se v obdobju zadnjih let sistematično ukvarjajo s problematiko geotermalne energije na območju celotne Slovenije, uspelo pa se jim je vključiti tudi v mednarodne projekte, ki so usmerjeni v širši Srednje Evropski prostor. Pri svojem delu na tem področju povezujejo strokovnjake različnih profilov in uspešno integrirajo njihova spoznanja v širšo geotermalno sliko Slovenije. V predavanju so predstavili sistematični pregled globokih geotermalnih vrtin v severovzhodnem delu Slovenije in podali opis njihovega izkoriščanja ter njihove osnovne geološke, hidrogeološke in hidrogeokemične značilnosti. Pomemben del predavanja je predstavljal prikaz novjših spoznanj o stratigrafiji in tektoniki Mursko Zalskega bazena na širšem območju Pomurja. V sklepnem delu predavanja so predstavili še evropske projekte T-Jam in Transenergy, katerih preliminarni rezultati so bili vključeni v predavanje.

Zadnje predavanje je predstavila **Anita Erőss** z Univerze Eötvös Loránd na Madžarskem. V svojem predavanju z naslovom »Razvoj hipogenega krasa s stališča tokovnega sistema na primeru Buda termalnega krasa« je predstavila termalni kras na območju Budimpešte. Orisala je regionalno hidrogeološke značilnosti Buda krasa, ki v evropskem merilu predstavlja največji termalni kraški sistem. Na celotnem območju je preko 120 izvirov s skupnim pretokom več kot 570 l/s. Temperatura vode sega vse do 77 °C. Sledil je prikaz novjših hidrogeoloških in geokemijskih raziskav tega krasa, ki so osredotočene na razvoj hipogenega krasa v južnem predelu sistema in krasa, ki je posledica mešanja plitvih meteornih voda z globljimi termalnimi vodami, v severnem predelu sistema. Raziskave hipogenega krasa predstavljajo zelo aktualno področje raziskav, tako v krasoslovju, kot tudi s stališča naftnega inženirstva in razvoja rezervoarskih kamnin v katerih se lahko nahajajo večje zaloge nafte in plina. To dokazuje tudi dejstvo, da je predstavljene raziskave financirala naftna industrija.

Hidrogeološki kolokvij se je ponovno izkazal za zanimiv dogodek na katerem so bila predstavljena aktualna dognanja s področja hidrogeologije. Intenzivna razprava po vsakem od predavanj pa je pokazala, da so bila predavanja zanimiva, vprašanja, ki so jih odprla pa aktualna in pomembna za razvoj hidrogeološke znanosti.

Navodila avtorjem

GEOLOGIJA objavlja znanstvene in strokovne članke s področja geologije in sorodnih ved. Revija od leta 2000 izhaja dvakrat letno v obsegu 30 avtorskih pol. Vse prispevke recenzirajo domači ali tuji strokovnjaki s področja, ki ga prispevek obravnava. Avtorji so dolžni pisno mnenje recenzentov upoštevati, ter svoje prispevke po potrebi tudi dopolniti.

Avtorstvo: Za izvirnost podatkov, predvsem pa mnenj, idej, sklepov in citirano literaturo so odgovorni avtorji. Z objavo v Geologiji se tudi obvežejo, da ne bodo druge objavili istega prispevka.

Jezik: Članki so lahko napisani v slovenskem ali angleškem jeziku, vsi pa morajo imeti slovenski in angleški izvleček. Za prevod poskrbijo avtorji prispevkov sami.

Vrste prispevkov:

Izvirni znanstveni članek

Izvirni znanstveni članek je samo prva objava originalnih raziskovalnih rezultatov v takšni obliki, da se raziskava lahko ponovi, ugotovitve pa preverijo. Praviloma je organiziran po shemi IMRAD (Introduction, Methods, Results, And Discussion).

Pregledni znanstveni članek

Pregledni znanstveni članek je pregled najnovejših del o določenem predmetnem področju, del posameznega raziskovalca ali skupine raziskovalcev z namenom povzemati, analizirati, evalvirati ali sintetizirati informacije, ki so že bile publicirane. Prinaša nove sinteze, ki vključujejo tudi rezultate lastnega raziskovanja avtorja.

Strokovni članek

Strokovni članek je predstavitev že znanega, s poudarkom na uporabnosti rezultatov izvirnih raziskav in širjenju znanja.

Diskusija in polemika

Prispevek, v katerem avtor ocenjuje ali dokazuje pravilnost nekega dela, objavljenega v Geologiji ali z avtorjem strokovno polemizira.

Recenzija, prikaz knjige

Prispevek, v katerem avtor predstavlja vsebino nove knjige s področja geologije.

Oblika prispevka: Besedilo naj bo napisano na listih formata A4 z dvojnimi presledki, da je dovolj prostora za popravke in pripombe recenzentov. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Prispevki naj praviloma ne bodo daljši od 25 strani formata A4, v kar so vštete tudi slike, tabele in table. Le v izjemnih primerih je možno, ob predhodnem dogovoru z uredništvom, tiskati tudi daljše prispevke.

Prispevke oddajte uredništvu v enem tiskanem izvodu, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki po naslednjem sistemu:

- *Naslov prispevka* (tudi v tujem jeziku)
- *Avtor / avtorji*
- *Ključne besede in Key words*
- *Izvleček in Abstract*
- *Tekst*
- *Literatura*
- *slike, tabele in table*

Naslovi prispevkov naj bodo kratki in naj praviloma ne presegajo 12 besed. Poleg polnega imena in priimka naj podajo avtorji tudi svoj naslov in e-pošto. Vsebine oziroma kazala pri normalno dolgih prispevkih ne objavljamo, zaželene pa niso niti opombe na dnu strani.

Citiranje: V literaturi naj avtorji prispevkov praviloma upoštevajo le tiskane vire. Rokopise naj navajajo le v izjemnih primerih z navedbo, kjer so shranjeni. V seznamu literature navajajte samo v prispevku omenjena dela. Med besedilom prispevka citirajte samo avtorjev priimek z inicialko njegovega imena, v oklepaju pa navajajte letnico izida navedenega dela in po potrebi tudi stran. Če navajate delo dveh avtorjev, izpišite med tekstom prispevka oba priimka (npr. PLENIČAR & BUSER, 1967), pri treh ali več avtorjih

pa napišite samo prvo ime in dodajte et al. z letnico (npr. MLAKAR et al., 1992). Literaturo navajajte po abecednem redu avtorjev.

Imena fosilov (rod in vrsto) pa naj pišejo poševno. Pri citiranju rodov in vrst oziroma višjih taksonomskih enotah se imena avtorjev le teh pišejo normalno, npr. *Apricardia pachiniana* Sirna.

Primeri citiranja članka:

MALI, N., URBANC, J. & LEIS, A. 2007: Tracing of water movement through the unsaturated zone of a coarse gravel aquifer by means of dye and deuterated water. *Environ. Geol.*, (Berlin) 51/8: 1401–1412.

PLENIČAR, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest–Komen Plateau). *Geologija* (Ljubljana) 35: 65–68.

TURNŠEK, D. & DROBNE, K. 1998: Paleocene corals from the northern Adriatic platform. In: HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (eds.): *Paleogene Shallow Benthos of the Tethys*. Dela SAZU, IV. Razreda (Ljubljana) 34 (2): 129–154, incl. 10 pls.

Primer citirane knjige:

FLÜGEL, E. 2004: *Mikrofacies of Carbonate Rocks*. Springer Verlag (Berlin): 1–976, cd-rom.

JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. 1996: *Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote – Kredne in paleogenske kamnine 1 : 50.000*. [Geological map of the southern part of the Trieste–Komen plateau – Cretaceous and Paleogene carbonate rocks]. Geološki zavod Slovenije (Ljubljana): 1–143, incl. 23 pls, 1 geol. map.

Slike, tabele in table: Slike (ilustracije in fotografije), tabele in table morajo biti zaporedno oštevilčene in označene kot sl. 1, sl. 2 itd., narejene v računalniškem programu (MS Excel, Word ali CorelDRAW), oddane v formatu TIFF, JPG ali EPS z ločljivostjo 300 dpi. Le izjemno je možno objaviti tudi barvne slike, vendar samo po predhodnem dogovoru z uredništvom. Obvezno je treba upoštevati zrcalo revije **172 x 259 mm**. Revija bo od leta 2008 po sklepu uredniškega odbora pričela izhajati v A4 formatu z dvokolonskim tiskom. Večjih formatov od omenjenega zrcala GEOLOGIJE ne tiskamo na zgib, je pa možno, da večje oziroma daljše slike natisnemo na dveh straneh (skupaj na levi in desni strani) z vmesnim »rezom«. Slike obeležite s številkami. V besedilu prispevka morate omeniti vsako sliko po številčnem vrstnem redu. Dovoljenja za objavo slikovnega gradiva iz drugih revij publikacij in knjig si pridobijo avtorji sami. Table pripravite v formatu zrcala naše revije.

Podnaslove k slikam, tabelam in tablam, ki morajo biti napisani v obeh jezikih, avtorji priložijo na posebnih listih enega pod drugim. Zato teh podnaslovov ne pišete med besedilom prispevka. Podnaslovi naj bodo po možnosti čim krajši.

Korekture: Te opravijo avtorji prispevkov, ki pa lahko popravijo samo tiskarske napake. Krajši dodatki ali spremembe pri korekturah so možne samo na avtorjeve stroške.

Pošiljanje prispevkov: Uredništvo sprejema prispevke do vključno 1. marca za prvo številko in najkasneje do 1. septembra za drugo številko v tekočem letu in se obveže, da bodo le-ti tiskani v tekočem letu, v kolikor bodo avtorji upoštevali pripombe recenzentov.

Avtorji prejmejo 25 separatov brezplačno, sicer pa so prispevki dostopni tudi na internetnih straneh

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

Avtorje prosimo, da prispevke pošiljajo na naslov uredništva:

GEOLOGIJA

Geološki zavod Slovenije

Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana ali urednik@geologija-revija.si

Uredništvo Geologije

Instructions for contributors

GEOLOGIJA publishes research and professional papers covering all aspects of geology and related sciences. The journal is issued from 2000 on twice a year in an extent of 30 authorial sheets (240 printed pages). All contributions are reviewed by Slovenian or foreign experts from the field treated by the paper. Authors are obliged to take into account their written reviews, and complete accordingly the contribution, if necessary.

Authorship: Authors are responsible for the originality of data, and especially for opinions, ideas, conclusions and the cited references. By publishing in *Geologija*, they are in addition obliged not to publish the same contribution elsewhere.

Language: Papers may be written in Slovenian or English, and all must contain an abstract in Slovenian and in English. The translation is at care of the authors.

Kinds of contributions:

Original scientific article

An original scientific article is only the first publication of original research results in such a form that the research could be repeated and the findings verified. As a rule it should be organized according to the IMRAD scheme (Introduction, Methods, Results, And Discussion).

Review scientific article

A review scientific article is a review of the latest works on a given field, of works of an individual researcher, or of a research group with the aim of summarizing, analyzing, evaluating or synthesizing the already published informations. It contains new syntheses that include also results of the author's own research.

Professional article

A professional article is a presentation of already known material with emphasis on the use of results of original research and on the propagation of knowledge.

Discussion and polemics

A contribution in which the author evaluates or demonstrates the correctness of a contribution that was published in *Geologija*, or in which he/she competently polemizes with the author.

Book review

A contribution in which the contents of a book from the field of geology are presented.

Format of contribution: The manuscript should be written on A4 size pages with double spacing to allow enough space for corrections and comments of reviewers. The contribution should be preferably edited on a Microsoft Word word processor. As a rule contributions should not be longer than 25 A4 size pages comprising also figures, tables and plates. Longer contributions can be submitted only exceptionally after a previous agreement with the Editor.

Contributions should be submitted to the Editorial Board in a hard copy including all figures and tables, and in an identical copy in electronic form according to the following system:

- Title of contribution (also in foreign language)
- Author/s
- Key words
- Abstract
- Text
- References
- Figures, tables and plates

Titles of contributions should be short, as a rule not longer than 12 words. In addition to their full given name and surname the authors should indicate also their address and electronic mail address. Tables of contents with normal sized contributions are not published, and also footnotes are discouraged.

Referencing: References should contain as a rule only printed sources. Manuscript sources could be cited only exceptionally with the information on where they are available. The references cited in the text should be given in the reference list and vice versa. In the text only the surname of the author(s) with initial of the name should be cited, followed in parentheses by the year of publication and, if necessary, also the page. When citing a publication by two authors, in the text both authors' surnames should be given (e.g. PLENIČAR & BUSER, 1967), and

in case of three and more authors only the first author's surname followed by et al. and the year (e.g. MLAKAR et al., 1992). The reference list should be arranged in alphabetical order of first authors. Names of fossils (genus and species) should be italicised. Authors' names in citing fossils should be written in normal type, e.g. *Apricardia pachiniana* Sirna.

References cited should follow the examples shown below:

MALI, N., URBANC, J. & LEIS, A. 2007: Tracing of water movement through the unsaturated zone of a coarse gravel aquifer by means of dye and deuterated water. *Environ. Geol.*, (Berlin) 51/8: 1401–1412.

PLENIČAR, M. 1993: *Apricardia pachiniana* Sirna from lower part of Liburnian beds at Divača (Triest–Komen Plateau). *Geologija* (Ljubljana) 35: 65–68.

TURNŠEK, D. & DROBNE, K. 1998: Paleocene corals from the northern Adriatic platform. In: HOTTINGER, L. & DROBNE, K. (eds.): *Paleogene Shallow Benthos of the Tethys*. Dela SAZU, IV. Razreda (Ljubljana) 34 (2): 129–154, incl. 10 pls.

Examples of book references:

FLÜGEL, E. 2004: *Mikrofacies of Carbonate Rocks*. Springer Verlag (Berlin): 1–976, cd-rom.

JURKOVŠEK, B., TOMAN, M., OGORELEC, B., ŠRIBAR, L., DROBNE, K., POLJAK, M. & ŠRIBAR, Lj. 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-komenske planote – Kredne in paleogenske kamnine 1 : 50.000. [Geological map of the southern part of the Trieste–Komen plateau – Cretaceous and Paleogene carbonate rocks]. *Geološki zavod Slovenije* (Ljubljana): 1–143, incl. 23 pls, 1 geol. map.

Figures, Tables and Plates: Figures (illustrations and photographs), tables and plates should be numbered consecutively and marked as fig. 1, fig. 2. etc. They should be produced with a suitable computer program (MS Excel, Word, CorelDraw the like), and submitted digitally in the TIFF, JPG or EPS format with 300 dpi resolution. Color figures could be published only exceptionally, and in prior arrangement with the Editor. The 172 x 259 mm journal page format must be obligatorily considered. According to the decision of Editorial Board from 2008 on the journal is being printed in two columns on an A4 page size. Figures on folding leafs of sizes larger than the mentioned GEOLOGIJA page size will not be printed, but figures larger or longer than that may be printed on two pages (on left and on right page) with a cut inbetween. Figures shall be marked by numbers. In the text each figure should be mentioned in the proper numerical order. Permissions for publishing pictorial material from other journals, publications and books should be arranged by the authors. Plates should be prepared in the journal's page size format.

Captions to figures, tables and plates, written in both languages, are supplied by author on separate pages and listed one below the other. Please, do not write captions in the text of the contribution. If possible, captions should be concise.

Proofreading: Page proofs should be read by the authors, but they ought to correct only printing errors. Shorter additions or modifications are possible only at the author's expense.

Offprints. Authors will receive 25 offprints free. The contributions are accessible also on the web-site <http://www.geologija-revija.si>.

Submitting of contributions: Editorial board is accepting the contributions to 1st March for the first issue, and to 1st September for the second issue of the year, and guarantees to publish them in the given year, provided they consider the reviewers' observations.

Authors are asked to send their contributions to the mail address:

GEOLOGIJA
Geološki zavod Slovenije
Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana
or to the electronic address:
urednik@geologija-revija.si

