

SLOVENSKÝ KRAS

ACTA CARSOLOGICA SLOVACA

ROČNÍK 55
ČÍSLO 2



2017

Liptovský Mikuláš

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA

Vedecký karsologický a speleologický časopis

Časopis vychádza dvakrát ročne

Evidenčné číslo: EV 3878/09

ISSN 0560-3137



Environmentálny fond

Tento projekt bol finančne podporený Environmentálnym fondom MŽP SR

Editor / Editor

doc. RNDr. Pavel Bella, PhD.

Výkonný redaktor / Executive Editor

Ing. Peter Holúbek

Redakčná rada / Editorial Board

Predseda / Chairman

doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc.

Členovia / Members

doc. RNDr. Pavel Bella, PhD., prof. RNDr. Pavel Bosák, DrSc., RNDr. Václav Cílek, CSc., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., Dr. hab. Michał Gradziński, Ing. Jozef Hlaváč, Ing. Peter Holúbek, doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc., RNDr. Vladimír Košel, CSc., doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., acad. prof. Dr. Andrej Kranjc, RNDr. Alexander Lačný, PhD., RNDr. Peter Malík, CSc., doc. Mgr. Martin Sabol, PhD., PhDr. Marián Soják, PhD., prof. Ing. Michal Zacharov, CSc.

Recenzenti / Reviewers

prof. RNDr. Pavel Bosák, DrSc., doc. Mgr. Peter Fendža, PhD., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., doc. RNDr. Zdenko Hochmuth, CSc., Mgr. Csaba Tóth, PhD., doc. Mgr. Martin Sabol, PhD., doc. RNDr. Ján Soták, DrSc., Ing. Ján Tulis

OBSAH – CONTENTS

ŠTÚDIE A VEDECKÉ SPRÁVY – SCIENTIFIC PAPERS

Pavel Bella:

Morfostratigrafia a rekonštrukcia vývoja jaskýň

The morphostratigraphy and reconstruction of cave evolution 133

Ludovít Gaál, Jozef Michalík:

Stredotriasové vápence v jaskyni Okno (Demänovská dolina, Nízke Tatry): Litológia a faciálne typy

Middle Triassic limestones in the Okno Cave (Demänovská dolina Valley, Low Tatras): lithology and facies types 145

Katarína Gregorová, Jaroslav Lexa:

Genéza a klasifikácia jaskyne v ryolitovom lávovom telese Kapitúlské bralá, Štiavnické vrchy

The genesis and classification of the cave in the Kapitúlské bralá Cliffs rhyolite lava dome, Štiavnické vrchy Mts 155

Monika Orvošová, Anna Ďurišová, Rastislav Milovský:

Zub mamuta srstnatého *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) a kryogénne kalcity z Čachtickej jaskyne (Malé Karpaty, Slovensko)

The tooth of the woolly mammoth Mammuthus primigenius (Blumenbach, 1799) and cryogenic calcites from the Čachtická jaskyňa Cave (Malé Karpaty Mts., Slovakia) 167

Jozef Psočka:

Prievanová diera (Plešivská planina, Slovenský kras)

Prievanová diera Cave (Plešivská planina Plateau, Slovak Karst) 183

František Mihál, Peter Holúbek:

Jaskyňa Vajsova šanca v masíve Šiance pri Vernári v NP Slovenský raj

The Vajsova šanca Cave in the massif of Šiance near Vernár Village, Slovak Paradise National Park 193

Zuzana Višňovská, Vladimír Papáč, Lubomír Kováč, Andrej Mock, Vladimír Košel, Andrea Parimuchová, Peter Luptáčik:

Spoločenstvá bezstavovcov (Evertebrata) jaskyne Zápoľná (Kozie chrbty)

Invertebrates of the Zápoľná Cave, Kozie chrbty Mts, Slovakia 203

Milan Seman, Barbora Gaálová, Agáta Dršková, Martin Krsek, Renáta Fláková:

Determinovanie mikrobioty mäkkého sintra jaskyne Sokolová v Jánskej doline (Nízke Tatry)
Moonmilk microbiota determination of Sokolová Cave in Jánska dolina Valley, the Low Tatras, Slovakia 221

Ján Lakota:

Biospeleologický prieskum pohoria Biokovo v Chorvátsku – od prvopočiatkov až po súčasnosť: Slovensko-chorvátska expedícia „Biokovo 2014“

The biospeleological research of the Biokovo Mts. in Croatia – from the beginning to the present time: Slovak-Croatian expedition “Biokovo 2014” 243

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	133 – 143	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

ŠTÚDIE A VEDECKÉ SPRÁVY – SCIENTIFIC PAPERS

MORFOSTRATIGRAFIA A REKONŠTRUKCIA VÝVOJA JASKÝŇ

PAVEL BELLA

Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš;
pavel.bella@ssj.sk
Katedra geografie, Pedagogická fakulta, Katolícka univerzita, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok;
Pavel.Bella@ku.sk

P. Bella: The morphostratigraphy and reconstruction of cave evolution

Abstract: Several caves are featured by a complicated more-phased development. During cave research focused on the recognition and ordering of speleogenetic phases, basic principles from stratigraphy in geology or morphostratigraphy in geomorphology can be applied and modified. For the reconstruction of cave evolution, these morphostratigraphical principles concerning to relative dating are used: (1) the decreasing evolution sequence of morphological shapes, (2) the ascending evolution sequence of morphological shapes, (3) the cross-cutting relationships of morphological shapes. The principle of the decreasing evolution succession of morphological shapes states that younger shapes lie under older ones (the succession resulted from the normal development of cave passages and levels), i. e. the gradual development of the forms of cave georelief runs from above downwards. The principle of the ascending evolution succession of morphological shapes declares that younger shapes lie above older ones (the succession resulted from the paragenetic development of cave passages and levels), i. e. the gradual development of the forms of cave georelief runs from down upwards (the analogy with the law of superposition of rock layers within the normal layering). The principle of the cross-cutting relationships of morphological shapes states that older forms are intersected or cut off by younger shapes (the analogy to the rule of geological structures, by which older structure is penetrated by younger structure).

Key words: karst geomorphology, cave morphology, speleorelief, evolution sequence, cave level, superposition, cross-cutting relationship, relative age, methodology, more-phased speleogenesis

ÚVOD

Mnohé jaskyne pozostávajú z nerovnako starých chodieb, siení alebo dómov. Postupnému vývoju mnohých chodieb, siení či dómov zodpovedajú nerovnako staré morfológické tvary (menšie mladšie tvary sú zahĺbené do väčších starších tvarov, resp. väčšie mladšie tvary zrezávajú menšie staršie tvary). Preto rekonštrukcia vývoja týchto jaskýň si vyžaduje skúmať morfostratigrafické vzťahy (vývojové sekvencie jaskynného georeliéfu), ktoré odrážajú relatívny vek základných častí jaskyne (postupnosť vývoja jednotlivých chodieb a dotváranie jaskyne ako celku) alebo menších morfológických tvarov v rámci chodieb vzhľadom na ich viacfázový vývoj.

Keďže táto dôležitá problematika sa doteraz súborne neriešila a neprezentovala, predložený príspevok podáva základný prehľad zákonitostí a pravidiel týkajúcich sa morfostratigrafie jaskynného georeliéfu (speleoreliéfu), od čoho závisí riešenie mnohých problémov vývoja jaskýň alebo ich častí.

STRATIGRAFIA A MORFOSTRATIGRAFIA

Stratigrafia je oblasť geológie, ktorá skúma vrstvy hornín (*strata*) a ich zvrstvenie (*stratification*). Primárne sa využíva pri výskume sedimentárnych a zvrstvených vulkanických hornín (Mišík et al., 1984; Michalík et al., 2007 a ďalší). Delí sa na litologickú stratigrafiu (litostratigrafia), biologickú stratigrafiu (biostratigrafia), chronostratigrafiu a sekvenčnú stratigrafiu.

Keďže niektoré telesá sedimentov možno primárne identifikovať z povrchového tvaru georeliéfu, v kvartérnej geológii sa ďalej definovala morfostratigrafia (Frye a Willman, 1962). Morfostratigrafické jednotky zahrnujú nielen tvar určitej formy georeliéfu, ale včleňujú aj litológiu sedimentu, z ktorého je táto forma reliéfu vytvorená (Bowen, 1978). Pri ich vyčleňovaní sa používajú morfológické i litologické kritériá.

Podľa Mangeruda et al. (1974) však v niektorých prípadoch možno geologickú udalosť vhodne, resp. dostatočne klasifikovať na základe zodpovedajúcej povrchovej formy georeliéfu (morfológické kritérium), ktorá pri tejto udalosti vznikla. Ďalej podotýka, že v tradičnej stratigrafii sú mladšie jednotky uložené vo vertikálnych sekvenciách nad staršími jednotkami, kým v morfostratigrafii mladšie jednotky sa častokrát vyskytujú v laterálnych sekvenciách a nižších polohách ako staršie jednotky.

Vzhľadom na pretrvávajúcu terminologickú nejednotnosť a rozdielnosti definovania morfostratigrafických a tradičných stratigrafických jednotiek Hughes et al. (2005) zaviedli termín „morfolitostratigrafia“ s cieľom jednoznačne určiť kombinované použitie morfostratigrafie a litostratigrafie (na príklade rozlišovania a zaraďovania glaciálnych sedimentov v horských oblastiach). S cieľom rozlíšiť rozsah sedimentárnych sukcesí (glaciálne sedimenty tvoriace morény, fluviálne sedimenty uložené na riečnych terasách a nivách, jazerné sedimenty a pod.) sa morfolitostratigrafia detailnejšie rozpracovala v kvartérnych vedách a je dôležitou zložkou geomorfológie (Hughes, 2007, 2010).

Geomorfológia na rozlišovanie a zoradenie tvarov georeliéfu a prislúchajúcich sedimentov využíva kombináciu morfológických a litologických kritérií (Hughes, 2010). Morfostratigrafia predovšetkým súvisí so stratigrafickou klasifikáciou geomorfologických foriem. Princípy stratigrafie sa uplatňujú na geomorfologické formy, ktoré sú umiestnené v chronologickom poradí od starších po mladšie.

Tradičné stratigrafické pravidlá z geológie (princíp superpozície) sa využívajú aj pri sedimentologickom výskume súvrství jaskynných sedimentov alebo zložitejšej geologickej stavby jaskýň s výnimkou tzv. sendvičovej štruktúry (Osborne, 1984). Morfostratigrafický princíp možno aplikovať a využiť pri skúmaní viacgeneračných morfológických tvarov v jaskyniach (v rámci viacerých veľkostných dimenzií jaskynného georeliéfu), t. j. pri rekonštrukcii vývoja jaskýň. Skúmanie morfostratigrafických vzťahov a vývojových sekvencií medzi jednotlivými formami speleoreliéfu je dôležitým metodickým postupom rekonštrukcie postupnosti vývoja jaskýň vrátane určenia relatívneho veku morfológických tvarov a posúdenia vývojových súvislostí s povrchovými formami georeliéfu okolitých území.

DOTERAJŠIE SPELEOGENETICKÉ PRÍSTUPY SÚVISIACE S MORFOSTRATIGRAFIU

V doterajšej speleologickej literatúre sa opisujú niektoré morfostratigrafické zákonitosti vývoja jaskýň (najmä pri určovaní postupnosti vývoja jaskynných úrovní) a ich častí (postupnosť vývoja jaskynných chodieb alebo vybraných morfológických tvarov v rámci chodieb), avšak terminologicky sa morfostratigrafia používa iba ojedinele.

Princíp morfostratigrafie sa uplatnil najmä pri rekonštrukcii vývoja jaskynných úrovní, ktoré sú zoskupené v rozdielnych výškových polohách nad sebou (u nás, resp. v bývalom Československu sa touto problematikou zaoberali Droppa, 1963, 1966, 1972; Štelcl, 1963; Panoš, 1964 a mnohí ďalší; súborný prehľad problematiky výskumu jaskynných úrovní na Slovensku podáva Bella, 2016). Jaskynné úrovne sa postupne vytvárali v obdobiach, keď na povrchu bola relatívne stabilná erózna báza (počas dlhodobého tektonického pokoja alebo dlhodobo stabilizovaného vývoja dna dolín). Postupný vývoj riečne modelovaných jaskýň alebo ich častí (odhora nadol alebo odspodu nahor) prebieha v nadväznosti na: (a) zmenu eróznej bázy na povrchu pri výverovej časti jaskyne, resp. jaskynného systému (tektonický výzdvih, agradácia povrchového riečiska); (b) klimatické zmeny spôsobujúce zmenu, resp. prevahu eróznej alebo kumuláčnej činnosti vodných tokov; (c) lokálnu zmenu hladiny podzemnej vody (napriepustný litologický prah, upchanie chodby naplavenými sedimentmi, bariéra po rútení a pod.).

Morfostratigrafický prístup umožnil rekonštruovať vývoj chodby jaskynnej úrovne alebo iných parciálnych častí jaskýň. Tulis a Novotný (1989) interpretujú a charakterizujú superpozíciu sedimentov a morfológických tvarov v Stratenskej jaskyni. Pritom na príklade viacerých priečných profilov chodieb rekonštruujú postupnosť vývoja morfológických tvarov v súvislosti s usadzovaním jednotlivých súvrství sedimentov (uplatnenie morfológického i litologického kritéria). Ak sa vrstvy sedimentov priamo nestýkajú a ich depozícia je oddelená, relatívne vekové vzťahy riečnych štrkov určili na základe morfológickej pozície ich uloženia. Podobne určili aj relatívne vekové vzťahy sedimentov rôznej provenencie a pôvodu v súvislosti s morfológiou podzemných priestorov. S morfostratigrafiou súvisia aj interpretácie ďalších prípadov viacfázovej speleogenézy, napr. postupného vývoja vadóznych a paragenetických kaňonovitých chodieb (Lauritzen a Lauritsen, 1995).

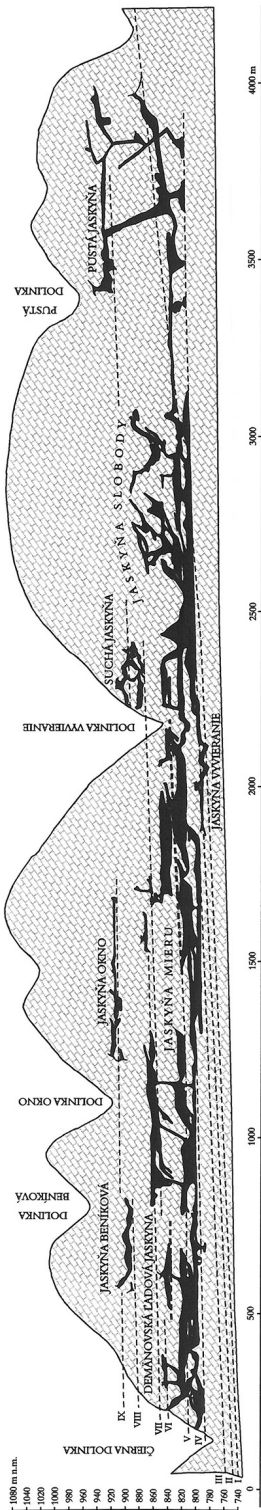
Z morfostratigrafického hľadiska, bez kontextu s prislúchajúcim súvrstvím jaskynných sedimentov, Bella (2004a) a Bella et al. (2012) analyzujú vertikálnu pozíciu zrezaných a zrezávajúcich korózných foriem jaskynného georeliéfu v Ochtinskej aragonitovej jaskyni. Pritom určujú relatívny vek jednotlivých korózných foriem a poukazujú na postupnosť ich vývoja, ako aj jaskyne vcelku.

Zo speleogenetického hľadiska je termín „morfostratigrafia“ uvedený a interpretovaný v štúdiu Osborna (2007). Na morfostratigrafickom základe vyčlenil deväť vývojových fáz Katedrálovej jaskyne, ktorá je súčasťou Wellingtonských jaskýň (Nový Južný Wales, Austrália). Pritom skúmal priestorové vzťahy pretínania medzi rozličnými morfológickými tvarmi (pomocou početných, detailne zameraných priečných i pozdĺžnych rezov jaskynnými priestormi). Keďže táto jaskyňa vznikala postupne opakovaným pôsobením podobných morfofenetických procesov, niektoré podobné morfológické tvary sa mohli vytvoriť v rozdielnych časových obdobiach.

MORFOSTRATIGRAFICKÉ PRAVIDLÁ A ZÁKONITOSTI VÝVOJA JASKÝŇ

Zákonitosti a pravidlá tradičnej stratigrafie z geológie a najmä morfostratigrafie rozpracované v geomorfológii možno aplikovať a využiť pri speleogenetickom výskume jaskýň zameranom na rekonštrukciu ich vývoja:

a) *Pravidlo klesajúcej vývojovej následnosti morfortvarov* – mladšie tvary ležia pod staršími, t. j. postupný vývoj foriem jaskynného georeliéfu prebiehal odhora nadol, napr. postupný vývoj jaskynných úrovní zhora nadol (Droppa, 1966, 1972 a ďalší; obr. 1), vý-

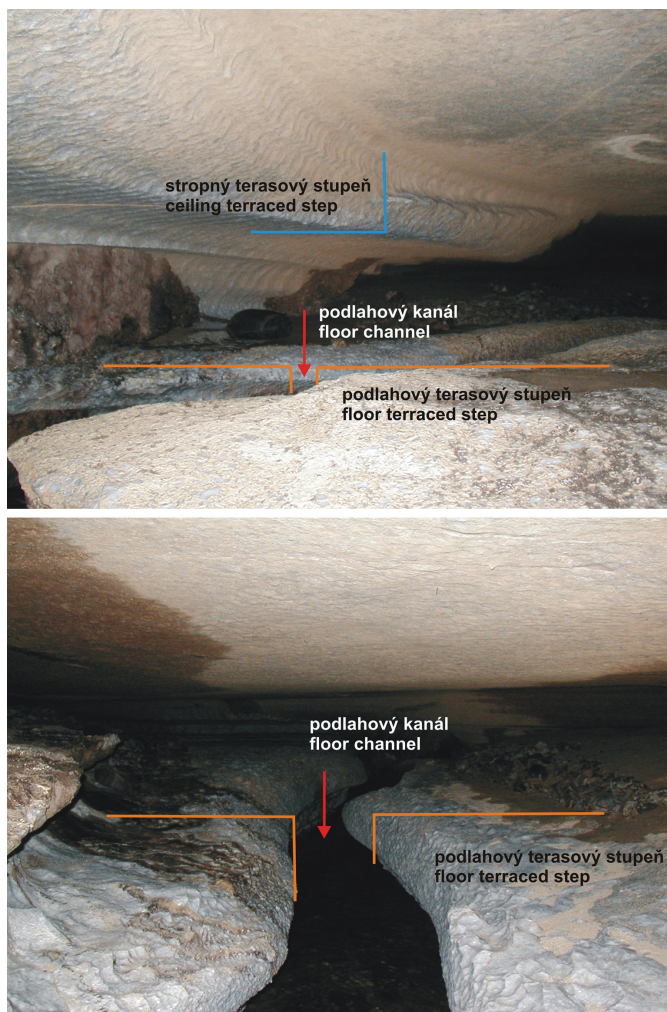


Obr. 1. Jaskynné úrovne v Demänovskej doline, Nizke Tatry (Droppa, 1972)
 Fig. 1. Cavel levels in the Demänovská dolina Valley, Nizke Tatry Mts., Slovakia (Droppa, 1972)

voj terasových stupňov v jaskynnej chodbe (Huang, 1993; Bella, 2004b; obr. 2) alebo postupné zahlbovanie vadóznej kaňonovitej chodby s bočnými meandrovitými zárezmi (Lauritzen a Lauritsen, 1995 a ďalší; obr. 3). Jaskynné úrovne zväčša predstavujú samostatné chodby vytvorené nad sebou, t. j. sú navzájom oddelené. V niektorých prípadoch sú však jaskynné úrovne vytvorené v jednej chodbe nad sebou v podobe terasových stupňov alebo výrazných bočných koryt (súvislá morfológia chodby viacfázového vývoja). Jaskynné úrovne vytvorené v rozdielnych výškových polohách sa zvyčajne odlišujú aj petrografickým zložením, veľkosťou, zväčša aj spôsobom uloženia fluvialných sedimentov (morfológické kritérium kombinované s litologickým kritériom)

b) *Pravidlo stúpajúcej vývojovej následnosti morfolotarov* – mladšie tvary ležia nad staršími, t. j. postupný vývoj foriem jaskynného georeliéfu prebiehal odspodu nahor (analógia s pravidlom superpozície vrstiev hornín pri normálnom vrstevnom slede), napr. vývoj paragenetických kaňonovitých chodieb (Lauritzen a Lauritsen, 1995; obr. 4). S paragenézou súvisí aj vývoj nižších starších a vyšších mladších zarovnaných stropov v chodbách IV. vývojovej úrovne Stratenskej jaskyne (Tulis a Novotný, 1989).

c) *Pravidlo pretínania morfolotarov* – mladšie tvary pretínajú, resp. odrezávajú staršie tvary (analógia s pravidlom prerážania geologických štruktúr), podľa ktorého mladšia štruktúra preniká staršou štruktúrou), napr. mladšia chodba prerezávajúca staršiu chodbu (obr. 5 a 6), vadózna korózna štrbina presekávajúca strop i podlahu bývalej freatickej chodby, skalná stena inaktívnej riečne modelovanej chodby rozčlenená paralelnými vertikálnymi žľabmi vytvorenými presakujúcou zrážkovou vodou, subhorizontálne aluviálne bočné koryto vyhlbené do skalnej steny po agradácii riečiska usadenými sedimentmi (Farrant, 2004; Farrant a Smart, 2011 a ďalší), stropná kupola alebo freatický kanál zrezaný zarovnaným stropom vytvoreným pozdĺž poklesnutej a stagnujúcej vodnej hladiny (Bella, 2004a; obr. 7 a 8) alebo zvyšky starších pendantov obkorodovaných počas vytvárania zarovnaného stropu (obr. 9). Nad sebou vytvorené aluviálne zárezy (bočné korytá) odrážajú po sebe nasledujúce epizódy agradácie a vyplavovania sedimentov v riečne modelovanej chodbe (Farrant a Smart, 2011).



Obr. 2. Stropný (inverzný) a podlahový terasový stupeň, jaskyňa Seiryu-kutsu, Kjúšú, Japonsko. Foto: P. Bella

Fig. 2. Ceiling (inverted) and floor terrace step, Seiryu-kutsu Cave, Kyushu, Japan. Photo: P. Bella

Keďže paragenetický vývoj je v porovnaní s normálnym vývojom jaskýň menej častý (iba v podmienkach výraznej agradácie podzemných riečisk), pri rekonštrukcii speleogenézy je frekventovanejšia klesajúca následnosť morfortvarov (opak pravidla superpozície vrstiev hornín pri normálnom vrstevnom slede). V mnohých jaskyniach pôvodnú morfológiu chodieb remodelovali alebo dotvárali mladšie morfogenetické procesy; výsledkom sú viacgeneračné tvary v celkovej morfológii chodieb. Pri rekonštrukcii viacgeneračnej morfológie chodieb alebo iných častí jaskýň sa uplatňuje pravidlo pretínania morfortvarov.

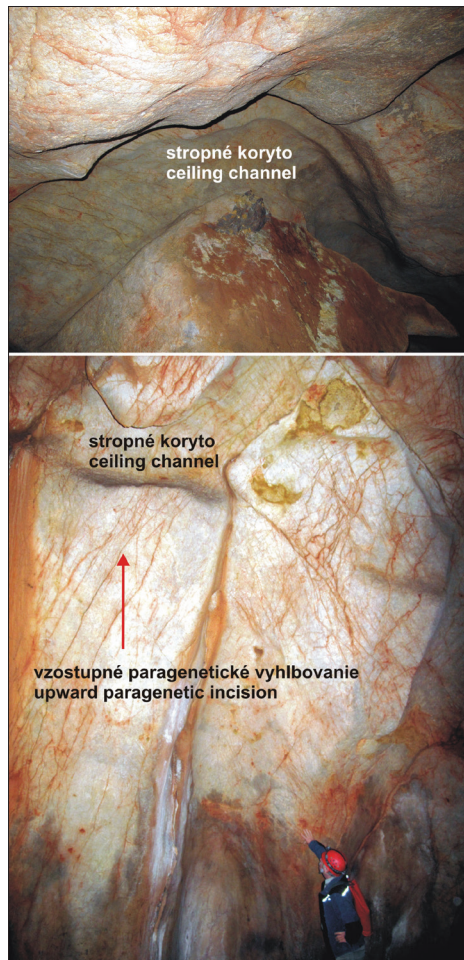
Zložitý vývoj niektorých jaskýň odráža kombinovaná, resp. striedavá postupnosť stúpajúcej a klesajúcej následnosti morfortvarov, ktorá môže byť dôsledkom striedania zdvihových a poklesových tektonických pohybov spôsobujúcich zmeny agradácie



Obr. 3. Podlahový kanál vadózneho meandrovitého kaňona, miestami rozčlenený podlahovými (krútnanovými) hrncami, jaskyňa Fig Tree Cave, Nový Južný Wales, Austrália. Foto: P. Bella

Fig. 3. Floor channel of vadose meander canyon, locally dissected by potholes, Fig Tree Cave, New South Wales, Australia. Foto: P. Bella

a erózie podzemných riečisk (striedanie postupnosti vývojovej sekvencie morfoform odspodu nahor alebo odvrchu nadol). V takýto prípadoch je rozlíšenie jednotlivých sekvencií obťažnejšie, pretože morfoformy staršej sekvencie sú remodelované morfoformami mladšej sekvencie.



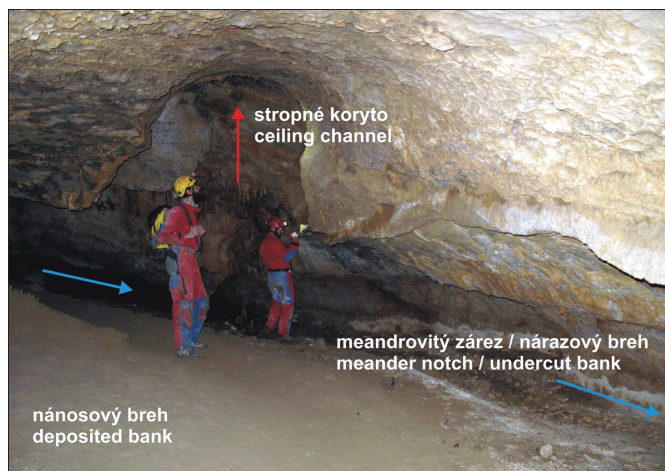
Obr. 4. Stropné koryto vytvorené v poslednej fáze paragenetickej modelácie jaskynnej úrovne, jaskyňa Domica. Foto: P. Bella

Fig. 4. Ceiling channel originated during the last phase of paragenetic sculpturing of the cave level, Domica Cave, Slovakia. Photo: P. Bella

VYUŽITIE MORFOSTRATIGRAFIE PRI ROZLIŠOVANÍ A URČOVANÍ POSTUPNOSTI SPELEOGENETICKÝCH FÁZ

Morfostratigrafia jaskynného georeliéfu umožňuje z hľadiska relatívnej chronológie riešiť viaceré problémy vývoja jaskýň:

a) postupnosť vytvárania jaskynných úrovní – zväčša odvrchu nadol (mladšie úrovne vytvárané pod staršími úrovňami v súvislosti s etapovitým zahĺbovaním riečnych dolín a vytváraním riečnych terás), známe sú však aj úvahy o obrátenej vývojovej postupnosti úrovní v jaskyni Domica odspodu nahor v dôsledku vyzdvihovania územia počas pliocénu a jeho poklesávania v kvartéri (Jakál, 1975, 1983);



Obr. 5. Spodná časť medzivrstvovej oválnej chodby (typu *bedding-plane anastomoses* v zmysle Ewersa, 1966) zrezaná mladším meandrovitým zárezom riečne modelovanej chodby, jaskyňa Okno, Demänovská dolina. Foto: P. Bella

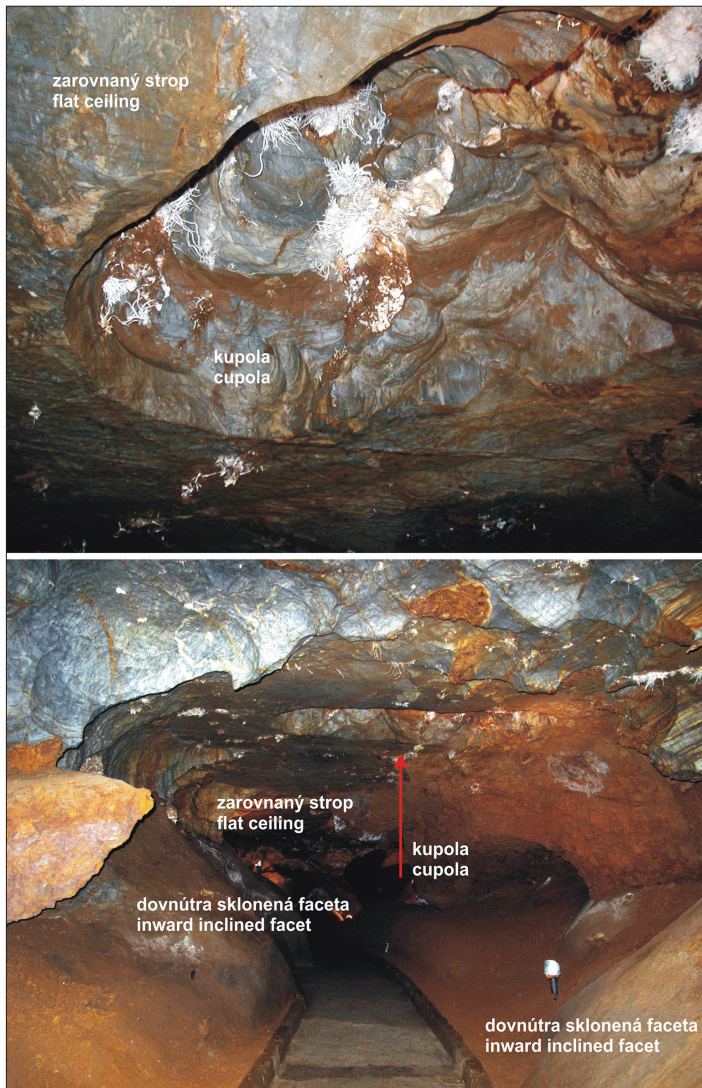
Fig. 5. The lower part of oval passage controlled by bedding planes of limestones (type of bedding-plane anastomoses *sensu* Ewers, 1966) cut with a younger meander notch of fluvially-modelled passage, Okno Cave, Demänovská dolina Valley, Slovakia. Photo: P. Bella



Obr. 6. Freatická trubica zrezaná mladšou hladkou, dovnútra sklonenou facetovou plochou, Ochtinská aragonitová jaskyňa. Foto: P. Bella

Fig. 6. Phreatic conduit cut with a younger smooth inward inclined facet (plane of repose, Facetten), Ochtinská aragonitová jaskyňa Cave, Slovakia. Photo: P. Bella

b) postupnosť vytvárania jaskýň tvorených chodbami viacerých generácií (križujúce sa neúrovňové chodby, ktoré sa nevytvorili súčasne, napr. mladšie chodby integrované do chodieb staršej drenáže v dôsledku aktivizácie krasovatenia v nadväznosti na vertikálny rozsah agradácie spodných častí dolín a s tým spojenú zmenu krasovej hydrografie s lokálnym zvýšením polohy piezometrického povrchu podzemných vôd);



Obr. 7. Kupola zrezaná mladším zarovnaným stropom, Ochtinská aragonitová jaskyňa. Foto: P. Bella

Fig. 7. Cupola cut with a younger flat ceiling, Ochtinská aragonitová jaskyňa Cave, Slovakia. Photo: P. Bella

c) postupnosť vytvárania viacfázových jaskynných chodieb (chodby s podzemnými úrovňovými terasami alebo inverznými terasovitými stupňami, chodby s viacerými nad sebou vytvorenými aluviálnymi bočnými korytami, etapovito vytvorené vadózne alebo paragenetické kaňonovité chodby, zrezanie starších freatických kupolovitých tvarov mladšími epifreatickými planárnymi tvarmi vytvorenými pozdĺž poklesnutej hladiny podzemnej vody a pod.) alebo deštrukcie jaskynných chodieb v senilnom štádiu ich vývoja (vznik priepastových rútvých otvorov na povrch typu *light hole* nad riečne modelovanými chodbami, denudácia horninového nadložia spojená s rútením jaskynných stropov vedúca k vzniku tzv. bezstropných jaskýň, resp. postjaskynných depresí);



Obr. 8. Spodná časť freatického kanála zrezaná mladším zarovnaným stropom, Stratenská jaskyňa. Foto: P. Bella

Fig. 8. The lower part of phreatic conduit cut with a younger flat ceiling, Stratenská jaskyňa Cave, Slovakia. Photo: P. Bella



Obr. 9. Pendanty (zvyšky bývalého stropu) vyčnievajúce spod mladšieho zarovnaného stropu, Stratenská jaskyňa. Foto: P. Bella

Fig. 9. Pendants (remains of the former ceiling) protruding down from the younger flat ceiling, Stratenská jaskyňa Cave, Slovakia. Photo: P. Bella

d) postupnosť menej výraznej remodelácie jaskynných chodieb (vyhlbenie vadóznych vertikálnych žľabov vodou stekajúcou po stene chodby freatického pôvodu, lokálne vyhlbenie stenových zárezov pozdĺž hladiny jazera vyplňujúceho zníženú alebo prehradenú časť jaskynnej chodby, remodelácia freatických korózných tvarov rútením alebo mrazovým zvetrávaním a pod.).

ZÁVER

Skúmanie morfostratigrafických vzťahov medzi čiastkovými, postupne vytvorenými formami jaskynného georeliéfu je neoddeliteľnou a dôležitou súčasťou rekonštrukcie vývoja jaskýň. Pritom základné metodické prístupy do značnej miery (okrem paragenetického vývoja jaskýň) zodpovedajú morfostratigrafickým pravidlám rozpracovaným v geomorfológii pri skúmaní povrchových foriem georeliéfu. Pravidlo klesajúcej vývojovej následnosti morfortvarov, pravidlo stúpajúcej vývojovej následnosti morfortvarov a pravidlo pretínania morfortvarov sú dávnejšie integrované do metodiky speleogeomorfologického výskumu, avšak z terminologického hľadiska sa táto problematika riešila iba okrajovo (hlavný dôraz sa kladie na riešenie problematiky speleogenézy).

V mnohých jaskynných chodbách alebo vo vyhlbeninách na stenách chodieb sa zachovali sedimenty, ktorých depozícia vplývala na morfogenézu príslušného vyhlbeného tvaru. V takýchto prípadoch možno pri rekonštrukcii vývoja jaskynných priestorov morfostratigrafický prístup vhodne doplniť, resp. kombinovať s litostratigrafickým prístupom (morfolitostratigrafia) dokladajúcim spôsob sedimentácie, prípadne aj vek sedimentov, čím sa získajú súbornejšie poznatky o speleogenéze.

V ďalších prácach treba morfostratigrafické zákonitosti a pravidlá na rekonštrukciu postupného vývoja jaskynného georeliéfu detailnejšie analyzovať a rozpracovať.

Táto práca bola podporovaná vedeckým grantovým projektom VEGA č. 1/0430/15. Za cenné rady a pripomienky ďakujeme recenzentom prof. RNDr. Pavlovi Bosákovi, DrSc., a doc. RNDr. Zdenkovi Hochmuthovi, CSc.

LITERATÚRA

- Bella, P. 2004a. Geomorfologické pomery Ochtinskej aragonitovej jaskyne. Slovenský kras, 42, 57–88.
- Bella, P. 2004b. Morfoskulptúrne planačné formy jaskynného georeliéfu. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. SSJ, Liptovský Mikuláš, 20–34.
- Bella, P. 2016. Problematika výskumu jaskynných urovní na Slovensku. Aragonit, 21, 1–2, 11–21.
- Bella, P., Slabe, T., Gaál, L. 2012. Morfostratigrafia jaskynného georeliéfu a rekonštrukcia speleogenézy: príkladová štúdia z Ochtinskej aragonitovej jaskyne. In Bella, P., Papčo, P. (Eds.): Geomorfológia a integrovaný výskum krajiny. Zborník abstraktov, Exkurzný sprievodca, 7. vedecká konferencia Asociácie slovenských geomorfológov pri SAV (Ružomberok 10. – 12. 9. 2012), 16–18.
- Bowen, D. Q. 1978. Quaternary Geology: A Stratigraphic Framework for Multidisciplinary Work. Pergamon, Oxford – New York, 221 p.
- Droppa, A. 1963. Paralelizácia riečnych terás a horizontálnych jaskýň. Geologické práce, Zošit 64, Bratislava, 93–96.
- Droppa, A. 1966. The correlation of some horizontal caves with river terraces. Studies in Speleology, 1, 186–192.
- Droppa, A. 1972. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. Slovenský kras, 10, 9–46.
- Ewers, R. O. 1966. Bedding-plane Anastomoses and Their Relation to Cavern Passages. Bulletin of the National Speleological Society, 28, 3, 133–140.
- Farrant, A. 2004. Paragenesis. In Gunn, J. (Ed.): Encyclopedia of Caves and Karst Science. Fitzroy Dearborn, New York – London, 569–571.
- Farrant, A. R., Smart, P. L. 2011. Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. Geomorphology, 134, 1–2, 79–93.
- Frye, J. C., Willman, H. B. 1962. Morphostratigraphic units in Pleistocene stratigraphy. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, 46, 1, 112–113.
- Huang, R. 1993. A tentative study on subterranean terraces of the upper Moyangjiang River, Guangdong, China. Proceedings of the 11th International Congress of Speleology, Beijing, 1, 51–53.
- Hudges, P. D. 2007. Morphostratigraphy – Allostratigraphy. In Scott, E. A (Ed.): Encyclopedia of Quaternary Science. Elsevier, Amsterdam, 2841–2846.
- Hudges, P. D. 2010. Geomorphology and Quaternary stratigraphy: The roles of morpho-, litho-, and allostratigraphy. Geomorphology, 123, 189–1997.
- Hudges, P. D., Gibbard, P. L., Woodward, J. C. 2005. Quaternary glacial records in mountain regions. A formal stratigraphical approach. Episodes, 28, 2, 85–92.
- Jakál, J. 1975. Kras Silickej planiny. Osveta, Martin, 152 s.
- Jakál, J. 1983. Krasový reliéf a jeho odraz v geomorfologickom obraze Západných Karpát. Geografický časopis, 35, 2, 160–183.
- Lauritzen, S.-E., Lauritsen, A. 1995. Differential diagnosis of paragenetic and vadose canyons. Cave and Karst Science, 21, 2, 55–59.
- Mangerud, J., Andersen, S. T., Berglund, B. E., Donner, J. 1974. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification. Boreas, 3, 3, 109–126.
- Michalík, J., Vass, D., Hudáčková, N., Kováčová, M., Lintnerová, O., Reháková, D., Soták, J., Schlögl, J., Aubrecht, R., Vozárová, A., Sliva, L., Lexa, J., Konečný, V., Túnyi, I., Potfaj, M. 2007. Stratigrafická príručka. Veda, Bratislava, 166 s.
- Mišík, M., Chlupáč, I., Cicha, I. 1984. Historická a stratigrafická geológia. SPN, Bratislava, 541 s.
- Osborne, R. A. L. 1984. Lateral facies changes, unconformities and stratigraphic reversals: their significance for cave sediments stratigraphy. Cave Science, 11, 3, 175–184.
- Osborne, R. A. L. 2007. Cathedral Cave, Wellington Caves, New South Wales, Australia. A multiphase, non-fluvial cave. Earth Surface Processes and Landforms, 32, 14, 2075–2103.

- Panoš, V. 1964. Vznikovanie i rozvitie peščernych gorizontov v Moravskej karstovej oblasti. Peščery, 4 (5), 39–48.
- Štelcl, O. 1963. Jeskynní úrovně v severní části Moravského krasu. Československý kras, 14, 17–27.
- Tulis, J., Novotný, L. 1989. Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. Osveta, Martin, 464 s.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	145 – 154	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

STREDNOTRIASOVÉ VÁPENCE V JASKYNI OKNO (DEMÄNOVSKÁ DOLINA, NÍZKE TATRY): LITOLÓGIA A FACIÁLNE TYPY

ĽUDOVÍT GAÁL¹ – JOZEF MICHALÍK²

¹ Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; ludovit.gaal@ssj.sk

² Slovenská akadémia vied, Ústav vied o Zemi, Dúbravská cesta 9, P. O. Box 106, 84 005 Bratislava; geolmich@savba.sk

E. Gaál, J. Michalík: Middle Triassic limestones in the Okno Cave (Demänovská dolina Valley, Low Tatras): lithology and facies types

Abstract: Surroundings of the entrance and lower vadose descended parts of cave are developed in massive limestones of the Annaberg Lst and bedded limestone of Gutenstein Fm with the dolomite intercalations. Microscopically they are represented by micrites or microsparites with relicts of ooids and pellets. The cross-bedding and canal filling often occurs on the cave walls too. The prevailing part of upper horizontal corridor was developed in grey organodetritic limestone and dolomite. They are also distinguished from the underlying Annaberg and Gutenstein Limestone from the microfacies point of view. Their fauna is rich in crinoids and brachiopods, sporadically also cherts with the spicules of Silicispongiae. The beds form a cyclic with erosion surface marked by bioerosion, imprints of infauna, gradation bedding, accumulation of the crinoids, bivalves and brachiopods, within indicates good oxygenated environment within a reach of sea waves.

Key words: Gutenstein, limestone facies, microfacies analysis, organodetritic limestone, dolomite, cherts, carbonate ramp, cave

ÚVOD, PREHLAD DOTERAJŠÍCH VÝSKUMOV

Príspevok nadväzuje na litologický výskum Demänovského jaskynného systému, uskutočneného v rámci projektu Realizácia programov záchrany a starostlivosti o vybrané jaskyne v roku 2015 (Gaál, 2016). Vzhľadom na význam jaskyne Okno so súčasnou dĺžkou 2662 m (Herich a Holúbek, 2015), ktorá sa vytvorila v najvyššie položených jaskynných úrovniach v Demänovskej doline, sme sa rozhodli jej materské horniny dokumentovať pomocou mikrofaciálnej analýzy. Výskum takéhoto smeru sa žiadal aj z dôvodu, že doteraz takmer úplne chýbali údaje o litológii jaskyne, hoci Okno nesporné patrí medzi historicky najstaršie známe podzemné priestory nielen v rámci Demänovskej doliny, ale Slovenska vôbec. Droppa (1957) predpokladá, že zmienka o „*vrchu s dutinami a jaskyňami*“ v listine Ostrihomskej kapituly z r. 1299 sa vzťahuje na dnešnú Demänovskú ľadovú jaskyňu a jaskyňu Okno. Tieto jaskyne patria aj medzi prvé vedecky opísané a skúmané jaskyne na Slovensku. V roku 1719 ich s početnou skupinou preskúmal G. Buchholtz, ktorý tu hľadal predovšetkým „dračie kosti“. Výsledky týchto výskumov potom publikoval M. Bel (Belius) najmä v 2. diele jeho práce z roku 1736 (Prikryl, 1985; Lalkovič in Bella et al., 2014).



Obr. 1. Poloha jaskyne Okno
Fig. 1. Position of Okno Cave

Viac údajov o charaktere horniny však nájde v práci z roku 1926, ktorá bola takisto zameraná na jaskynné sedimenty, o okolitých horninách však tvrdí toto: „*Horno-triasový vápenec Okna s vložkami dolomitu je bralno-múrovite utvorený. Sú to mohutné komplexy vrstvi vápenca, ktoré ležia stenovite jeden na druhom a prezradzujú izoklinálny sklon s vrstvami oprotivného vrchu Sokola*“. Na str. 5 nájde ešte podrobnejšiu charakteristiku: „*Horno-triasový bitumenný, miestami kalcitovými žilkami pretkávaný vápenec Okna tvorí zv. diaklasu vo výške 50 m, v ktorej sa utvoril jaskynný, vyše 6 m široký a 5 m vysoký (teraz plotom ohradný) strechovitý vchod. Sklon vrstvi pri vchode jaskyne: uhol 35° na jv. Jaskyňa Okno je utvorená 3. hlavnými diaklasami: 1. juho-východnou diaklasou, 2. južnou diaklasou a 3. juho-západnou diaklasou. Zúbkovatosť oblúku poukazuje na sekundárne diaklasy*“ (Volko-Starohorský, 1926).

J. Volko-Starohorský teda celkom správne vystihol geologickú charakteristiku okolia jaskyne, mylil sa len vo veku, vápenec sú v skutočnosti strednotriasové. Podrobný opis jaskyne podáva aj A. Droppa vo svojej monografii o demänovských jaskyniach (1957). Uvádza, že pod názvom jaskyňa Okno sa rozumie jaskyňa nachádzajúca sa za Veľkým a Malým Oknom, a potvrdil dvojúrovňový riečny pôvod jaskyne, konštatovaný už J. Volkom-Starohorským (1926). Droppa sa venuje aj tektonike jaskyne, spomína tri hlavné zlomové línie a za vchodom uvádza sklon vápencových vrstiev 34° k SV, litologický charakter horniny však nespomína. Konštatuje, že niektoré časti jaskyne (úseky až po Výskumnú chodbu) vytvorili podzemné vody, využívajúc smer tektonických puklín a sklon i smer vápencových vrstiev.

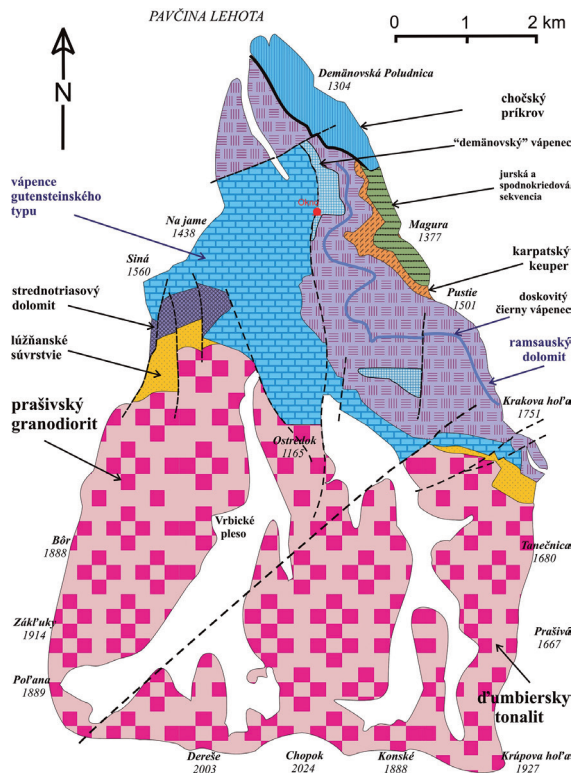
O Okne uverejnil článok aj J. Dzúr (2005) a P. Holúbek et al. (2006), ktorí informujú o nových objavoch v spodnej úrovni jaskyne. P. Holúbek et al. (2006) sa zmienili aj o polohách v gutensteinských vápencoch, ktoré obsahujú stonky a články krinoidov, úlomky lastúr, brachiopódov a i., a považujú ich pravdepodobne za tempestity, teda plytkovodné uloženiny prepraté búrkovým vlnením. Spomínajú aj oválne hľuzy, ktoré považujú za pravdepodobné rohovce.

Mechanické uloženiny jaskyne skúmali A. Osborne (2006, 2007) a J. Psočka (2008). Monografia P. Bellu et al. (2014) prináša nové poznatky o geochronológii vývoja jaskynných úrovní Demänovskej doliny, podľa ktorých sú horné časti jaskyne Okno vo výške 910 m n. m. zaradené do 9. úrovne z celkovo známych 10 jaskynných úrovní od obdobia najstaršieho pleistocénu – biberu 2.

O litológii jaskyne Okno teda v literatúre nájde len roztrúsené údaje. Väčšina autorov – najmä monografií – sa opierala o povrchové geologické výskumy D. Štúra (1868), R. Kettnera (1927) a A. Bieleho et al. (1997), o ktorých sme sa podrobnejšie zmienili v príspevku o litológii Demänovského jaskynného systému (Gaál, 2016).

Po dlhom čase v roku 1916 H. Horusitzky preskúmal sedimenty v jaskyni (Droppa, 1957) a v roku 1919 opísal jej priestory J. Volko-Starohorský. Jaskyňu opísal i M. Janoška (1921), ktorý sa zmienil aj o archeologických výskumoch H. Horusitzkého.

Prvé údaje o geológii jaskyne nájde v prácach J. Volka-Starohorského. V príspevku z roku 1925 podrobne opisoval profily sedimentmi jaskyne vo vykopaných sondách.



Obr. 2. Geologická mapa okolia jaskyne Okno. Podľa podkladov A. Bieleho et al. (1997) upravili autori

Fig. 2. Geological map of the Okno Cave surroundings. Based on A. Biely et al. (1997), modified by authors

Z tohto dôvodu neuvádzame opis geologickej stavby Demänovskej doliny, prikladáme však upravenú geologickú mapu okolia (obr. 2).

METODIKA

Prvú návštevu jaskyne sme uskutočnili 3. mája 2017 (P. Staník, P. Herich, J. Littva a E. Gaál); počas nej sme odobrali 13 vzoriek materskej horniny, a to 10 ks z horného poschodia a 3 ks zo spodnejších častí. Druhá cesta sa konala 8. augusta 2017 za účasti P. Bellu, P. Hericha, P. Gažíka, J. Littvu a autorov príspevku a v rámci nej J. Michalík určoval fosílie vyvetrané zo steny a stropu jaskyne: brachiopódy, krinoidy a nautiloidného hlavonožca. Okrem jadra nautila, ktoré bude uložené v Slovenskom múzeu ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši, ostatné fosílie (najmä brachiopódy a krinoidy) sme ponechali na pôvodnom mieste v stenách jaskyne.

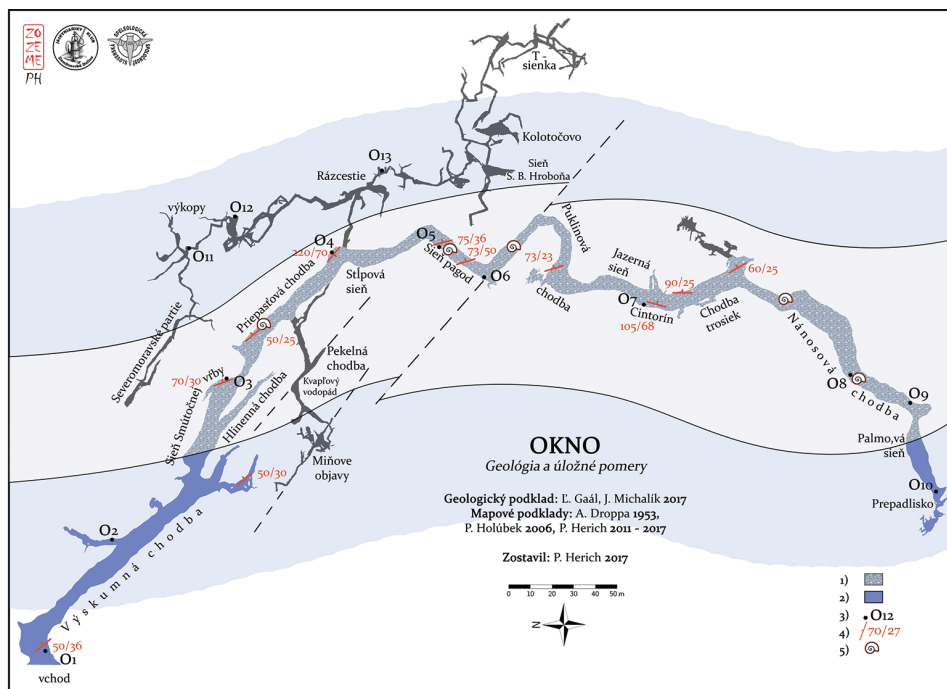
Z odobratých vzoriek materskej horniny bolo v Geoanalytickom laboratóriu Štátneho geologického ústavu D. Štúra v Spišskej Novej Vsi vyhotovených 15 výbrusov a 5 chemických analýz najmä na zistenie pomeru MgO a CaO, prípadne výskytu iných látok. Pri rozlíšení dolomitov a vápencov sme vychádzali zo všeobecne zaužívanej klasifikácie radu vápenc-dolomit (napr. Petránek, 1963), podľa ktorej sme za dolomit považovali horninu s obsahom MgO 19,7 – 21,9 %, za vápnitý dolomit s 10,9 – 19,7 % MgO

a za dolomitický vápenc s 2,2 – 10,9 % MgO. Na každej vzorke sme navyše vykonali orientačnú skúšku pomocou 5 %-nej HCl. Výbrusy boli podrobené mikroskopickej analýze, v rámci ktorej sa pod polarizačným mikroskopom sledoval mikrofáciálny charakter horniny, jej textúra, minerálne zloženie a mikrofosílie. Pokiaľ to terénne podmienky dovolili, pri odbere vzoriek v jaskyni sme sa snažili geologickým kompasom zistiť úložné pomery. Merali sme smer sklonu vrstiev a ich sklon; v takomto poradí uvádzame namerané údaje aj v ďalšom texte. Písomný a grafický záznam charakteristických odkryvov sme dopĺňovali fotografickou dokumentáciou.

Pri opise horniny jaskyne používame termín gutensteinské súvrstvie, resp. faciálna skupina vzhľadom na znaky litostratigrafickej jednotky, v rámci ktorej možno rozlíšiť gutensteinské dolomity a gutensteinské, annaberské a „biodetritické“ vápence (Biely et al., 1997 uvádzali termín „gutensteinské vrstvy“).

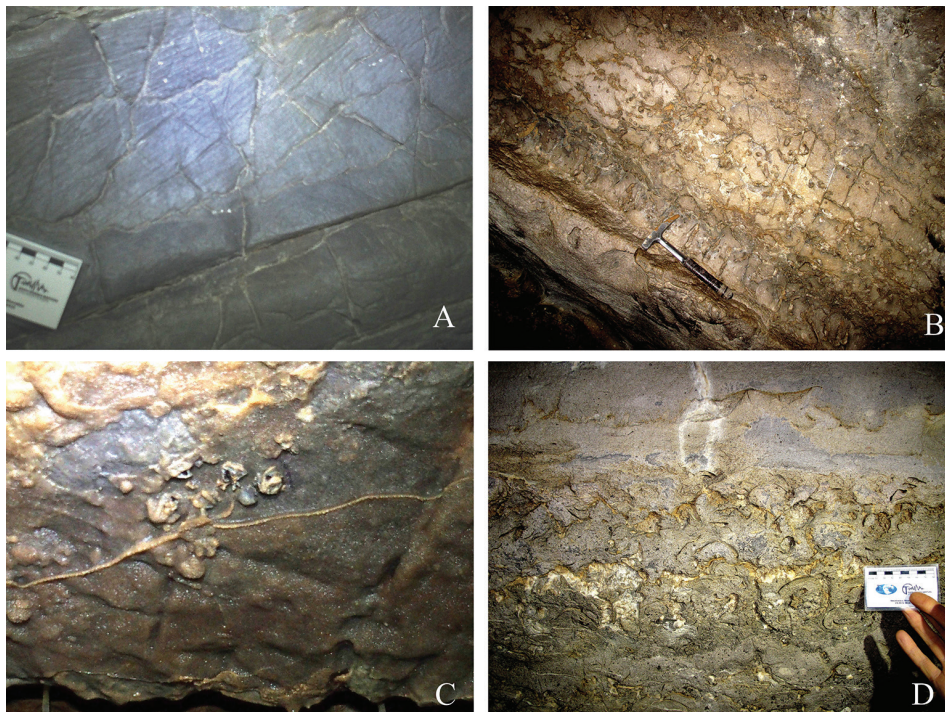
VÝSLEDKY

Vchod jaskyne a prevažná časť Výskumnej chodby preniká hrubolavicovitými sivými až tmavosivými jemnozrnnými annaberskými vápencami (obr. 3). Chodba je zjavne vytvorená po vrstvových plochách, ktoré v oblasti vchodu majú smer SZ-JV so sklonom 36° k SV (50/36°). Textúra je mierne usmernená, mikrostylolity sú paralelné s vrstvitosťou, na jaskynnej stene sa objavuje aj šikmé zvrstvenie (obr. 4A). Pod mikroskopom



Obr. 3. Geologická mapa jaskyne Okno. Zostavili autori. Vysvetlivky: 1 – organodetritické vápence, 2 – annaberské a gutensteinské vápence, 3 – odobraté vzorky, 4 – smer sklonu a sklon vrstiev, 5 – nález fosílií

Fig. 3. Geological map of the Okno Cave. Compiled by authors. Explanations: 1 – organodetritic limestone, 2 – Annaberg and Gutenstein Limestones, 3 – sample collection sites, 4 – direction and dip of beds, 5 – fossils



Obr. 4. Fototabuľka textúrnych znakov viditeľných na stenách jaskyne Okno. A – šikmé zvrstvenie v annaberských vápencoch; B – bioturbovaná poloha s *Thalassinoides* sp. v Sieni Smútočnej vrby; C – brachiópody *Tetractinella* sp. vyvetrávajúce zo steny jaskyne; D – lumachely lastúrnikov tvoriace vyššie časti biogénnych cyklov v Sieni Smútočnej vrby. Foto: J. Michalík

Fig. 4. Photo plate of structural details visible on the Okno Cave walls. A – cross bedding in the Annaberg Limestone; B – bioturbated layer with *Thalassinoides* sp. in Smútočná vrba Hall; C – brachiopods *Tetractinella* sp. weathering out of the surface of cave wall; D – bivalve shell beds forming higher parts of the biogene cycles in Smútočná vrba Hall. Photo: J. Michalík

sa vápenc javí ako mikrit, miestami neomorfovaný na mikrosparit s hojnými drobnými sférickými pseudomorfozami pôvodných ooidov, peletov a možno aj koprolitov (vzorka O-1, obr. 5A). Tmavosivé celistvé vápence smerom do nadložia prechádzajú do vrstvitého tmavosivého vápneného dolomitu (odobratá vzorka O-2 obsahuje 17,5 % MgO (tab. 1, obr. 5B). V bočnej chodbe pred uzáverom nadobúdajú výraznú doskovitú textúru (úložné pomery 50/30) a bližia sa charakteristike gutensteinských vápencov.

Smerom do nadložia prechádzajú annaberské vápence do sivých organodetrických vápencov a dolomitov. V oblasti Smútočnej vrby na pravej (juhozápadnej) stene možno pozorovať 20 – 50 cm hrubé cykly, začínajúce sa rozmyvom, po ktorom nasleduje poloha (3 – 15 cm) hrubého organického detritu s litoklastmi a kolumnáliami krinoidov (*Encrinurus liliiformis*) a schránkami lastúrnikov. Na viacerých miestach je preniknutá stopami hrabavej ichnofauny (*Thalassinoides*) (obr. 4B, D). Vzorka tmavosivého vápenca z jaskynnej steny (O-3) obsahuje drobné články (kolumnálie i brachiálie) krinoidov a tenké schránky lastúrnikov. Mikroskopicky ide o málo triedený krinoidový biomikrit, biomikrosparit až biosparit (packstone až grainstone) s drobnými gastropódmi. V priečných lamelovaných prierezoch kolumnálií krinoidov s pentagonálnou súmernosťou možno uprostred vidieť zachovaný centrálny kanálik. V nadloží bývajú tenké vrstvičky detri-

tu s vyvetrávajúcimi schránkami brachiopódov *Punctospiriferina fragilis*, *Coenothyris vulgaris* a *Tetractinella trigonella*, vystupujúcimi z povrchu jaskynnej steny. Báza týchto vrstvičiek býva tiež často erozívna. Najvyššie detritické polohy bývajú tvorené lumachelami veľkých misiek lastúrnikov.

Tab. 1. Chemické analýzy vzoriek z jaskyne Okno vyhotovené Geoanalytickým laboratóriom ŠGÚDŠ v Spišskej Novej Vsi (veľičiny sú v percentách, metóda RFS, typ skúšky: akreditovaný)
Tab. 1. Chemical analysis of sample of Okno Cave made by Geoanalytic laboratory of State Dionýz Štúr Geological Institute in Spišská Nová Ves (the numbers are in %, method RFS, accredited)

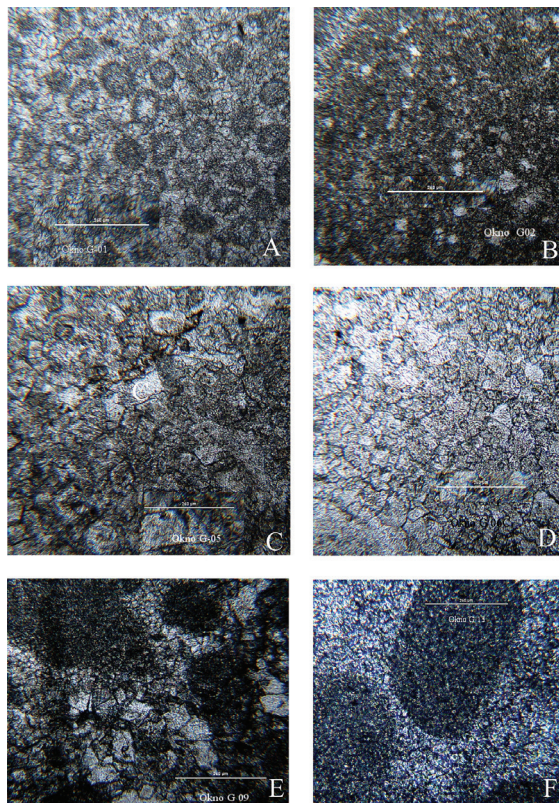
ukazovateľ / vzorky	O-2	O-5	O-6b	O-7	O-9
SiO ₂	1,21	84,2	78,5	1,15	1,53
Al ₂ O ₃	0,44	1,00	1,32	0,28	0,13
Fe ₂ O ₃	0,25	0,21	0,07	<0,05	0,07
CaO	34,1	7,26	9,59	46,5	53,0
MgO	17,5	0,54	1,11	7,15	1,69
TiO ₂	0,02	0,01	0,02	<0,01	<0,01
MnO	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
K ₂ O	0,17	0,07	0,14	0,05	<0,05
Na ₂ O	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
P ₂ O ₅	0,03	0,13	0,09	0,07	<0,01
strata žíhaním	46,1	6,38	8,81	44,6	43,5

Miernu zmenu nastane za Peplom, kde chodbu pred Stĺpovou sieňou pretína výrazná dislokácia takmer vo východo-západnom smere so strmým sklonom k juhu (185/75°). Vystupujú tu tmavosivé vápnite dolomity, ktoré sa za dislokáciou skláňajú do protiklonného smeru k juhozápadu a so strmým úklonom (namerané hodnoty 220/70° a 200/60°). Ide pravdepodobne o poklesnutý a v poruchovej zóne rotovaný dolomitový blok. V odobratej vzorke dolomitu (O-4) pod mikroskopom sa v dolomikrite prejavujú rôzne podlhovasté i sférické telieska s nejasnými alebo zúbkovanými okrajmi, ktoré reprezentujú pseudomorfozu po anhydrite. Ojedinele sa vyskytujú aj úlomky schránok lastúrnikov.

V Sieni pagod sú karbonátové vrstvy uložené v smere SSZ-JJV so sklonom 30 – 50° k VSV (namerané hodnoty 75/36° a 73/50°). Znovu sa tu objavuje organodetritická lavica, zrejme pokračovanie zo Siene smútočnej vŕby, v rámci ktorej sa sriedajú 5 – 10 cm, miestami až 20 cm hrubé dosky krinoidových vápencov. Na jaskynnej stene sú výrazne vyvetrané drobné články krinoidov, medzi nimi sa ojedinele vyskytuje aj brachiopód *Punctospiriferina fragilis*. Krinoidové vrstvy sú spravidla sivé, litologicky ide o rozlične výrazne dolomitizovaný vápenec s veľmi slabou reakciou na HCl. Pod mikroskopom sa javia ako krinoidový dolosparit, miestami až mikrosparit, bioklasty krinoidov sú prevažne mierne rekryštalizované (vzorka O-6c, obr. 5D). Karbonátové lavice tu miestami obsahujú tmavosivé alebo hnedosivé rohovce, ktoré selektívne vyvetrávajú z jaskynnej steny a sú spravidla usporiadané do línií až neraz splývajú do stratiformných polôh. Podľa chemickej analýzy obsahujú 78,5 až 84,2 % SiO₂ (vzorky O-5 a O-6b). Pod mikroskopom je pôvodná karbonátová hmota silne zatláčaná SiO₂. Objavujú sa v nej ihlice a úlomky spikúl kremítych hubiek (najmä vo vzorke O-5, obr. 5C), miestami aj klenec kalcitu a dolomitu (vo vzorke O-6b). Krinoidy a vyvetrané schránky brachiopódov, prípadne lastúrnikov badať na strope alebo na stenách aj v ďalších úsekoch jaskynnej chodby. Po zmene smeru chodby na juhovýchod bola na strope identifikovaná schránka

Tetractinella trigonella. Sporadicky sa objavujú aj rohovce (v Oblúkovej chodbe, v Jazernej sieni).

Za jazerom (na začiatku Hubovničnej chodby podľa Volka-Starohorského, 1925) vystupujú menej výrazne vrstvité sivé dolomitické vápence uložené v smere SSV-JJZ so sklonom 68° k VJV (nameraná hodnota 105/68°). Podľa chemickej analýzy obsahujú 7,15 % MgO. Vzorka O-7 sa vo výbruse javí ako dolomikrosparit, je mierne neomorfne rekryštalizovaná, s drobnými dolomitovými kryštálkami, ojedinele s polysynteticky lamelovanými článkami krinoidov a schránkami tenkostenných lastúrnikov. Na strope Nánosovej chodby (na mape Volka-Starohorského z roku 1925 označená ako Netopierica) sa znovu objavuje vyvetraná schránka druhu *Tetractinella trigonella*, miestami aj



Obr. 5. Mikrofacie hornín z jaskyne Okno. A – rekryštalovaný peletovo-pseudooolitický vápenc z annaberského súvrstvia vchodovej časti jaskyne (vzorka O-1); B – biomikrosparit až biomikrit vápňitého dolomitu annaberského súvrstvia (O-2); C – dolomitizovaný biomikrosparit s klenkami dolomitu organodetritických vápencov (O-5); D – dolomikrosparit so silicitickými lemmi v blízkosti rohovcovej hľuzy (O-6c); E – dolomitizovaný biosparit s klastmi mikritového vápenc z Nánosovej chodby (O-9); F – rekryštalizovaný oobiomikrosparit z gutensteinského vápenc spodných klesajúcich chodieb (O-13). Foto: J. Michalík

Fig. 5. Microfacies of rocks in the Okno Cave. A – recrystallized pellet-pseudooolitic limestone from the Annaberg Lst of cave entrance (sample O-1); B – biomicrosparite-biomicrocrite of lime dolomite of the Annaberg Lst (O-2); C – dolomitized biomicrosparite with the dolomite rhombs of organodetritic limestone (O-5); D – dolomicrosparite with silicified rims near to a chert nodule (O-6c); E – dolomitized biosparite with the clasts of micrite (O-9); F – recrystallized oobiomicrosparite of the Gutenstein Lms from lower part of cave (O-13). Photo: J. Michalík



Obr. 6. Nautilidný hlavonožec z Nánosovej chodby. Foto: P. Herich

Fig. 6. Nautilus from the Nánosová chodba Corridor. Photo: P. Herich

jednoznačne poukazuje na lepšie premývané a bohatšie okysličené morské prostredie ako v prípade annaberských vápencov zo vstupných častí jaskyne (obr. 5E). Na podlahe Nánosovej chodby, medzi vápencovými úlomkami v blízkosti miesta odberu vzorky O-8, našiel P. Herich jadro schránky nautilidného hlavonožca (obr. 6).

Posledná vzorka hornej úrovne jaskyne, O-10, pochádza zo steny nad Prepadliskom. Ide o sivý dolomit s negatívnou reakciou na HCl. Mikroskopicky predstavuje mierne rekryštalizovaný dolomikrosparit takmer bez bioklastov.

Z úzkych chodieb spodnej úrovne odobral P. Herich 3 vzorky (O-11, O-12 a O-13). Všetky predstavujú napohľad tmavosivé celistvé vápence s charakteristickým bielym kalcitovým žilkovaním a pozitívnou reakciou na HCl. Mikroskopicky sa javia ako oobiomikrosparit so sférickými a oválnymi telieskami. Miestami však obsahujú aj krinoidové články, ojedinele aj schránky lastúrnikov. Zaujímavé sú v nich hranaté i mierne zaoblené tmavé intraklasty. Domnievame sa, že ide o prechodný typ vápenca medzi gutensteinskými a organodetrítickými typmi.

DISKUSIA

Po vyhodnotení výbrusového materiálu a chemických analýz môžeme konštatovať, že prevažná časť hornej úrovne jaskyne – okrem začiatku, teda Výskumnej chodby – je vytvorená v sivých až tmavosivých organodetrítických vápencoch a dolomitoch. Tieto vápence sú totožné s vápencami, ktoré A. Biely a kol. (1997) označili ako *tmavosivé a organodetrítické vápence* s vekom anis-ladin. Na geologickej mape Nízkych Tatier v mierke 1 : 50 000 ich uviedli v podobe polôh v dolnej polovici súboru ramsauských dolomitov v oblasti na pravej strane Demänovskej doliny, južne od kóty Demänovská hora (1304 m) a na juhozápadnom svahu kóty Pusté (1501 m). Mimo doliny sú známe zo severozápadného svahu pod kótou Na jame (1438 m). Zrejme tieto vápence opísal aj D. Štúr (1868) na lokalite „Hore Lúčkami“ a vystupujú aj v Demänovskom jaskynnom systéme (Pavlarčík, 1984; Gaál, 2016). Kým vo vysvetlivkách ich A. Biely a kol. (1997) uvádzajú v súbore ramsauských dolomitov, L. Gaál (2016) ich v Demänovskom jaskynnom systéme zaradil do najvyššej časti gutensteinského súvrstvia s aniskými foraminiferami. Dôvodom bol najmä plynulý prechod vápencov a dolomitov gutensteinského súvrstvia do polôh organodetrítických vápencov. Rovnakú situáciu môžeme pozorovať aj v jaskyni Okno, kde tmavosivé vápence a dolomity odkryté pri vchode a vo Výskumnej chodbe už

pri Smútočnej vrbe prechádzajú do organodetrítických lavíc s krinoidmi a brachiopódami. Tieto organodetrítické vápence sa od gutensteinských karbonátov líšia aj mikrofaciálne. Prostredie sedimentácie bolo otvorenejšie, lepšie oksyložené, miestami aj s dosahom vln (vzorka O-9), o čom svedčia mierne zaoblené intraklasty v sparitovom matrice. Priaznivejšie podmienky na život v plytkom mori sa zrejme vytvorili koncom anisu, čo bolo potvrdené foraminiferami z Demänovskej jaskyne mieru (Soták in Gaál, 2016). Miestami v nich vystupujú aj rohovce s obsahom spikúl kremitých hubiek. Rovnako ako v Demänovskom jaskynnem systéme ich môžeme považovať za prejavy menších silicispongiových útesov. Organodetrítické polohy majú spravidla erozívnu bázu a gradacnú stavbu, ktoré nevylučujú ich pôvod búrkových vln, teda tempestitov, zachovaný charakter schránok brachiopódov však svedčí proti tomu. Fosilne brachiopódy a sčasti aj lastúrniky sú takmer všade v jaskyni dobre zachované, nerozlámané.

Organodetrítické vápence v Demänovskej doline teda vytvárajú dobre sledovateľný horizont zhruba medzi gutensteinskými či annaberskými vápencami a ramsauskými dolomitmi krížňanského príkrovu, ktoré výrazne zasahujú do jaskyne Okno i Demänovského jaskynného systému. Ich vymedzenie v podobe paleontologicky podloženej samostatnej litostratigrafickej jednotky je výzvou pre geologické inštitúcie. Predpoklady sú na to prakticky od dôb D. Štúra. Organodetrítické vápence, ktoré aj kartograficky vymedzili A. Biely a kol. (1997), sa v geologických kuloároch označujú ako „demänovské vápence“. Podobný organodetrítický typ vápencov s krinoidmi a brachiopódmi sa vyskytuje vo vysokých vápencoch vysokého príkrovu v Malých Karpatoch (Michalík et al., 1992), v gaderských vápencoch hronika, prípadne aj vo vyššej časti aniských ráztockých vápencov (Havrila, 2011).

Gutensteinské vápence s vložkami dolomitov – na rozdiel od organodetrítických vápencov – mikrofaciálne predstavujú výlučne mikrity alebo mikrosparity s časťami pseudomorfózami po anhydrite, čo poukazuje na hypersalinné podmienky sedimentácie s minimálnym zastúpením biozložky. Od toho trochu otvorenejšie morské prostredie reprezentujú hrubolavicovité až takmer masívne annaberské vápence, ktoré v jaskyni Okno vystupujú v počiatočných úsekoch a v spodných, vadózne klesajúcich úzkych priestoroch jaskyne. Poukazuje na to mikrofauna a niekoľko mikrofaciálnych znakov, ako ooidov, peletov, znaky prúdenia a vlnenia.

ZÁVER

Litologickým výskumom jaskyne Okno sa získali tieto nové poznatky:

Prevažná časť jaskyne je vytvorená v strednotriasových (aniských) organodetrítických vápencoch a dolomitoch, ktoré obsahujú pomerne bohatú faunu krinoidov a brachiopódov. Miestami sa v nich nachádzajú rohovce s obsahom spikúl kremitých hubiek. Predstavujú prejavy menších silicispongiových útesov. Organodetrítické vápence v Nánosovej chodbe obsahujú mierne zaoblené intraklasty v sparitovom matrice, čo svedčí o lepšie oksyloženom morskem prostredí s dosahom vln.

Jaskyňa Okno patrí medzi najlepšie odkryté výstupy organodetrítických karbonátov s početnými článkami krinoidov a vyvetranými schránkami brachiopódov v nadloží gutensteinských vápencov, preto je vhodným podkladom na stanovenie novej litostratigrafickej jednotky („demänovských“ vápencov).

Annaberské vápence s vložkami dolomitov obsahujú šikmé zvrstvenie, znaky prúdenia a ooidy, ktoré taktiež svedčia o otvorenejšom morskem prostredí. Naproti tomu gutensteinské vápence, ktoré sú v jaskyni ojedinele zachované, predstavujú výlučne

mikrity alebo mikrosparity s častými pseudomorfózami po anhydrite, čo poukazuje na presolené podmienky sedimentácie s minimálnym zastúpením biozložky.

Záverom ďakujeme kolegom doc. RNDr. Pavlovi Bellovi, PhD., Pavlovi Herichovi a Pavlovi Staníkovi za pomoc pri terénnych prácach a pri vyhotovení mapových podkladov, ako aj doc. RNDr. Jánovi Sotákovi, PhD., za cenné pripomienky, ktoré prispeli k zvýšeniu úrovne tejto práce. Ďakujeme aj za podporu v rámci projektu APVV-14-0118.

LITERATÚRA

- Belius, M. 1736. *Notitia Hungariae novae historico-geographica*. T. 2. Vienna.
- Bella, P., Haviarová, D., Kováč, E., Lalkovič, M., Sabol, M., Soják, M., Struhár, V., Višňovská, Z., Zelinka, J. 2014. Jaskyne Demänovskej doliny. *Speleologia Slovaca*, 4, Liptovský Mikuláš, 1–200.
- Biely, A., Bujnovský, A., Vozárová, A., Klinec, A., Miko, O., Halouzka, R., Vozár, J., Beňuška, P., Bezák, V., Hanzel, V., Kubeš, P., Liščák, P., Lukáčik, E., Maglay, J., Molák, B., Pulec, M., Putiš, M., Slavkay, M. 1997. Vysvetlivky ku geologickej mape Nizkych Tatier. Geologický ústav D. Štúra, Bratislava, 1–232.
- Droppa, A. 1957. Demänovské jaskyne – krasové zjavy Demänovskej doliny. Slovenská akadémia vied, Bratislava, 1–289.
- Dzúr, J. 2005. Jaskyňa Okno – nové poznatky. *Spravodaj SSS*, 36, 4, Liptovský Mikuláš, 24–26.
- Gaál, L. 2016. Litológia karbonatických hornín Demänovského jaskynného systému. *Slovenský kras*, 54, 2, Liptovský Mikuláš, 109–129.
- Havrila, M., 2011. Hronikum: paleogeografia a stratigrafia (vrchný pelsón – tuval), štrukturalizácia príkrovu a stavba. *Geologické práce, Správy* 117, 7–113.
- Herich, P., Holúbek, P. 1915. Nad tabuľkami jaskýň Demänovskej doliny. *Spravodaj SSS*, 46, 3, Žilina, 9–10.
- Holúbek, P., Staník, P., Psočka, J. 2006. Stručné zhrnutie nových poznatkov z jaskyne Okno. *Spravodaj SSS*, 37, 1, Liptovský Mikuláš, 56–59.
- Janoška, M. 1921. Jaskyňa za Oknom. *Krásky Slovenska*, 1, 9–10, Liptovský Sv. Mikuláš, 192–198.
- Kettner, R. 1927. Předběžná zpráva o dosavadních geologických výzkumech v Nizkých Tatrách. *Rozpravy II. třídy České akademie*, 36, 4, Praha, 1–19.
- Michalík, J., Masaryk, P., Lintnerová, O., Jendrejáková, O., Papšová, J., Reháková, D. 1992. Sedimentology and facies of a storm-dominated Middle Triassic carbonate ramp (Vysoká Formation, Malé Karpaty Mts, Western Carpathians). *Geologica Carpathica*, 43, 4, 213–230.
- Osborne, A. 2006. Lithified paleokarst deposits in Okno cave, Demänovská valley, Slovakia: relics of an ancient karst history. In (P. Bella, ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, 5, zborník referátov. Liptovský Mikuláš, 14–20.
- Osborne, A. 2007. Intensely lithified paleokarst deposits in Okno Cave, Demänovská Valley (Slovakia). *Geologica Carpathica*, 58, 6, Bratislava, 565–578.
- Pavlarčík, S. 1984. Výskum Demänovskej doliny so zameraním na Demänovskú jaskyňu mieru (Geologická časť). Záverečná správa za rok 1981 – 1984. Manuskript, Archív Správy slovenských jaskýň, 1–38.
- Pavlarčík, S. 1986. Sadrovec v Demänovskej jaskyni mieru. *Slovenský kras*, 24, Liptovský Mikuláš, 193–195.
- Petránek, J. 1963. Usazené horniny. *Československá akademie věd*, Praha.
- Prikryl, E. V. 1985. Dejiny speleológie na Slovensku. *Veda*, Bratislava, 1–158.
- Stur, D. 1868. Bericht über die geologische Aufnahme im oberen Waag- und Gran-Thale. *Jahrbuch der k. k. Geol. Reichsanstalt* 18, Wien.
- Volko-Starohorský, J. 1919. Veľká jaskyňa v Okne. *Národné noviny*. Turčiansky Sv. Martin, 223.
- Volko-Starohorský, J. 1925. Diluviálne náplavy v Jaskyni „Okne“ v Demänovskej doline (Liptov na Slovensku). *Vestník Státního geologického ústavu Československé republiky*, 1, 2, Praha, 1–11.
- Volko-Starohorský, J. 1926. Vykopávky v jaskyni „Okne“ (Demänovská dolina, Liptov). *Zpráva o nálezisku*. *Sborník Muzeálnej slovenskej spoločnosti*, 21, Turčiansky Sv. Martin, 24–39.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	155 – 166	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

GENÉZA A KLASIFIKÁCIA JASKYNE V RYOLITOVOM LÁVOVOM TELESE KAPITULSKÉ BRALÁ, ŠTIAVNICKÉ VRCHY

KATARÍNA GREGOROVÁ^{1,2} – JAROSLAV LEXA¹

¹ Ústav vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, 84104 Bratislava;

katarina.gregorova@geology.sk; jaroslav.lexa@savba.sk

² Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 81102 Bratislava

K. Gregorová, J. Lexa: The genesis and classification of the cave in the Kapitulské bralá Cliffs rhyolite lava dome, Štiavnické vrchy Mts.

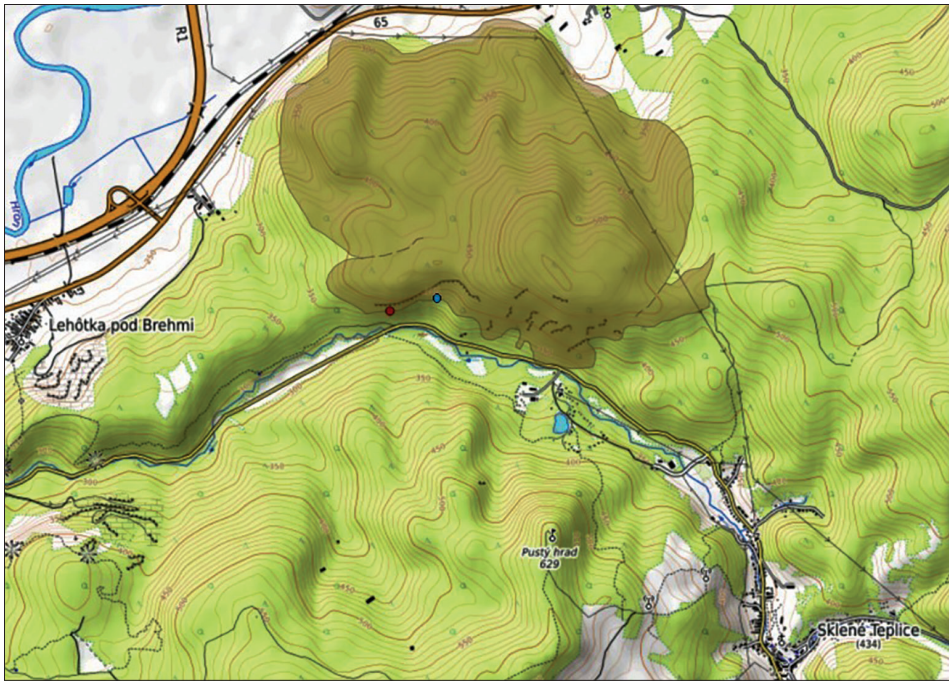
Abstract: The extrusive lava domes and associated dome-flows (coulées), that build the geomorphological complex Kapitulské bralá Cliffs in the Štiavnické vrchy Mts., are products of the Middle Miocene rhyolitic volcanism at marginal faults of the Žiarská dolina Basin (Central Slovakia volcanic field). Rhyolitic lava shows a very high viscosity that affects, among other things, the shape and the nature of volcanic bodies it forms. One of the common structural features in such bodies is the presence of bubbles, cavities after exsolved vapor. These cavities are generally sized in the range of several millimeters to tens of centimeters, and are usually of a regular or gently deformed shape. We documented a cave at the base of the of the Kapitulské bralá Cliffs rhyolite dome-flow, which reminds such a cavity. Particularly, measured structural elements indicate that it could be a giant bubble. The round, tear-like shape of the cave excludes its tectonic origin. The presence of banded structure bending upwards at the margins of the cave and glassy internal surface with stretching-related fine platy jointing along its walls suggest, that the cave was originally filled by expanding vapor, trapped in the viscous rhyolitic lava which condensed later. Voluminous "gaseous zones" - areas with abundance of atypical large bubbles (x10 cm – 1,5 m) occurring elsewhere at the base of the dome-flow imply that the cave is of the same origin. Size of the cave and bubbles in the "gaseous zones" exceeds, by one to two orders of magnitude, the size of bubbles that could form by exsolution of vapor from cooling rhyolite lava. Apparent discrepancy is explained by external source of vapor in the water saturated underlying tuffs which were heated by the overlying dome-flow.

Key words: rhyolite dome-flow, volcanic cave, gas blisters, vapor expansion, Central Slovakia volcanic field

ÚVOD

Vulkanické jaskyne predstavujú najpočetnejšiu skupinu z nekrasových jaskýň endogénneho pôvodu. Počas vulkanologického výskumu a geologických mapovacích prác v oblasti Štiavnických vrchov bola v ryolitoch extruzívneho telesa Kapitulské bralá zdokumentovaná jaskyňa Delta (obr. 1). Táto jaskyňa je zaujímavá z dvoch dôvodov: 1. vulkanických jaskýň zdokumentovaných v ryolitových horninách existuje veľmi málo, 2. pravdepodobne predstavuje unikátny a dosiaľ neopísaný genetický typ pneumatogénnej expanznej jaskyne.

O existencii jaskyne sa prvýkrát zmienila Správa CHKO Štiavnické vrchy v roku 1996, keď ju pri terénnej obhliadke Kapitulských brál objavil A. Maryška. Jaskyňu pomenoval Delta podľa vstupného portálu, ktorý svojim trojuholníkovým tvarom pripomína toto grécke písmeno. Spolu s Deltou v tom istom lávovom telese zaznamenal aj druhú, menšiu jaskyňu – Bukovú dieru (obr. 1). Maryška uviedol predpoklad, že v oboch prípadoch ide o jaskyne puklinového pôvodu, no podrobnejšie sa im nevenoval. V roku



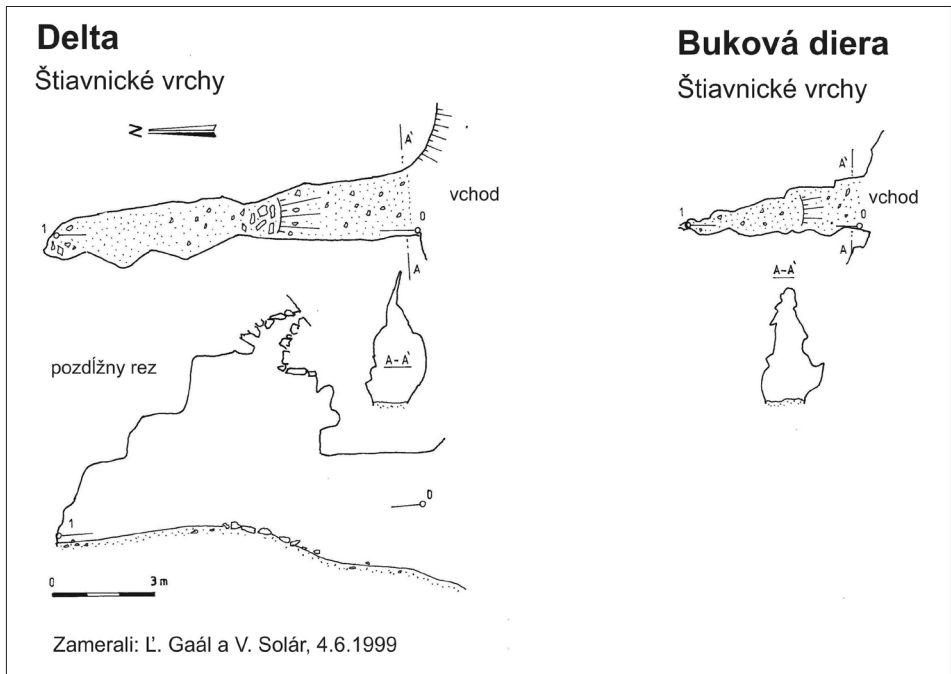
Obr. 1. Pozícia jaskýň Delta (červený bod) a Buková diera (modrý bod) v rámci zložitej stavby extruzívneho lávového telesa Kapitulské bralá (svetlohnedá farba) v severozápadnej časti Štiavnických vrchov. (Zdroj: opentopomap.org; upravené)

Fig. 1. Position of the Delta Cave (red point) and the Buková diera Cave (blue point) in a framework of the complex structure of the Kapitulske bralá Cliffs extrusive lava body (light brown) in the northwestern part of Štiavnické vrchy Mts. (Source: opentopomap.org; modified)

1999 Deltu a Bukovú dieru zamerali L. Gaál s V. Solárom, čoho výsledkom sú dosiaľ nepublikované mapy týchto jaskýň (obr. 2). Stručné zmienky o jaskyniach sa ďalej nachádzajú v publikáciách Gaál (2000) a Bella et al. (2004), pričom v druhej z nich je ako genetický pôvod oboch jaskýň uvedený vznik vyvetrávaním na rozsadline. Kým Buková diera preukázateľne javí známky tektonického typu jaskyne, domnievame sa, že Delta predstavuje typ pneumatogénnej expanznej jaskyne s netypickým umiestnením na báze lávového prúdu, netypického tvaru a mimoriadnych rozmerov. Je dlhá až 9,5 metra, čím predstavuje unikát svojho druhu nielen na Slovensku, ale aj vo svete.

GEOLÓGIA A TERÉNNE POZOROVANIA

Extruzívne lávové dómy a s nimi súvisiace hrubé lávové prúdy (coulées), ktoré budú geomorfologický celok Kapitulske bralá v severozápadnej časti Štiavnických vrchov, sú produktmi ryolitového vulkanizmu z obdobia vrchného sarmatu až spodného panónu. Sú súčasťou jastrabskej formácie (Konečný et al., 1998) a zaradujeme ich k vulkanitom Žiarskej kotliny (Vass et al., 1988), ktorých vznik je spätý s aktivitou ryolitov na jej okrajových zlomoch. Ryolitová láva sa vyznačuje veľmi vysokou viskozitou, ktorá podmieňuje okrem iného aj tvar a charakteristiku vulkanických telies – extruzívnych dómov a krátkych hrubých lávových prúdov, tzv. coulées, ktoré z nej vznikajú.



Obr. 2. Mapy jaskýň Delta a Buková diera. Archív L. Gaála
Fig. 2. Maps of the Delta and Buková Diera caves. Archive of L. Gaál

Ryolitové lávové telesá charakterizuje prítomnosť špecifických litologických, petrografických a štruktúrnych prvkov. K bežne sa vyskytujúcim štruktúrnym znakom patria bubliny, resp. vezikuly – dutiny po oddelení plynnej fázy (najmä vodnej pary) pri ich tuhnutí a fluidálna/páskovaná textúra. Obe nám svojou orientáciou a prípadnou deformáciou významne napomáhajú pri určovaní zmyslu pohybu lávy pri vývoji skúmaných telies.

Bubliny dosahujú veľkosť zväčša v rozmedzí niekoľkých milimetrov až desiatok centimetrov. V prirodzenom stave majú pravidelný, takmer sférický tvar, často však bývajú plasticky deformované – elongované, s dlhšou osou orientovanou v smere prúdenia či rozťahovania. V dôsledku vysokej viskozity lávy málokedy dosahujú väčšie rozmery. Na pochopenie tohto javu je vhodné uviesť pár slov k procesom, ktoré sprevádzajú vznik a rast bublín v ryolitovej tavenine. Každá magma obsahuje v počiatočnom štádiu, t. j. predtým, ako začne stúpať z magmatického rezervoára k zemskému povrchu, určité množstvo prechavých látok (predovšetkým ide o H_2O a CO_2). Tieto látky sú pri dostatočne vysokom tlaku, teda v dostatočnej hĺbke pod zemským povrchom, celkom rozpustené v tavenine. Pri stúpaní magmy smerom nahor sa tlak znižuje, čo vedie k uvoľňovaniu a migrácii prechavých látok z taveniny do bublín. Proces rastu bubliny sa začína jej nukleáciou v supersaturovanej tavenine (tavenina sa stáva supersaturovanou – t. j. presýtenou v momente, keď obsahuje väčšie množstvo prechavej zložky, aké môže byť pri danom tlaku v danej tavenine rozpustené). Následne po prvotnom prekročení viskózneho odporu taveniny rast bubliny prebieha prostredníctvom difúzie, dekompresie a neskôr aj vzájomnej koalescencie (procesu spájania sa). Simultánne dochádza k nepretržitej nukleácii nových bublín. Keďže množstvo prechavých látok v tavenine je limitované, prenikaním

do vezikúl neustále klesá, čo zapríčiňuje zvyšovanie jej viskozity (Spera, 2000; Wallace a Anderson, 2000). V konečnom dôsledku sa zásoba prchavých látok v tavenine vyčerpá, viskozita magmy sa zvýši natoľko, že zabráni ďalšiemu rastu bublín, a tie dosiahnu svoj finálny rádius (Navon et al., 1998). Hovoríme o tzv. viskóznom zamrznutí (*angl. viscosity quench*; Dingwell, 1998). Vo vysoko viskóznei ryolitovej magme dochádza k tomuto javu pomerne skoro, čo bublinám nedovolí dosiahnuť väčšie rozmery. Je teda zrejmé, že na vznik väčších dutín (desiatky cm a viac) je nutná prítomnosť externého vodného zdroja (napr. vodou nasýtené podložie), ktorého kontakt s horúcim lávovým telesom iniciuje vznik dostatočného množstva pary.

Fluidálna/páskovaná textúra sa makroskopicky prejavuje ako striedanie pásov rôznych farieb, pórovitosti a hrúbok v rozsahu od < 1 mm až po niekoľko cm (napr. Christiansen & Lipman, 1966). Ide však o trojrozmerné prvky – subparalelné plochy, penetratívne prestupujúce lávové teleso na určitú vzdialenosť. Plochy fluidality sú veľmi dobrým ukazovateľom primárneho smeru tečenia lávy, ale aj napätového stavu vnútri telesa prezrádzajúceho sa ich druhotnou deformáciou. Ich genéza je stále predmetom skúmania, ale domnievame sa, že ich vývoj sa začína už v priebehu výstupu magmy k zemskému povrchu ako dôsledok chladnutia a s ním spojeného odmiešavania tavenín rôzneho zloženia.

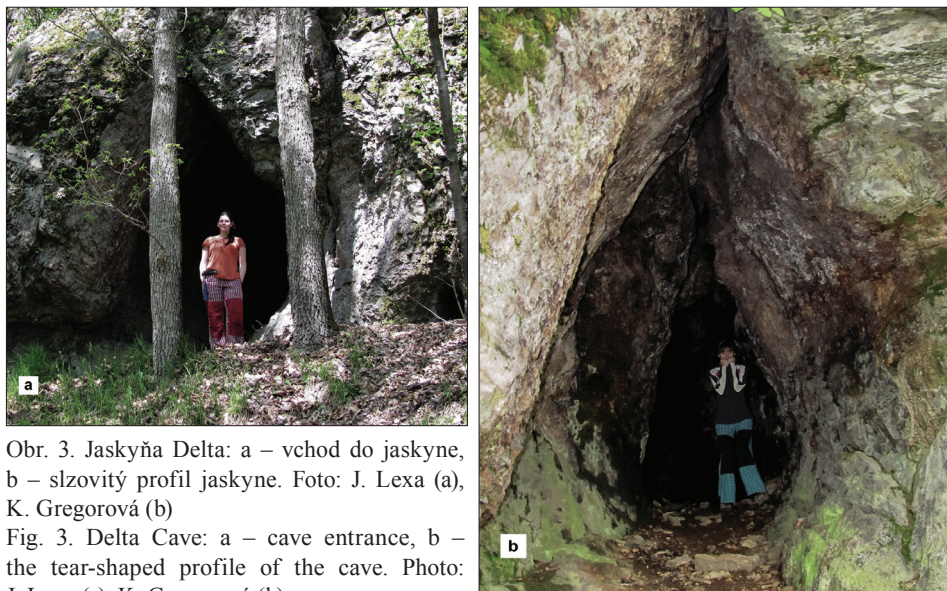
Na určenie genézy a klasifikáciu jaskyne Delta je kľúčový vzájomný vzťah medzi týmito dvoma štruktúrnymi prvkami. Plochy fluidality zvyknú „obtekať“ existujúce prekážky v tavenine, ako sú výrastlice minerálov, respektíve sú deformované expandujúcimi bublinami. Podobný jav možno pozorovať aj pri Delte.

Terénna dokumentácia

Jaskyňa Delta je situovaná na báze pomerne krátkeho a hrubého ryolitového lávového prúdu (obr. 3, 4a). Dĺžka prúdu je okolo 600 m a šírka 250 – 300 m. V najhrubšej časti – pozdĺž stredovej osi paralelnej so smerom tečenia – dosahuje hrúbku až do 80 m, smerom k okrajovým častiam sa mierne zmenšuje. Na samotnom (laterálnom) okraji, kde sa nachádza jaskyňa Delta, súčasne skalné bralo dosahuje výšku len okolo 10 m. Nejde však o pôvodnú hrúbku prúdu v tejto časti, ale o značnú redukciu eróziou. Vychádzajúc z formy lávového prúdu jeho pôvodná hrúbka v mieste jaskyne bola minimálne 30 – 40 m. V celom telese je vyvinutá výrazná a dobre merateľná páskovaná textúra (obr. 5). Jej charakteristický vejárovitý priebeh možno vidieť na obr. 4a: pri báze telesa sú plochy fluidality paralelné s podložíom a vo vyšších častiach prúdu sa stáčajú smerom nahor s úklonom smerom k svojmu zdroju. Petrograficky je prúd reprezentovaný plagioklas-biotitovým ryolitom. Jeho minimálna pórovitosť (obr. 5) spolu s krátkou a hrubou formou telesa jasne indikujú, že išlo o pokojnú extrúziu dobre odplynenej magmy, ktorá v čase vystúpenia na zemský povrch obsahovala len minimálne množstvo prchavých látok.

Presná poloha jaskyne Delta je daná súradnicami N: 48°32,653'; E: 018°50,118' a nadmorskou výškou 354 m. Je dlhá 9,5 m a v najvyššom bode dosahuje výšku takmer sedem metrov. Vstupný portál má tvar slzy s výškou 3,1 m a maximálnou šírkou 2,2 m (obr. 3, 4b). Jaskyňa je pomerne úzka, dlhá a vysoká (obr. 4c, d). V blízkom okolí jaskyne možno pozorovať páskovanú textúru, ktorá sa pri okrajoch jaskyne stáča smerom nahor (obr. 6).

Vnútri jaskyne je značná časť stien rozrušená zvetrávaním. Ojedinele možno pozorovať subhorizontálnu páskovanú textúru a hladké plochy tvorené tenkou ryolitovou vrstvičkou, ktorá obaľuje steny jaskyne ako omietka. Zadná časť jaskyne má oblý tvar

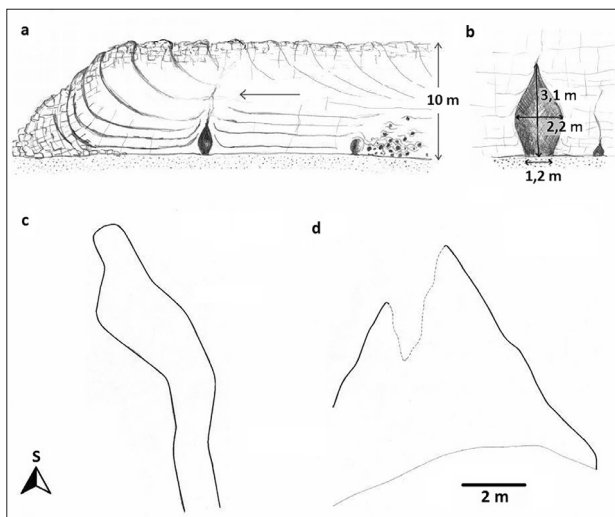


Obr. 3. Jaskyňa Delta: a – vchod do jaskyne, b – slzovitý profil jaskyne. Foto: J. Lexa (a), K. Gregorová (b)

Fig. 3. Delta Cave: a – cave entrance, b – the tear-shaped profile of the cave. Photo: J. Lexa (a), K. Gregorová (b)

(obr. 7). Smerom dohora sa jaskyňa pravdepodobne ťahá po pukline a nesie známky puklinového zvetrávania.

Z jaskyne boli odobraté dve vzorky na petrografickú analýzu. Prvá z vnútornej steny jaskyne, z jednej zo spomínaných hladkých a nerozrušených častí, o ktorých sa domnievame, že reprezentujú originálny vnútorný povrch jaskyne. Druhá vzorka bola odobratá z hĺbky asi 30 cm od pôvodnej steny jaskyne smerom do okolitej horninovej masy. Pet-



Obr. 4. Jaskyňa Delta: a) schéma pozície jaskyne v rámci lávového telesa a jej vzťah k plochám fluidality, b) detail vstupného portálu jaskyne v tvare slzy, c) pôdorys jaskyne, d) bokorys jaskyne. Autor schém a mapiek: K. Gregorová

Fig. 4. Delta Cave: a) position of the cave within the lava body and its relation to flow-banding, b) the tearshaped entrance of the cave, c) ground plan of the cave, d) side profile of the cave. Author: K. Gregorová



Obr. 5. Lávový prúd, v ktorom sa jaskyňa Delta nachádza, je tvorený plagioklas-biotitovým ryolitom s minimálnou pórovitosťou a výraznou páskovanou textúrou. Foto: J. Lexa
 Fig. 5. The Delta Cave is situated in a lava flow that is formed of plagioclas-biotite rhyolite with minimal porosity and a pronounced flow banded texture. Photo: J. Lexa



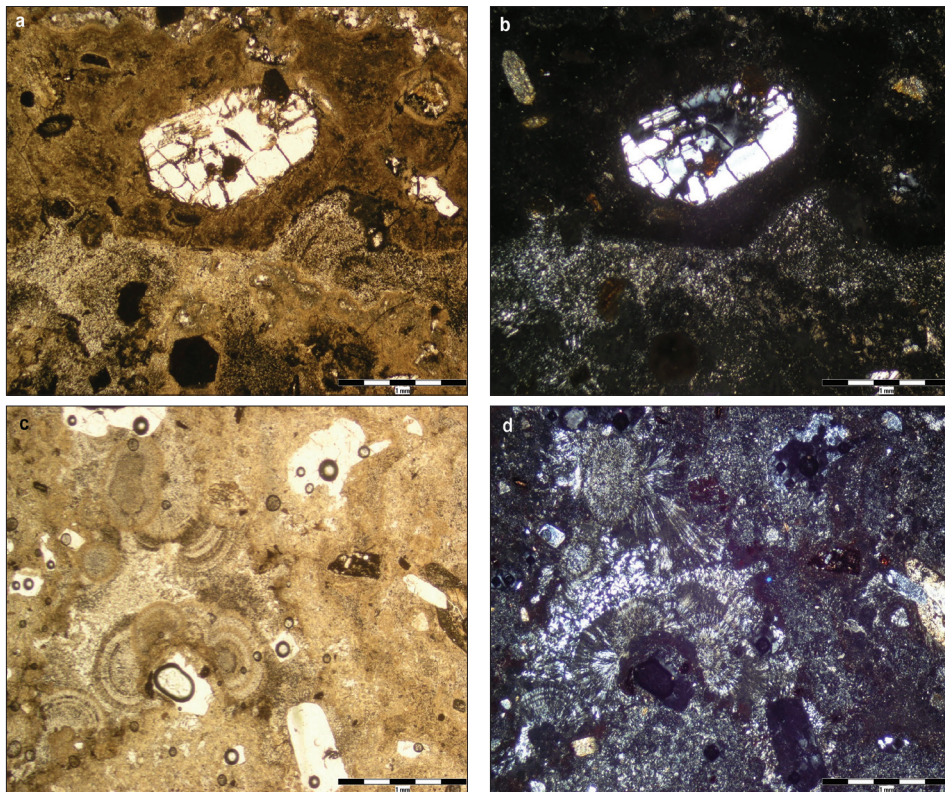
Obr. 6. Stáčanie plôch fluidality pri juhovýchodnom okraji jaskyne smerom nahor – deformácia je spôsobená prienikom a expanziou plynovej bubliny. Foto: J. Lexa
 Fig. 6. Upward bending of flow-banding at the south-eastern edge of the cave entrance – deformation is caused by penetration and expansion of a large gas bubble. Photo: J. Lexa



Obr. 7. Zaoblené vnútorné steny jaskyne s pôvodným sklovitým povrchom a paralelnou odlučnosťou indikujúcou roztáhovanie pri expanzii plynovej bubliny: a – celkový pohľad, b – koniec jaskyne. Foto: K. Gregorová
 Fig. 7. Rounded inner walls of the cave with original glass surface and parallel jointing that indicates stretching during the gas bubble expansion: a – overall view, b – the end of the cave. Photo: K. Gregorová

rografická analýza ukázala, že pôvodné steny jaskyne majú čiastočne sklovitý charakter a smerom dovnútra lávového telesa prechádzajú do svetlejšieho ryolitu s felzosféruliticou základnou hmotou (obr. 8).

V podloží jaskyne a lávového prúdu boli identifikované svetlé vulkanické tufy. Na báze toho istého lávového prúdu bola 250 m východne od jaskyne zdokumentovaná rozsiahla zóna s hojným výskytom atypicky veľkých bublín a dutín veľkosti od centimetrov po 1,5 m (obr. 9). Podobnosť so skúmanou jaskyňou je okrem extrémnych rozmerov a hladkého vnútra daná najmä výraznou fluidalitou, ktorá zreteľne dutiny „obteká“.



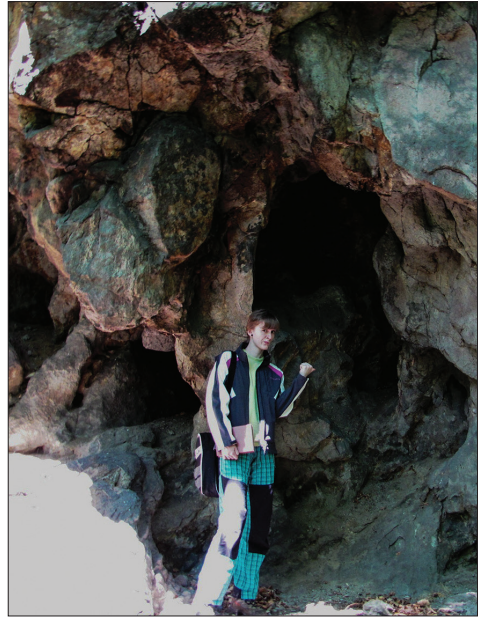
Obr. 8. Mikrofotografie ryolitu z pôvodnej vnútornej steny jaskyne so sklovitým charakterom základnej hmoty (sklo – tmavohnedá farba): a – s paralelnými nikolmi, b – so skríženými nikolmi, c, d – mikrofotografie ryolitu odobratého z hĺbky asi 30 cm od pôvodnej steny jaskyne, c – s paralelnými nikolmi, d – so skríženými nikolmi. Smerom dovnútra lávového telesa ryolit prechádza do svetlejšieho variantu s felsosférolitickou základnou hmotou. Mikrofoto: K. Gregorová

Fig. 8. Photomicrographs of rhyolite from the original inner wall of the cave with a glassy matrix (glass – dark brown): a – in plane polarised light, b – in cross polarised light, c, d – photomicrographs of rhyolite taken from a depth of about 30 cm from the original wall of the cave, c – in plane polarised light, d – in cross polarised light. The character of the rhyolite changes inward to the lighter variant with a felsospherulitic matrix. Micrograph: K. Gregorová

Jaskyňa Buková diera vystupuje v tom istom lávovom telese, približne 200 m na západ až severozápad od jaskyne Delta. Jej presná poloha je daná súradnicami $N: 48^{\circ}32,683'$; $E: 018^{\circ}50,283'$. Buková diera (obr. 10) je situovaná na tektonickej poruche so zmeraným sklonom $80/90^{\circ}$. Na zlome bola vyvinutá tektonická brekcia v šírke 0,4 až 1,0 m, ktorej zvyšky môžeme pozorovať v nadloží a v stenách jaskyne (obr. 10b). Z terénneho pozorovania je zrejmé, že jaskyňa vznikla vypadaním tektonickej brekcie a tektonicky porušených hornín, čo zodpovedá pôvodnej genetickej klasifikácii jaskyne od Bellu et al. (2004).

DISKUSIA A ZÁVER

Existuje niekoľko klasifikácií genetických typov vulkanických jaskýň od viacerých autorov (stručný prehľad je uvedený v tabuľke 1). Podľa Licitru (1993) je pneumato-
génny expanzný typ jaskyne jediný, ktorý bol zaznamenaný aj v iných ako nízkovis-



Obr. 9. Atypicky veľké bubliny/dutiny spôsobené expanziou pary v inej časti bázy lávového prúdu.

Foto: K. Gregorová

Fig. 9. Unusually large bubbles cavities caused by steam expansion at another part of the lava flow base. Photo: K. Gregorová



Obr. 10. Jaskyňa Buková diera: a – vchod do jaskyne, b – detail tektonickej brekcie z ľavého dolného okraja vstupného portálu jaskyne. Foto: K. Gregorová

Fig. 10. Buková diera Cave: a – cave entrance, b – detail of tectonic breccia at the left lower edge of the cave entrance. Photo: K. Gregorová

kózných bázických vulkanických produktoch. Autor zároveň poukazuje na to, že pre vznik takýchto jaskýň je potrebná interakcia dvoch faktorov: 1. prítomnosť veľkého množstva plynov, ktorých tlak je dostatočne veľký, aby dokázal v priebehu expanzie zdeformovať vulkanické produkty v nadloží, ale nie dostačujúci na prekonanie celej ich hrúbky, 2. vulkanické produkty (lávové prúdy alebo ignimbrity) musia mať dostatočne vysokú viskozitu, ktorá nedovolí hromadiacim sa plynom uniknúť, no zároveň musia byť dostatočne plastické, aby ich tlak plynov dokázal zdeformovať ešte pred definitívnym stuhnutím telesa. Táto situácia môže nastať, keď lávové teleso vstúpi do prostredia s veľkým množstvom vody (jazero, more) alebo pochová močaristú, bahnistú pôdu. Licitra tento typ jaskýň nazval „blister caves“, teda pľuzgierovité jaskyne. Bella (2011) v rámci vulkanických expanzných jaskýň rozlišuje dva typy – už spomínané pľuzgierovité jaskyne a geódové jaskyne. Kým prvé vznikajú v pripovrchových podmienkach a spôsobujú nadvihnutie a vykľututie viskózo-elastickej kôry bazaltovej lávy, druhý typ môže vzniknúť aj v hlbších častiach lávového telesa a jeho charakteristickým znakom je prítomnosť mineralizácie. Kempe (2012) zaradil pneumatogénny typ vulkanických jaskýň pod termín „partings“, teda odlučnosti. Autor vo svojom koncepte uvažuje o plynom vyplnených bublinách v lávovom telese ako o možných prvkoch odlučnosti, pozdĺž ktorých môže vplyvom vysokého vnútorného tlaku dôjsť k horizontálnemu odlúčeniu vrchnej vrstvy telesa a súčasne k jej vykľutiu vplyvom laterálneho tlaku. Hoci koncept vzniku je zvolený dosť nešťastne, opis samotnej jaskyne sa prakticky zhoduje s definíciou pľuzgierovitých jaskýň podľa oboch predchádzajúcich autorov – ide o nízke a relatívne široké pripovrchové dutiny, ktoré vznikli expanziou plynov a spôsobili mierne vykľutie kôry telesa.

Jaskyňa Delta má mnohé charakteristiky veľkej bubliny – dutiny po prenikajúcom plyne či pare. To, že ide o „megabublinu“, teda o pneumatogénnu expanznú jaskyňu, naznačujú najmä nasledujúce fakty:

- náznaky fluidality, ktorá sa pri okrajoch jaskyne stáča smerom nahor; takáto deformácia fluidality je výsledkom expanzie a prenikania bubliny smerom nahor;
- tenká sklovitá ryolitová vrstvička obaľujúca vnútro jaskyne, ktorá je výsledkom ochladenia a nárastu viskozity v tesnom okolí expandujúcej bubliny;
- slzovitý profil a oblý koniec jaskyne (ktoré sa značne odlišujú od tvaru jaskýň rozsadlinového typu, ktoré vznikli tektonickou činnosťou);
- prítomnosť hojne preplynenej zóny v tom istom lávovom telese neďaleko jaskyne s nezvyčajne veľkými bublinami a dutinami po prieniku plynu.

Súčasná morfológia jaskyne nesie známky vulkanickej aj tektonickej činnosti a podľa všetkého je výsledkom kombinácie oboch procesov. Keďže fluidálna textúra sa miestami prispôbuje tvaru jaskyne, je zrejmé, že táto vznikla v lávovom telese ešte pred jeho definitívnym vychladnutím. S určitosťou preto môžeme vylúčiť, že by jaskyňa vznikla primárne tektonickou činnosťou, čo nakoniec dokumentuje aj tvar vstupného portálu a zadnej časti jaskyne.

Abnormálne rozmery jaskyne i neďalekých dutín nemožno vysvetliť oddelením fluidu z chladnúcej lávy. Takto vzniknuté bubliny sa vyznačujú menšími rozmermi a pravejšou rozmiestnením v rámci telesa. Lávový prúd, v ktorom je jaskyňa vyvinutá, tvorí v podstate odplynená láva len s minimálnou pórovitosťou (obr. 5). Je ich však možné vysvetliť tým, že po kontakte horúceho ryolitového lávového prúdu s vlhkým podloží pravdepodobne nastala produkcia veľkého množstva vodnej pary, ktorá prenikala do spodnej časti lávového telesa vo forme veľkých bublín a následne skondenzovala.

Tab. 1. Stručný prehľad klasifikácií vulkanických jaskýň podľa Licitru (1993), Bellu (2011) a Kempeho (2012)

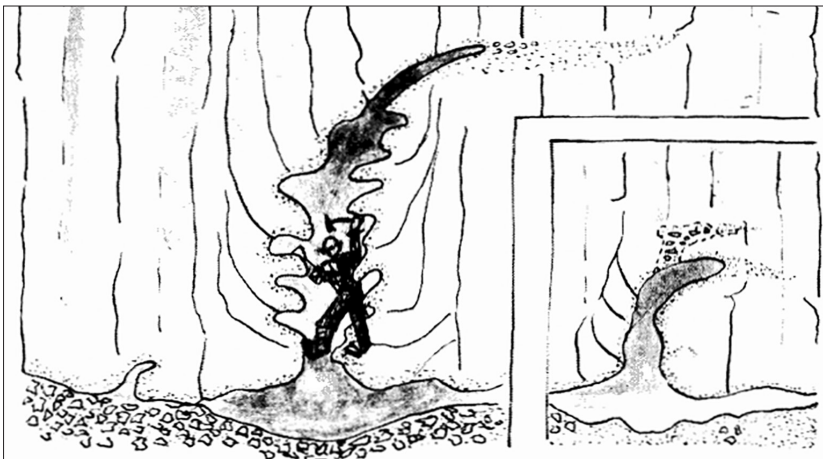
Tab. 1. A brief overview of the classification of volcanic caves by Licitra (1993), Bella (2011) and Kempe (2012)

Licitra (1993)	reogenetické jaskyne (od gréc. <i>rheo</i> = tiecť)	povrchové jaskyne	– lávové tunely a kanály
		puklinové jaskyne (angl. <i>fissure caves</i>)	
	pneumatogénne jaskyne (od gréc. <i>pneuma</i> = vdýchnut)	explozívne jaskyne	– diatrémy, explozívne komíny (angl. <i>hornitos</i>) a vyprskávané kužely (angl. <i>spatter cones</i>)
		expanzívne jaskyne (angl. <i>blister caves</i>)	
Bella (2011)	reogenetické jaskyne	lávové trubicové a tunelové jaskyne	– vytvorené postrannou akreciou stropnej kôry, vytečením lávy spod stuhnutej stropnej kôry a vnútrodajkové drenážne jaskyne
		jaskyne podkôrovej injeckáže a kôrových deformácií lávových prúdov a pokrovov	– vyklenuté jaskyne, hrebeňové jaskyne vytvorené poklesom lávy alebo tlakom prúdiacej lávy, tumulusové jaskyne, medziblokové jaskyne
		kráterové šachty a vertikálne dutiny výlevných vulkanických kužeľov	
	pneumatogénne jaskyne	explozívne a exhalačné jaskyne	
		komíny kužeľov z vystrekovanej lávy	
		expanzné jaskyne	– pľuzgierovité jaskyne (angl. <i>gas blisters, lava bubble caves</i>) – geódové jaskyne
	polygenetické vulkanické, korózne remodelované jaskyne v kužeľoch vyprskávanej nátrokarbonitovej lávy	<i>vzácnny genetický typ jaskyne známy len zo severnej Tanzánie</i>	
	pyrogénne jaskyne (angl. <i>tree mould caves</i>)		
eruptívne trhlínové jaskyne			
Kempe (2012)	primárne jaskyne (tzv. <i>pyrodukty</i>) – lávové tunely rôznych typov	jednokanálové systémy	
		dvoj- a viacanálové systémy	
		systémy s prekrývajúcimi sa kanálmi	
	primárne jaskyne limitovaného výskytu	odtlačky (angl. <i>imprints</i>)	
		odlučnosti (angl. <i>partings</i>)	
		tumulusové jaskyne (angl. <i>tumulus = duté pahorky</i>)	
		kompresné hrebeňové jaskyne (angl. <i>pressure ridge caves</i>)	
		jaskyne prírodných kanálov (angl. <i>volcanic vents caves</i>)	
	sekundárne jaskyne	tektonické jaskyne	
		kolapsové jaskyne (angl. <i>pit craters</i>)	
erózne jaskyne		– jaskyne vytvorené vlnami v pobrežnej oblasti alebo tečúcou vodou	

Túto teóriu podporuje aj prítomnosť sklovitej fázy vnútri jaskyne, ktorá vzniká pri prudkom ochladení horúcej lávy, najčastejšie po kontakte s chladným vodným prostredím.

Pri bádani v zahraničnej odbornej literatúre sme narazili len na dve práce, ktoré opisujú podobný fenomén porovnateľných rozmerov, avšak nie v ryolitových vulkanických horninách, ale v andezitoch a bazaltoch. Waters (1960) zdokumentoval veľké dutiny na báze bazaltového prúdu Columbia river basalt (obr. 11). Označuje ich termínom „prieduchy“ (*angl. spiracles*), ktorý prevzal zo starších prác (Fuller, 1931 in Waters, 1960). Ich genézu vysvetľuje rovnako, ako sme navrhli pri jaskyni Delta. Teda že pri kontakte lávového prúdu s vodou nasýteným podložím dochádza k vzniku veľkého množstva pary, ktorá spolu s plynom zo spálenej vegetácie, vzduchom a ďalšími plynými zložkami obsiahnutými v láve stúpa smerom nahor do lávového telesa a prudko ho chladí za vzniku vulkanickej sklovitej fázy. Tieto plyné komíny môžu podľa Watersa (1960) dosahovať výšku až 15 metrov, ale vo väčšine prípadov sa v hornej časti náhle ohnú v smere prúdenia lávy (ako vidno na obr. 11), prípadne sa z nich odtrhnú celé zhľuky vezikúl. Takmer všetky prieduchy v bazaltoch Columbia river basalt, ktoré dosiahli veľkosť nad 3 metre, sú podstlané tzv. poduškovými lávami (*angl. pillow lavas*), ktoré indikujú kontakt lávy s vodou. Poduškové lávy sú charakteristické pre bazaltový vulkanizmus, preto je prirodzené, že v ryolitovej jaskyni Delta absentujú. Autor takisto ako typický znak prieduchov uvádza vertikálne zvlnenie bočných stien, ktoré môže prejsť až do výrazných horizontálnych lalokov (obr. 11). Vysvetľuje ho ako tendenciu lávy vtláčať sa do prieduchu, tá je však kontinuálne zatlačaná naspäť rastúcim objemom pary. Neprítomnosť tohto úkazu v jaskyni Delta možno takisto zdôvodniť rozdielnym horninovým zložením okolitého telesa. Ryolitová tavenina má o desiatky rádov vyššiu viskozitu (10^6 až 10^8 Pa.s) ako bazaltová (Spera, 2000), preto ťažšie podlieha plastickým deformáciám.

Druhú zmienku predstavuje krátka správa od Azizbekjana (1978) o vulkanických jaskyniach Arménska. Autor hovorí (v doslovnom preklade) o „lávových balónoch“, ktoré hojne vystupujú v andezitoch a bazaltoch v juhovýchodnej časti krajiny. Ide o takmer sférické dutiny po uniknutom plyne, ktoré môžu podľa autora dosahovať v priemere 10 – 12 m a vystupujú predovšetkým v laterálnych častiach lávových prúdov, kde tele-



Obr. 11. Rozsiahly prieduch s lalokovitými stenami, Moses Coulee, Washington, Columbia River basalt (Waters, 1960)

Fig. 11. A large spiracle with lobate walls, Moses Coulee, Washington, Columbia River basalt (Waters, 1960)

so už nedosahuje veľkú hrúbku. Autor však neuvádza, v akej pozícii v rámci telesa sa dutiny nachádzajú (na báze, v strede či pod povrchom). Termín „lávový balón“ nebol zvolený veľmi vhodne, keďže ide o dutiny, ktoré boli pôvodne vyplnené plynom a nie lávou. Túto terminologickú patáliu vyriešil Grimes (2008) vo svojej práci, kde navrhol pre expanzné pneumatogénne typy vulkanických jaskýň používať termín „gas blisters“, teda plyné pľuzgiere, namiesto všeobecne zaužívaného termínu „lava blisters“, teda lávové pľuzgiere.

Podakovanie: Táto práca vznikla pri realizácii dizertačného projektu K. Gregorovej pod vedením Dr. J. Lexu na Ústave vied o Zemi SAV v Bratislave. Riešenie problematiky bolo podporené projektmi VEGA/0162/11 a VEGA/0138/15. Dr. Gaálovi ďakujeme za konštruktívne pripomienky recenzenta a poskytnutie nepublikovaných podkladov.

LITERATÚRA

- Azizbekjan, O. G., Vanjan, R. A., Vardanjan G. O., Chodkarjan D. G. 1987. Vulkanické peščery jugovostočnej časti Armjanskej SSR. Problemy izučeniya, ekologii i ochrany peščer. Tezisy dokladov. Kiev, 41–42.
- Bella, P. 2011. Genetické typy jaskýň. *Verbum, Ružomberok*, 33–34.
- Bella, P., Gaál, L., Holúbek, P. 2004. Caves in non-carbonate rocks of Slovakia: list, genetic types, values and protection. In Gaál, L. (Ed.): *Proceedings of the 8th International Symposium on Pseudokarst, Teplý Vrch. Žilina*, 32–56.
- Dingwell, D. B. 1998. Magma Degassing and Fragmentation: Recent Experimental Advances. In Freundt, A., Rosi, M. (Eds.): *From Magma to Tephra: Modelling Physical Processes of Explosive Volcanic Eruptions*. Elsevier, Amsterdam, 1–23.
- Gaál, L. 2000. Jaskyne preskúmané Centrom ochrany prírody a krajiny SAŽP v rokoch 1998 – 1999. *Chránené územia Slovenska* 43, Banská Bystrica, 29–31.
- Grimes, K. G. 2008. Subcrustal drainage lava caves, examples from Victoria, Australia. In Espinasa-Perena, R., Pint, J. (Eds.): *Proceedings of the X, XI and XII International Symposia on Vulcanospeleology*. *AMCS Bulletin*, 19, 35–44.
- Christianen, R. L., Lipman, P. W. 1966. Emplacement and thermal history of a rhyolite lava flow near Fortymile Canyon, southern Nevada. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Vol. 77, 671–684.
- Kempe, S. 2012. Volcanic rock caves. In White, W. B., Culver, D. C. (Eds.): *Encyclopedia of caves*. Academic Press, Waltham, MA, 871–872.
- Konečný, V., Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstričová, V., Mihalíková, A., Vozárová, A., Konečný, P., Kováčiková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Liščák, P., Žáková, E. 1998. *Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronského Inovca (štiavnický stratovulkán)*. Geologická služba SR, Bratislava.
- Licitra, G. M. 1993. Essay on genetic classification of volcanic caves. In Halliday, W. R. (Ed.): *Proceedings of the Third International Symposium on Vulcanospeleology (Bend, Oregon, USA, July 30 – August 1, 1982) Vancouver, Washington*, 118–120.
- Navon, O., Chekhmir, A., Lyakhovsky, V. 1998. Bubble growth in highly viscous melts: theory, experiments, and autoexplosivity of lava domes. *Earth Planetary Science Letters*, 160, 763–776.
- Spera, F. J. 2000. Physical Properties of Magma. In Sigurdsson, H. (Ed.): *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, CA, 171–189.
- Vass, D. 1988. *Vysvetlivky k mape: Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov panónskej panvy na území ČSSR*. GÚDŠ, Bratislava, 1988.
- Wallace, P., Anderson, A. T. 2000. Volatiles in magmas. In Sigurdsson, H. (Ed.): *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press, San Diego, CA, 149–170.
- Waters, A. C. 1960. Determining direction of flow in basalts. *American Journal of Science*, 258A, 350–66.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	167 – 181	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

ZUB MAMUTA SRSTNATÉHO *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* (BLUMENBACH, 1799) A KRYOGÉNNE KALCITY Z ČACHTICKEJ JASKYNE (MALÉ KARPATY, SLOVENSKO)

MONIKA ORVOŠOVÁ¹ – ANNA ĎURIŠOVÁ² – RASTISLAV MILOVSKÝ³

¹ Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš; monika@orvosova@smopaj.sk

² SNM-Prírodovedné múzeum, Vajanského nábrežie 2, 810 06 Bratislava; anna.durisova@snm.sk

³ Ústav vied o Zemi, Geologický odbor, SAV, Ďumbierska 1, 974 01 Banská Bystrica; milovsky@savbb.sk

M. Orvošová, A. Ďurišová, R. Milovský: The tooth of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) and cryogenic calcites from the Čachtická jaskyňa Cave (Malé Karpaty Mts., Slovakia)

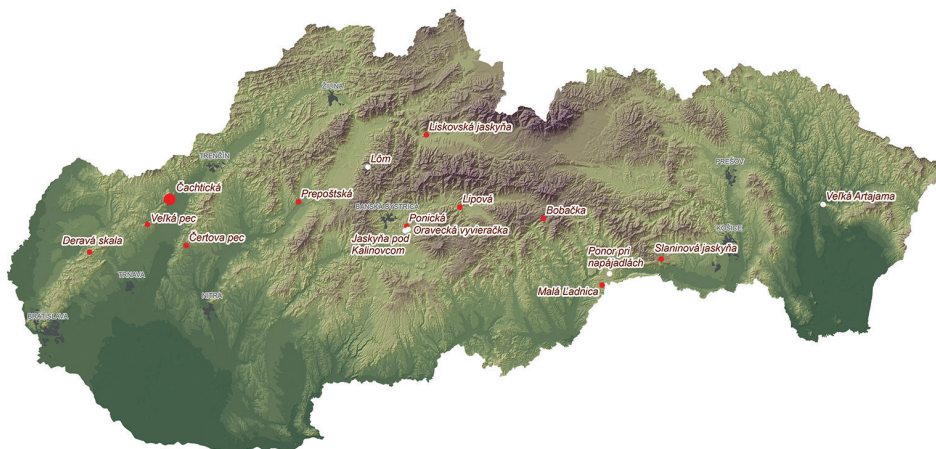
Abstract: Well preserved woolly mammoth tooth and cryogenic calcites were found in the Čachtická jaskyňa Cave (entrance 335 m a.s.l., length 3,865 m, depth 110 m) which is located on the Čachtice karst plateau in the northeastern part of the Malé Karpaty Mts. The structure of the cave is a system of gradual vertical drainages from the plateau above the cave, so we assume that the tooth has entered the cave by a flood surge or landslide. Based on its morphological-metric features, we assign the tooth on the species *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799). It is the last upper molar - M3 with more than 90% of lamellae in function, so more than 47 years of the mammoth ontogenetic age can be assumed. The cryogenic cave calcites were found as loosely deposited accumulations of “crystalline sand” at the bottom of the cave about 76 m below the surface. Their isotopic values of $\delta^{18}\text{O}$ are between -10.23 and -9.05 ‰ and $\delta^{13}\text{C}$ between -10.08 ‰ and -9.20 ‰. Despite slightly different values compared to the other Slovak locations (heavier oxygen and lighter carbon), their crystalline morphology, occurrence circumstances, and the trend of C-O isotopic values clearly indicate the cryogenic origin of the crystals. Their absolute age was determined to $24.6 \text{ ka} \pm 1.6$ by the U-Th series dating. The occurrence of the CCC provides important information about the coldest period (LGM - Last Glacial Maximum) within the Last Glacial. In the period before 24,600 years ago, there was the probable occurrence of sporadic permafrost with a minimum thickness of 76 m in the Čachtice karst. The rare find of a mammoth tooth is deposited in the collections of the Slovak Museum of Nature Protection and Speleology in Liptovský Mikuláš under the registration No. P15023.

Key words: woolly mammoth tooth, cryogenic cave calcites, isotopes O and C, permafrost, LGM, Slovakia

ÚVOD

Nálezy v Čachtickej jaskyni – mamutieho zuba ako významného fosílného záznamu a kryogénnych kalcitov – opäť potvrdzujú výnimočnosť jaskýň uchovávať dôležité informácie z dávnej minulosti, ktoré v súčasnosti už neexistujú.

Počas spoločného prieskumu jaskyniarskych klubov OS Čachtice a STJ KW Kraków v Čachtickej jaskyni sa 12. 1. 2013 podaril nečakaný nález zuba mamuta srstnatého (*Mammuthus primigenius*). Zub našiel člen klubu OS Čachtice Lukáš Kubičina v skal-



Obr. 1. Mapa s výskytmi mamutích fosílií v jaskyniach Slovenska s vyznačením Čachtickej jaskyne. Červené bodky – výskyty fosílií publikované, biele bodky – výskyty nepodložené (in verb.) (Gaál et al., 2013)

Fig. 1. Map of mammoth fossil findings in the Slovak caves, Čachtice jaskyňa Cave is highlighted. Red dots – published findings, white dots – unverified reports (Gaál et al., 2013)

nom výčnelku, ktorý sa nachádza v priestoroch zvaných Jarine dómy. Pokiaľ sa zachovali v jaskynných sedimentoch kostrové zvyšky stavovcov, zuby sú najčastejšími nálezmi, pretože predstavujú najodolnejšie časti osteologického materiálu voči mechanickému poškodeniu počas niekoľkonásobného redeponovania jaskynnej výplne. Jaskyne však tvoria len vzácnu časť prirodzených pasce (obr. 1). Zvyšky mamutov sa mohli dostať do jaskýň rôznymi spôsobmi – najmä splavením, zavlečením predátormi, prípadne človekom.

Fosilne zvyšky mamuta srstnatého prinesené do jaskyne paleolitickým človekom sú známe z Prepoštskej jaskyne (Medvecký, 1927; Prošek, 1952; Bárta, 1974; Čeklovský a kol., 2016), z Čertovej pece pri Radošine (Zotz a Vlk, 1939; Musil, 1996), z Deravej skaly v Malých Karpatoch (len hroty z mamutoviny – Prošek, 1951; Kaminská et al., 2005), zo Slaninovej jaskyne pri Turnianskom Podhradí (len úštepy z mamutoviny – Kaminská, 1993, 2006; Horáček, 1993) a pravdepodobne tohto pôvodu sú i zvyšky mamuta z Veľkej pece pri Prašníku v Malých Karpatoch a z Liskovskej jaskyne v Chošských vrchoch (Bárta, 1969). Zvyšky mamutov, predovšetkým mladých jedincov, zavlečené do jaskýň mäsozravicami, najmä hyenami, sa našli napríklad v Čertovej peci pri Radošine (Musil, 1996). Zvyšky mamutov, ktoré sa dostali do jaskýň splavením vodným tokom alebo zosuvom z okolia jaskyne do jej vnútorných priestorov, pochádzajú napríklad z Ponickéj jaskyne (Hraško et al., 2005) alebo Malej Ľadnice (Majko, 1957). Pravdepodobne podobným spôsobom bol deponovaný do Čachtickej jaskyne aj skúmaný zub.

Cieľom tohto príspevku je opis zuba mamuta a ďalšieho vzácného nálezu – kryogénnych kalcitov z Čachtickej jaskyne, ktoré spoločne vypovedajú o chladnej klíme v období posledného glaciálu a o jej vplyve na speleogenézu jaskyne. Vzácnu zachovanú výskyt akumulácií kryogénnych kryštalických agregátov a raftov kalcitu na podlahe na jedinom mieste v jaskynnom systéme je indikátorom permafrostu na danom území a prítomnosti ľadovej výplne v jaskyni v období posledného glaciálu.

GEOGRAFICKO-GEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA OKOLIA JASKYNE, OPIS JASKYNE A NÁLEZOVÉ OKOLNOSTI

Čachtická jaskyňa sa nachádza v rovnomennom krase (Lukniš, 1964), ktorý je súčasťou severovýchodnej časti Malých Karpát (obr. 1). Krasové územie je súčasťou tektonickej jednotky hronika reprezentovanej nedzovským príkrovom. Základnými horninami sú prevažne triasové vápence wettersteinského typu a hlavné dolomity (obr. 2).

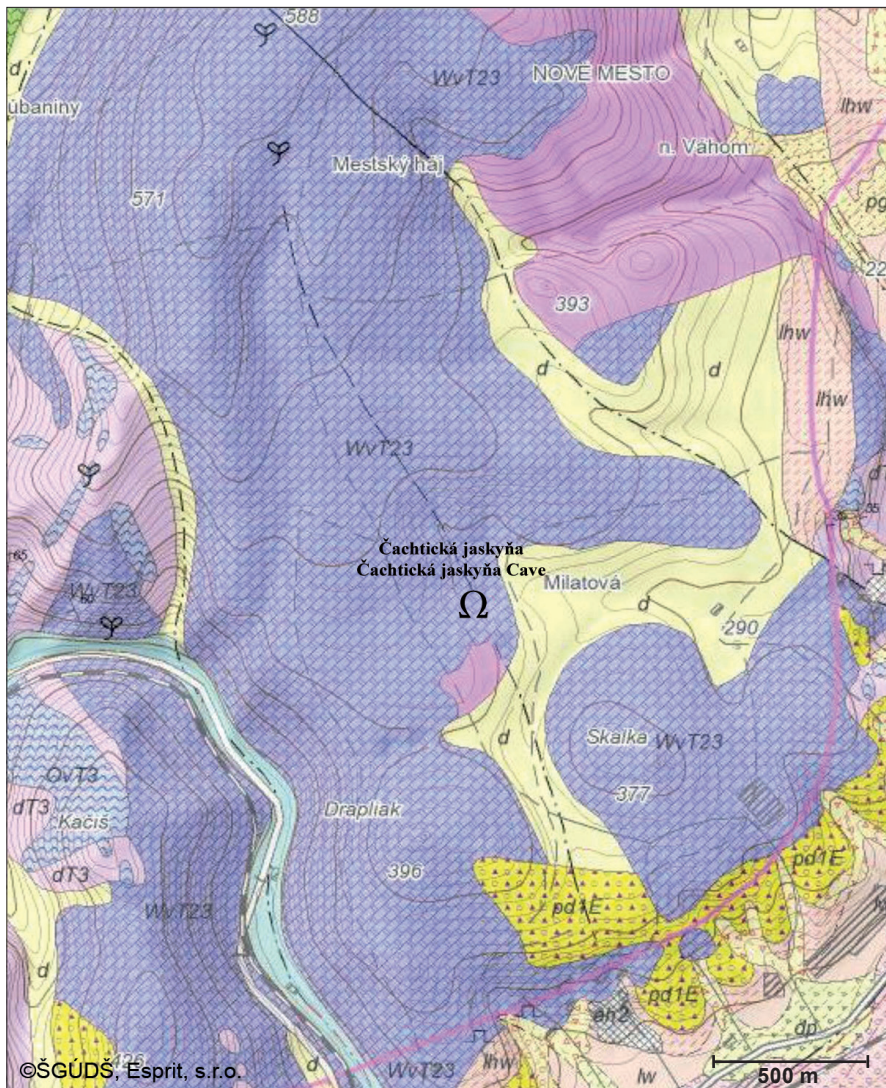
Dominantným tvarom územia Čachtického krasu je krasová plošina s rozlohou 12 km² (Mitter, 1974). Plošina je mierne členitá s dobre vyvinutým povrchovým krasom. Vyskytujú sa tu škrapové polia, krasové jamy a suché doliny s ponormi. Jamy a ponory sú často usporiadané v líniiach na dne krasových dolín. Zo staršieho cyklu krasovatenia sa tu nachádzajú zvyšky terénnych depresii vyplnené sprašovou hlinou alebo terénne depresie s ponormi, ktoré v súčasnosti stále podliehajú krasovateniu (Mitter, 1974), ďalej množstvo fosílnych sintrov na povrchu planiny, zvyškov kedysi existujúcich jaskýň, ktorých nadložie však bolo postupne v priebehu niekoľkých miliónov rokov oderodované, alebo fosilna vyvieračka nad Čachticami, dnes vo visutej polohe 70 m nad recentnou vyvieračkou Teplica v Čachticiach (Kýška a Sluka, ústna informácia 2017).

Vstup do jaskyne je v jednom zo závrtovej kotlovej tvaru v starej krasovej depresii vytvorenej niekoľkými závrťmi. Jaskynný systém s dĺžkou 3865 m a hĺbkou 110 m (Sluka, 1983) môžeme charakterizovať ako zložitú sústavu prevažne vysokých vertikálnych puklinových priestorov, komínov a dómov paralelne pospájaných chodbami (obr. 3).

Jaskynné priestory sú do značnej miery tektonicky predisponované, vznikli na drvených zónach horniny a križovaní výraznejších porúch. Podobne, ako sú na povrchu viditeľné usporiadané ponory na dnách krasových depresii, tak aj v podzemí predstavuje štruktúra jaskynných priestorov Čachtickej jaskyne paralelný systém postupného vertikálneho odvodňovania planiny nad jaskyňou. Pomerne úzke vertikálne priestory vznikli zväčša korozívnym rozšírením zlomov a puklín vo viacerých etapách. Najväčšie priestory vznikli na zónach drvenej horniny, do ktorej patria aj Jarine dómy s výskytom mamutieho zuba. Dno týchto priestorov je tvorené zrútenými balvanmi, ktoré spolu s infiltrovanou hlinou a sintrovými nátekmi vytvárajú zložitú bludiská (Sluka, 1983). Všetky tieto systémy sa končia v hĺbke približne v nadmorskej výške 226 m, ich dno vyplňa jemný ílovito-piesčité sediment. Ílovitý jemný materiál v tenkej vrstve pokrýva väčšinu priestorov jaskyne. Materiál charakteristického alochtónneho riečného pôvodu sa nenašiel, ani znaky fluvialnej erózie, preto sa predpokladá, že vo vadóznej zóne jaskyne nepreteká aktívny podzemný tok. Hlinitý materiál splavila z povrchu presakujúca voda, resp. deponovala podzemná voda z okolia počas eventových záplav jaskyne. Proces splavovania hĺn do podzemia pokračuje a steny puklinových priestorov jaskyne stále pokrýva vrstva mokrej hlíny (Mitter, 1974).

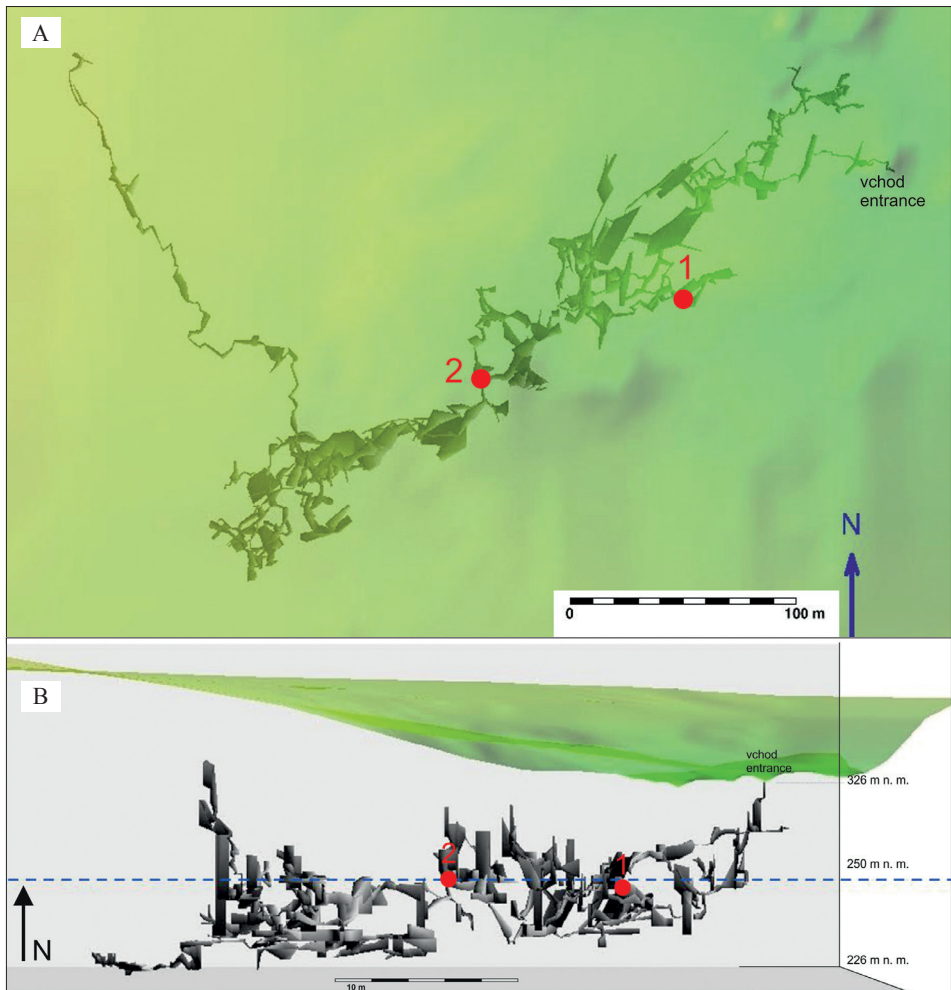
Mamutí zub bol objavený asi 2,5 m nad podlahou zaseknutý v skalnej stene pod vysokým komínom bez prítomnosti jaskynného sedimentu (obr. 4). Ten bol pravdepodobne odlapený.

Ďalšie dosiaľ známe, presne však neurčené nálezy z jaskyne sú fragment zuba medveďa jaskynného (*Ursus ex gr. spelaeus*), ktorý sa našiel niekoľko metrov nad nálezom mamutieho zuba, a tri zuby pratura (*Bos primigenius*) z troch rozličných miest. Bližšie informácie o vyššie uvedenom osteologickom materiáli sa získať nedajú (L. Kubičina, ústna informácia). Predpokladáme, že zuby sa dostali do jaskyne prepadom alebo paleoponormi.



Obr. 2. Geologická mapa okolia Čachtickej jaskyne (upravené podľa <http://mserver.geology.sk/gm50js/>). Legenda: WvT23 – wettersteinské vápence (ladin), dT3 – hlavné dolomity (karn – norik), OvT3 – oponické vrstvy: vápence a slieňovce (spodný karn), pd1E – lužické súvrstvie: zlepenec, brekcie (miocén), lhw – eolicko-deluviálne sedimenty: nevápnité sprašové hliny a spraše (pleistocén), lw – eolické sedimenty: spraše, vápnité sprašové hliny (pleistocén), d – deluviálne sedimenty: svahoviny a sutiny (holocén), dp – deluviálne-proluviálne sedimenty: dejekčné kužele so štrkmi a pieskami (holocén), ah2 – antropogénne sedimenty: navážky a haldy (holocén)

Fig. 2. Geological map of the surroundings of Čachtice jaskyňa cave (updated on <http://mserver.geology.sk/gm50js/>). Legend: WvT23 – Wetterstein Limestones (Ladinian), dT3 – Hauptdolomite (Carnian – Norian), OvT3 – Opponitz Beds: limestones and marls (Lower Carnian), pd1E – Lužice Formation: conglomerates, breccias (Miocene), lhw – eolian-deluvial sediments: non-calcareous loess loam and loesses (Pleistocene), lw – eolian sediments: loesses and calcareous loess loam (Pleistocene), d – deluvial sediments: deluvium and debris, dp – eluvial-proluvial sediments: loams talus fan with gravels and sands (Holocene), ah2 – anthropogene deposits: dumps (Holocene)



Obr. 3. Pôdorys (A) a bokorys (B) Čachtickej jaskyne s miestom nálezu mamutieho zuba (1) a kryogénnych kalcitových agregátov (2). Línia predstavuje predpokladanú minimálnu hĺbku permafrostu v jaskynnom systéme pred asi 24 600 rokmi. 3D vizualizácia pomocou programu Geo3D (Š. Huber) a Toporobot (M. Heller), upravil M. Sluka (1999)

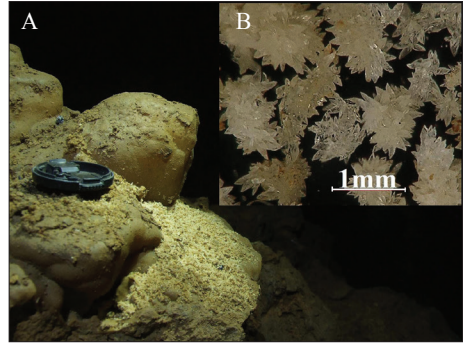
Fig. 3. Ground plan (A) and side view (B) of the Čachtice jaskyňa Cave. The findings of mammoth tooth (1) and cryogenic calcite aggregates (2) are highlighted. The line represents minimum depth of permafrost in the cave system about 24,600 years ago. 3D visualization using Geo3D (Š. Huber) and Toporobot (M. Heller) edited by M. Sluka (1999)

V priestore Horná kaplnka pri Bielom dome, kde sú vyvinuté „živé“ nátekové formy speleotém, sa našli voľne uložené akumulácie (rozsypy) „kryštalického piesku“ v podobe nakopených drobných (veľkosti od 1 do 5 mm) kryštalických agregátov kalcitu alebo plochých raftov. Niekoľko malých kôpok hrúbky do 2 cm a plochy do niekoľkých prvých desiatok cm² kontrastovali svojou svetlou žltou farbou na tmavom zahlienenom podklade. Boli voľne uložené vo visutých polohách, na šikmej ploche balvana a sintrovom náteku pri stalagmite (obr. 5). Podľa analógie z iných našich jaskýň (Žák et al., 2009; Orvošová a Vlček, 2012; Orvošová et al., 2014) boli identifikované ako kryogénne kalcity a odoberaté na geochemický výskum.



Obr. 4. Situácia nálezového miesta mamutieho zuba. Foto: L. Kubičina

Fig. 4. In-situ view of mammoth tooth. Photo: L. Kubičina



Obr. 5. Miesto nálezu kryogénnych agregátov (ccc) na šikmej ploche pod stalagmitom, voľne zachytených po roztopení ľadovej výplne (A). Vrchnák z objektivu má priemer 4 cm. Detail morfológie kryštalických agregátov a raftov ccc v mieste nálezu (B). Foto: R. Milovský.

Fig. 5. Place where cryogenic aggregates (ccc) were found on a sloping area under a stalagmite loosely laid after the ice fill (A), has melted. The cover from the lens has a diameter of 4 cm. Detailed morphology of crystal aggregates and rafts ccc site finding (B). Photo: R. Milovský

OPIS MOLÁRA *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS* A KRYOGÉNNEHO KALCITU Z JASKYNE

METODIKA

Opisovaný ojedinelý nález molára mamuta srstnatého z Čachtickej jaskyne je uložený v zbierkovom fonde Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši pod evidenčným číslom P15023. Pri morfometrickom opise zuba bola použitá metóda podľa Musila (1968) a Maglia (1973). Vek mamuta, ktorému zub patril, bol stanovený podľa metodiky Lawsa (1966 ex Haynes 1991). Použitá taxonómia je v zmysle Shoshaniho a Tassyho (2005).

Na izotopové analýzy (^{18}O a ^{13}C) variabilných morfológických typov agregátov ccc sa použil hmotnostný spektrometer MAT 253 (GÚ SAV v Banskej Bystrici). Hmotnostný spektrometer MAT253 bol v režime continuous-flow, s preparačným zariadením Gasbench III pre automatizovaný kyselinový rozklad karbonátov. Veľkosť vzorky 80 – 300 μg , extrémna presnosť $\delta^{18}\text{O}$ 0,2 ‰ a $\delta^{13}\text{C}$ 0,1 ‰. $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ -datovanie samotných kryštálov a agregátov ccc sa vykonalo na hmotnostnom spektrometri s termálnou ionizáciou (TIMS, MAT 262 RPQ) na Akadémii vied v Heidelbergu v Nemecku s použitím dvojvláknovej techniky. Vzorky na izotopové merania boli chemicky pripravené podľa Franka et al. (2000). Všetky pomery aktivít dcérskych izotopov rozpadovej rady ^{238}U sa prepočítali s použitím konštánt rádioaktívneho rozpadu podľa Chenga et al. (2000) a korigovali na prítomnosť detritického tória za predpokladu, že hmotnostný pomer $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ pre celkovú Zem (Bulk Earth) je 3,8 pre detrit a ^{230}Th , ^{234}U a ^{238}U sú v rovnováhe.

Molár druhu *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799)

Proboscidea ILLIGER, 1811

Elephantidae GRAY, 1821

Elephantinae GRAY, 1821

Mammuthus BROOKES, 1828

Mammuthus primigenius (BLUMENBACH, 1799)

1802 *Elephas primigenius* – Blumenbach: S. 697.

1942 *Mammonteus primigenius* – Osborn: 805–1676.

1968 *Mammonteus primigenius* (BLUMENBACH) – Musil: 71–79.

1973 *Mammuthus primigenius* (BLUMENBACH), 1803 – Maglio: p. 60, Pl. XVIII figs. 2–4.

Lektotyp: Ľavý dolný molár m3 zo zbierky J. F. Blumenbacha uložený vo vtedajšom Zoological Institute of the University, Göttingen. Opis a vyobrazenie – Osborn, 1942: p. 1122, fig. 993.

Typová lokalita: Sibír, lokalita neznáma (Maglio, 1973: p. 60)

Stratigrafické rozpätie: Neskorá fáza stredného pleistocénu až holocén.

Geografické rozšírenie: Európa, Ázia, Severná Amerika.

Charakteristika: Relatívne malý až stredne veľký druh rodu *Mammuthus*, ktorý má tretie „trvalé“ moláre s 20 – 27 lamelami, výšku korunky o 50 – 150 % väčšiu ako šírku, lamely extrémne tenké a blízko pri sebe. Frekvencia lamiel je 7 – 12 pre prvé až tretie moláre, obrazce skloviny zhryzených lamiel sú zvyčajne nepravidelné, bez mediánneho rozšírenia, hrúbka skloviny je tenká 1 – 2 mm a jemne zvrásnená, korunka je silno pokrytá cementom, predné korene zubov sú jemné a ostatné sú splynuté (upravené podľa Maglia, 1973: p. 60).

Morfometrický opis molára

Ide o horný tretí pravý molár – M3 dext. s lamelovým vzorcom $\infty 12 x$, t. j. zachovalo sa 12 lamiel, na distálnom (anteriornom) konci dentinplanum tvorené dvomi až tromi lamelami a proximálny (posteriorný) talon. Niekoľko najdistálnejších lamiel a distálny talon sa už nezachovali, boli úplne abradované. Zub je silno zhryzený, okrem dvoch najproximálnejších lamiel, ktoré sú pokryté cementom, sú všetky lamely zasiahnuté zhryzením. Podľa metodiky Musila (1968) ide o stupeň zhryzenia 2 – 4. Zub je viac zhryzený na bukálnej strane, čo je jasne vidieť aj na dentiplanume. Proximálna polovica žuvacej plochy je šikmo sklonená k bukálnej strane zuba, čo sa odrazilo i na výške lamiel, ktoré sú výrazne vyššie na lingválnej strane zuba. Lamely sú veľmi šikmo postavené k rovine žuvacej plochy, aj k pozdĺžnej osi zuba, najmä IV. až VII. lamela. V dôsledku toho prečnieva sklovina lamiel nad medzilamelovým cementom 2 – 8 mm, najviac na lingválnej strane zuba. Obrazce skloviny lamiel majú širší pásikový tvar. Obrazce na prvých troch lamelách sú v strednej časti mierne rozšírené. Sklovina I. až IV. lamely na žuvacej ploche je výrazne zvrásnená a na proximálnejších, menej zhryzených lamelách, je sklovina menej zvrásnená. Žuvacia plocha má distálne hruškovitý tvar. Typ splynutia lamiel lat. ann. med. lam. je možné ešte sledovať na najproximálnejších lamelách. Po stranách sú lamely pokryté cementom. Na miestach, kde je cement odstránený, vidieť, že po celej svojej výške sú lamely rovnako široké, až pri báze korunky, najmä na lingválnej strane, sú mierne rozšírené. Najspodnejšie časti koreňov sú odlomené. Na zachovaných zvyškoch, najmä v distálnej časti, vidieť stopy po ich resorpcii.

Vzhľadom na šikmé a silné zhryzenie zuba bola meraná jeho dĺžka takmer pri báze korunky, kolmo na lamely. Zub je najširší na prvej zachovanej distálnej lamele. Výška

korunky sa merala na vyššej, lingválnej strane. Zistený rozmer je približný, keďže lamely sú pokryté cementom a ich báza nie je celkom zreteľná.

Vek mamuta, ktorému patril opisovaný zub, bol stanovený na základe postavenia zuba v čeľusti a jeho opotrebovania (Laws, 1966 ex Haynes, 1991). Keďže ide o posledný molár M3, ktorý mal vo funkcii viac ako 90 % lamiel a v dôsledku zhryzenia bola časť anteriórneho konca zuba odstránená, možno usudzovať, že mamut, ktorému zub patril, mal viac ako 47 rokov.

Zub je pomerne dobre zachovaný. Na proximálnej (posteriórnej) a bukálnej strane sú lamely pokryté cementom. Na lingválnej strane je cement z väčšej časti odstránený a lamely, na ktorých sa cement nezachoval, majú obrúsenú i sklovinu, miestami až na dentín. K odstráneniu cementu a obrúseniu skloviny lamiel mohlo dôjsť eróziou sedimentmi pohybujúcimi sa okolo zuba zakliesneného medzi skalami. Cement je svetlej sivohnedej farby, miestami s bledými hrdzavými fľakmi, sklovina i dentín sú svetlosivej, miestami svetlej sivohnedej farby (obr. 6a, b, c).



Obr. 6. Horný tretí pravý molár (M3 dext.) mamuta srstnatého *M. primigenius*, Čachtická jaskyňa: a – žuvacia plocha, b – bukálna strana, c – lingválna strana. Foto: D. Pákozdyová

Fig. 6. The upper third right molar (M3 dext.) of *M. primigenius*, Čachtická jaskyňa Cave: a – the occlusal view, b – lingual view, c – buccal view. Photo: D. Pákozdyová

Rozmery (v mm) a indexy:

dĺžka zuba = 197

dĺžka žuvacej plochy = 184

dĺžka 11 dobre zachovaných lamiel = cca 135

šírka = cca 92 (I)

výška = cca 148 (VIII, IX)

hrúbka sklovina = 1,1 – 2,1

výška skloviny nad žuvacou plochou = max. 6 – 7

DLQ (dĺžkový lamelový kvocient) = 12,7

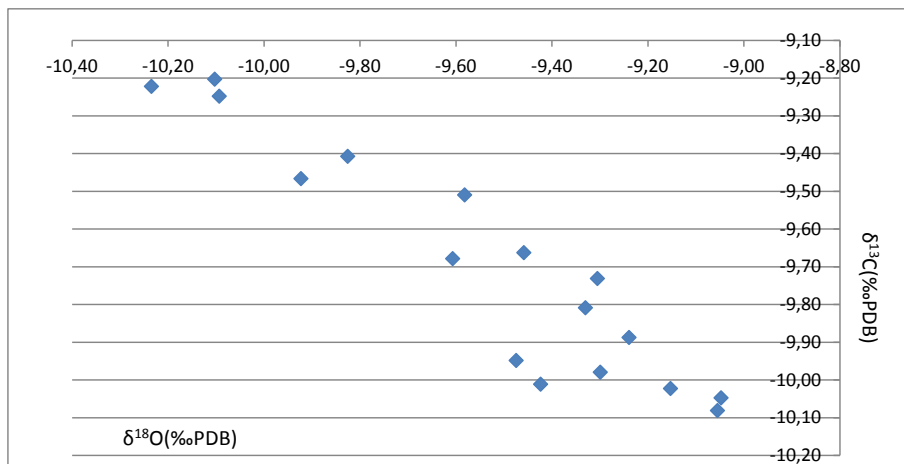
DLI (decimetrový lamelový interval, resp. frekvencia lamiel) = 6,3 (nízka hodnota vzhľadom na silno a veľmi šikmo zhryzené lamely)

DLI (vyrátaný z 11 dobre zachovaných lamiel a im zodpovedajúcej dĺžky) = 7,9 – 8,3, t. j. priemerný 8,1

Kryogénny kalcit

Nájdene kryogénne kryštalické agregáty (ccc-cryogenic cave carbonates, Žák et al., 2004) sú izotopovo podobné jaskynným raftom známym z nezaľadnených jaskýň,

niekedy raftové agregáty ccc majú hornú stranu hladkú a spodnú stranu hrubokryštalickú (Spötl, 2008). Skúmané rafty sú na oboch stranách kryštalické. Ich izotopové hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ sú medzi -10,23 a -9,05‰ a $\delta^{13}\text{C}$ medzi -10,08‰ a -9,20‰. V diagrame na obr. 7 izotopové hodnoty sledujú trend typický pre kryogénne kalcity z iných jaskýň (Orvošová et al., 2014; Orvošová, 2015), ktorý je dôsledkom kryštalizácie v priebehu vymfzania ľadu z veľkého objemu zdrojovej vody (Žák et al., 2012). Napriek mierne odlišným



Obr. 7. Izotopové zoženie C a O agregátov kryogénneho kalcitu z Čachtickej jaskyne. S typickým dátovým trendom, ktorým sa odlišuje od bežných speleotém

Fig. 7. Isotopic composition of C and O in cryogenic calcite aggregates from the Čachtická Cave. The typical trend data that differs from the normal speleothems

hodnotám oproti iným slovenským lokalitám (ťažší kyslík a ľahší uhlík) sú kryštalová morfológia, okolnosti výskytu a zobrazený trend C-O izotopových hodnôt neklamnými znakmi kryogénneho pôvodu kryštálov. Absolútny vek bol určený datovaním pomocou U-Th série na 24 600 rokov (tab. 1).

Tab. 1. Výsledok rádiometrického datovania agregátov ccc z Čachtickej jaskyne

Tab. 1. The results of U-Th dating of ccc aggregates from Čachtická jaskyňa Cave

Lab. No.	Sample	$\delta^{234}\text{U}$ (corr.) (‰)	^{238}U (ng/g)	^{232}Th (ng/g)	$^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ (Akt. Ver.)	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$ (Akt. Ver.)	Age (corr.) (ka BP)	Error (ka)
6938	CACHJ	237.7	1089.0	138.03	0.276	6.72	24.60	1.60

DISKUSIA

Opisovaný zub mamuta svojou dĺžkou, počtom zachovaných lamiel, indexmi a hrúbkou skloviny zodpovedá tretím horným molárom druhu *M. primigenius* z lokality Předmostí (Musil, 1968), ktoré sú na stupni zhryzenia 2–4. Vzhľadom na uvedený stupeň zhryzenia je zub vyšší, ako uvádza Musil (1968) pre tento typ molára. Vyššia hodnota DLQ a nižšia hodnota DLI sú spôsobené tým, že ide o silno a veľmi šikmo zhryzený

zub a do jeho celkovej dĺžky je zarátané aj pomerne dlhé dentinplanum (cca 54 mm). Pokiaľ počítame DLI z dĺžky (135 mm) pripadajúcej na 11 dobre zachovaných lamiel, približuje sa jeho hodnota údajom, ktoré uvádza Musil (1968) pre tretie horné moláre na stupni zhryzenia 2 – 4. Na základe morfológicko-metrických znakov priradujeme zub druhu *Mammuthus primigenius*. Mamut, ktorému zub patril, mal viac ako 47 rokov. Ako už bolo spomenuté v úvode, skúmaný zub sa dostal do vnútorných priestorov Čachtickej jaskyne pravdepodobne splavením z povrchu záplavovými vodami alebo zosuvom z okolia jaskyne. Pri tomto pohybe sa pravdepodobne zachytil medzi skalami a určitý čas bol atakovaný sedimentmi premiestňovanými vodným prúdom. Dokladá to i obrúsenie cementu a skloviny lamiel zuba len na jednej, pravdepodobne atakovanej strane (obr. 6c).

M. primigenius je najznámejší zástupca mladopleistocénnych glaciálnych spoločnstiev veľkých cicavcov v severnej Eurázii, kde bol najviac rozšírený v období posledného glaciálu (cca pred 100 – 11.7-tisíc rokmi, MIS 5d – MIS 2). Mamut srstnatý uprednostňoval otvorenú chladnú stepnú až stepno-tundrovú krajinu, kde dominovali rôzne druhy xerofilných, na živiny bohatých druhov tráv, ostríc, bylín, tiež sa zdržiaval v riečnych údoliach zarastených kríkmi a zakrpatenými brezami, vrbami, jelšami i ihličinami (Engesser et al., 1996). Za priaznivých klimatických a vegetačných podmienok sa mohli mamuty pohybovať i v oblasti pahorkatín v blízkosti riečnych údolí, vyhýbali sa však súvislým lesom, veľmi členitému a strmému terénu či vyšším nadmorským výškam (Musil, 2014). V Európe sa objavili jeho typickí zástupcovia asi pred 200-tisíc rokmi (Lister et al., 2005). Z obdobia posledného glaciálu máme množstvo fosílnych záznamov o prítomnosti druhu *M. primigenius* i na území Slovenska a v okolitých krajinách, napríklad v regióne Panónskej panvy (Kovács, 2012) či na území Moravy a Poľska (Svoboda et al., 2005).

Na našom území sú nálezy kostrových zvyškov mamuta srstnatého pomerne časté v porovnaní s nálezmi ostatných druhov mladopleistocénnych veľkých cicavcov. Známych je viac ako 200 nálezísk s jeho zvyškami (Ďurišová, 2006). Nálezy zvyškov mamutov v jaskynných sedimentoch sú však zriedkavé, dovedna je známych na území Slovenska 16 jaskýň (vrátane Čachtickej jaskyne) so zvyškami, prevažne zubami, mamuta srstnatého. Informácie o 11 nálezoch boli publikované a 5 nálezov je známych len z ústneho podania (pozri v úvode).

Proces krasovatenia regiónu je úzko spätý s klimatickými podmienkami a vegetáciou na danom území. Počas poslednej ľadovej doby (115 000 až 11 650 rokov) došlo ku extrémne dynamickým klimatickým zmenám, cyklickému striedaniu rôzne teplých a chladných eventov (Dansgaard et al., 1993). Bolo vytýčených 24 teplých oscilácií, nazývaných interštadiály. Interštadiály predstavujú podstatne teplejšie obdobie ako priemer studeného obdobia, avšak chladnejšie obdobie ako dnešná priemerná teplota. Štadiály sú charakteristické chladnejšou a suchšou klímou (Petersen et al., 2013). Tieto klimatické oscilácie v severoatlantickej oblasti mali samozrejme dosah na klímu aj v našich zemepisných šírkach a následne na zloženie vegetácie, živočíšstva v neposlednom rade aj na hydrológiu územia, ktorá sa spája s koróznou-eróznou silou procesov krasovatenia a genézou jaskyne.

Nájdené kryogénne kalcity dokladajú zaľadnenie jaskyne, minimálne v priestore siene Horná kaplnka, kde sa vyskytujú. Podľa publikovaných scenárov (Žák et al., 2004, 2012; Orvošová et al., 2014 a iné) po vytvorení permafrostu v jaskyniach ustane skvap vody, keďže prívodné kanály sú zamrznuté. Pri teplých klimatických výkyvoch (v interštadiáloch) sa však dočasne roztopí vrchná vrstva permafrostu a opätovne sa

otvoria prívodné kanály pre prenikanie presakujúcej vody z povrchu do jaskyne, ktorá je ešte stále zamrznutá. Prenikajúca voda v podchladenej jaskyni pomaly zamŕza a tvorí ľadovú výplň, ktorá v jaskynných priestoroch spôsobuje mechanickú deštrukciu jaskynnej výzdoby, opad stropov, rozpraskanie blokov hornín a pod. (Kempe et al., 2006; Orvošová et al., 2012). Súčasne pri tvorbe ľadovej výplne dochádza k postupnému zamŕzaniu prenikajúcej vody, od okrajov smerom do centra ľadového telesa, kde sa nachádza najkoncentrovanejší vodný roztok vzhľadom na kalcit, a pri dosiahnutí nasýtenia postupne vznikajú ccc v uzavretom systéme, až sú nakoniec pochované v ľade. Po nástupe holocénneho interglaciálu sa ľadová výplň pomaly roztopí a akumulácie ccc uväznené v ľade pomaly klesnú na podlahu jaskyne, kde ich nachádzame voľne položené. Vďaka kryštalizácii počas vymŕzania veľkého množstva vody v uzavretom systéme dochádza k postupnému obohacovaniu kryštalizujúceho kalcitu o ^{13}C a zároveň ochudobňovaniu o ^{18}O (obr. 7). Takýto izotopový trend spolu s nezvyčajnou morfológiou a výskytom v malých voľných akumuláciách spravidla v strede väčších siení je diagnostickým znakom ccc. Nápadné sú v tomto prípade mierne vyššie izotopové hodnoty kyslíka a nižšie hodnoty uhlíka oproti ccc z iných jaskýň Slovenska ($\delta^{18}\text{O}$ -10,2 až -9,1 ‰ oproti -11 až -23 ‰, $\delta^{13}\text{C}$ -10,1 až -9,2 ‰ oproti -5‰ až +9 ‰). Je to vysvetliteľné buď vyšším nasýtením východiskovej vody (a teda skoršou kryštalizáciou ccc z menej frakcionovaného roztoku), alebo jej odlišným izotopovým zložením – čo môže vyplývať z veľmi malej nadmorskej výšky, ako aj extrémne západnej polohy voči ostatným lokalitám. Vchod do Čachtickej jaskyne je vo výške 335 m n. m., čo výrazne kontrastuje s polohou ostatných horských jaskýň s výskytom ccc – výšky vchodov týchto jaskýň sú medzi 812 m n. m. až po 1767 m n. m., viac na severe Slovenska (Orvošová et al., 2014). Predpokladáme, že namerané nízke izotopové hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ súvisia s obsahom pôdneho krytu nad jaskyňou v čase interštadiálu (náhleho oteplenia v glaciáli), ktorý je hlavným zdrojom zmien hodnôt izotopov uhlíka v bežných speleotémach. Vtedy dôjde k dočasnému roztopeniu vrchnej vrstvy permafrostu a k otvoreniu prívodných kanálov pre prenikanie presakujúcej vody z povrchu do ešte stále zamrznutej jaskyne. Potvrďuje to aj spôsob výskytu ccc v Čachtickej jaskyni v podobe sypaných akumulácií voľne ležiacich na sutine či stenách nátekových sintrov, takže nemohli vzniknúť inak ako roztopením ľadovej výplne, v ktorej boli uväznené.

Ccc sú súčasťou kryogénneho procesu prebiehajúceho v poslednom glaciálnom maxime. Ich výskyt v jaskyni dokazuje existenciu permafrostu, kryogénne rútenie v jaskyni a prítomnosť ľadovej jaskynnej výplne v dobe 24.6 ka \pm 1.6 (tab. 1), v ktorej ccc vznikli. Minimálny hĺbkový dosah permafrostu v období posledného glaciálneho maxima (LGM – dosiahol svoj vrchol medzi 27 000 až 24 000 rokmi), do ktorého spadá aj vek datovaných kryogénnych agregátov, sa podľa hĺbky siene Veľká kaplnka odhaduje na 76 m (obr. 3). Premrznutie epikrasu Čachtickej planiny do takejto hĺbky spôsobovalo aj zákonité rútenie stropov a deštrukciu horninového masívu jaskynného systému, ktoré v jaskyni pozorujeme. Chladná aridná klíma (štadiál) pri nástupe vlhkého oteplenia (interštadiál) menila hydrológiu okolia jaskyne, mohlo dochádzať k častým periodickým záplavám depresií na krasovej planine a podmáčaní povrchovej aktívnej vrstvy permafrostu. Zaplavované povrchové depresie sa odvodňovali cez ponory na dne závrto, čím sa podieľali na postupnej speleogenéze jaskyne.

Odhladnuc od toho, že nevieme absolútny vek mamutieho zuba (od cca 100 000 až 16 000 rokov BP), môžeme predpokladať, že v tomto rozmedzí času bol splavený a jaskynný systém mal vyvinutú eróznú bázu na úrovni nálezu zuba v Jariných dómoch

(fosilná vyvieračka nad Čachticami) alebo bol zub redeponovaný na miesto nálezu až neskôr. Výskyt ccc priamo dokazuje, že Horná kaplnka existovala už pred 24 600 rokmi, dokonca jej vek je oveľa starší, pretože ccc sa našli na báze stalagmitu, ktorého vek rastu tiež nepoznáme.

ZÁVER

Obidva nálezy predstavujú významné informácie pre poznanie životného prostredia v okolí jaskyne a speleogenézy jaskyne v období posledného glaciálu. Nález zuba mamuta srstnatého v Čachtickej jaskyni dokladá prítomnosť mamutov v širšom okolí jaskyne, a teda aj výskyt životného prostredia vyhovujúceho mamutom, čiže otvorenú trávnatú krajinu v štádiálnej fáze posledného glaciálu, keď už jaskyňa bola vyvinutá do istej úrovne eróznej bázy, t. j. v období pred najmenej 24 600 rokmi. Opisovaný nález rozširuje zoznam slovenských nálezísk fosilných zvyškov mamutov.

Výskyt ccc prináša dôležitú informáciu, že v poslednom glaciáli v jeho najchladnejšom období, pred 24 600 rokmi (neskoroglaciálnom maxime), bol prítomný v Čachtickom krase pravdepodobne sporadický permafrost v minimálnej hrúbke 76 m.

Výsledky poskytujú ďalšie priame a nepriame dôkazy pre poznanie vývoja jaskyne a jej okolia z obdobia v poslednom glaciáli a dopĺňujú už existujúce poznatky o novom údaje.

Podakovanie. Veľké poďakovanie patrí jaskyniarom z Oblastnej skupiny Čachtice, ktorí nás počas výskumu v jaskyni sprevádzali, osobitne Lukášovi Kubičinovi, ktorý poskytol podrobné nálezové informácie a daroval exponát mamutieho zuba do Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši. Veľká vďaka patrí Martinovi Slukovi za poskytnutie máp jaskynného systému a ich grafické úpravy a spresnenia, ako aj Jozefovi Nováčkovi za vyhotovenie mapového podkladu pre výskyt mamutích fosilií. Tento výskum sa realizuje za podpory grantu VEGA 2-0193-15.

LITERATÚRA

- Blumenbach, J. F. 1802. Handbuch der Naturgeschichte. Frankfurt und Leipzig, 708 S.
- Bárta, J. 1969. Osídlenie slovenských jaskýň v staršej dobe kamennej. *Nové obzory*, 11, 201–224.
- Bárta, J. 1974. Sídlišká pračloveka na slovenských travertínoch. *Nové obzory*, 16, 133–175.
- Čeklovský, T., Sabol, M., Obuch, J., Beňuš, R., Bocherens, H., Nývltová, M., Kováčová, M. 2016. Prepoštská jaskyňa – predbežné výsledky paleozoologického výskumu. *Slovenský kras*, 54, 2, 167–192.
- Cheng, H., Edwards, R. L., Hoff, J., Gallup, C. D., Richards, D. A., Asmeron, Y. 2000. The half-lives of uranium-234 and thorium-230. *Chemical Geology*, 169, 17–33.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N. S. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 6434, 218–220.
- Đurišová, A. 2006. Stratený svet mamutov. Mamuty na Slovensku. 25 s., ms (Scenár výstavy, depon in. SNM, Prírodovedné múzeum, Bratislava).
- Engesser, B., Fejfar, O., Major, P. 1996. Das Mammut und seine ausgestorbenen Verwandten. Naturhistorisches Museum Basel, 186 s.
- Frank, N., Braum, M., Hambach, U., Mangini, A., Wagner, G. 2000. Warm period growth of travertine during the last interglacial in Southern Germany. *Quaternary Research*, 54, 38–48.
- Haynes, G. 1991. Mammoth, mastodons, and elephants. Biology, behavior, and the fossil record. Cambridge University Press, 413 p.
- Horáček, I. 1993. Obratlovčí fauna Slaninové jaskyně (Turnianske Podhradie, časť Háj). *Východoslovenský pravek*, 4, 31–35.

- Hraško, L., Tóth, Cs., Holec, P. 2005. Nález zuba *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) z Ponickéj jaskyne. Aragonit, 10, 22–25.
- Kaminská, E. 1993. Príspevok k osídleniu jaskýň v Slovenskom krase. Východoslovenský pravek, 4, 13–25.
- Kaminská, E., Kozłowski, J. K., Svoboda J. A. (Eds.) 2005. Pleistocene Environments and Archeology of the Dzeravá skala Cave, Lesser Carpathians, Slovakia. Kraków, 226 p.
- Kaminská, E. 2006. Nový nález čepele zo Slaninovej jaskyne. AVANS 2004, 2006, s. 109.
- Kempe, S., Doeppes, D., Bauer, I., Dirks, H., Dorsten, I., Hueser, A., Eisenhauer, A. 2006. Naturally damaged speleothems, indicators of glacial cave ice in Central Europe, Karst Waters Institute Special Publication, 10, p. 35.
- Kovács J. 2012. Radiocarbon chronology of Late Pleistocene large mammal faunas from the Pannonian basin (Hungary). Bulletin of Geosciences 87, 1, 13–19.
- Laws, R. M. 1966. Age criteria for the African elephant *Loxodonta a. africana*. East African Wildlife Journal, 4, 1–37.
- Lister, A. M., Sher, A. V., van Essen, H., Wei G. 2005. The patten and process of mammoth evolution in Eurasia. Quaternary International, 126–128, 49–64.
- Lukniš, M. 1964. Pozostatky starších povrchov zarovňavania reliéfu v Československých Karpatoch. Geografický časopis, 16, 3, 289–298.
- Maglio, V. J. 1973. Origin and evolution of the Elephantidae. Transactions of the American Philosophical Society, 63, 3, 148 p.
- Majko, J. 1957. Malá ľadnica. Krásy Slovenska, 34, 9, 356–258.
- Medvecký, K. A. 1927. Paleolitická jaskyňa v Bojniciach. Sborník MSS, XXI, 109–111.
- Mitter, P. 1974. Čachtický kras. Slovenský kras, 12, 115–134.
- Musil, R. 1968. Die Mammutmolaren von Předmostí (ČSSR). Paläontologische Abhandlungen, Abt. A, 3, 1, 1–192.
- Musil, R. 1996. Čertova pec a její fauna. Slovenský kras, 34, 5–56.
- Musil, R. 2014. Morava v době ledové. Prostředí posledního glaciálu a metody jeho poznávání. Masarykova univerzita, Brno, 228.
- Osborn, H. F. 1942. Proboscidea. A monograph of the discovery, evolution, migration and extinction of the mastodonts and elephants of the world. Volume II. Stegodontoidea and Elephantoidea. American Museum Press, New York, 805–1675.
- Orvošová, M. 2015. Význam kryogénnych jaskynných karbonátov pri výskume paleoklímy a kryogénnych javov v jaskyniach Slovenska (Importance of cryogenic cave carbonates in the study of paleoclimate and cryogenic features in the caves of Slovakia, PhD thesis). Manuskript (Dizertačná práca), PRIF UK v Bratislave, 46 s.
- Orvošová, M., Vlček, L. 2012. Nové nálezy kryogénnych jaskynných karbonátov – čudesných kryštálikov z doby ľadovej. Spravodaj SSS, 43, 1, 58–64.
- Orvošová, M., Vlček, L., Holúbek, P., Orvoš, P. 2012. Glaciálny jaskynný ľad a premrzanie jaskýň ako príčina deštrukcie speleotém na príklade vybraných jaskýň Slovenska. Slovenský kras, 50, 2, 97–112.
- Orvošová, M., Deininger, M., Milovský, R. 2014. Permafrost occurrence during the Last Permafrost Maximum in the Western Carpathian Mountains of Slovakia as inferred from cryogenic cave carbonate. Boreas, 43, 3, 750–758.
- Petersen, S. V., Schrag, D. P., Clark, P. U. 2013. A New Mechanism for Dansgaard-Oeschger Cycles. Paleoclimatology, 28, 1, 24–30.
- Prošek, F. 1951. Výzkum jeskyně Dzeravé skály v Malých Karpatech. Archeologické rozhledy 3, 293–298.
- Prošek, F. 1952. Výzkum Prepoštské jeskyně v Bojnících r. 1950. Archeologické rozhledy, 4, 3–9.
- Shoshani, J., Tassy, P. 2005. Advances in proboscidean taxonomy & classification, anatomy & physiology, and ecology & behavior. Quaternary International, 126–128, 5–20.
- Sluka, M. 1983. Čachtická jaskyňa. Spravodaj SSS, 1, 27–30.
- Spötl, C. 2008. Kryogene Karbonate im Höhleneis der Eisriesenwelt. Die Höhle, 59, 1–4, 26–36.

- Svoboda, J., Péan, S., Woltal, P. 2005. Mammoth bone deposits and substistences practices during Mid-Upper Palaeolithic in Central Europe. three cases from Moravia and Poland. *Quaternary International*, 126–128, 209–221.
- Zotz, L. F., Vlk, W. 1939. Das paläolithikum des unteren Waagtales. *Quartär*, 2, 65–101.
- Žák, K., Urban, J., Čílek, V., Hercman, H. 2004. Cryogenic cave calcite from several Central European caves. age, carbon and oxygen isotopes and a genetic model. *Chemical Geology*, 206, 119–136.
- Žák, K., Hercman, H., Orvošová, M., Jačková, I. 2009. Cryogenic cave carbonates from the Cold Wind Cave, Nízke Tatry Mountains, Slovakia. Extending the age range of cryogenic cave carbonate formation to the Saalian. *International Journal of Speleology*, 38, 2, 139–152.
- Žák, K., Richter, D. K., Filippi, M., Živor, R., Deininger, M., Mangini, A., Scholz, D. 2012. Coarsely crystalline cryogenic cave carbonate – a new archive to estimate the Last Glacial minimum permafrost depth in Central Europe. *Climate of the Past*, 8, 1–17.
- Použitý internetový zdroj: <http://mserver.geology.sk/gm50js/>

THE TOOTH OF THE WOOLLY MAMMOTH *MAMMUTHUS PRIMIGENIUS*
(BLUMENBACH, 1799) AND CRYOGENIC CALCITES FROM THE ČAČTICKÁ CAVE
(MALÉ KARPATY MTS., SLOVAKIA)

Summary

The finding of a mammoth tooth in Čachtická jaskyňa Cave as a significant fossil record, as well as cryogenic calcites, showed once again exceptional potential of caves to preserve important information from the past, that may have been lost in external conditions. On January 12th, 2013, during a joint exploration of the Čachtická jaskyňa Cave by cavers of clubs Čachtice and STJ KW Kraków, the leader of expedition Lukáš Kubičina discovered a very unexpected finding – a wooly mammoth tooth. The tooth was found close to the cave wall at a site called the Jarine Domes. In Slovakia, the remains of the wooly mammoth have been found in 15 caves so far (Fig. 1) and they are believed to be brought in by the predators, prehistoric hunters or by streams.

The Čachtická jaskyňa Cave is situated in the Čachtice karst Plateau with an area of 12 km² (Mitter, 1974). Host rocks are predominantly Triassic limestones of Wetterstein type and the Hauptdolomites of Nedzovský nappe (Hronicum superunit). Entrance to the cave (335 m a.s.l.) is in one of numerous sinkholes (boiler form) in an old karst depression. The cave with the length of 3865 m and denivelation of 110 m is a complex system of high vertical cracks, chimneys and domes interconnected by passages (Fig. 3). The cave represents a parallel system of gradual vertical drainage of the plateau above the cave. Relatively narrow vertical spaces were formed mostly by corrosive extension of fractures and fissures in several stages.

The mammoth tooth was discovered about 2.5 m above the floor, stuck in a rock wall under a high chimney without the presence of cave sediment in the Jarine domes (Fig. 3, 4). Other yet undertermined findings from the cave are fragment of a cave bear's tooth, found few meters above the mammoth tooth, and three aurochs teeth from three different places in the cave). Further information on the above mentioned osteological material cannot be obtained (oral L. Kubičina). We assume that the teeth got into the cave by flood surge or paleosink. The method that was used in the morphometric description of the mammoth tooth is after Musil (1968) and Maglio (1973). The age of the animal was determined after to the methodology of Laws (1966) ex Haynes (1991). The taxonomy is following Shoshani and Tassy (2005). The tooth is heavily worn, except for the two most proximal lamellas that are covered with cement, all the lamellas are abraded. According to the methodology of Musil (1968), the degree of abrasion is 2 – 4. Described tooth is the last molar M3 and more than 90 % of the lamellas were used, it can be assumed that the mammoth was more than 47 years old. Morphological-metric features point to the species *Mammuthus primigenius* (Blumb.). However, the findings of mammalian remains in cave sediments are rare. The remains of mammoths, with the exception of entrances to the caves, could very rarely get

into the inner part of the cave from the surface by flood waters or by landslides from the cave surroundings.

In the Horná kaplnka Hall of the Biely Dome, where „live“ dripstone forms of speleothems have been developed, we found loosely deposited accumulations of „crystalline sand“ in the form of small scale (1 to 5 mm) crystalline aggregates of calcite or flat rafts. Several small piles up to 2 cm thick and spreading few tens of cm² contrasted with their pale yellow color on a dark green base. They were loosely placed on top of the steep surface of boulders and on the flowstone crust on the stalagmite base (Fig.5). Found cryogenic crystalline aggregates (CCC-cryogenic cave carbonates, Žák et al., 2004) have an isotopic value of $\delta^{18}\text{O}$ between -10.23 and -9.05 ‰ and $\delta^{13}\text{C}$ between -10.08 ‰ and -9.20 ‰. In the diagram in Fig. 7, the isotope values follow a trend typical to cryogenic calcites from other caves (Orvošová et al., 2014, Orvošová and Vlčeka kol., 2012; Žák et al., 2009). The trend is a result of crystallization during the ice-freezing processes from large volumes of source water (Žák et al., 2012). Despite the slightly different values compared to other Slovak localities (heavier oxygen and lighter carbon), crystal morphology, occurrence circumstances and C-O isotopic values are unmistakable to cryogenic origin of the crystals. The absolute age was determined to be 24,600 years by U-Th (Table 1).

The karst processes of the region are closely related to climatic conditions and vegetation in the area. As the woolly mammoth lived in the last glaciation in the steppe areas in the cold arid climate, it avoided continuous forest, hilly country with large height differences and preferred open country of tundra type or steppe (Musil, 2014), it is likely that exactly such environment dominated on the studied area in the Čachtice karst, in which the cave has already been developed at a certain level of erosion base. During the last ice age (115 000 to 11 650 years ago), there were extremely dynamic climate changes and cyclic variation of warm and cold events of different temperatures (Dansgaard et al., 1993). These changes naturally had impact on the composition of vegetation and animals and last but not least they impacted the corrosive-erosive strength of the karst forming processes and cave genesis. CCC are a part of cryogenic process and cryogenic events occurring in the cave during last glacial maximum. Their presence in the cave proves the presence of permafrost, cryogenic collapses of the ceiling or walls in the cave and ice filling in the cave at around 24,6 ka \pm 1,6; (Tab.1), when the CCCs were formed.

The minimal depth of permafrost during the last glacial maximum (LGM – reached its peak between 27 000 and 24 000 years ago – dated CCCs also fit into this period) is estimated at 76 m according to the depth of Veľká kaplnka Hall (Fig. 3).

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	183 – 192	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

PRIEVANOVÁ DIERA (PLEŠIVSKÁ PLANINA, SLOVENSKÝ KRAS)

JOZEF PSOTKA

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, Liptovský Mikuláš;
jozef.psotka@gmail.com

J. Psotka: Prievanová diera Cave (Plešivská planina Plateau, Slovak Karst)

Abstract: Prievanová diera Cave on the Plešivská planina Plateau is a 770 m long and 87 m deep cave formed by meteoric water percolating from the bottom of the karst doline. It was formed along subvertical tectonic discontinuities and bedding planes mostly in dolomites of Gutenstein Formation. Cave consists of vertical and horizontal passages mostly of small dimensions, the largest of which is breakdown Entrance chamber. Subhorizontal vadose passages were formed by small streams carrying clasts of mostly dolomite rocks. Several levels of thick flowstone remnants refers to the periods of sediment infilling. Horizontal passage at the depth of 55 – 58 m was probably formed in period of tectonic calm between two stages of tectonic uplift between Pannonian and Pontian. Vertical shafts were formed and enlarged by water falling along subvertical faults.

Key words: cave exploration, cave survey, Plešivská planina Plateau

ÚVOD

Jaskyňa Prievanová diera na Plešivskej planine patrí k novšie objaveným jaskyniam v Slovenskom krase. Ide o ponorovú jaskyňu s vchodom na dne závrtnu, s vertikálnymi i horizontálnymi úsekmi podzemných priestorov, vytvorenú prevažne v gutensteinských dolomitoch silického príkrovu. S dĺžkou 770 m a hĺbkou 87 m sa zaradila k najvýznamnejším jaskyniam planiny. Dokladá podzemné odvodňovanie závrtnov (krasových jám) pozdĺž výrazných tektonických diskontinuit. Horizontálna senilná chodba v hĺbke okolo 58 m s tvarmi fluviálnej modelácie môže poukazovať na prvú etapu vrchnomiocénneho tektonického výzdvihu Slovenského krasu v oblasti severnej časti Plešivskej planiny.

LOKALIZÁCIA JASKYNE A OKOLITÝ RELIÉF

Jaskyňa sa nachádza v SV časti Plešivskej planiny, západne od obce Kružná, 700 m SV od kóty Vlčí štít (814 m n. m.). Patrí do katastrálneho územia obce Plešivec v okrese Rožňava. Nenápadný vchod (obr. 2) leží v nadmorskej výške 706 m v poraste v ponorovej depresii na dne závrtnu (obr. 3), ktorý je druhý v poradí od východu vo výraznej línii závrtnov V-Z smeru. Závrtn má dlhšiu os orientovanú Z-SZ/V-JV. Línia závrtnov severne od kóty Vlčí štít prechádza naprieč celou planinou, od východu približne do polovice planiny má V-Z smer a potom sa stáča na SZ. Pravdepodobne je viazaná na tektonickú línii, na ktorej je vytvorená výrazná Lesecká dolina v spodnotriasových súvrstviach, západne od obce Kružná. Severne od tejto línii vystupujú krasové vyvýšeniny, ktoré predstavujú najvyššie položené časť územia Plešivskej planiny s nadmorskou výškou do 850 m. Napriek tomu, že sú tvorené chemicky čistými steinalmskými vápencami,



Obr. 1. Poloha skúmanej lokality v rámci územia Slovenska

Fig. 1. Location of the study site within the territory of Slovakia



Obr. 2. Vchod jaskyne. Foto: J. Psočka

Fig. 2. Entrance of the cave. Photo: J. Psočka

grega (1997) pod číslom PP145, ale bez bližšieho opisu. Lokalita bola v nasledujúcich rokoch mimo záujmu jaskyniarov. V roku 2000 vyhotovili T. Máté, Z. Jerg a A. Jerg mapku lokality, ktorá bola publikovaná v atlase krasových javov Plešivskej planiny. Autori ju

podzemné krasové javy tu nie sú známe. V najbližšom okolí jaskyne Prievanová diera sa nevyskytujú žiadne významnejšie jaskyne. Západne asi 1,7 km od vchodu jaskyne leží na dne závrta vchod ponorovej jaskyne Čistá studňa (148 m, -54 m). V tejto oblasti sa nevyskytujú typické korózne priepasti, ktorých veľké množstvo sa nachádza v južnejších častiach planiny.

HISTÓRIA PRIESKUMU

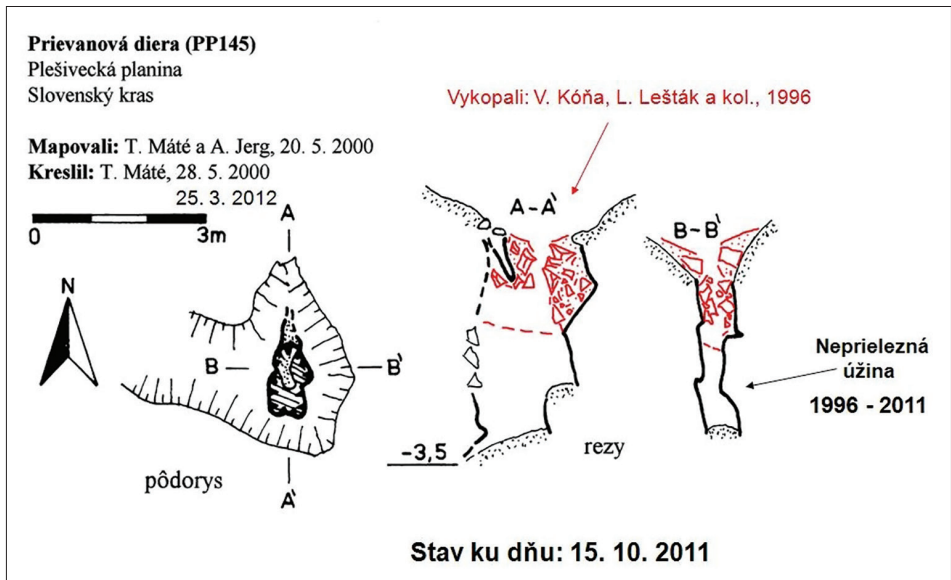
Ponorová depresia s vystupujúcim skalným masívom na dne lúčnatého závrta v SV časti planiny zaujala L. Leštáka a V. Kóňu, jaskyniarov z Rakovníce (v tom čase členov Speleo Rožňava), ktorí tu počas niekoľkých akcií v roku 1996 vykopali 3 m hlbokú sondu (obr. 4). Výkopové práce zastavili pre zúženie profilu. Vedľa lokality v tej istej ponorovej depresi sa pokúšali otvárať ďalšiu sondu, ale korózne rozšírená porucha sa hneď zúžila do neprielezna. Odvtedy tu vo výkopových prácach už nepokračovali.

Do literatúry sa lokalita prvýkrát dostala v tabuľke jaskýň v príspevku J. Gre-



Obr. 3. Závrta s vchodom jaskyne. Foto: J. Psočka

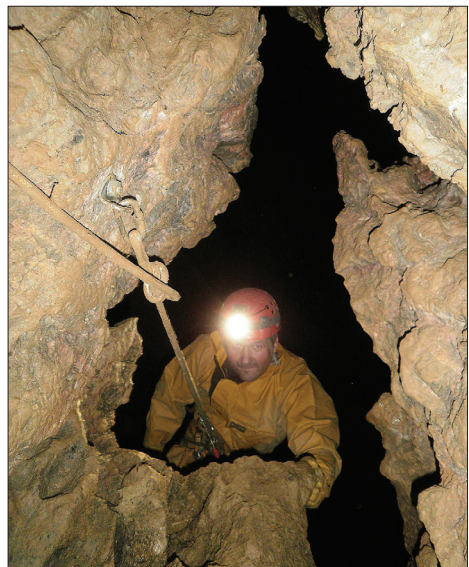
Fig. 3. Karst doline with cave entrance. Photo: J. Psočka



Obr. 4. Pôvodný stav lokality. Autor: T. Máté
Fig. 4. Original state of locality. Author: T. Máté

považovali podľa prejavujúcich sa teplotných gradientov za perspektívnu. Počas pracovnej cesty 29. 9. 2011 v rámci projektu *Získanie zemepisných súradníc vchodov do jaskýň a dobudovanie archívu podzemných krasových javov múzea* lokalitu vyhľadali G. Lešínský a J. Psoťka s cieľom zamerania GPS súradníc vchodu a fotodokumentácie.

J. Psoťku zaujal studený vzduch vystupujúci zo sondy a onedlho tu spolu s ďalšími členmi speleoklubov Drienka a Šariš (M. Gaško, P. Imrich, F. Majerníčková, T. Máté, V. Papáč) uskutočnili pracovnú akciu. Po dvoch akciách sa podarilo preniknúť do jaskyne (dňa 29. 11. 2011) a preskúmať Vstupnú sieň a odtokovú chodbu nazvanú Suché riečisko. Ďalšie akcie boli venované zameriavaniu priestorov a rozširovaniu neprieleznej úžiny na konci Suchého riečiska. Po prekonaní 9 m dlhej úžiny prenikli veľmi úzkym Tesným meandrom k priepasti Čierna diera (obr. 5). Po zlanení 7 m stupňa preskúmali sieň so sintrovým útvarom Organ (obr. 6) a s pokračujúcou chodbou. Ukľonenou chodbou prenikli do subhorizontálnej užšej, niekoľko metrov vysokej fluviálne modelovanej chodby, rozčlenenej zvyškami sintrových dosiek a skalných mostov. Priestory nazvali Blu-



Obr. 5. Ústie priepasti Čierna diera. Foto: T. Máté
Fig. 5. Mouth of the Čierna diera shaft. Photo: T. Máté



Obr. 6. Sieň so sintrovým útvarom Organ. Foto: V. Papáč
 Fig. 6. Hall with the sinter formation “Organ”. Photo: V. Papáč



Obr. 7. Korózne jamky na stenách vstupnej priepasti. Foto: J. Psotka
 Fig. 7. Corrosion pits on the walls of the Entrance shaft. Photo: J. Psotka

disko, aj keď dojem labyrintu tu vyvoláva najmä vertikálna členitosť chodby. Po zlanení 12 m hlbkej priestrannej priepasti pod Organom pokračovali úzkou chodbou k ďalšej 10 m priepasti. Po jej zlanení a prekonaní klesajúcej úžiny dosiahli po zlanení 4 a 10 m stupňov dno jaskyne v hĺbke 87 m. Na dne odpracovali viacero akcií na rozširovaní 10 m dlhjej úžiny, ktorá je zakončená jazierkom a neprielezne zúženou puklinou. Práce tu pre absenciu prievanu a nejasné pokračovanie ukončili. Podrobnejším prieskumom prepojili dno priepasti pod Organom cez plazivku Fosilné riečisko s chodbou Bludisko, preskúmali stúpajúci Fosilný prítok a jeho prepojenie veľmi úzkym meandrom s Bludiskom. Všetky známe priestory zamerlal kolektív pod vedením T. Máteho: F. Majerníčková, P. Imrich, V. Papáč, J. Psotka, Š. Kyšela, P. Fencik a M. Horčík v rokoch 2011 – 2012 a mapu nakreslili T. Máté a M. Horčík. Podrobný opis objavných a prieskumných prác bol publikovaný (Psotka, 2013a,b). Po objave sa ochrana jaskyne zabezpečila uzáverom financovaným SSJ (Balciar a Staník, 2012).

GEOLOGICKÁ STAVBA

Podľa geologickej mapy (Mello a kol., 1996) je stavba severnej časti Plešivskej planiny v porovnaní s jej južnou časťou, tvorenou takmer výlučne wettersteinskými vápencami (s prevahou lagunárnych nad rífovými), omnoho komplikovanejšia. Takmer celý severovýchodný svah planiny tvoria horniny verfénskeho súvrstvia. Prevažujú sinské vrstvy: bridlice, slienité vápence a vápence (vrchný namal – spodný a stredný spat) a významne sú zastúpené aj silickojablonické vrstvy: piesčité vápence, piesčité bridlice a pieskovce (namal – spodný spat). V nadloží sinských vrstiev ležia fácie karbonátovej platformy. Tmavosivé až čierne hrubolavicovité gutensteinské vápence (egej – bityn) vystupujú pozdĺž celého severovýchodného okraja planiny. V ich nadloží sú sivé až tmavosivé gutensteinské dolomity (egej – bityn). Obsahujú polohy vápencovo-dolomitových a hematitových brekcií. Nad gutensteinskými dolomitmi ležia svetlé masívne steinalmské vápence (anis), ktoré v severnej časti planiny plošne vystupujú najmä okolo severného okraja, v centrálnej časti a na väčšej ploche tvoria západný svah planiny nad jaskyňou Hučiaca vyvieračka. Okrem vápencov karbonátovej platformy vystupujú v severnej časti planiny aj vápence svahových a panvových facií. Významné zastúpenie majú reiflinské a pseudoreiflinské vápence (pelsón – kordevol) a drobné polohy tvoria nádašské vápence (ilýr – ladin).

Geologickú stavbu jaskyne sme skúmali len orientačne. Od vchodu po dno Vstupnej šachty je jaskyňa vytvorená v tmavosivých lavicovitých reiflinských vápencoch. Väčšina priestorov jaskyne od Vstupnej siene až po hĺbku 70 m je vytvorená v gutensteinských dolomitoch. Vo väčších sieňovitých priestoroch sú výrazne tektonicky porušené (Vstupná sieň) alebo brekciovité s odtieňmi červených farieb (Čierna diera) a v úzkych riečnych chodbách a meandroch sú kompaktné s ostrými výstupkami. V poslednej šachte pozvoľna nastupujú tmavosivé až čierne gutensteinské vápence s typickými bielymi kalcitovými žilami. Horninové prostredie jaskyne je celkovo nepriaznivé na vytváranie väčších chodieb a sintrovej výzdoby. Priestrannejšie siene sa zväčšovali odlamovaním a rútením blokov horniny, priepasti boli rozširované aj eróznou činnosťou voľne padajúcej vody a vodnej triešte.

OPIS PRIESTOROV

Priestory okolo vchodu, Vstupná sieň, Suché riečisko

Úzka, čiastočne umelo rozšírená vstupná šachta má hĺbku 4 m a z jej dna sa prechádza rozšíreným nízkym priechodom cez uzáver jaskyne do malej bočnej kaverny, odkiaľ pokračuje tesná vertikálna puklina, ktorá sa po 2 m otvorí do mierne zvonovito sa rozširujúcej šachty s hĺbkou 7 m. Je v nej nainštalovaný antikorový rebrík. Steny šachty sú silne skorodované stekajúcim vodným filmom (obr. 7). Z dna šachty sa cez úzky prekopaný prielez, pôvodne zavalený sutinou, prechádza nízkou chodbou premodelovanou rútením do Vstupnej siene. Sieň má rozmery približne 30 × 15 m a má výrazne rúťivý charakter, podmienený križovaním tektonických porúch, vrstevnatosťou a miestami brekciovitou štruktúrou horniny. V strope siene je viditeľná výrazná subvertikálna tektonická porucha SZ-JV smeru a viacero menších diskontinuit smeru SV-JZ. Dno siene je pokryté gravitačnými sedimentmi od veľkých blokov s rozmermi niekoľko metrov až po drobné úlomky. Sintrovú výzdobu tvoria stalaktity, stalagmity a náteky. Prevažná časť pôvodnej výzdoby bola pravdepodobne zdeštruovaná rútením. Časť zachovanej sintrovej výplne sa korózne rozpúšťa v období topenia snehu alebo dlhšie trvajúcich zrážok sústredeným priesakom vôd po puklinách. Na dne siene uklonenom na JZ sa v takomto období formuje málo výdatný vodný tok, ktorý odteká nízkymi členitými priestormi s fluviaálnou modeláciou, ktoré sme nazvali Suché riečisko. Sedimenty na jeho dne pozostávajú prevažne z úlomkov dolomitov, ale vyskytujú sa aj drobné lesklé obliaky oxidov železa a ojedinele slabo zaoblené zrná kremeňa. Suché riečisko vedie ďalej mierne klesajúcou jednoduchou puklinovou chodbou SV/JZ smeru a po prekonaní umelo rozšíreného úseku a lomenia pokračuje 20 m dlhým, veľmi úzkym Tesným meandrom s malými jazierkami až k ústiu priepasti nazvanej Čierna diera.

Čierna diera, Bludisko, Fosílné riečisko

Po zlanení 7 m stupňa sa po hlinenom svahu obchádza ústie 12 m hlbkej priepasti k väčšiemu priestoru s mohutným sintrovým útvarom nazvaným Organ. Útvar je čiastočne narušený koróznou činnosťou vôd presakujúcich z komína nad ním. Od Organa vedie 20 m dlhá klesajúca chodba (obr. 8) s hlinitým dnom, ktorá je vytvorená na vertikálnej tektonickej línii SV-JZ smeru. Na stenách chodby sa vyskytujú pestré ílovité sedimenty (tektonické íly?) a hornina má miestami brekciovitou štruktúru. Chodba je ukončená vyplnením sedimentmi, pod ktorými je sintrová doska, ale otvorom v dne sa dá prejsť do subhorizontálnej, riečne modelovanej mierne meandrujúcej chodby s výškou okolo 4 m, vytvorenej pozdĺž tej istej vertikálnej tektonickej línii SV-JZ smeru. V smere pa-



Obr. 8. Chodba vedúca do Bludiska. Foto: V. Papáč
 Fig. 8. Passage leading to Bludisko. Photo: V. Papáč



Obr. 9. Lavicovité gutensteinské vápence na dne jaskyne. Foto: J. Psotka
 Fig. 9. Thick-bedded Gutenstein Limestone on the bottom of the cave. Photo: J. Psotka

leoprítoku pokračuje chodba cez úžinu do stúpajúcich prítokových chodieb ukončených zasintrovaním, nazvaných Fosilne riečisko. Pred touto úžinou sa nachádza ešte niekoľko ďalších prítokových kanálov ukončených neprielezne alebo zasintrovaním. V priestoroch Bludiska sa vyskytujú subhorizontálne bočné korýtká, bočné výklenky a skalné výčnelky. Na dne aj v stenových výklenkoch sa nachádzajú hlinito-piesčité sedimenty s drobnými obliakmi oxidov železa. Priestory sú vertikálne rozčlenené reliktnými sintrovými kôr v rôznych výškových úrovniach a skalnými mostmi. V smere paleoodtoku chodba prechádza do nízkej plazivky s dnom tvoreným lepkavým ílom a pseudostropom zo sintrovej dosky. V stropnom sintri

je vyhlbené plytké stropné koryto, ktoré v sintrovej platni odkrylo ojedinelé obliaky nekrasových hornín. Chodba je ukončená malou dutinou s hladinovými čiarami bývalého jazierka a pokračujúcim neprielezne zasintrovaným kanálom.



Obr. 10. Stalagmit skorodovaný presakujúcou vodou. Foto: J. Psotka
 Fig. 10. Stalagmite corroded by percolating water. Photo: J. Psotka

Priepasti pod Organom, Temná puklina

Od sintrového útvaru Organ pokračuje 12 m hlboká priestranná šachta so stupňovitým dnom. Vo vrchnej časti dna šachty je cez extrémne úzky meander prepojenie na priestory Bludiska a na opačnej strane sa prechádza do stúpajúcich prítokových chodbičiek Fosilneho prítoku. V stene šachty niekoľko metrov nad jej dnom sa nachádza krátka prítoková chodba zvaná Za oknom. Z najnižšej časti dna šachty pod Organom pokračuje krátky úsek úzkej chodby s niekoľkými zákrutami a s neprielezným meandrovým zahĺbením v dne. Dno chodby je potom prerušené 10 m hlbokou šachtou. Ponad šachtu pokračuje

horizontálne ďalej pôvodná odtoková chodba nazvaná Fosilne riečisko, ktorá sa potom v podobe nízkej plazivky napája na chodbu Bludisko. Šachta v dne chodby je vytvorená na vertikálnej poruche SV-JZ smeru. Na stenách vidieť brekciovitú štruktúru okolitej horniny. Z dna šachty sa umelo rozšíreným prielezom prechádza k ďalšej priepasti, ktorá pozostáva z dvoch stupňov, so 4 a 10 m hĺbkou. Na stene poslednej šachty možno sledovať pozvoľný prechod gutensteinských dolomitov do gutensteinských vápencov (obr. 9). Na stene priepasti sa nachádzajú skalné nože vypreparované padajúcou vodou a jej steny sú čisté, bez sedimentov a sintrov, vymyté padajúcou vodnou triešťou. Z dna šachty pokračuje pôvodne extrémne úzka, neskôr umelo rozširovaná puklinová chodba, ukončená malým jazierkom a neprielezným zúžením bez prievanu v hĺbke 87 m od povrchu. Na stenách chodby sú miestami nedokonale vyvinuté prúdové jamky (scallops) a na strope ílovité sedimenty a organické zvyšky – stopy po úplnom zaplavovaní chodby.

HYDROLÓGIA JASKYNE

V období intenzívnejších alebo dlhodobých zrážok či po topení snehu sa vo Vstupnej sieni prejavuje viacero miest so sústredeným priesakom vôd. Intenzívny sústredený priesak sa objavuje aj v chodbe Suché riečisko v mieste nazvanom Suchý vodopád, kde presakujúca voda rozrušuje stalagmit (obr. 10). Na dne Vstupnej siene sa z presakujúcej vody formuje málo výdatný tok, ktorý potom odteká chodbami Suché riečisko a Tesný meander. Odtiaľ padá 7 m stupňom Čierna diera k ústiu 12 m priepasti pod Organom, do ktorej presakuje cez blokovisko. Z dna priepasti pod Organom krátko preteká neprielezným dnovým zárezom a prepadá sa nižšie 10 m hĺbkou priepasťou. Ďalej tečie po uklonennom dne úžiny a cez prah padá 4 m stupňom do jazierka na skalnej terase pred poslednou 10 m hlbokou šachtou. V šachte sa vodný tok triešti a na jej dne sa opäť sústreďuje do toku, ktorý odteká Temnou puklinou. Maximálny prietok, ktorý sme tu pozorovali, bol asi len 0,5 l/s. V čase sucha jeho výdatnosť extrémne klesá, až takmer vysychá. Zatiaľ nebola vykonaná stopovacia skúška na zistenie vzťahu vôd v jaskyni s niektorou vyvieračkou na úpätí planiny. Do úvahy pripadajú vyvieračky Hučiaca a Brzotínska. Podľa geologickej mapy a úložných pomerov hornín (smer vrstiev generálne na JV) predpokladáme jej vzťah k Brzotínskej vyvieračke.

KLIMATICKÉ POMERY JASKYNE

V jaskyni sme neuskutočnili dlhodobejšie meranie teploty a vlhkosti vzduchu, len jednorazové merania, ktoré vykonal V. Papáč (SSJ a Speleoklub Drienka) dňa 17. 3. 2012. Vonku pred vchodom do jaskyne bola o 11:00 teplota vzduchu 14,1 °C a vlhkosť vzduchu 68,2 %. Teplota a vlhkosť vzduchu v jaskyni: dno Vstupnej priepasti pri rebríku: 3,8 °C a 87,6 %, Vstupný dóm: 6,9 °C a 91,7 %, Bludisko: 7,7 °C a 96,3 %, dno III. priepasti: 7,5 °C, 96,5 %. Z týchto meraní vyplýva, že najnižšia teplota vzduchu je na dne Vstupnej šachty. Je to spôsobené prílevom studeného vzduchu, ktorý tu počas zimy padá z dna závrty a tento priestor podchladzuje. Čo sa týka prúdenia vzduchu, prievan sa najsilnejšie prejavuje iba v mieste uzáveru a predstavuje len cirkuláciu medzi vchodom jaskyne, priestormi pod Vstupnou šachtou a neprieleznou puklinou, ktorá sa nachádza len niekoľko metrov od vchodu jaskyne v tej istej ponorovej depresii. Počas zimy sa zostupujúci studený vzduch v priestore na dne Vstupnej šachty čiastočne oteplí a vystupuje spomínanou puklinou, pričom čiastočne roztápa snehovú pokrývku. Pohyb vzduchu vo vchode jaskyne mimo zimného obdobia má pulzný charakter. Hlbšie v priestoroch jaskyne sa

prejavuje len menej výrazná cirkulácia spôsobená jednak vertikálnou členitosťou, jednak viacerými vzájomne prepojenými chodbami, ktoré tvoria okruhy. Na dne jaskyne sa prúdenie vzduchu vôbec neprejavuje, čo sme pozorovali v rôznych ročných obdobiach.

POZNÁMKY KU GENÉZE A PALEOHYDROGRAFII JASKYNE

Jaskyňa vznikala rozpúšťacou činnosťou presakujúcich vôd, ktoré sa koncentrovali na dne uzavretej krasovej formy – závrtnu. Mitter (1988) opísal na Plešivskej planine jaskyne s vchodom ležiacim na dne závrtnov ako závrtnové jaskyne. Vytváranie Vstupnej priepasti a Vstupnej siene (obr. 11) podmienila výrazná subvertikálna tektonická diskontinuita SZ-JV smeru, ktorá umožňovala sústredený priesak vôd z najnižšieho miesta závrtnu. Vstupná sieň vznikala aj pozdĺž menej výrazných, ale početných dikontinuit SV-JZ smeru, ktoré umožňovali priesak vôd zo SV svahu závrtnu. Rozširovanie siene prebiehalo procesmi odlamovania a rútenia stropných vrstiev po oslabených zónach na križovaní spomínaných diskontinuit a pozdĺž plôch vrstevnatosti. Chodby Suché riečisko a Tesný meander vytváral vodný tok, ktorý sa koncentroval z presakujúcich vôd na dne Vstupnej siene. Podľa priečných profilov a rozmerov týchto chodieb bola výdatnosť toku, ktorý ich vytváral, malá. Za priepasťou Čierna diera sa charakter jaskyne mení a vyzera, že mladšia jaskynná chodba tu narazila na staršie priestory, ktoré čiastočne využíla a „omladila“. Tieto relatívne staršie chodby sú celkovo o niečo priestrannejšie a charakteristické hojným výskytom hlinito-piesčitých sedimentov a reliktov sintrových platní v rôznych výškových úrovniach, ktoré poukazujú na obdobia zanášania a vyprázdňovania priestorov. Nápadný je horizontálny priebeh chodby Bludisko, ktorá je približne 55 – 58 m hlboko. Paleotok, ktorý vytváral priestory Bludiska, pritekal zo SV a zbieral sa z viacerých prítokových vadóznych chodieb, v súčasnosti nepreniknuteľne uzatvorených sintrovými nátekmi. Predpokladáme, že táto horizontálna inaktívna fluviokrasová chodba môže byť viazaná na prvú etapu výzdvihu Slovenského krasu na konci panónu alebo na začiatku pontu. Jakál (1975) na základe hĺbky paleopoljí na Plešivskej a Silickej planine predpokladá amplitúdu výzdvihu na 60 – 80 m. Podľa Jakála (2001) tento výzdvih zodpovedá podstredohorskej rovni. Za touto etapou nasledovalo relatívne krátke obdobie tektonického pokoja, ktoré umožňovalo horizontálnu cirkuláciu podzemných vôd i povrchových tokov. Podľa Gaála (2008, s. 68) by mali túto etapu dokladať horizontálne riečne jaskyne v hĺbke 60 – 80 m pod okrajom planiny, ktoré však v severnej časti Plešivskej planiny doteraz neboli známe. Ďalšie priestory jaskyne sa vytvárali vo vadóznom režime vertikálne cirkulujúcimi vodami. Táto fáza vytvárania jaskyne sa pravdepodobne začala až po druhej etape výzdvihu Slovenského krasu, ktorá sa podľa Jakála (1975, 2001) a Lišku (1988) najviac prejavila na Plešivskej a v severnej časti Silickej planiny, kde výrazné znižovanie eróznej bázy podmienilo obnovenie krasovatenia do hĺbky. Charakter priepastí pod horizontálnou úrovňou Bludiska poukazuje na to, že tieto priestory sú relatívne mladé. Extrémne úzka chodba pozdĺž tektonickej poruchy, ktorou odtekajú vody z dna jaskyne, je veľmi málo vyvinutá. Priepasti vytvárané voľne padajúcou vodou sú relatívne priestranne, ale úseky, ktoré ich spájajú, majú charakter úžin. Je to spôsobené aj tým, že voda dopadajúca na dná priepastí stráca kinetickú energiu a nasledujúce uklonené či subhorizontálne úseky rozširuje len veľmi pomaly. Významnú úlohu zohrala aj litológia horninového prostredia jaskyne – gutensteinské dolomity sú oveľa ťažšie rozpustné ako chemicky čisté svetlé vápence, v ktorých je vytvorená prevažná väčšina jaskýň Slovenského krasu. Sedimenty jaskyne uložené vodným tokom majú prevahu dolomitových



Obr. 11. Vstupná sieň. Foto: V. Papáč

Fig. 11. Entrance Hall. Photo: V. Papáč

klastov a poukazujú na autochtónny pôvod vôd. Nájdené nedokonale opracované obliaky kremeňa sú veľmi ojedinelé a pravdepodobne predstavujú resedimentované zvyšky náplavov, ktoré prinášali vodné toky zo Slovenského rudohoria v panóne. Keďže v pliocéne už bola Plešivská planina od rudohoria erózne oddelená, štrky sa do jaskýň mohli dostať jedine ich redepozíciou z panónskych, prípadne aj skorších fluvialných náplavov, ktoré pokrývali planiny (Gaál, 2008, s. 61). Na objasnenie veku horizontálnej chodby jaskyne by bolo potrebné vykonať paleomagnetické datovanie jemnozrnných sedimentov spolu s rádiometrickým datovaním sintrových kôr.

Súčasťou príspevku sú mapové prílohy časopisu (príloha I – VIII).

LITERATÚRA

- Balciar, I., Staník, P. 2012. Praktická starostlivosť o jaskyne na Slovensku v roku 2011. Aragonit, 17, 1–2, 43.
- Gaál, L. 2008. Geodynamika a vývoj jaskýň Slovenského krasu. Speleologia Slovaca, 1, Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš – Knižné centrum, Žilina, 168 s.
- Grego, J. 1998. Speleologický prieskum Plešivskej planiny. Slovenský kras, 35, 109–121.
- Jakál, J. 1975. Kras Silickej planiny. Osveta, Martin, 1975, 152 s.
- Jakál, J. 2001. Krasové okrajové roviny a podstredohorská roveň. Geomorphologia Slovaca, 1, 1, 40–45.
- Liška, M. 1988. Výsledky výskumu geomorfologických pomerov Plešivskej planiny. Ochrana prírody 6A, Bratislava, 43–74.
- Mello, J., Elečko, M., Pristaš, J., Reichwalder, P., Snopko, L., Vass, D., Vozárová, A. 1996. Geologická mapa Slovenského krasu 1 : 50 000. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 1996.

- Mitter, P. 1988. Speleologický výskum krasových javov Plešivskej planiny. Výskumné práce z ochrany prírody, 6A, Bratislava, 75–95.
- Psočka, J. 2013a. Jaskyňa Prievanová diera na Plešiveckej planine. Spravodaj SSS, 44, 1, 52–57.
- Psočka, J. 2013b. Objav jaskyne Prievanová diera na Plešiveckej planine. Sinter, 21, 18–20.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	193 – 201	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

JASKYŇA VAJSOVA ŠANCA V MASÍVE ŠIANCE PRI VERNÁRI V NP SLOVENSKÝ RAJ

FRANTIŠEK MIHÁL¹ – PETER HOLÚBEK²

¹ Speleologický klub Slovenský raj, František Mihál, Speleologický klub Slovenský raj, Ul. mládeže 34, 058 01 Poprad; mihalfero48@gmail.com

² Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva Školská 4, Liptovský Mikuláš; Speleoclub Nicolaus, Liptovský Mikuláš; peter.holubek@smopaj.sk

F. Mihál, P. Holúbek: The Vajsova šanca Cave in the massif of Šiance near Vernár Village, Slovak Paradise National Park

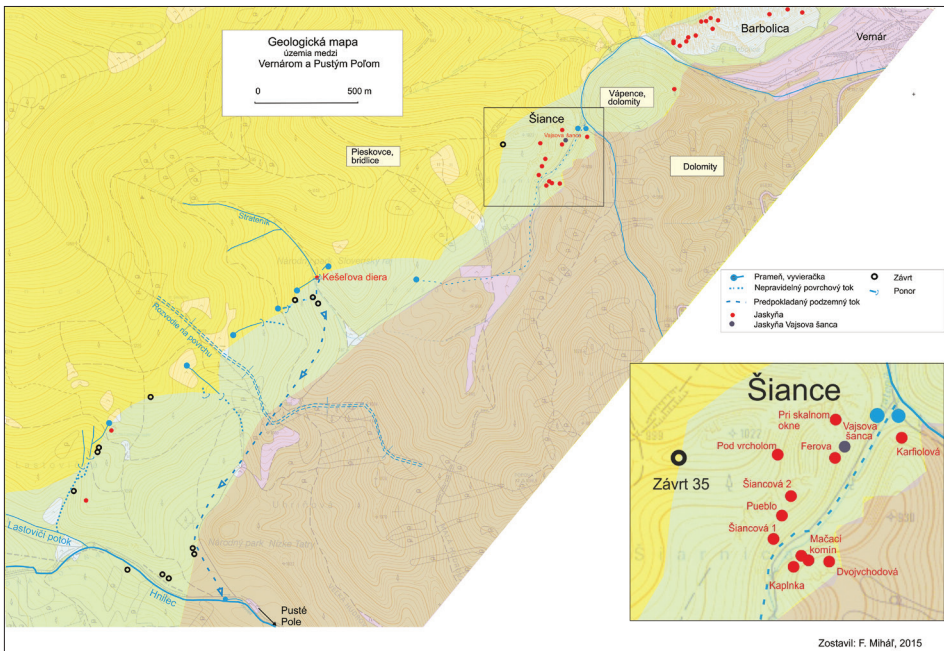
Abstract: In the western part of the Slovak Paradise National Park, in a non-karstic Carboniferous area of the Predná hora Mountain (1546 m a.s.l.), the Strateník Stream rises, which further downstream reaches a karst area formed by Triassic limestone and shortly after it sinks in the Kešeľova diera Sinkhole. In 2011, near this place, a cave named Vajsova šanca Cave was explored, with an entrance located approximately 30 m above the bottom of the valley. The cave is a three-dimensional labyrinth of fluvial corridors with a length of 270 m and a depth of 34 m in total. Can be found in the cave characteristic fluvial shapes and pebble with boulders from the non-karstic topsoil. The cave poses an interesting fragment of the underground system of the karst massif named “Šiance“. Also, there is a chance that the cave corridors themselves are longer, however, excavation works would be required to reach them.

Key words: Slovak Paradise National Park, The Vajsova šanca Cave, ponor of Kešeľová diera Sinkhole, Strateník Stream, Šiance Karst Massif

ÚVOD

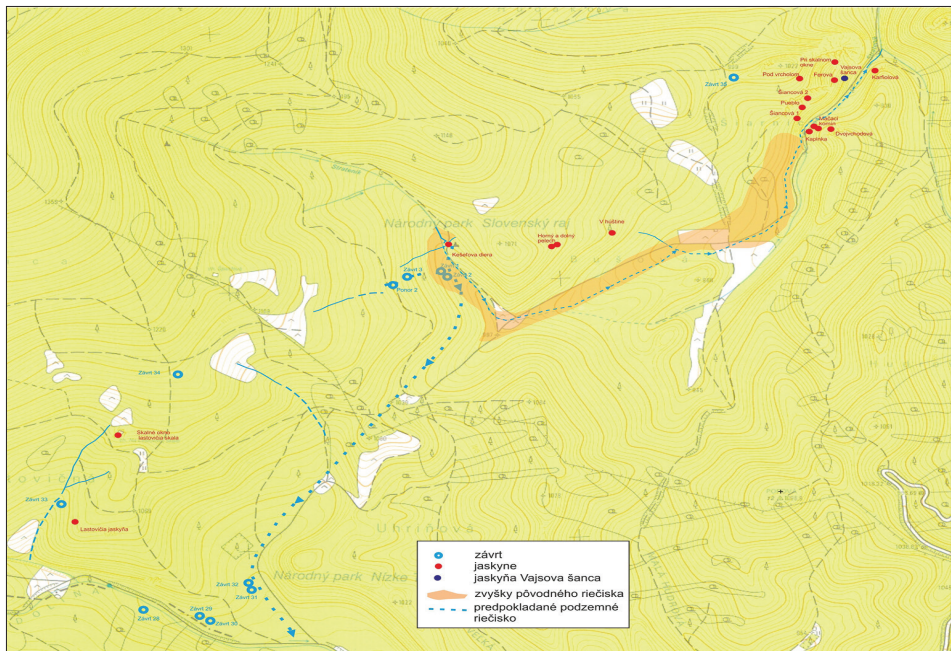
Na západnom okraji NP Slovenský raj vystupuje izolovaný, pomerne úzky pruh vápencov. Na východe sa začína v Betlanovskej doline a pokračuje cez kóty Krompl'a a Tri kopce smerom k Vernáru. Tu buduje známu ŠPR Barbolica, kótu Šiance a pokračuje smerom k Zadnej doline na Pustom Polí, kde sa končí. Práve úsek medzi Vernárom a Pustým Poľom bol predmetom nášho prieskumu. Pruh vápencov je z jv. strany lemovaný dolomitmi a z druhej strany ho lemujú v tektonickom styku nekrasové horniny. Ide o sivé až čierne kremité fylity, kvarcity a hrubé metamorfované pieskovce až drobné zlepence patriace karbónu.

Zo svahov Prednej hole (1545,8 m n. m.) sa postupne formuje z viacerých prameňov potok Strateník. Na hranici s vápencami sa voda stráca v ponorovom lieviku pod skalnou stenou v mohutnom skalnom portáli, ktorý ma názov Kešeľova diera. Nadmorská výška ponoru je 1025 m, výška portálu asi 20 m a šírka 3 – 5 m (obr. 1). Voda, ktorá mizne v podzemí, pokračuje súbežne s hranicou vápencov a dolomitov smerom na juh a vyviera v Zadnej doline na Pustom Poli. Nad terajším ústím Kešeľovej diery je výrazná kvartérna terasa. Jej výška je na úrovni hornej hrany skalného portálu. Podľa toho sa dá usudzovať, že v minulosti tiekol potok na tejto úrovni, obtekal skalné bralo a pokračoval



Obr. 1. Geologická mapa v okolí jaskyne Vajsova šanca
 Fig. 1. Geological map of the Vajsova šanca Cave surroundings

na povrchu údolím smerom k Vernáru. Zmiernenie spádovej krivky v miestach kontaktu s vápencami spôsobilo nahromadenie riečnych štrkov. Postupne sa voda začala strácať cez pukliny i blízke závrty, až úplne zmizla v podzemí. V riečnej terase sa v miestach ponoru odplavením časti štrkov vytvoril lievik. Veľká časť však zostala zachovaná, podobne ako aj zvyšok riečnej terasy v pôvodnom povrchovom koryte. To tieklo najprv smerom na juhovýchod priečne na priebeh vápencov. Zhruba 300 m od ponoru sa otočilo smerom na severovýchod, pričom kopírovalo hranicu vápencov a dolomitov. V týchto miestach má údolie mierny sklon a je pomerne široké. Tento charakter je až po časť Bušová (lúky a stará horáreň). Tu sa k nemu pripájal prítok z prameňa na ľavej strane. Ten funguje aj teraz, ale veľmi rýchlo sa trätí v podzemí. Od horárne k časti Šiarnice (Šiance) sú znovu na ľavej strane údolia zvyšky mohutnej kvartérnej terasy. V časti Šiarnice (Šiance) totiž potok znovu vstupoval do pruhu vápencov. Ten sa prejavuje aj teraz bralným reliéfom. Je viac ako isté, že v týchto miestach musel potok prekonávať podobný problém ako pri Kešeľovej diere. Skalná bariéra spôsobila zmiernenie toku a veľkú akumuláciu štrkov. Po jej prerazení bola časť štrkov odplavená. Jej veľká časť zostala zachovaná na ľavej strane údolia. Voda pokračovala na svojej ceste k Vernáru a v pruhu vápencov vytvorila menšiu krasovú roklinu. Postupne sa k nej pripojili terajšie vody z pravej i ľavej strany pri terajšej horárni a pokračovali roklinou južne od Barbolice k Vernárskemu potoku. Teraz je celé údolie od Kešeľovej diery až k súčasnej horárni suché. Iba pri veľkých zrážkach sa zhruba od starej horárne objaví povrchový tok. Potok Strateník má za normálnych okolností prietok asi $10 - 15 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. V čase výdatnejších zrážok alebo na jar pri rýchлом topení snehu však vzrastie niekoľkonásobne. Voda nestačí pretekať v miestach so zúženým priemerom v podzemí a hladina sa začne vzdúvať. Vtedy sa stáva, že sa v mieste portálu vytvorí jazero siahajúce aj tesne k hrane ponorového



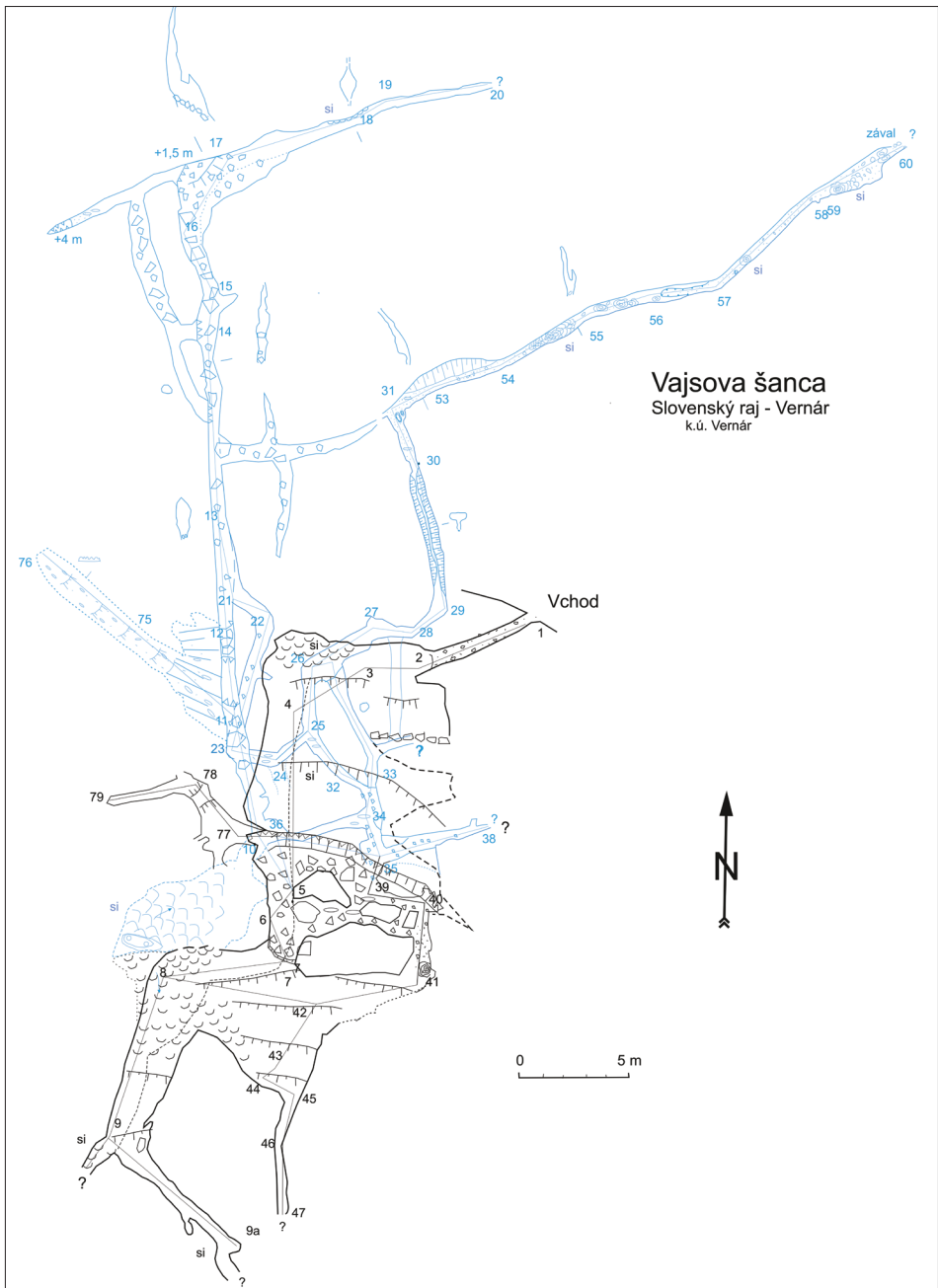
Obr. 2. Situačná mapa pôvodného koryta potoka Strateník s výskytom riečnych štrkov. Zostavil: F. Mihál, 2016

Fig. 2. Situational map of the Strateník Stream's original riverbed with the occurrence of fluvial gravels. Compiled by F. Mihál, 2016

lievika. Pri extrémnych zrážkach tak môže dochádzať aj k jeho preliatiu. Roku 2016 sa sifón zrejme čiastočne upchal, lebo jazero v portáli zostáva aj pri štandardnom prietoku. V opísanom úseku od súčasnej horárne (Barbolica) až po ponor Kešeľova diera je doteraz zdokumentovaných niekoľko menších jaskýň.

Najviac jaskýň bolo zdokumentovaných na masíve kóty Šiarnice (Šiance 1022 m n. m.). Ide najmä o zvyšky horizontálnych kanálov (Šiancová 1) s nadmorskou výškou 810 – 825 m v súvislejšom skalnom reliéfe na východnom svahu kóty. Táto výška by mohla zodpovedať úrovni potoka Strateník v čase jeho povrchového toku smerom k Vernáru. Pri návšteve ponoru Kešeľova diera 13. 7. 2011 našli členovia speleologického klubu Nicolaus J. Vajs, P. Holúbek a V. Laučík tesnú diery s prievanom neďaleko jaskyne Pueblo. Bolo tu cítiť prievan a zdalo sa, že tu môže byť veľká jaskyňa. Až 12. 7. 2014 P. Vaněk a P. Holúbek navštívili túto lokalitu opäť. Preniknutím cez úžinu objavili približne 200 metrov priestorov, ktoré následne v spolupráci s F. Mihálom, O. Miháľovou, I. Staníkom, J. Vajsom a K. Schrötterovou preskúmali a zdokumentovali. Jaskyňu navštívil v roku 2015 aj odborník na huby V. Kautman, ktorý tu našiel na nočných motýľoch hubu cordyceps. Jaskyňa sa nachádza zhuba 30 m nad osou doliny a dostala meno podľa jej objaviteľa Vajsova šanca. S doteraz preskúmanou a zdokumentovanou dĺžkou okolo 300 m sa stala najdlhšou jaskyňou vernárskeho pruhu. Vchodom je úzka trojuholníková štrbina v menšom skalnom brale.

Z priloženého pôdorysu vidieť, že jaskyňa má veľmi zložitú konFiguráciu. Vstupná časť je založená na výraznej V-Z pukline s úklonom asi 45° k juhu. Kombináciou ďalšej rovnobežnej, ale skoro vertikálnej pukliny sa medzi bodmi 5 – 7 vytvoril jediný



Obr. 3. Pôdorys jaskyne Vajsova šanca
Fig. 3. Ground map of the Vajsova šanca Cave

väčší priestor. Časť priestorov jaskyne má charakter nízkych horizontálnych plaziviek. Nachádzajú sa hlavne pod vstupnou šikminou. Charakteristickým znakom tejto časti je prítomnosť riečnych štrkov. Zvyšná, prevažujúca časť ma charakter úzkych, vysokých chodieb vyvinutých na S-J a V-Z puklinách. Pohyb v nich je možný iba v určitej úrovni.

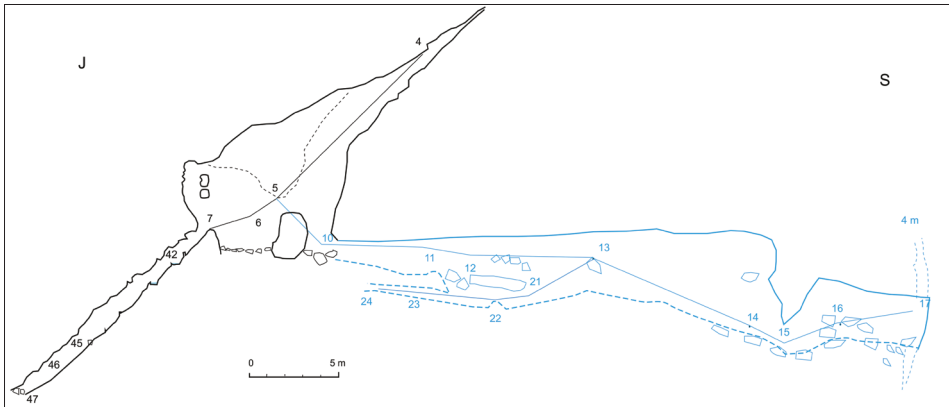
Ich dno je často balvanité s viditeľným pokračovaním do hĺbky v neprieleznom priemere. Tu môžeme očakávať aj stály alebo sporadický výskyt vody. Svedčí o tom výtok vody zo sutiny v ose doliny v miestach predpokladaného smerovania jaskyne. Podobne aj smerom hore pokračujú chodby aj niekoľko metrov neprielezným priemerom. Zaujímavá je časť pri bodoch 11 – 12. Tu sú po vrstvových plochách v chodbe stúpajúce „výklenky“, v ktorých je častý výskyt štrkov.

Prítomnosť štrkov a skutočnosť, že vody potoka Strateník tiekli niekedy smerom k Vernáru, nás viedla k názoru, že vznik jaskyne mohol mať na svedomí práve tento potok. Rozhodli sme sa preto porovnať zloženie štrkov z jaskyne a štrkov potoka Strateník nad ponorom Kešeľova diera. V jaskyni bola od Obr. atá vzorka z časti pri bode 10. Na priložených grafoch prehľadne vidieť zloženie štrkov a stupeň opracovania úlomkov, ako aj ich veľkosť. Tie sú závislé od dĺžky transportu.

Tab. 1. Rozbor štrkov z potoka Strateník – Kešeľova diera – Vernár

Tab. 1. Analysis of the gravels from the Strateník Stream – Kešeľova diera Sinkhole – Vernár Village

Hornina	os a (cm)	os b (cm)	os c (cm)	Klasifikácia podľa Pettijohna (1975)
zelený kremitý fylit	8,5	4	0,7	suboválny
zelený kremitý fylit	5,2	3,3	1,2	subangulárny
zelený kremitý fylit	6,5	2,7	1,3	angulárny
zelený kremitý fylit	3	2,6	0,9	suboválny
zelený kremitý fylit	3,5	3	0,8	suboválny
čierny kremitý fylit	3,5	2,2	1	angulárny
sivý kremitý fylit	3,2	2,2	0,7	subangulárny
sivý kremitý fylit	2,1	2	0,5	subangulárny
sivý kremitý fylit	3,2	2,7	1	suboválny
zelený kremitý fylit	3,5	2	1,2	angulárny
zelený kremitý fylit	3	2	0,9	angulárny
zelený kremitý fylit	2,8	1,5	0,9	angulárny
kvarcit	3,6	1,8	1,6	angulárny
kremenná žilovina	5	4	3,5	angulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	4	3,5	1,5	subangulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	4,2	3	1,6	angulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	5,5	3,3	1,1	angulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	5,5	3,8	3,1	subangulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	2,8	2,5	1,1	angulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	3	2,5	1,1	subangulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	2,8	2,1	1,3	subangulárny
sivý hrubozr. metapieskovec	3,5	2	1,3	suboválny
sivý hrubozr. metapieskovec	4,5	1,5	1,1	suboválny
sivý hrubozr. metapieskovec	2,8	1,2	0,8	suboválny



Obr. 4 Pozdĺžny profil jaskyňou Vajsova šanca
 Fig. 4. Side cross-section of the Vajsova šanca Cave



Obr. 5. Charakteristický tvar opracovania hrubej frakcie štrkov z potoka Strateník pred ponorom Kešeľova diera. Foto: F. Mihál'

Fig. 5. Characteristic roundness degree of the coarse fraction from the gravels of the Strateník Stream in front of the Kešeľova diera Sinkhole. Photo: F. Mihál'

Prítomnosť štrkov v jaskyni je dôkazom prítomnosti riečného toku a jeho podielu na vzniku i tvorbe podzemných priestorov. Zloženie štrkov svedčí o tom, že voda pritekala z blízkeho nekrasového územia západne od krasu. Aj keď morfológia reliéfu v čase vzniku jaskyne mohla byť trochu iná, nedá sa predpokladať, že sa na jej vzniku podieľal nejaký neznámy teraz neexistujúci potok. S veľmi veľkou pravdepodobnosťou sa teda na jej tvorbe podieľal potok Strateník. Porovnanie štrkov potvrdzuje tuto teóriu. Hlavné

Tab. 2. Rozbor štrkov z jaskyne

Tab. 2. Analysis of the gravels from the cave

Vajsova šanca – Vernár	os a cm	os b cm	os c cm	Klasifikácia podľa Pettijohna (1975)
zelený kremitý fylit	8	6	2	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	4,5	3	1,2	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	3,5	3	0,9	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	5	3	1,2	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	5	3	0,5	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	4	2,5	0,5	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	2,5	1,8	0,5	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	3	1,2	0,6	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	3,5	1,9	0,6	oválny
zelený kremitý fylit	3	1,7	0,8	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	2,1	1,7	0,8	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	3	2,1	1,3	oválny až dokonale oválny
zelený kremitý fylit	2,5	1,7	1,2	suboválny
zelený kremitý fylit	3,2	2,7	1,4	suboválny
zelený kremitý fylit	3	1,6	1	oválny
zelený kremitý fylit	2,8	1,6	0,7	oválny
zelený kremitý fylit	1,8	1,8	0,8	oválny
zelený kremitý fylit	3,5	1,8	0,8	oválny
zelený kremitý fylit	3,5	1,9	0,5	oválny
zelený kremitý fylit	3,8	2,9	1,8	oválny až dokonale oválny
sivý hrubozr. metapieskovec	3,8	2,5	0,9	oválny
sivý hrubozr. metapieskovec	4,5	2,5	1,5	oválny
sivý hrubozr. metapieskovec	3,8	1,9	0,8	oválny
sivý hrubozr. metapieskovec	3,5	2	1,1	oválny
čierny kremitý fylit	4	2,5	1	suboválny
tmavý vápenec	2,6	1,7	1,2	oválny
svetlý vápenec	5	3,5	1,6	subangulárny
svetlý vápenec	3,2	2,5	1,3	subangulárny
svetlý vápenec	4	1,7	1,3	subangulárny
svetlý vápenec	4	2,8	1,8	subangulárny
svetlý vápenec	4,1	2,8	1	subangulárny
svetlý vápenec	2,3	1,8	1,1	suboválny
svetlý vápenec	2,3	1,6	1,5	subangulárny

rozdiely sú v zložení a v opracovanosti štrkov. V jaskyni môžeme vidieť úlomky kremítych fylitov (kvarcity a kremennú žilovinu) a metapieskovce a navyše ešte vápence. Tu je to v poriadku, lebo voda od ponoru pri Kešeľovej diere až ku jaskyni tiekla v prostredí dolomitov a vápencov. V poriadku je aj rozdiel v opracovaní štrkov. Vzdialenosť medzi ponorom a jaskyňou na povrchu je asi 1500 m. Ide tu teda o dvojnásobnú dĺžku transportu.

OPIS JASKYNNÝCH PRIESTOROV

Ako sme už v úvode napísali, morfológia chodieb v jaskyni je veľmi zložitá. Za úzkym puklinovým vchodom je príchod do širokej priepastovitej chodby so sklonom asi 45°. Na zostup do nej je potrebné lano. Dno je mokré, v podstate ide o sintrovú platňu s menšími skokmi až po okrajovú hranu, za ktorou je asi 5 vysoká, skoro vertikálna stena.

Tu sme na zostup použili povrazový rebrík. Nad bodom 4 je výrazné stropné koryto, ktoré pokračuje cez bod 5 k bodom 7, 8 a 9. Tu sa stropný kanál ponára do masívu a je silne zasintrovaný. Možno predpokladať, že pokračuje ďalej. Pri bode 7 je výrazný komín s výškou asi 5 m. Pri jeho prieskume sme zistili, že má súvis so stropným korytom. Priestor od bodu 7 k bodom 44 – 45 tvorí šikmá, široká, ale nízka klesajúca chodba. Jej dno tvoria sintrové kaskády vyplnené vodou. Nižšie prechádza do úzkych klesajúcich kanálov ukončených zasintrovaním. Druhá strana pod vstupnou šikminou má charakter bludiska v podobe nízkych, navzájom poprepájaných kanálov (plaziviek) s kamenným alebo štrkovým dnom.

Často sú prerušované balvanovitými úsekmi. V stenách vidieť zvyšky bočných korýt ako torzá paralelných horizontálnych chodbičiek. V kúte západne od bodu 17 je výraz-



Obr. 6. Až takéto veľké okruhliaky sa dajú nájsť v jaskyni. Foto: P. Holúbek
Fig. 6. Pebbles large like this can be found in the cave. Photo: P. Holúbek



Obr. 7. Riečne štrky v labyrinte plaziviek pod vstupnou chodbou. Foto: F. Mihál'
Fig. 7. Fluvial gravels in the labyrinth of narrow passages under the entrance passage. Photo: F. Mihál'

nejší komín neznámej výšky. Laserový lúč nameral výšku do 4 m, ale vzhľadom na morfológiu to určite nie je presný údaj. Koncové body 20 a 60 naznačujú mierny pokles smerom na východ a smerovanie k ose pôvodného koryta potoka Strateník na povrchu. Staré koryto je suché a voda sa v ňom objavuje iba pri veľkých zrážkach. Stály, nie veľmi bohatý prameň sa však objavuje práve zo strany, v ktorej je jaskyňa Vajsova šanca tesne nad sútokom so susednou dolinou nad súčasťou horárňou.

LITERATÚRA

- Droppa, A. 1959. Krasové javy pri Vernári, Slovenský kras II. Osveta Martin, 68–74.
- Droppa, A. 1978. Jaskyne severnej časti Slovenského raja. Československý kras, 29, 63–78.
- Droppa, A. 1980. Jaskyne južnej časti Slovenského raja. Československý kras, 30, 51–65.
- Kullman, E. 1985. Zhodnotenie hydrogeologických pomerov mezozoika Slovenského raja s ocenením prognózných prírodných zdrojov a prognózných využiteľných množstiev podzemných vôd. GÚDŠ, Bratislava, 134 s.
- Mello, J. (Ed.), Filo, I., Havrila, M., Ivanička, J., Madarás, J., Németh, Z., Polák, M., Pristaš, J., Vozár, J., Koša, E., Jacko jun., S. 2000. Geologická mapa Slovenského raja, Galmusu a Hornádskej kotliny 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Mihál', F. 2011. Kešelova diera – najväčší ponor v Slovenskom raji. Aragonit, 16, 1–2.
- Novotný, L., Tulis, J. 2005. Kras Slovenského raja. SSJ a SSS, L. Mikuláš, 175 s.
- Pettijohn, F. J. 1975. Sedimentary rocks, third edition. Harper and Row, New York, 628 p.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	203 – 219	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

SPOLOČENSTVÁ BEZSTAVOVCOV (EVERTEBRATA) JASKYNE ZÁPOĽNÁ (KOZIE CHRBTY)

ZUZANA VIŠŇOVSKÁ¹ – VLADIMÍR PAPAČ¹ – ĽUBOMÍR KOVÁČ²
– ANDREJ MOCK² – VLADIMÍR KOŠEL³
– ANDREA PARIMUCHOVÁ² – PETER ĽUPTÁČIK²

¹ Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; zuzana.visnovska@ssj.sk, vladimir.papac@ssj.sk

² Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Prírodovedecká fakulta, Ústav biologických a ekologických vied, Moyzešova 11, 041 54 Košice; lubomir.kovac@upjs.sk, andrea.parimuchova@gmail.com, peter.luptacik@upjs.sk, andrej.mock@upjs.sk

³ Nad lúčkami 53, 841 05 Bratislava 4; kosel2@azet.sk

Z. Višňovská, V. Papáč, Ľ. Kováč, A. Mock, V. Košel, A. Parimuchová, P. Ľuptáčik:
Invertebrates of the Zápoľná Cave, Kozie Chrbty Mts., Slovakia

Abstract: The Zápoľná Cave is located in a small karst area of the Kozie chrbty Mts. in northern Slovakia, Western Carpathians. Total length of the cave passages is 1,848 m with a vertical span of 59 m and the entrance situated 755 m a. s. l. It is a phreatic cave formed by corrosion and convection of slowly circulating underground water in a carbonate complex. The cave was discovered by geology workers in 1940 and the artificial entrance was closed by an iron hatch, therefore bats and bat guano are absent in the cave. During 2014 – 2016 the investigations on terrestrial and aquatic invertebrates were carried out in the cave. Terrestrial fauna was collected by pitfall trapping, visual searching and extraction of organic material (rotten wood, leaves) in a high-gradient apparatus. Water fauna was collected by a plankton net from small pools and accessible water siphons in the lowest parts of the cave, roughly 20 m below the recent riverbed of the Čierny Váh River. Totally, 70 terrestrial and 3 aquatic invertebrate taxa were registered in the cave. The entrance parts hosted the most diversified faunal communities consisted mostly of the edaphic forms of Acari, Collembola, Diplopoda and Coleoptera, and further parietal fauna composed of Diptera, Trichoptera and Lepidoptera. Several eutroglophiles (forms closely associated with the cave environment) inhabited the cave from the entrance towards deeper parts. Among troglobionts (obligate cave forms), two collembolan species were recorded, *Deuteraphorura kratochvili* and *Pseudosinella pactli*, and the palpi-grade *Eukoenia spealea* (Palpi-gradi), the latter observed as several individuals on the surface of sinter pools. Community of psychrophiles, namely beetle *Choleva glauca*, collembolan *Pygmarrhopalites principalis* and millipede *Enantiulus tatranus*, occupied the cold entrance section with the input of organic material transported by gravity from the surface. Except for the terrestrial fauna (Collembola, Palpi-gradi, Acari) occurring occasionally on the surface of standing water, two stygobitic crustaceans, *Bathynella natans* (Syncarida) and *Niphargus* sp. (Amphipoda) were found in deeper water siphon along with an unidentified form of Rotifera. Species composition of the subterranean invertebrate communities was similar to the Važecká Cave, located in the same karst area, and to the karst caves of the Nízke Tatry Mts. in the Central Western Carpathians. The Zápoľná Cave is example of oligotrophic system with very limited diversity and abundance of subterranean fauna. It represents a subterranean system on the northern margin of distribution range of troglobiomorphic obligate cave fauna in Europe.

Key words: cave invertebrates, species composition, troglobiont, Zápoľná Cave, Western Carpathians

ÚVOD

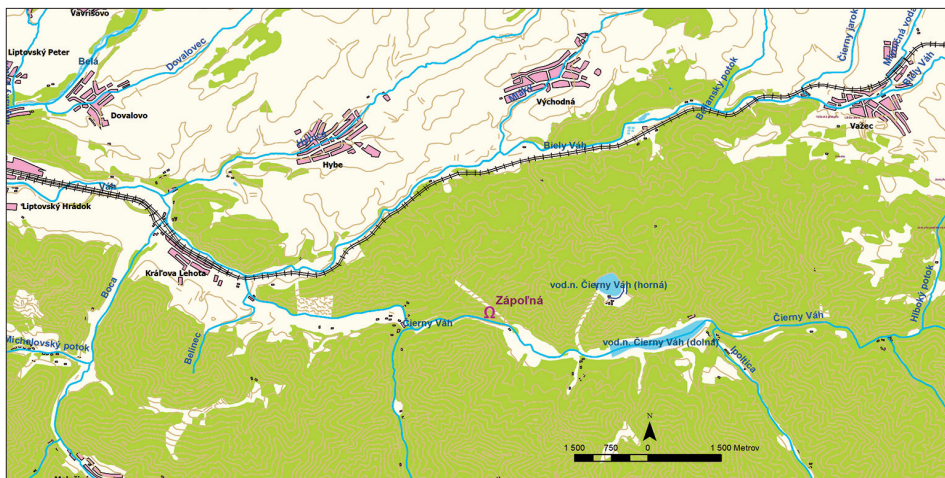
Jaskyňa Zápoľná predstavuje najdlhšiu a najhlbšiu jaskyňu geomorfologického celku Kozie chrbty (Bella et al., 2007; Tencer, 2017). Fauna jaskyne sa dosiaľ systematicky neskúmala. Publikované boli len stručné zmienky o výskyte niektorých menších stavovcov zväčša spadnutých do priepašťového priestoru pod vchodom a o absencii netopierov v jej rozsiahlych podzemných priestoroch (Holúbek, 1998; Holúbek a Král, 2001). Vzhľadom na polohu, rozsah a členitý charakter podzemných priestorov sa tu dali očakávať významné nálezy terestrických i vodných druhov bezstavovcov. Podrobnejšie bola fauna bezstavovcov v rámci Kozích chrbtov spracovaná iba v jaskyni Brada a vo Važeckej jaskyni (Mock et al., 2002, 2004; Kováč et al., 2015), pričom Važecká jaskyňa predstavuje významnú biospeleologickú lokalitu v rámci Slovenska s výskytom stabilnej populácie troglobiontnej št'úrovky *Eukoenenia spelaea* a zároveň je typovou lokalitou jaskynného chvostoskoka *Megalothorax hipmani* (Papáč a Kováč, 2013). Važecký kras z hľadiska zoogeografie speleofauny radí Košel (2009, 2012) do centrálnokarpatského nadregiónu a regiónu nízkotatranského, čo predpokladá vysokú mieru podobnosti a genézy jaskynnej fauny Kozích chrbtov a Nízkyh Tatier.

Cieľom biospeleologického výskumu v jaskyni Zápoľná realizovaného v rokoch 2014 – 2016 bolo získať základný prehľad o diverzite a štruktúre spoločenstiev terestrickej a vodnej fauny bezstavovcov s dôrazom na subteránne, endemické, reliktné a iné vzácne formy. Získal sa tým komplexnejší obraz o charaktere bioty a významnosti jaskyne vzhľadom na iné jaskynné lokality na Slovensku. Riešiteľom úlohy projektu bola Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši v externej spolupráci s Univerzitou P. J. Šafárika v Košiciach.

CHARAKTERISTIKA LOKALITY

Jaskyňa Zápoľná, v literatúre uvádzaná aj ako Zápoľná priepašť, je národnou prírodnou pamiatkou. Nachádza sa na severnej strane doliny Čierneho Váhu pod strmým vápencovým bralom Zápoľná neďaleko osady Svarín (k. ú. Východná, okr. Liptovský Mikuláš), v priestore cca 3 km západne pod hrádzou údolnej vodnej nádrže Čierny Váh, vybudovanej na rovnomennom toku. Dolina Čierneho Váhu tvorí rozhranie Važeckého krasu Kozích chrbtov s Nízkymi Tatrami (Hochmuth, 2008). Okolie jaskyne sa radí do mierne chladného, veľmi vlhkého okrsku s priemernou ročnou teplotou vzduchu 4 – 6 °C (Lapin et al., 2002).

Jaskyňa je vytvorená v úzkom páse vápencov, tiahnucich sa od Važca a pokračujúcich smerom do Malužinského krasu v Nízkych Tatrách (obr. 1). Objavená bola náhodne počas prieskumných terénnych prác v okolí plánovanej vodnej nádrže na Čiernom Váhu v rokoch 1939 – 1941. Jedným z geologických vrto v sa preniklo do vstupnej priepašťovej časti jaskyne, ktorú následne opísal Droppa (1962), pričom v zasutinenom dne v hĺbke 14 m predpokladal jej pokračovanie. Do rozsiahlych nových podzemných priestorov prenikli jaskyniari koncom 90. rokov minulého storočia (Holúbek, 1998; Holúbek a Král, 2001). Aktuálna zameraná dĺžka jaskynného systému je 1848 m s vertikálnym rozpätím 59 m (Bella et al., 2007; Tencer, 2017). Vchod do jaskyne (755 m n. m.), ktorý tvorí úzky otvor, sa nachádza približne 50 m nad terajším dnom doliny. Vstupná časť je priepašťového charakteru a ústi do menšej vstupnej siene zvažujúcej sa smerom dolu (obr. 2). Z geomorfologického hľadiska jaskyňa predstavuje komplikovaný trojrozmerný labyrint nepravidelných, miestami navzájom prepojených užších i priestrannejších



Obr. 1. Situačná mapka okolia jaskyne Zápoľná. Spracoval P. Gažík

Fig. 1. Situation map of the vicinity of the Zápoľná Cave. Compiled by P. Gažík

chodieb, priepastí a komínov, pričom celá jaskyňa je vyvinutá na pôdoryse približne 120×100 m (Hochmuth, 2008). V jaskynných sedimentoch okrem sutiny prevláda hlina a lokálne aj veľmi jemný piesok (Holúbek a Král, 2001). Ide o typický príklad freatickej jaskyne vytvorenej koróznou činnosťou pomaly cirkulujúcej až stagnujúcej podzemnej vody s následným rútením a prepadávaním sa podzemných dutín (Bella a Holúbek, 2002; Littva et al., 2017). Jaskyňa má niekoľko vodných sifónov a občasných jazier, situovaných v ťažko prístupných najspodnejších partiách jaskyne cca 20 m pod úrovňou neďaleko tečúceho toku Čierneho Váhu. Dno týchto chodieb je periodicky zaplavované freatickými vodami, pričom výška hladiny podzemnej vody sezónne kolíše (Littva et al.,



Obr. 2. Vstupná časť jaskyne – stanovište 5.
Foto: Z. Višňovská
Fig. 2. Entrance part of the cave at the plot 5.
Photo: Z. Višňovská



Obr. 3. Zber parietálnej fauny na stanovišti 4.
Foto: L. Kováč
Fig. 3. Collecting of parietal fauna at the plot 4.
Photo: L. Kováč

2017). V stredných a najvyšších polohách jaskyne sa lokálne tvoria drobné periodické mláčky a plytké sintrové jazierka (najmä v Hornej chodbe), ktoré sú nepravidelne dotované priesakovými vodami rôznej intenzity (Haviarová, 2017).

MATERIÁL A METÓDY

Biospeleologický výskum jaskyne Zápoľná prebiehal v období 2014 – 2016 v priestoroch na hlavnom koridore od vchodu až po koncový zával Hornej chodby a raz aj v priepasti Tatrovka a jej príľahlých chodbách v spodnej časti jaskyne. Výskum spoločenstiev terestrických bezstavovcov bol realizovaný v mesiacoch jún – september 2015. Parietálna fauna sa zbierala pomocou exhaustora zo stien v disfotickej a afotickej zóne vstupnej chodby do vzdialenosti 30 m od vchodu (obr. 3). Predmetom zberu boli dvojkridlovce (Diptera), materiál bol konzervovaný v 75% alkohole. Motýle (Lepidoptera) a potočníky (Trichoptera) sa sledovali vizuálne (sensu Košel, 1976). Okrem individuálneho zberu sme v perióde 22. 6. až 7. 9. 2015 exponovali zemné pasce a návnady na piatich stanovištiach pozdĺž hlavného koridoru jaskyne. Presnú polohu stanovišť znázorňujeme na mape podklade (obr. 4, 5). Keďže niektoré priestory jaskyne nemajú pomenovanie, pri jednotlivých stanovištiach uvádzame aj čísla meračských bodov (MB). Rozmiestnenie stanovišť v smere od zadných častí jaskyne ku vchodu bolo takéto:

- 1/ koniec Hornej chodby pred závalom (medzi MB 47 – 48), kamenitá sutina;
- 2/ začiatok Hornej chodby (pri MB 39), hlinitý sediment;
- 3/ rozšírená chodba na hlavnej trase (pri MB 15), hlinito-kamenitý sediment;
- 4/ chodba so zníženým stropom na hlavnej trase (pri MB 7), hlinito-kamenitý substrát;
- 5/ vchodová časť jaskyne (vstupná sieň) pod vstupnou šachtou, hlinito-kamenitý substrát s drevom a rastlinným opadom z povrchu.

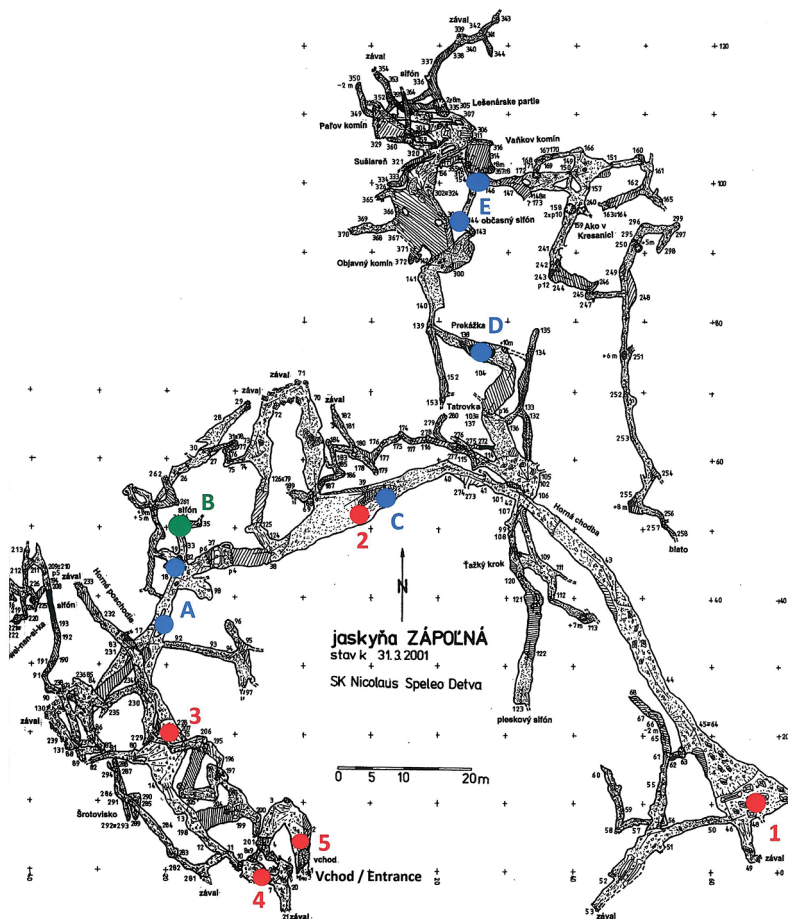
Na každom stanovišti sme exponovali zemné pasce s tromi typmi fixáže: 4% roztok formaldehydu, 95% benzínalkohol a etylénglykol. Návnady pozostávali z drevených hoblín premiešaných s ovsenými vločkami. Vo vstupnej sieni bola inštalovaná pasca na odchyt fauny obývajúcej sutinový substrát.

Na zistenie prítomnosti akvatickej fauny sme v jaskyni realizovali hydrobiologický výskum v termínoch 11. 11. 2014, 18. 3., 22. 6. a 7. 9. 2015 a 21. 6. a 21. 7. 2016. Faunu sme odchyťovali filtrovaním vody cez planktónnu sieťku so zbernou fľaštičkou (veľkosť otvorov siete cca 110 μ m). Vzorky vody sa následne analyzovali v laboratóriu a fauna taxonomicky identifikovala pomocou binokulárneho stereomikroskopu a svetelného mikroskopu. Odbernými miestami boli:

- A/ dolná chodba na hlavnej trase s vysokou sieňou pri sífóne (medzi MB 17 – 19), drobné občasné jazierka a mláčky v ílovito-hlinitom sedimente;
- B/ bočná chodba vo vysokej sieni (medzi MB 33 – 35), vodný sífón;
- C/ začiatok Hornej chodby (MB 39 – 40), plytké sintrové jazierka;
- D/ dno priepasti Tatrovka (MB 104 a 138), veľké jazero v ílovito-hlinitom sedimente;
- E/ chodba za Prekážkou (pri MB 144 a 146), jazierka v mieste občasného sífónu.

Okrem toho sme zbierali faunu pozdĺž hlavného koridoru jaskyne priamo z vodnej hladiny príležitostných drobných mláčok v depresiách terénu na sedimente alebo na tvrdej sintrovej kôre (obr. 6).

V jednotlivých termínoch terénneho výskumu sme v jaskyni merali aktuálnu teplotu vzduchu a vody ($^{\circ}$ C) digitálnym teplomerom Checktemp (Hanna) a v jednom termíne aj relatívnu vlhkosť vzduchu (%) pomocou digitálneho prístroja COMET C3120.



Obr. 4. Pôdorysná mapa jaskyne Zápoľná s vyznačením polohy stanovišť na zber terestrických bezstavovcov (● stanovišťa 1 – 5) a odchyt vodnej fauny (●● odberné miesta A – E). Mapový podklad: SK Nicolaus a Speleo Detva, 2001

Fig. 4. Ground plan of the Zápoľná Cave with collection sites of terrestrial (● sites 1 – 5) and aquatic invertebrates (●● sites A – E). Basic map: SK Nicolaus and Speleo Detva, 2001

VÝSLEDKY A DISKUSIA

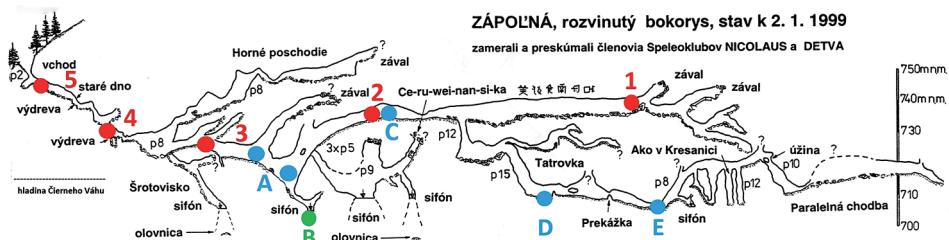
Hodnoty teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu, ktoré sme v jaskyni namerali počas biospeleologického výskumu v rokoch 2014 – 2016, orientačne dokumentujú miestne mikroklimatické pomery (tab. 1). Vchodová časť sa vyznačovala výraznejšími výkyvmi teploty vzduchu (v rozmedzí 3 – 7 °C, stanovište 5), kým v ostatných úsekoch jaskyne bola teplota pomerne vyrovnaná. V Hornej chodbe (cca 7 – 8 °C, stanovišťa 1 a 2) bola pritom mierne vyššia v porovnaní so stredným a vstupným úsekom hlavného koridoru smerom ku vchodu (cca 6 – 7 °C, stanovišťa 3 a 4). Relatívna vlhkosť vzduchu dňa 7. 9. 2015 bola vo všetkých sledovaných priestoroch jaskyne v rozmedzí 90 – 100 %, steny podzemných priestorov boli v celom rozsahu vlhké a prúdenie vzduchu sa pozorovalo vo vstupnej chodbe v smere von z jaskyne. Podľa nameraných hodnôt teploty vzduchu možno jaskyňu Zápoľná zaradiť k mierne teplým jaskyniam Slovenska (Košel, 1996).

Tab. 1. Teplota vzduchu a vody v jaskyni Zápoľná na základe merania v 6 termínoch (pozri v kapitole Materiál a metódy). Vysvetlivky: minimálna (min.) a maximálna (max.) hodnota, priemer (priem.) a rozdiel hodnôt, * – vykonané 1 meranie, stac. – stanovište odchyty fauny

Tab. 1. Air and water temperature in the Zápoľná Cave based on the six measurements (see chapter “Materiál a metódy”). Explanations: minimum (min.) and maximum (max.) value, mean and amplitude of values, * – one measuring, stac. – fauna catching point

Meraná veličina / Measurand	Teplota vzduchu / Air Temperature [°C]			
	min.	max.	priem.	rozdiel
Miesto merania Measuring site	min.	max.	mean	amplitude
pred vchodom jaskyne (medzi 14. – 15. hod.)	7,8	24,0	15,4	16,2
vchodová časť jaskyne (stac. 5)	3,3	7,0	6,0	3,7
chodba so zníženým stropom (stac. 4)	5,9	6,8	6,5	0,9
rozšírená chodba (stac. 3)	6,3	6,8	6,6	0,5
dolná vysoká sieň pri sífóne (pri stac. A)	6,6	6,7	6,7	0,1
Horná chodba – začiatok (stac. 2)	7,0	7,4	7,2	0,4
Horná chodba – stred	7,2	7,6	7,4	0,4
Horná chodba – koniec (stac. 1)	7,5	7,7	7,6	0,2
priepasť Tatrovka (pri stac. D)			* 7,2	
chodba za Prekážkou (pri stac. E)			* 7,2	
Meraná veličina / Measurand	Teplota vody / Water Temperature [°C]			
Miesto merania Measuring site	min.	max.	priem.	rozdiel
	min.	max.	mean	amplitude
rozšírená chodba (pri stac. 3) – drobné telmy v sedimente	6,3	6,7	6,6	0,4
dolná vysoká sieň pri sífóne				
drobné jazierka a mláčky v sedimente (stac. A)	6,6	7,1	6,8	0,5
vodný sífón v bočnej chodbe (stac. B)	6,6	6,7	6,6	0,1
Horná chodba				
plytké sintrové jazierka na začiatku chodby (stac. C)	6,9	7,1	7,1	0,2
drobné telmy na sintri v strednej časti chodby	7,2	7,4	7,3	0,2
priepasť Tatrovka – veľké jazero v sedimente (stac. D)			* 7,1	
chodba za Prekážkou – občasný sífón (stac. E)			* 7,1	
Čierny Váh – povrchový tok (v doline pod jaskyňou)	4,0	18,1	12,7	14,1

Zaznamenalo sa celkovo 70 taxónov terestrických a 3 taxóny vodných bezstavovcov (tab. 2, 3). Dominantnými skupinami boli chvostoskoky (21 taxónov), dvojkridlovce (18) a roztoče (10). Fauna sa koncentrovala najmä vo vstupnej sieni v blízkosti organického materiálu (pôda, lístie, drevo) a v menšej miere aj v zadnej hornej časti jaskyne (Horná chodba) v okolí sintrových jazierok a rozkladajúcich sa zvyškov drevených rebríkov (obr. 2, 6). Vstupná časť jaskyne mala pomerne bohatú nástennú (parietálnu) faunu. Do jaskyne preniká cez nedokonale utesnený kovový poklop vo vstupnej šachte, prípadne inými drobnými otvormi v skalnom bloku v blízkosti vchodu. Zistené druhy sú často



Obr. 5. Bočný rez jaskyne Zápoľná s vyznačením pozície stanovišť na zber terestrických bezstavovcov a odchyt vodnej fauny (označenie stanovišť – pozri obr. 4). Mapový podklad: speleokluby Nicolaus a Speleo Detva, 1999

Fig. 5. Side cross-section of Zápoľná Cave with collection sites for terrestrial and aquatic invertebrates (explanation of symbols as in Fig. 4). Basic map: SK Nicolaus and Speleo Detva, 1999

prítomné v jaskynných vchodoch, zvyčajne tu prečkávajú letné alebo zimné obdobie. Niektoré z prítomných druhov majú afinitu k chladným, vlhkým priestorom. Parietálna fauna sa v jaskyniach, až na niekoľko prípadov, nerozmnožuje. Zaznamenali sme tu prítomnosť 17 druhov lietavého hmyzu s prevažným zastúpením dvojkrídlcov (Diptera). Tie tvorilo spolu 13 druhov z 5 čeľadí (Trichoceridae, Limoniidae, Bolitophilidae, Mycetophilidae, Heleomyzidae), medzi ktorými dominovali *Heleomyza captiosa* (hojný výskyt počas celého leta), *Tarnania dziedzicki* (hojný v júnovom termíne) a *Gymnomus spectabilis* (hojný v jesennom termíne) v zastúpení oboch pohlaví. Cenóza dvojkrídlcov je typická pre letné obdobie a zistené druhy sú známe aj z iných jaskynných lokalít Slovenska (Košel a Martinek, 1989; Košel a Horváth, 1995, 1996) s výnimkou vyššie položených jaskýň v Slovenskom raji a v Belianskych Tatrách (Košel, 1999, 2004), Prekvapujúce je nízke druhové zastúpenie čeľade Mycetophilidae (3 druhy) oproti iným skúmaným lokalitám, napr. 13 druhov sa zistilo v lete vo Vlčej jaskyni v Slovenskom raji (Košel, 1999). Jednotlivo sa vo vstupnej časti jaskyne vyskytli potočníky (Trichoptera) a motýle (Lepidoptera), z týchto skupín sme zaregistrovali po dva druhy (tab. 2). Kvalitatívne bohatšie spoločenstvo parietálnej fauny bolo zaznamenané v jesennom termíne (12 druhov oproti 9 druhom v jarnom-letnom termíne). Päť druhov chrobákov (imága) sa zaznamenalo výlučne vo vstupných častiach jaskyne, chladnejšie podmienky prostredia tu indikuje prítomnosť druhu *Choleva glauca* (Leoididae). Vo vstupných častiach jaskyne sa zdržiavala aj ďalšia fauna, najmä pavúky (Araneae), blanokrídlovce (Hymenoptera) a rovnako-



Obr. 6. Zber fauny zo sintrových jazierok na stanovišti 2. Foto: L. Kováč

Fig. 6. Collecting of fauna from the surface of sinter pools at the plot 2. Photo: L. Kováč

Tab. 2. Prehľad fauny bezstavovcov zistených vizuálnym pozorovaním a priamym zberom (Z), metódou zemných pascí (P) a extrakciou organického materiálu a návnad (EXT) v terestrických mikrohabitatoch jaskyne Zápoľná v rokoch 2014 – 2016. Vysvetlivky: ● troglobiont/stygobiont, * eutroglofil; zistený počet jedincov: + 1, ++ 2 až 10, +++ 11 a viac. Polohu stanovišť pozri v kapitole Materiál a metódy a na obr. 4 a 5

Tab. 2. List of invertebrate taxa recorded by observation and direct collection (Z), pitfall traps (P) and extraction of organic material (EXT) in terrestrial habitats of Zápoľná Cave in 2014 – 2016. Explanations: ● troglobiont/stygobiont, * eutroglophile; number of individuals: + 1, ++ 2 – 10, +++ more than 10. For location of the study sites see chapter “Material a metódy“ and Fig. 4 and 5

Metóda priskumu / Search method	1			2			3			4			5			
	Z	P	EXT	Z	P	EXT	P	EXT	P	EXT	Z	P	EXT	Z	P	EXT
Taxóny / Taxa Mikrohabitat / Microhabitat	súť	pasce	drevo	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	steny	drevo	pasce	drevo	opad	sediment
OLIGOCHAETA																
Enchytraeidae gen. sp.												++				
GASTROPODA									+			++				
ARACHNIDA																
Araneae												++				
Opliones												+				
Acari																
<i>Ixodida - Ixodes sp. juv.</i>																+
<i>Actinedida</i>						+			++			+++				+
<i>Labidostomatidae gen. sp.</i>												+			+	
<i>Rhagidiidae gen. sp.</i>												++				
<i>Mesostigmata (Gamasina)</i>	+		+			++				+		++		+	+	++
<i>Oribatida – kohorta Astigmatina</i>			++			++						+		+	+++	
<i>Anachipteria sp.</i>																
<i>Chamobates sp.</i>																

Poloha nálezu / Finding place	1			2			3			4			5			
	Z	P	EXT	Z	P	EXT	P	EXT	P	EXT	Z	P	EXT	Z	P	EXT
Taxóny / Taxa Mikrohabitat / Microhabitat	sut'	pasce	drevo	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	steny	drevo	pasce	opad	sediment	
<i>Poroliodes</i> sp.													+			
CRUSTACEA																
Isopoda																
<i>Protracheoniscus politus</i> (C. L. Koch, 1841)													+			
DIPLOPODA																
* <i>Allorhiscosoma sphinx</i> (Verhoeff, 1907)	+						+						++			++
<i>Enantulus tauranus</i> (Verhoeff, 1907)													+			
CHILOPODA													++			
HEXAPODA																
Collembola																
* <i>Ceratophysella granulata</i> Stach, 1949							+									+
<i>Desoria tigrina</i>													++			++
● <i>Deuteraphorura kratochvili</i> (Nosek, 1963)				++			+						+			++
<i>Deutonura albella</i> (Stach, 1920)																++
<i>Folsomia penicula</i> Bagnall, 1939																+
<i>Isotoma viridis</i> Bourlet, 1839																++
<i>Kalaphorura carpenteri</i> (Stach, 1920)					+										+	
<i>Lepidocyrtus lignorum</i> (Fabricius, 1775)													++			++
<i>Morulina verrucosa</i> (Bömer, 1903)													++		+	
<i>Neanura</i> sp.													++			

Poloha nálezu / Finding place	1			2			3			4			5			
	Z	P	EXT	Z	P	EXT	P	EXT	drevo	pasce	drevo	P	EXT	drevo	pasce	EXT
Metóda prieskumu / Search method	suť															
Taxóny / Taxa Mikrohabitat / Microhabitat																
* <i>Plutomurus carpathicus</i> Rusek et Weiner, 1978															++	++
<i>Pogonognathellus flavescens</i> (Tullberg, 1871)		++													+++	++
* <i>Protaphorura armata</i> (Tullberg, 1869)						+									+	
<i>Protaphorura aurantiaca</i> (Ridley, 1880)																+++
● <i>Pseudosinella pacliti</i> Rusek, 1961	+++			++										+	++	
<i>Pygmarhopalites principalis</i> (Stach, 1945)														+	++	
<i>Pygmarhopalites pseudoappendices</i> Rusek, 1967																++
* <i>Pygmarhopalites pygmaeus</i> (Wankel, 1860)															+	
<i>Tetradontophora bielaniensis</i> (Waga, 1842)					++					++				++	+++	++
<i>Thaumanura</i> sp.																++
Sternorrhyncha																
Aphidinea															++	
Hymenoptera		++									+				+++	
Coleoptera																
<i>Cantharis pellucida</i> Fabricius, 1792															++	
<i>Carabus coriaceus rugifer</i> Kraatz, 1877															++	
* <i>Choleva glauca</i> Britten, 1918															+	
<i>Metcantharis discoidea</i> (Ahrens, 1812)															+	
<i>Otiorhynchus perdix</i> (Olivier, 1807)															++	
larvy Coleoptera						+									++	

Poloha nálezu / Finding place	1			2			3			4			5			
	Z	P	EXT	Z	P	EXT	P	EXT	P	EXT	Z	stény	drevo	P	EXT	
Metóda prískumu / Search method																
Taxóny / Taxa	sut'	pasce	drevo	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo						
Diptera																
<i>Bolitophila cinerea</i> Meigen, 1818											++					
<i>Bolitophila hybrida</i> (Meigen, 1804)											++					
* <i>Bradyzia foeniculata</i> (Bezzi, 1914)		++			++		+							++		
<i>Exechiopsis magnicauda</i> (Lundstrom, 1911)											+					
<i>Gymnomus amplicornis</i> (Czerny, 1924)											+					
<i>Gymnomus caesioides</i> (Meigen, 1830)											++					
<i>Gymnomus spectabilis</i> (Loew, 1862)											+++					
<i>Heleomyza capitosa</i> (Gorodkov, 1962)											+++			++		
<i>Heleomyza modesta</i> (Meigen, 1835)											++			+		
<i>Limonia nubeculosa</i> Meigen, 1804											++					
<i>Scolioecentra brachypterna</i> (Loew, 1873)											++					
Sphaeroceridae gen. sp.														++		
<i>Tarnania dziedzicki</i> (Edwards, 1941)											+++			+		
<i>Tarnania fenestralis</i> (Meigen, 1838)											+++					
* <i>Trichocera maculipennis</i> Meigen, 1818					+											
<i>Trichocera regelationis</i> (Linnaeus, 1758)							++				++			++		
larvy Diptera - Phoridae gen. sp.															++	
larvy Diptera - Trichoceridae gen. sp.														++		
Trichoptera																

Poloha nálezu / Finding place	1			2			3		4		5		
	Z	P	EXT	Z	P	EXT	P	EXT	P	EXT	Z	P	EXT
Metóda prieskumu / Search method	suť	pasce	drevo	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	pasce	drevo	steny	pasce	opad sediment
Taxóny / Taxa													
Mikrohabitat / Microhabitat													
<i>Micropterna testacea</i> (Gmelin, 1789)											+		
<i>Stenophylax permistus</i> McLachlan, 1895											+		
Lepidoptera													
<i>Hypena rostralis</i> (Linnaeus, 1758)											+		
<i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus, 1758)											++		
Celkový počet taxónov / Total number of taxa		7		12		4		17				63	

nôžky (Isopoda). Roztoče (Acari) boli v týchto priestoroch najhojnejšie, v prípade panciernikov (Oribatida) išlo o povrchové formy. Zaujímavé nálezy môže priniesť analýza roztočov skupiny Mesostigmata a čeľade Rhagidiidae zo skupiny Prostigmata, z ktorých sú známe druhy s úzkou väzbou na jaskynné prostredie. Pozornosť si zaslúži prítomnosť chladnomilnej mnohonôžky *Enantiulus tatranus*. Mnohonôžka *Allorhiscosoma sphinx*, troglofilný endemický druh Západných Karpát, bola odchytená v častiach jaskyne, ktoré sú najbližšie k povrchovému prostrediu (stanovišťa 1, 4 a 5).

Vnútorne priestory jaskyne ďalej od vchodu mali chudobne zastúpenú suchozemskú makrofaunu. V zemných pasciach, s výnimkou stanovišťa 5, mali miernu kvalitatívnu i kvantitatívnu prevahu dvojkridlovce (Diptera), zachytili sme v nich celkovo 8 druhov, z toho 3 druhy aj hlbšie v jaskyni: *Bradysia forficulata*, *Trichocera maculipennis* a *T. regelationis*, pričom druhý zo zástupcov rodu *Trichocera* vysoko dominoval. Tieto druhy v jaskyni žijú trvalo a tu sa aj rozmnožujú. Larvy sa vyvíjajú na rôznom organickom substráte. Priamym zberom sme v hlbších častiach jaskyne zachytili hlavne chvostoskoky (Collembola). Dominovali troglobiontné druhy *Deuteraphorura kratochvili* (obr. 7) a *Pseudosinella paclti*, považované za charakteristické druhy jaskýň centrálnych krasových území Západných Karpát (Kováč et al., 2016), a eutroglofilný *Pygmarrhopalites pygmaeus*, ktorý sa vyskytuje v jaskyniach aj mimo hraníc Západných Karpát (Kováč et al., 2014). Materiál chvostoskokov odchytených metódou zemných pascí bol kvantitatívne aj kvalitatívne chudobný. Vyššia aktivita sa zaznamenala iba v blízkosti vchodu (stanovište 5), kde okrem troglofilných druhov boli prítomné aj troglobionty *D. kratochvili* a *P. paclti*, čo naznačuje relatívne vhodné a vyrovnané mikroklimatické podmienky aj vo vstupnej časti jaskyne. Ďalším zaujímavým zistením je frekventovaný a zároveň hojnejší výskyt druhu *Tetradontophora bielaniensis* nielen vo vstupných, ale i hlbších častiach jaskyne. Zemné pasce a priamy zber sa ukázali málo účinnými metódami aj na zber roztočov

Tab. 3. Prehľad fauny bezstavovcov zistených vo vodných mikrohabitatoch jaskyne Zápoľná na základe odchyty z vodného telesa a z vodnej hladiny v rokoch 2014 – 2016. Vysvetlivky: ● troglobiont/stygobiont, * eutroglofil; zistený počet jedincov: + 1, ++ 2 až 10, +++ 11 a viac. Polohu stanovišť pozri v kapitole Materiál a metódy a na obr. 4 a 5

Tab. 3. List of invertebrate taxa recorded by direct collection from water bodies and their water level surface in the Zápoľná Cave in 2014 – 2016. Explanations: ● troglobite/stygobite, * eutroglophile; number of individuals: + 1, ++ 2 – 10, +++ more than 10. For location of the study sites see chapter “Materiál a metódy“ and Fig. 4 and 5

Poloha nálezu / Finding place	A	B	C	D	E
Taxóny / Taxa Mikrohabitat / Microhabitat	drobné mláčky	vodný sifón	jazierka	veľké jazero	občasný sifón
ROTIFERA		++			
ARACHNIDA					
Acari					
Acaridida			++		
Actinedida – fam. Rhagidiidae			+		
Mesostigmata (Gamasina)			+		
Palpigradi					
● <i>Eukoenia spelaea</i> (Peyerimhoff, 1902)			++		
CRUSTACEA					
Syncarida – Bathynellacea					
● <i>Bathynella natans</i> (Vejdovský, 1882)		+			
Amphipoda					
● <i>Niphargus</i> sp.		+			
HEXAPODA					
Collembola					
● <i>Deuteraphorura kratochvili</i> (Nosek, 1963)	++	++	++	++	++
* <i>Protaphorura armata</i> (Tullberg, 1869)	+		+		
● <i>Pseudosinella pactli</i> Rusek, 1961	++	++	+++		
* <i>Pygmarrhopalites pygmaeus</i> (Wankel, 1860)	++	+	+++		
* <i>Oncopodura reyersdorfensis</i> (Stach, 1936)	+	++			
Celkový počet taxónov Total number of taxa	5	7	8	1	1

(Acari). Vo vyššom počte boli takto získané len roztoče v blízkosti vchodu. V hlbších častiach jaskyne bola účinnejšia extrakcia návnad z organického materiálu (stanovišťa v Hornej chodbe), pomocou ktorých sa zachytili najmä roztoče skupiny Mesostigmata a pancierniky kohorty Astigmatina.

Z hydrobiologického hľadiska sú mimoriadne zaujímavé vodné sifóny a jazierka, ktorých poloha kopíruje najspodnejšiu jaskynnú úroveň (obr. 5). Najvýznamnejšie nálezy pravej akvatickej fauny pochádzajú z vodného sifónu lokalizovaného na najnižšom mieste hlavného koridoru jaskyne (odberné miesto B). Predstavuje ho jazierko vyplňajúce nízku a šikmo dole sa zvažujúcu chodbu (obr. 8). Podľa našich meraní teplota vody v sifóne dosahovala 6,6 – 6,7 °C, čo indikuje veľmi stabilné teplotné pomery, no



Obr. 7. Chvostoskok *Deuteraphorura kratochvili* (Collembola), dĺžka tela 1,5 mm. Foto: Z. Višňovská

Fig. 7. Springtail *Deuteraphorura kratochvili* (Collembola), body size 1.5 mm. Photo: Z. Višňovská



Obr. 8. Odchyt fauny z vodného sífónu na stanovišti B. Foto: Z. Višňovská

Fig. 8. Collecting of fauna from water siphon at the plot B. Photo: Z. Višňovská



Obr. 9. Hlbinovka *Bathynella natans* (Syncarida), dĺžka tela 1,5 mm. Foto: Z. Višňovská

Fig. 9. Syncarid *Bathynella natans* (Syncarida), body size 1.5 mm. Photo: Z. Višňovská



Obr. 10. Šťúrovka *Eukoenia spelaea* (Palpigradi) na hladine sintrového jazierka, dĺžka tela 1,5 mm. Foto: Ľ. Kováč a P. Ľuptáčík

Fig. 10. Palpigrade *Eukoenia spelaea* (Palpigradi) on the surface of sinter pool, body size 1.5 mm. Photo: Ľ. Kováč and P. Ľuptáčík

v prípade výšky vodnej hladiny sme pozorovali značné výkyvy. Haviarová (2017) na základe kontinuálnych meraní vôd tohto sífónu uvádza sezónne kolísanie hladiny vody o viac ako 2 metre. Pravú akvatickú faunu tu reprezentovali dva taxóny stygobiontných kôrovcov (Crustacea). Výskyt podzemných krivákov rodu *Niphargus* (Amphipoda) dokladá dosiaľ odchytený jeden juvenilný exemplár drobných rozmerov (cca 2 mm). Pre neúplnosť determináčnych znakov ho nemožno bližšie identifikovať (I. Hudec, in litt.). Hlbinovky reprezentuje druh *Bathynella natans* (Bathynellacea, obr. 9), typický zástupca mikrofauny freatických a intersticiálnych poriečnych vôd, lokálne i vôd epikrasu, odkiaľ sekundárne preniká do jaskynných vodných biotopov (Brtek, 1994; Culver a Pipan, 2009; Višňovská a Papáč, 2010). V širšom regióne je výskyt tohto druhu známy vo viacerých krasových jaskyniach v Nízkyh Tatrách a Tatrách (Kováč et al., 2008, 2015;

Višňovská a Papáč, 2010; Papáč et al., 2015). V rámci Važeckého krasu Kozích chrbtov boli nálezy nifargusov a hlbínoviek doteraz známe len z okolia Važeckej jaskyne, vzdialenej vzdušnou čiarou cca 8 km od jaskyne Zápoľná. V miestnej vyvierajúcej podzemnej toku pri pomínanej jaskyni sa zistil druh *Niphargus tatrensis* (Mock et al., 2002, 2004), v prípade *B. natans* išlo o nález priamo v jaskynnom jazierku (Kováč et al., 2015). Zdá sa, že pôvod hlbínoviek a nifargusov vo vodách Zápoľnej súvisí viac s freatickými podzemnými vodami, ako s hyporeálom povrchového toku Čierneho Váhu. Podľa najnovších geologických a geomorfologických poznatkov (Bella a Holúbek, 2002; Littva et al., 2017) je jaskyňa typickým príkladom formovania sa prevažne vo freatickom prostredí pomaly cirkulujúcou vodou, bez zjavného súvisu s povrchovým tokom. Vyrovnané teplotné pomery vôd v jaskynných sífónoch naznačujú, že ich prípadná komunikácia s vodami Čierneho Váhu aj v súčasnosti prebieha len pozvoľna alebo dostatočne ďaleko od vlastných sífónov (Haviarová, 2017). V tom istom sífóne ako oba kôrovce (odberné miesto B) boli odchytené aj dva jedince dosiaľ bližšie neurčeného zástupcu vírnikov (Rotifera), ide o vodné bezstavovce mikroskopických rozmerov (0,5 mm), ktoré sú predmetom ďalšieho štúdia.

Na povrchu hladiny jazierok sme zaznamenali početnejšiu skupinu primárne terestrických druhov, niektoré z nich tvoria súčasť epineustónu, t. j. spoločenstva organizmov trvalejšie obývajúcich povrchovú blanku vodnej hladiny. Priamym zberom sme tu zachytili 5 druhov chvostokokov (Collembola), pričom podobne ako v terestrických mikrohabitatoch dominovali troglobionty *Deuteraphorura kratochvili* a *Pseudosinella pachti*, môžeme ich teda považovať za charakteristické druhy tejto jaskyne. Na hladine plytkých sintrových jazierok na začiatku Hornej chodby (odberné stanovište C) sme zaznamenali relatívne početné mikropopulácie eutroglofila *Pygmarrhopalites pygmaeus* a vzácného jaskynného pavúkovca, šťúrovky *Eukoenia spelaea* (Palpigradi, obr. 10), jednotlivo aj roztoče (Acari). Jaskyňa Zápoľná predstavuje jednu z mála jaskynných lokalít na Slovensku s výskytom početnejšej populácie šťúroviek, podobne ako blízka Važecká jaskyňa. Zaujímavosťou je aj koncentrovaný výskyt eutroglofilného chvostokoka *Oncopodura reyersdorfensis* na hladine jazierok vo vysokej sieni so sífónom a jej prilahlých chodbách (odberné miesta A a B).

ZÁVER

Z hľadiska dostupnosti organického materiálu ako potravnjej bázy pre jaskynnú faunu sa jaskyňa Zápoľná radí k oligotrofným jaskyniam. Až do svojho náhodného objavenia v 40. rokoch 20. storočia predstavovala viac-menej izolovaný podzemný systém bez priameho kontaktu s vonkajším prostredím. V súčasnosti jediný, umelo prerazený vstupný otvor je opatrený plným kovovým uzáverom. Dlhodobou je tak na lokalite vylúčená možnosť výskytu netopierov, resp. iných cicavcov (napr. kuny), v dôsledku čoho tu absentujú ich ekskrementy. Pre mnohé bezstavovce (napr. pre saprofágne roztoče pancierniky) je práve guáno netopierov dôležitým potravným a energeticky bohatým substrátom (Culver a Pipan, 2009). Limitovanú ponuku potravných zdrojov považujeme za jednu z hlavných príčin nízkej diverzity aj kvantitivy jaskynných bezstavovcov zaregistrovaných v skúmanej jaskyni.

Jaskyňa Zápoľná sa druhovým spektrom fauny bezstavovcov neodlišuje od okolitých jaskýň Kozích chrbtov (Važecká jaskyňa, jaskyňa Brada) alebo od jaskýň Malužinského a Demänovského krasu Nízkych Tatier (Mock et al., 2002, 2004; Kováč a Višňovská in Bella et al., 2014; Papáč et al., 2015). V jaskyni bola zaznamenaná prítomnosť via-

cerých druhov reliktnéj fauny, z chvostoskokov to boli *Deuteraphorura kratochvili* a *Pseudosinella pactli*, ktoré možno považovať za charakteristické druhy tejto lokality. Jaskyňa Zápoľná je popri Važeckej jaskyni ďalšou lokalitou v Kozích chrbtoch, kde sa potvrdil výskyt početnejšej populácie vzácneho pavúkovca – štúrovky *Eukoenia spelaea*. Na výskyt vodnej fauny sa ako najzaujímavejšie mikrohabitaty ukázali vodné sífóny v najspodnejších partiách jaskyne. Reprezentujú ju stygobiontné kôrovce *Bathynella natans* a *Niphargus* sp. (Crustacea) a ďalšia zaujímavá, dosiaľ taxonomicky neidentifikovaná forma vírnika (Rotifera). Celková skladba spoločenstva fauny s vyšším podielom pravých jaskynných, resp. eutroglofilných foriem indikuje unikátne podzemné prostredie v rámci Važeckého krasu. Jaskyňa Zápoľná je príkladom dosiaľ nenarušeného, resp. málo narušeného podzemného biotopu bez výraznejších antropogénnych vplyvov, na rozdiel od Važeckej jaskyne, ktorá je síce na faunu bohatšia, ale po sprístupnení verejnosti neporovnateľne viac atakovaná antropickou činnosťou.

Poďakovanie: Výskum bol realizovaný v rámci projektu Štrukturálnych fondov EÚ „Vypracovanie programov starostlivosti o vybrané jaskyne“, ITMS kód projektu 24150120046, spolufinancovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci Operačného programu Životné prostredie. Autori ďakujú prof. RNDr. Igorovi Hudecovi, CSc. za determináciu hľbinoviek (Bathynellacea), Mgr. Tomášovi Jászayovi, PhD. zo Šarišského múzea v Bardejove za determináciu chrobákov (Coleoptera) a doc. RNDr. Lubomírovi Panigajovi, CSc. z Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach za identifikáciu motýľov (Lepidoptera). Za pomoc pri terénnom výskume v jaskyni patrí vďaka Ing. Petrovi Holúbekovi zo Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši.

LITERATÚRA

- Bella, P., Haviarová, D., Kováč, E., Lalkovič, M., Sabol, M., Soják, M., Struhár, V., Višňovská, Z., Zelinka, J. 2014. Jaskyne Demänovskej doliny. *Speleologia Slovaca*, 4, Liptovský Mikuláš, 200 s.
- Bella, P., Hlaváčová, I., Holúbek, P. 2007. Zoznam jaskýň Slovenskej republiky (stav k 30. 6. 2007). SMOpaJ – SSJ – SSS, Liptovský Mikuláš, 364 s.
- Bella, P., Holúbek, P. 2002. Základné morfológické a genetické znaky jaskyne Zápoľná v doline Čierneho Váhu (Kozie chrbty). *Slovenský kras*, 40, 31–40.
- Brtek, J. 1994. Výskyt druhov radu Bathynellacea (Malacostraca) na Slovensku. Zborník Slovenského národného múzea, Prírodné vedy, 40, 195–199.
- Culver, D. C., Pipan, T. 2009. The biology of caves and other subterranean habitats. Oxford University Press, New York, 254 s.
- Droppa, A. 1962. Speleologický výskum Važeckého krasu. *Geografický časopis*, Bratislava, 14, 4, 264–293.
- Haviarová, D. 2017. Chemické zloženie a kvalita vôd jaskyne Zápoľná (Kozie chrbty). *Slovenský kras*, 55, 1, 61–80.
- Hochmuth, Z. 2008. Krasové územia a jaskyne Slovenska. *Geographia Cassoviensis*, 2, 2, 1–210.
- Holúbek, P. 1998. Objavy v zabudnutej lokalite Zápoľná. *Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti*, 29, 3, 10–15.
- Holúbek, P., Král, I. 2001. Čo nového v Zápoľnej? *Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti*, 32, 2, 24–27.
- Košel, V. 1976. Fauna Medvedej jaskyne v Slovenskom raji (Západné Karpaty). *Slovenský kras*, 14, 105–113.
- Košel, V. 1996. Podzemné biotopy. In Ružičková, H. – Halada, L. – Jedlička, L. – Kalivodová, E. (Eds.): *Biotopy Slovenska – príručka k mapovaniu a katalóg biotopov*. Ústav krajinej ekológie SAV, Bratislava, 133–135.
- Košel, V. 1999. Summer and winter parietal Nematocera (Diptera) in cave in the Slovakian Carpathians. In Jedlička, L. (Ed.): *Dipterologica bohemoslovaca*, 9. Slovak entomological Society, Bratislava, 97–101.

- Košel, V. 2004. Parietal Diptera in caves of the Belianske Tatry Mts (Slovakia, Western Carpathians) I. Introduction and species spectrum. In Bitušík, P. (Ed): Dipterologica bohemoslovaca, 12. Technical University in Zvolen, 69–73.
- Košel, V. 2009. Subteránna fauna Západných Karpát. Ústav pôdnej biológie, BC AVČR, České Budějovice, 203 s.
- Košel, V. 2012. Subterranean fauna of the Western Carpathians. Tribun EU, Brno, 209 s.
- Košel, V., Horváth, M. 1995. Spatial and temporal distribution of family Limoniidae (Insecta, Diptera) in a cave of the Western Carpathians (Slovakia). Dipterologica bohemoslovaca 7, 97–109.
- Košel, V., Horváth, M. 1996. Temporal and spatial dynamics of Nematocera (Insecta, Diptera) in a cave of the Western Carpathians (Slovakia). Acta zoologica Universitatis Comenianae 40, 75–114.
- Košel, V., Martinek, V. 1989. Summer synusie and distribution of the family Heleomyzidae (Insecta, Diptera) in a cave in the Western Carpathians. In Kósa, A. (Ed.): International Congress of Speleology, Preceedings, Budapest, I, 280–283.
- Kováč, L., Elhottová, D., Mock, A., Nováková, A., Krišťúfek, V., Chroňáková, A., Lukešová, A., Mulec, J., Košel, V., Papáč, V., Luptáčik, P., Uhrin, M., Višňovská, Z., Hudec, I., Gaál, L., Bella, P. 2014. The cave biota of Slovakia. Speleologia Slovaca 5, State Nature Conservancy of Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Liptovský Mikuláš, 191 s.
- Kováč, L., Mock, A., Luptáčik, P., Parimuchová, A., Hudec, I. 2015. Výskum spoločností bezstavovcov v piatich jaskyniach Slovenska. Odborná správa z výskumu. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Košice, 1–50.
- Kováč, L., Mock, A., Višňovská, Z., Luptáčik, P. 2008. Spoločnosť fauny Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 46, 97–110.
- Kováč, L., Parimuchová, A., Miklisová, D. 2016. Distributional patterns of cave Collembola (Hexapoda) in association with habitat conditions, geography and subterranean refugia in the Western Carpathians. Biological Journal of the Linnean Society, 119, 571–592.
- Lapin, M., Faško, P., Melo, M., Šťastný, P., Tomlain, J. 2002. Klimatické oblasti. In Atlas krajiny Slovenskej republiky, IV. Prvotná krajinná štruktúra, mapa č. 27 (1 : 1 000 000.), s. 95. Bratislava – Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica – Slovenská agentúra životného prostredia.
- Littva, J., Bella, P., Gaál, L., Holúbek, P., Hók, J. 2017. Extraordinary geology and fault-controlled phreatic origin of the Zápoľná Cave (Kozie chrbty Mountains, Slovakia). Acta Geologica Slovaca, 9, 1, 25–34.
- Mock, A., Kováč, L., Luptáčik, P., Košel, V., Hudec, I., Fend'a, P. 2002. Bezstavovce Važeckej jaskyne a vyvierajúce Teplica (Kozie chrbty). Aragonit, 7, 30–32.
- Mock, A., Kováč, L., Luptáčik, P., Mlejnek, R., Višňovská, Z., Košel, V., Fend'a, P. 2004. Kavernikolné článkonožce (Arthropoda) Važeckého krasu. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, 4. vedecká konferencia, zborník referátov (Tále, 5. – 8. 10. 2003), Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 145–151.
- Papáč, V., Kováč, L. 2013. Four new troglobiotic species of the genus *Megalothorax* Willem, 1900 (Collembola: Neelipleona) from the Carpathian Mountains (Slovakia, Romania). Zootaxa 3737, 5, 545–575.
- Papáč, V., Višňovská, Z., Gresch, A. 2015. Poznatky o výskyte bezstavovcov a netopierov v Malužinskej jaskyni (Nízke Tatry). Aragonit, 20, 2, 107–113.
- Tencer, J. 2017. Tabuľka najdlhších jaskýň na Slovensku – stav k 1. 3. 2017. Spravodaj Slovenskej speleologickej spoločnosti, 48, 1, 88.
- Višňovská, Z., Papáč, V. 2010. Fauna vodných biotopov Belianskej jaskyne. Slovenský kras, 48, 1, 59–82.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	221 – 242	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

DETERMINOVANIE MIKROBIOTY MÄKKÉHO SINTRA JASKYNE SOKOLOVÁ V JÁNSKEJ DOLINE (NÍZKE TATRY)

MILAN SEMAN¹ – BARBORA GAÁLOVÁ² – AGÁTA DRŠKOVÁ³
– MARTIN KRSEK⁴ – RENÁTA FLAKOVÁ⁵

¹ Univerzita sv. Cyrila a Metoda, Námestie J. Herdu 2, 917 01 Trnava, Slovenská republika; seman.mikro@gmail.com

² Katedra mikrobiológie a virológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, Slovenská republika; gaalova@fns.uniba.sk

³ Diagnostické centrum DNK, Brestová 14, 821 02 Bratislava, Slovenská republika; agata.drskova@gmail.com

⁴ Ústav experimentálnej biológie, Prírodovedecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, Česká republika; krsek@med.muni.cz

⁵ Katedra hydrogeológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4, Slovenská republika; rflakova@fns.uniba.sk

M. Seman, B. Gaálová, A. Dršková, M. Krsek, R. Flaková: Moonmilk microbiota determination of Sokolová Cave in Jánska dolina Valley, the Low Tatras, Slovakia

Abstract: Moonmilk occurs in several cave environments, most frequently in mountain caves with low temperatures (below 7 °C), but it is also found in caves of temperate, subtropical and tropical regions with relatively high temperatures. It has a microcrystalline structure composed of carbonate minerals, needle fibre calcite with relatively high water content (40 – 80 %). It hosts a wide range of microbiota, but their role in moonmilk formation is disputable. Moonmilk microbiota in the territory of Slovakia was determined in the selected locality of Sokolová cave in Jánska dolina Valley (the Low Tatras). Three seasonal sampling at five samplings sites were performed. The maximum microbial counts reached 10⁵ cells per gram of the sample; the counts of culturable microbiota were three or two times lower. We assume representatives of all three domains of organisms in moonmilk samples. However, we have studied the bacterial part of microbiota. Various groups of culturable bacteria were detected. The most numerous were actinobacteria (abundance about 10³), then non-fermenting bacteria, and enterobacteria (abundance about 10²). Gram-positive cocci were not found. Bacterial taxa, most commonly found in the samples were: *Pseudomonas* sp., *Edwardsiella* sp., and *Arthrobacter antarcticus*.

Key words: caves, moonmilk, microbiota, bacterial biota of the moonmilk

ÚVOD

Jánska dolina na severnej strane Nízkych Tatier je jedna z najstarších prírodných rezervácií na Slovensku a zároveň jedna z najdlhších dolín Nízkych Tatier (15 km). Vy-modelovala ju riečka Štiavnica. Začína sa v kúpeľnej obci Liptovský Ján a končí sa pod masívom Ďumbiera. Predstavuje pozoruhodné krasové územie s rozsiahlymi jaskynnými systémami.

V Jánskej doline je v súčasnosti evidovaných viac ako 160 jaskýň. K najznámejším patria 3 stanišovské jaskyne (Veľká, Malá a Nová), ďalej Jaskyňa zlomisk, Hlbokô, Partizánska a Medvedia jaskyňa. Patrí k nim aj jaskyňa Sokolová v blízkosti vápencového

masívu Ohnište, ktorá sa vyznačuje najmä výskytom mäkkého sintra. Stropy, bočné steny a dokonca aj podlahy sú miestami pokryté jeho hrubými vrstvami. Táto skutočnosť bola hlavným motívom pre výber tejto jaskyne ako modelovej lokality na mikrobiologický výskum mäkkého sintra.

Mäkký sinter, niekedy aj plastický sinter (angl. *moonmilk*, česky *nickamínek*) je zvláštny a pomerne nápadný typ jaskynnej výplne. Z morfológického hľadiska predstavuje kašovitú, plastickú hmotu bielej alebo žltkastej farby, ktorá pokrýva steny, stropy, sinterové útvary a zriedkavejšie aj podlahu jaskýň. Vyskytuje sa vo viacerých jaskynných prostrediach, najčastejšie v horských podzemných chodbách s nízkou teplotou (zhruba pod 7 °C), ale často sa nachádza aj v jaskyniach mierneho, subtropického a tropického pásma s pomerne vysokými teplotami (Žák a kol., 2006). Jeho primárnymi vlastnosťami sú mikrokryštalická štruktúra a relatívne vysoký obsah vody (40 – 80 %). Po vyschnutí stráca svoju plasticitu a mení sa na drobnú hmotu. Dehydratovaný mäkký sinter je ľahký, pórovitý a kriedovo drobný. Z hľadiska minerálneho zloženia je mäkký sinter veľmi variabilný. Vo vápencových jaskyniach je tvorený najmä kalcitom (CaCO_3 , trigonálna sústava), ale môže byť tvorený aj inými karbonátmi, ako aragonit (CaCO_3 , rombická sústava), vaterit (CaCO_3 , hexagonálna sústava), monohydrokalcit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), huntit [$\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$], magnezit (MgCO_3), hydromagnezit [$\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$], nesquehonit ($\text{MgCO}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$). Mäkký sinter môže v menšej miere obsahovať aj sírany, fosforečnany a kremičitany (Onac, 1995; Gradziński a kol., 1997; Hill a Forti, 1997).

Pre jeho potenciál v oblasti lekárstva bol objektom skúmania už v 16. storočí. Problematikou lekárskeho využitia mäkkého sintra sa v minulosti prvýkrát pravdepodobne zaoberal Gessner v roku 1555. V minulosti ľudia verili, že má liečivé účinky, a preto predstavoval významný doplnok v liečiteľstve. Mäkký sinter sa exportoval po celom Uhorsku ako horské mlieko pod názvom *nihilum album* (Žák a kol., 2006). S rozvojom mikrobiológie sa zistilo, že najmä produkty mikroorganizmov nachádzajúce sa v ňom majú naozaj liečivé účinky.

Aj napriek tomu, že v súčasnosti je k dispozícii bohatá literatúra zaoberajúca sa problematikou mäkkého sintra z rôznych uhlov pohľadu, jeho genéza stále zostáva nezodpovedanou otázkou. V princípe však existujú dva pohľady na formovanie mäkkého sintra, pričom každý má svojich stúpcov a odporcov. Podľa prvej hypotézy jeho genéza má biotický charakter a je teda spojená s činnosťou mikroorganizmov (Forti, 2001; Cañaveras a kol., 2006). Presný mechanizmus pôsobenia mikroorganizmov nie je známy, ale predpokladá sa, že je to buď priama precipitácia kalcitu ich metabolickou činnosťou, alebo formovanie nukleačného povrchu, na ktorom sa minerály vyzrážajú (Northup a Lavoie, 2001). Vznik mäkkého sintra môže byť podľa druhej hypotézy aj naopak abiotický, ako geochemický proces (Hill a Forti, 1997; Borsato a kol., 2000). M. Gradziński a kol. (1997) takisto pripisuje určitú úlohu mikroorganizmom pri vzniku mäkkého sintra.

Prezentovaná práca je pilotnou štúdiou o mikrobiálnej diverzite mäkkého sintra v modelovom systéme jaskyne Sokolová. Cieľom práce bola analýza kvantitatívneho a kvalitatívneho mikrobiálneho profilu mäkkého sintra tejto jaskyne s využitím dostupných metód tak kultivačne závislých (konvenčných), ako aj kultivačne nezávislých (molekulárnych).

MIKROBIOTA MÄKKÉHO SINTRA

Problematikou mikrobiálnej analýzy mäkkých sintrov sa v zahraničí zaoberalo viacero autorov. Bola zistená prítomnosť mikroorganizmov zo všetkých troch domén organizmov: Archaea, Bacteria, Eucarya (Rooney a kol., 2010; Maciejewska a kol., 2016;

Reitschuler a kol., 2016). Najčastejšie izolovanými sú filamentujúce baktérie zo skupiny Actinobacteria a mikromycéty, pri ktorých sa predovšetkým predpokladá účasť na formovaní mäkkého sintra (Cañaveras a kol., 2006; Bindschedler a kol., 2014). Okrem týchto baktérií viaceré štúdie potvrdzujú prítomnosť fylogenetických kmeňov Proteobacteria (najmä tried Alfaproteobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria), Firmicutes, Verrucomicrobia, Chlorobi, Nitrospirae, Acidobacteria, Chloroflexi, Bacteroidetes (Van de Kamp a kol., 2004; Portillo a Gonzales, 2011; Engel a kol., 2013). Komparatívnu analýzou autori Engel a kol. (2013) potvrdili blízkosť príbuznosť sekvencií génov mikroorganizmov izolovaných z mäkkého sintra s mikroorganizmami žijúcimi v pôde a vo vode v blízkosti jaskyne, na rozdiel od sekvencií mikroorganizmov dostupných vo verejných databázach. Tieto podobnosti poskytujú jedinečný pohľad na mikrobiálnu diverzitu mäkkého sintra, pretože mäkký sinter predstavuje potenciálne nový habitat v krasovom prostredí, vyznačujúci sa dominanciou určitých skupín mikroorganizmov.

Mäkké sintre v jaskyniach Slovenska, sa na rozdiel od viacerých zahraničných, z hľadiska zastúpenia mikroorganizmov dosiaľ neskúmali. Seman a kol. (2009) vo svojej prvej práci tohto druhu na našom území ukázali bohatý výskyt psychrofilných baktérií a mikroskopických húb v mäkkom sintri vo vybraných jaskyniach Slovenska. Z baktérií išlo o gramnegatívne nefermentujúce tyčinky, patriace do fylogenetického kmeňa Proteobacteria, triedy Gammaproteobacteria a čeľade *Pseudomonadaceae*.

Metódy stanovenia mikrobioty mäkkého sintra

V prirodzenom prostredí existuje vysoká diverzita mikrobiálnych spoločenstiev. Posledné desaťročia sa venuje zvýšená pozornosť výskumu mikrobiálnej diverzity extrémnych biotopov, ku ktorým možno zaradiť aj prostredie jaskýň. Stúpajúca tendencia tohto záujmu sa vzťahuje predovšetkým na štruktúru a diverzitu mikrobiálnych populácií, na ich interakcie s prostredím, zaujímavé fyziologické vlastnosti, ktorými tieto mikroorganizmy disponujú a na ich potenciálne biotechnologické využitie (Pronk a kol., 2009).

Pri mikrobiologickom štúdiu je nevýhodou nemožnosť získania komplexného obrazu o mikrobiote daného habitatu zo vzorky, pretože v laboratóriách nedokážeme nastaviť optimálne podmienky pre rast väčšiny mikroorganizmov v nej prítomných. Tradičné kultivačné techniky nie sú schopné odhaliť niekedy až 90 – 99 % z celkového počtu tam existujúcich mikroorganizmov. Z tohto dôvodu boli vyvinuté rôzne techniky, ktoré sú od kultivačných metód nezávislé a poskytujú celkový obraz o biodiverzite mikroorganizmov prítomných v danej vzorke (Hugenholtz, 2002).

Klasické metódy štúdia mäkkého sintra

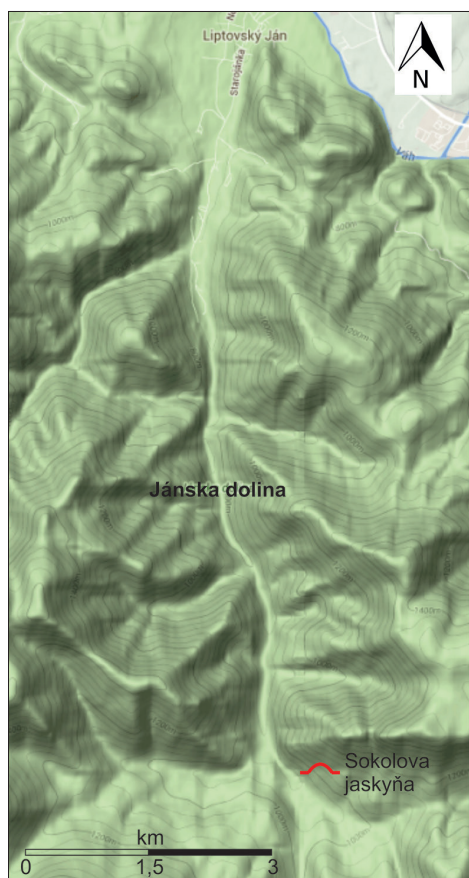
Klasické techniky analýzy mikroorganizmov sú založené predovšetkým na kultivačných metódach. Tieto metódy sú nevyhnutné na získanie čistých viabilných kultúr, ktoré poskytujú informácie o biochemickom, metabolickom a fyziologickom potenciáli jednotlivých izolátov, s pochopením genetických a ekologických súvislostí. Kultúry možno vhodným spôsobom konzervovať, teda dlhodobo uchovávať, a tak kedykoľvek znova použiť na štúdium. Štandardné kultivačné techniky vyžadujú izoláciu a charakterizáciu mikroorganizmov, pri ktorých sa využíva široká paleta rastových médií. Vzorky mäkkého sintra je možné očkovať priamym výsevom na príslušné kultivačné médiá (Olstadt a kol., 2007).

Ku klasickým mikrobiologickým metódam štúdia a analýzy mikroorganizmov patrí aj mikroskopické stanovenie celkových počtov (teda kultivovateľných aj nekultivovateľných) mikroorganizmov. Najviac preukaznou je fluorescenčná mikroskopia, v ktorej sa

používa značenie buniek citlivými farbivami, napríklad DAPI (4',6-diamidino-2-feny-lindol). Táto fluorescenčná farbička sa špecificky viaže hlavne s A-T (adenozín-tymín) komplexmi dvojvláknovej DNA (nukleová kyselina). Farbička DAPI zafarbí každú molekulu DNA, preto nerozlišuje živé bunky od mŕtvych. Bunky v mikroskope pod UV svetlom modro fluoreskujú oproti nepriehľadnému podkladu. Fluorescenčná mikroskopická metóda na princípe väzby fluorochrómu DAPI na nukleové kyseliny je vhodnou technikou na stanovenie celkových počtov mikroorganizmov zo vzoriek mäkkého sintra (Gough a Stahl, 2003).

Molekulárnobiologické metódy štúdia mäkkého sintra

Okrem tradičných metód výskumu diverzity a štruktúry mikrobiálnych spoločenstiev sa využívajú aj analýzy, ktoré sú založené na metódach molekulárnej biológie. Výhodou týchto metód je, že sú kultivačne nezávislé a rýchle, s vysokou špecifitou a citlivosťou v porovnaní s kultivačnými metódami. Princíp spočíva v detekcii špecifického



Obr. 1. Situačná mapka Jánskej doliny v Nízkyh Tatráh s vyznačením lokalizácie jaskyne Sokolová (<http://www.supermapa.sk>)

Fig. 1. Situation map of Jánska dolina valley in the Low Tatras showing location of the Sokolová Cave (<http://www.supermapa.sk>)

úseku genetických determinantov, a to buď DNA (deoxyribonukleová kyselina) alebo RNA (ribonukleová kyselina) určitého mikroorganizmu. Umožňujú analyzovať mikroorganizmy aj z málo preskúmaného prostredia s minimálnymi poznatkami o mikrobiálnej diverzite a ich rastových podmienkach (Zhou a kol., 2007). Súčasné analýzy tejto nukleovej kyseliny väčšinou využívajú molekulárne metódy založené na PCR (polymerázová reťazová reakcia) technikách. Podstatou techniky je amplifikácia (zmnoženie, znásobenie počtu) špecifických génov (alebo ich častí) prostredníctvom PCR s cieľom získať veľké množstvo kópií určitých DNA fragmentov čiže PCR produktov, ktoré potom možno ľahko vizualizovať.

V súčasnosti najčastejšie používaným molekulárnym markerom na identifikáciu prokaryotických organizmov sú gény kódujúce malé podjednotky ribozomálnej RNA – 16S rDNA. Amplifikácia génov 16S rDNA zo vzorky sa používa ako osvedčený nástroj, lebo tieto gény sú ubikvitné, čiže prítomné vo všetkých prokaryotických organizmoch, a obsahujú variabilné a vysoko konzervované úseky. PCR produkty sú potom ďalej analyzované, napr. fingerprintingovými technikami, ako je denaturačná gradientová gélová elektroforéza (DGGE) (Nocker a kol., 2007; Rastogi a Sani, 2011; Otlewska a kol., 2014). Jej podstatou je, že malé PCR produkty rovnakej veľkosti sa

za zvýšenej teploty separujú na vertikálnej elektroforéze v polyakrylamidovom géli, ktorý obsahuje lineárny gradient DNA denaturujúcich látok, ako je močovina a formamid, pričom smer elektroforézy je paralelný s gradientom. Výsledkom PCR-DGGE analýz environmentálnych vzoriek, obsahujúcich rôzne bakteriálne komunity, sú špecifické vizuálne bandy (prúžky) pre každú vzorku. Každý band na géli reprezentuje teoreticky jeden prokaryotický taxón (druh, rod) a intenzita bandu (do určitej miery) reprezentuje jeho relatívne množstvo vo vzorke (Pronk a kol., 2009).

Medzi metódy využívané v environmentálnej mikrobiológii, ktorých podstatou nie je PCR, patrí napríklad fluorescenčná *in situ* hybridizácia (FISH), ktorá sa takisto často využíva pri fylogenetických, ekologických, diagnostických a environmentálnych štúdiách (Bottari a kol., 2006). Podstatou tejto metódy je vizualizácia špecifických úsekov RNA (najmä ribozomálnej RNA) alebo DNA prostredníctvom fluorescenčne značených oligonukleotidových prôb. Pomocou nich je možné identifikovať rôzne mikroorganizmy v mikrobiálnom komplexe (Amann a Fuchs, 2008).

MATERIÁL A METÓDY

Odberová lokalita

Ako odberová lokalita bola vybraná jaskyňa Sokolová – fluviokrasová jaskyňa v stredotriasových vápencoch, s dĺžkou 1460 m a hĺbkou 30 m. Je to ponorová jaskyňa s aktívnym tokom riečky Štiavnice v závere Jánskej doliny v Nízkych Tatrách, na južných svahoch masívu Ohnišťa, nad sútokom Štiavnice a Bystrej (obr. 1). Jaskynný otvor leží na úpätí zrázneho vápencového brala vo výške 899 m n. m., okolo 30 m nad povrchovým tokom Štiavnice. Mocnosť sintrového pokryvu je asi do 30 cm, na viacerých miestach bude pravdepodobne ešte väčšia.

V priestoroch jaskyne Sokolová boli odobrané vzorky mäkkého sintra na mikrobiologický, mineralogický a geochemický výskum, pričom bolo definovaných celkom 5 odberových miest (obr. 2). Vzorky sa odoberali sezónne v októbri 2013, máji 2014 a februári 2015 asepticky v hĺbke približne 3 – 5 cm. Celkovo bolo analyzovaných 15 vzoriek, z každého odberového miesta 3. Odobraté vzorky boli kašovité, vlhké, s vysokým obsahom vody.

Odberové miesto SO1 – vrchná etáž v úrovni vchodu do jaskyne, vľavo na konci chodby, zo steny na jej povrchu s čerstvými koralovitými výrastkami mäkkého sintra.

Odberové miesto SO2 – 2 m vpravo od útvaru speleotémy nazývanej „Slonia laba“, na konci prvého poschodia jaskyne.

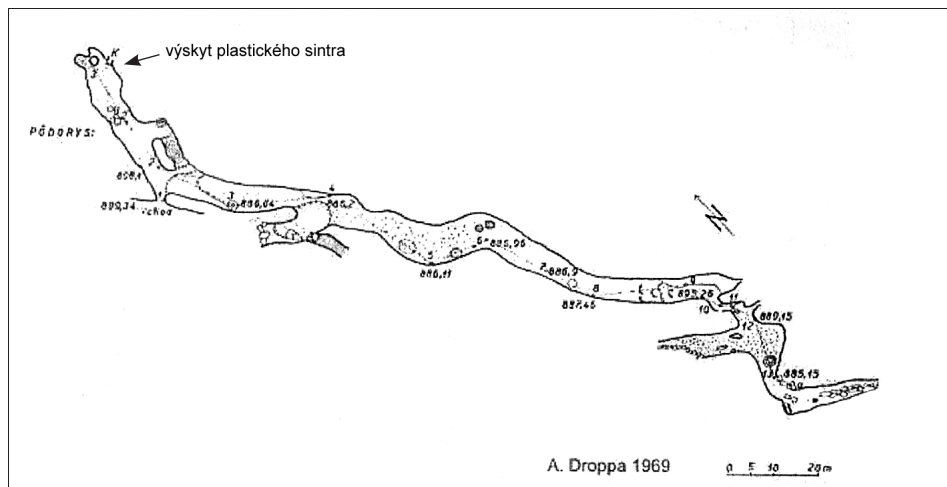
Odberové miesto SO3 – 3 m vľavo od „Slonej laby“, odber v časti pri strope. Mäkký, vodnatý, krehký sinter, na povrchu biely, hlbšie svetloružový.

Odberové miesto SO4 – odber v mieste označovanom „Snežná brána“, na spodnej úrovni jaskynného systému, nad aktívnym tokom, zo stropu (obr. 3).

Odberové miesto SO5 – z prvého poschodia zo strednej chodby, v mieste nad výlezom zo spodnej úrovne, s aktívnym tokom riečky Štiavnica, z povrchu guľatej zdureniny na strope (obr. 4).

Mikrobiologická analýza kultivovateľnej a nekultivovateľnej mikrobioty

Základné informácie o pomere kultivovateľných a nekultivovateľných mikroorganizmov boli získané kombináciou metódy kultivácie vzorky mäkkého sintra (1 g) na neselektívnom médiu (R2A agar) a farbenia vzorky interkalačnou farbičkou DAPI s následným



Obr. 2. Mapa jaskyne Sokolová s vyznačenými miestami odberu vzoriek mäkkého sintra na mikrobiologické analýzy

Fig. 2. The map of the Sokolová Cave with the marked sampling sites for the microbiological analyses of moonmilk

pozorovaním pod fluorescenčným mikroskopom (Porter, 1980). Podľa nasledujúceho vzorca sa vypočítali priemerné množstvá mikroorganizmov na 1 g vzorky:

$$M = N \cdot \frac{S}{S_{100x} \cdot V}$$

M = počet mikroorganizmov v 1 g; N = počet mikroorganizmov v mikroskopickom poli; S = obsah filtrovanej oblasti filtračného papierika – 1256 mm²; S_{100x} = obsah pri 100-násobnom zväčšení – 0,984704 mm²; V = objem filtrovanej vzorky – 10 ml

Celkové počty dominantných taxonomických skupín baktérií v jednotlivých vzorkách boli stanovené na selektívnych kultivačných pôdach. Sledovaná bola prítomnosť enterobaktérií (MacConkey agar, *HiMedia*), nefermentujúcich baktérií (*Pseudomonas* Agar Base, *HiMedia*), aktinomycét (Actinomycete Isolation Agar, *HiMedia*) a enterokokov (Slanetz-Bartley Agar, *HiMedia*). Bakteriálne izoláty odobrané z jednotlivých selektívnych kultivačných médií boli identifikované prostredníctvom komerčných biochemických testov (ENTEROtest 24, NEFERMtest 24, *Erba Lachema*) a sekvenáciou génu pre 16S rRNA. Identifikačné systémy ENTEROtest 24 a NEFERMtest 24 obsahujú 24 rôznych biochemických testov. Binárne výsledky (pozitívna reakcia: +; negatívna reakcia: –) testov boli spracované v programe TNW Lite 7.0 (*Erba Lachema*). Numerická hodnota tzv. identifikačného skóre (v %) udávala štatistickú pravdepodobnosť determinovanej identity daného izolátu a T-index udával druhovú typickosť identifikovaného izolátu.

Na priamu izoláciu celkovej genomickej DNA zo vzoriek mäkkého sintra bol použitý PowerSoil DNA Isolation Kit (*MoBio Laboratories, Inc.*). Z dôvodu nedostatočných výťažkov bola DNA izolovaná iba z kultivovateľných baktérií po narastení v tekutom kultivačnom médiu s použitím SiMax™ Genomic DNA Extraction kit (*Beijing SBS Genetech Co., Ltd.*). Z celkových genomických DNA bola amplifikovaná variabilná oblasť V3 génu pre 16S rRNA metódou nested-PCR (Boon a kol., 2002). Pri amplifikácii frag-



Obr. 3. Odberové miesto SO4 s nátekmi mäkkého sintra na stene jaskyne. Foto: M. Orvošová

Fig. 3. The sampling site SO4 with sinter films of moonmilk on the cave wall. Photo: M. Orvošová



Obr. 4. Odberové miesto SO5 s mohutnými vrstvami mäkkého sintra. Foto: M. Orvošová

Fig. 4. The sampling site SO5 with massive layers of moonmilk. Photo: M. Orvošová

mentov 16S rRNA boli použité univerzálne primery 27f a 1390r (Olsen a kol., 1986). Produkt s veľkosťou 1363 bp bol následne využitý ako templát pre druhú PCR s primermi 338f s GC kotvou a 518r s výsledným produktom vo veľkosti 180 bp (Muyzer a kol., 1993). Amplikóny V3 oblasti génu pre 16S rRNA boli podrobené DGGE separácii v 10 % polyakrylamidovom géli s denaturačným gradientom od 30 % do 60 %.

VÝSLEDKY

Kultivačné stanovenie celkového počtu mikroorganizmov

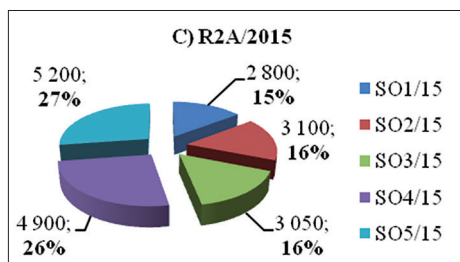
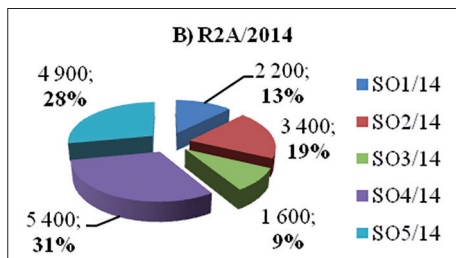
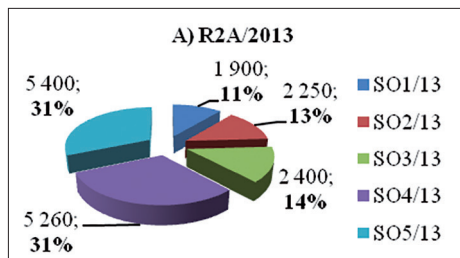
Celkový počet kultivovateľných, aeróbnych, heterotrofných mikroorganizmov z jednotlivých vzoriek mäkkého sintra bol stanovený metódou priameho výsevu na povrch kultivačného média R2A. Zistené hodnoty sa pohybovali v dimenziách 1600 KTJ/g (najnižšia hodnota) až po 5400 KTJ/g (najvyššia hodnota), rádovo 10^3 . Početne bohatšie osídlenie mali odberové miesta SO4 a SO5, oproti odberovým miestam SO1, SO2 a SO3 s početne nižším, ale približne rovnakým osídlením. V rámci odberových miest neboli zaznamenané sezónne rozdiely. Zistené údaje sú prehľadne prezentované v grafoch na obrázku 5.

Kultivačné stanovenie počtov vybraných bakteriálnych skupín

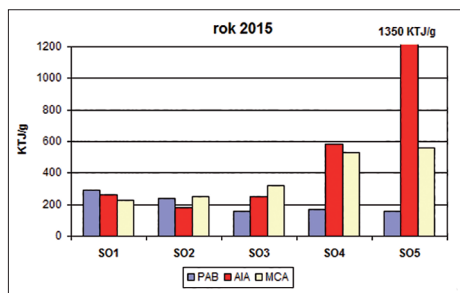
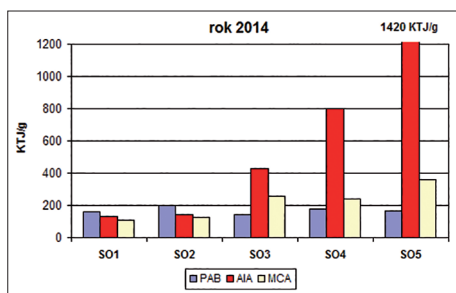
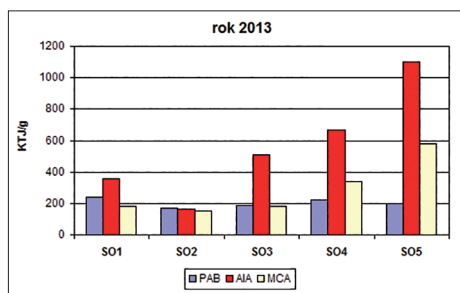
Na vybraných selektívnych médiách boli kultivačne determinované aj dominantné bakteriálne skupiny: nefermentujúce baktérie (Pseudomonas Agar Base), enterobaktérie (MacConkey agar), aktinomycéty (Actinomycete Isolation agar) a grampozitívne koky (Slanetz-Bartley agar). Najpočetnejšou bakteriálnou skupinou boli vo všetkých vzorkách aktinomycéty, ktoré výraznejšie dominovali na odberových miestach SO4 a SO5. Nasledovali enterobaktérie a nefermentujúce baktérie. Zo žiadnej vzorky neboli izolované grampozitívne koky. Výsledky analýz sú prehľadne uvedené v grafoch na obrázku 6.

Mikroskopické stanovenie celkového počtu mikroorganizmov

Mikroskopická metóda založená na väzbe fluorochrómu DAPI na DNA bola použitá na stanovenie celkových počtov mikroorganizmov vo vzorkách mäkkého sintra. Prítomnosť hlavných mikrobiálnych taxónov (baktérie, kvasinky mikromycéty, mikroria-



Obr. 5. Stanovené celkové počty a percentuálne zastúpenie mikroorganizmov vo vzorkách odobraných v rokoch 2013(A), 2014 (B) a 2015 (C) metódou priameho výsevu na kultivačnom médiu R2A. Počty sú uvedené v KTJ/g
 Fig. 5. Total and percentual microbial counts in samples taken in 2013 (A) 2014 (B) 2015 (C) by method of direct plating on the culture medium R2A. The numbers mean CFU/g



Obr. 6. Kvantitatívny profil vybranej kultivovateľnej, aeróbnej, heterotrofnej bakteriálnej bioty. PAB – nefermentujúce baktérie, AIA – aktinobaktérie, MCA – enterobaktérie
 Fig. 6. Quantitative profile of selected culturable, aerobic, heterotrophic bacterial biota. PAB – non-fermenting bacterias, AIA – actinobacterias, MCA – enterobacterias KTJ/g = CFU/g

sy, protozoá) a ich odlišenie od kalcitových kryštálikov sme indikovali pomocou súboru referenčných kmeňov (*Serratia* sp., *Schizosaccharomyces pombe*, *Chlamydomonas reinhardtii*, *Aspergillus* sp., Protozoa). Fotografia mikroskopického poľa je dokumentované na obrázku 7.

Fluoreskujúce body DNA molekúl v každom mikroskopickom poli boli spočítané, zo získaných hodnôt bol vypočítaný aritmetický priemer, dosadený do vzorca a stanovený celkový počet mikroorganizmov v 1 g vzorky. Celkové počty mikroorganizmov v jednotlivých vzorkách varírovali v rozmedzí od 10^3 až po 6.10^5 . Najnižšie celkové

počty mikroorganizmov boli zistené v odberovom mieste SO1 počas všetkých sezónnych odberov, s najnižšou hodnotou $2 \cdot 10^3$.

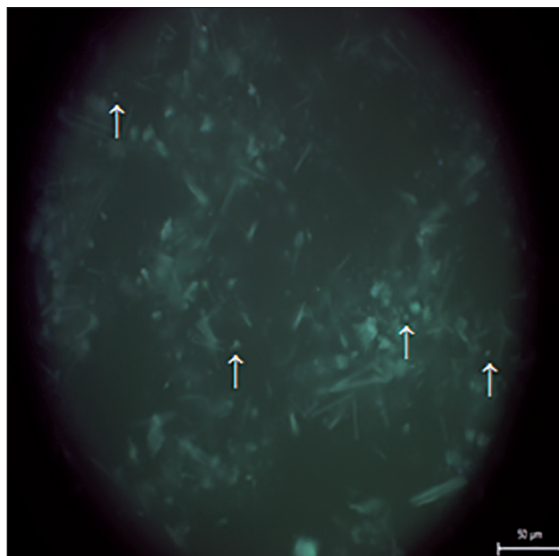
Najvyššie počty boli zistené v odberovom mieste SO5 počas všetkých sezónnych odberov, absolútne najvyššia hodnota ($5,9 \cdot 10^5$) však bola zaznamenaná v odberovom mieste SO5 v roku 2013.

Fenotypová a genotypová identifikácia izolovaných bakteriálnych kmeňov

Bakteriálne izoláty získané zo selektívnych kultivačných médií (okrem aktinomycét) boli identifikované komerčnými mikrotestami. Zo selektívnych pôd MacConkey agar a *Pseudomonas* Agar Base boli z každej vzorky arbitrárne vybrané 2 vyrastené kolónie na následné analýzy.

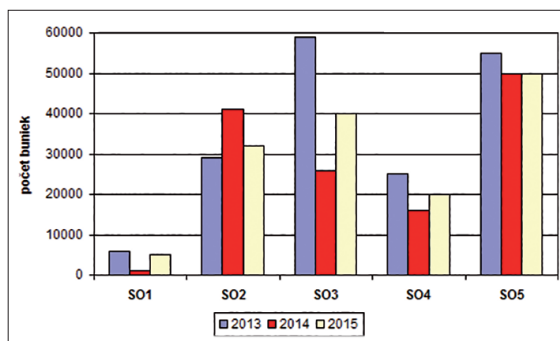
Komerčný mikrotest ENTEROTest 24 bol použitý na identifikáciu 30 izolátov enterobaktérií. Všetky izoláty boli identifikované ako *Edwardsiella ictaluri*, avšak v dvoch biochemicky rôznych populáciách: prvá populácia s nízkym identifikačným skóre 81,50 %, ako aj T-indexom: 0,335 (tab. 1), druhá populácia s rovnako nízkym identifikačným skóre 82,60 %, ale vyšším T-indexom: 0,668 (tab. 2). Rozdiely boli v testoch pre ureázu, arginín a glukózu.

Komerčný mikrotest NEFERMtest 24 bol použitý na identifikáciu 30 izolátov nefermentujúcich baktérií. Všetky izoláty boli identifikované ako *Brevundimonas diminuta*, s akceptovateľným identifikačným skóre (93,90 %) a vysokým T-indexom (1,00) – tab. 3.



Obr. 7. DAPI farbenie mikrobiálnych buniek zo vzoriek mäkkého sintra. Biele šípky ukazujú žiariace body bakteriálnych buniek. Ostatné svietiace škrvny sú kalcitové kryštáliky. Mierka je 50 μm

Fig. 7. DAPI staining of the microbial cells from samples of moonmilk. The white arrows show the shining points of bacterial cells. Other stains are illuminating calcite crystals. The scale is 50 microns



Obr. 8. Celkové počty mikroorganizmov stanovené DAPI farbením

Fig. 8. Total microbial counts determined by DAPI staining

Tab. 1 a 2. Biochemický profil izolátu *Edwardsiella ictaluri*, vzorky E-SO1/14 a E-SO5/15
 Tab. 1 and 2. Biochemical profile of the isolate *Edwardsiella ictaluri*, samples E-SO1/14 and E-SO5/15

vzorka/sample E-SO1/14

IND	H ₂ S	LYS	ORN	URE	ARG	SCI	MAL
-	-	+	+	+	-	-	-
PHE	ONP	INO	ADO	CEL	SUC	TRE	MAN
-	-	-	-	-	-	-	-
VPT	ESL	SOR	RHA	MLB	RAF	DUL	GAL
-	-	-	-	-	-	-	-

vzorka/sample E-SO5/15

IND	H ₂ S	LYS	ORN	URE	ARG	SCI	MAL
-	-	+	+	-	+	-	-
PHE	ONP	INO	ADO	CEL	SUC	TRE	MAN
-	-	-	-	-	-	-	-
VPT	ESL	SOR	RHA	MLB	RAF	DUL	GAL
-	-	-	-	-	-	-	+

IND – indol, H₂S – sírovodík, LYS – lyzín, ORN – ornitín, URE – ureáza, ARG – arginín, SCI – Simmons citrát, MAL – malonát, PHE – fenylalanín, ONP – β-galaktózidáza, INO – inozitol, ADO – adonitol, CEL – celobióza, SUC – sacharóza, TRE – trehalóza, MAN – manitol, VPT – acetoín, ESL – eskulín, SOR – sorbitol, RHA – ramnóza, MLB – melobióza, RAF – rafinóza, DUL – dulcitol, GLU – glukóza; + pozitívna reakcia, - negatívna reakcia

IND – indole, H₂S – hydrogen sulphide, LYS – lysine, ORN – ornithine, URE – urease, ARG – arginine, SCI – Simmons citrate, MAL – malonate, PHE – phenylalanine, ONP – β-galaktosidase, INO – inositol, ADO – adonitol, CEL – cellobiose, SUC – sucrose, TRE – trehalose, MAN – manitol, VPT – acetoin, ESL – esculin, SOR – sorbitol, RHA – rhamnose, MLB – melobiose, RAF – raffinose, DUL – dulcitol, GLU – glucose; + positive reaction, - negative reaction

Na potvrdenie výsledkov fenotypových identifikácií izolátov nefermentujúcich baktérií a enterobaktérií identifikovaných komerčnými mikrotestami boli vybrané izoláty (N-SO2/13, E-SO5/15) podrobené genotypovej analýze, konkrétne sekvenčnej analýze génov pre 16S rRNA. Sekvenčnej analýze boli podrobené aj vybrané izoláty aktinomycét (A-SO1/13, A-SO5/13), ktoré vyrástli na selekčnom médiu AIA. Pre aktinomycét neexistujú dostupné komerčné mikrotesty, preto nebola vykonaná ich fenotypová identifikácia.

Pri porovnávaní výsledkov sekvenčnej analýzy izolátov a pri konštrukcii fylogramu boli z databázy BLAST vybrané sekvenencie génu pre 16S rRNA referenčných kmeňov nefermentujúcich baktérií a aktinomycét. Sekvenčná analýza *Edwardsiella ictaluri*, izolát E-SO5/15, nebola úspešná. Izolát preto nebolo možné genotypovo identifikovať.

Sekvenčná homológia nefermentujúceho izolátu N-SO2/13 v databáze BLAST, fenotypovo determinovaný ako *B. diminuta*, bola na úrovni podobnosti 98 % najbližšie k taxónu *Pseudomonas* sp.VI-1., vo fylogenetickom strome sa ako najbližší taxón prezentoval *P. fluorescens* na hladine podobnosti 84 % (obr. 9). Izolát bol identifikovaný ako taxón rodu *Pseudomonas*.

Sekvenčná homológia aktinomycetálneho izolátu A-SO1/2013 v databáze BLAST nekorešpondovala so žiadnym taxónom, jeho druhová identita nebola determinovaná.

Tab. 3. Biochemický profil izolátu *Brevundimonas diminuta*
 Tab. 3. Biochemical profile of isolate *Brevundimonas diminuta*

URE	ARG	ORN	LYS	AAM	bGL	NAG	SCI
-	-	-	-	-	-	-	-
LAC	MAN	TRE	XYL	ARA	aGA	bGA	MAL
-	-	-	-	-	-	-	-
GAL	MLT	CEL	SUC	INO	gGT	PHS	ESL
-	-	-	-	-	+	-	-

URE – ureáza, ARG – arginín, ORN – ornitín, LYS – lyzín, AAM – acetamid, bGL – β -glukozidáza, NAG – N-acetyl-D-glukózaminidáza, SCI – Simmons citrát, LAC – laktóza, MAN – manitol, TRE – trehalóza, XYL – xylóza, ARA – arabinóza, aGA – α -galaktozidáza, bGA – β -galaktozidáza, MAL – malonát, GAL – galaktóza, MLT – maltóza, CEL – celobióza, SUC – sacharóza, INO – inozitol, gGT – γ -glutamyltransferáza, PHS – fosfatáza, ESL – eskulín; + pozitívna reakcia, - negatívna reakcia

URE – urease, ARG – arginine, ORN – ornithine, LYS – lysine, AAM – acetamide, bGL – β -glukosidase, NAG – N-acetyl-D-glukosaminidase, SCI – Simmons citrate, LAC – lactose, MAN – mannitol, TRE – trehalose, XYL – xylose, ARA – arabinose, aGA – α -galaktosidase, bGA – β -galaktosidase, MAL – malonate, GAL – galactose, MLT – maltose, CEL – celobiose, SUC – sucrose, INO – inositol, gGT – γ -glutamyltransferase, PHS – fosfatase, ESL – esculin; + positive reaction, - negative reaction

Sekvenčná homológia aktinomycetálneho izolátu A-SO5/2013 v databáze BLAST korešpondovala s druhom *Arthrobacter antarcticus* kmeň 27 (98 % podobnosť) a rovnako v skonštruovanom fylogenetickom strome zhlučoval s typovým kmeňom *A. antarcticus* SPC26 na hladine podobnosti 98 % (obr. 10). Izolát bol identifikovaný ako *Arthrobacter antarcticus*.

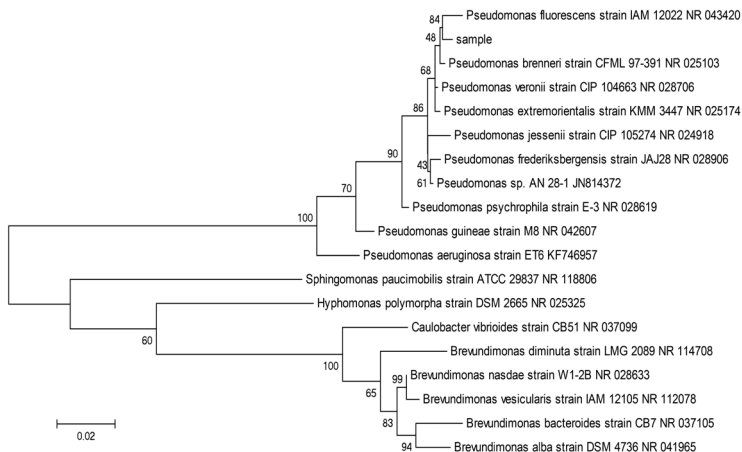
Molekulárna analýza celkového profilu kultivovateľných baktérií

DNA fingerprinting kultivovateľnej bakteriálnej bioty v mäkkom sintri jaskyne Sokolová vykonaný PCR-DGGE analýzou 16S rDNA determinoval na základe prítomnosti diskretných bandov relatívne nízke druhové zastúpenie (obr. 11). Ak jeden transparentný band reprezentuje jeden taxón (rod/druh), potom sa počet dominantných taxónov pohyboval od jedného (pozície 2, 3) až po šesť (pozícia 6). Rozlíšenie komplikuje množstvo nešpecifických bandov, tvoriacich tzv. pozadie (smear). PCR-DGGE je semikvantitatívna metóda, kde intenzita bandov poukazuje aj na hustotu populácie konkrétneho taxónu.

Vizuálna analýza DNA fingerprintingu zároveň odhalila časovú a priestorovú variabilitu bakteriálnej bioty, keďže boli zaznamenané rôzne profily tak v čase odberu, ako aj medzi definovanými odberovými miestami. Najčastejšie sa v DNA-fingerprintingu opakovali bandy korešpondujúce s bandmi na pozíciách č. 17 a 18, čo sú izoláty N-SO2/13 (*Pseudomonas* sp.) a E-SO5/15 (*E. ictaluri*/psychrofilná enterobaktéria) umiestnené do týchto pozícií ako kontroly.

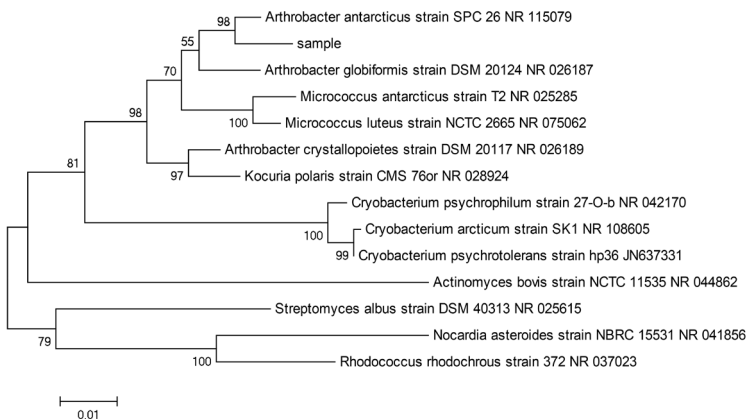
DISKUSIA

Jaskynné prostredie je pre človeka stále relatívne nepoznaným a málo prebádaným priestorom. Variabilita rôznych druhov mikroorganizmov prítomných v jaskyniach je veľká, pritom v jednotlivých jaskyniach často odlišná. Nielen v mäkkom sintri, ale aj



Obr. 9. Fylogenetický strom skonštruovaný na základe komparatívnej analýzy sekvenčných dát (databáza BLAST) pre 16S rDNA 18 reprezentatívnych referenčných druhov nefermentujúcich baktérií s izolátom N-SO2/2013, sample = nefermentujúci izolát N-SO2/2013

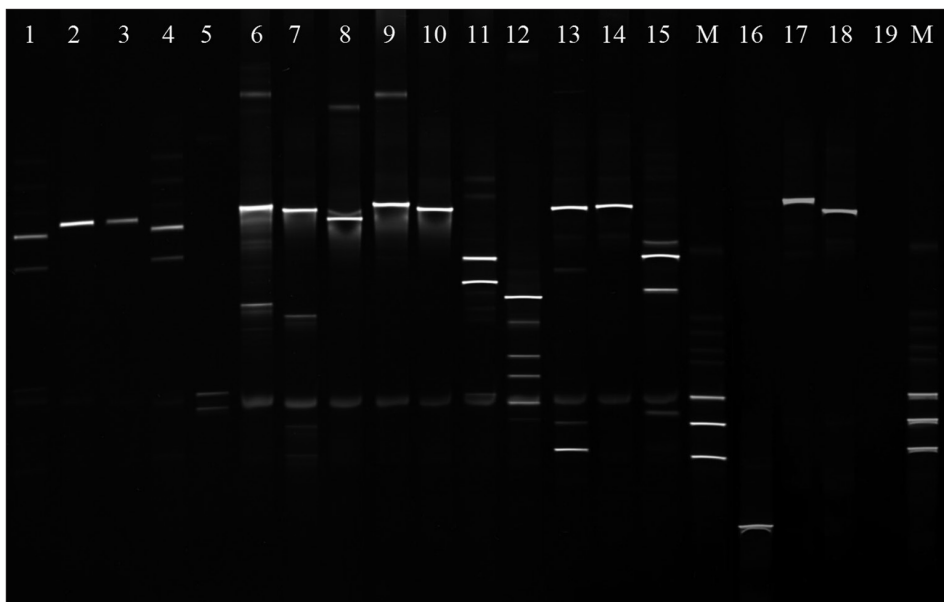
Fig. 9. Phylogenetic tree based on comparative analysis of the 16S rDNA sequence data of the 18 reference strains of non-fermenting bacteria (available from BLAST data library) together with isolate N-SO2/2013, sample = non-fermenting isolate N-SO2/2013



Obr. 10. Fylogenetický strom skonštruovaný na základe komparatívnej analýzy sekvenčných dát (databáza BLAST) pre 16S rDNA 13 reprezentatívnych referenčných druhov aktinomycét s izolátom A-SO5/2013, sample = aktinobakteriový izolát A-SO5/2013

Fig. 10. Phylogenetic tree based on comparative analysis of the 16S rDNA sequence data of the 18 reference strains of non-fermenting bacteria (available from BLAST data library) together with isolate A-SO5/2013, sample = actinobacterial isolate A-SO5/2013

vo vzduchu, vode, sedimentoch, ako aj v samotných horninách jaskýň sa nachádza značné množstvo mikrobiálnej biomasy. Podľa niektorých autorov hrajú mikroorganizmy kľúčovú úlohu v ekosystéme jaskýň (Boston a kol., 2001). Mikroorganizmy sa zúčastňujú na vytváraní jaskynných výplní, na formovaní jaskynných speleotém. Podporujú rozpúšťanie



Obr. 11. DNA fingerprinting kultivovateľnej bakteriálnej bioty v mäkkom sintri jaskyne Sokolová skonštruovaný PCR-DGGE analýzou V3 regiónu 16S rDNA. Dráhy: 1 – vzorka SO1/13, 2 – vzorka SO2/13, 3 – vzorka SO3/13, 4 – vzorka SO4/13, 5 – vzorka SO5/13, 6 – vzorka SO1/14, 7 – vzorka SO2/14, 8 – vzorka SO3/14, 9 – vzorka SO4/14, 10 – vzorka SO5/14, 11 – vzorka SO1/15, 12 – vzorka SO2/15, 13 – vzorka SO3/15, 14 – vzorka SO4/15, 15 – vzorka SO5/15, 16 – vzorka A-SO5/13 (*Arthrobacter antarcticus*), 17 – vzorka N-SO2/13 (*Pseudomonas* sp.), 18 – vzorka E-SO5/15 (*Edwardsiella ictaluri*/psychrofilná enterobaktéria), 19 – negatívna kontrola, M – DNA marker

Fig. 11. DNA fingerprinting of cultivable bacterial biota in the moonmil of Sokolová jaskyňa Cave constructed by PCR-DGGE analysis of 16S rDNA V3 region. Lanes: 1 – sample SO1 /13; 2 – sample SO2/13; 3 – sample SO3/13; 4 – sample SO4 /13; 5 – sample SO5/13; 6 – sample SO1/14; 7 – sample SO2/14; 8 – sample SO3/14; 9 – sample SO4/14; 10 – sample SO5/14; 11 – sample SO1/15; 12 – sample SO2/15; 13 – sample SO3/15; 14 – sample SO4/15; 15 – sample SO5/15; 16 – sample A-SO5/13 (*Arthrobacter antarcticus*); 17 – sample N-SO2/13 (*Pseudomonas* sp.); 18 – sample E-SO5 /15 (*Edwardsiella ictaluri*/psychrophilic enterobacterium); 19 – negative control; M – DNA marker

materskej horniny a umiestnenie iónov CaCO_3 späť do podzemnej vody, z ktorej precipitujú speleotémy. Vzhľadom na nehostinnú povahu jaskynného prostredia sú súčasťou biomasy hlavne extrémofilné mikroorganizmy tvoriace oligotrofné, acidofilné, termofilné a sulfidofilné spoločenstvá.

Mäkký sinter je v geochemickej terminológii špecifická forma sekundárnej minerálnej akumulácie, resp. speleotémy – typu jaskynnej výplne. Z biologického aspektu predstavuje unikátny biotop. V jaskyniach Slovenska, na rozdiel od mnohých jaskýň v zahraničí, nebol z hľadiska abundancie a diverzity mikroorganizmov podrobne preskúmaný. To bol hlavný dôvod, prečo bola realizovaná štúdia na modelovej lokalite jaskyne Sokolová, ktorá je na Slovensku jednou z najbohatších z hľadiska výskytu mäkkého sintra. Zvolená stratégia metodického postupu mala umožniť determinovať tak kvantitatívnu, ako aj kvalitatívnu

štruktúru mäkkého sintra v modelovom systéme. Pri tejto štúdií boli aplikované tak štandardné mikrobiologické metódy, ako sú kultivačné, mikroskopické a biochemické postupy, ako aj moderné molekulárnobiologické metódy, ako PCR-DGGE, sekvenčná a bioinformačná analýza.

Kvantitatívne stanovenie kultivovateľnej a nekultivovateľnej zložky mikrobioty

Na detekciu celkového počtu mikroorganizmov prítomných vo vzorkách, teda nielen kultivovateľných, ale aj nekultivovateľných, sme použili metódu farbenia bunkových jadier farbičkou DAPI. Použitím tejto metódy sme boli schopní odhadnúť len približný počet buniek z mäkkého sintra pre vysoký obsah mikroskopických kalcitových štruktúr interferujúcich so signálom DAPI. Rovnaký problém s farbením DNA mikroorganizmov prítomných v mäkkom sintri opisujú vo svojej štúdií aj Engel a kol. (2013). Táto skutočnosť sa nakoniec ukázala byť závažným momentom aj v molekulárnych analýzach. Z osobných konzultácií s geochemikmi vyplynulo, že vhodnou metódou na elimináciu kalcitových mikroštruktúr by mohol byť fluorid sodný (NaF), kde by po reakcii s ním vznikol nerozpustný fluorid vápenatý (CaF₂), ktorý možno odfiltrovať. Žiaľ, tento postup sa nám z časových dôvodov nepodarilo realizovať.

Celkové počty mikroorganizmov stanovené mikroskopicky sa na jednotlivých odberových miestach pohybovali v rádovej dimenzii 10⁴, maximum dosiahli vo vzorke SO3/13 – približne 5,9.10⁴ buniek na 1 g vzorky. Výnimkou bolo odberové miesto SO1, kde sme zistili najnižšie hodnoty pri všetkých troch odberoch, rádovo 10³, s minimom 1.10³ buniek/g.

Na porovnanie z analogických štúdií Braissant a kol. (2012) odhadli približný priemerný počet mikroorganizmov v 1 grame mäkkého sintra z jaskýň vo Švajčiarsku na 4,8.10⁵ KTJ/g. Curry a kol. (2009) určili približný počet 3,6.10⁴ KTJ/g zo vzoriek mäkkého sintra na Aljaške.

Na stanovenie celkového počtu kultivovateľných heterotrofných mikroorganizmov bol použitý R2A Agar. Tento agar je nízkonutričné médium, ktoré v kombinácii s nízkou teplotou a dlhším inkubačným časom sa všeobecne odporúča na izoláciu heterotrofných mikroorganizmov zo stresujúcich environmentov, ku ktorým patrí aj jaskynné prostredie (Reasoner a Geldreich, 1985). Celkové počty kultivovateľných heterotrofných mikroorganizmov sa pohybovali v rozmedzí od 1600 (minimum) do 5400 (maximum) KTJ/g, s rádovou hodnotou 10³. Tvorili teda desatinu celkovej mikrobiálnej populácie.

Počet kultivovateľných mikroorganizmov vybraných bakteriálnych entít sa vo všetkých vzorkách u nefermentujúcich baktérií a enterobaktérií pohyboval v rádových hodnotách 10², podobne aj u aktinomycét. Výnimkou bolo odberové miesto SO5, kde to bolo vo všetkých odberoch o rád viac, teda 10³ KTJ/g. Enterokoky neboli detegované v žiadnej vzorke. Vybrané kultivovateľné bakteriálne taxóny tvorili približne 1 % z celkovej mikrobioty mäkkého sintra v jaskyni Sokolová, s výnimkou aktinomycetálneho excesu v odberovom mieste SO5, kde tvorili desatinu mikrobiálnej populácie.

Izolácia a identifikácia bakteriálnych taxónov

Na stanovenie druhového spektra mikrobioty boli vybrané 4 kultivačne prístupné taxonomické skupiny baktérií: nefermentujúce baktérie, enterobaktérie, aktinobaktérie a grampozitívne koky. Zvolené taxonomické jednotky boli determinované na štandardných selektívnych médiách, pričom enterobaktérie a enterokoky indikovali zároveň prípadnú fekálnu kontamináciu vzoriek.

Mikrotesty NEFERMtest 24 a ENTEROtest 24 použité na identifikáciu získaných izolátov baktérií sú primárne určené na identifikáciu klinických vzoriek. Identifikácia environmentálnych vzoriek, pri ktorých je fenotypová variabilita určitého species oveľa väčšia než pri klinických vzorkách, má preto často neistý a iba pravdepodobný výsledok. Tieto testy slúžia teda predovšetkým na prediktívne zistenie taxonomickej pozície daného izolátu, a tak sú na presnejšie determinovanie druhej identity potrebné následné molekulárubiologické konfirmačné analýzy.

Na kvantitatívnu aj kvalitatívnu analýzu nefermentujúcich baktérií ako selektívne médium bol použitý *Pseudomonas Agar Base*, za štandardných podmienok typických pre kultiváciu psychrofilných baktérií (22 °C, 72 h). Preferenčne je síce tento agar určený na záchyt klinických aj environmentálnych druhov pseudomonád, ktorých druhový počet prevyšuje číslo 200, ale je na ňom možný aj záchyt iných pseudomonádam blízkyh species, ako *Alteromonas*, *Sphingomonas*, *Brevundimonas* a ďalších.

Analýza vybraných izolátov nefermentujúcich baktérií komerčným mikrosystémom NEFERMtest 24 poskytla jednoznačný výsledok vo forme jediného identifikovaného taxónu, *Brevundimonas diminuta*, ktorý bol zistený vo všetkých odberových miestach počas daného odberového obdobia. Aj keď identifikačné skóre *B. diminuta* bolo veľmi nízke (32,60 %) a tento druh alternoval s *Weeksella virosa*, pre zistený výsledok hovorila vysoká typickosť pre *B. diminuta*, vyjadrená T-indexom (0,926).

Rod *Brevundimonas* (taxonomický rank: Proteobacteria, Alphaproteobacteria, Caulobacterales, Caulobacteraceae), reprezentujú gramnegatívne bakteroidné alebo vibroidné baktérie 0,5 až 1 – 2 µm veľké, so špecifickým zložením mastných kyselín, obsah G+C báz je 65 – 68 mol%. Typovým druhom je *B. diminuta* (Abraham a kol., 1999; Segers a kol., 1994). Baktéria býva izolovaná zriedkavo z environmentálneho materiálu, predovšetkým z vôd, niekedy aj z klinického materiálu, zrejme ako satelitná mikrobiota, jej účasť na infekčnom procese nie je potvrdená. Zaujímavosťou je, že je prirodzene rezistentná na chemoterapeutiká fluorochinolóny (Han a Andrade, 2005).

Izolácia kmeňa z rodu *Brevundimonas* z mäkkého sintra jaskyne Sokolová na Slovensku by nebola prekvapujúca, pretože tento taxón bol izolovaný aj z viacerých chladových biotopov na rôznych miestach našej planéty: v Arktíde (Cheng a Fobht, 2007), Antarktíde (Aislabie a kol., 2006), himálajských ľadovcoch (Liu a kol., 2006), tibetskom permafroste (Zhang a kol., 2007), kondenzačnej vode vesmírnej stanice Mír (Li a kol., 2004). Pozoruhodné je, že *brevundimonády* sú schopné prežívať v nasimulovaných podmienkach planéty Mars (Dartnell a kol., 2010).

Nefermentujúci izolát N-SO2/13 v NEFERMENTeste 24 fenotypovo alternujúci s *B. diminuta* bol podrobený sekvenčnej analýze a získané sekvenčné dáta boli porovnané s údajmi v génovej databáze BLAST a spracované do fylogenetického stromu. Sekvenčná homológia N-SO2/13 bola na úrovni 98 % najbližšie k taxónu *Pseudomonas* sp.VI-1. Vo fylogenetickom strome sa ako najbližší taxón prezentoval *P. fluorescens*. Kosina (2014) vo svojej práci uvádza druhovú identifikáciu izolátu S/5 z Harmaneckej jaskyne ako *P. frederiksbergensis*. V preliminárnych štúdiách boli z mäkkých sintrov z vybraných slovenských jaskýň izolované tak fluorescentné pseudomonády, ako aj *B. diminuta* (Seman a kol., 2009). Izolát N-SO2/13 patrí do rodu *Pseudomonas*, na presnú druhovú pozíciu budú potrebné ďalšie analýzy (DNA-DNA hybridizácia, biochemický profil systémom BIOLOG, chemotaxonomická analýza – zloženie mastných kyselín), keďže nie je vylúčené, že by mohlo ísť aj o nový druh.

Na kvantitatívnu a kvalitatívnu analýzu enterobaktérií ako selektívne médium bol použitý štandardný McConkey agar a kultivačné podmienky pre psychrofilné baktérie (22 °C, 72 h). Vo všetkých arbitrárne vybraných kolóniách bola identifikovaná *Edwardsiella ictaluri* a jej 3 rôzne klony: E-SO1/13, E-SO1/14 a E-SO5/15. Sekvenčná analýza vybraného klonu E-SO5/15 bola neúspešná, preto nebolo možné hodnotenie taxonomickej pozície klonov v systéme BLAST, ani skonštruovať fylogenetický strom.

Rod *Edwardsiella* (taxonomický rank: Proteobacteria, Gammaproteobacteria, Enterobacteriales, Enterobacteriaceae), reprezentujú malé (2 – 3 × 1 µm), tyčinkovité baktérie. V porovnaní s inými enterobaktériami majú nízku metabolickú aktivitu, najmä čo sa týka fermentácie cukrov. Často sa vyskytujú v gastrointestinálnom trakte studenokrvných živočíchov. *E. ictaluri* bola pôvodne izolovaná zo severoamerickej ryby *Ictalurus punctatus*, ktorá je blízka našim sumcom. Ich klinický význam je sporadický, môžu byť vzácnymi oportunnými patogénmi u ľudí, predovšetkým gastrointestinálneho traktu (Reger a kol., 1993; Crumlish a kol., 2002; Yasuike a kol., 2014).

Seman a kol. (2015) izolovali v priebehu rokov 2007 – 2012 z krasových vôd vybraných jaskýň Slovenského krasu 352 validných enterobakteriálnych izolátov. Polyfázovým taxonomickým prístupom bolo identifikované bohaté spektrum, až 39 enterobakteriálnych druhov, medzi ktorými dominoval rod *Serratia*. Identifikácia enterobaktérie *Edwardsiella ictaluri* komerčným mikrotestom v jaskynných štruktúrach nie je teda nezvyčajným, aj keď veľmi otáznym faktom. Izoláty tohto taxónu však boli prítomné vo všetkých vzorkách mäkkého sintra, aj keď s neakceptovateľným identifikačným skóre, ako aj T-indexom. V každom prípade by mohlo ísť o adaptovanú psychrofilnú, resp. psychrotolerantnú enterobaktériu, so slabým metabolickým potenciálom (na základe výsledkov jej biochemického profilu). Pravdepodobnosť tohto taxónu v mäkkom sintri je síce nízka, ale nie je vylúčená. Preto bola jej taxonomická pozícia označená predbežne ako *Edwardsiella ictaluri*/psychrofilná enterobaktéria.

Aktinobaktérie boli ďalšou predigovanou taxonomickou skupinou. Boli dobre izolovateľné na selektívnom Actinomycete Isolation Agare, za štandardných podmienok pre psychrofilné baktérie (22 °C, 72 h). Ich kvantitatívne hodnoty sa rádovo pohybovali v rozptätí 10² – 10³ KTJ/g.

Pre aktinobaktérie neexistujú žiadne dostupné komerčné mikrotesty ani na úrovni klinicky významných species. V praxi sa zvyčajne identifikujú mikroskopicky, čo však vyžaduje erudovaného odborníka znalého ich morfológie. Preto boli aplikované techniky molekulárnej biológie. Z morfologicky najčastejšie sa vyskytujúcich typov kolónií vyrastených na AIA agare boli arbitrárne vybrané dve a podrobené sekvenčnej analýze ich 16S rDNA. S izolátom A-SO1/13 nekorešpondoval v sekvenčnej databáze BLAST žiaden zmysluplný taxón. S izolátom A-SO5/13 korešpondoval v databáze BLAST *Arthrobacter antarcticus* kmeň 27 na úrovni podobnosti 98 % a rovnako v skonštruovanom fylogenetickom strome zhľukoval s typovým kmeňom *A. antarcticus* SPC26 na hladine podobnosti 98 %. Izolát preto možno považovať za taxonomicky veľmi blízky druhu *A. antarcticus*. Vzhľadom na diametrálne odlišné biotopy (morský sediment a sinter), ako aj geografickú vzdialenosť (Antarktída a Slovensko) je možné, že slovenský izolát predstavuje nový druh.

Artrobaktery sú obligátne aeróbné, katalázopozitívne, sporulujúce tyčinkovité baktérie. Rod *Arthrobacter* obsahuje 52 druhov a je fenotypovo veľmi heterogénny, vzhľadom na široký diapazón biotopov, ktoré obýva. Bývajú izolované z pôd, klinického materiálu, syrov, rýb, tuleňov, sedimentov v nádržiach odpadových vôd, ale aj z alpských ľadových jaskýň (Pindi a kol., 2010).

Arthrobacter antarcticus (taxonomický rank: Actinobacteria, Micrococcales, Micrococcaceae, Arthrobacter) bol izolovaný len nedávno, zatiaľ iba v Antarktickom oceáne (oblasť Larseman Hill), zo sedimentov v hĺbke 400 m. Morfológicky ide o kokobacil 1,5 – 2,2 µm dlhý a 0,2 – 0,3 mm široký (Pindi a kol., 2010). Jeho izolácia z mäkkého sintra v jaskyni Sokolová by bola unikátnou udalosťou.

Druhá štruktúra bakteriálnej bioty mäkkého sintra bola skúmaná aj v susedných štátoch. Gradziński a kol. (1997) analyzovali taxonomický mikrobiálny profil mäkkých sintrov z viacerých jaskýň južného Poľska (okolie Krakova a severné Tatry). Zistili prítomnosť niektorých zaujímavých bakteriálnych druhov, ako sú *Arthrobacter crystallopoietes*, *Bacillus alcalophilus*, *Seliberia stellata*, *Xantobacter autotrophicus*. Uvádzajú aj výskyt vodíkových baktérií (chemolitotrofy oxidujúce vodík), pre ktoré používajú anglický termín „knallgasbacteria“. Mohlo by ísť pravdepodobne o druh *Hydrogenobacter subterraneus*, schopný prežívať v podmienkach jaskynných biotopov. Práve chemolitoautotrofným baktériám pripisujú Gradziński a kol. (2012) významnú úlohu pri kalcifikácii pizoidov a na druhej strane alkalofilným chemolitoheterotrofným baktériám zasa podporu mineralizačných procesov.

V našich krajinách (Československo, Česká a Slovenská republika) sa mikrobiologickému štúdiu mäkkého sintra nevenovalo veľa autorov. Prvé známe práce na území Československa prezentovali Slančík a Schlemmerová (1975). V Moravskom krase ich skúmali v dvoch jaskyniach: Kateřinskej a Sloupsko-šošůvskej. Orientačný mikrobiologický rozbor ukázal prítomnosť aeróbnych tyčínok patriacich do rodu nefermentujúcich baktérií *Flavobacterium* a bližšie neidentifikovaných kokov.

V ďalšej štúdií Žák a kol. (2006) skúmali bakteriálnu komunitu mäkkého sintra z Veľkonočnej jaskyne (Týnčany, 50 km južne od Prahy). Pre celkový počet kultivovateľných baktérií uvádzajú hodnotu $4,1 \cdot 10^6$ na 1 gram suchej hmoty. Celkový počet baktérií stanovený epifluorescenčnou mikroskopiou udávajú hodnotou $2,34 \cdot 10^9$ na jeden gram suchej hmoty. Prítomnosť biotickej zložky dokazujú aj hodnotami bazálnej respirácie mäkkého sintra. Konštatujú, že mäkký sinter predstavuje ekologickú niku pre širšie spektrum baktérií, medzi ktorými je charakteristická prítomnosť bakteriálnej komunity tzv. r-stratégov (kladú dôraz na reprodukciu a mobilitu).

Mikrobiote mäkkého sintra sa vo svojej práci venoval aj Kosina (2014). Vzorky mäkkého sintra pochádzali z vybraných jaskýň Moravského krasu (Císařská jeskyně, Kateřinská jeskyně, jeskyně Horní v Chobotu, Suchložlebská zadržaná jeskyně) a z jaskýň na Slovensku (Demänovská jaskyňa mieru, Demänovská jaskyňa slobody a Harmanecká jaskyňa), pričom všetky boli odobrané v roku 2007. Autor si pre svoju štúdiu zvolil iba jednu taxonomickú jednotku, a to nefermentujúce baktérie. Podarilo sa mu izolovať a polyfázovým taxonomickým prístupom identifikovať 75 kmeňov. Všetky izoláty, s výnimkou jedného, boli gramnegatívne, nefermentujúce tyčinky, pričom 5 z nich boli psychrofilné, ostatné psychrotrofné taxóny. Väčšina izolátov tvorila fluorescentné pigmenty. Sekvenčná analýza 16S rDNA ich všetky zaradila do rodu *Pseudomonas*. Multilokusová sekvenčná analýza génov *rrs*, *rpoB*, *rpoD* potom determinovala prítomnosť druhov: *P. guineae*, *P. frederiksbergensis*, *P. jesenii*, *P. brenneri*. Okrem toho sa však vytvorili dve diferencované skupiny, ktorých členov nebolo možné fylogeneticky klasifikovať. Na základe týchto skutočností boli navrhnuté dva nové pseudomonádové druhy: *Pseudomonas karstica* and *Pseudomonas spelaei* (Kosina, 2014). Uvedené výsledky poukazujú nielen na bohatú druhovú diverzitu v rámci jedného bakteriálneho rodu v ekosystéme mäkkého sintra, ale aj na možnosť neustáleho objavovania nových druhov.

Na Slovensku bola priekopníckou štúdiou venovanou mikrobiote mäkkého sintra práca autorov Seman a kol. (2009). Analyzovali mikrobiálne osídlenie vo vzorkách mäkkého sintra zo štyroch jaskýň: Demänovská jaskyňa slobody, Demänovská jaskyňa mieru, Gombasecká jaskyňa a Harmanecká jaskyňa. Zistili bohatý výskyt psychrotrofných baktérií, a najmä mikroskopických húb. Celkový počet kultivovateľných heterotrofných mikroorganizmov pri teplote 22 °C, teda psychrofilných, resp. psychrotrofných mikroorganizmov, varioval v jednotlivých vzorkách rádovo od 10⁴ do 10⁶ KTJ/g. Konvenčnými biochemickými metódami boli identifikované 4 druhy gramnegatívnych, nefermentujúcich proteobaktérií: *Achromobacter xylosoxidans*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Brevundimonas diminuta* a *Pseudomonas* sp. Pozoruhodné bolo, že neboli identifikované žiadne enterobaktérie ani grampozitívne koky.

Molekulárna analýza kultivovateľných baktérií

Najväčším metodickým problémom nielen tejto práce, ale aj podobných štúdií vôbec, je izolácia DNA z takého špecifického environmentálneho systému, aký predstavuje mäkký sinter. Dostatočné množstvo čistej DNA je nevyhnutným predpokladom na jej amplifikáciu, resp. jej determinovaného úseku. Štúdie zaoberajúce sa izoláciou cgDNA z environmentálnych vzoriek využívajú rôzne metódy izolácie. Môžu byť založené na princípe mechanického rozkladu buniek alebo chemického spôsobu extrakcie s použitím rôznych lyzačných pufrov. DNA z týchto vzoriek je väčšinou v nízkych koncentráciách, avšak majú vysoké koncentrácie prirodzených DNA-viažucich agensov. Obidve tieto obmedzenia v jaskynných prostrediach popísali Barton a kol. (2006).

Na účely tejto práce boli vybrané celkovo 3 metódy, ktoré sú založené na mechanickom aj chemickom spôsobe získania cgDNA. Meranie koncentrácie a čistoty získanej DNA však bolo nepresné, pravdepodobne z dôvodu interferencie vápenatých iónov s absorpciou pri 260 nm, čo je vlnová dĺžka na meranie koncentrácií DNA. Vápnik vo vysokých koncentráciách, čo je prípad aj mäkkého sintra, môže interferovať aj s DNA polymerázou pri PCR amplifikácii, čím blokuje jej enzýmovú aktivitu. Dôležitým faktorom je efektívnosť použitej DNA polymerázy, ktorá sa môže vyznačovať rôznou citlivosťou na kalcitové ióny (Al-Soud a Rådström, 1998).

Keďže všetky pokusy o optimalizáciu extrakcie cgDNA z mäkkého sintra a jej následnej amplifikácie neboli úspešné, v ďalších analýzach bola použitá len DNA semi-kultivovateľných mikroorganizmov. Po úspešnej optimalizácii amplifikácie extrahovanej DNA boli produkty PCR reakcie rozdelené pomocou DGGE. Analyzované bakteriálne spektrum tak bolo zúžené len na kultivovateľné taxóny. I tak poskytlo cenné informácie o bakteriálnom profile vo vzorkách mäkkého sintra jaskyne Sokolová a ukázalo významné zmeny v zložení bakteriálnych spoločenstiev tak v čase, ako aj v priestore. Presnejšie výsledky by určite prinieslo sekvenovanie hlavných bandov, ktoré však v tejto fáze štúdie nebolo možné realizovať. Budú jednou z priorit ďalších analýz na tomto projekte.

ZÁVER

Prezentovaná práca je štúdiou, zaoberajúcou sa vo všeobecnosti mikrobiotou mäkkého sintra. Každý doteraz skúmaný mäkký sinter má mikrobiálne osídlenie, v ktorom dominujú vzhľadom na nízke teploty a nízky obsah živín psychrotolerantné a oligotrofné druhy mikroorganizmov. Mäkký sinter z jaskyne Sokolová, skúmaný vo väčšom časovom horizonte, má kultivovateľnú mikrobiálnu zložku, aj keď druhové spektrum bakteriálnej zložky bolo pomerne úzke, čo sa zhoduje so závermi Engelovej a kol. (2013). Môže byť

však rozdielne v geograficky a klimaticky rôznych jaskyniach aj v rámci Slovenska. Z taxonomického hľadiska je otázna prítomnosť archeálnej zložky (taumarcheóny, nanoarcheóny) a málo vieme o mikroskopických hubách, ktoré budú zrejme významnou zložkou mikrobioty mäkkého sintra.

Poznanie mikrobioty mäkkého sintra môže prispieť k dešifrovaniu genézy mäkkých sintrov. Aj keď ich vznik sa všeobecne pokladá za abiotický proces, mikroorganizmy, či už cez precipitačné alebo metabolické procesy, môžu byť aktívnym činiteľom pri tvorbe mäkkých sintrov. Komplexný proces poznávania mikrobiálnej diverzity mäkkých sintrov môže nájsť praktické uplatnenie predovšetkým v biotechnológiách. Adaptované mikroorganizmy mäkkých sintrov môžu byť zdrojom unikátnych organických molekúl, či už nenasýtených a rozvetvených mastných kyselín, bielkovín s enzymatickou aktivitou pri nízkych teplotách alebo bielkovín s funkciou kryoprotektantov.

Hľadanie a poznávanie biodiverzity mäkkého sintra má teda svoje opodstatnenie, aj keď je metodicky a technologicky pomerne náročné a nie vždy s úspešným výsledkom. Táto práca preverila stratégiu metodického postupu, jeho nedostatky, ale aj možnosti. Ide o pilotnú štúdiu ako východisko pre systematickejšie a detailnejšie analýzy mikrobioty mäkkého sintra, a najmä implementáciu vhodných metodických prístupov. V budúcich štúdiách by bolo vhodné zamerať sa bližšie na taxonomický profil nefermentujúcich baktérií, a najmä aktinobaktérií, ako potenciálny zdroj biologicky aktívnych látok, najmä s terapeutickým potenciálom. Mohli by sme sa tešiť z neočakávaných výsledkov.

Podakovanie: Príspevok vznikol počas riešenia projektov VEGA 2/0087/12 a VEGA 1/0636/15 finančne podporených Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- Abraham, W. R., Strömpl, C., Meyer, H., Lindholst, S., Moore, E. R. B., Christ, R., Vancanneyt, M., Tindall, B. J., Bennasar, A., Smit, J., Tesař, M. 1999. Phylogeny and polyphasic taxonomy of *Caulobacter* species. Proposal of *Maricaulis* gen. nov. with *Maricaulis maris* (Poindexter) comb. nov. as the type species, and emended description of the genera *Brevundimonas* and *Caulobacter*. International Journal of Systematic Bacteriology, 49, 1053–1073.
- Aislabie, J. M., Broady, P. A., Saul, D. J. 2006. Culturable aerobic heterotrophic bacteria from high altitude, high latitude soil of La Gorce Mountains (86 degrees 30'S, 147 degrees W), Antarctica. Antarctic Sciences, 18, 313–321.
- Al-Soud, W. A., Rådström, P. 1998. Capacity of nine thermostable DNA polymerases to mediate DNA amplification in the presence of PCR-inhibiting samples. Applied and Environmental Microbiology, 64, 3748–3753.
- Amann, R., Fuchs, B. M. 2008. Single-cell identification in microbial communities by improved fluorescence *in situ* hybridization techniques. Nature Reviews Microbiology, 6, 339–348.
- Barton, H. A., Taylor, N. M., Lubbers, B. R., Pemberton, A. C. 2006. DNA extraction from low-biomass carbonate rock: an improved method with reduced contamination and the low-biomass contaminant database. Journal of Microbiological Methods, 66, 21–31.
- Bindschedler, S., Cailleau, G., Braissant, O., Millière, L., Job, D., Verrecchia, E. P. 2014. Unravelling the enigmatic origin of calcitic nanofibres in soils and caves: purely physicochemical or biogenic processes? Biogeosciences, 2809–2825.
- Boon, N., de Wind, W., Verstrete, W., Top, E. M. 2002. Evaluation of nested PCR-DGGE (denaturing gel electrophoresis) with group specific 16SrRNA primers for the analysis of bacterial communities from different wastewater treatment plants. FEMS Microbiology Ecology, 39, 101–112.
- Borsato, A., Frisia, S., Jones, B., Van Der Borg, K. 2000. Calcite moonmilk: crystal morphology and environment of formation in caves in the Italian Alps. Journal of Sedimentary Research, 70, 1171–1182.

- Boston, P. J., Splide, M. N., Northup, D. E., Melim, L. A., Soroka, D. S., Kleina, L. G., Lavoie, K. H., Hose, L. D., Mallory, L. M., Dahm, C. N., Crosey, L. J., Schelble, R. T. 2001. Cave Biosignature Suites: Microbes, Minerals, and Mars. *Astrobiology*, 1, 25–55.
- Bottari, B., Ercolini, D., Gatti, M. 2006. Application of FISH technology for microbiological analysis: current state and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 73, 485–494.
- Braissant, O., Bindschedler, S., Daniels, A. U., Verrecchia, E. P., Cailleau, G. 2012. Microbiological activities in moonmilk monitored using isothermal microcalorimetry (Cave of vers chez le Brandt, Neuchatel, Switzerland). *Journal of Cave and Karst Studies*, 74, 116–126.
- Cañaveras, J. C., Cuezva, S., Sanchez-Moral, S., Lario, J., Laiz, L., Gonzalez, J. M., Saiz-Jimenez, C. 2006. On the origin of fiber calcite crystals in moonmilk deposits. *Naturwissenschaften*, 93, 27–32.
- Crumlish, M., Dung, T. T., Turnbull, J. F., Ngoc, N. T. N., Ferguson, H. W. 2002. Identification of *Edwardsiella ictaluri* from diseased freshwater catfish, Pangasius hypophthalmus (Sauvage), cultured in the Mekong Delta, Vietnam. *Journal of Fish Diseases*, 25, 733–736.
- Curry, M. D., Boston, P. J., Spilde, M. N., Baichtal, J. F., Campbell, A. R. 2009. Cottonballs, a unique subaqueous moonmilk, and abundant subaerial moonmilk in Cataract Cave, Tongass National Forest, Alaska. *International Journal of Speleology*, 38, 111–128.
- Dartnell, L. R., Hunter, S. J., Lovell, K. V., Coates, A. J., Ward, J. M. 2010. Low-temperature ionizing radiation resistance of *Deinococcus radiodurans* and antarctic dry valley bacteria. *Astrobiology*, 10, 717–732.
- Engel, A. S., Paoletti, M. G., Beggio, M., Dorigo, A. P., Gomiero, T., Furlan, C., Brilli, M., Dreon, A. L., Bertoni, R., Squartini, A. 2013. Comparative microbial community composition from secondary carbonate (moonmilk) deposits: implications for the *Cansiliella servadeii* cave hygroetric food web. *International Journal of Speleology*, 42, 181–192.
- Forti, P. 2001. Biogenic speleothems: an overview. *International Journal of Speleology*, 30, 39–56.
- Gough, H. L., Stahl, D. A. 2003. Optimization of direct cell counting in sediments. *Journal Microbiological Methods*, 52, 39–56.
- Gradziński, M., Szulc, J., Smyk, B. 1997. Microbial agents of moonmilk precipitation. In Jeannin, P. Y. (Ed.): *Proceedings 12th International Congress of Speleology*, Vol. 1. Swiss Speleological Society, La Chaux-de-Fonds, 275–278 s.
- Gradziński, M., Chmiel, M. J., Motyka, J. 2012. Formation of calcite by chemolithoautotrophic bacteria – a new hypothesis, based on microcrystalline cave pisoids. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 82, 361–369.
- Han, X., Andrade, R. 2005. *Brevundimonas diminuta* infections and its resistance to fluoroquinolones. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 55, 853–859.
- Hill, C. A., Forti, P. 1997. *Cave minerals of the world* (2nd edition). National Speleological Society, Huntsville, 464 s.
- Hugenholtz, P. 2002. Exploring prokaryotic diversity in the genomic era. *Genome Biology*, 3, 1–8.
- Cheng, S. M., Foght, J. M. 2007. Cultivation-independent and -dependent characterization of bacteria resident beneath John Evans Glacier. *FEMS Microbiology Ecology*, 59, 318–330.
- Kosina, M. 2014. *Taxonomie kultivovatelných psychrotrofních prokaryot z vodních ekosystémů*. Disertační práce. Masarykova univerzita, Brno, 74 s.
- Li, Y., Kawamura, Y., Fujiwara, N., Naka, T., Liu, H., Huang, X., Kobayashi, K., Ezak, T. 2004. *Sphingomonas yabuuchiae* sp. nov. and *Brevundimonas nasdae* sp. nov., isolated from the Russian space laboratory Mir. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 54, 81–825.
- Liu, Y., Yao, T., Jiao, N., Kang, S., Zeng, Y., Huang, S. 2006. Microbial community structure in moraine lakes and glacial meltwaters, Mount Everest. *FEMS Microbiology Letters*, 265, 98–105.
- Maciejewska, M., Adam, D., Martinet, L., Naômé, A., Całusińska, M., Delfosse, P., Carnol, M., Barton, H. A., Hayette, M. P., Smargiasso, N., De Pauw, E., Hanikenne, M., Baurain, D., Rigali, S. 2016. A phenotypic and genotypic analysis of the antimicrobial potential of cultivable *Streptomyces* isolated from cave moonmilk deposits. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1455.

- Muyzer, G., De Waal, E. C., Uitterlinden, A. G. 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16SrRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 59, 695–700.
- Nocker, A., Burr, M., Camper, A. K. 2007. Genotypic microbial community profiling. *Microbial Ecology*, 54, 276–289.
- Northup, D. E., Lavoie, K. H. 2001. Geomicrobiology of caves: a review. *Geomicrobiology Journal*, 18, 199–222.
- Olsen, G. J., Lane, D. J., Giovannoni, S. J., Pace, N. R., Stahl, D. A. 1986. Microbial ecology and evolution: a ribosomal RNA approach. *Annual Review of Microbiology*, 40, 337–65.
- Olstadt, J., Scahuer, J. J., Standridge, J., Kluender, S. 2007. A comparison of ten USEPA approved total coliform/*E.coli* tests. *Journal of Water Health*, 5, 267–282.
- Onac, B. P. 1995. Mineralogical data concerning moonmilk speleothems in few caves from northern Norway. *Acta Carsologica*, 24, 429–437.
- Otlewska, A., Adamiak, J., Gutarowska, B. 2014. Application of molecular techniques for the assessment of microorganism diversity on cultural heritage objects. *Acta Biochimica Polonica*, 61, 217–225.
- Pindi, P. K., Manorama, R., Begum, Z., Shivaji, S. 2010. *Arthrobacter antarcticus* sp. nov., isolated from an Antarctic marine sediment. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 60, 2263–2266.
- Porter, K. G., Feig, Z. S. 1980. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnology and Oceanography*, 25, 943–948.
- Portillo, M. C., Gonzales, J. M. 2011. Moonmilk deposits originate from specific bacterial communities in Altamira Cave (Spain). *Microbial Ecology*, 61, 182–189.
- Pronk, M., Goldscheider, N., Zopfi, J. 2009. Microbial communities in karst groundwater and their potential use for biomonitoring. *Hydrogeological Journal*, 17, 37–48.
- Rastogi, G., Sani, R. S. 2011. Molecular techniques to assess microbial community structure, function and dynamics in the environment. In Ahmad, I., Ahmad, F., Pichtel, J. (Eds.): *Microbes and microbial technology: agricultural and environmental applications*. Springer, New York, 9–57 s.
- Reasoner, D. J., Geldreich, E.E. 1985. A new medium for the enumeration and subculture of bacteria from potable water. *Applied and Environmental Microbiology*, 49, 1, 1–7.
- Reitschuler, C., Spötl, C., Hofmann, K., Wagner, A. O., Illmer, P. 2016. Archaeal Distribution in Moonmilk Deposits from Alpine Caves and Their Ecophysiological Potential. *Microbial Ecology*, 71, 686–699.
- Reger, P. J., Mockler, D. F., Miller, M. A. 1993. Comparison of antimicrobial susceptibility, p-lactamase production, plasmid analysis and serum bactericidal activity in *Edwardsiella tarda*, *E. ictaluri* and *E. hoshinae*. *Journal of Medical Microbiology*, 39, 273–281.
- Rooney, D. C., Hutchens, E., Clipson, N., Baldini, J., McDermott, F. 2010. Microbial community diversity of moonmilk deposits at Ballynamindra Cave, Co. Waterford, Ireland. *Microbial Ecology*, 60, 753–761.
- Segers, P., Vansanneyt, M., Pot, B., Torck, U., Hoste, B., Dewettinck, D., Falsen, E., Kersters, S, K., De Vos, P. 1994. Classification of *Pseudomonas diminuta* Leifson and Hugh 1954 and *Pseudomonas vesicularis* Busing, Doll, and Freytag 1953 in *Brevundimonas* gen. nov. as *Brevundimonas diminuta* comb. nov. and *Brevundimonas vesicularis* comb. nov., Respectively. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 44, 499–510.
- Seman, M., Gaál, L., Sedláček, I., Laichmanová, M., Jeleň, S. 2009. Mikroflóra mákkého sintra zo slovenských jaskýň. *Slovenský kras*, 47, 99–111.
- Seman, M., Gaálová, B., Cichová, M., Prokšová, M., Haviarová, D., Fľaková, R. 2015. The occurrence of coliform bacteria in the cave waters of Slovak Karst, Slovakia. *Folia Microbiologica*, 60, 269–278.
- Slančík, J., Schlemmerová, L. 1974. Príspevek k fluorescenci nickamínku a sintru. *Československý kras*, 26, 96–97.

- Van de Kamp, J. L., Nichols, D. S., Sanderson, K. 2004. The microbe-mineral interface in caves: A moonmilk perspective. Geological Society of America. Abstracts with Programs, 36, 257.
- Yasuike, M., Kai, W., Nakamura, Y., Fujiwara, A., Kawato, Y., Hassan, E. S., Mahmoud, M. M., Nagai, S., Kobayasi, T., Otokake, M., Nakaid, T. 2014. Complete genome sequence of the *Edwardsiella ictaluri*-specific bacteriophage PEi21, isolated from river water in Japan. Genome Announcements, 2, 1–2.
- Žák, K., Křišťáfek, V., Světlík, I., Brom, R., Stehlíková, Z. 2006. Revize výskytu nickamínku ve Velikonoční jeskyni u Týnčan. Český kras, 32, 17–25.
- Zhang, G., Ma, X., Niu, F., Dong, M., Feng, H., An, L., Cheng, G. 2007. Diversity and distribution of alkaliphilic psychrotolerant bacteria in the Qinghai-Tibet Plateau permafrost region. Extremophiles, 11, 415–424.
- Zhou, S., Herschleb, J., Schwartz, D. C. 2007. A single molecule system for whole genome analysis. Perspectives in Bioanalysis, 2, 265–300.

SLOVENSKÝ KRAS ACTA CARSOLOGICA SLOVACA	55/2	243 – 247	LIPTOVSKÝ MIKULÁŠ 2017
--	------	-----------	------------------------

BIOSPELEOLOGICKÝ PRIESKUM POHORIA BIOKOVO V CHORVÁTSKU – OD PRVOPOČÍATKOV AŽ PO SÚČASNOŠŤ: SLOVENSKO-CHORVÁTSKA EXPEDÍCIA „BIOKOVO 2014“

JÁN LAKOTA

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš;
jan.lakota@smopaj.sk

J. Lakota: The biospeleological research of the Biokovo Mts. in Croatia – from the beginning to the present time: Slovak-Croatian expedition “Biokovo 2014“

Abstract: This paper presents biospeleological research history of the Biokovo Nature Park in Croatia. It is comprised of historical development of biospeleology in the Biokovo Mts. from the past to the present and the results of the research. New cave-dwelling species were discovered and described during the whole biospeleological research. The Slovak-Croatian biospeleological expedition “Biokovo 2014“ introduces the research history and determines the description of a new species of ground beetles, *Speluncarius biokovensis* Hlaváč, Lakota et Čeplík, 2016. The biospeleological study of the caves and pits in the Biokovo Mts. is going to continue in future.

Key words: Croatia, Biokovo Mts., biospeleological research, expedition, new species

ÚVOD

Pohorie Biokovo ako súčasť Dinárskeho krasu je jedinečným celkom, týčiacim sa nad Makarskou riviérou v Chorvátsku. Vystupuje od hladiny mora po svoj najvyšší vrchol Sveti Jure s výškou 1762 m n. m. Zároveň je to tretí najvyšší vrch Chorvátska. Hlavný hrebeň Biokova má dĺžku 25 km a v roku 1981 bolo toto pohorie vďaka svojmu rastlinstvu, živočíšstvu a významným prírodným osobitostiam vyhlásené za Národný park Biokovo s rozlohou 195,5 km².

HISTÓRIA VÝSKUMOV A OBJAVOV

Prvé biospeleologické a entomologické výskumy v tomto pohorí sa začínajú už začiatkom minulého storočia, podobne ako v celej Dalmácii a priľahlých oblastiach. Aj keď od objavu prvého jaskynného chrobáka *Leptodirus hohenwartii* Schmidt, 1832, objaveného Lukom Čečom, pomocným jaskynným osvetľovačom v Postojenskej jaskyni v Slovinsku, prešlo už takmer storočie, záujem domácich i zahraničných entomológov o jaskynné troglobiontné chrobáky neutícha. Práve naopak, do odľahlých a neprístupných jaskýň Dinárskeho krasu sa čoraz častejšie organizujú prieskumné expedície so zameraním na objavovanie a zber práve takýchto živočíchov. A tak sa aj na Biokove začínajú objavovať prvé endemické či troglobiontné druhy chrobákov (Coleoptera), ako *Duvalius (Biharotrechus) biokovensis* (Holdhaus, 1911), *Roubaliella biokovensis* Jeannel, 1925, šťúrik *Protoneobisium biocovense* (G. Müller, 1931) a ďalšie troglobiontné chrobáky. Až do objavenia druhu *Kircheria beroni* Giachino & Vailati, 2006 v Albánsku sa chrobák

Speoplanes giganteus biocovensis Müller, 1934 stáva na dlhé desaťročia najväčším trogliontým leptodirinom (Coleoptera, Cholevidae) na svete. Postupne pribudli ďalšie druhy: *Duvalius comes* Scheibel, 1934, *Radziella styx* Casale & Jalžić, 1988 a jeden z najväčších jaskynných bystruškovitých chrobákov podčeľade Trechinae *Dalmataphaenos chiarae* Monguzzi, 1993 (Coleoptera, Carabidae). Opis tohto druhu prebiehal za dosť nezvyčajných okolností: chorvátski biospeleológovia Branko Jalžić a Tonči Rađa objavili tento nový rod už pred 10 rokmi v priepasti Jama pod Kamenitima vratama a v priepasti Stara škola na lokalite Lokva vo vrcholovej oblasti Biokova. Informácia o náleze sa však dostala aj k talianskemu entomológovi Riccardovi Monguzzimu, ktorý túto oblasť navštívil a našiel niekoľko kusov tohto vzácného druhu v bližšie nešpecifikovanej jaskyni v oblasti pod vrcholom Sveti Jure. A tak, kým záhrebský biospeleológ Branko Jalžić pripravil a publikoval jeho opis pod názvom *Biokovoaphaenopsis radici* Jalžić, 1993, vychádza v Taliansku pár týždňov predtým opis Monguzziho, čím získava autorskú prioritu, aj keď takýto druh súperenia na vedeckom poli nemá miesto.

Na Biokove boli objavené aj endemické druhy mnohonôžok (Diplopoda), ako *Dyoce-rasoma biokovense* Mršić, 1986, *Macrochaetosoma troglomontanum biokovense* Mršić, 1987 alebo *Biokoviella mauriesi* Mršić, 1992. Na prelome tisícročí pôsobí v tejto oblasti český biospeleológ Roman Mlejnek a výsledkom jeho výskumov je okrem iného aj objav a následný opis nového druhu chrobáka *Lovricia aenigmatica* Lakota, Mlejnek & Jalžić, 2002 (Coleoptera, Carabidae). Rod *Lovricia* bol dovtedy známy len ako monotypický rod, s jediným druhom *Lovricia jalzici* Pretner, 1979, dodnes známy len v jedinom exemplári z jaskyne Gospodska špilja (Cetina, Vrlika). Pri prieskume jaskýň na úpätí Biokova v jaskyni Špilja u Radinovicima objavil chorvátsky biospeleológ Roman Ozimec ďalší nový rod, pomenovaný na počesť objaviteľa ako *Neolovricia ozimeci* Lakota, Jalžić & Moravec, 2009. Obidva rody, *Lovricia* aj *Neolovricia*, boli spoločne s ďalším novoobjaveným rodom a druhom *Paralovricia beroni* Giachino, Guéorguiev & Vailati, 2011 z Bulharska zahrnuté do novostanoveného subtribu Lovriciina (Coleoptera, Carabidae, Trechinae, Bembidiini). Zároveň bol v priepasti Pretnerova jama a v jaskyni Tučepska Vilenjača objavený nový druh chrobáka *Leptomeson biokovensis* Giachino, Bregović & Jalžić, 2011. V poslednom čase pribudli aj objavy ďalších druhov chrobákov z čeľade Pselaphidae: *Biokovobythus radici* Pavičević & Ozimec, 2014 a nové, doteraz nepublikované druhy rodu *Thaumastoccephalus* Poggi, Nonveiller, Colla, Pavičević & T. Rađa, 2001.



Obr. 2. Základný tábor jarnej expedície „Biokovo 2014“ bol v Planinarskom dome pod Sv. Jurom. Foto: J. Čeplík

Fig. 2. Base camp of the spring's expedition “Biokovo 2014“ in a shelter hut under the Sv. Jure Mt. Photo: J. Čeplík



Obr. 3. Údolie pod vrcholom Sv. Jure, centrálna časť masívu Biokovo. Foto: J. Čeplík

Fig. 3. Walley under the peak of the Sv. Jure Mt., central part of the Biokovo massif. Photo: J. Čeplík

EXPEDÍCIA „BIOKOVO 2014“

Práve nové objavy z poslednej doby sa stali impulzom na zorganizovanie ďalšej expedície do tejto oblasti, na ktorej sa spolupodieľali členovia slovenskej biospeleologickej organizácie Biospeleologica Slovaca a chorvátskeho biospeleologického družstva HBSD, ktoré nám pomohlo vybaviť všetky potrebné povolenia na výskum v Národnom parku Biokovo v zmysle dohodnutých projektov: „Biológia ohrozených a chránených živočíšnych druhov Chorvátska“ a „Výskum endogénnej fauny Dinaridov“. Hlavnými organizátormi týchto projektov boli za chorvátsku stranu Iva Mihoci a za slovenskú stranu Peter Hlaváč. Z chorvátskeho biospeleologického družstva sa expedície zúčastnili Branko Jalžič a Petra Bregović, za slovenskú stranu to boli Dávid Čeplík, Jaroslav Čeplík, Gejza Dunay, Peter Hlaváč a Ján Lakota. Termín expedície bol stanovený na 26. 4. – 3. 5. 2014 a druhá časť na termín 10. 10. – 17. 10. 2014. Zatiaľ čo chorvátski kolegovia vybavovali skúmané priepasti a jaskyne technickým zabezpečením s následným prieskumom, slovenská strana mala na starosti endogénny povrchový prieskum vybraných lokalít Biokova. Tam sme mali v pláne prieskum pomocou SSHs pascí (z angličtiny – superficial subterranean habitats, ekvivalent francúzskeho označenia MSS) – podzemných vnadiacich pascí, ktoré sa zakopávajú do zeme, do prostredia, kde sa podzemné kamenné sutinovisko stretáva s povrchovou vrstvou pôdy a vytvára prirodzené prostredie pre hmyz žijúci pod zemou. Tieto pasce pozostávajú zo sklenenej nádoby s objemom cca 250 – 300 ml, návnady vábiacej hmyz žijúci pod zemou (napr. aromatický syr alebo rozkladajúce sa mäso) a konzervačnej látky; v našom prípade to bol nasýtený roztok kuchynskej soli s liehovým octom. V jarnej časti expedície sme inštalovali podzemné pasce na vybraných stanovištiach, na jeseň sme pasce vybrali i s odchytaným materiálom, ktorý bol následne preparovaný, determinovaný a uložený v depozitných zbierkach v Chorvátsku a na Slovensku. Okrem endogénnych povrchových lokalít sme spoločne navštívili 15 speleologických objektov, jaskyne a priepasti: Jama Lovričija 1, Lovričija 3 (priepasť Jama Lovričija 2 sme napriek opakovanej snahe nenašli), Jama pod Sv. Jurom, Kašogijeva jama, Tučepska Vilenjača, Jama za Supinom, Jama



Obr. 6. Bystruškovitý chrobák *Lovricia aenigmatica*, endemit priepasti vrcholovej časti pohoria Biokovo. Foto: P. Bregović
 Fig. 6. Ground beetle *Lovricia aenigmatica*, endemic species to the pits in the upper area of the Biokovo Mts. Photo: P. Bregović

u dolcu, Spila 1, Spila 2, Jujnoviča špilja, Špilja u Radinovicima, Grabovačka špilja, špilja Podrum, Bubnjevača a Baba. Biospeleologický materiál, ktorý sa získal z uvedených lokalít, či už individuálnym zberom počas prieskumov alebo systémom vnadiacich pascí, bol roztriedený a determinovaný takto: *Laemos-tenus cavicola*, *L. elongatus*, *Dalmataphaenops chiarae*, *Roubaliella biokovensis*, *Speoplanes giganteus biocovens- sis*, *Lovricia aenigmatica*, *Duvalius comes*, *Neotrechus dalmatinus*, *Leptomeson bio-*

kovensis, *L. dombrowskii*, *Laneryella staudacheri*, *Laneryella* sp. a *Speonesiotes* sp. Počas vyberania pascí sa individuálne našiel v jaskyni Jujnoviča špilja a následne v pasciach v jaskyni Spila 2 nový druh bystruškovitého chrobáka, dosahujúci veľkosť až 12 mm, patriaceho do rodu *Speluncarius* Reitter, 1886 (Coleoptera, Carabidae, Harpalinae, Pterostichini). Tento zaujímavý druh bol následne opísaný ako *Speluncarius biokovensis* Hlaváč, Lakota & Čepčík, 2016, čím bola táto expedícia úspešne zavŕšená.

ZÁVER

V nasledujúcom roku 2015 sa zúčastnili expedície na Biokove aj študenti biológie z univerzity v Lubláne v spolupráci s členmi chorvátskeho biospeleologického družstva v snahe nájsť ďalšie doteraz neznáme druhy. Pri prieskume 254 m hlbkej priepasti Pretnerova jama sa im podarilo nájsť druh *Radziella styx* Casale & Jalžić, 1988 a urobili nové merania a nákres tejto priepasti. Navyše v Pretnerovej jame a v priepasti Biokovka bol objavený ďalší nový rod, morfológicky podobný rodu *Adriaphaenops* z Hercegoviny, Čiernej Hory a Albánska a tiež nedávno opísanému rodu *Derossiella*, známemu doteraz len ako jediný exemplár nového druhu *Derossiella nonveilleri* Quéinnec, 2008 z malej priepastovitej jamy na planine Mosor. Tento nový rod a druh sa znova našiel v priepasti Biokovka aj v júni 2017 počas biospeleologického prieskumu pohoria Biokovo družstvom HBSD a bude v dohľadnom čase pomenovaný a opísaný v odbornej literatúre. Biospeleologické prieskumy pohoria Biokovo budú určite pokračovať aj naďalej. Ešte stále je čo objavovať.

LITERATÚRA

- Casale, A., Jalžić, B. 1988. *Radziella* (new genus) *styx* n. sp. a new exceptional troglobitic Bathysciinae (Coleoptera, Catopidae) from the Dinaric Region, Jugoslavia. Bollettino del Museo regionale di Scienze naturali di Torino, 6, 2, 349–358.
- Giachino, P. M., Bregović, P., Jalžić, B. 2011. Five new species of the genus *Leptomeson* Jeannel, 1924, from Croatia and Bosnia and Herzegovina (Coleoptera, Cholevidae, Leptodirinae). Natura Croatica, 20, 2, 355–374.

- Giachino, P. M., Guéorguiev, B. V., Vailati D. 2011. A new remarkable subterranean beetle of the Rhodopes: *Paralovricia* gen. n. *beroni* sp. n. belonging to Lovriciina new subtribe (Coleoptera, Carabidae, Trechinae, Bembidiini). *ZooKeys*, 17, 59–72.
- Giachino, P. M., Vailati, D. 2006. *Kircheria beroni*, a new genus and new species of subterranean hygropterocolous Leptodirinae from Albania (Coleoptera, Cholevidae). *Subterranean Biology*, 4, 103–116.
- Hlaváč, P., Lakota, J., Čeplík, D. 2016. Endogean and cavernicolous beetles of Balkans. XVII. New species of the genus *Speluncarius* Reitter, 1886 (Coleoptera, Carabidae, Harpalinae, Pterostichini) from Croatia, *Zootaxa*, 4161, 1, 137–140.
- Holdhaus, K. 1911. Ein neuer Trechus aus Dalmatien. *Entomologische Blätter*, 7, 165.
- Jalžić, B. 1993. *Biokovoaphaenopsis* (new genus) radici n. sp. a new troglobitic Carabidae: Trechinae (Coleoptera, Carabidae) from the Dinaric karst region of Croatia (Dalmatia). *Spelaecologia Croatia*, 4, 73–78.
- Jeannel, R. 1925. Premier supplément à la monographie des Bathysciinae. *Archives de Zoologie expérimentale et générale (notes et revue)*, 64, 3, 71–77.
- Lakota, J., Jalžić, B., Moravec J. 2009. *Neolovricia ozimeci* n. gen. et n. sp. a new genus and new species of subterranean Trechinae Carabid from central Dalmatia (Coleoptera: Carabidae: Anillina) with notes on distribution of *Lovricia aenigmatica*. *Natura Croatica*, 18, 1, 1–13.
- Lakota, J., Mlejnek, R., Jalžić B. 2002. *Lovricia aenigmatica* – a new species of troglobitic beetle from Croatia (Coleoptera: Carabidae). *Natura Croatica*, 11, 1, 19–25.
- Monguzzi, R. 1993. *Dalmataphaenops* (n.gen.) chiarae (n.sp.) nuovo eccezionale Trechino troglobio della regione dinarica e considerazioni sul genere *Aphaenopsis* G. Müller, 1913 (Coleoptera Carabidae Carabidae: Trechinae). *Natura Bresciana*, 28 (1992), 231–242.
- Mršić, N. 1986. *Dyocerasoma* (*Dyocerasoma*) *biokovense* sp. n. (Diplopoda: Craspedosomatidae). *Biološki vestnik*, 34, 1, 81–88.
- Mršić, N. 1987. Diplopod fauna (Diplopoda: Myriapoda) Biokova. *Acta Biokovica* 4, 267–276.
- Mršić, N. 1992. *Biokoviella mauriesi* gen. nov., sp. nov., Macrochaetosomatinae subfam. nov. (Anthogonidae) and superfamily Cleidodonoidea (Craspedosomatidae, Diplopoda) of the Western Balkans. *Razprave IV. razr. SAZU*, 33/3, 51–91.
- Müller, J. [G]. 1931. Nuovi Pseudoscorpioni cavernicoli appartenenti al sottogenere *Blothrus* Schiödte. *Bollettino della Società entomologica Italiana*, 63, 125–127.
- Müller, J. [G]. 1934. Diagnosi preliminare di nuovi Coleotteri ipogei et cavernicoli. *Atti del Museo civico di Storia naturale, Trieste*, 12, 176–181.
- Pavičević, D., Ozimec, R. 2014b. A new troglobitic genus of Bythinini (Staphylinidae, Pselaphinae) from Biokovo Mt., Central Dalmatia, Croatia. *Fauna balkana*, 2 [2013], 269–280.
- Pretner, E. 1979. *Lovricia jalzici* novi rod i nova vrsta podzemnog kornjaša (Coleoptera, Carabidae) iz Dalmacije. [Lovricia jalzici gen. nov. spec. nov. (Coleoptera, Carabidae) ein neuer unterirdischer Käfer aus Dalmatien]. *Razred za Prirodne Znanosti Jugoslavenske Akademije Znanosti i Umjetnosti (Zagreb)* 18, 377–385.
- Quéinnec, E. 2008. Two new genera and species of ‘Aphaenopsoid’ cave beetles from the Balkan Peninsula and considerations about the evolutionary trends of the so-called “hyper-specialized” Carabidae: Trechinae (Coleoptera, Carabidae): 157–176, In D. Pavičević & M. Perreau (Eds.): *Advances in the studies of the fauna of the Balkan Peninsula. Papers dedicated to the memory of Guido Nonveiller*. Institute for Nature Conservation of Serbia, Belgrade, Monographs, 22, viii+564 pp.
- Scheibel, O. 1934. Neue Trechini aus Jugoslawien. (2. Beitrag). *Koleopterologische Rundschau*, 20, 119–124.
- Schmidt, F. J. 1832. Beitrag zu Krains Fauna. *Illyrisches Blatt*, 3, 9–10.

Slovenský kras, ročník 55, číslo 2
Acta Carsologica Slovaca

Rok vydania:	október 2017
Vydanie:	prvé
Evidenčné číslo:	EV 3878/09
Vydavateľ:	Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva a Štátna ochrany prírody Slovenskej republiky – Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš
Sídlo vydavateľa a adresa redakcie:	Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš, IČO: 361 45 114
Jazyková korektúra:	Mgr. Bohuslav Kortman (slovenský jazyk) Mgr. Juraj Littva, PhD., RNDr. Michal Rendoš, PhD., Ing. Peter Gažík (anglický jazyk)
Anglické preklady:	autori príspevkov
Grafika:	Ing. Jiří Goralski
Tlač:	RNDr. Daniel Kollár, CSc., DAJAMA, Obchodná 48, 811 06 Bratislava
Náklad:	400 ks
Cena:	Nepredajné
Obálka:	Jaskyňa Okno, Demänovská dolina. Foto: P. Staník

ISSN 0560-3137