



Arcajoniť

20/2

2015

Správa slovenských jaskýň



ARAGONIT

vedecký a odborný časopis Správy slovenských jaskýň

Časopis uverejňuje:

- pôvodné vedecké príspevky z geologického, geomorfologického, klimatologického, hydrologického, biologického, archeologického a historického výskumu krasu a jaskýň, najmä z územia Slovenska
- odborné príspevky zo speleologického prieskumu, dokumentácie a ochrany jaskýň
- informatívne články zo speleologických podujatí
- recenzie vybraných publikácií

Vydavateľ: Štátna ochrana prírody SR, Tajovského ul. 28B, 974 01 Banská Bystrica
IČO 17 058 520

Adresa redakcie: Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš;
e-mail: bella@ssj.sk, zelinka@ssj.sk

Zodpovedný redaktor: RNDr. Ján Zuskin

Hlavný editor: doc. RNDr. Pavel Bella, PhD.

Výkonný redaktor: RNDr. Ján Zelinka

Redakčná rada: prof. RNDr. Pavel Bosák, DrSc., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., Ing. Peter Gažík, Dr. hab. Michal Gradziński, Mgr. Dagmar Haviarová, PhD., doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc., doc. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., Ing. Ľubica Nudzíková, doc. Mgr. Martin Sabol, PhD.

Časopis vychádza dvakrát ročne

Evidenčné číslo: EV 3569/09

ISSN 1335-213X

<http://www.ssj.sk/edicna-cinnost/aragonit/>

ARAGONIT

ročník 20, číslo 2/ december 2015

Recenzenti vedeckých príspevkov z výskumu krasu a jaskýň: doc. RNDr. Pavel Bella, PhD., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., Mgr. Dagmar Haviarová, PhD., RNDr. Vladimír Košel, CSc., RNDr. Peter Malík, CSc., RNDr. Alena Nováková, CSc., RNDr. Dana Papajová, PhD.

© Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš

Redaktor: Mgr. Bohuslav Kortman

Grafická úprava a sadzba: Ing. Ján Kasák

Tlač:

Obrázky na obálke:

(1) Klenotnica, Demänovská jaskyňa slobody. Foto: P. Staník

(2) Krásnohorská jaskyňa. Foto: P. Staník

(3) Mapa prehľadkového okruhu Demänovskej jaskyne mieru a nadväzujúcej časti Demänovskej jaskyne slobody. Spracoval: P. Herich

(4) Priepast' v Pustej jaskyni, Demänovský jaskynný systém. Foto: P. Staník

OBSAH / CONTENTS**VÝSKUM KRASU A JASKÝŇ / RESEARCH OF KARST AND CAVES**

<i>L. Gaál: Jaskyne Divínskeho hradného vrchu / Caves of Divín Castle Hill, Tuhár Karst, Slovakia</i>	75
<i>D. Haviarová – R. Flaková – B. Gavuliaková – Z. Ženišová: Formovanie chemického zloženia krasových vôd v Krásnohorskej jaskyni (Silická planina, Slovenský kras) / Formation of chemical composition of karst water in the Krásnohorská Cave (Silická Plateau, Slovak Karst)</i>	79
<i>P. Bella – M. Veselský: Jaskynné úrovně a ich morfofenetické varianty / Cave levels and their morphogenetic variants</i>	90
<i>M. Seman – A. Dršková: Mikrobiálne komunity jaskýň / Microbial communities of caves</i>	97
<i>V. Papáč – Z. Višňovská – A. Gresch: Poznatky o výskyte bezstavovcov a netopierov v Malužinskej jaskyni (Nízke Tatry) / Present knowledge on the occurrence of invertebrates and bats in the Malužinská Cave (Nízke Tatry Mts.)</i>	107

DOKUMENTÁCIA, OCHRANA A VYUŽÍVANIE JASKÝŇ / DOCUMENTATION, PROTECTION AND UTILIZATION OF CAVES

<i>P. Herich: Nové zameranie prehliadkového okruhu Demänovskej jaskyne mieru a nadväzujúcej časti Demänovskej jaskyne slobody / New survey of the visitors' trail of the Demänovská Cave of Peace and the adjoining part of the Demänovská Cave of Liberty</i>	113
<i>I. Balciar – P. Staník: Praktická starostlivosť o jaskyne na Slovensku v rokoch 2014 a 2015 / Practical care of caves in Slovakia during 2014 and 2015</i>	117

SPRÁVY A AKTUALITY / REPORTS AND NEWS

<i>L. Gaál: Ako sme v Domici privítali prezidentov / How we welcomed presidents in the Domica Cave</i>	119
<i>P. Bella: 10. vedecká konferencia „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň“ / 10th Scientific Conference „Research, Utilisation and Protection of Caves“</i>	120
<i>L. Nudzíková – A. Laurincová: Návštevnosť sprístupnených jaskýň na Slovensku v roku 2014 / Slovak show caves attendance in 2014</i>	122
<i>L. Gaál – I. Balciar: Pseudokrasové sympóziu v Kunčiciach / Pseudokarst symposium in Kunčice, Czech Republic</i>	123
<i>M. Kudla: Výstava o Jánovi Majkovi, objaviteľovi jaskyne Domica / Exhibition on Ján Majko, discoverer of the Domica Cave</i>	124

KARSOLOGICKÁ A SPELEOLOGICKÁ LITERATÚRA / KARSTOLOGICAL AND SPELEOLOGICAL LITERATURE

<i>J. Littva: S. Shanov – K. Kostov: Dynamic Tectonics and Karst</i>	125
<i>P. Bella: D. W. Kirkland: Role of hydrogen sulfide in the formation of cave and karst phenomena in the Guadalupe Mountains and Western Delaware Basin, New Mexico and Texas</i>	125

JASKYNE DIVÍNSKEHO HRADNÉHO VRCHU

Ludovít Gaál

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

L. Gaál: Caves of Divín Castle Hill, Tuhár Karst, Slovakia

Abstract: Two interesting caves of the Divín Castle Hill in the northern part of the Tuhár Karst in Revúcka vrchovina Mts. (southern Slovakia) was discovered by F. Radinger (2014a,b). Its geological and morphological characteristics are brought by this paper. The Castle Hill is formed in the Middle Triassic variegated crystalline limestone (Tuhár Marble). In the Divínska hradná Cave (Divín Castle Cave) with a length of 105.7 m, a horizontal passage is created in 10 m depth which indicates a horizontal circulation of karst waters in the Middle Pleistocene. This horizon is possible to correlate with the Mindel proluvial fans conserved on the right side of Budinský Brook. The second (smaller) cave is created in dark grey bedded marly limestone with dark shales in the underbed of the Tuhár Marble. It behaved probably as estavela in the Late Pleistocene or Holocene.

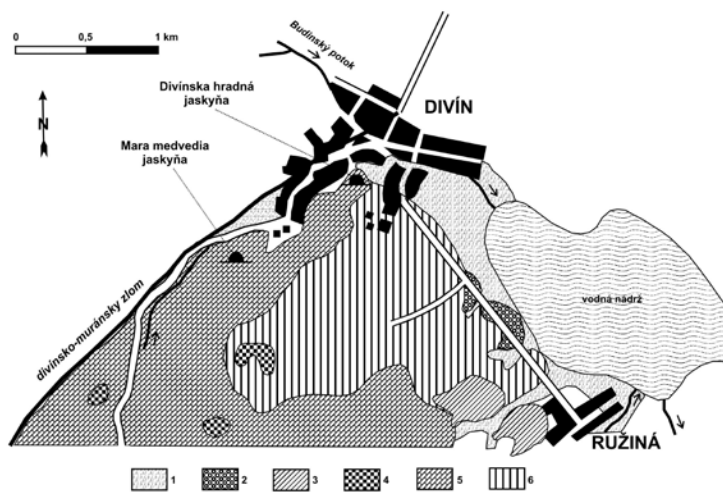
Key words: karst, solutional cave, crystalline limestone, marly limestone

ÚVOD

Divínsky hradný vrch predstavuje osamelé vápencové bralo v severozápadnej časti Tuhárskeho krasu, priamo v obci Divín (obr. 1). Územie Tuhárskeho krasu, ktoré sa na ploche okolo 10 km² rozprestiera medzi obcami Tuhár, Ružiná a Mýtina v najzápadnejšej časti Revúckej vrchoviny, nevyniká veľkou hustotou jaskýň. Donesená tu bola známa len 13 m dlhá Mara medvedia jaskyňa a niekoľko výplní krasových dutín (Gaál a Ženiš, 1989), ku ktorým neskôr pribudli dve malé jaskyne, Morháčova a Ružinská diera s dĺžkami 14 m, resp. 10 m (Radinger a Nociar, 2004). Vďaka neúnavnej práci lučenských jaskyniarov, členov Oblastnej speleologickej skupiny Rimavská Sobota, sa postupne stali známymi aj jaskyne v Divínskom hradnom vrchu, kde by prítomnosť podzemných dutín málokto očakával. F. Radinger na základe informácií majiteľa vinárne pod Divínskym hradom v rokoch 2011 a 2012 vykopal a preskúmal malú jaskyňu, ktorá dostala názov Divínska vináreň. Zamerali

priepasti rozšíriť malú štrbinu a preniknúť do ďalších podzemných priestorov. Novoobjavené priestory sme zamerali dňa 23. 8. 2013, čím celková dĺžka Divínskej hradnej jaskyne vzrástla na 105,7 m s hĺbkou 13,4 m. Postupnosť prieskumu a objavov oboch jaskýň Divínskeho hradného vrchu podrobne opísal F. Radinger (2014a,b), ich odbornú geologickú a morfológickú charakteristiku predkladáme v predmetnom príspevku.

rozápadné rameno je silne redukované výrazným divínsko-muránskym zlomom s veľmi strmo uloženými, miestami aj vztýčenými vrstvami. Práve v tomto ramene sa nachádza aj Divínsky hradný vrch. Z asymetrického charakteru synklinály vyplýva aj zachovanosť vrstevného sledu. V juhovýchodnom ramene je vrstevný sled úplnejší. Začína sa hrubými vrstvami metamorfovaných kremičitých pieskoviec, kremencov a bridlic spodného triasu, nad ktorými sú v užšom pásme zachované raubaky a kavernózne dolomity. Spodnotriasové členy v severozápadnom ramene chýbajú, sú tektonicky úplne vyredukované. Stredný trias reprezentujú tmavosivé doskovité až bridličnaté vápence s bridlicami (stratigrafický horizont je korelovateľný s gutensteinským súvrstvom), ktoré sa v útržkoch zachovali v oboch ramenách synklinály. Nad nimi je vyvinutý hrubý súbor pestrých kryštalickejších vápencov, tzv. tuhárskeho mramoru. Na tento mierne metamorfovaný súbor svetlosivých, fialových, ružovkastých, žltohnedých a sivých doskovitých pružkových vápencov je viazaná prevažná časť krasových javov územia. Vápence sú rekrystalizované, po metamorfóze majú pružkovú textúru, preto sú vyhľadávanou surovinou, ktorú fažia v tuhárskom a ružinskom kameňolome. V súbore kryštalickejších vápencov sa miestami vyskytujú aj ružovkasté dolomity. Vek kryštalickejších vápencov a dolomitov je pravdepodobne stredný až vrchný trias (Plašienka, 1983; Vass et al., 1992). V zredukovanom severnom ramene synklinály pri Tuhári ojedinele na povrch vystupujú aj najvyššie (vrchnotriasové) členy tuhárskeho mezozoika: laminy svetlohnedých kryštalickejších karbonátov, ktoré sa striedajú s fylitickými bridlicami a vložkami hnedých



Obr. 1. Situačná mapa okolia Divína. Na základe podkladov Vass et al. (1992) spracovali L. Gaál a I. Balciar. Vysvetlivky: 1 – niva Budinského potoka, 2 – riské riečne terasy, 3 – mindelské náplavové kužele, 4 – miocénne vulkanoklastiká andezitov, 5 – triasové vápence a dolomity, 6 – karbónske bridlice s magnezitmi

Fig. 1. Situation map of the vicinity of Divín Village. Compiled by L. Gaál and I. Balciar, based on Vass et al. (1992). Explanations: 1 – alluvium of Budinský Brook, 2 – Rissian fluvial terraces, 3 – Mindelian alluvial fans, 4 – Miocenian volcanoclastics, 5 – Triassic limestone and dolomite, 6 – Carboniferous shales with magnesite

GEOLOGICKÁ STAVBA A VÝVOJ OKOLITÉHO KRASOVÉHO ÚZEMIA

Podstatu geologickej stavby Tuhárskeho krasu najviac vystihuje práca Plašienku (1983). Podľa nej tu na povrch vystupujú mezozoické súbory veporika v podobe niekoľkými prešmykmi a šupinami komplikovanej asymetrickej vejárovitej synklinály (synformy) s priebehom osovej roviny SV-JZ alebo až ZJZ-VSV. Juhovýchodné rameno synklinály je miernejšie uložené, kým seve-

rozápadné rameno je silne redukované výrazným divínsko-muránskym zlomom s veľmi strmo uloženými, miestami aj vztýčenými vrstvami. Práve v tomto ramene sa nachádza aj Divínsky hradný vrch. Z asymetrického charakteru synklinály vyplýva aj zachovanosť vrstevného sledu. V juhovýchodnom ramene je vrstevný sled úplnejší. Začína sa hrubými vrstvami metamorfovaných kremičitých pieskoviec, kremencov a bridlic spodného triasu, nad ktorými sú v užšom pásme zachované raubaky a kavernózne dolomity. Spodnotriasové členy v severozápadnom ramene chýbajú, sú tektonicky úplne vyredukované. Stredný trias reprezentujú tmavosivé doskovité až bridličnaté vápence s bridlicami (stratigrafický horizont je korelovateľný s gutensteinským súvrstvom), ktoré sa v útržkoch zachovali v oboch ramenách synklinály. Nad nimi je vyvinutý hrubý súbor pestrých kryštalickejších vápencov, tzv. tuhárskeho mramoru. Na tento mierne metamorfovaný súbor svetlosivých, fialových, ružovkastých, žltohnedých a sivých doskovitých pružkových vápencov je viazaná prevažná časť krasových javov územia. Vápence sú rekrystalizované, po metamorfóze majú pružkovú textúru, preto sú vyhľadávanou surovinou, ktorú fažia v tuhárskom a ružinskom kameňolome. V súbore kryštalickejších vápencov sa miestami vyskytujú aj ružovkasté dolomity. Vek kryštalickejších vápencov a dolomitov je pravdepodobne stredný až vrchný trias (Plašienka, 1983; Vass et al., 1992). V zredukovanom severnom ramene synklinály pri Tuhári ojedinele na povrch vystupujú aj najvyššie (vrchnotriasové) členy tuhárskeho mezozoika: laminy svetlohnedých kryštalickejších karbonátov, ktoré sa striedajú s fylitickými bridlicami a vložkami hnedých

rozápadné rameno je silne redukované výrazným divínsko-muránskym zlomom s veľmi strmo uloženými, miestami aj vztýčenými vrstvami. Práve v tomto ramene sa nachádza aj Divínsky hradný vrch. Z asymetrického charakteru synklinály vyplýva aj zachovanosť vrstevného sledu. V juhovýchodnom ramene je vrstevný sled úplnejší. Začína sa hrubými vrstvami metamorfovaných kremičitých pieskoviec, kremencov a bridlic spodného triasu, nad ktorými sú v užšom pásme zachované raubaky a kavernózne dolomity. Spodnotriasové členy v severozápadnom ramene chýbajú, sú tektonicky úplne vyredukované. Stredný trias reprezentujú tmavosivé doskovité až bridličnaté vápence s bridlicami (stratigrafický horizont je korelovateľný s gutensteinským súvrstvom), ktoré sa v útržkoch zachovali v oboch ramenách synklinály. Nad nimi je vyvinutý hrubý súbor pestrých kryštalickejších vápencov, tzv. tuhárskeho mramoru. Na tento mierne metamorfovaný súbor svetlosivých, fialových, ružovkastých, žltohnedých a sivých doskovitých pružkových vápencov je viazaná prevažná časť krasových javov územia. Vápence sú rekrystalizované, po metamorfóze majú pružkovú textúru, preto sú vyhľadávanou surovinou, ktorú fažia v tuhárskom a ružinskom kameňolome. V súbore kryštalickejších vápencov sa miestami vyskytujú aj ružovkasté dolomity. Vek kryštalickejších vápencov a dolomitov je pravdepodobne stredný až vrchný trias (Plašienka, 1983; Vass et al., 1992). V zredukovanom severnom ramene synklinály pri Tuhári ojedinele na povrch vystupujú aj najvyššie (vrchnotriasové) členy tuhárskeho mezozoika: laminy svetlohnedých kryštalickejších karbonátov, ktoré sa striedajú s fylitickými bridlicami a vložkami hnedých



Obr. 2. Vchod do Divínskej hradnej jaskyne. Foto: L. Gaál
Fig. 2. The entrance od Divínska hradná Cave (Divín Castle Cave).
Photo: L. Gaál

silicítov. Vo výplniach trhlín tuhárskeho a ružínskeho kameňolomu sa ojedinele zachovali aj brekcie mladších, zrejme jurských krinoidových vápencov. Mezozoický súbor Tuhárskeho krasu je stratigraficky zaradený do federátskej skupiny, ktorá tvorí mezozoický obal veporika (Plašienka, 1983; Vass et al., 1992).

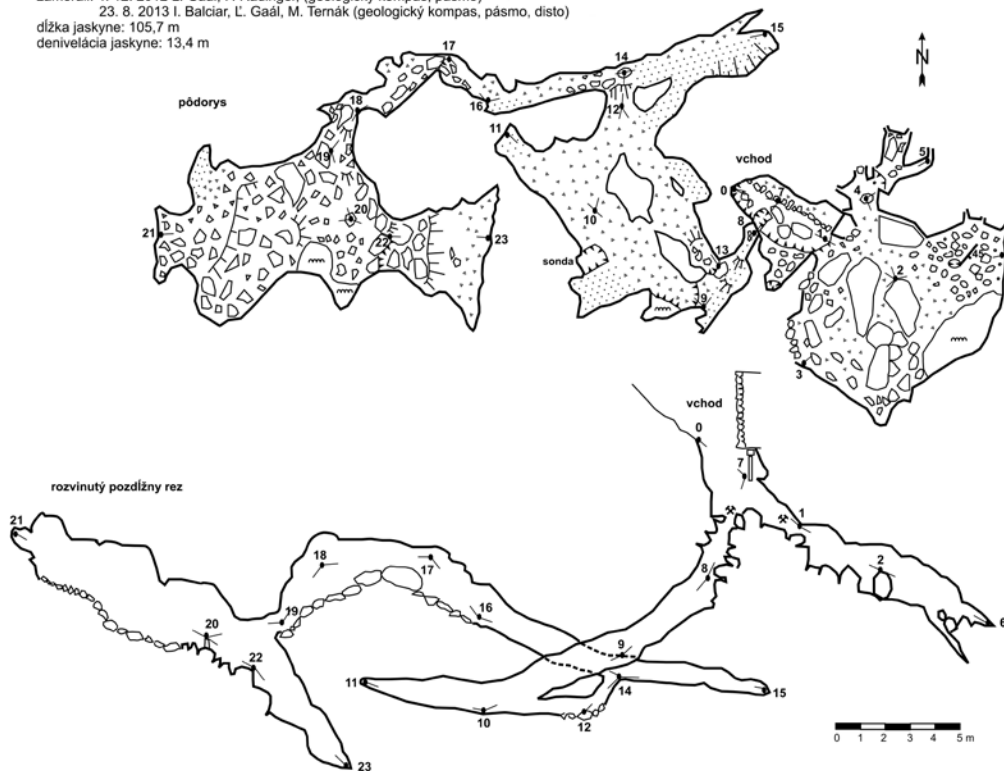
Na mezozoický súbor veporika je južne od Divína nasunutá príkrovová troska gemerického karbónu ochtinského súvrstvia. Pozostáva z tmavosivých fylitov s telesami magnezitov, ktoré v minulosti boli aj predmetom ťažby.

Juhozápadné pokračovanie Tuhárskeho krasu v oblasti západne od Tuhárskeho potoka je zakryté strednomiocénnymi andezitovými vulkanoklastikami. Usudzujú podľa

sporadicky zachovaných ostrovčekov vulkanoklastických hornín medzi Tuhárom a Divínom takmer s istotou môžeme tvrdiť, že v minulosti bolo sopečnými horninami zakryté celé územie Tuhárskeho krasu. Časť pokryvu bola odstránená zrejme ešte počas zarovňavania reliéfu v sarmate a panóne a ďalšia časť po výzdvihoch územia Slovenského rudohoria medzi panónom a pontom. Vzhľadom na klenbovitý charakter výzdvihu sa však okrajovo ležiaci Tuhársky kras v tejto dobe výzdvihol v menšej miere. Poriečna roveň pliocénneho veku je v Tuhárskom krase zreteľná v nadmorských výškach 440 – 480 m. Exhumácia výraznejšie pokračovala koncom pliocénu a v kvartéri počas ďalších etapovitých výzdvihov. Ich amplitúda bola okolo 100 – 150 m, čo reprezentuje rozdiel medzi pliocénnou zarovnanou plošinou a nivou potokov (Gaál a Ženiš, 1989). Terasy sú v okolí Tuhárskeho krasu zachované len ojedinele. Na pravom brehu Budinského potoka, ktorý tečie pod Divínskym hradným vrchom, je južne od Divína zachovaná nižšia riská terasa v relatívnej výške 10 – 12 m nad nivou (Pristaš in Vass et al., 1992). Vyššie na svahu, takisto na pravom brehu potoka, sa vyskytujú mindelské prolúviálne kužele starých bočných prítokov.

Divínska hradná jaskyňa

Revúcka vrchovina, Tuhársky kras
zamerali: 4. 12. 2012 L. Gaál, F. Radinger, (geologický kompas, pásmo)
23. 8. 2013 I. Balciar, L. Gaál, M. Ternák (geologický kompas, pásmo, disto)
dĺžka jaskyne: 105,7 m
denivelácia jaskyne: 13,4 m



Obr. 3. Mapa Divínskej hradnej jaskyne
Fig. 3. The map of Divínska hradná Cave

DIVÍNSKA HRADNÁ JASKYŇA

Divínska hradná jaskyňa s dĺžkou 105,7 m je dôležitým ukazovateľom vývoja Tuhárskeho krasu v kvartéri. Vo vertikálno-horizontálnej priepasťovitej jaskyni totiž v hĺbke 10 m sú vyvinuté vodorovné úseky, ktoré poukazujú na dočasné prerušenie tektonickej aktivity s horizontálnym pružením krasových vôd.

GEOLOGICKÝ PODKLAD

Jaskyňa sa vytvorila v tmavosivom a červenkastom pružkovanom, doskovitom až laminovanom kryštalicom vápenci (tuhárskom mramore) veporika veku stredný až vrchný trias. Strmo uložené vápence sú tektonicky silne porušené, čo ovplyvňovalo aj rozširovanie podzemných priestorov a vznik častých závalov. Dôvodom vysokej tektonickej porušenosti vápencov je blízkosť divínsko-muránskeho zlomu. Tomu zodpovedá aj smer vápencových vrstiev: SV-JZ až VSV-ZJZ so sklonom 70 – 80° k JV. Vápencové dosky sú hrubé najčastejšie 0,5 – 5 cm a sú často drobné, ľahko sa od seba oddeľujú a opadávajú.

MORFOLÓGIA PRIESTOROV

Do podzemných priestorov jaskyne vstupujeme cez 3 m hlbokú priepasť, ktorá sa otvára z dna malého prepadliska (závrtu) s rozmermi 6,5 × 4,4 m a s hĺbkou 2,5 m v dolnom nádvortí hradu (obr. 2). Nadmorská výška ústia priepasti je 310 m. Priepasť s rozmermi 2,5 × 1 m sa s najväčšou pravdepodobnosťou vytvorila prepadnutím stropu horizontálnych úsekov jaskyne vplyvom tektonickej porušenosti strmo uložených vápencových dosiek. Steny priepasti tvoria závaly s labilnými balvanmi. Na dne sa nachádzajú

dva otvory vykopané jaskyniarimi. Západnejší z nich vedie do západnej vetvy, kým druhý otvor do východnej vetvy (obr. 3).

Rozsiahlejšia je západná vetva. Dostaneme sa do nej strmo upadajúcimi úzkymi štrbinami medzi balvanmi závalu, ktoré vyúsťujú do dvoch paralelných, viac-menej horizontálnych alebo mierne klesajúcich priestrannejších chodieb, smerujúcich na severozápad. Spodnejšia chodba (s meračskými bodmi č. 12, 10 a 11 na obr. 3) reprezentuje horizontálnu časť jaskyne s hlinitou výplňou dna. Druhá, paralelná chodba (medzi bodmi č. 13 a 12) leží mierne vyššie, je vysoko vyplnená hlinou a jemnozrnnou sutinou. Smerom na severozápad táto chodba vyúsťuje do výraznej, priečne orientovanej chodby smeru ZJZ-VSV, ktorá evidentne sleduje vrstevné plochy (meračské body č. 16 – 14 – 15). Vytvorila sa po vrstevných plochách smeru 73-253° so sklonom 65° k JJV koróziou, plochy vrstiev však mohli byť narušené aj smernými prešmykmi. Na západnom konci chodby cez úžinu na vrchole závalu sa ďalej dostaneme do priestrannej, šikmo klesajúcej sály, ktorá dostala názov Maketový dóm. Vytvorila sa opa-



Obr. 4. Závalový charakter východnej vetvy Divínskej hradnej jaskyne. Foto: L. Gaál
Fig. 4. Breakdown morphology of the eastern branch of Divínska hradná Cave. Photo: L. Gaál

dávaním vápencových dosiek zo stropu, o čom svedčí množstvo úlomkov a balvanov na jej dne. Dno postupne klesá smerom na východ, kde v hĺbke 13,4 m dosiahne najhlbší bod jaskyne. Dóm je najkrajším miestom jaskyne s kvapľovou výzdobou.

Východná vetva jaskyne sa skladá z jediného závalového dómu s menšími bočnými výbežkami. Jej dno pokrývajú balvany a vápencové úlomky (obr. 4). Smerom na východ dno postupne klesá a na konci sa objavuje široká, ale veľmi nízka šikmá štrbina, ktorá sleduje smer vrstiev 40-220° so sklonom 45° k JV. Tu sa očakáva aj pokračovanie siene, ktorá by mala vyúsťovať do horizontálneho úseku, známeho zo západnej vetvy.

VÝPLŇ

Dná najnižšie položených, približne horizontálnych úsekov jaskyne vyplňajú jemnozrnné hlinité usadeniny. Podrobná analýza týchto sedimentov sa doteraz neuskutočnila, preto je v súčasnosti ťažko posudzovať ich alochtónny alebo autochtónny pôvod. Ostatné, vyššie položené úseky sú v značnej časti vyplnené autochtónnymi úlomkami a balvanmi, ktoré re-

prezentujú produkty opadávania vápencových dosiek alebo závalov. Dosahujú rôzne veľkosti, od niekoľko centimetrov až po polmetrové alebo metrové balvany.

Chemická výplň sa koncentruje najmä do Maketového dómu na konci západnej vetvy jaskyne. Steny na západnej a južnej strane dómu pokrývajú sintrové náteky, strop je miestami porastený nevelkými stalaktitmi, ojedinele aj záclonami a excentrickými útvarmi. Na dne sa miestami vytvoril podlahový sinter s drobnými stalagmitmi, ktoré sú čiastočne porušené puklinami zrejme po otrasoch. V južnej strane dómu sa nachádzajú aj hráškovité výrastky. Podobné hráškovité útvary sa vytvorili aj v úzkych priestoroch počiatočnej časti západnej vetvy (pri meračskom bode č. 9). Vo východnej vetve sa nachádzajú len menšie stalaktity (dlhé 2 – 3 cm, ojedinele aj dlhšie) a puklinami porušené sintrové platne.

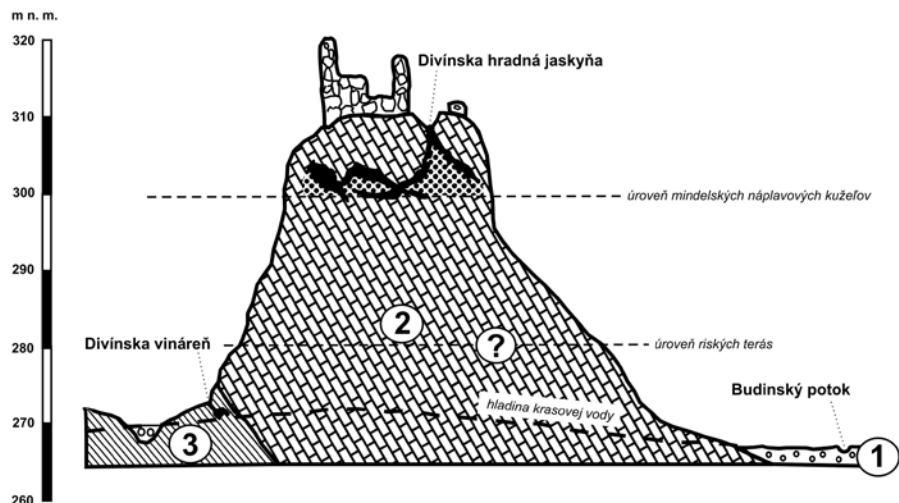
Porušenosť sintrových útvarov môže súvisieť so závalmi, pravdepodobnejšie však je, že vznikla následkom otrasov súvisiacich s obliehaním hradu. Podľa historických prameňov v roku 1679 dokonca hrad vyhodili do vzduchu (Radinger, 2014a).

GENÉZA JASKYNE

Prvé priestory jaskyne sa s najväčšou pravdepodobnosťou vytvorili vo forme horizontálnych úsekov, ktoré sa v súčasnosti nachádzajú v hĺbke okolo 10 m. Predmetný horizont leží približne v nadmorskej výške 300 m, teda cca 35 m nad nivou Budinského potoka (obr. 5). Táto relatívna výška zhruba zodpovedá výške mindelských proluviálnych kuželov na pravom brehu Budinského potoka v oblasti Ružinej (juhovýchodne od Divína, v nadmorskej výške

290 – 300 m), ale v rovnakej relatívnej výške nad alúviom ležia aj mindelské terasy na brehoch Ipľa a jeho prítokov (Pristaš in Vass et al., 1992). Náplavové kužele na brehu Budinského potoka sa zrejme ukladali na zarovnaný povrch bývalých mindelských terás, ktoré sú v súčasnosti už odstránené eróziou. V oblasti Lučenskej kotliny sa v mindeli zaznamenala jedna z najväčších stagnácií počas kvartérnych etapovitých výzdvihov územia (l. c.). Ďalší relatívny tektonický pokoj nastal v rise. Z tohto obdobia sa zachovali dobre rozoznateľné terasy na pravom brehu Budinského potoka. Na riečne terasy sa vo vápencových masívoch spravidla nadviazali horizontálne jaskynné priestory. Takýto proces sa mohol odohrávať aj vo vnútri Divínskeho hradného vrchu, ktorý v tej dobe nebol do takej miery izolovaný ako v súčasnosti. Bohužiaľ, v Divínskej hradnej jaskyni nie sú zachované tvary jednoznačne svedčiace o jej genéze, v horizontálnom úseku sa ojedinele vyskytujú len pozdĺžne stropné priehlbiny, ktoré môžu signalizovať pohyb krasových vôd vo freatických podmienkach. Vo všeobecnosti sa však dá predpokladať, že vody atmosférické alebo presakujúce z Budinského potoka hrali v strednom pleistocéne podstatnú úlohu vo vytváraní horizontálnych priestorov jaskyne. Korózia, prípadne erózia postupovala predovšetkým po vrstevných plochách a tektonických poruchách v doskovitých vápencoch. Obdobná situácia nastala aj v masíve Jasovskej skaly v Medzevskej pahorkatine, v ktorej sa vplyvom vôd rieky Bodva vytvorila Jasovská jaskyňa vo viacerých úrovniach nad sebou (Dropa, 1971; Bella, 2000). Nie je teda vylúčené, že aj v nižších častiach Divínskeho hradného vrchu, nižšie od doteraz známych priestorov Divínskej hradnej jaskyne, by sa mohli vyskytnúť ďalšie horizontálne úseky. Existencia takej horizontálnej úrovne by sa podľa toho dala očakávať predovšetkým na úrovni riskej terasy, teda v nadmorskej výške okolo 280 m.

Vek tvorby prvých (horizontálnych) priestorov Divínskej hradnej jaskyne preto s najväčšou pravdepodobnosťou môžeme odhadnúť na stredný pleistocén, na cca 400 – 450-tisíc rokov. Od horizontálnych úsekov jaskyne sú mladšie závalové priestory, ktoré sa vytvorili neskôr z dôvodu vysokej porušenosti vápencov v blízkosti výraznej poruchovej zóny divínsko-muránskeho zlomu. Tektonická porušenosť a doskovitý charakter vápencov umožnili intenzívne presakovanie atmosférických vôd do podzemia, korózne rozširovanie vrstevných plôch i tektonických porúch a vznik závalov spolu s opadávaním vápencových dosiek zo stropu. Najviac sa to prejavilo v Maketovom dóme, ďalej na západnom konci chodieb po meračských bodoch č. 15 – 14 – 16, potom v oblasti súčasného vchodu a nakoniec v celej východnej vetve. Na mieste súčasného vertikálneho vchodu sa následky rútenia prejavili aj na povrchu vznikom prepádku so vstupnou studňou. Dná týchto zrútených priestorov sú doteraz vyplnené sutinou a balvanmi. Na opadávanie vápencových dosiek zrejme vplývali aj vojnové udalosti na hrade v stredoveku, čo podpierajú aj časté pukliny badateľné v mladej kvapľovej výzdobe. Jaskyňa z genetického hľadiska môžeme kvalifikovať ako vrstevno-koróznou, ktorá sa vytvorila v prvom rade koróziou po vrstevných plochách doskovitých vápencov.



Obr. 5. Schematický náčrt Divínskeho hradného vrchu s jaskyňami. Zostavil L. Gaál. Vysvetlivky: 1 – alúvium potokov, 2 – triasové kryštalické vápence, 3 – triasové bridlice a slienité vápence
Fig. 5. Schematic sketch of Divín Castle Hill with caves. Compiled by L. Gaál. Explanations: 1 – alluvium of brooks, 2 – Triassic crystalline limestone, 3 – Triassic shale and marly limestone



Obr. 6. Vináreň v úpäť divínskeho hradného vrchu, pod ktorým sa nachádza jaskyňa.

Foto: Ľ. Gaál

Fig. 6. Wine bar at the base of Divín castle hill with cave. Photo: Ľ. Gaál

DIVÍNSKA VINÁREŇ

Ďalšou významnou jaskyňou Divínskeho hradného vrchu je Divínska vináreň. Otvára sa z pivničných priestorov vinárne v západnom úpäť hradného vrchu v nadmorskej výške cca 273 m (obr. 6). Jej význam spočíva najmä v charaktere horninového prostredia: jaskyňa je vytvorená v tmavosivých slienitých doskovitých a bridličnatých vápencoch s polohami tmavých bridlíc. Tieto horniny v oblasti Divína nie sú pritom vyznačené na geologickej mape 1 : 50 000, známe sú len severne od Tuhára a v južnom ramene synklinály (Vass et al., 1992). Ich prítomnosť teda odhalila jaskyňa. Ide pravdepodobne o ekvivalent gutensteinských vápencov aniského veku, ktoré vystupujú v podloží kryštalických prízkovaných vápencov (tuhárskeho mramoru).

V jaskyni sa slienité vápence výrazne prejavujú, vo vyšších častiach podzemného priestoru sa vápencové laminy až dosky striedajú s bridlicami, kým na najnižšom mieste (pri meračskom bode č. 2 na obr. 7) vystupujú len bridlice. Uložené sú v smere západ-východ so sklonom 50° k juhu.

Jaskyňu tvorí jediný priestor s rozmermi 5 × 3,5 m, ktorý je z pivnice vinárne prístupný úzkou klesajúcou chodbou (obr. 7). Najväčšiu výšku 1,8 m jaskyňa dosiahne v strednej časti priestoru. Menšie bočné výbežky z neho vybiehajú v smere vrstevnatosti. Zameraná dĺžka podzemných priestorov je 10 m. Dno je vyplnené zvetralinou a úlom-

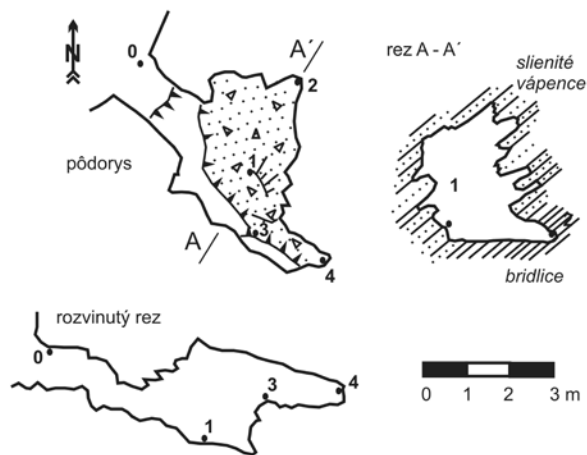
kami vápencov i bridlíc, sintrová výplň chýba (obr. 8). Nie sú zachované ani morfológické črty, podľa ktorých by sa dalo usudzovať na jej genézu. Domnievame sa, že jaskyňa predstavuje inaktívny ponor, ktorý mohol v období zvýšeného stavu krasových vôd fungovať vo forme estavely aj ako vyvieracia. Vzhľadom na bridličnatý charakter karbonátových vrstiev sa však vytvorené krasové kanály opadávaním bridlíc čoskoro upchali. So zreteľom na nízku polohu jaskyne v úpäť brala predpokladáme jej mladší, teda neskoropleistocénny alebo holocénny vek.

ZÁVER

Z dvoch preskúmaných jaskýň má veľký význam Divínska hradná jaskyňa, pretože svojou morfológiou umožňuje rekonštruovať kvartérny vývoj Tuhárskeho krasu. Zistenie horizontálneho úseku v nadmorskej výške okolo 300 metrov, teda 35 m nad nivou Budinského potoka, umožnilo jaskyňu korelovať s úrovňou mindelských proluviálnych kuželov na pravom brehu Budinského potoka, čím sa jaskyňa začlenila do paleogeografického plánu kvartérneho vývoja územia. Divínska hradná jaskyňa je najdlhšou doteraz známou jaskyňou Tuhárskeho krasu. Významná je aj z archeologického hľadiska, v jej priestoroch sa našla stredoveká keramika zo 14. až 15. storočia (Radinger, 2014b). Nálezy teda svedčia o tom, že v stredoveku boli priestory jaskyne aspoň čiastočne prístupné.

Divínska vináreň

(Revúcka vrchovina, Tuhársky kras)



Zamerali: Ľ. Gaál, F. Radinger, I. Balciar, 20. 6. 2012

Obr. 7. Mapa jaskyne Divínska vináreň

Fig. 7. The map of Divínska vináreň Cave

Z hľadiska ochrany jaskyne je dôležité zabezpečiť jej vchod uzáverom, čo je vzhľadom na labilné balvany veľmi náročnou a nákladnou úlohou. Uzatvorenie jaskyne je však nevyhnutné aj vzhľadom na vysokú návštevnosť Divínskeho hradu.

Jaskyňa Divínska vináreň, vytvorená v tmavosivých doskovitých a bridličnatých vápencoch, je dnes tiež inaktívna, v minulosti (v mladších obdobiach kvartéru) fungovala pravdepodobne ako estavela.



Obr. 8. Jaskyňa Divínska vináreň. Foto: Ľ. Gaál

Fig. 8. Divínska vináreň Cave. Photo: Ľ. Gaál

LITERATÚRA

- BELLA, P. 2000. Základné morfológické a genetické znaky Jasovskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 2. vedeckej konferencie (Demänovská Dolina 16. – 19. 11. 1999), Liptovský Mikuláš, 42–51.
- DROPPA, A. 1971. Vztah horizontálnych chodieb Jasovskej jaskyne k terasám Bodvy. In Kvitkovič, J. (Ed.): Problémy geomorfologického výskumu. Zborník referátov z X. jubilejného zjazdu československých geografov (1965), Bratislava, 99–106.
- GAÁL, Ľ. – ŽENIŠ, P. 1989. Výskum Tuhárskeho krasu v Revúckej vrchovine. Spravodaj SSS, 20, 1, Liptovský Mikuláš, 3–7.
- PLAŠIENKA, D. 1983. Geologická stavba tuhárskeho mezozoika. Mineralia slovac, 15, 1, Spišská Nová Ves, 49–58.
- RADINGER, F. 2014a. Tajomstvá podzemia pod hradom Divín, 1. časť. Spravodaj SSS, 45, 1, Liptovský Mikuláš, 58–61.
- RADINGER, F. 2014b. Tajomstvá podzemia pod hradom Divín, 2. časť. Spravodaj SSS, 45, 2, Liptovský Mikuláš, 16–18.
- RADINGER, F. – NOCIAR, P. 2004. Morháčova jaskyňa v Tuhárskej doline. Spravodaj SSS, 35, 1, Liptovský Mikuláš, 71–72.
- VASS, D. – BEZÁK, V. – BODNÁR, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – KONEČNÝ, V. – LEXA, J. – MOLÁK, B. – ŠTRAKA, P. – ŠTANKOVIČ, J. – STOLÁR, M. – ŠKVARKA, L. – VOZÁR, J. – VOZÁROVÁ, A. 1992. Vysvetlivky ku geologickej mape Lučenskej kotliny a Cerovej vrchoviny 1 : 50 000. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 196 s.

FORMOVANIE CHEMICKÉHO ZLOŽENIA KRASOVÝCH VÔD V KRÁSNOHORSKEJ JASKYNI (SILICKÁ PLANINA, SLOVENSKÝ KRAS)

Dagmar Haviarová¹ – Renáta Fláková² – Barbora Gavuliaková² – Zlatica Ženišová²

¹Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; dagmar.haviarova@ssj.sk

²Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra hydrogeológie, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava; rflakova@fns.uniba.sk, sutarova@fns.uniba.sk, zenisova@fns.uniba.sk

D. Haviarová, R. Fláková, B. Gavuliaková, Z. Ženišová: Formation of chemical composition of karst water in the Krásnohorská Cave (Silická Plateau, Slovak Karst)

Abstract: The article presents results of research in the Krásnohorská Cave and its underground hydrological system. The research was realised during time period 2009 – 2014, the karst water was taken from the cave (Marika's Lake, Abonyi's Dome inflow, inflow in front of the Great Hall, dripping water from the Dripstone of Rožňava Cavers) and springs in the vicinity of cave (Buzgó Spring, Pod kameňolomom Spring, Pri kaplnke Spring, occasional spring). The results showed differences between chemical compositions of water in some parts of the cave system. The most different chemical composition has water of the inflow in front of the Great Hall. The cave waters are waters with atmospheric genesis, with carbonate mineralisation. The general process, which forms chemical composition of water, is dissolution of carbonate. Carbonates and calcium are dominant ions in water. Higher concentrations of sulphates (with maximum 374 mg·l⁻¹) were detected in water from inflow in front of the Great Hall probably as a result sulphate dissolution or sulphide oxidation. These waters have higher TDS too and more saturated with respect to calcite and dolomite. The highest TDS is during low discharge. Than the influence on the chemical composition of Buzgó Spring from inflow is the most visible. Results showed higher correlation of water chemical composition between inflow in front of the Great Hall, Buzgó Spring and Pri kaplnke Spring and between water from Marika's Lake, Abonyi's Dome inflow and Pod kameňolomom Spring.

Key words: Krásnohorská Cave, karst water, chemical composition, karst spring, water quality

ÚVOD

V roku 2007 sa na základe spolupráce Správy slovenských jaskýň s Katedrou hydrogeológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave (PrIF UK) začal systematickejší výskum krasových vôd Silickej planiny v Slovenskom krase. Výskum sa zameriaval na stanovenie základných fyzikálno-chemických vlastností vôd vybraných jaskýň planiny a podmienok formovania ich chemického zloženia. Jednou z jaskýň zaradených do projektovej úlohy bola Krásnohorská jaskyňa, kde sa s výskumom začal realizovať v roku 2009. Zaradenie jaskyne medzi skúmané lokality vychádzalo predovšetkým z jej jedinečných prírodných hodnôt, ktoré sú nesporne zaujímavé aj z hydrologického hľadiska.

Jaskyňa reprezentuje výverovú fluvio-krasovú jaskyňu so stálym vodným tokom (obr. 1), ktorý má dva významnejšie stále a jeden občasný prítok. Stály prítok je lokalizovaný pred Veľkou sieňou smerom od Heliktitového domu a na dne Abonyiho domu, drobný občasný prítok je na začiatku Chodby perál, približne 30 cm nad hladinou hlavného toku.

V jaskyni sa v Sieni obrov nachádza pozoruhodný 32,6 m vysoký Kvapel rožňavských jaskyniarov, ktorý patrí k najväčším sintrovým útvarom Európy. Kvapel je aj v súčasnosti dotovaný priesakovou vodou, vďaka ktorej patrí stále medzi „živé“ jaskynné útvary. Podľa datovania narástol kvapel za posledných približne 13 000 rokov, t. j. v súčasnom interglaciálnom období (Stankovič et al., 2005). Pred jaskyňou sa zasa nachádzajú unikátne penovcové kas-kady (obr. 2).

Jaskyňa je od roku 2004 v dĺžke 450 m turisticky sprístupnená pre verejnosť, pričom turistická trasa vedie z veľkej časti priamo ponad vodný tok. Na podzemnom riečisku sa v jaskyni nachádzajú viaceré prietokové jazerá. Vody z jaskyne vytekajú na povrch v krasovom prameni Buzgó (obr. 3).

V jeho blízkosti sú ešte ďalšie dva stále a jeden občasný prameň. V prípade stáleho prameňa Pod kameňolomom sa stopovacou skúškou dokázalo jeho vzájomné prepojenie s prameňom Buzgó s napojením sa na vodozbernú oblasť jaskyne v okolí lokality Rakaťa na vrchu Silickej planiny (Roda, 1967).

Z hydrogeochemických pozorovaní a meraní do roku 2009 sú z jaskyne známe výskumy realizované Š. Rodom a jeho spolupracovníkmi, ktorí sa venovali problematike rýchlosti rastu kvapľov v jaskyniach Slovenského krasu vrátane Krásnohorskej jaskyne (Roda et al., 1986). Na základe vytvorenia tzv. robot-kvapľov, stanovenia množstva skvapovej vody, priemerného obsahu rozpusteného vápenca vo vode a prírastku sintrovej hmoty prepočítali priemerné hodnoty rýchlosti rastu stalaktitov s centrálnym transportom vody. Podľa týchto prepočtov 1 g hmoty takéhoto typu stalaktitu narastie

v Krásnohorskej jaskyni za približne 17 rokov. Okrem toho sú z jaskyne známe 3 chemické analýzy jednorazových odberov priesakových



Obr. 1. Podzemný tok v Krásnohorskej jaskyni. Foto: P. Staník
Fig. 1. Underground stream in the Krásnohorská Cave.
Photo: P. Staník



Obr. 2. Penovcové kaskády pod prameňom Buzgó. Foto: D. Haviarová
Fig. 2. Calcareous tufa cascades under Buzgó Spring. Photo: D. Haviarová

vôd z novembra 1998 (Motyka et al., 2005), keď sa priesaková voda odobrala z troch rozdielnych miest (Prvé jazero, Abonyiho dóm, Chodba perál) v rámci sledovania a porovnania chemického zloženia vôd vo vybraných jaskyniach Slovenského krasu a Nízkych Tatier. V roku 2009 vykonali v jaskyni pracovníci Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave na celej dostupnej dĺžke toku termometrické a rezistivimetrické merania, dokumentujúce hydraulické vlastnosti horninového prostredia (Malík et al., 2011). Problematike zmien chemického zloženia vôd a prírastkom vyzrážaného vápnika z vôd podzemného toku v jaskyni a prameňa Buzgó sa v období od augusta 2010 do septembra 2013 venoval Wróblewski (2015). Na základe 13 sérií pozorovaní zmien chemického zloženia vôd a sledovania prírastkov vyzrážaného vápnika na doštičkách umiestnených v toku sa konštatovala závislosť rýchlosti procesu vyzrážania od stupňa zvodnenia krasového systému. Najvyššie prírastky zodpovedajúce forme subkvatických nátekov sa zistili na potoku pod jaskyňou ($0,95 \text{ mg/cm}^2/\text{deň}$).

Vlastné práce realizované v podzemnom hydrologickom systéme Krásnohorskej

výskum vôd (Haviarová et al., 2012). Všetky získané výsledky vytvorili vhodný odborný podklad na realizáciu ďalších hydrogeologických a hydrogeochemických prác v krasovom podzemnom ekosystéme Krásnohorskej jaskyne, zahrnutých do bežiacieho projektu LIFE+ (KRASCAVE), realizovaného od roku 2012 s názvom „Zavedenie trvalodržateľného využívania podzemnej vody v podzemnom krasovom systéme Krásnohorskej jaskyne“, v ktorom ako koordinujúci príjemca projektu vystupuje Štátny geologický ústav Dionýza Štúra.

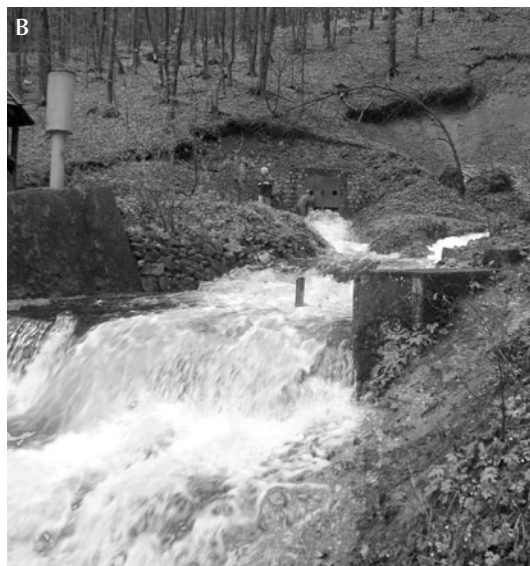
PRÍRODNÉ POMERY V OKOLÍ JASKYNE

Krásnohorská jaskyňa sa nachádza na severnom úpätí Silickej planiny, juhovýchodne od obce Krásnohorská Dlhá Lúka. Vchod do jaskyne leží tesne nad prameňom Buzgó, v nadmorskej výške 316 m.

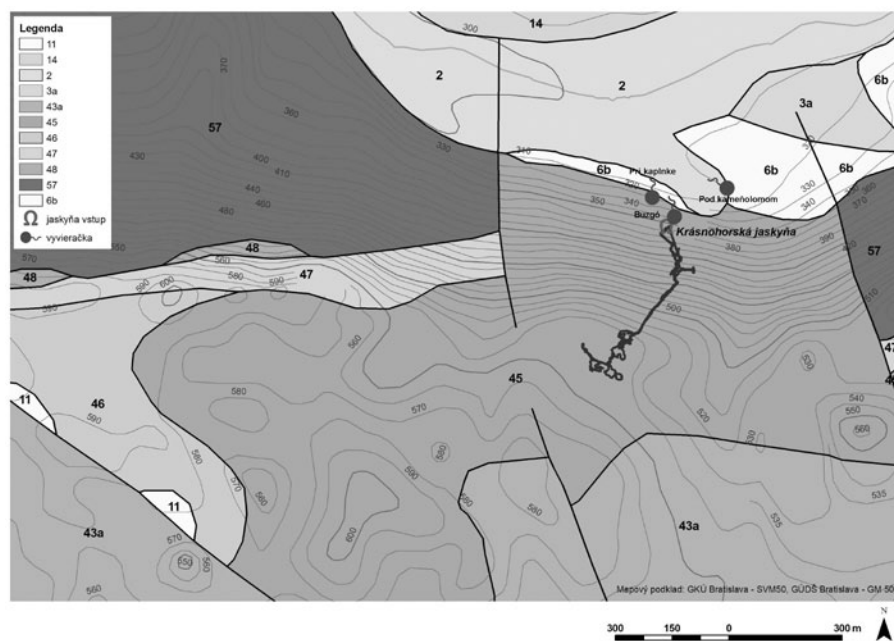
GEOLOGICKÉ POMERY

Na geologickej stavbe Silickej planiny sa zúčastňuje len jedna tektonická jednotka – silicikum. Kenozoikum je zastúpené nesúvislo

vyvinutými sedimentmi neogénu a kvartéru. Silicikum je tvorené silickým príkrovom, kde sú najviac zastúpené horniny z fácie karbonátovú platformy (celý stredný a vrchný trias). V okolí Krásnohorskej jaskyne sú horniny silického príkrovu zastúpené takmer celým stratigrafickým rozsahom (obr. 4). Spodný trias zastupuje *sinské súvrstvie* predstavujúce sivé slienité a bridličnaté súbory, červené bridlice. V súvrství sa môžu nachádzať aj výraznejšie akumulácie pyritu. Spodný anis zastupuje *gutensteinské súvrstvie*. *Gutensteinské vápence* sú spravidla hrubolavcovité, zriedkavejšie až doskovité tmavosivé a čierne vápence s charakteristickými žilkami bieleho kalcitu. Ako polohy v nich vystupujú v najvyšších partiách svetlosivé a ružové alebo červené lavcovité až doskovité vápence. *Gutensteinské dolomity* sivých a tmavosivých farieb vystupujú nielen ako polohy v gutensteinských vápencoch, ale na mnohých miestach aj ako samostatný, dobre odlišiteľný člen v nadloží gutensteinských vápencov. Najtypickejšou fáciou karbonátovú platformy sú vrchnoaniské *steinalmské vápence*. *Steinalmské vápence* sú masívne, veľmi vzácne hrubolavcovité, prevažne svetlé až bielosivé, miestami ružovkasté. Ako nepravidelné polohy, resp. telesá nepravidelného tvaru a rozličnej veľkosti sa v nich vyskytujú svetlosivé až bielosivé cukrovité dolomity (Mello et al., 1997a). *Wettersteinské vápence* sa makroskopicky aj mikroskopicky podobajú steinalmským vápencom. Sú prevažne biele, bielosivé a masívne. Líšia sa vekom a tým, že v nich možno nájsť rozsiahle telesá rífových vápencov. Sú najvýznamnejšou formáciou triasovej karbonátovú platformy (Mello et al., 1997a). V okrajových častiach územia sa v nadloží vyskytujú svetlo- až tmavosivé organodetrické *tisovecké*, resp. *furmanské* a *dachsteinské vápence*. Mladšie členy sa v záujmovom území nezistili, rovnako chýbajú aj neogénne sedimenty poľtárskeho súvrstvia. Kvartérne sedimenty v skúmanom území reprezentujú hlavne svahové sedimenty, sedimenty spojené s procesmi krasovatenia, zvetrávania, svahovej modelácie a znosu a aluviálne sedimenty spojené s eróznou a akumulátnou činnosťou riek a potokov.



Obr. 3. Prameň Buzgó počas nízkych stavov (A), vysokých stavov (B). Foto: P. Staník, D. Haviarová
Fig. 3. Buzgó Spring during low discharge (A), high discharge (B). Photo: P. Staník, D. Haviarová



Obr. 4. Geologické pomery okolia Krásnohorskej jaskyne (podľa Mello et al., 1997b). Vysvetlivky: Kvartér: 2 – fluviálne sedimenty (holocén), 3 – proluviálne sedimenty (holocén), 6b – deluviálne sedimenty hlinito-kamenité a kamenité (pleistocén – holocén), 11 – deluviálno-eolické sedimenty (pleistocén), 14 – proluviálne sedimenty (pleistocén); Mezozoikum silického príkrovu: 43a – wettersteinské vápence rífové (ladin – kordevol), 45 – steinalmské vápence (pelson – ilýr), 46 – gutensteinské dolomity (egej – bityn), 47 – gutensteinské vápence (egej – bityn), 48 – dolomity, rauvaky, brekcie, pestré vápence (najvyšší spat), 57 – slienité vápence a bridlice siných vrstiev (namal – spat)

Fig. 4. Geological settings of the Krásnohorská Cave surroundings (according to Mello et al., 1997b). Legend: Quaternary: 2 – fluvial sediments (Holocene), 3 – proluvial sediments (Holocene), 6b – deluvial sediments loamy-stony and stony (Pleistocene – holocene), 11 – deluvial-eolian sediments (Pleistocene), 14 – proluvial sediments (Pleistocene); Mesozoic of Silica nappe: 43a – Wetterstein limestones Riff (Middle to Upper Triassic: Ladinian - Cordevolian), 45 – Steinalm limestones (Pelsonian – Illyrian), 46 – Gutenstein dolomites (Aegean – Bithynian), 47 – Gutenstein limestones (Uppermost Spathian – Anisian, Aegian – Bithynian), 48 – dolomites, rauhwackes, breccias, variegated limestones (Uppermost Spathian), 57 – marlstones, limestones and shales of Szin beds (Namalian – Spathian)

Samu Krásnohorskú jaskyňu budujú vyššie opísané druhohorné strednotriasové gu-

tensteinské vápence a dolomity, s prevahou dolomitov nad vápencami (Stankovič et al., 2005). Takáto stavba je typická pre jaskyňu od jej vchodu až po Sieň obrov. Veľký kaňon tvoria gutensteinské dolomity, ktoré pokračujú aj v ďalších častiach jaskyne. V zadných častiach jaskyne (Chodba perál, Veľká sieň, Zrkadlová sieň, časti za sifónom) sa objavujú chemicky čisté steinalmské vápence. Ich prítomnosť sa v jaskyni spája s výskytom bohatej sintrovej výzdoby. V jaskyni sa prejavuje vertikálne zlomové pásmo smeru SV-JZ.



Obr. 5. Prameň Pod kameňolomom. Foto: D. Haviarová
Fig. 5. Pod kameňolomom Spring. Foto: D. Haviarová

HYDROGEOLOGICKÉ A HYDROLOGICKÉ POMERY

V zmysle hydrogeologickej rajonizácie Slovenska (Šuba et al., 1984) je Silická planina súčasťou rajónu MQ 129 Mezozoikum centrálnej a východnej časti Slovenského krasu a subrajónu SA 50 – čiastkový rajón planín Silickej, Horného vrchu, Zádielskej, Jasovskej a Dolného vrchu. Na základe rozčlenenia Slovenského krasu do hydrogeologických štruktúr (Šuba et al., 1973) patrí predmetné územie do silicko-turnianskej

hydrogeologickej štruktúry. Podľa vymedzenia útvarov podzemných vôd patrí okolie jaskyne do útvaru podzemných vôd SK200480KF – Útvar s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Slovenského krasu v oblasti povodia Hrona a Hornádu (Kullman et al., 2006). V hydrogeologických kolektoroch útvaru prevažuje krasovo-puklinová priepustnosť. Priemerný rozsah hrúbky zvodnencov je nad 100 m a hodnota koeficientu filtrácie sa rádoovo pohybuje v rozsahu od $4,40 \cdot 10^{-7}$ m \cdot s $^{-1}$ do $2,52 \cdot 10^{-4}$ m \cdot s $^{-1}$ (Malík et al., 2005).

Pre hydrogeologické pomery Silickej planiny je charakteristická absencia povrchového odtoku. Ani v prípade predpokladanej vodozbernej oblasti Krásnohorskej jaskyne nenachádzame na planine stály ponorný tok. Zrážkové vody okrem podielu výparu celé infiltrujú do skrasovatených karbonátov mezozoika. Voda v skrasovatených karbonátových komplexoch s preferovanými obehovými cestami nemá súvislú hladinu. Kolísanie hladiny podzemných vôd v závislosti od zrážok sa v týchto podmienkach neprejavuje kontinuálne v celom komplexe, ale dochádza k výraznému kolísaniu hladiny v úzkych prírodných krasových kanáloch. Tieto zóny miestami siahajú aj pod miestnu eróznú bázu. Pri intenzívnych zrážkach, resp. pri náhlom topení snehu nad miestnou eróznou bázou vyvierajú krasové vody vo forme občasných prameňov (Orvan, 1994).

Hlavný odtok krasových vôd z podzemného systému jaskyne je sústredený do prameňa Buzgó, ktorý odvodňuje časť hydrogeologickej štruktúry Horného vrchu.

Prameň Buzgó charakterizuje sústredný odtok krasových vôd na úrovni miestnej eróznej bázy (Orvan, 1999). Prameň dlhodo pozoruje Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) pod katalógovým číslom 1862. Teplota a výdatnosť prameňa sa sledovali s týždenným krokom merania od hydrologického roku 1958. K prerušeniu pozorovaní na prameni došlo v rokoch 1966 – 1967 a 1978 – 1982. V roku 1983 sa merania obnovili, týždenný interval pozorovaní nahradil vhodnejší denný interval merania. Maximálna dokumentovaná výdatnosť prameňa za obdobie 1983 – 2009 bola 1356 l \cdot s $^{-1}$, minimálna výdatnosť za rovnaké obdobie predstavovala 5,3 l \cdot s $^{-1}$. Povodne extrémnych rozsahov v prvej polovici roku 2010 poškodili merný objekt SHMÚ. Výdatnosť prameňa začiatkom júna 2010 odhadom výrazne prevyšovala jeho dovtedy namerané maximum. Priemerná výdatnosť prameňa za pozorované obdobie hydrologických rokov 1958 – 2009 bola prepočítaná na 56 l \cdot s $^{-1}$. Najvyššie výdatnosti prameňa sú spojené s topením snehu (apríl, máj), aj keď v niektorých prípadoch extrémne výdatnosti nastávajú aj v čase letných mesiacov počas intenzívnych zrážok. Naopak najnižšie výdatnosti prameňa sa vyskytujú v mesiacoch september až január. Priebeh teplôt na prameni podrobnejšie opisuje Malík et al. (2011, 2014). Ako priemernú teplotu vôd prameňa udáva hodnotu 9,3 °C. Vyššie hodnoty teplôt sú v jarných a letných mesiacoch, v jesenných a zimných mesiacoch sa teplota vôd mierne znižuje. Na základe analýz výtokových čiar z prameňa sa pri odtoku podzemných vôd uplatňujú subrežimy s turbulentným prúdením, keď subrežimy s laminárnym prúdením



Obr. 6. Prameň Pri kaplnke. Foto: D. Haviarová
Fig. 6. Pri kaplnke Spring. Foto: D. Haviarová

viazané na obeh v puklinách nasýtenej zóny sú podstatne menej výrazné. Dominancia turbulentných subrežimov na celkovom odtoku podzemných vôd je charakteristická pre silne rozvinutý kras s veľkými otvorenými tektonickými poruchami a krasovými kanálmi. Podiel otvorených aktívnych drobných puklín a mikropuklín je malý (Malík et al., 2014). Rovnaká charakteristika prúdenia na základe analýz výtokových čiar platí aj v prípade druhého prameňa, ležiaceho cca 200 m východne od prameňa Buzgó. Ide o menší krasovo-puklinový prameň Pod kameňolomom (prameň zaradený v pozorovacej sieti SHMÚ v rokoch 1968 až 1992 pod katalógovým číslom 1861 s týždenným intervalom pozorovaní) (obr. 5). Podľa nameraných výsledkov dosahovala priemerná výdatnosť prameňa 8,6 l·s⁻¹, modulus a medián zodpovedal rovnakej hodnote 5,2 l·s⁻¹ a maximálna nameraná výdatnosť prameňa bola 88 l·s⁻¹. Podľa priemerných mesačných výdatností sú najnižšie výdatnosti na prameni v mesiaci september, najvyššie počas jarných mesiacov (apríl, máj). Priemerná teplota vody je na prameni o 0,5 °C nižšia ako pri prameni Buzgó.

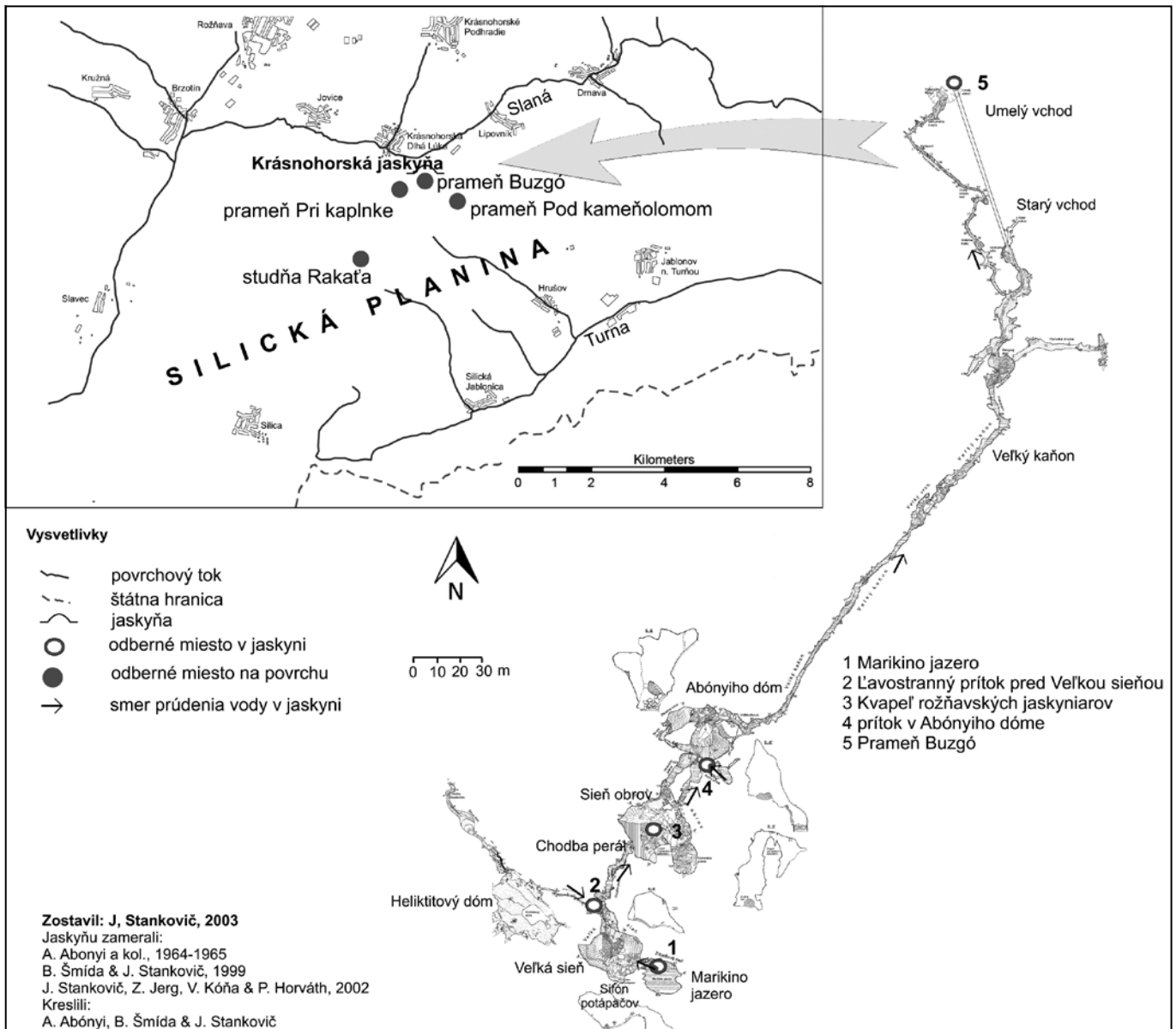
Posledným stálym krasovo-puklinovým prameňom pri jaskyni je prameň Pri kaplnke (obr. 6), ležiaci cca 100 m západne od prameňa Buzgó (prameň zaradený v pozorovacej sieti SHMÚ v rokoch 1957 až 1965 pod katalógovým číslom 1863 s týždenným intervalom pozorovaní). Dáta z jeho pozorovaní sa nám na podrobnejšie spracovanie nepodarilo z SHMÚ získať, keďže nie sú dostupné v digitálnej forme. Rozsah výdatností prameňa tak udávame len na základe údajov Hanzela et al. (1975), ktorý uvádza tieto hodnoty v rozpätí od 0,10 do 6,50 l·s⁻¹.

Podrobnejšia charakteristika vyššie uvedených prameňov je súčasťou prác Otrubu (2014) a Malíka et al. (2011, 2014).

METODIKA

Chemické zloženie vôd Krásnohorskej jaskyne sa zhodnotilo na základe vlastných analýz získaných z odberov vôd na lokalite v období rokov 2009 – 2014.

Výber odberných miest (obr. 7) vychádzal z podrobnej rekognoskácie terénu, archívnych literárnych zdrojov, dostupnosti



Obr. 7. Mapa odberných miest / Fig. 7. Map of the sampling points



Obr. 8. Lavostranný prítok pred Veľkou sieňou.

Foto: D. Haviarová

Fig. 8. Left side inflow in front of the Great Hall.

Photo: D. Haviarová



Obr. 9. Pravostranný prítok v Abonyiho dóme. Foto: D. Haviarová

Fig. 9. Right side inflow in Abonyi Dome. Photo: D. Haviarová

terénu a odborného usmernenia J. Stankoviča, ktorý v súčasnosti prevádzkuje Krásnohorskú jaskyňu.

Prvú skupinu tvorili odborné miesta na podzemnom toku v jaskyni doplnené o prameň Buzgó. Do tejto skupiny bolo zaradené Marikino jazero v Zrkadlovej sieni, t. j. najvzdialenejšie nami dostupné miesto, kde sa s hlavným podzemným tokom v jaskyni môžeme stretnúť. Marikino jazero ukončuje 28 metrov hlboký a 115 metrov dlhý sifón (Hochmuth, 2000), ktorý ako prvý po viacerých neúspešných speleopotápačských pokusoch prekonal J. Kucharovič v roku 1982. Na druhej strane sifónu sa v priestoroch Jazerného dómu nachádza jazero. Proti toku pokračuje jaskyňa Zrúteným dómom a po ďalšom sifóne Sutinovým dómom, ktorý je poslednou známou časťou jaskyne (Hochmuth, 2000). V smere hlavného toku vytekajúceho z Marikino jazera sa ďalej vzorkoval jeho stály lavostranný prítok pred Veľkou sieňou (obr. 8), pritekajúci v smere od Heliktového dómu, a ďalší menší stály pravostranný prítok na dne Abonyiho dómu (obr. 9).

Bočnú vetvu prítoku pred Veľkou sieňou jaskyniari speleologicky podrobnejšie skúmali hlavne v období rokov 1981 až 1986 v snahe zistiť jej zatiaľ neznáme pokračovanie (Šmída a Stankovič, 1999). Posledným odborným miestom tejto skupiny bol prameň Buzgó. Druhá skupina odborných miest predstavovala priesakové vody v jaskyni. Najvýraznejšie priesaky sa v jaskyni viažu na jaskynné komíny a stropy dómov. Priesaky z komínov podľa pozorovaní miestnych jaskyniarov reagujú pomerne rýchlo na zrážky. O niečo pomalšia je reakcia priesakov zo stropov dómov. Z priesakových vôd sa z hľadiska významnosti, dostupnosti, ale aj z dôvodu obmedzených finančných možností zvolilo len jedno odborné miesto – priesak na Kvapli rožňavských jaskyniarov v Sieni obrov. Vzorka vody sa odoberala priamo z hornej časti kvapľa za pomoci skúseného jaskyniara Z. Jerga. Tretiu skupinu vzorkovaných vôd tvorili ďalšie pramene, nachádzajúce sa v bezprostrednej blízkosti jaskyne – prameň Pod kameňolomom, prameň Pri kaplnke a občasný bezmenný prameň v blízkosti prameňa Pod kameňolomom. Odborné miesta dopĺňala lokalita Rakača na povrchu Silickej planiny. Vody z tejto lokality mali slúžiť hlavne na porovnanie kvalitatívnych vlastností vôd v jaskyni

s vodami priamo z vodozbernej oblasti jaskynného systému.

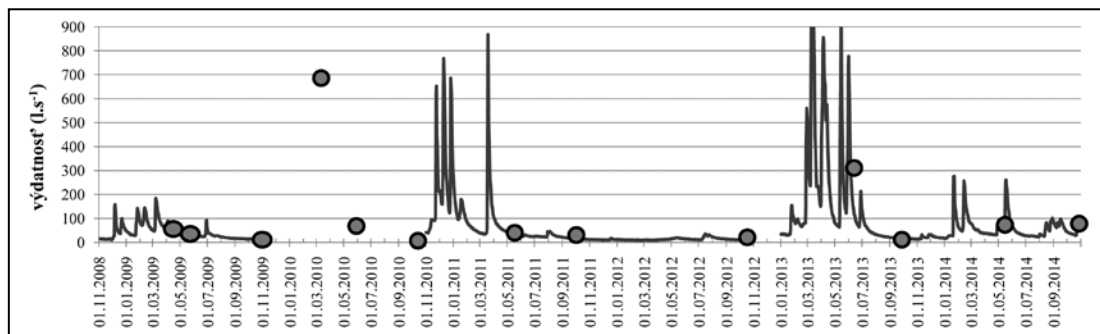
Odbery počas celého sledovaného obdobia sa vykonávali za rozdielnych hydrologických situácií; počas nižších, priemerných aj vyšších vodných stavov (obr. 10).

V čase výskumu bola jaskyňa niekoľkokrát zatopená, čo znemožnilo vzorkovanie vody priamo v jej priestoroch (napr. 15. 4. 2010). Vzorky odoberané napr. 1. 6. 2010 sa zasa odobrali tesne pred nástupom 100-ročnej vody. Vzhľadom na dynamiku stúpania hladiny vody v jaskyni by sa tento odber s posunutím jednej hodiny už nedal zrealizovať.

Pri každom odbere vody na chemickú analýzu sa vykonali terénne merania základných fyzikálno-chemických parametrov, a to teploty vody, konduktivity, resp. mernej elektrickej vodivosti (EC), pH, oxidačno-redukčného potenciálu (E_H), obsahu rozpusteného kyslíka, kyslíkového nasýtenia a zákalu. Teplota vody a konduktivita sa stanovili prenosným prístrojom firmy WTW Multi 350i (respektíve LF 323) s elektródou TetraCon[®]325, pH prenosným prístrojom WTW Multi 350i s elektródou SenTix[®]41. E_H bol stanovený prenosným prístrojom WTW pH meter 340i s elektródou SenTix[®]ORP, pričom stanovené hodnoty sa prepočítali na štandardnú vodíkovú elektródu (Pitter, 2009). Rozpustený kyslík a kyslíkové nasýtenie sa stanovovali prenosným prístrojom WTW Oximeter 340i/SET s elektródou DurOX[®]325-3, zákal prenosným fotometrom pFotoFlex[®]Turb430. Súčasťou každého odberu bolo aj titračné stanovenie ukazovateľov ZNK_{8,3} a KNK_{4,5} s následným prepočtom na koncentráciu voľného CO₂ a HCO₃⁻ iónu.

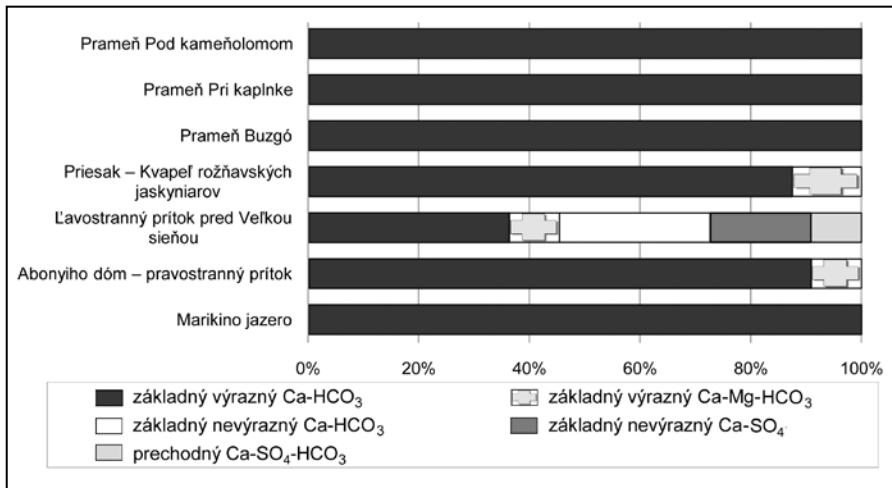
Chemické analýzy sa vykonali v hydrogeochemickom laboratóriu Katedry hydrogeológie PriF UK v Bratislave v rozsahu: CHSK_{Mn}, BSK₅, NH₄⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ a HPO₄²⁻. Analýzy sa zrealizovali štandardnými metodikami (Horáková et al., 2003), spektrofotometrické stanovenia sa vykonali na prístroji PERKIN ELMER UV/VIS Lambda 11. Koncentrácie Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K²⁺, Fe a Mn sa vo vodách stanovili v akreditovanom analytickom laboratóriu spoločnosti BELNOVAMANN International s. r. o. v Nových Zámkoch, respektíve v akreditovanom skúšobnom laboratóriu LL s. r. o. Liptovský Mikuláš. Koncentrácie Ca²⁺ a Mg²⁺ sa analyzovali titračne, koncentrácie Fe a Mn spektrofotometricky na spektrofotometri VIS Hach Lange 2800. Vzorky vôd z mája 2009 sa analyzovali v Geoanalytickom laboratóriu ŠGÚDZ v Spišskej Novej Vsi metódou AES-ICP na prístroji VISTA-MPX fy Varian.

Chemické analýzy vôd sa komplexne vyhodnotili (výpočet látkových koncentrácií, aktivít a pod.), graficky a štatisticky spracovali. Pri klasifikácii chemického zloženia vôd sa použila klasifikácia založená na princípe prevládajúcich iónov s kritériom ekvivalentného podielu zložiek nad 20 c:z a Gazdova genetická klasifikácia chemického zloženia vôd (Gazda, 1974).



Obr. 10. Priebeh výdatností prameňa Buzgó s vyznačením odberov vzoriek

Fig. 10. The course of discharge time changes at Buzgó Spring with marking of water samplings

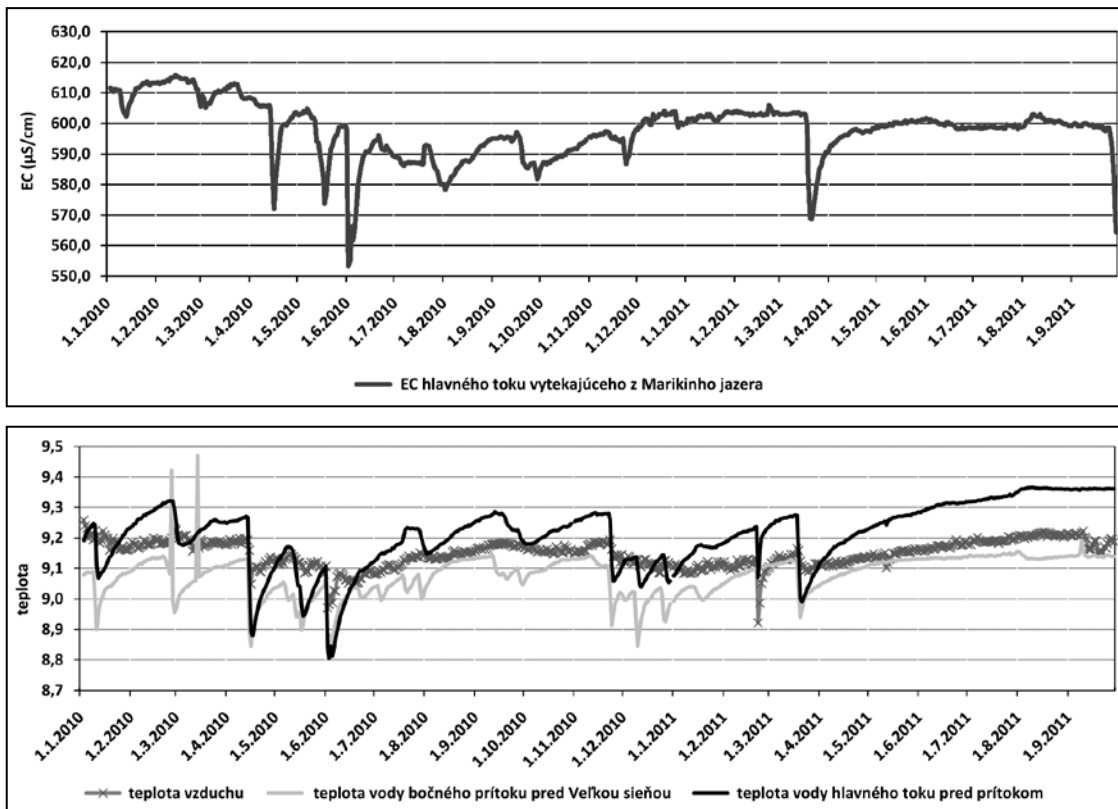


Obr. 11. Genetické typy vôd Krásnohorskej jaskyne a okolitých prameňov
 Fig. 11. Genetic type of the Krásnohorská Cave water and water of surrounding springs

Pre jednotlivé chemické analýzy vôd sa vypočítali indexy nerovnovážnosti (I) pre hlavné karbonáty na základe rozdielu logaritmov vypočítaných iónových aktívnych produktov (IAP) a rovnovážnych konštánt (K) (Flaková et al., 2010), na základe ktorých bol posúdený stav nasýtenia vôd voči týmto minerálom. Za rovnovážny stav sa považovala hodnota $I = 0 \pm 5\% \log K$ (Deutsch et al., 1982). Chemické analýzy vôd sa spracovali aj špeciálnym modelovaním v programe PHREEQC-2 (Parkhurst a Appelo, 1999). Hodnota pe nahradila hodnotu E_H , pričom pre $25\text{ }^\circ\text{C}$ platí vzťah $E_H = 0,059 \cdot pe$ (Appelo a Postma, 2005). Výsledky chemických analýz z obdobia 2009 – 2011 sa spracovali v programe Stat-

graphics Centurion XV v rámci korelačných a zhlukových analýz. Tieto výsledky boli publikované v rámci príspevku Haviarová et al. (2012).

V roku 2009 sa v jaskyni na jej hlavnom toku v rámci integrovaného monitorovacieho systému jaskýň skúšobne nainštalovalo stacionárne monitorovacie zariadenie, kontinuálne monitorujúce teplotu vzduchu, teplotu vody a hodnoty jej EC. Zariadenie spoločnosti Microstep pozostávalo z meracích sond (PT 100, TetraCon^R325) a vlastného dataloga, v ktorom sa v hodinových intervaloch ukladali merané dáta, ktoré sa následne pomocou externého dátového média HP iPAQ sťahovali a ďalej spracovávali.



Obr. 12. Priebeh EC a teploty kontinuálne sledovaných v Krásnohorskej jaskyni za obdobie 1. 1. 2010 – 30. 9. 2011, priemerné denné hodnoty

Fig. 12. The course of EC and temperature continual monitoring in the Krásnohorská Cave during time period 1. 1. 2010 – 30. 9. 2011, average daily values

VÝSLEDKY

Na hodnotenie sa použilo 12 analýz vôd z Marikino jazera, 11 analýz vôd z ľavostranného prítoku pred Veľkou sieňou, 8 analýz vôd z priesaku na Kvapel rožňavských jaskyniarov, 11 analýz vôd z pravostranného prítoku v Abonyiho dóme, 13 analýz vôd z prameňa Buzgó, 13 analýz vôd z prameňa Pri kaplnke, 13 analýz vôd z prameňa Pod kameňolomom, 2 analýzy vôd z občasného prameňa, 3 analýzy vôd z oblasti Rakafa a 2 analýzy vôd z potoka pod jaskyňou. Spolu sa spracovalo 88 chemických analýz vôd, na základe ktorých sa opísala základná charakteristika chemického zloženia vôd podzemného hydrologického systému Krásnohorskej jaskyne (tab 1, 2).

FYZIKÁLNO-CHEMICKÉ VLASTNOSTI VÔD

Vody podzemného toku vytekajúceho z **Marikino jazera** môžeme charakterizovať prevažne ako vody slabo alkalické s priemernou hodnotou pH 7,2 a priemernou teplotou $9,4\text{ }^\circ\text{C}$. Vody sú nízko mineralizované, celková priemerná mineralizácia predstavuje $532\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V chemickom zložení dominujú kationy vápnika (v koncentráciách $81,8$ až $139\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) a anióny hydrogénuhličitanov (v koncentráciách 357 až $376\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Koncentrácie síranov vo vode dosiahli maximálne hodnoty $26\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Pre nízky podiel horčička vo vode je pomer $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ (r je koncentrácia v c:z) posunutý v prospech Ca, jeho priemerná hodnota je len 0,1. Obsah voľného CO_2 sa vo vzorkovaných vodách pohyboval od $8,7$ do $28,7\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ s priemernou hodnotou $20,6\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Vody sú podľa Gazdovej genetickej klasifikácie základného výrazného $\text{Ca}\cdot\text{HCO}_3$ typu s najvyšším zastúpením A_2 zložky s priemernou hodnotou $90,4\text{ c-z}\%$ (obr. 11).

Výsledky kontinuálnych meraní EC na toku vytekajúcom z Marikino jazera (obr. 12) v období 1. 1. 2010 – 30. 9. 2011 (obdobie zachytávajúce aj jeden z najvyšších dokumentovaných vodných stavov v jaskyni) naznačili dynamiku zmien ich celkovej mineralizácie. Najvyššie mineralizované vody sa viažu na obdobia s nízkymi prítokmi, naopak v čase vysokých prítokov je mineralizácia vôd najnižšia. Podľa výsledkov sa tieto vody však aj za vysokých stavov dokážu v rámci svojho obehu dostatočne zmineralizovať (hodnoty EC sa v čase meraní pohybovali od $55,3$ do $61,6\text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Výsledky kontinuálnych meraní EC na toku vytekajúcom z Marikino jazera (obr. 12) v období 1. 1. 2010 – 30. 9. 2011 (obdobie zachytávajúce aj jeden z najvyšších dokumentovaných vodných stavov v jaskyni) naznačili dynamiku zmien ich celkovej mineralizácie. Najvyššie mineralizované vody sa viažu na obdobia s nízkymi prítokmi, naopak v čase vysokých prítokov je mineralizácia vôd najnižšia. Podľa výsledkov sa tieto vody však aj za vysokých stavov dokážu v rámci svojho obehu dostatočne zmineralizovať (hodnoty EC sa v čase meraní pohybovali od $55,3$ do $61,6\text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$).

Bočný ľavostranný prítok pred Veľkou sieňou sa svojím chemickým zložením líši od chemického zloženia vôd hlavného toku vytekajúceho z Marikinho jazera. Zásadným rozdielom je vyššia priemerná mineralizácia (681 mg·l⁻¹), ktorá počas odberov dosiahla maximum 1102 mg·l⁻¹. Dôvodom sú podstatne vyššie koncentrácie síranov v týchto vodách, pohybujúce sa od 56 do 374 mg·l⁻¹. Vyššia je zároveň aj priemerná hodnota charakterizačného koeficienta rSO_4/M s hodnotou 0,2. Vyššie koncentrácie síranov sú typické hlavne pre stavy nižších prietokov. Vo vodách prítoku sú vyššie aj koncentrácie horčíka (najvyššie v rámci všetkých odberných miest – priemerná hodnota 24 mg·l⁻¹), čo sa prejavuje vyššími hodnotami pomeru rMg/rCa v intervale 0,2 až 0,8. Koncentrácie hydrogénuhlíčanov sú naopak najnižšie v porovnaní so všetkými ďalšími odbernými miestami v jaskyni. Medzi síranovými aniónmi a kationmi vápnika existuje relatívne vysoká kladná korelácia. Rovnako to platí aj pre síranové anióny a kationy horčíka s výnimkou analýz z odberu 1. 6. 2010. Pri celkovej mineralizácii (M) je možné vidieť nepriamo závislosť voči výdatnosti prameňa Buzgó. Najvyššie hodnoty M sú v čase jeho najnižších výdatností. Hodnoty pH prítoku sú vyššie ako v prípade vôd Marikinho jazera (priemerná hodnota 7,6). Vyššie hodnoty pH radia vody prítoku do skupiny alkalických vôd. V porovnaní s vodami z Marikinho jazera majú vody prítoku nižší obsah voľného CO₂ (priemer 9,6 mg·l⁻¹). Nevyrované chemické zloženie sa odráža aj na pomerne veľkej variabilite Palmer-Gazdových indexov, pri ktorých najvyššie hodnoty dosahuje striedavo A₂ a S₂(SO₄) zložka. Vody tak v závislosti od svojho chemického zloženia predstavujú niekoľko genetických typov: základný výrazný Ca-HCO₃ typ, základný nevýrazný Ca-HCO₃ typ, základný výrazný Ca-Mg-HCO₃ typ, základný nevýrazný Ca-SO₄ typ, prípadne prechodný Ca-SO₄-HCO₃ typ (obr. 11).

Pravostranný prítok v Abonyiho dome má celkom iné chemické zloženie, podobné chemickému zloženiu vôd v Marikinom jazere. Aj tieto vody sú slabé alkalické s priemernou hodnotou pH 7,2. Sířany na tomto prítoku neprekračujú svojím obsahom 30 mg·l⁻¹. Dominantnými iónmi vo vode sú opäť vápnik a hydrogénuhlíčany. Rozdiel oproti vodám z Marikinho jazera je v nepatrne vyššej mineralizácii (priemer 564 mg·l⁻¹), ktorú spôsobuje práve vyššia koncentrácia dvoch hlavných iónov. Prítok v Abonyiho dome má v porovnaní s ostatnými vodami v jaskyni najvyššie koncentrácie hydrogénuhlíčanov (priemer 386 mg·l⁻¹) a najnižšie koncentrácie horčíka (priemer 4,9 mg·l⁻¹). S vodami z Marikinho jazera je porovnateľný obsah voľného CO₂ s priemerom 19,6 mg·l⁻¹. Z hľadiska genetickej klasifikácie sú vody základného výrazného Ca-HCO₃ typu s najvyšším zastúpením A₂ s priemernou hodnotou 90,4 c-z % (obr. 11).

Výnimkou je len vzorka z 1. 6. 2010 (počas vysokého stavu vody v jaskyni), keď sa voda prítoku zmenila na základný výrazný Ca-Mg-HCO₃ typ. V porovnaní s prítokom pred Veľkou sieňou je chemické zloženie vôd prítoku v Abonyiho dome vyrovnannejšie, čo je zjavne dôsledkom aj jeho vyrovnanjšieho hydrologického režimu (priemerný prítok sa odhadom pohybuje do 1 l·s⁻¹).

Priesaková voda z Kvapľa rožňavských jaskyniarov charakterizuje vodu základného výrazného Ca-HCO₃ typu. V jednom prípade (z odberu 1. 6. 2010) vplyvom vyššieho pomeru rMg/rCa s hodnotou 0,71 bola voda základného výrazného Ca-Mg-HCO₃ typu (obr. 11). Voda sa svojím chemickým zložením a obsahom rozpustených látok takmer nelíši od vôd hlavného toku v jaskyni. Jej mineralizácia sa pohybuje od 538 do 569 mg·l⁻¹, hydrogénuhlíčany ako hlavné anióny sa vyskytujú vo vode v priemernej koncentrácii 368 mg·l⁻¹,

vápnik ako hlavný kation vo vode dosahuje koncentrácie od 90 do 143 mg·l⁻¹. Vplyvom nízkych koncentrácií horčíka je hodnota koeficienta rMg/rCa posunutá v prospech vápnika (priemerná hodnota 0,1). Koncentrácie síranov sú nepatrne vyššie v porovnaní s vodami Marikinho jazera a prítoku v Abonyiho dome, naopak obsah voľného CO₂ je nižší (priemer 9,1 mg·l⁻¹). Vody sú podľa hodnôt pH väčšinou slabé alkalické až alkalické, ich priemerná teplota je 9,2 °C.

Mineralizácia **prameňov Pod kameňolomom a Pri kaplnke** je relatívne podobná, priemerná hodnota prvého prameňa je 528 mg·l⁻¹, druhého 536 mg·l⁻¹. Pri jednotlivých odberoch bola takmer vždy prepočítaná vyššia mineralizácia pre vody prameňa Pri kaplnke. Pri tomto prameni boli aj vyššie koncentrácie síranov, v priemere o 25 mg·l⁻¹. V prípade koncentrácií hydrogénuhlíčanov a vápnika ako dominantných iónov vo vode sa medzi pra-

Tab. 1. Chemické zloženie vôd v Krásnohorskej jaskyni za obdobie 2009 – 2014

Tab. 1. Chemical composition of water in the Krásnohorská Cave for the period 2009 – 2014

Miesto odberu		M	pH	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
		(mg·l ⁻¹)										
Marikino jazero, n = 12	Min.	494	7,1	0,90	0,10	0	5,31	81,8	2,59	3,62	13,6	357
	Max.	554	7,6	1,55	1,22	0,28	10,9	139	3,98	9,46	25,5	376
	Medián	535	7,2	1,09	0,49	0,16	7,08	122	3,11	5,64	22,4	365
	Priemer	532	7,2	1,13	0,53	0,15	7,47	120	3,18	6,00	21,5	366
Abonyiho dóm – pravostranný prítok, n = 11	Min.	527	7,0	0,88	0,10	0	0,13	63,9	2,69	4,93	16,9	351
	Max.	588	7,5	1,42	0,50	2,38	26,7	152	3,98	9,57	30,0	399
	Medián	562	7,2	1,12	0,44	0,23	2,63	135	3,11	6,51	22,2	391
	Priemer	559	7,2	1,14	0,41	0,38	4,95	133	3,27	6,69	22,7	386
Ľavostranný prítok pred Veľkou sieňou, n = 11	Min.	502	7,3	1,08	0,16	0	16,7	63,9	3,13	2,20	55,6	325
	Max.	1102	7,9	1,60	0,72	0,30	34,1	205	4,21	6,15	374	350
	Medián	650	7,6	1,26	0,60	0,13	21,6	133	3,58	5,07	135	336
	Priemer	699	7,6	1,32	0,57	0,13	23,8	133	3,67	4,98	165	336
Prameň Buzgó, n = 13	Min.	522	7,3	0,92	0,12	0	6,69	95,8	2,77	2,53	24,7	351
	Max.	617	7,9	1,54	0,93	0,45	18,2	154	3,81	7,50	89,7	381
	Medián	564	7,5	1,09	0,54	0,13	8,93	127	3,29	5,73	34,9	364
	Priemer	562	7,5	1,12	0,54	0,16	9,67	127	3,36	5,72	45,1	363
Priesak – Kvapľa rožňavských jaskyniarov, n = 8	Min.	538	7,3	0,90	0,27	0	1,44	89,8	2,94	4,30	20,9	360
	Max.	569	7,8	1,40	0,55	0,17	38,8	143	5,55	6,68	33,3	373
	Medián	551	7,5	1,12	0,49	0,10	1,97	134	3,46	5,39	29,2	371
	Priemer	551	7,5	1,13	0,46	0,09	8,73	128	3,79	5,47	28,4	368

Tab. 2. Chemické zloženie vôd v okolí Krásnohorskej jaskyne za obdobie 2009 – 2014

Tab. 2. Chemical composition of water in the vicinity of the Krásnohorská Cave for the period 2009 – 2014

Miesto odberu		M	pH	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
		(mg·l ⁻¹)										
Prameň Pri kaplnke, n = 13	Min.	508	7,3	0,93	0,13	0,02	6,66	87,8	2,59	3,20	23,5	312
	Max.	576	7,7	1,57	0,96	0,42	23,0	142	3,98	7,74	80,7	369
	Medián	534	7,5	1,13	0,49	0,14	8,83	121	3,04	5,40	37,0	351
	Priemer	536	7,5	1,16	0,49	0,15	10,2	121,1	3,11	5,39	43,5	345
Prameň Pod kameňolomom, n = 13	Min.	461	7,1	0,80	0,10	0	3,75	87,8	2,94	3,84	18,5	304
	Max.	619	7,5	1,90	0,52	0,45	24,2	216	3,69	8,29	69,4	372
	Medián	527	7,3	1,20	0,39	0,09	4,40	123	3,29	6,44	26,3	351
	Priemer	528	7,3	1,23	0,36	0,13	6,33	128	3,30	6,44	29,7	346
Občasný prameň, n = 2	Min.	511	7,2	0,89	0,32	0,15	5,48	85,8	3,46	5,33	20,2	348
	Max.	525	7,3	1,60	0,47	0,21	26,7	122	3,63	8,47	32,5	360
	Medián	518	7,2	1,25	0,40	0,18	16,1	104	3,55	6,90	26,3	354
	Priemer	518	7,2	1,25	0,40	0,18	16,1	104	3,55	6,90	26,3	354
Rakaťa, n = 3	Min.	438	7,2	2,35	0,56	0	3,06	98,9	3,98	6,55	19,8	293
	Max.	526	7,6	3,13	0,75	0,19	5,19	127	7,70	11,2	30,5	333
	Medián	470	7,4	2,93	0,63	0,17	6,45	107	3,98	9,12	26,3	308
	Priemer	478	7,4	2,80	0,65	0,12	3,90	111	5,22	8,96	25,5	311

meňmi nepozorovala priama závislosť. V prípade horčička boli koncentrácie v prameni Pri kaplnke od 6,7 do 23 mg·l⁻¹, vody prameňa Pod kameňolomom mali pri jednotlivých odberoch tieto koncentrácie vždy nižšie s výnimkou odberu 1. 6. 2010. Z hľadiska Gazdovej genetickej klasifikácie boli vody oboch prameňov základného výrazného Ca-HCO₃ typu s majoritným zastúpením A₂ zložky (obr. 11). Pri vodách prevládala z hľadiska pH ich slabý alkalický charakter. Prameň Pod kameňolomom mal o niečo vyššie obsahy voľného CO₂ (v priemere o 4 mg·l⁻¹).

Vody z **Občasného prameňa** boli počas odberov aktívne len dvakrát: 1. 6. 2010 a 29. 5. 2013. V prvom prípade charakterizovali vody základný výrazný Ca-HCO₃ typ, v druhom základný výrazný Ca-Mg-HCO₃ typ. Ich mineralizácia a chemické zloženie boli porovnateľné v čase odberov s prameňmi Pod kameňolomom a Pod kaplnkou. Koncentrácie síranov boli bližšie k nižším koncentráciám v prameni Pod kameňolomom.

Vody zo **studne Rakafa** boli slabé alkalické až alkalické. Ich mineralizácia bola v porovnaní s jaskynnými vodami a vodami okolitých prameňov nižšia (priemer 478 mg·l⁻¹). Aj tieto vody predstavovali vody základného výrazného Ca-HCO₃ typu s priemernou hodnotou A₂ zložky 86 c-z %. Hlavnými iónmi vo vode boli hydrogénuhličitanové anióny a kationy vápnika. Oproti ostatným vodám mali vody zo studne vyššie koncentrácie fosforečnanov (priemer 0,114 mg·l⁻¹).

NASÝTENIE VÔD VOČI KALCITU, DOLOMITU A SADROVCU

Nasýtenie vôd voči hlavným karbonátovým minerálom hodnotíme na základe výsledkov špeciálneho hydrogeochemického modelovania v programe PHREEQC-2, Vzhľadom na geologické pomery lokality nás zaujímali hlavne hodnoty indexov nasýtenia (SI) voči kalcitu a dolomitu. Tie boli pre jednotlivé lokality premenlivé (obr. 13). Vzhľadom na tvoriace sa penovce pred jaskyňou sa v dvoch prípadoch v roku 2011 (12. 5. 2011 a 29. 9. 2011) odobrali vzorky vody aj z potoka pod jaskyňou. Práve tie mali jedny z najvyšších nasýtení voči kalcitu aj dolomitu. Zároveň mali tieto vody najvyššie hodnoty pH (7,8 a 7,9) a hodnotu voľného CO₂ vo vode rovnú nule, respektíve takmer nulovú. Z jaskynných vôd boli v rámci jednotlivých súborov odberov voči kalcitu vždy najviac nasýtené priesakové vody; vody boli väčšinou presýtené voči kalcitu. V niektorých prípadoch bolo nasýtenie ekvivalentné nasýteniu bočného prítoku pred Veľkou sieňou, respektíve prameňa Buzgó. Aj pri týchto vodách dominovalo presýtenie voči kalcitu, respektíve rovnovážny stav. Priemerná hodnota nasýtenia voči kalcitu pri všetkých troch lokalitách bola 0,5. Vody vytekajúce z Marikinho jazera mali zo všetkých vôd najnižšie nasýtenie voči kalcitu a charakterizovali rovnovážny stav s priemernou hodnotou 0,13. Podobné nasýtenie voči kalcitu, aj keď nepatrne vyššie, bolo nasýtenie prítoku v Abonyiho dome (priemerná hodnota 0,2). Prameň v okolí jaskyne mali rozdielny stupeň nasýtenia. Relatívne podobné bolo nasýtenie občasného prameňa a prameňa Pod kameňolomom.

Vody z týchto prameňov boli vždy v rovnováhe s kalcitom. Priemerná hodnota SI prameňa Pod kameňolomom bola 0,2, občasného prameňa 0,1. Prameň Pri kaplnke mal vyššie nasýtenie voči kalcitu. Jeho vody boli v rovnováhe s kalcitom, prípadne až na hranici presýtenia (priemerná hodnota SI 0,4).

V prípade nasýtenia vôd voči dolomitu boli na jednotlivých lokalitách pomerne veľké rozdiely (obr. 14). Priemerné hodnoty SI dolomitu rástli v poradí: prítok v Abonyiho dome (-1,17) < Marikino jazero (-0,84) < prameň Pod kameňolomom (-0,8) < priesaková voda na Kvapeľ rožňavských jaskyniarov (-0,61) < prameň Pri kaplnke (-0,24) < prameň Buzgó (-0,09) < prítok pred Veľkou sieňou (0,29). Na prvých troch lokalitách prevládalo výrazné nedosýtenie voči dolomitu. V prípade priesakovej vody bolo nasýtenie voči dolomitu o niečo vyššie, občasne sa vyskytol aj rovnovážny stav. Vody prameňa Pri kaplnke boli v rovnováhe s týmto minerálom rovnako ako vody prameňa Buzgó. Najvyššie nasýtenie voči dolomitu mali vody bočného prítoku pred Veľkou sieňou, ktoré charakterizoval rovnovážny stav alebo občasne mierne presýtenie voči tomuto minerálu.

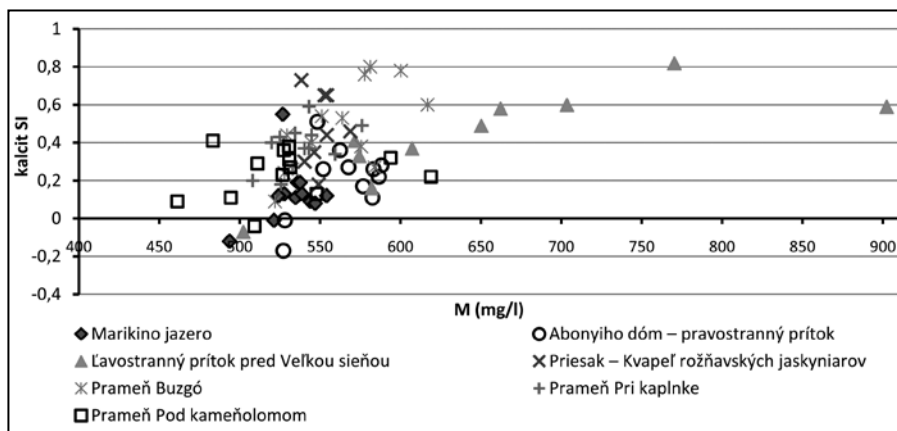
Vzhľadom na vyššie koncentrácie síranov vo vodách ľavostranného prítoku pred Veľkou sieňou je vhodné spomenúť aj výsledky prepočítaných hodnôt indexov nasýtenia voči sadrovcu. Tie preukázali na všetkých odberných miestach vrátane prítoku pred Veľkou sieňou pomerne veľké nedosýtenie. Vody

prítoku pred Veľkou sieňou mali síce najvyššie hodnoty SI (od -1,89 do -0,76), stále však boli v rovne nedosýtenia voči sadrovcu.

DISKUSIA

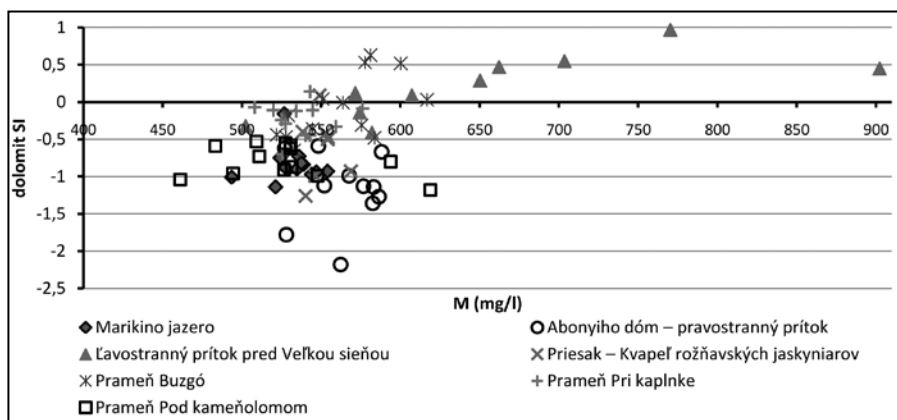
V prípade Krásnohorskej jaskyne a jej hydrologického systému preukázali výsledky hydrogeochemického výskumu priestorovú variabilitu chemického zloženia vôd, ktorá odráža podmienky jeho formovania. Podľa výsledkov chemických analýz je hlavným procesom tvorby chemického zloženia vôd rozpúšťanie karbonátov, pri ktorom sa do vody dostávajú kationy vápnika, horčička a hydrogénuhličitanové anióny. Tento proces je dominantný pri priesakových vodách aj pri vodách podzemných tokov. V prípade formovania chemického zloženia vôd podzemných tokov, konkrétne bočného ľavostranného prítoku pred Veľkou sieňou pritekajúceho v smere od Heliktivého domu, sa vzhľadom na vyššie obsahy síranov v jeho vodách do určitej miery pravdepodobne uplatňuje aj proces rozpúšťania síranov (sdrovcov), prípadne proces oxidácie pyritu a následne proces miešania vôd.

Kationy vápnika a hydrogénuhličitanové anióny predstavujú majoritné ióny vo vodách z Krásnohorskej jaskyne. Podiel horčička je väčšinou nízky, rovnako ako pomer rMg/rCa. Priemerné hodnoty koeficienta rMg/rCa rastú v poradí: prameň Pod kameňolomom (0,09) < prítok v Abonyiho dome (0,092) < Marikino jazero (0,10) < priesak (0,11) <



Obr. 13. Graf závislosti nasýtenia vôd voči kalcitu a mineralizácie

Fig. 13. Diagram of water saturation with respect to calcite versus total dissolved solids



Obr. 14. Graf závislosti nasýtenia vôd voči dolomitu a mineralizácie

Fig. 14. Diagram of water saturation with respect to dolomite versus total dissolved solids

Buzgó (0,13) < prameň Pri kaplnke (0,15) < prítok pred Veľkou sieňou (0,31). Najvyššie hodnoty koeficienta dosahujú vody v čase vysokých prítokov. Napríklad 1. 6. 2010 bola jeho hodnota na prítoku pred Veľkou sieňou 0,84, prítoku v Abonyiho dóme 0,69, na prameni Buzgó 0,31 a Marikinom jazere 0,22. Podľa hodnôt koeficienta rMg/rCa môžeme usudzovať, že vody v Marikinom jazere, prítoku v Abonyiho dóme a prameni Pod kameňolomom sa formujú hlavne v prostredí čistých vápencov. Pri prítoku pred Veľkou sieňou a prameni Pri kaplnke je možné uvažovať o prostredí dolomitických vápencov alebo o zmiešanom obehu. Za vyšších stavov sa v celom podzemnom systéme pri vodách horizontálnej cirkulácie zvyšuje podiel vôd pritekajúcich z takéhoto geologického prostredia.

V prípade prameňa Buzgó závisí charakter jeho celkového chemického zloženia vrátane hodnôt rMg/rCa od pomeru miešajúcich sa vôd hlavného toku pritekajúceho z Marikiného jazera s bočnými prítokmi. Hlavne ľavostranný prítok pred Veľkou sieňou vzhľadom na svoje chemické zloženie (zvyšné koncentrácie síranov) dokáže výraznejšie ovplyvniť chemické zloženie vôd na výstupe z jaskyne. Najvýraznejší vplyv je v čase veľmi nízkych výdatností prameňa Buzgó, keď sa na prameni zvyšuje koncentrácia síranových aniónov, ako aj celková mineralizácia jeho vôd. V porovnaní s prítokom však tieto rozdiely majú nižšie hodnoty variačného rozpätia, respektíve nižšie hodnoty pomernej priemernej odchýlky. Pravdepodobne hlavne vplyvom vyšších hodnôt pH ľavostranného prítoku majú vody na prameni v porovnaní s vodami z koncovej časti jaskyne

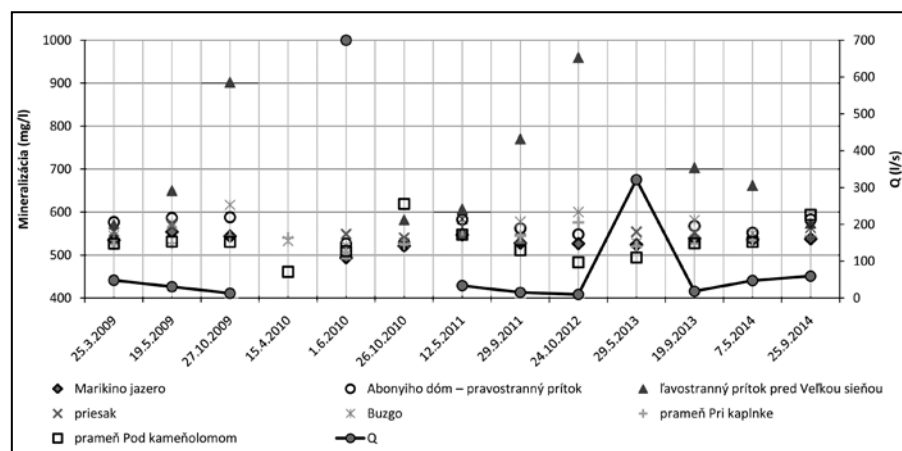
v Marikinom jazere alebo napr. s vodami prítoku v Abonyiho dóme vyššie priemerné hodnoty pH. Takéto vyššie hodnoty pH sú charakteristické aj pre prameň Pri kaplnke.

V prípade prameňa Pri kaplnke a prameňa Buzgó môžeme vidieť vyššiu koreláciu nielen pri hodnotách pH, ale aj pri ďalších chemických ukazovateľoch (Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-}). Táto závislosť je vyššia ako v prípade vzájomného porovnania prameňa Buzgó s prameňom Pod kameňolomom. Rovnako sa ukazuje vyššia korelácia v chemickom zložení vôd medzi vodami Marikiného jazera, prítoku v Abonyiho dóme a prameňom Pod kameňolomom. Pri občasnom prameni pre nízky počet vzoriek nemôžeme podrobnejšie posúdiť takýto typ korelácie. Občasný prameň je aktívny len počas vysokých vodných stavov a práve vtedy sa výraznejšie rozdiely v chemickom zložení vôd jednotlivých odberných miest viacej „stierajú“.

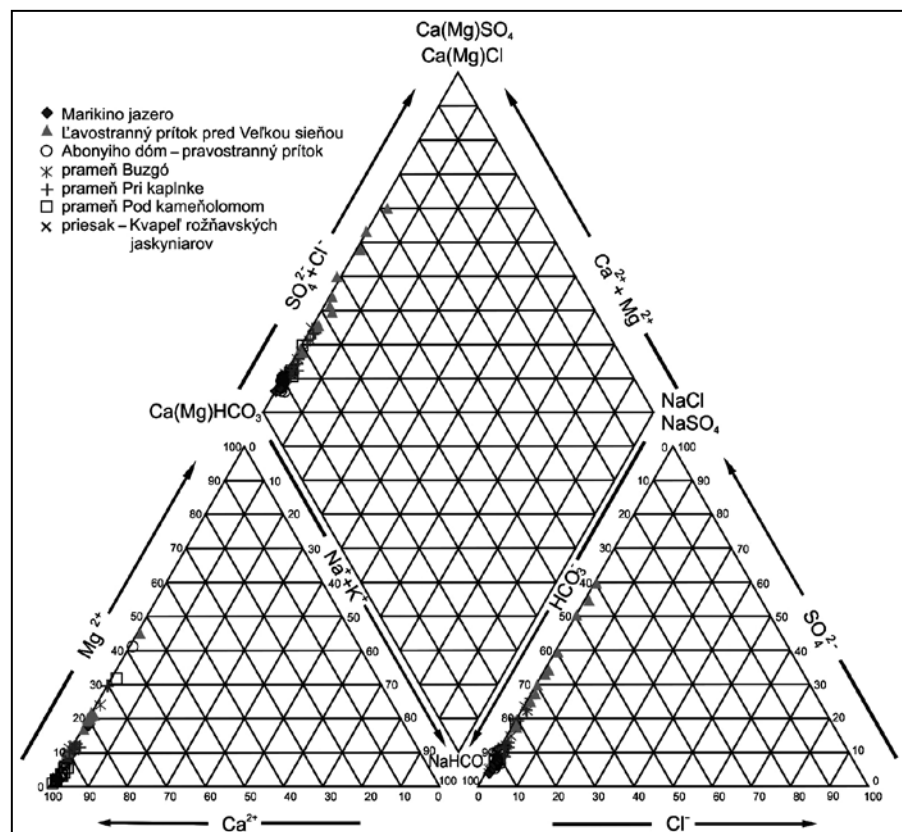
Priemerná hodnota celkovej mineralizácie vôd v rámci porovnania jednotlivých odberných miest rastie v poradí: Rakaťa ($478 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < Marikino jazero ($523 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < prameň Pod kameňolomom ($528 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < prameň Pri kaplnke ($536 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < priesak ($551 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < prítok v Abonyiho dóme ($559 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < Buzgó ($562 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) < prítok pred Veľkou sieňou ($699 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Vody ľavostranného prítoku vo Veľkej sieni majú najväčšie rozdiely v celkovej mineralizácii, najvyššiu variabilitu chemického zloženia (obr. 15, obr. 16).

Tento stav spôsobuje predovšetkým pomerne veľký rozptyl koncentrácií vápnika a síranov. Na druhej strane chemicky najstálejšie sú priesakové vody Kvapľa rožňavských jaskyniarov (obr. 17). Ide o jeden zo základných znakov tohto typu vôd (priesakové vody s pomerne vyrovnaným priesakom), ktoré rovnako charakterizuje vyššia hodnota pH a nižší obsah voľného CO_2 . Priesakové vody majú vzhľadom na svoje nasýtenie voči kalcitu schopnosť tvorby jaskynných speleotém. Vyššie hodnoty SI sú v tomto prípade pravdepodobne odrazom hlavne dlhšej interakcie vody s horninovým prostredím. V porovnaní s priesakovými vodami s porovnateľnou intenzitou priesaku v ďalších jaskyniach Súľavskej planiny (Haviarová et al., 2010; Haviarová et al., 2011), odobranými približne v rovnakom časovom období, však hodnoty SI nijak výraznejšie nevybočujú z priemeru presýtených vôd voči kalcitu (maximálna prepočítaná hodnota SI priesaku na kvapľ bola 0,89, priemerná 0,47 a minimálna 0,33). Presýtenie vôd väčšinou pretrváva počas celého roka, čo bolo a je spolu so stálym priesakom základnou, ale v tomto prípade pravdepodobne nie jedinou podmienkou na budovanie takéhoto impozantného kvapľa. Problematike rastu Kvapľa rožňavských jaskyniarov je tak potrebné aj naďalej venovať pozornosť.

Z hľadiska nasýtenia vôd voči kalcitu a dolomitu je v jaskyni zaujímavé aj odberné miesto ľavostranného prítoku pred Veľkou sieňou, ktoré má v porovnaní s ostatnými lokalitami najvyššie nasýtenie voči dolomitu a spolu s prameňom Buzgó v rámci vôd horizontálnej cirkulácie aj najvyššie nasýtenie voči kalcitu. Za predpokladu, že zvýšené hodnoty síranov vo vode z tohto prítoku pochádzajú z rozpúšťania sadrovca, môžeme uvažovať o nasledujúcom. Sadrovec podporuje rozpustnosť dolomitu. Počas rozpúšťania sadrovca vzrastá



Obr. 15. Pribeh mineralizácie vôd jednotlivých odberov v závislosti od výdatnosti prameňa Buzgó
Fig. 15. The course of mineralization in water samples versus Buzgó Spring discharge



Obr. 16. Piperov graf chemického zloženia vôd
Fig. 16. Piper diagram of water chemical composition

koncentrácia Ca^{2+} iónov, ktorá vedie k vyzrážaniu kalcitu. Pokles koncentrácie CO_3^{2-} vplyvom vyzrážania kalcitu vyvoláva rozpúšťanie dolomitu a nárast koncentrácie Mg^{2+} vo vode (Appelo a Postma, 2005). V prípade, že na tomto prítoku dochádza k miešaniu viacerých typov vôd – predpokladáme miešanie vôd s typickou karbonátogénnou mineralizáciou s vodami s vyššími koncentraciami síranov, môžeme očakávať pri premiešaní narušenie prípadnej karbonátovej rovnováhy s následným procesom inkongruentného rozpúšťania karbonátov (Hyánková a Melioris, 1992). Vody jaskynného toku vystupujúce na povrch cez prameň Buzgó sú dostatočne nasýtené voči kalcitu. Po ich výstupe z podzemia dochádza k uvoľneniu CO_2 do ovzdušia. Vody povrchového toku pred jaskyňou znižujú podiel voľného CO_2 až na nulu za súčasnej možnosti vyzrážania CaCO_3 . Kr stratám oxidu uhličitého dochádza hlavne v mieste už existujúcich penovcových kaskád, kde nastáva spomaľovanie prúdenia a vytváranie lepších podmienok na uvoľnenie CO_2 . Z hľadiska možnosti uvoľňovania CO_2 z vody priamo v jaskynnom prostredí budú určité zaujímavým prínosom poznatky o koncentraciách CO_2 v jaskynnom ovzduší, ktoré by mali byť jedným z výstupov bežiacieho projektu LIFE+ v jaskyni.

Z kvalitatívnej stránky predovšetkým vo vzťahu k poľnohospodárskej činnosti a pasienkarstvu sú jaskynné vody z hľadiska chemických ukazovateľov relatívne dobrej kvality. Dusičnany neprekračujú svojím obsahom vo vodách $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, chloridy $6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Maximálne koncentrácie sodíka vo vodách dosahujú $1,6 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, draslíka $1,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Občasne sa vo vodách objavujú vyššie koncentrácie amónnych iónov (viac ako $0,3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Najvyššie nameraná koncentrácia týchto iónov bola stanovená vo vzorke z 29. 9. 2011 na prítoku v Abonyiho dóme ($2,38 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Koncentrácie fosforečnanov sa väčšinou pohybujú do $0,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V prípade síranov je predpoklad spojenia ich vyšších koncentrácií vo vode s prirodzenými chemickými procesmi prebiehajúcimi na fázovom rozhraní voda-hornina, a nie ako dôsledok antropogénneho znečistenia. Organické znečistenie sa vo vode sledovalo len nepriamo pomocou ukazovateľa CHSK_{Mn} . Najnižšie hodnoty dosahoval tento ukazovateľ pri vodách prítoku v Abonyiho dóme (maximum $0,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$), na ostatných lokalitách boli jeho hodnoty o niečo vyššie (maximum $1,1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Pri porovnaní s Nariadením vlády č. 496/2010 Z. z. (nariadenie, ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu) sa vo vodách

v rámci stanovovaných ukazovateľov občasne vyskytuje prekročená medzná hodnota Mn, amónnych iónov a síranov. V podobnom duchu sa javí aj kvalita vôd z lokality Rakafa (obr. 18) a zvyšných prameňov v okolí jaskyne. Stopové prvky, ktoré boli stanovované v rámci odberov 19. 5. 2009 (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Sb, Ni, Pb, Zn), sa vyskytovali vo všetkých vodách jaskynného systému len v nízkych koncentraciách.

ZÁVER

Krásnohorská jaskyňa a jej podzemný hydrologický systém predstavuje zaujímavý objekt hydrogeochemického výskumu. Aj napriek tomu, že sa s jaskyňou nespája žiaden povrchový tok, ktorý by aktívne komunikoval s jaskynným hydrologickým systémom, chemické zloženie jaskynných vôd je pomerne pestré a neuniformné v priestore aj čase. Ako významný faktor spôsobujúci rozdiely chemického zloženia vôd v podzemnom systéme sa ukazuje hlavne mineralogicko-petrografické zloženie horninového prostredia, ktorým voda preteká, charakter obehu podzemných vôd a dĺžka interakcie vody s horninovým prostredím.

Pre Krásnohorskú jaskyňa a jej hydrologický systém sú charakteristické vody s petrogénnou mineralizáciou, ktorých chemické zloženie formuje hlavne proces rozpúšťania karbonátov. Hlavnými iónmi vo vode sú hydrogénuhličitanové anióny a katióny vápnika. Dominantným genetickým typom vôd je základný výrazný Ca-HCO_3 typ, z ďalších typov sa vyskytuje základný výrazný Ca-Mg-HCO_3 typ, základný nevýrazný Ca-HCO_3 typ, základný nevýrazný Ca-SO_4 typ a prechodný $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$ typ. Posledné dva spomínané typy vôd sú dôsledkom vyšších koncentrácií síranov, ktoré sa primárne objavujú vo vodách ľavostranného prítoku pred Veľkou sieňou. Takýto

typ vôd nie je bežný pre krasové vody v jaskyniach Silickej planiny. Zvýšené koncentrácie síranov (maximálna nameraná koncentrácia $374 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) vo vode sú pravdepodobne dôsledkom procesu rozpúšťania síranov alebo oxidácie pyritu, ktoré sa vyskytujú v priestore ich obehových ciest. Zdrojom môžu byť v blízkosti ležiace sinské vrstvy alebo šošovky pestrých vápencov, dolomitov a rauvakov obsahujúcich polohy evaporitov, ktoré vystupujú na rozhraní verfénskeho súvrstvia a gutensteinských vápencov (Mello et al., 1997a). Vyššie koncentrácie síranov následne spôsobujú aj vyššie hodnoty celkovej mineralizácie bočného prítoku, ktorá môže vzrásť až nad $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Takáto vysoká mineralizácia sa už neprejavuje pri vodách z prameňa Buzgó, ktorý predstavuje sústredný výver jaskynných vôd na povrch. Dôvodom je proces miešania vôd, ktoré sa v jaskyni pred ich výstupom na povrch stretávajú, pričom dominantný podiel týchto vôd s výnimkou už spomínaného ľavostranného prítoku tvoria klasické krasové vody vznikajúce rozpúšťaním karbonátov. Pri miešaní je dôležité chemické zloženie a celková mineralizácia vôd vytekajúcich z Marikinho jazera, keďže tieto vody svojím prítokovým množstvom dominujú v rámci hlavného podzemného riečiska. Vody z Marikinho jazera sa podľa výsledkov kontinuálnych meraní EC dokážu dostatočne zmineralizovať aj počas vysokých stavov v jaskynnom systéme a ich chemické zloženie nepodlieha takým veľkým zmenám, ako je to v prípade ľavostranného bočného prítoku. V budúcnosti by bolo vhodné aj na tomto bočnom prítoku vzhľadom na jeho jedinečnosť kontinuálne sledovať EC a následne podrobnejšie opísať rozsah a priebeh zmien v obsahu jeho rozpustených látok.

Vody z prameňov ležiacich v blízkosti prameňa Buzgó sú svojím chemickým zložením podobné chemickému zloženiu jaskynných vôd. Prameň pod kameňolomom sa svojím chemickým zložením viac približuje vodám,



Obr. 17. Kvapel' rožňavských jaskyniarov. Foto: D. Haviarová
Fig. 17. Dripstone of Rožňava Cavers. Photo: D. Haviarová



Obr. 18. Rakafa – časť vodozbernej oblasti Krásnohorskej jaskyne. Foto: D. Haviarová
Fig. 18. Rakafa – part of the Krásnohorská Cave catchment area. Photo: D. Haviarová

ktoré pritekajú do systému v rámci hlavného riečiska (vody z Marikinho jazera). Prameň Pod kaplnkou svojim chemickým zložením zasa viac koreluje s vodami prameňa Buzgó, t. j. s vodami, ktoré majú o niečo vyššie koncentrácie síranov a vyššie hodnoty pH.

Vychádzajúc z výsledkov špeciálneho modelovania môžeme hovoriť o pomere veľkej schopnosti jaskynných vôd podieľať sa na tvorbe recentných sintrových foriém. Túto schopnosť majú okrem priesakových vôd občasne aj niektoré vody horizontálnej cirkulácie, a to hlavne vody pritekajúce z ľavostranného prítoku pred Veľkou sieňou. Následne sa zvýšené nasýtenie najmä v čase veľmi nízkych prítokov prejavuje aj pri vodách na prameni Buzgó.

Krásnohorskú jaskyňu môžeme na základe hodnôt parciálneho tlaku CO₂ (podľa Freeze a Cherry, 1979) vypočítaných v programe PHREEQC-2 priradiť s hodnotami

v rozpätí 2,92·10⁻⁴ až 2,6·10⁻³ MPa k otvoreným krasovým systémom s neustálym dopĺňaním CO₂.

Kvalita jaskynných vôd (priesakových vôd aj vôd podzemných tokov) je z hľadiska chemických ukazovateľov dobrá. Ani pri vysokých stavoch nenastáva jej výrazné zhoršenie. Problématické sú pri vyšších prítokoch predovšetkým jej senzoričné vlastnosti, občasne aj vyššie koncentrácie amónnych iónov a síranov. V prípade síranov sa predpokladá väčšinou ich prírodný, resp. geogénny pôvod (z procesov rozpúšťania sadrovca, anhydritu, prípadne oxidácie sulfidov). Sulfidický pôvod vôd bude vhodné nepriamo overiť v rámci ďalších prác na lokalite prostredníctvom stanovenia izotopov síry. Pomerne dobrý kvalitatívny stav vôd jaskynného systému z chemickej stránky je odrazom možností a spôsobu využívania územia v rámci celej jeho vodozbernej oblasti, ktoré

je podmienené súčasnou legislatívou vzťahujúcou sa na dané územie. K rizikovým činnostiam ohrozujúcim kvalitu vôd (hlavne z mikrobiologickej a organickej stránky) sa stále radí pasienkarstvo na povrchu planiny a činnosti spojené s lesným hospodárstvom.

Poďakovanie. Výsledky príspevku sa získali na základe projektu VEGA č. 1/0636/15, financovaného Ministerstvom školstva, vedy výskumu a športu Slovenskej republiky, a realizácie Plánu hlavných úloh Správy slovenských jaskýň na roky 2009 až 2014. Riešiteľský kolektív chce touto cestou poďakovať Zoltánovi Jergovi a Jaroslavovi Stankovičovi zo Speleoklubu Minotaurus v Rožňave za pomoc pri realizácii výskumu. Autori ďakujú aj Marte Šramelovej z Katedry hydrogeológie PriF UK v Bratislave za pomoc pri terénnych a laboratórnych prácach.

LITERATÚRA

- APPELO, C. A. J. – POSTMA, D. 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution*, 2nd edition. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, 649 p.
- DEUTSCH, W. J. – JENNE, E. A. – KRUPKA, A. M. 1982. *Solubility equilibria in basalt aquifers; the Columbia Plateau, Eastern Washington, USA*. *Chemical Geology*, 36, 1–2, 15–34.
- FEAKOVÁ, R. – ŽENIŠOVÁ, Z. – SEMAN, M. 2010. *Chemická analýza vody v hydrogeológii*. Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, 166 s.
- FREEZE, R. A. – CHERRY, J. A. 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 604 p.
- GAVALIAKOVÁ, B. – FEAKOVÁ, R. – ŽENIŠOVÁ, Z. – HAVIAROVÁ, D. – GROLMUSOVÁ, Z. 2015. *Chemické a izotopové zloženie vôd v systéme Krásnohorskej jaskyne*. *Podzemná voda*, 21, 2, 118–136.
- GAZDA, S. 1974. *Chemizmus podzemných vôd Západných Karpát a jeho genetická klasifikácia*. In Leško B. (Ed.): *Materiály z III. celoslovenskej geologickej konferencie*, II. časť. Slovenský geologický úrad, Bratislava, 43–50.
- HANZEL, V. – REPKA, T. – ZAKOVIČ, M. 1975. *Základná hydrogeologická mapa ČSSR 1 : 200 000, list 37 Košice*. Manuskript – archív Geofondu ŠGÚDŠ, 428 s.
- HAVIAROVÁ, D. – FEAKOVÁ, R. – SEMAN, M. – ŽENIŠOVÁ, Z. 2010. *Formovanie chemického zloženia vôd v jaskyni Domica*. *Podzemná voda*, 13, 2, 153–161.
- HAVIAROVÁ, D. – FEAKOVÁ, R. – ŽENIŠOVÁ, Z. – SEMAN, M. 2011. *Chemické zloženie a mikrobiologické vlastnosti krasových vôd jaskyne Milada a jej podzemného hydrologického systému (Silická planina, Slovenský kras)*. *Podzemná voda*, 17, 1, 34–51.
- HAVIAROVÁ, D. – SEMAN, M. – STANKOVIČ, J. – FEAKOVÁ, R. – ŽENIŠOVÁ, Z. 2012. *Chemické zloženie a mikrobiologický profil krasových vôd Krásnohorskej jaskyne (Silická planina, Slovenský kras)*. *Acta Geologica Slovaca*, 4, 1, 31–25.
- HOCHMUTH, Z. 2000. *Problémy speleologického prieskumu podzemných tokov na Slovensku*. Slovenská speleologická spoločnosť, Prešov – Košice, 163 s.
- HORÁKOVÁ, M. – JANDA, V. – KOLLER, J. – KOLLEROVÁ, L. – PALATÝ, J. – KOUBÍKOVÁ, J. – POKORNÁ, D. – PŤÁKOVÁ, H. – SCHEJBAL, P. – SMRČKOVÁ, Š. – STRNADOVÁ, N. – SÝKORA, V. – PŤÁKOVÁ, H. 2003. *Analytika vody*. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 335 s.
- HYÁNKOVÁ, K. – MELIORIS, L. 1992. *Vybrané kapitoly z hydrogeochemie*. Univerzita Komenského v Bratislave, Bratislava, 108 s.
- KULLMAN, E. – PATSCHOVÁ, A. – MALÍK, P. – BODIŠ, D. – HOLUBEK, M. 2006. *Vymedzenie útvarov podzemných vôd, ich klasifikácia a vyhodnotenie dopadov ľudskej činnosti na ich stav*. In Kollár, A. (Ed.): *Rámcová smernica o vode – stav implementácie v podmienkach SR*. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Bratislava, 33–40.
- MALÍK, P. – ŠVASTA, J. – ČERNÁK, R. 2005. *Charakterizácia útvarov podzemných vôd kvartérnych a predkvartérnych hornín z hľadiska tvorby, odvodňovania a smerov prúdenia podzemných vôd*. Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, 121 s.
- MALÍK, P. – GREGOR, M. – ŠVASTA, J. – HAVIAROVÁ, D. 2011. *Interpretácia meraní teploty a mernej elektrickej vodivosti v profile podzemného toku Krásnohorskej jaskyne*. *Slovenský kras*, 49, 1, 41–55.
- MALÍK, P. – GREGOR, M. – ČERNÁK, R. – BOTLIK, F. – ŠUTAROVÁ, B. – OTRUBA, M. 2014. *Stupeň skrasovatenia horninového prostredia severného okraja Silickej planiny na základe analýzy výtokových čiar*. *Podzemná voda*, 20, 2, 128–141.
- MELLO, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – ŠNOPKO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. – GAÁL, L. – HANZEL, V. – HÓK, J. – KOVÁČ, P. – SLAVKAY, M. – STEINER, A. 1997a. *Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50 000*. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava, 255 s.
- MELLO, J. – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – ŠNOPKO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. 1997b. *Geologická mapa Slovenského krasu 1 : 50 000*. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava.
- MOTYKA, J. – GRADZINSKI, M. – BELLA, P. – HOLUBEK, P. 2005. *Chemistry of water from selected caves in Slovakia – a reconnaissance study*. *Environmental Geology*, 48, 6, 682–692.
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 496/2010 Z. z. z 8. decembra 2010, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody na ľudskú spotrebu.
- ORVAN, J. 1999. *Podzemné vody Slovenského krasu*. In Šmidt, J. (Ed): *Výskum a ochrana prírody Slovenského krasu, zborník referátov zo seminára k 25. výročiu vyhlásenia CHKO Slovenský kras, Brzotín*, 51–59.
- ORVAN, J. 1994. *Podzemné vody*. In Rozložník, M. – Karasová, E. (Eds.): *Slovenský kras – Chránená krajinná oblasť – biosférická rezervácia, CHKO Slovenský kras*, Osveta, Martin, 225–234.
- OTRUBA, M. 2014. *Krasovo-puklinové vody Silickej planiny*. Diplomová práca. Bratislava, Univerzita Komenského, 87 s.
- PARKHURST, D. L. – APPELO, C. A. J. 1999. *PHREEQC-2, A Hydrogeochemical Computer Program*. U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 99-4259, 312 p.
- PITTER, P. 2009. *Hydrogeochemie*. Vydavatelství VŠCHT, Praha, 579 s.
- RODA, Š. 1967. *Výskum občasného toku „Studňa Rákota“ na Silickej planine farbením fluoresceínom*. Zborník Východoslovenského múzea v Košiciach, séria A, Geologické vedy VIII A – 1967. Východoslovenské vydavateľstvo, Košice, 69–71.
- RODA, Š. – RAJMAN, L. – ERDŐS, M. – SZABOVÁ, T. 1986. *Vznik a vývoj sintrových foriém v piatich jaskyniach Slovenského krasu*. Osveta, Martin, 1–227.
- STANKOVIČ, J. – ČÍLEK, V. – BRUTHANS, J. – GAÁL, L. – KOVÁČ, Á. – ROZLOŽNÍK, M. – SCHMELZOVÁ, R. – ZEMAN, O. – KOVÁČ, L. – MOCK, A. – LUPTÁČIK, P. – HUDEC, I. – NOVÁKOVÁ, A. – KOŠEL, V. – FENĐA, P. 2005. *Krásnohorská jaskyňa Buzgó*. Speleoklub MINOTAURUS, Rožňava, 150 s.
- ŠMÍDA, B. – STANKOVIČ, J. 1999. *Bočný prítok v Krásnohorskej jaskyni*. *Spravodaj SSS*, 30, 4, 12–17.
- ŠUBA, J. – CIBUEKA, L. – FRNČO, M. – KALAŠ, L. – NEŠVARA, J. – ORVAN, J. – POTYS, Z. – ŠUBOVÁ, A. 1973. *Slovenský kras a Turňanská kotlina, vyhľadávací hydrogeologický prieskum*, stav k 31. 12. 1972. Manuskript – archív Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 229 s.
- ŠUBA, J. – BUJALKA, P. – CIBUEKA, L. – FRANKOVIČ, J. – HANZEL, V. – KULLMAN, E. – PORUBSKÝ, A. – POSPÍŠIL, P. – ŠKVARKA, L. – ŠUBOVÁ, A. – TKÁČIK, P. – ZAKOVIČ, M. 1984. *Hydrogeologická rajonizácia Slovenska*. SHMÚ, Bratislava, 310 s.
- WRÓBLEWSKI, W. 2015. *Czynnikii warunkujace wzrost współczesnych martwic wapiennych na podstawie badań podziemnych i powierzchniowych odcinków wybranych potoków południowej Słowacji*. Praca doktorska, Instytut Nauk Geologicznych, Uniwersytet Jagielloński, Kraków (nepublikované).

JASKYNNÉ ÚROVNE A ICH MORFOGENETICKÉ VARIANTY

Pavel Bella^{1,2} – Michal Veselský³

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

² Katedra geografie, Pedagogická fakulta, Katolícka univerzita, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok; Pavel.Bella@ku.sk

³ Katedra fyzickej geografie a geoekológie, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Komenského, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4; michal.veselsky@gmail.com

P. Bella, M. Veselský: Cave levels and their morphogenetic variants

Abstract: From the morphogenetic point of view cave levels belong to the most studied forms of speleorelief, as they reflect the formation of caves or their parts in relation to the stabilized erosion base. Their development is correlated with the development of river and marine terraces, pediments or planation surfaces. The origin of levelled passages is linked to the period of slowdown, respectively interruption of tectonic uplift of the area (synchronously pediments or planation surfaces are formed on the surface) or to the changing dynamics of water flows in response to rhythmic climate changes during the tectonic uplift of the area (synchronously river terraces are formed on the surface). The formation of water table caves (or looping caves) is not principally dependent on fracture density but also on the recharge dynamics, valley incision rate and vertical distribution of permeable rock structures (Gabrovšek et al., 2014). The development of cave levels ceases due erosion base lowering, which can be caused by a tectonic decrease of the lower part of watershed, an uplift of the area with cave level or an increased humidity and associated increased fluvial erosion during interglacial. Several morphological variants of cave levels can be distinguished. One-levelled passages occur in several modifications: (1) wide levelled passages with flat ceilings; (2) levelled paragenetic passages with ceiling channels, small wall channels and aggraded floors; (3) levelled tunnel-like to laterally elliptical passages, in some places with wall channels and aggraded floors; (4) vadose canyon-like passages with distinctive levelled side notches (wall channels, meanders), in some places preserved in hanging positions above recent riverbeds; (5) wide and lower levelled passages with aggraded floors (in some cases in combination with flat ceilings). Multilevelled passages can be observed in these basic forms: (1) wide passages with inverse terraced steps and flat ceilings; (2) passages with terraced steps (cognate with river terraces on the surface); (3) canyon-like passages with significant multiple wall channels, mostly with ceiling channels, in some places also with aggraded riverbeds on their floors. The examples of these morphogenetic variants of cave levels are given from significant levelled caves of the Western Carpathians (Demänová Caves, Dobšinská Ice Cave – Stratenská Cave, Domica Cave). So-called cave storeys, that are structurally or litologically predisposed, differ from cave levels (Štelcl, 1963, 1976; Jakál, 1983; Bosák, 1988; Panoš, 2001 and others). The height position of hanging water table caves, that also consist of almost horizontal passages with wide flat ceilings, corresponds with the threshold output of insoluble rocks above the local erosion base (dammed karst, horizontal or slightly inclined cave floors are not conditioned by lithological interface of overlying soluble and underlying insoluble rocks or structural discontinuity).

Key words: karst geomorphology, cave morphology, levelled cave, epiphreatic zone, karst evolution

ÚVOD

Z morfo-genetického hľadiska jaskynné úrovne patria medzi najviac skúmané tvary speleoreliéfu, pretože odrážajú vytváranie jaskýň alebo ich častí vo vzťahu k stabilizovanej eróznej báze. Ich vývoj sa koreluje s vývojom riečnych i morských terás, pedimentov alebo zarovnaných povrchov. Geochronológia jaskynných úrovní, určená na základe datovania sedimentov zachovaných v úrovňových chodbách, je integrálnou súčasťou mnohých geomorfologických štúdií zameraných na rekonštrukciu vývoja reliéfu.

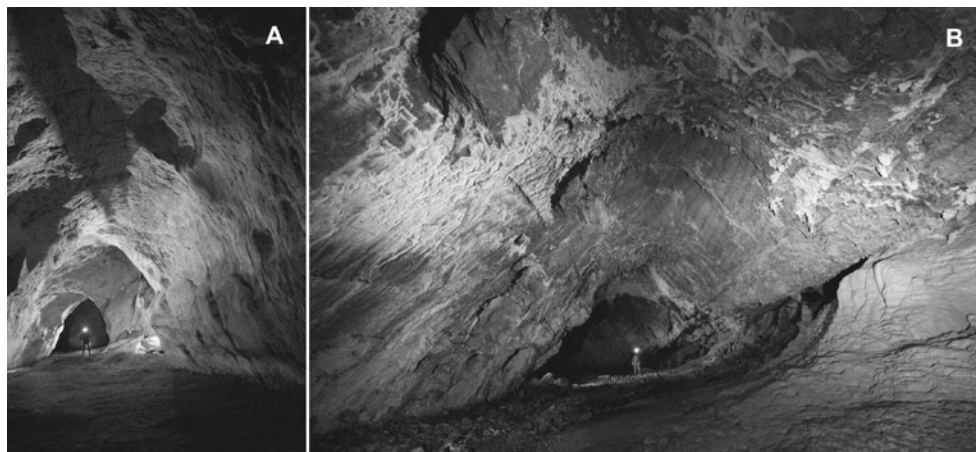
Tento príspevok podáva základný prehľad poznatkov o podmienkach a spôsobe vytvárania jaskynných úrovní a poukazuje na ich význam pri rekonštrukcii vývoja reliéfu. Ďalej sa vyčleňujú a charakterizujú morfo-genetické varianty jaskynných úrovní, ktoré predstavujú morfológické odchýlky úrovňových chodieb vzhľadom na odlišnosti ich vývoja podmienené stabilizáciou eróznej bázy po fáze zahlbovania alebo agradácie dolinových riečisk. Tým sa získava súbornejší obraz o morfológii a geneze týchto osobitných podzemných geomorfologických foriem v krase.

JASKYNNÉ ÚROVNE – HYDROGRAFICKÉ ZÁKONITOSTI VÝVOJA A KORELÁCIA S POVRCHOVÝMI FORMAMI RELIÉFU

Jaskynnými úrovňami sa označujú horizontálne, resp. takmer horizontálne chodby vytvorené v nadväznosti na relatívne stabilnú eróznú bázu počas dlhodobého tektonického pokoja, resp. počas dlhodobo stabilizovaného

vývoja dna dolín alebo príľahlých rovín (Davis, 1930; Sweeting, 1950, 1960, 1972; Maximovič, 1957; Davies, 1960; White, 1960; Ek, 1961; Štelcl, 1963, 1976; Droppa, 1963, 1966, 1972a; Bögli, 1968, 1978; Miotke a Palmer, 1972 a iní). V slovenskej a českej literatúre jaskynné úrovne v tomto zmysle ďalej opisujú Jakál (1975, 1983), Bosák (1988) či Panoš (2001).

Podobne Palmer (1987, 2007), ako aj Audra a Palmer (2011, 2013, 2015) definujú jaskynnú úroveň ako zoskupenie jaskynných



Obr. 1. Úrovňové chodby v jaskyniach Okno (A) a Beníková (B), Demänovská dolina. Foto: P. Staník

Fig. 1. Levelled passages in the Okno Cave (A) and Beníková Cave (B), Demänovská Valley. Photo: P. Staník

úsekov v určitej výškovej polohe s malým vertikálnym rozpätím, ktoré sú vytvorené v rozpuštených horninách a slúžia na interpretáciu genézy jaskyne, resp. jaskynného systému vo vzťahu k regionálnym podmienkam vývoja reliéfu. Úseky patriace do jednej jaskynnej úrovne vznikajú v rovnakom čase, viacúrovňový jaskynný systém zaznamenáva históriu epizodických zmien lokálnej eróznej bázy a konzervuje záznam o genéze jaskynného systému (Jacoby et al., 2011a).

V pozdĺžnom profile typické úrovňové chodby (pravé jaskynné úrovne) sú horizontálne, resp. mierne sklonené v smere odtoku vody (so sklonom okolo 3 – 10 ‰, obr. 1). Úroveň nemusí predstavovať iba jeden jaskynný úsek. Niektoré jaskynné úrovne sa vzťahujú na horizontálne úseky chodieb v rovnej, resp. približne rovnej výškovej polohe, ktoré sú navzájom oddelené sifónmi alebo neznámymi časťami jaskýň.

Jaskynné úrovne sú prevažne súčasťou riečne modelovaných jaskýň, najmä v ich výverových častiach. Z hydrografického hľadiska finálne štádium vytvárania jaskynných úrovní sa viaže na rozhranie medzi vadóznou a freatickou zónou, t. j. na epifreatickú (plytkú freatickú) zónu, kde podzemné vodné toky s voľnou hladinou modelujú jaskynné chodby koróznou i mechanickou činnosťou. Na vhodné podmienky vytvárania jaskýň pozdĺž alebo tesne pod hladinou podzemnej vody, kde je intenzívnejšie prúdenie vody ako v nižších častiach krasových akviférov a navyše sa tu miešajú vody odlišného chemizmu, poukázali Swinnerton (1932), Rhoades a Sinacori (1941), Thraillkill (1968) a ďalší.

Jaskynné úrovne vznikajú v závislosti od stagnácie a zmien eróznej bázy. Vytváranie úrovňových chodieb sa viaže na obdobie spomalenia, resp. prerušenia tektonického zdvihu územia (na povrchu sa vytvárajú pedimenty a zarovnané povrchy) alebo na meniacu sa dynamiku vodných tokov v nadväznosti na rytmické klimatické zmeny v tektonicky zdvíhajúcim sa území (na povrchu sa vytvárajú riečne terasy). Jaskynná úroveň sa vzťahuje na rovnovážny pozdĺžny profil riečiska podzemného vodného toku nadväzujúci na eróznú bázu na povrchu. Vytváranie jaskynných úrovní sa končí poklesom eróznej bázy, ktorý môže byť spôsobený (1) tektonickým poklesom spodnej časti povodia, (2) výzdvihom oblasti s jaskynnou úrovňou, (3) zvýšenou humiditou a s tým spojenou zvýšenou fluvialnou eróziou počas interglaciálu, resp. interštádiálu; podobne ako pri vytváraní riečnych terás (pozri Bridgland, 2000; Starkel, 2003; Bridgland a Westaway, 2008; Gibbard a Lewin, 2009). Vytváranie jaskynných úrovní však mohlo byť ukončené aj poklesom eróznej bázy v dôsledku poklesu morskej hladiny počas glaciálov (Worthington, 2005). Najvýraznejšie jaskynné úrovne sa vytvorili v nadväznosti na dlhotrvajúcu tektonickú stabilitu územia, keď na povrchu vznikali pedimenty alebo väčšie zarovnané povrchy.

Z hľadiska vývoja Bögli (1978) rozlišuje dva typy jaskynných úrovní:

(1) Jaskynné úrovne vytvorené pozdĺž piezometrického povrchu podzemných vôd (*evolučné niveau* podľa Sawického, 1909), ktorý sa hydrograficky viaže na hlavný vodný tok (nem. Vorfluter) odvodňujúci príslušné

krasové územie a predstavujúci eróznú bázu. Tieto jaskynné úrovne vznikajú pri hornej úrovni podzemných krasových vôd, kde podzemné vodné toky smerujú naprieč k „Vorfluter“ (horizontálna cirkulácia vody orientovaná k „Vorfluter“). Vodné cesty v dôsledku tlakových spádov sledujú najkratšie hydrologické spojenie s „Vorfluter“, čo má vplyv na vertikálne kolísanie vodných ciest (klesajúco-stúpajúce chodby zoskupené v úzkom vertikálnom rozpätí) tvoriacich jednu úroveň (napr. vývojové úrovne v jaskyni Hölloch vo Švajčiarsku).

(2) Jaskynné úrovne vytvorené podzemnými časťami dolinových vodných tokov v súvislosti s vytváraním systému riečnych terás na povrchu – *niveau typu riečnych korýt* (napr. jaskynné úrovne v Demänovskej doline). Jaskynná úroveň je viac-menej paralelná so smerom doliny, ktorou povrchový vodný tok preteká, a výškovo nekolíše.

Subhorizontálne nerovné chodby s vertikálnymi slučkovitými amplitúdami (typ úrovne 1 podľa Bögliho, 1978) sa v novších štúdiách označujú ako *looping caves*. Vytvárajú sa v epifreatickej zóne podzemnými vodnými tokmi s nepravidelným a nerovnomerným prietokom, v podmienkach oscilujúcej hladiny podzemnej vody (Audra a Palmer, 2011, 2013, 2015) s čiastočným odtokom vody klesajúcimi kanálmi zv. *soutirages* do nižších drenážnych ciest (Häuselmann et al., 2003). Právě horizontálne jaskynné úrovne sa vytvárajú v nadväznosti na stabilnú eróznú bázu trvalými podzemnými vodnými tokmi s malými stratami vody do nižších kanálov (Palmer, 2007; Audra a Palmer, 2011, 2013, 2015).

Z hľadiska rozdielneho tektonického režimu Tulis a Novotný (1989) rozlišujú v Stratenskej jaskyni vývojové úrovne a horizonty. Na rozdiel od jaskynných úrovní, horizontálnych chodieb vytvorených počas období tektonickej stability, horizonty vznikali pri prerušení tektonického zdvihu, ktoré nebolo také výrazné ako pri vývoji úrovní. V porovnaní s úrovňami sú horizonty morfológicky menej výrazné. Preto pri rekonštrukcii vývojových fáz systému Stratenskej jaskyne sú menej významné. Panoš (2001) však jaskynnú úroveň spája terminologicky (ako synonymum) s jaskynným horizontom.

Plan et al. (2009) považujú jaskynné úrovne, korelujúce s eróznou bázou a jej zmenami, za najfrekvencovanejšie spojnice medzi povrchovou a podpovrchovou morfológiou. V rámci rekonštrukcie vývoja georeliéfu sa jaskynné úrovne korelujú s riečnymi terasami, pedimentmi alebo zarovnanými povrchmi (Davis, 1930; Maximovič, 1957; Sweeting, 1960; Ek, 1961; Droppa, 1966, 1971, 1972a, 1976; Štelcl, 1963; Jennings, 1964; Bögli, 1966, 1968; Miotke a Palmer, 1972; White a White, 1974; Kiknadze, 1976; Palmer, 1987; Webb et al., 1992; Novotný, 1993; Bosák et al., 1999; Anthony, 2005; Wagner et al., 2011 a iní) alebo morskými terasami, resp. so zmenami úrovne morskej hladiny (Florea et al., 2007; Bruthans et al., 2010; Piccini a Landelli, 2010 a iní). Medzi prvé štúdie, ktoré poukázali na súvislosti medzi vývojom horizontálnych jaskýň a riečnych terás, sa radí aj publikácia Volka-Starohorského z roku 1939. Horizontálne jaskyne v Demänovskej doline opisuje ako „vnútorné“ jaskynné terasy s pleistocénnymi fluvialnými sedimentmi, ktoré zodpovedajú terasám Váhu v Liptovskej

kotline. Vertikálne rozdiely medzi jednotlivými jaskynnými úrovňami sa zväčšujú smerom do horných úsekov dolín, začínajúcich sa v centrálnych častiach pohorí (White, 1988 a iní).

Riečne modelované úpatné jaskyne (angl. *cliff-foot caves*, nem. *Fusshöhlen*) na okrajoch poljí a krasových veží vo vlhkých tropických oblastiach sa vytvárajú synchronne s planáciou dna poljí alebo okolitých rovin (Jennings, 1976; Núñez-Jiménez, 1990; McDonald a Twisdale, 2011 a iní). Keďže tieto jaskyne sa zväčša vyskytujú vo viacerých výškových polohách, umožňujú rekonštrukciu fáz zahlbovania a planácie okolitého reliéfu (Williams, 1987 a iní).

Najmä v horských, tektonicky aktívnych územiach, kde sa na povrchu nevytvorili alebo nezachovali riečne terasy, v rámci rekonštrukcie vývoja georeliéfu sa jaskynné úrovne vzťahujú na fázy prerušovaného zahlbovania terénu (Piccini, 2011 a iní). Na základe výškovej polohy jaskynných úrovní, resp. subhorizontálnych jaskýň a datovania ich sedimentov možno rekonštruovať tektonický výzdvih príslušného územia (Frumkin, 1996, 2009; Farrant et al., 2007 a iní) alebo fázy, rozsah a intenzitu zahlbovania dolín (Sasowsky et al., 1995; Granger et al., 1997, 2001; Abel et al., 2002; Anthony a Granger, 2004, 2007; Jacoby et al., 2011b; Liu et al., 2013 a iní), resp. tektonického poklesu príľahlých depresí (Frumkin, 2001).

PROBLEMATIKA VYTVÁRANIA HORIZONTÁLNYCH CHODIEB

Morfológia pozdĺžneho profilu iniciálnych korózných dutín pri piezometrickom povrchu podzemných vôd a vo freatickej zóne je prvotne podmienená štruktúro-tektonickým skeletom (početnosťou, odporom i priestorovým zoskupením tektonických porúch), ktorý usmerňuje prenikanie a prúdenie vody. Freatické kanály sa vytvárajú ako slučky (nevyrovnaný vertikálny priebeh s ohybmi klesajúcich a stúpajúcich úsekov) pod vodnou hladinou. So znížením eróznej bázy sa výškový rozdiel drenážnych kanálov znižuje a vodná hladina poklesáva. Pritom sa hlboko freatické kanály pretvárajú do podoby plytko freatických kanálov (takmer horizontálne jaskynné chodby sa môžu vytvárať aj pod hladinou podzemnej vody) a následne až do horizontálnych chodieb, avšak iba ojedinele od ponorov až po vyvieracky. V mnohých prípadoch tento proces je v skoršej fáze prerušovaný odvádzaním vody do tvoriaceho sa hlbšieho freatického kanála (Worthington, 2005).

Čím je početnosť tektonických porúch väčšia, tým je prepojenie jaskynných chodieb kratšie a plytšie. Zmenšovanie vertikálnej amplitúdy freatických slučiek v spodnej časti skrasovatených akviférov Ford (1971, 2000a), ako aj Ford a Ewers (1978) zdôvodňujú nárastom frekvencie puklín s časom. S postupujúcim eróznym rozrušovaním krasu a vývojom podzemných priestorov sa pukliny v dôsledku odľahčenia tlaku stávajú početnejšími. V miestach veľkej početnosti puklín sa pozdĺž vodnej hladiny tvoria chodby s pomerne veľkým počtom plytkých freatických slučiek (s malou vertikálnou amplitúdou) až úplne horizontálne jaskyne (angl. *ideal water-table caves*), ktorých príkladom je aj jaskyňa Domica (Droppa, 1972b; Ford, 2000b) či spodná úroveň Ama-

társkej jaskyne v Moravskom krase s terajším riečiskom Punkvy (Bosák, 2009).

Jaskynné úrovně na pravej strane Demänovskej doliny (severná časť Nízkych Tatier), vytvárané od vrchného pliocénu po súčasnosť, viac-menej nepotvrdzujú predpoklad Forda (1971, 2000a), resp. Forda a Ewersa (1978) o poklese vertikálnej amplitúdy freatických slučiek v spodnej časti skrasovatených akvíferov z dôvodu nárastu frekvencie puklín s časom. Výškový rozdiel medzi najvyššími (najstaršími) a najnižšími (najmladšími) jaskynnými úrovňami v Demänovskej doline je okolo 150 m. Prítom najdlhšie (najlepšie vytvorené) horizontálne úrovňové úseky sú v najvyšších (horné časti jaskyne Okno, jaskyňa Beníková, horné časti Pustej jaskyne) a stredných polohách (najdlhšia úrovňová chodba vedúca od Demänovskej ľadovej jaskyne cez Demänovskú jaskyňu mieru a Demänovskú jaskyňu slobody až k Pustej jaskyni) nad terajším dnom doliny. Na ich vývoj výrazne vplývala dĺžka stabilizácie eróznej bázy i dynamika podzemného toku Demänovky.

Na vytváranie mierne sklonených až horizontálnych jaskýň pozdĺž vodnej hladiny alebo „slučkovitých“ jaskýň (s freatickými kolenovitými ohybmi) okrem hustoty frakturácií hornín vplýva dynamika podzemných vodných tokov (veľkosť prietoku a jeho zmeny, trvalosť alebo občasnnosť vodného toku), rýchlosť zahľbovania dolín, ako aj vertikálne rozloženie priepustných horninových štruktúr (Audra a Palmer, 2013, 2015; Gabrovšek et al., 2014).

Jaskynné úrovně v riečne modelovaných jaskyniach sa vytvárajú spätnou eróziou od vyvieraciek po tzv. piezometrický limit (Palmer, 1987) vzťahujúci sa na miesto prechodu medzi vadóznymi a freatickými podmienkami prúdenia vody (gravitačný vodný tok sa mení na tok podmienený hydrostatickým tlakom). V dôsledku znižovania eróznej bázy vznikajú zmeny v gradiente pozdĺžneho profilu vodného toku (angl. *nick-points*) – vodopády, kaskády alebo pereje (obr. 2), ktoré spätnou eróziou ustupujú v smere proti prúdu vody (Warwick, 1960; Fabel et al., 1996 a ďalší).

Slučkovité, resp. sífónovité ohyby pozdĺžneho profilu jaskýň chodieb sa zarovnávajú paragenetickým zrezávaním znížených stropných častí (sífonov) a vadóznym zrezá-

vaním podlahových výstupov skalného podložia (v úrovni voľnej hladiny vody), ktoré sú podmienené štruktúrno-tektonickou stavbou. V miestach vodných sífonov vyplnených sedimentmi sa pozdĺžny profil podzemného riečiska vyrovnáva vytváraním prepájacích chodieb (tzv. *bypassing*) medzi hornými ohybmi freatických slučiek po vyplnení ich spodných kolenovitých častí naplavenými sedimentmi (Ford, 1965; Ford a Ewers, 1978; Ford, 2000a). Už počas zanášania sífónu sedimentmi je vodný prúd pritláčaný k stropu, ktorý sa zahľbuje odspodu nahor (paragenetická modelácia stropného koryta). Tým sa pozdĺžny profil chodby postupne vyrovnáva (Farrant, 2004; Farrant a Smart, 2011), v niektorých prípadoch až po strop jaskynnej úrovne.

Vo vadózných podmienkach akumulácia sedimentov v jaskynnom riečisku redukuje jeho vertikálne zarezávanie (smerom nadol) a naopak zvyšuje laterálnu koróziu. Pri malom prietoku je transport sedimentov obmedzený, uložené sedimenty chránia skalné podložie riečiska pred mechanickou a chemickou eróziou. Vodný tok si však zachováva schopnosť erodovať exponovanú (nepokrytú) horninu a horizontálne sa zrezáva do skalných stien. Ak je úroveň sedimentov stabilná, laterálnym zrezávaním vznikajú aluviálne zárezy (eliptického tvaru), ktoré zodpovedajú hornému okraju výplne sedimentov (Farrant a Smart, 2011). V prípade plošne väčších akumulácií riečnych sedimentov ich horný okraj zväčša zodpovedá úrovni agradácie podzemného riečiska, ktorá nadväzuje na zvýšenú eróznú bázu jaskynnej úrovne v dôsledku agradácie povrchového riečiska pred vyvieracou. Podľa Droppu (1972a) viaceré výrazné bočné korytá v Demänovských jaskyniach vývojovo súvisia s jaskynnými úrovňami (predstavujú zvyšky jaskýňových úrovní vo vertikálne členitých chodbách). Meandrové bočné korytá sa vytvárajú vodným tokom, ktorý meandruje v nespevnenej výplni podlahy širokej chodby a na nárazovom brehu sa zrezáva do skalnej steny (White, 1988). Aluviálne zárezy sú subhorizontálne (majú rovnaký sklon ako

riečisko vodného toku), ich vytváranie súvisí s akumuláciou sedimentov pod voľnou hladinou vody. Nad sebou vytvorené aluviálne zárezy odrážajú po sebe nasledujúce epizódy agradácie a vyplavovania sedimentov, po ktorom nasleduje zahľbovanie skalného riečiska (Farrant a Smart, 2011).

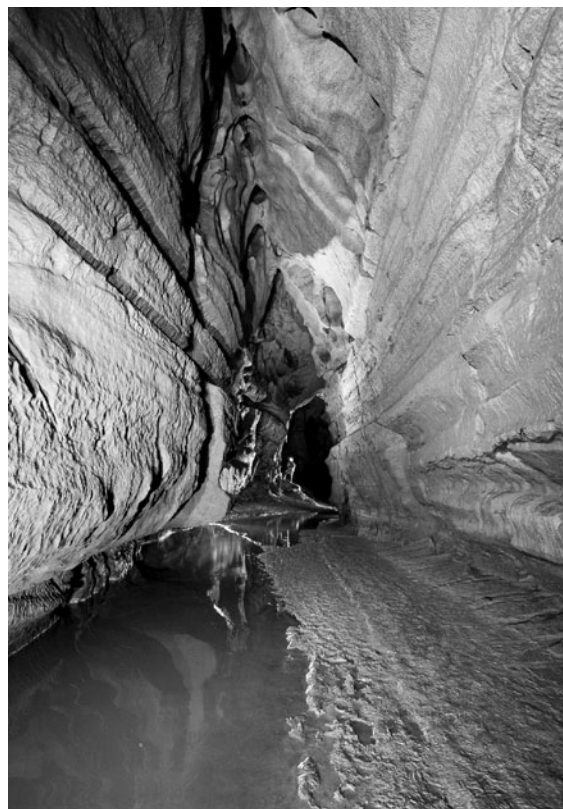
Výrazné horizontálne chodby v úrovni vodnej hladiny sú známe aj zo sulfurových jaskýň, ktoré vznikajú rozpúšťaním karbonátov vodami obsahujúcimi kyselinu sírovú (H_2SO_4). Tá vzniká tesne pod hladinou alebo na hladine podzemnej vody oxidáciou H_2S , ktorý je produktom bakteriálnej redukcie sadrovca a do krasových akvíferov preniká z príľahlých uhoľných alebo ropných bazénov (Palmer, 2007; Audra et al., 2009a,b a iní).

MORFOGENETICKÉ VARIANTY JASKÝŇNÝCH ÚROVNÍ

V rámci taxonómie speleoreliéfu (podľa Malkova et al., 2001) chodby jaskýňových úrovní predstavujú jaskýňový mezoreliéf. Na ich stenách a stropoch, miestami i na podlahách sa vyskytujú menšie korózne formy nižšieho taxonomického rádu. Pre chodby jaskýňových úrovní sú typické bočné korytá a meandre, široké chodby so zarovnanými stropmi a podlahami, prípadne iné tvary zodpovedajúce laterálnej erózii (Cocean, 1975, 1979; Serban a Domsa, 1985; Tulis a Novotný, 1989; Fabel et al., 1996; Bella, 2004 a ďalší). V jaskyniach soľného krasu v juhovýchodnej časti pohoria Zagros v Iráne mierne sklonené ploché stropy, ktoré vznikli meandrovaním podzemných vodných tokov, dosahujú šírku niekoľko desiatok metrov, miestami až 230 m (Bruthans



Obr. 2. Skalné prahy na podzemnom riečisku, Demänovská jaskyňa slobody. Foto: P. Staník
Fig. 2. Rock thresholds (*nick-points*) in the underground riverbed, Demänovská Cave of Liberty. Photo: P. Staník

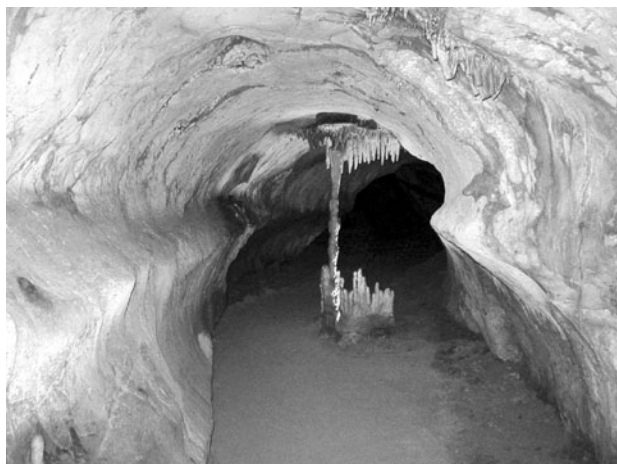


Obr. 3. Úrovňová kaňonovitá chodba s agradovaným riečiskom, jaskyňa Domica. Foto: P. Staník
Fig. 3. Levelled canyon-like passage with an aggraded riverbed, Domica Cave. Photo: P. Staník



Obr. 4. Hlavná vývojová úroveň Stratenskej jaskyne so širokým zarovnaným stropom, Dóm Slovenského národného povstania. Foto: F. Mihál

Fig. 4. Major evolution level of the Stratenská Cave with a wide flat ceiling, Dome of the Slovak National Uprising. Photo: F. Mihál



Obr. 5. Úrovňová chodba paragenetického pôvodu, Suchá chodba, jaskyňa Domica. Foto: P. Bella

Fig. 5. Levelled passage of paragenetic origin, Dry Passage, Domica Cave. Photo: P. Bella

et al., 2000). Vodné toky, ktoré sú usadzované fluvialnými sedimentmi prtláčané k skalnému stropu, zahlbovaním odspodu nahor vytvárajú stropné antigravitačné, tzv. paragenetické korytá (Renault, 1968; Lauritzen a Lauritsen, 1995; Farrant, 2004; Pasini, 2009; Farrant a Smart, 2011 a iní).

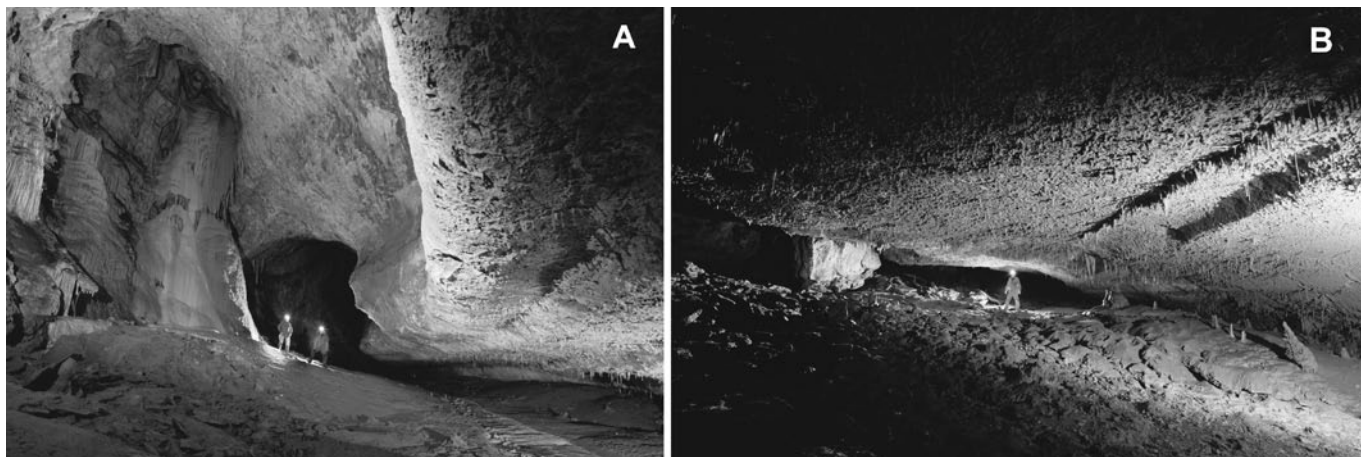
hou (napr. Mramorové riečisko v Demänovskej jaskyni slobody). Predstavujú zvyšky niekdajšej podlahy jaskynnej chodby, ktorá bola pri zahlbovaní riečiska prerezaná (Huang, 1993; Onac, 2000; Bella, 2004). Skalné terasy sú spravidla pokryté riečnymi sedimentmi. Naopak v stropnej časti niektorých jaskýň, napr. v meandro-

vých úsekoch dolín, sa vytvorili inverzné terasovité zárezy zodpovedajúce fázam zahlbovania riečiska (Cocean, 1975; Jennings, 1985; Bella, 2004). Inverzné terasovité zárezy môžu byť však aj dôsledkom opačného (odspodu nahor) fázovitého paragenetického vývoja stupňovitých zarovnaných stropov, napr. na IV. vývojovej úrovni systému Stratenskej jaskyne (Tulis a Novotný, 1989).

V územiach, ktoré v určitej fáze vývoja reliéfu poklesávali, sú známe jaskynné úrovne, resp. ich úseky viažuce sa na horizontálne agradované riečiská podzemných vodných tokov (napr. v jaskynnom systéme Domica-Baradla; Droppa, 1972b). Ich pôvodné skalné podlahy sú pokryté naplavenými fluvialnými sedimentmi (konkrätívne alúvium), ktorých povrch je mierne sklonený v smere odtoku vody v riečisku (obr. 3). Miestami po stranách agradovaného riečiska meandrujúci vodný tok vytvára bočné korytové zárezy (napr. v jaskyni Domica na terajšom riečisku Styxu pred štátnou hranicou). Úrovňové agradované riečiská v jaskyniach sa vytvárajú v nadväznosti na eróziu bázu na povrchu navýšenú v dôsledku usadzovania sedimentov v dolinách, cez ktoré nastáva odtok podzemných vôd z krasu (Farrant a Smart, 2011). Hrubšie fluvialné akumulácie môžu byť počas mladšieho zahlbovania riečiska (vyplavovania nánosov) pretvorené do podoby akumulčných terasových stupňov.

Na základe skalných tvarov a fluvialných akumulácií vyskytujúcich sa v úrovňových chodbách možno vyčleniť ich morfogenetické varianty, ktoré bližšie špecifikujú osobitosti ich vývoja. Morfológický variant jaskynnej úrovne je jej podoba, ktorou sa odlišuje od iných podôb jaskynných úrovní. Morfológické odlišnosti (zarovnané stropy, bočné korytá, rozšírené podlahy, terasové stupne a pod.) sa vizuálne prejavujú najmä na tvaroch priečnych rezov úrovňových chodieb.

Jaskynné chodby, ktoré sa vzťahujú na jednu vývojovú úroveň, morfológicky predstavujú: (1) široké úrovňové chodby so zarovnaným stropom (Stratenská jaskyňa, horné nezaľadnené časti Dobšinskej ľadovej jaskyne, spodné časti Jasovskej jaskyne – obr. 4); (2) úrovňové paragenetické, prevažne kaňonovité chodby so stropným korytom, menšími bočnými korytami a akumulátnou podlahou (úseky jaskyne Domica – obr. 5); (3) úrovňové tunelovité až postranne elipsoidné chodby, miestami s boč-



Obr. 6. Úrovňová chodba s bočným korytom (A) a širokým podlahovým laterálnym zárezom (B), Demänovská jaskyňa mieru. Foto: P. Staník

Fig. 6. Levelled passage with a wall channel (A) and wide floor lateral notch (B), Demänovská Cave of Peace. Photo: P. Staník



Obr. 7. Široká úrovňová chodba Zbojníckej jaskyne, Demänovská dolina. Foto: P. Staník
Fig. 7. Wide levelled passage of the Zbojnická Cave, Demänovská Valley. Photo: P. Staník

nými korytami a akumuláčnou podlahou (jaskyne Okno a Beníková v Demänovskej doline, úseky Demänovskej jaskyne mieru – obr. 6); (4) vadózne kaňonovité chodby s výraznými úrovňovými stenovými zárezmi – bočnými korytami a meandrami, miestami zachovanými na stenách vo visutej polohe nad terajšími riečiskami (Králova galéria v Demänovskej jaskyni slobody); (5) široké a nízke úrovňové chodby s akumuláčnou podlahou (Zbojnická jaskyňa v Demänovskej doline – obr. 7), zväčša v kombinácii so zarovnaným stropom (spodná časť jaskyne Štefanová pred odtokovým sifónom).

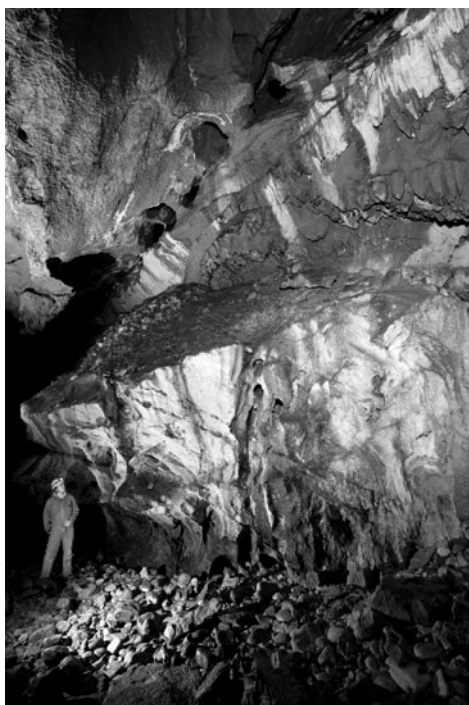
Viacúrovňové chodby sa pozorujú v týchto základných podobách: (1) široké úrovňové chodby s inverznými terasovitými stupňami a zarovnaným stropom – postranné inverzné terasové stupne zahĺbené do skalného stropu sú dôsledkom paragenetického vývoja staršie ako zarovnaný strop (hlavná vývojová úroveň

Stratenskej jaskyne s podstupňami); (2) prevažne kaňonovité úrovňové chodby s terasovými stupňami (Mramorové riečisko v Demänovskej jaskyni slobody – obr. 8); (3) kaňonovité úrovňové chodby s viacerými bočnými korytami a zárezmi nad sebou (Čierna galéria v Demänovskej ľadovej jaskyni – obr. 9), zväčša aj so stropným korytom a agradovaným riečiskom (viacúrovňové úseky jaskyne Domicca).

Viacúrovňové jaskyne sú tvorené jednorovňovými chodbami vytvorenými nad sebou, viacúrovňovými chodbami alebo kombináciou týchto morfofenetických segmentov. Sústavu jaskynných úrovní, ktorú možno v dlhšom časovom rozpätí (státisíce až viac ako milión rokov) korelovať s vývojom riečnych terás, spravidla predstavujú viaceré jedno- alebo viacúrovňové jaskyne vytvorené nad sebou v závislosti od etapovitého zahľbovania doliny (napr. jaskynné úrovně v Demänovskej doline).

stabilizovaným vývojom dna doliny (chodba jaskynnej úrovne s vyvieracou nadväzuje výškovou polohou na dno doliny).

V prehradenom krase, ktorý sa vytvára nad eróznou bázou podmieňujúcou hlavnú drenáž v príslušnom území, osobitnú skupinu horizontálnych jaskýň tvoria tzv. visuté predbariérové fluviokrasové jaskyne (Bella, 2011). Charakteristické sú takmer vodorovnými chodbami so širokými zarovnanými stropmi a výškovou polohou zodpovedajú prahovitým výstupom nerozpustných hornín nad miestnou eróznou bázou. Podlahy horizontálnych, resp. mierne klesajúcich chodieb týchto jaskýň nie sú na litologickom rozhraní nadložných rozpustných a podložných nerozpustných hornín. Vývoj chodieb a ich laterálne rozširovanie sa diali pozdĺž hladiny podzemnej vody, ktorá sa lokálne vytvorila pred prahovitou bariérou tvorenou nepriepustnými horninami (v smere prítoku vody). Skrasovatené



Obr. 8. Skalná terasa pokrytá riečnymi žulovými okruhliakmi a štrkom, Mramorové riečisko, Demänovská jaskyňa slobody. Foto: P. Staník
Fig. 8. Rock terrace covered by granite gravels, Marble Riverbed, Demänovská Cave of Liberty. Photo: P. Staník

ROZDIELY MEDZI JASKYNNÝMI ÚROVNĎAMI A POSCHODIAMI

Keďže horizontálne úseky jaskýň môžu vznikáť viacerými spôsobmi, pri posudzovaní a vyčleňovaní jaskynných úrovní treba brať do úvahy nielen proces vytvárania horizontálneho úseku, ale aj podmienky, za akých bol vytvorený. Od jaskynných úrovní sa odlišujú jaskynné poschodia (jaskynné etáže), ktoré sú litologicky alebo štruktúrne podmienené (ich vývoj nezávisí od vzťahu podzemného hydrologického systému k „Vorfluter“). Jaskynné poschodia predstavujú horizontálne chodby nad eróznou bázou, resp. spodnými úrovňovými úsekmi jaskyne, pričom ich visutá poloha závisí od výškovej pozície nerozpustných (nepriepustných) hornín alebo iných geologických rozhraní (Štelcl, 1963, 1976; Jakál, 1983; Bosák, 1988; Panoš, 2001 a iní). Vytvárajú sa v nadväznosti na tzv. vnútorné erózne bázy, ktoré majú lokálny charakter a sú spôsobené prírodnou bariérou tvorenou nahromadenými sedimentmi alebo litologickými prahmi či rozhraniami (Cocean, 1979). Naopak jaskynná úroveň nadväzuje na vonkajšiu eróznou bázou podmienenú dlhodobou



Obr. 9. Chodba Čiernej galérie zahrnujúca dve jaskynné úrovně (podľa Droppa, 1972a), Demänovská ľadová jaskyňa. Foto: P. Staník
Fig. 9. The Black Gallery passage comprising two cave levels (after Droppa, 1972a), Demänovská Ice Cave. Photo: P. Staník

vápence siahajú nadol pod horný okraj skalného prahu, ponad ktorý preteká voda. Dobrým príkladom sú jaskyne na planine Hirao-dai (Hiro-tani-no-ana, Seiryu-kutsu) na japonskom ostrove Kjúšú vytvorené v skrasovatených štruktúrach paleozoických vápencov, ktoré sú prestúpené vertikálnymi aplitickými dajkami a na okrajoch obmedzené telesami granodioritov (Bella a Urata, 2004). Na rozdiel od jaskynných úrovní sa visuté predbariérové fluviokrasové horizontálne jaskyne, takisto ako litologicky alebo štruktúrne podmienené jaskynné poschodia, vývojom neviažu na eróznú bázu súvisiacu s dlhodobou stabilizovaným vývojom dna doliny.

ZÁVER

Príspevok podáva prehľad poznatkov o vytváraní a morfológii jaskynných úrovní, ktoré zaznamenávajú fázy vývoja jaskýň a okolitého terénu v nadväznosti na stabilnú eróznú bázu počas dlhodobého tektonického pokoja, resp. počas dlhodobou stabilizovaného vývoja dna dolín alebo príľahlých rovinatých foriem reliéfu. Jaskynné úrovně sa vytvárali spätnou

eróziou od vyvieraciek spolu s bočným rozširovaním chodieb, pričom vznikali pozdĺžne bočné korytá alebo meandrovité zárezy do skalných stien, prípadne zarovnané stropy.

Morfogenetické varianty jaskynných úrovní poukazujú na určité odlišnosti ich vývoja počas prerušeného zahľbovania dolín (v čase tektonického pokoja alebo meniacej sa dynamiky vodných tokov podmienenej rytmickými klimatickými zmenami v tektonicky zdvíhajúcich sa územiach) a počas stagnácie agradovaných povrchových riečisk (po čiastočnom vyplnení dolín sedimentmi). V závislosti od etapovitého zahľbovania dolín sa mladšie jaskynné úrovně postupne vytvárali pod staršími úrovnami pozdĺž poklesnutého piezometrického povrchu podzemných vôd (vyššie položenými staršími úrovnami podzemné vodné toky prestávali pretekať). V posledných štádiách fluvialnej modelácie boli občasne zaplavované a ukladali sa v nich povrchové sedimenty. Naopak, ak sa v dôsledku agradácie povrchového riečiska erózná báza dostala do vyššej polohy, jaskynné chodby boli zaplavené a následne sa čiastočne alebo až úplne

vyplnili fluvialnými sedimentmi. Vo výške agradovaných riečisk sa do skalných stien vyhlbili bočné korytá alebo meandrovité zárezy. Ak bol vodný tok príľahený usadzovanými sedimentmi až k skalnej povale, vznikli stropné korytá. V takýchto prípadoch počas dlhobehnej stagnácie eróznej bázy sa stropy chodieb postranne rozširovali bočným prekladáním riečisk, resp. laterálnou koróziou pozdĺž stabilnej vodnej hladiny (široké zarovnané stropy).

Jaskynné úrovně, ktoré vývojom nadväzujú na vytváranie pedimentov a zarovnaných povrchov počas spomalenia, resp. prerušenia tektonického zdvihu územia, sú spravidla morfológicky výraznejšie ako jaskynné úrovně viažuce sa na vývoj riečnych terás v tektonicky zdvíhajúcich sa územiach v dôsledku meniacej sa dynamiky vodných tokov počas rytmických klimatických zmien.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0625-11 a vedeckým grantovým projektom VEGA č. 1/0430/15. Za poskytnuté fotografie ďakujeme Pavlovi Staníkovi a Františkovi Miháľovi.

LITERATÚRA

- ABEL, T. – HINDERER, M. – SAUTER, M. 2002. Karst genesis of the Swabian Alb, south Germany, since the Pliocene. *Acta Geologica Polonica*, 52, 1, 43–54.
- ANTHONY, D. M. 2005. Multilevel caves and landscape evolution. In Culver, D. C. – White, W. B. (Eds.): *Encyclopedia of Caves*. Elsevier Academic Press, Burlington – San Diego – London, 397–400.
- ANTHONY, D. M. – GRANGER, D. E. 2004. A Late Tertiary origin for multilevel caves along the western escarpment of the Cumberland Plateau, Tennessee and Kentucky, established by cosmogenic ²⁶Al and ¹⁰Be. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66, 2, 46–55.
- AUDRA, P. – MOCOCHAIN, L. – BIGOT, J.-Y. – NOBÉCOURT, J.-C. 2009a. Hypogene cave patterns. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. (Eds.): *Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins*. Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper, 1, Simferopol, 17–22.
- AUDRA, P. – MOCOCHAIN, L. – BIGOT, J.-Y. – NOBÉCOURT, J.-C. 2009b. The pattern of hypogenic caves. In White, W. B. (Ed.): *Proceedings of the 15th International Congress of Speleology*, 2, Kerrville, Texas, USA, 795–800.
- AUDRA, P. – PALMER, A. N. 2011. The pattern of caves: controls of epigenic speleogenesis. *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, 4, 359–378.
- AUDRA, P. – PALMER, A. N. 2013. The Vertical Dimension of Karst: Controls of Vertical Cave Pattern. In Shroeder, J. F. (Ed.): *Treatise on Geomorphology*, vol. 6. Academic Press, San Diego, 186–206.
- AUDRA, P. – PALMER, A. N. 2015. Research frontiers in speleogenesis. Dominant processes, hydrogeological conditions and resulting cave patterns. *Acta Carsologica*, 41, 3, 315–348.
- BELLA, P. 2004. 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. Liptovský Mikuláš, 20–34.
- BELLA, P. 2011. Genetické typy jaskýň. *VERBUM*, Ružomberok, 220 s.
- BELLA, P. – URATA, K. 2004. Zarovnané stropy v jaskyniach na planine Hirao-dai a v jaskyni Kagekiyo-do v Japonsku. *Aragonit*, 9, 66–71.
- BOSÁK, P. 1988. Kras v uhlíčanových horninách. In Bosák, P. – Bílková, D. – Jančařík, A. – Šmikmátor, F. – Štěrba, O. – Valoch, K. – Vašátko, J. – Weigel, J.: *Jeskyňárství v teorii a praxi*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 52–83.
- BOSÁK, P. 2009. Kras, pseudokras a jaskyně. In Hromas, J. (Ed.) a kol.: *Jeskyňe. Chráněná území ČR*, sv. XIV, AOPaK ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 13–22.
- BOSÁK, P. – BRUTHANS, J. – FILIPPI, M. – SVOBODA, T. – ŠMÍD, J. 1999. Karst and caves in salt diapirs, SE Zagros Mts. (Iran). *Acta Carsologica*, 28, 2, 41–75.
- BÖGLI, A. 1966. Karstwasserfläche und unterirdische Karstniveaus. *Edrkunde*, 20, 1, 11–19.
- BÖGLI, A. 1968. Höhlenniveaus und Höllochniveaus. *Proceedings of the 4th International Congress of Speleology in Yugoslavia (1965)*, 3, Ljubljana, 23–27.
- BÖGLI, A. 1980. *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 284 s.
- BRIDGLAND, D. 2000. River terrace systems in north-west Europe: An archive of environmental change, uplift and early human occupation. *Quaternary Science Reviews*, 19, 13, 1293–1303.
- BRIDGLAND, D. – WESTAWAY, R. 2008. Climatically controlled river terrace staircases: A worldwide Quaternary phenomenon. *Geomorphology*, 98, 3–4, 285–315.
- BRUTHANS, J. – FILIPPI, M. – ZARE, M. – CHURÁČKOVÁ, Z. – ASADI, N. – FUSCH, M. – ADAMOVIČ, J. 2010. Evolution of salt diapir and karst morphology during the last glacial cycle: Effects of sea-level oscillation, diapir and regional uplift, and erosion (Persian Gulf, Iran). *Geomorphology*, 121, 3–4, 291–304.
- BRUTHANS, J. – ŠMÍD, J. – FILIPPI, M. – ZEMAN, O. 2000. Thickness of caprock and other important factors affecting morphogenesis of salt karst. *Acta Carsologica*, 29, 2, 51–64.
- COCEAN, P. 1975. Sur la genèse de la route plane-horizontale de la grotte „Pestera cu Apă din Valea Lesului“. *Travaux de l'Institut de Spéologie „Émile Racovitza“*, 14, 189–196.
- COCEAN, P. 1979. Les voutes planes-horizontales et le niveau de base karstique. *Travaux de l'Institut de Spéologie „Émile Racovitza“*, 18, 219–224.
- DAVIS, W. M. 1930. Origin of Limestone Caverns. *Geological Society of America Bulletin*, 41, 3, 475–628.
- DAVIES, W. E. 1960. Origin of Caves in Folded Limestone. *Bulletin of the National Speleological Society*, 22, 1, 5–18.
- DROPPA, A. 1963. Paralelizácia riečnych terás a horizontálnych jaskýň. *Geologické práce*, Zošit 64, 93–96.
- DROPPA, A. 1966. The correlation of some horizontal caves with river terraces. *Studies in Speleology*, 1, 186–192.
- DROPPA, A. 1971. Vztah horizontálnych chodieb Jasovskej jaskyne k terasám Bodvy. In Kvitkovič, J. (Ed.): *Problémy geomorfologického výskumu. Zborník referátov z X. jubilejného zjazdu československých geografov (1965)*. Bratislava, 99–106.
- DROPPA, A. 1972a. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. *Slovenský kras*, 10, 9–46.
- DROPPA, A. 1972b. Príspevok k vývoju jaskyne Domica. *Československý kras*, 22, 65–72.
- DROPPA, A. 1976. Die Beziehung der Flußhöhlen zu den Verebnungsflächen. In Panoš, V. (Ed.): *Proceeding of the 6th International Congress of Speleology*, Olomouc 1973, 3, 53–59.
- Ek, C. 1961. Conduits souterrains en relation avec les terraces fluviales. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 84, 313–340.
- FABEL, D. – HENRICKSEN, D. – FINLAYSON, B. L. – WEBB, J. A. 1996. Nickpoint recession in karst terrains: an example from the Buchan Karst, Southeastern Australia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 5, 453–466.
- 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.
- FARRANT, A. R. – KIRBY, M. – SMART, P. L. 2007. The caves of Mulu, Sarawak: their exploration and geomorphology. *Cave and Karst Science*, 34, 2, 51–60.

- FLOREA, L. J. – VACHER, H. L. – DONAHUE, B. – NAAR, D. 2007. Quaternary cave levels in peninsular Florida. *Quaternary Science Reviews*, 26, 9–10, 1344–1361.
- FORD, D. C. 1965. The origin of limestone caverns: A model from the Central Mendip Hills, England. *Bulletin of the National Speleological Society*, 27, 4, 109–132.
- FORD, D. C. 1971. Geologic structure and a new explanation of limestone cavern genesis. *Transactions of the Cave Research Group of Great Britain*, 13, 2, 81–94.
- FORD, D. 2000a. Speleogenesis Under Unconfined Settings. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, USA, 319–324.
- FORD, D. C. 2000b. Caves Branch, Belize, and the Baradla-Domica System, Hungary and Slovakia. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 391–396.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, 562 s.
- FORD, D. C. – EWERS, R. O. 1978. The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 15, 1783–1798.
- FRUMKIN, A. 1996. Uplift rate relative to base level of a salt diapir (Dead Sea, Israel), as indicated by cave levels. In Alsop, I. – Blundell, D. – Davison, I. (Eds.): *Salt tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 100, 41–47.
- FRUMKIN, A. 2001. The Cave of the Letters sediments – indication of an early phase of the Dead Sea Depression? *Journal of Geology*, 109, 1, 79–90.
- FRUMKIN, A. 2009. Formation and dating of a salt pillar in Mount Sedom diapir, Israel. *Geological Society of America Bulletin*, 121, 1–2, 286–293.
- GABROVŠEK, F. – HÄUSELMANN, P. – AUDRA, P. 2014. 'Looping caves' versus 'water table caves': The role of base-level changes and recharge variations in cave development. *Geomorphology*, 204, 683–691.
- GIBBARD, P. L. – LEWIN, J. 2009. River incision and terrace formation in the Late Cenozoic of Europe. *Tectonophysics*, 474, 41–55.
- GRANGER, D. E. – FABEL, D. – PALMER, A. N. 2001. Plio-Pleistocene incision of the Green River, Kentucky determined from the radioactive decay of cosmogenic ^{26}Al and ^{10}Be in Mammoth Cave sediments. *Geological Society of America Bulletin*, 113, 7, 825–836.
- GRANGER, D. E. – KIRCHNER, J. W. – FINKEL, R. C. 1997. Quaternary downcutting rate of the New River, Virginia, measured from decay of cosmogenic ^{26}Al and ^{10}Be in cave-deposited alluvium. *Geology*, 25, 2, 107–110.
- HÄUSELMANN, PH. – JEANNIN, P. Y. – MONBARON, M. 2003. Role of the epiphreatic zone and soutirages in conduit morphogenesis: the Bärenschacht example (BE, Switzerland). *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, 42, 2, 171–190.
- 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.
- JACOBY, B. S. – PETERSON, E. W. – DOGWILER, T. 2011a. Identifying the stream erosion potential of cave levels in Carter Cave State Resort Park, Kentucky, USA. *Journal of Geographic Information System*, 3, 4, 323–333.
- JACOBY, B. S. – PETERSON, E. W. – DOGWILER, T. – KOSTELNICK, J. C. 2011b. Estimating the Timing of Cave Level Development with GIS. *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*, 11, 52–61. <http://www.speleogenesis.info/content/>
- JAKÁL, J. 1975. Kras Šilickej planiny. *Osveta*, Martin, 152 s.
- JAKÁL, J. 1983. Krasový reliéf a jeho význam v geomorfologickom obraze Západných Karpát. *Geografický časopis*, 35, 2, 160–183.
- JENNINGS, J. N. 1964. Bungonia Caves and rejuvenation. *Helictite*, 3, 4, 79–84.
- JENNINGS, J. N. 1976. A test of the importance of cliff-foot caves in tower karst development. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, Suppl. 26, 92–97.
- JENNINGS, J. N. 1985. *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell, Oxford – New York, 293 s.
- KIKINADZE, T. Z. 1976. K voprosu korreljacii karstovych peščer a terras. In Panoš, V. (Ed.): *Proceeding of the 6th International Congress of Speleology*, Olomouc 1973, 3, 187–191.
- LAURITZEN, S.-E. – LAURITSEN, A. 1995. Differential diagnosis of paragenetic and vadose canyons. *Cave and Karst Science*, 21, 2, 55–59.
- LIU, Y. – WANG, S. – XU, S. – LIU, X. – FABEL, D. – ZHANG, X. – LUO, W. – CHENG, A. 2013. New evidence for the incision history of the Liuchong River, Southwest China, from cosmogenic $^{26}\text{Al}/^{10}\text{Be}$ burial ages in cave sediments. *Journal of Asian Earth Sciences*, 73, 274–283.
- MAXIMOVIČ, G. A. 1957. Korreljacija rečnih terras i gorizontálnych karstovych peščer. *Trudy komisii po izučeniju četvertičnogo perioda AN SSSR*, 13, Moskva, 243–252.
- MCDONALD, R. CH. – TWIDALE, C. R. 2011. On the origin and significance of basal notches or footcaves in karst terrains. *Physical Geography*, 32, 3, 195–216.
- MOTKE, F.-D. – PALMER, A. N. 1972. Genetic relationship between caves and landforms in the Mammoth Cave National Park area. *Böhler, Würzburg*, 69 s.
- NOVOTNÝ, L. 1993. Tretohorné jaskynné úrovně a zarovnané povrchy v Slovenskom raji. *Slovenský kras*, 31, 55–59.
- NÚÑEZ-JIMÉNEZ, A. 1990. La Gran Caverna de Santo Tomás: Monumento Nacional. Plaza Vieja, La Habana, 160 s.
- ONAC, B. P. 2000. *Geologia regiunilor carstice*. Editura Didactica si Pedagogica, R. A., Bucuresti, 399 s.
- PALMER, A. N. 1987. Cave levels and their interpretation. *Bulletin of the National Speleological Society*, 49, 2, 50–66.
- PALMER, A. N. 2007. *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, Ohio, 454 s.
- PANOŠ, V. 2001. *Karsologická a speleologická terminologie*. Knižné centrum, Žilina, 352 s.
- PASINI, G. 2009. A terminological matter: paragenesis, antigravitative erosion or antigravitational erosion? *International Journal of Speleology*, 38, 2, 129–138.
- PICCINI, L. 2011. Speleogenesis in highly geodynamic contexts: The quaternary evolution of Monte Corchia multi-level karst system (Alpi Apuane, Italy). *Geomorphology*, 134, 1, 49–61.
- PLAN, L. – FILIPPONI, M. – BEHM, M. – SEEBACHER, R. – JEUTTER, P. 2009. Constraints on alpine speleogenesis from cave morphology – A case study from the eastern Totes Gebirge (Northern Calcareous Alps, Austria). *Geomorphology*, 106, 1–2, 118–129.
- RENAULT, P. 1968. Contribution à l'étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. Les facteurs sédimentologiques. *Annales de Spéléologie*, 23, 3, 529–596.
- RHOADES, R. – SINACORI, M. N. 1941. Pattern of Ground-Water Flow and Solution. *Journal of Geology*, 49, 8, 785–794.
- SASOWSKY, I. D. – WHITE, W. B. – SCHMIDT, V. A. 1995. Determination of stream-incision rate in the Appalachian plateaus by using cave-sediment magnetostratigraphy. *Geology*, 23, 5, 415–418.
- SAWICKI, L. S. 1909. Ein Beitrag zum geographischen Zyklus im Karst. *Geographische Zeitschrift*, 15, 185–204, 259–281.
- SERBAN, M. – DOMSA, M. 1985. Sur le microrelief de corrosion de le Pesteră Vintului (Monts Padurea, Craiului, Roumaine) et la morphogénèse de la route plane dans les conduites forcées. *Theoretical and Applied Karstology*, 2, 97–121.
- STARCKEL, L. 2003. Climatically controlled terraces in uplifting mountain areas. *Quaternary Science Reviews*, 22, 2189–2198.
- SWEETING, M. M. 1950. Erosion cycles and limestone caverns in the Ingleborough District of Yorkshire. *Geographical Journal*, 124, 63–78.
- SWEETING, M. M. 1960. The caves of the Buchan area, Victoria, Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, Suppl. 2, 81–91.
- SWEETING, M. M. 1972. *Karst Landforms*. The MacMillan Press, London, 362 s.
- SWINERTON, A. C. 1932. *Origin of Limestone Caverns*. Geological Society of America Bulletin, 43, 3, 663–694.
- ŠTELCL, O. 1963. Jaskynní úrovně v severní části Moravského krasu. *Československý kras*, 14, 17–27.
- ŠTELCL, O. 1976. Česká krasová terminologie. *Československý kras*, 27 (1975), 7–19.
- THRAILKILL, J. V. 1968. Chemical and Hydrological Factors in the Excavation of Limestone Caves. *Geological Society of America Bulletin*, 79, 1, 19–45.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 1989. Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. *Osveta*, Martin, 464 s.
- VOLKO-STAROHORSKÝ, J. 1939. Štvrťovské. Kvartér či Anthropozoikum. *Muzeálna knižnica*, 17, Múzeum slovenského krasu, Liptovský Sv. Mikuláš, 176 s.
- WAGNER, T. – FRITZ, H. – STÜWE, K. – NESTROY, O. – RODNIGHT, H. – HELLSTROM, J. – BENISCHKE, R. 2011. Correlations of cave levels, stream terraces and planation surfaces along the River Mur – Timing of landscape evolution along the eastern margin of the Alps. *Geomorphology*, 134, 1–2, 62–78.
- WARWICK, G. T. 1960. The effect of knick-point recession on the water-table and associated features in limestone regions, with special reference to England and Wales. *Zeitschrift für Geomorphologie*, NF, Suppl. 2, 92–99.
- WEBB, J. A. – FABEL, D. – FINLAYSON, B. L. – ELLAWAY, M. – SHU, LI – SPIERTZ, H.-P. 1992. Denudation chronology from cave and river terrace levels: the case of the Buchan Karst, southeastern Australia. *Geological Magazine*, 129, 3, 307–317.
- WHITE, W. B. 1960. Terminations of Passages in Appalachian Caves as Evidence for a Shallow Phreatic Origin. *Bulletin of the National Speleological Society*, 22, 1, 43–53.
- WHITE, W. B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press, Oxford – New York, 464 s.
- WHITE, W. B. – WHITE, E. L. 1974. Base-level control of underground drainage in the Potomac River Basin. In Rauch, H. W. – Warner, E. (Eds.): *Proceedings of the 4th Conference of Karst Geology and Hydrology*. Morgantown, West Virginia, Geological Survey, 41–53.
- WILLIAMS, P. W. 1987. *Geomorphic inheritance and the development of tower karst*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12, 5, 453–465.
- WORTHINGTON, S. R. H. 2005. Evolution of caves in response to base-level lowering. *Cave and Karst Science*, 32, 1, 3–12.

MIKROBIÁLNE KOMUNITY JASKÝŇ

Milan Seman – Agáta Dršková

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4;
seman.mikro@gmail.com, agata.drskova@gmail.com

M. Seman, A. Dršková: Microbial Communities of Caves

Abstract: Caves represent natural phenomenon, while unique underground habitats, environment for adapted organisms, which is dominated by microorganisms. These form the intricately structured, dynamic community – the microbiota. The microorganisms are not in the caves of passive elements, on the contrary, constitute an active agent. Different mechanisms are involved in the dissolution (disintegration, weathering) mainly carbonate rocks, as well as the creation of cave filling, forming the cave speleothems. The basic microbial structural unit in the caves are chemolithotrophic autochthonous microorganisms and autochthonous or allochthonous chemoorganotrophic microorganisms. From the Prokaryotes are usually present so the Archaea (Crenarchaeota, Euryarchaeota, Thaumarchaeota), as well as Bacteria, including the dominant taxa the Proteobacteria (enterobacterias, pseudomonads, sulfur, iron, manganese, nitrification chemolithotrophs), actinomycetes, Firmicutes. From the Eukaryotes colonize caves all representatives of a taxa Protista: microscopic algae, microscopic fungi as well as Protozoa. Cave microorganisms have great biotechnological potential, applying in the pharmaceutical, food and chemical industries. To the desired are hydrolytic enzymes, highly active at low temperatures; new biologically active compounds, particularly with antibiotic effects, as well as surfactants – biosurfactants with a broad medical and industrial applications. The investigation of the cave microbiota is currently gaining in importance and attractiveness.

Key words: caves, microorganisms, cave microbiota

ÚVOD

Jaskyne predstavujú impozantný prírodný fenomén. Zároveň tvoria unikátne podzemné biotopy, ideálne prostredie pre organizmy, ktoré sú schopné žiť vo fyziologicky limitujúcich podmienkach. Kľúčovú úlohu v ekosystéme jaskýň zohrávajú mikroorganizmy.

V krasových územiach sa jaskyne formujú v prevažne karbonátových a iných rozpustných horninách, ako sú vápenec alebo dolomit, ale vyskytujú sa aj v nekrasových územiach, kde vznikajú v menej rozpustných a nerozpustných horninách, ako sú napr. granit alebo pieskovec. Tieto jedinečné podzemné ekosystémy nepútajú pozornosť len svojimi geomorfologickými znakmi, ale aj svojou živou zložkou – biotou, reprezentovanou tak makroorganizmami, ako aj mikroorganizmami. Mikroorganizmy ako významná zložka planetárnej bioty sa vyskytujú prakticky vo všetkých ekosystémoch a výnimkou nie sú ani ekosystémy s pretrvávajúcimi extrémnymi životnými podmienkami, ku ktorým patria aj jaskyne. Obmedzené množstvo dostupných živín, trvalý nedostatok svetla, celoročne relatívne nízka teplota vzduchu a vysoká vlhkosť ovzdušia robia z jaskýň jeden z vhodných biotopov pre štúdium vysoko špecializovaných, adaptovaných foriem mikroorganizmov. Evolučne vyvinuté adaptačné mechanizmy im dávajú kompetitívne výhody pre život v extrémnych podmienkach. Podľa viacerých autorov mikroorganizmy významným spôsobom participujú na geologických a geochemických procesoch pod zemským povrchom.

Štúdiu jaskynných mikroorganizmov sa venuje čoraz väčšia pozornosť. Dominantným predmetom záujmu, predovšetkým zo strany farmaceutického priemyslu, sú rôzne enzýmy, biologicky aktívne látky alebo antibiotiká, ktoré môžu byť užitočným produktom ich metabolizmu a nádejným zdrojom pre nové, efektívne terapeutiká. Mnohé izoláty z jaskýň

sú prísľubom pre bioremediačné procesy. Nemennej dôležitosti sú aj poznatky o živote mikroorganizmov v extrémnych podmienkach a ich extrapolácia pre možnosti života na extraterestrických systémoch, predovšetkým na Marse či iných objektoch Slnecnej sústavy (mesiace Európa, Ganymedes, Enceladus, Titan), ktoré prichádzajú do úvahy ako potenciálni adepti na možné mikrobiálne osídlenie.

Štúdiu mikroorganizmov vo všetkých typoch jaskynných prostredí sa venuje pomerne mladý vedný odbor – mikrobiálna speleológia alebo **mikrobiospeleológia**, zaoberajúca sa mikroskopickým životom v jaskyniach a jeho pôsobením a ovplyvňovaním tohto prostredia. Ponúka celý rad zaujímavých a príťažlivých námetov pre jaskynné a krasové vedy. Súčasné progresívne techniky a metódy, predovšetkým molekulárno-biologické, sú úspešne aplikované aj pre jaskynné mikrobiálne štúdie, čím sa výrazne rozširuje naša schopnosť hľadať, nachádzať a charakterizovať mikroorganizmy v jaskyniach.

V priebehu posledných dvoch desaťročí prišlo vo svete k výraznému pokroku aj v oblasti biospeleologického výskumu, avšak naše doterajšie vedomosti o jaskynnej ekológii, fungovaní a dynamike populácií a o životných cykloch väčšiny jaskynných organizmov sú stále veľmi obmedzené. Platí to najmä o mikrobiálnej biote jaskýň, teda o spoločenstvách mikroorganizmov obývajúcich jaskynné priestory. Predložená práca je stručným prehľadom poznatkov a pohľadom na mikrobiálne spoločenstvá obývajúce jaskynné biotopy.

MIKROORGANIZMY A SPELEOGENÉZA

Jaskyne sa formujú viacerými procesmi v rôznych typoch materskej horniny. Väčšinou vznikajú v rozpustných krasových horninách (napr. vápencoch, dolomitoch, sadrovcach) vplyvom chemických a mechanických procesov.

Vyskytujú sa však aj v nekrasových územiach, kde vznikajú v horninách nerozpustných (napr. vo vyvetých horninách, ako sú granity, andezity, bazalty; v sedimentárnych horninách, ako je pieskovec, alebo v metamorfovaných horninách, ako sú napr. rula a bridlice), a vtedy sú súčasťou pseudokrasových oblastí (Barton a Jurado, 2007). Medzi hlavné krasové procesy zaraďujeme rozpúšťanie vápencov (dolomitov alebo iných rozpustných hornín) a tvorbu sintrových útvarov (rast speleotém). Sú to v podstate dve protichodné chemické reakcie, ktorých proces kontroluje viacero činiteľov.

Na procese rozpúšťania karbonátov (krasovatenia) sa zúčastňujú aj mikroorganizmy. Tie vďaka ich bohatej rozmanitosti a ubikvitnému rozšíreniu boli nájdené takmer všade na Zemi, vrátane podzemných vôd a povrchov karbonátových hornín (Lian et al., 2011). Na povrchoch vápencov a dolomitov bolo identifikované široké spektrum mikroorganizmov, od mnohých druhov autotrofných baktérií viažucich dusík, cyanobaktérií, anaeróbných zelených nesírných baktérií až po heterotrofné baktérie, ako sú proteobaktérie, aktinomycéty alebo acidobaktérie. Tiež bola dokázaná prítomnosť archeónov a eukaryotických mikroorganizmov, predovšetkým mikroskopických húb (Tang et al., 2012). Zároveň s identifikovaním konkrétnych mikroorganizmov prítomných na povrchoch karbonátových hornín vzbudila pozornosť aj úloha týchto mikroorganizmov počas krasovatenia a ich vplyv na prostredie. Počas zvetrávania, resp. rozpadu karbonátových hornín môžu mikroorganizmy vykonávať niektoré z týchto stratégií:

a) **biologicko-fyzikálne zvetrávanie**, pri ktorom rast mikroorganizmov vytvára fyzikálny tlak na rozbitie minerálnych častíc, napr. rastúce mycéliá húb prenikajúce dovnútra minerálnych hornín a rozširujúce ich na menšie častice či spôsobujúce mikrobiálne korózie;

- b) *chemické zvetrávanie*, počas ktorého organické kyseliny a ligandy sekrétované mikrobiálnym metabolizmom spôsobujú rozpad karbonátových hornín;
- c) *enzymatické zvetrávanie*, v ktorom enzýmy a iné aktívne látky sekrétované mikroorganizmami degradujú uhličitanové horniny (Lian et al., 2011).

Rast a metabolizmus mikroorganizmov sú ovplyvnené viacerými environmentálnymi faktormi. Na základe podmienok prostredia môžu mikroorganizmy využívať jednu z týchto vyššie uvedených stratégií alebo ich kombinácie. Podľa toho, či mikroorganizmy majú priamy kontakt s karbonátovými horninami, sa minerálne zvetrávanie môže rozdeliť na dva typy: priame a nepriame zvetrávanie. Pri nepriamom zvetrávaní, kde absentuje kontakt medzi mikróbami a minerálmi, je rozpad hornín dosiahnutý najmä vďaka kyslým produktom metabolizmu alebo enzymami produkovanými mikroorganizmami (Lian et al., 2011). Príkladom je kyselina citrónová alebo octová, ktoré môžu degradovať minerálne horniny vrátane vápence. Enzýmy majúce vplyv na zvetrávanie uhličitanových hornín patria medzi karbonické anhydrázy (uhličitanové dehydratázy alebo anhydrázy kyseliny uhličitej), ktoré zvyšujú rýchlosť uvoľňovania Ca^{2+} a Mg^{2+} iónov z karbonátových hornín (Lian et al., 2011). Tieto enzýmy katalyzujú premenu CO_2 a zvyšujú rýchlosť korózie vápence (Liu a Dreybrodt, 1997). Lian et al. (2006) vo svojich výsledkoch poukazujú na to, že bakteriálne bunky, produkty ich metabolizmu, ale aj nutričné faktory ovplyvňujú priebeh krasovatenia.

JASKYNNÉ EKOSYSTÉMY

Jaskyne sa dajú považovať za špecifické a stabilné prírodné geosystémy v biosfére. V porovnaní s krajinnými systémami na zemskom povrchu sú výrazne odlišné. Ich podzemné priestory majú osobitú morfológiu. V jaskynnom systéme sú z biologického hľadiska charakteristické 3 zóny, každá s odlišným biotopom:

- a) *Vstupná zóna* – nachádza sa hneď pri vchode do jaskyne. Je definovaná ako priestor od 0 do 10 metrov od vchodu do jaskyne, avšak skutočná dĺžka môže byť rôzna v závislosti od veľkosti jaskyne (Davis et al., 2000). Mikroklima je silne ovplyvňovaná klimatickými podmienkami na povrchu, úroveň svetla je vysoká a mikroklimatické podmienky v priebehu roka kolíšu. Dochádza tu k cyklu denného svetla a v porovnaní s vonkajším prostredím mimo jaskyne sa vyznačuje nižšou intenzitou svetla a vyššou relatívnou vlhkosťou. Je pre ňu charakteristická lepšia dostupnosť živín oproti vnútorným častiam jaskyne. V tejto zóne boli nájdené z mikroorganizmov predovšetkým riasy a cyanobaktérie, často vytvárajúce slizovité biofilmy. Neabsentujú ani baktérie a mikromycéty. Okrem nich sa tu vyskytujú aj nižšie rastliny, zastúpené lišajníkmi a machmi (Jones, 2010).
- b) *Zóna súmraku* – siaha približne do polovice celkovej hĺbky jaskyne. Samozrejme, veľmi záleží aj na type a členitosti konkrétnej jaskyne. Je pre ňu charakteristický úbytok svetla, ale aj spojenie s vonkajším

prostredím. Mikroklimatické podmienky prechádzajú len miernym kolísaním. Biofilmy rias sú tenšie a obsahujú menej slizu ako tie vo vstupnej zóne. Komunity mikroorganizmov sú tu tvorené hlavne sinicami a riasami, ale aj baktériami a mikromycétami (Jones, 2010).

- c) *Tmavá zóna* – je skoro celá izolovaná od podmienok vonkajšieho prostredia a úplne bez svetla. V porovnaní s biotopmi na povrchu sú podmienky v hlbokých častiach jaskýň stabilnejšie (napr. konštantná teplota počas celého roka), ale tieto stabilné podmienky môžu byť považované aj za extrémne, lebo v dôsledku absencie svetla tu nie je možná fotosyntéza. Hlboké jaskynné prostredia sa zvyčajne považujú za extrémne oligotrofné (chudobné na živiny), pretože zdroje prítomné v povrchových ekosystémoch (svetlo alebo organická hmota ako hlavný zdroj živín heterotrofných organizmov) sú obmedzené. Minimálne zdroje nutričov však predsa len možno nájsť viac-menej vo všetkých miestach jaskyne. V tejto zóne sa vyskytuje najmä široké spektrum rôznych druhov baktérií a vláknitých mikromycét (Jones, 2010; Lee et al., 2012). Možno tu však nájsť aj heterotrofné sinice a riasy, teda také, ktoré nie sú striktné viazané na slnečné svetlo, ale sú schopné žiť aj na miestach bez svetla (Lukešová a Nováková, 2009).

Jaskynné prostredie sa v súvislosti s existenciou množstva obmedzení v ňom pretrvávajúcej dá charakterizovať ako extrémne. Aj napriek tomu však podzemné priestory krasových oblastí ukrývajú mnohé formy života, od mikroorganizmov až po cicavce (Kováč et al., 2005).

Existuje široká škála faktorov ovplyvňujúcich druhovú distribúciu do jednotlivých zón. Patria sem napr. intenzita svetla, teplota, rozsah kolísania teploty, prúdenie vzduchu, hĺbka jaskyne, vlhkosť, spojenie s povrchovou vodou, prísun nutričov do systému. Na základe týchto parametrov sa v každej zo zón nachádza osobitá fauna, flóra a mikrobiota (Aley a Aley, 1997).

MIKROBIOTA JASKÝŇ

Subteránny biotop jaskýň je útočiskom mnohých osobitých a mnohokrát aj podivných foriem života. Predstavuje ideálne prostredie na výskum adaptovaných organizmov, ktoré sú schopné žiť v limitujúcich podmienkach jaskýň. Najviac zastúpenou skupinou organizmov žijúcich v jaskyniach je **mikrobiota**, čiže jednobunkové organizmy mikroskopických rozmerov, ku ktorým patria aj nebunkové organizmy – vírusy. Termín mikrobiota zahŕňa všetky mikrobiálne taxóny (systematické jednotky) a spoločenstvá, žijúce na určitej ekologickej nike. Tvoria ju mikroorganizmy, vyskytujúce sa väčšinou v štruktúrach, obsahujúcich veľký počet buniek (tisíce až milióny), ako sú zhluky, asociácie, kolónie, biofilmy, menej ako planktonické (solitérne) formy. Jednou z ich významných schopností je, že fungujú ako dekompozítori, zabezpečujúci tvorbu biomasy, od ktorej závisí rozsiahle organické jaskynné spoločenstvo. V jaskyniach totiž chýba rastlinný odpad, ktorý je dôležitou organickou zlož-

kou, potrebnou pre rast a vývoj živočíchov. Výnimkou sú prípady, keď sa z vonkajšieho prostredia do jaskýň môže dostať po intenzívnych dažďoch, búrkach, topení snehu rastlinný materiál (lístie, tráva, konáriky), ktorý až do jeho degradácie slúži ako nutričný substrát. A práve v tomto smere sú mikroorganizmy v jaskyniach nezastupiteľné, najmä v striktné oligotrofných jaskyniach, kde slúžia ako jediný zdroj potravy pre pôdne bezstavovce a nahrádzajú tak organický materiál, ktorý by za normálnych podmienok mimo jaskyne produkovali rastliny, tvoriac základ celého trofického reťazca (Seman a Gaalová, 2009).

Mikroorganizmy sa tiež zúčastňujú na vytváraní jaskynných výplní, na formovaní jaskynných speleotém. Podporujú rozpúšťanie materskej horniny a umiestnenie CaCO_3 iónov do podzemnej vody, z ktorej precipitujú speleotémy. Ide najmä o síru, železo a mangán oxidujúce baktérie, ktoré využívajú redukované zlúčeniny týchto prvkov ako energetické substráty a týmto svojím metabolizmom zabezpečujú vznik kyslého prostredia, ktoré materské horniny rozpúšťa (Barton, 2006). Participovanie jaskynných mikroorganizmov v produkcii biomasy, rôznych degradujúcich látok a pri formovaní speleotém patrí medzi procesy, ktoré sú mikróbami ovplyvnené pozitívne. Avšak niektoré z nich môžu pôsobiť nepriaznivo. Známa je degradácia historických kresieb enzýmami a pigmentmi produkovanými určitými mikroorganizmami, napr. v jaskyni Altamira v Španielsku alebo Lascaux vo Francúzsku (Laiz et al., 2000).

Existuje viacero vizuálnych prejavov, ktoré môžu byť považované v jaskyniach ako dôkaz výskytu mikroorganizmov, resp. dôkaz mikrobiálnej aktivity (Barton, 2006):

- a) *Bodky na povrchoch* – ich objavenie nemusí nutne znamenať abiotické ukladanie minerálov. Často, keď sú vhodné podmienky pre rast mikroorganizmov, tieto rastú ako veľké kolónie viditeľné voľným okom. Kolónie sú podobné tvarom tým, ktoré sa nachádzajú na živných médiách v laboratóriu a každá reprezentuje súbor miliónov buniek. Viditeľné sú predovšetkým na miestach, kde presakuje voda.
- b) *Nezvyčajné zafarbenia* – mikroorganizmy rastúce na povrchoch môžu zmeniť chemiu tohto povrchu, čo vedie k zmenám v zafarbení horniny.
- c) *Zrazeniny (precipitáty)* – mikroorganizmy využívajú chemické gradienty na tvorbu energie. Pri ich utilizácii môžu mikroorganizmy meniť okolité podmienky prostredia, čo vedie k zmene v chemických vlastnostiach minerálov. V prípade minerálov, ako sú oxidy železa alebo mangánu, nastáva zmena v rozpustnosti týchto minerálov, a to zasa vedie k ich vyzrážaniu (precipitácii).
- d) *Korozívne reakcie* – interakcie mikroorganizmov s materskou horninou môžu spôsobiť rôzne chemické zmeny v materskej hornine. Tieto zmeny môžu byť odlišné od farebných zmien pozorovaných pri týchto reakciách. Dôsledkom sú jemné štruktúrne zmeny, ako je zníženie hustoty alebo zmäkčutie materskej horniny.
- e) *Tvorba biofilmov* – jeden z výrazných znakov mikrobiálnej aktivity v jaskynnom prostredí. Ide často o voľným okom vidi-

teľné, makroskopické, niekedy farebné povlaky, zložené z druhovo pestrých komunit mikroorganizmov, ktoré môžu byť štruktúrované a držiace spolu vďaka vysokomolekulárnym polymérnym zlúčeninám, produkovaným týmito mikroorganizmami. Biofilm je teda kompaktné, trojdimenziálne zoskupenie mikroorganizmov, adherované k povrchom. Niekedy môže mať zvláštnu vertikálnu formu, označovanú ako „jaskynný sople“ (obr. 1).



Obr. 1. Snottite (snotticle) – biotický stalaktit, „jaskynný sople“, makroskopicky viditeľný visiaci útvar hlienovitej konzistencie, tvorený slizom produkovaným baktériami v jaskyni Cueva de Villa Luz, Mexiko (zdroj: <https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Snottites>)
Fig. 1. Snottite (snotticle) – biotic stalactite, „cave snot“, macroscopically visible hanging formation of mucoid consistency, formed by the mucus produced by bacteria in the cave Cueva de Villa Luz, Mexico (source: <https://microbewiki.kenyon.edu/index.php/Snottites>)

Podzemné prostredie jaskýň je z hľadiska množstva mikrobiálnej biomasy pomerne bohatým habitatom. Najmä v mäkkom sintri, ale aj vo vzduchu, vode i na samotných horninách jaskýň sa mikrobiálnej biomasy nachádza nesmierne množstvo. Jaskyne sa preto môžu považovať za dlhodobý rezervoár mikroorganizmov v podzemí (Engel, 2012). Podľa tejto autorky sú od povrchových druhov mikroorganizmov geneticky odlišné, a preto by mali patriť do nových taxonomických skupín. Na overenie tejto hypotézy sú však potrebné ďalšie výskumy. Na základe publikovaných štúdií, využívajúcich štruktúru (génové sekvencie) 16S rRNA (z angl. ribosomal ribonucleic acid, ribozomálna ribonukleová kyselina) ako relevantný taxonomický marker, bola v jaskynnej mikrobiote identifikovaná približne len tretina známych bakteriálnych fylogenetických kmeňov (v súčasnosti ich je validných 27), z archeónov menej ako polovica (z 13 validných). Eukaryotické taxóny sa rozpozitávajú na základe génových sekvencií 18S rRNA a dosiaľ ich bolo identifikovaných najmenej (Engel, 2010).

Nie všetky mikroorganizmy vyskytujúce sa v jaskyniach predstavujú aj ich prirodzených obyvateľov. Pokiaľ ide o mikrobiálnu kontamináciu jaskýň, tak najlepšie preskúmaným systémom je jaskyňa Lascaux vo Francúzsku. Túto jaskyňu objavili v roku 1940 a je významná hlavne tým, že obsahuje jaskynné nástenné kresby z obdobia paleolitu. V roku 1963 však bola pre návštevníkov uzatvorená z dôvodu zachovania tohto kultúrneho dedičstva. Obrovská návštevnosť mala za následok narušenie jaskynnej mikroklímy a ekosystému. Umeľé osvetlenie, zvýšená teplota a vlhkosť boli zodpovedné za rast a usadzovanie zelených rias na stenách jaskyne a hrozilo zničenie obrazov (Bastian et al., 2009). Situácia dospela tak ďaleko, že sa musela riešiť razantným spôsobom, a síce postrekovaním nánosov formaldehydom, a následne bola jaskyňa pre verejnosť uzavretá. Po niekoľkých rokoch sa narušenie ekosystému jaskyne Lascaux prejavilo tak, že

steny, podlahy a sedimenty boli kolonizované vláknitou mikromycétou *Fusarium solani*, vytvárajúcou dlhé biele myceliá, a neskôr i ďalšími mikromycétami. Jaskyňa bola potom na základe tohto javu intenzívne ošetrovaná prostredníctvom benzalkóniumchloridu (Dupont et al., 2007).

Kvalitatívna kompozícia jaskynnej mikrobioty má z taxonomického hľadiska viacero aspektov. Prvým dôležitým atribútom pre jej zloženie je, či konkrétne taxóny tejto bioty sú autochtónne alebo alochtónne, druhým atribútom je, či ide o chemolitotrofné alebo chemoorganotrofné mikroorganizmy.

Jedným z najkritickejších faktorov, ovplyvňujúcim kvalitatívnu, ale aj kvantitatívnu štruktúru subteránne adaptovanej mikrobioty, je nedostatok kontinuálneho prísunu živín. Táto biota je potom závislá od toku živín a energie z povrchu, predovšetkým od fotosynteticky produkovanej organickej hmoty, ktorá je do subteránneho prostredia importovaná rôznym spôsobom: vzdušnými prúdmi, prienikmi vody prinášajúcimi organický detrit či vo vode rozpustený organický uhlík, exkrementmi živočíchov. V dôsledku uvedených mechanizmov môžu organizmy závislé od transportu degradovaných organických látok trpieť aj dlhším obdobím hladovania. Prejavom nutričného stresu je zníženie metabolizmu, spomalená rastová rýchlosť, zníženie reprodukcie a celkové oslabenie vitality organizmu. Organizmy, striktne závislé od externej donácie živín a energie, nazývame **chemoorganotrofné**. Tieto organizmy (mnohé baktérie, huby, mikro- a makrofauna) vyžadujú ako primárny zdroj uhlíka a energie organické zlúčeniny.

V subteránnych ekosystémoch však žijú aj organizmy, ktoré sa nespoliehajú len na importovaný organický materiál. Aj v neprítomnosti svetla reaktívne povrchy skál (minerálov a hornín) a na minerály bohatá voda poskytujú široký sortiment potenciálnych zdrojov energie pre život. Existujú organizmy, ktoré dokážu získať energiu z anorganických zdrojov, a to oxidáciou sírnych, železných, mangánových, nitrátových, nitritových zlúčenín alebo redukciou síranov a dusičnanov. Nazývajú sa **chemolitotrofné** (lito, z gréckeho líthos = kameň, skala), teda voľne preložené: „skalú požierajúce“. Niektoré chemolitotrofy dokážu asimilovať v jaskyniach sa hojne vyskytujúci CO₂ (**chemolitotoautotrofné**), iné využívajú jednoduché organické zlúčeniny (**chemolitoheterotrofné**) ako primárny zdroj uhlíka. Chemolitotrofné mikroorganizmy sa našli v hlbokomorských hydrotermálnych prieduchoch, v kontinentálnych akviféroch, morských sedimentoch, jaskynných a krasových ekosystémoch. Ich objav zároveň vyvrátil myšlienku, že život na Zemi je výhradne závislý iba od slnečnej energie. Chemolitotrofy majú veľký význam pre globálne biogeochemické cykly a ekosystémové procesy. Uvoľňujú mnohé dôležité prvky a dokážu generovať organický uhlík, tvoriac tak bázu ekosystémovej potravinovej siete. Niektorí bádatelia do-

konca predpokladajú, že primárna produkcia chemolitotrofných organizmov môže prevýšiť produkciu terestrických fotosyntetizujúcich organizmov (Tolli a King, 2005).

Chemolitotrofné, a predovšetkým chemo-litoautotrofné organizmy sú teda dominantnou autochtónnou zložkou jaskynnej mikrobioty, na rozdiel od chemoorganotrofných mikroorganizmov, ktoré často predstavujú len alochtónnu, tranzientnú zložku jaskynnej mikrobioty.

VÍRUSY

Vírusy sú nebunkové organizmy a jednoducho povedané, predstavujú v podstate genetický materiál obklopený obalovým proteínom. Sú schopné infikovať všetky typy organizmov, od prokaryotov až po rastliny a živočíchy vrátane človeka. Ale doteraz vieme o ekológii vírusov v jaskyniach len veľmi málo (Lee et al., 2012). Niektoré organizmy v jaskyniach, ako hmyz alebo cicavce, môžu byť priamo vírusmi infikované alebo môžu slúžiť ako ich významné rezervoáre. Netopiere sú takými typickými jaskynnými cicavcami a ich existencia je často spájaná s vírusovými infekciami. Môžu byť atakované vírusmi, ako je napríklad Západonílsky vírus, alebo predstavujú rezervoáre pre vírusy rodov *Lysavirus*, *Filovirus* a *Paramyxovirus* (Quan et al., 2010). Do rodu *Filovirus* patrí aj v súčasnosti často spomínaný vírus Ebola a Marburský vírus, spôsobujúci marburskú hemoragickú horúčku. Marburský vírus bol identifikovaný u afrických netopierov, ktoré predstavovali tiež pravdepodobne rezervoáre vírusu Ebola. Tento bol identifikovaný v roku 2007 u baníkov pracujúcich v jaskyni Kitaka v Ugande. Zistilo sa, že pravdepodobný zdroj infekcie je v jaskyniach prebývajúcí kaloň egyptský (*Rousettus aegyptiacus*) (Towner et al., 2009). Väčšina ohnísk hemoragickej horúčky spôsobenej letálnym Marburským vírusom a spojenej s návštevami jaskýň je v Afrike (Kuzmin et al., 2008). Ale hosťiteľmi vírusov sú predovšetkým baktérie. Vírusy sa ako fágy nachádzajú takmer v každej baktérii, a preto ich vo forme bakteriofágov môže byť v jaskyniach obrovské množstvo.

O vírusoch v jaskyniach Slovenska nevieme prakticky nič, ale môžeme predpokladať, že ich prítomnosť by mohla byť takisto spojená s netopiermi ako ich hosťiteľmi.

ARCHEÓNY

Archeóny sú jednobunkové prokaryotické mikroorganizmy, tvoriace samostatnú taxonomickú jednotku najvyššieho rangu, a síce doménu. Ich molekulárna charakteristika ich jednoznačne odlišuje od ďalších dvoch organizmálnych domén – baktérií a eukaryotov. Fylogeneticky patria k najstarším organizmom na našej planéte, čo vyjadruje aj grécky základ slova archeón – *archaios* čiže starý, starobylý.

Archeóny nachádzame predovšetkým v extrémnych typoch biotopov, akými sú podmorské hydrotermálne prieduchy, ako aj terestrické horúce pramene, extrémne slané, kyslé alebo anaeróbne environmenty. Zastúpené sú nielen v horúčkach, ale naopak aj v stu-

dených ekosystémoch, kde zohrávajú dôležitú ekologickú úlohu. Pre ich výskyt v extrémnych životných podmienkach ich tiež nazývame **extremofily**. Existujú však aj tzv. non-extremofilné archeóny, napríklad metanogénne archeóny, obývajúce tráviaci trakt živočíchov vrátane človeka. Vzhľadom na existenciu archeónov v extrémnych biotopoch je prakticky nemožná ich kultivácia v laboratórnych podmienkach. Na ich štúdium musia byť použité kultivačne nezávislé technológie, predovšetkým molekulárno-biologické.

Taxonomická štruktúra archeónov sa v súčasnosti výrazne diferencuje. Pôvodne boli známe dva fylogenetické kmene archeónov: **Crenarchaeota** a **Euryarchaeota**. Kmeň *Crenarchaeota* (krenarcheóny) tvoria extrémne acidofilné a hypertermofilné archeóny, *Euryarchaeota* (euryarcheóny) integrujú taxóny so vzťahom k metabolizmu metánu, ako aj extrémne halofilné archeóny. V roku 2011 bola etablovaná nová taxonomická línia archeónov, označená ako **Thaumarchaeota**. Predstavuje vývojovú líniu mezofilných, non-termofilných krenarcheónov, vyznačujúcich sa oxidáciou amónia. Je im prisudzovaná významná úloha v biogeochemickom cykle dusíka. V jaskynných biotopoch by mohli reprezentovať významnú zložku archeálnej bioty.

O tom, že jaskyne sú obývané rôznymi spoločenstvami mikroorganizmov, o ktorých sa predpokladá, že zohrávajú dôležitú úlohu v procese formovania minerálov, už existuje dostatok poznatkov. Avšak o prítomnosti archeálnych spoločenstiev mikroorganizmov v jaskyniach je zatiaľ dostupných len veľmi málo informácií. Archeóny sú spájané s extrémnymi prostrediami a veľmi špecifickým životným štýlom. V posledných rokoch sa však ukázalo, že archeóny sú prítomné a môžu byť dokonca dominantné aj v neextrémnych prostrediach (Gonzalez et al., 2006).

Reitschuler et al. (2014) ukázali, že zatiaľ čo archeóny boli konštantným a druhovo homogénnym taxónom vo vzorkách mäkkého sintra alpskej jaskyne Hundsalm Eishöhle v Tírolsku (Rakúsko), baktérie a mikromycéty preukazovali fluktuácie a druhovú heterogenitu. Na základe štúdia hĺbkového profilu mäkkého sintra sa pokúšali zistiť, ktoré taxóny archeónov sú v rámci jeho štruktúry lokalizované v oksyložených, povrchových vrstvách a ktoré sa naopak nachádzajú v hlbších vrstvách, chudobných na kyslík. Analýzou sa zistilo, že v povrchových sa nachádzali archeóny, ktoré by mohli byť príbuzné s druhom *Nitrosopumilus maritimus* z kmeňa *Thaumarchaeota* (99 % identita). *N. maritimus* je autotrofný, oligotrofný a má vysokú afinitu k amoniaku. Môže sa vyskytovať v širokom rozmedzí teplôt (od 9 – 29 °C), salinity, pH. Vzhľadom na hustú konzistenciu mäkkého sintra v kombinácii s veľkým množstvom mikroorganizmov sa predpokladá, že v jeho hlbších zónach dochádza k vyčerpaniu kyslíka (Steward a Franklin, 2008). V týchto zónach sú dominantní zástupcovia príbuzní s druhmi kmeňa *Euryarchaeota*, ide však len o vzdialených príbuzných s rodmi *Aciduliprofundum* (86 % identita) a *Thermogymnomonas* (89 % identita) (Reitschuler et al., 2014).

Na druhej strane archeálne komunity tvorili len 5 % celkových mikrobiálnych komu-

nít železo-mangánových (Fe:Mn) depozitov získaných zo 4 jaskýň na hornom toku rieky Tennessee (USA), kde jednoznačne dominujú bakteriálne taxóny. V rámci archeónov prevažoval kmeň *Thaumarcheota*. Účasť archeónov vo formovaní a transformácii jaskynných Fe:Mn depozitov je diskutabilná, a tak sa v tejto súvislosti špekuluje aj o existencii novej skupiny archeónov, schopných mangánovej biomineralizácie (Carmichael, 2012; Carmichael et al., 2013).

Johnston (2013) vo svojej práci kvantifikoval archeálne a bakteriálne komunity v jaskyni Lechuguilla (USA) vo vertikálnom profile, v rôznych hĺbkach (0 – 400 m), v 50 m intervaloch a zistil, že s pribúdajúcou hĺbkou začína dominancia archeónov nad baktériami.

Jaskynná mikrobiológia je mladá veda. Hoci rastie počet vedeckých publikácií z tohto vedného odboru, väčšina prác týkajúcich sa mikrobioty jaskýň sa koncentruje na tradičné, karbonátové (krasové) jaskyne. Veľmi málo prác je v tomto smere venovaných pseudokrasku, teda územiám, zahrnujúcim napr. pieskovcové, vulkanické, glaciálne či periglaciálne jaskyne. Barton et al. (2014) publikovali komplexnú analýzu štruktúry mikrobiálnej komunity kvarcovej jaskyne Roraima Sur Cave v pohorí Roraima Tepui vo Venezuele. V rámci archeálnej bioty bol identifikovaný kmeň *Thaumarcheota* a v rámci neho populácie s amónium-oxidujúcim potenciálom.

Archeálne komunity v našich jaskyniach skúmala zatiaľ len Chroňáková et al. (2009). Technikami molekulárnej biológie bolo preskúmané guáno z jaskyne Domicca a sledovali sa zmeny v diverzite archeónov od najstarších vrstiev, starých asi 1000 rokov, až po súčasné. Zistilo sa, že archeóny majú v guáne významné zastúpenie. Podrobný fylogenetický výskum vzoriek odoberaných z jeho rôznych vrstiev potvrdil dominanciu non-termofilných archeónov z kmeňa *Crenarchaeota* (99 % izolátov).

Úloha archeónov v mikrobiálnych komunitách jaskýň, a najmä v ich biogeochemických cykloch je zatiaľ pomerne málo preskúmaná. A tak sa archeóny stávajú dôležitou cieľovou skupinou pri determinovaní mikrobiálnych komunit v jaskyniach.

BAKTÉRIE

Baktérie sú jednobunkové prokaryotické mikroorganizmy, tvoriace samostatnú vývojovú líniu – doménu *Bacteria*. Mikrobiota jaskynného prostredia je z veľkej časti tvorená práve baktériami. Na základe doteraz publikovaných štúdií bolo v jaskyniach z tejto domény identifikovaných najviac mikroorganizmov. Podzemné jaskynné vody, vzduch, sedimenty, horniny, ako aj jaskynné výplne predstavujú vhodné habitaty pre ich činnosť, ktorá, ako sa mnohí vedci domnievajú, zreteľným spôsobom dotvára geologické a geochemické procesy pod zemským povrchom, spojené s rozpúšťaním uhličitanových hornín a tvorbou krasu (Engel, 2010).

Tomová et al. (2013) sa zaoberali výskumom biodiverzity a taxonomickej štruktúry baktérií v jaskyni Magura v Bulharsku a dokázali prítomnosť 4 fylogenetických kmeňov: *Proteobacteria* (63 %), *Actinobacteria* (10,9 %),

Bacteroidetes (10,9 %) a *Firmicutes* (6,5 %). Tento relatívne malý počet izolovaných bakteriálnych kmeňov mohol byť spôsobený použitím nutrične bohatých živých pôd, ktoré mohli obmedziť rast oligotrofných baktérií lepšie adaptovaných na chudobnejšie podmienky jaskynného prostredia. Ikner et al. (2007) skúmali mikrobiálnu diverzitu a vplyv turizmu na mikrobiálny profil v jaskyni Kartchner Caverns v Arizone (USA). Na základe molekulárnych metód zistili, že väčšina izolátov patrí do troch kmeňov: *Actinobacteria*, *Firmicutes* alebo *Proteobacteria*.

PROTEOBAKTÉRIE

Doterajšie výskumy naznačujú dominanciu fylogenetického kmeňa *Proteobacteria* v jaskynnom prostredí, čo môže byť dôsledok stúpajúcej tendencie návštevnosti jaskýň, ale aj druhovou abundanciou tohto kmeňa. Zvýšený vstup organického materiálu do jaskýň podporuje rast rôznych heterotrofných baktérií, vedúci k ovplyvneniu jaskynnej klímy a k zvyšovaniu rozptylu a kolonizácie mikroorganizmov (Mulec, 2008). K proteobaktériám vyskytujúcim sa v hojnom množstve v jaskynných biotopoch patria predovšetkým enterobaktérie, pseudomonády, sírne baktérie, nitrifikačné baktérie. Prevalencia rodov *Serratia* a *Pseudomonas* pri izolácii baktérií v jaskyniach môže byť považovaná za dôkaz vyššieho stupňa znečistenia, pravdepodobne vďaka hmyzu a trusu netopierov (Jurado et al., 2010). Niektoré jaskyne môžu slúžiť ako rezervoár potenciálne patogénnych baktérií. K takýmto baktériám, ktoré sú z jaskýň často izolované, patrí *Escherichia coli*, *Enterobacter* sp. a niektoré druhy rodu *Pseudomonas* (Ikner et al., 2007).

K proteobaktériám, ktoré môžeme nájsť v jaskyniach, patria aj gramnegatívne baktérie, majúce pre život jaskynných organizmov esenciálny význam: sú schopné asimilovať vzdušný dusík a vyrábať tak dusíkaté zlúčeniny, bez ktorých by život v jaskyniach nebol možný. K obligátnym fixátorom vzdušného dusíka, ktoré sa vyskytujú v jaskyniach, patria najmä rody *Azomonas* a *Azotobacter*. Fylogeneticky sú príbuzné so pseudomonádami (Jurado et al., 2010).

SÍRNE BAKTÉRIE

Súčasťou jaskynnej mikrobioty, najmä sulfátových jaskýň, sú tzv. sírne baktérie. V roku 1981 Egemeier vyslovil teóriu, že vyparovanie sírovodíka z podzemnej vody do atmosféry jaskýň a jeho následná samooxidácia na kyselinu sírovú zapríčiňuje výmenu vápenca (CaCO_3) za sadrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ktorý takto vzniká na vlhkých jaskynných stenách. Výskum sírnych baktérií sa rozšíril až v poslednom desaťročí. Dovtedy takmer všetky práce o jaskyniach vytvorených rozpúšťaním pomocou kyseliny sírovej tvrdili, že sírovodík je oxidovaný abiotickými procesmi. Dnešný výskum však dokazuje, že pri vytváraní sulfátových jaskýň zohrávajú dôležitú úlohu sírne baktérie, vytvárajúce kyselinu sírovú ako vedľajší produkt svojho metabolizmu. Príkladom takýchto jaskýň sú jaskyne Merville (Rumunsko), Frasassi Caves (Taliansko), Lower Kane Cave (Wyoming, USA) alebo Cesspool Cave (Virginia, USA), kde je kolobeh

živín založený na chemolitotrofných procesoch, vyžadujúcich síru či iné sírne zlúčeniny (Schwabe et al., 2006). Proces sulfurikácie (oxidácia sírnych zlúčenín) spôsobujú bezfarebné sírne baktérie (*Acidithiobacillus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*) a naopak, desulfurikáciu (redukcia sírnych zlúčenín) zabezpečujú sírany redukujúce baktérie – desulfobaktérie (napr. *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum*). Sírne baktérie sa v jaskyniach vyskytujú ako tzv. závesy na kyslých povrchoch jaskynných stien, v korózných zvyškoch alebo ako mikrobiálne povlaky a biofilmy aktívnych jaskynných tokov a jazierok (Porter et al., 2009).

ŽELEZITÉ A MANGÁNOVÉ BAKTÉRIE

Tieto chemolitotrofné baktérie získavajú energiu oxidáciou zlúčenín železa alebo mangánu. Rozpusťné formy dvojocného železa alebo mangánu oxidujú na nerozpustný oxid železitý alebo mangánatý. Obvyčajne sa nachádzajú vo vodách a nerozpustné formy Fe a Mn sa usadzujú ako červeno-okrové (železité baktérie) alebo hnedé až čierne (mangánové baktérie) škrvny na stenách jaskýň. Sú schopné rásť a rozmnožovať sa aj pri nízkych koncentráciách železa a mangánu vo vode. Ako primárny zdroj uhlíka využívajú jednoduché organické zlúčeniny, niektoré druhy sú fakultatívne schopné aj asimilácie CO₂. Z viacerých rodov železitých a mangánových baktérií, ktoré sú frekventovanými obyvateľmi jaskynných biotopov, možno uviesť pošvaté baktérie *Leptothrix* (druh *L. ochracea*), *Sphaerotilus* sp., *Clonothrix* sp., *Thiothrix* sp. alebo stopkaté baktérie *Galionella* (druh *G. ferruginea*), *Leptospirillum* sp., *Ochrobium* sp. Rastú na vlhkých a mokrych stenách karbonátového podložía. V niektorých jaskyniach môžu tieto baktérie vytvárať makroskopické biofilmy. Obsahujú často duté pošvy, inkrustované FeOOH, ktoré sú zrastené a interkalované s karbonátovým podložím. Pošvy sú vlastne protektívne štruktúry, v ktorých sú uložené vláknité pošvaté baktérie. Niektoré pošvy môžu mať tvar „kukuričných lupienkov“ väčších rozmerov, ktoré visia zo steny ako vláknité membrány, vytvárajúc tak famózne jaskynné výzdoby (Carmichael, 2012; Carmichael et al., 2013; Crosby et al., 2014).

Na druhej strane existujú baktérie, označované ako „disimilačné, železo a mangán redukujúce baktérie“. Patria k nim predovšetkým zástupcovia rodov *Geobacter*, *Rhodoferrax*, *Desulfolobus*, ale aj v prírode bežne rozšírené druhy rodov *Aeromonas*, *Clostridium*, *Shewanella*. Uvedené baktérie sú schopné získavať energiu redukciami Fe³⁺ a Mn⁴⁺ oxidov. Geobaktérie nájdené v sulfidických sedimentoch jaskyne Frasassi (Taliansko) boli schopné fixovať aj vzdušný dusík (Desai et al., 2013).

DUSÍKATÉ BAKTÉRIE

Mnohé baktérie prítomné v jaskynnem prostredí sú určitým spôsobom zapojené do všetkých fáz kolobehu dusíka. V jaskyniach prebieha amonifikácia, nitrifikácia, denitrifikácia aj fixácia vzdušného dusíka. Amonifikáciu a nitrifikáciu realizujú tzv. nitrifikačné baktérie, ktoré sú ďalšou významnou skupinou chemolitoautotrofných baktérií, získavajúcich energiu oxidáciou amónnych solí na dusitan (napr. rod *Nitrosomonas*) a dusitanov na

dusičnany (napr. rod *Nitrobacter*). Tento oxidačný proces je ich primárnym zdrojom získavania energie. Energetický výťažok nie je síce veľký, ale dostatočný na podporu ďalšieho fundamentálneho metabolického procesu, ktorým je fixácia CO₂ ako primárneho zdroja uhlíka. Nitrifikačné baktérie vylučujú sliz polysacharidového charakteru, ktorý im umožňuje adherovať na pevné povrchy, najmä vo vlhkom prostredí jaskýň. V takomto prostredí sa z nimi vylučovaných dusičnanov tvorí kyselina dusičná, ktorá rozpúšťa skalné útvary, na ktorých sú prichytené. Nitrifikačné baktérie sú hlavnou hrozbou pre kamene, sochy alebo kamenné stavby, ktoré časom postupne rozrušujú, najmä vo vlhkom prostredí (Northup a Lavoie, 2004).

V anoxickom prostredí jaskýň môže prebiehať denitrifikácia, čiže redukcia dusičnanov na molekulárny dusík. Tento krok zabezpečujú denitrifikačné baktérie. Ich najčastejším zástupcom nájdeným v jaskyniach je *Pseudomonas denitrificans* (Northup a Lavoie, 2004).

AKTINOMYCÉTY

Jednou z najviac zastúpených skupín baktérií v jaskyniach sú vláknité baktérie – aktinomycéty, v súčasnej taxonómii označované ako aktinobaktérie (fylogenetický kmeň Actinobacteria). V jaskynnem prostredí sú viditeľné ako biele (niekedy ružové alebo zlaté) bodky na vlhkých vápencoch. Aktinomycéty sú zodpovedné za typický zápach jaskýň a pôd. Majú vláknitú štruktúru a sú zapojené do biologického znehodnotenia jaskýň (Gunn, 2004). Aktinomycéty majú viacero zaujímavých vlastností. Preto sa v posledných rokoch aktinomycéty všeobecne, no najmä ich rody *Nocardia*, *Mycobacterium*, *Gordonia*, *Rhodococcus* a *Streptomyces* stali predmetom viacerých biospeleologických štúdií. Všetky tieto rody, ale aj mnohé ďalšie, bývajú izolované z jaskýň (Jurado et al., 2010). Viaceré z nich sa radia medzi patogénne baktérie, spôsobujúce rôzne ochorenia, napr. *Rhodococcus* alebo *Mycobacterium*. Z biotechnologického hľadiska sú významné hlavne rody *Nocardia*, *Gordonia* a *Streptomyces*. Nokardie sú tolerantné voči ťažkým kovom, a preto majú veľký význam pri bioremediáciách. Vďaka prirodzenej schopnosti biodegradácie a bioremediácie je z tohto hľadiska zaujímavý rod *Gordonia*, resp. druh *Gordonia nitida*, ktorý je schopný odsírovať (desulfurovať) palivá (Lee et al., 2005). V priemyselnej mikrobiológii sa používajú na produkovanie enzýmov slúžiacich na transformáciu xenobiotík. Ich úlohou je tiež dekompozícia organického materiálu v pôde. Aktinomycéty, a zvlášť streptomycéty, sú známe ako významní producenti biologicky aktívnych látok, najmä antibiotík (Watwe et al., 2001).

CYANOBAKTÉRIE A RIASY

Pre nedostatok svetla a primárnych producentov za podzemné ekosystémy všeobecne považujú za oligotrofné habitáty, ktoré sú len minimálne dotované odbúratelným organickým materiálom z povrchu (Falasco et al., 2014). Na jednej strane je jaskynné prostredie typické absenciou svetla, no na druhej strane je domovom pre mnohé fotosyntetizujúce, kyslík produkujúce baktérie (cyanobakté-

rie, staršie názvy: sinice, modro-zelené riasy) a riasy, medzi ktorými dominujú jednobunkové riasy označované aj ako mikroskopické riasy (mikroriasy, microalgae), ale prítomné sú aj viaceré mnohobunkové vláknité riasy.

Tieto dve taxonomicky rôzne jednotky majú aj napriek odlišnej bunkovej štruktúre (prokaryotická versus eukaryotická) spoločnú vlastnosť, a síce schopnosť fotosyntézy oxygénnou cestou (teda v prostredí kyslíka). K tomu sú vybavené pigmentmi – predovšetkým chlorofylmi, ktoré slúžia na absorpciu svetelného žiarenia ako primárneho zdroja energie. Preto ich v jaskyniach nachádzame vo vstupných zónach, kde je ešte relatívny dostatok svetla. Na základe bunkovej štruktúry však cyanobaktérie patria do domény Bacteria a riasy do domény Eukaryota. Cyanobaktérie sú jednobunkové mikroorganizmy, ktoré v prostredí tvoria väčšinou koloniálne alebo vláknité formy, prechádzajúce do makroskopicky viditeľných farebných útvarov (vďaka pigmentom) na skalách alebo stenách jaskýň. Mikroriasy sú takisto jednobunkové mikroorganizmy, vytvárajúce podobné formácie ako sinice. V prírode tvoria obidva mikrobiálne taxóny zložité, vzájomne kooperujúce cyanobakteriálne a algálne komunity, žijúce vo vodách, pôdach, ale aj na pevných substrátoch (horniny), ktoré svojou metabolickou činnosťou dezintegrujú.

Cyanobaktérie, ako aj jednobunkové a vláknité riasy sa v jaskyniach našli najmä vo vstupných zónach alebo v zónach súmraku, lebo sa môžu vyskytovať na miestach od vysokej až po nízku intenzitu svetla (Gunn, 2004). Okrem týchto lokalít môžu byť prítomné aj na umelo osvetlených miestach tmavých zón jaskýň, kde sú súčasťou tzv. lampenflóry. V speleologickej terminológii je tento termín zaužívaný na označenie vegetácie, ktorá sa vyskytuje v umelo osvetlených jaskyniach, najmä na miestach vystavených osvetleniu z lámp. Výskyt lampenflóry je sekundárnym javom, ktorý je podmienený najmä možnosťou prenosu spór a buniek do jaskyne (prievan, podzemné toky, živočích, návštevnosť) (Šramková a Kováčik, 2005). Rozšírenie lampenflóry je podmienené najmä prítomnosťou svetla a vlhkosťou substrátu. Jaskyne, ktoré sú pre verejnosť otvorené len niekoľko mesiacov v roku (a zvyšok roka sú uzatvorené, neosvetlené), majú nižšiu pestrosť a bohatosť taxónov lampenflóry v porovnaní s jaskyňami, ktoré sú otvorené a umelo osvetlené celý rok (Dayner a Johansen, 1991). Na vlhkosť substrátu, a tým aj na rozvoj lampenflóry má vplyv i vzdialenosť lúčov s umelým osvetlením a typ lúčov. Niektoré typy lúčov dokonca podporujú rast fototrofov. V bezprostrednej blízkosti dopadajúceho svetla naproti tomu dochádza k redukcii lampenflóry v dôsledku vysušovania okolia lúčov. Smith a Olson (2007) poukázali na fakt, že diverzita siníc a rias v jaskyniach vzrastá so zvyšovaním teploty.

Najviac zastúpenou skupinou lampenflóry sú sinice (asi 50 %), rozsievky (Chrysophyta) a zelené riasy (Chlorophyta). Medzi sinicami dominujú rody *Aphanocapsa*, *Aphanothece*, *Chroococcus*, *Gleocapsa*, *Leptolyngbya*, *Myxosarcina* a *Synechocystis*; zo zelených rias rody *Chlorella*, *Chlorococcum*, *Coccomyxa*

a *Stichococcus* a druhy *Apatococcus lobatus* a *Klebshormidium flaccidum*; z rozsievok sa často vyskytujú rody *Achnanthes*, *Aulacoseira*, *Cocconeis*, *Diadesmis*, *Fragilaria*, *Hantzschia*, *Navicula* a *Nitzschia* (Mulec, 2012).

Lamprinou et al. (2012) prezentovali zaujímavú štúdiu o priestorovej a časovej distribúcii cyanobakteriálnej bioty v troch morfológicky odlišných vápencových jaskyniach (Kastria, Selinitza, Franchi) polostrova Peloponéz v Grécku. V ekologicky odlišných nikách sledovali štruktúru cyanobakteriálnych komunit vo vzťahu k trom environmentálnym parametrom (teplota, relatívna vlhkosť, fotosynteticky aktívna radiácia). Vo všetkých jaskyniach tvorili sprievodnú mikrobiotu vstupných zón jaskýň zelené riasy, diatomy a machy. Cyanobaktérie sa nachádzali tak na stenách jaskýň, ako aj na speleotémach, tvoriac nerovnako rozvinuté biofilmy ako ochranu proti vysušeniu a radiácii. Mikroskopickou analýzou identifikovali celkovo 156 cyanobakteriálnych druhov taxonomicky patriacich prevažne do radov Chroococcales (69) a Oscillatoriales (59), menej do radu Nostocales (26) a 2 do radu Stigonematales. Len 19 druhov bolo spoločných, teda vyskytujúcich sa vo všetkých troch jaskyniach, z nich 12 druhov patrilo do radu Oscillatoriales. Rozdiely medzi jaskyňami boli aj v sezónnej druhovej rozmanitosti.

Cyanobaktérie a riasy môžeme označiť ako priekopníkov života v tom zmysle, že na rozdiel od rastlín rastú na skalách a zároveň počas rastového procesu modifikujú tieto skaly tým, že počas fotosyntézy produkujú slabé kyseliny rozkladajúce horniny. Na povrchu, kde sa cyanobaktérie a riasy vyskytujú prirodzene, je to bežný proces, pretože je to forma chemického zvetrávania (Smith a Olson, 2007). V sprístupnených jaskyniach však výskyt takejto vegetácie predstavuje nežiaduci jav, pretože pôsobia deštruktívne na substrát, najmä tvorbou organických kyselín (Hebelka, 1989). Dochádza k rozpadu hornín, a preto sa lampenflóra a ďalšie invazívne druhy odstraňujú. Využívajú sa rozličné metódy, ako mechanické čistenie kefami alebo elektrickými prístrojmi, chemické čistenie, zmena vlnovej dĺžky svetla alebo prúdenia fotónov či úplné vypnutie svetiel. Avšak tieto metódy na odstránenie kontaminujúcej sinicovej a algálnej cenózy majú na jaskynné prostredie skôr negatívne dôsledky. Príkladom jaskyne s rozšírenou lampenflórou je Mamutia jaskyňa v USA, kde sa sinice a riasy odstraňovali pomocou slabého chlórnanu sodného alebo pomocou bielidla. Ich použitie však môže mať na jaskyňu nežiaduce účinky (Engel, 2010). Smith a Olson (2007) poukázali na použitie svetiel s inou vlnovou dĺžkou, pri ktorej sinice a riasy nie sú schopné fotosyntézy, neprodukujú slabé kyseliny, a teda hynú bez fyzického poškodenia jaskyne. Tento spôsob odstraňovania problémovej bioty bol použitý v Mamutej jaskyni.

Aj v našich jaskyniach prebehlo monitorovanie siníc a rias. Časti Gombaseckej jaskyne a Domicie sú sprístupnené a umelo osvetlené, čím sa vytvára vhodné prostredie pre rast lampenflóry. Šrámeková a Kováčik (2005) izolovali kultúry rias a siníc z lampenflóry týchto jaskýň. Najčastejšie boli zastúpené taxóny zo skupiny Chlorophyta, napr. rod *Muriella*.

Sinice a riasy nie sú v jaskyniach viazané len na osvetlené miesta, ale vďaka tomu, že mnohé z nich sú schopné prejsť na heterotrofný spôsob života, nájdeme ich aj v tmavých priestoroch jaskýň, najmä v sedimentoch a exkrementoch bezstavovcov. Nováková a Lukešová realizovali v rokoch 2005 a 2009 rozsiahlejšiu systematickú štúdiu sinico-algálnej bioty v jaskyni Domicia. Analyzovali viaceré ekosystémy (jaskynné sedimenty, hieroglyfy, ovzdušie, tlejúce drevo, exkrementy netopierov – guáno, dažďoviek, rovnakonôžok) z osvetlených (turisticky sprístupnených), ako aj neosvetlených (turisticky neprístupných) častí jaskyne Domicia. V relatívne malom priestore determinovali 63 taxónov siníc (*Anabaena* sp., *Cylindrospermum* sp., *Nostoc* cf. *calicicola*, *Trichormus variabilis*) a rias (čelade *Bacillariophyceae*, *Xanthophyceae*, *Chlorophyceae*, *Chlamydomphyceae*). Najbohatšie sinicové a algálne komunity boli v ilovitých sedimentoch a exkrementoch s abundanciou 10^4 buniek na gram suchej hmoty, čo je hodnota porovnateľná s vonkajšou pôdou. Najubikvitnejšími taxónmi boli *Nostoc* cf. *calicicola*, *Heterococcus* sp. a *Chlorella minutissima*, izolované zo všetkých skúmaných substrátov v oboch častiach jaskyne (Nováková et al., 2005; Lukešová a Nováková, 2009).

HUBY

Termín zahrnuje značne diverzifikovanú systematickú skupinu eukaryotických organizmov, líšiacich sa od seba morfológicky, fyziologicky, geneticky, ekologicky či stratégiou svojho životného cyklu. Patria sem jednak jednobunkové a viacbunkové mikroskopické huby (mikromycéty), jednak tradičné, makroskopické huby (bazídiomycéty). Biodiverzita húb je taká obrovská, že ich počet sa v súčasnosti odhaduje asi na 5 miliónov druhov (Blackwell, 2011), pričom taxonomicky relevantných je približne 100 000 druhov. Huby môžu na určitom teritóriu vytvoriť cenózu (spoločenstvo) nazývané **mykobiota**. Takéto spoločenstvá sa vyskytujú aj v jaskyniach, vytvárajúc tak jaskynnú mykobiotu.

Prvým, kto vôbec skúmal huby v jaskyniach a svoje výsledky aj publikoval, bol nemecký prírodovedec Alexander von Humboldt vo svojej práci z roku 1794 o rastlinách podzemnej Európy (Dobat, 1967).

Taxonomická štruktúra mykobioty sa v jednotlivých jaskyniach môže diametrálne líšiť a jej determinovanie je náročné aj napriek aplikácii revolučných identifikačných postupov. Z tohto pohľadu je zaujímavá prehľadová štúdia, ktorú prezentovali Vanderwolf et al. (2013) a sumarizovali v nej taxonomické dáta o výskytke húb v rôznych jaskyniach a baniach našej planéty. Analyzovali 225 článkov uverejnených v časopisoch a knihách v 14 jazykoch (dokonca aj v češtine) za uplynulých 100 rokov, pričom najstarší článok pochádzal z roku 1913, najnovšie z roku 2012. Štúdia sa týkala len vápencových a sadrovcových jaskýň, nezahŕňala iné typy jaskýň. Zo štúdie rezultoval zoznam 1029 druhov húb patriacich do 518 rodov. Zaujímavé je, že

ako najfrekvencovanejšie rody vyskytujúce sa v jaskyniach sú uvádzané rody *Histoplasma* a *Geomyces*. Táto informácia nie je celkom relevantná, pretože uvedené dva taxóny sú ostro sledované v jaskynnóm prostredí z hľadiska ich patogénneho potenciálu, a tak sa v literatúre objavujú najčastejšie. V skutočnosti bude reálnejšia prioritná pozícia najubikvitnejších mikromycét, reprezentovaných rodmi *Aspergillus*, *Penicillium* a *Mucor*. Autori uvádzajú v štúdiu takéto poradie frekvencovanosti výskytu húb v jaskyniach: *Histoplasma*, *Geomyces*, *Aspergillus*, *Penicillium* (obr. 2), *Mucor*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Acremonium*, *Chrysosporium*, *Laboulbenia*, *Rhizopus*, *Mortierella*, *Chaetomium*, *Rhachomyces*, *Trichophyton*, *Humicola*, *Isaria*, *Absidia*, *Beauveria*, *Phoma*, *Verticillium*, *Aureobasidium*, *Gliocladium*, *Coprinus*, *Cunninghamella*, *Epicoccum*, *Geotrichum*, *Microsporium*, *Botrytis*, *Candida*, *Mycena*, *Scopulariopsis*, *Stachybotrys*. Štúdia poskytla aj keď čiastočný, ale relevantný prehľad o výskytke húb v jaskyniach sveta. V súlade s klasickou taxonómiou sú uvedené štyri fungálne makrotaxóny: Mycetozoa, Zygomycota, Ascomycota a Basidiomycota. Zo slizoviek (Mycetozoa) dominujú zástupcovia čelade *Dictyosteliaceae*, ktorí sa živia fagotrofiou organického detritu a mikroorganizmov. Treba však spresniť, že v súčasnej taxonómii patria slizovky už do inej ríše, a síce Amoebozoa. Z kmeňa Zygomycota boli najviac zastúpené čelade saprotrofov *Mucoraceae* a *Mortierellaceae*. Najpočetnejším fungálnym taxónom bol kmeň Ascomycota, s dominanciou čeladi *Trichocomaceae*, *Nectinaceae*, *Laboulbeniaceae*. Ich zástupcovia sú saprotrofi organického materiálu, najmä odumretých živočíchov, zriedkavejšie žijúcich ako mykoparaziti. V jaskyniach sa vyskytovali aj saprotrofné bazídiomycéty na drevách či exkrementoch z čeladi *Polyporaceae*, *Fomitopsidaceae*, *Psathyrellaceae*, *Mycenaceae*.



Obr. 2. Spleť rozvetvených tubulárnych vlákien (hýf) nazývaných mycélium ubikvitnej plesne (askomycéty) *Penicillium*. Na koncoch hýf možno vidieť konidiofory s konídiami (konidiospórmi), ktoré sú fruktifikačnými partikulami slúžiacimi na vegetatívne rozmnožovanie. Konídie sa voľne pohybujú v atmosfére jaskýň a kolonizujú jaskynný ekosystém

(zdroj: <http://www.microbewiki.kenyon.edu>)

Fig. 2. The network of tubular branching filaments (hyphae) called a mycelium of ubiquitous mold (ascomycete) *Penicillium*. At the ends of the hyphae can be seen conidiophores with conidia (conidiospores) that are fruiting particules serving for vegetative reproduction. Conidia circulate freely in the atmosphere of caves and colonize of cave ecosystem (source: <http://www.microbewiki.kenyon.edu>)

Z dôvodu nízkych teplôt a nedostatku organických substrátov v jaskyniach uprednostňujú toto prostredie najmä psychrotolerantné a oligotrofné mikromycéty, ktoré sú často závislé od prísunu organického materiálu z vonkajšieho prostredia. Exkluzívny však môže byť aj výskyt termofilných druhov, najmä aspergilov, napr. *A. fumigatus*. Významný zdroj nutrientov predstavuje jaskynná fauna, hlavne hmyz a netopiere. Prostredníctvom nich dochádza aj k šíreniu spór, a teda slúžia ako vektory pre ich prenos v rámci jaskynného prostredia, ale aj mimo neho. Mikromycéty v jaskynnom prostredí predstavujú z hľadiska prísunu živín buď parazity, ktoré získavajú organické molekuly z tkanív živých organizmov, alebo dekompozítory. Tieto dve úlohy sa nemusia navzájom vylučovať. Mikromycéty, ktorých úlohou je recyklácia živín dekompozíciou organického materiálu, získavajú živiny z trusu živočíchov a z ich mŕtvych tiel (Vanderwolf et al., 2013).

Jaskyne často poskytujú obydlia netopierom. Vo východnej časti Severnej Ameriky poskytujú jaskyne také podmienky prostredia, ktoré podporujú tzv. syndróm bieleho nosa. Je to náhle a smrteľné plesňové ochorenie napádajúce netopiere, ktoré sa prvý raz pozorovalo v roku 2006 v niektorých jaskyniach štátu New York (USA). Objavenie tohto ochorenia podnietilo zvýšený záujem o výskyt húb v jaskyniach a o jaskynnú mykológiu všeobecne. S intenzívnym výskumom tohto ochorenia bol opísaný druh *Pseudogymnoascus* (pôvodne *Geomyces*) *destructans* a bol označený za pôvodcu ochorenia (Gargas et al., 2009). *P. destructans* je psychrofilný druh plesne s optimálnym rastom v laboratórnych podmienkach pri teplote 4 – 14 °C (Chaturvedi et al., 2010). Ako vyplýva z názvu ochorenia, vizuálnym prejavom tejto plesne sú výrazné biele povlaky predovšetkým v blízkosti nosa, ale aj na bezsrstých častiach tela, ako sú ušnice, chvost, koncové časti predlaktia alebo lietacie blany. *P. destructans* má jedinečnú schopnosť využívať ako zdroj živín hibernujúce netopiere (Vanderwolf a kol., 2013). Ochorenie v Severnej Amerike sprevádza masový úhyn netopierov. Vzhľadom na prebiehajúci intenzívny výskum sa výskyt tejto plesne na netopieroch potvrdil aj v Európe. Avšak na rozdiel od USA sa tu v súvislosti s uvedenou plesňou neprekázala mortalita v takých početných prípadoch (Puechmaillie et al., 2010).

P. destructans bol izolovaný aj na Slovensku z hibernujúcich netopierov *Myotis myotis*, a to z dvoch miest v Malých Karpatoch: z opustenej bane Pod medveďou skalou pri Modre-Harmónii a zo Zbojníckej jaskyne pri Borinke. Z uvedených lokalít sa izolovali aj mikromycéty *Isaria farinosa*, *Cladosporium macrocarpum* a *Alternaria tenuissima*. Kým *I. farinosa* je pomerne častým izolátom z jaskýň na Slovensku, ďalšie dva taxóny (*C. macrocarpum*, *A. tenuissima*) sa v slovenských jaskyniach doteraz nenašli (Šimonovičová et al., 2011).

P. destructans predstavuje príklad parazitických húb. Iné získavajú živiny rozkladom organického materiálu, pretože produkujú širokú škálu extracelulárnych enzýmov, ako sú lipázy, proteínázy a chitinázy, ktoré degradujú organické zvyšky (Gunn, 2004). Niektoré, ako napríklad druh *Histoplasma capsulatum*, sú na jednej strane dekompozítormi, zároveň však

predstavujú pôvodcov rôznych ochorení. Táto huba sa môže nachádzať v pôde obsahujúcej trus vtákov alebo netopierov, ktoré predstavujú zdroj živín, a spôsobuje rozklad organického materiálu, no tiež môže infikovať netopiere a spôsobovať histoplazmózu (Igreja, 2011). *H. capsulatum* je pravdepodobne najlepšie preskúmaná huba, ktorá sa v jaskyniach nachádza, a to preto, lebo inhalácia spór človekom vedie k infekcii, často aj s fatálnymi následkami (Vanderwolf et al., 2013). Výskyt *H. capsulatum* v jaskyniach Slovenska uvádza aj Nováková (2006). Na netopierich exkrementoch pozorovala makrokonídie a v mikroskopických preparátoch drsné mycélium zodpovedajúce tejto patogénnej mikromycéte. Analýza DNA však prezumpatívnu identitu *H. capsulatum* nepotvrdila, naopak výsledkom bolo opísanie nového druhu *Chrysosporium speluncarum* (Nováková a Kolařík, 2010). Hrozba histoplazmózových infekcií z našich jaskýň je na rozdiel od jaskýň v tropických a subtropických oblastiach málo pravdepodobná, pretože vzhľadom na nízke teploty (5 – 10 °C) neprichádza k masívnym nárastom *H. capsulatum*. Doteraz najrozsiahlejšiu štúdiu mikromycetálnej bioty a mykobioty v jaskyniach Slovenska, a predovšetkým v jaskyniach Slovenského krasu, uskutočnila Nováková (2004, 2006, 2009).

PROTOZOÁ

Protozoá alebo prvoky, patriace do taxónu vyššieho rangu – Protista, sú jednobunkové eukaryotické mikroorganizmy, nefotosyntetizujúce, heterotrofné, pohyblivé. Veľkosť väčšiny z nich sa pohybuje v dimenziách 0,01 – 0,05 mm, niektoré však dosahujú až 0,5 mm. Nemajú bunkovú stenu, zato majú zložitú vnútrobunkovú štruktúru, ktorá je vrcholom jednobunkovej komplexnosti. Protozoá mávajú často zložitý životný cyklus, vyjadrený morfológicky dvomi formami: dormantnou (cysta), ktorá je vysoko rezistentná voči faktorom životného prostredia, a aktívnu, reprodukčnou formou (trofozoit). Táto je u patogénnych protozoí zároveň infekčnou formou. Patogénne protozoá sú pôvodcami závažných infekcií. Avšak vzhľadom na fyziologické podmienky, ktoré tieto protozoá potrebujú k infektivite, je veľmi nízka pravdepodobnosť nákazy jaskynnými prvokmi (Corliss, 2000).

Taxonomicky ide o diverzifikovanú skupinu mikroorganizmov, obsahujúcu niekoľko tisíc druhov a historicky klasifikovaných v súlade

so schopnosťou ich pohybu a špecifickými lokomočnými štruktúrami, generujúcimi ich pohyb: pseudopódiami, flagelami a cíliami (obr. 3). Hlavnými taxonomickými skupinami združenými pod taxón Protozoá sú: Flagellates (Mastigophora), Amoebas (Amoeboids), Ciliates (Ciliophora), Sporozoa (Sporozoans). Ide o zjednodušenú, praktickú klasifikáciu. V skutočnosti je systematika protozoí oveľa zložitejšia a v súčasnosti existuje viacero klasifikačných schém protozoí (Corliss, 2000).

Protozoá sú integrálnou súčasťou všetkých ekosystémov. Ich štruktúra a dynamika je dôležitým indikátorom biotických a abiotických zmien v prostredí. Sú to kozmopolitné mikroorganizmy, osídľujúce rozmanité typy habitatov, vrátane jaskynných. V jaskyniach môžu byť súčasťou gastrointestinálneho traktu rôznych bezstavovcov, ale aj netopierov. Z ich exkrementov sa dostávajú do guána, a tak sú súčasťou mikrobiálnych komunít jeho ekosystému. Možno ich však nájsť aj ako voľne žijúce v sedimentoch, akvatických biotopoch alebo na vlhkých stenách jaskýň. Vodné prostredie je vhodné médium pre ich aktívny pohyb. Ako významná zložka trofického reťazca sa živia hlavne baktériami, ale aj inými protozoami alebo riasami, niektoré druhy sú detritovorné. V prírode regulujú rast bakteriálnych populácií a biomasy (Corliss, 2000).

O biodiverzite protozoí v jaskynných biotopoch vieme zo všetkých mikrobiálnych systematických jednotiek najmenej. Niekoľko prác je z proveniencie balkánskych autorov. Beron et al. (2011) revidovali všetky biospeleologické štúdie od roku 1924, ktoré sa týkali výskumu fauny bezstavovcov v jaskyniach Západných Rodop na území Bulharska a Grécka. Faunistický výskum zahŕňoval celkovo 120 jaskýň. Medzi inými identifikovali aj 3 druhy protozoí z taxónu Sporozoa: *Gregarina trogliphili* (jaskyne Imamova dupka a Karnata peščera), *Stenophora bulgarosomae* (jaskyňa Imamova dupka), žijúca ako endoparazit mnohonôžky *Troglocidus meridionale*, a *Stenophora gervaisiae*, žijúca ako endoparazit eutroglofilnej mnohonôžky *Trachysphaera costata* (jaskyňa Erkyupriya, oblasť Chudnite Mostove).

Mulec a Walochnik (2007) izolovali z kalcitových raftov jazierok jaskyne Udin Boršt v Slovinsku potenciálne patogénne améby *Acanthamoeba castellanii* a *Hartmannella vermiformis*. Obe améby môžu slúžiť ako vektory pre intracelulárne patogénne baktérie. Ešte zaujímavejší bol nález vahlkampfidíí



Obr. 3. Morfotypy dominantných reprezentantov prvokov: a) zástupca ciliát s typickými cíliami (brvami), rozloženými po celom povrchu bunky a slúžiacimi na aktívny pohyb organizmu, ako aj prísun potravy; b) zástupca améb s typickými pseudopódiami (panožkami), umožňujúcimi améboidný pohyb; c) zástupca flagelát s bičíkom (flagellum), umožňujúcim intenzívny pohyb (zdroj: <http://www.microbewiki.kenyon.edu>) Fig. 3. Morphotypes of representative dominant protozoa: a) a representative of ciliates with typical cilia distributed over the surface of the cell and serving on active movement of the organism, as well as food intake; b) a representative of amoebae with typical pseudopods allowing amoeboid movement; c) a representative of the flagellates with flagellum allowing intensive movement (source: <http://www.microbewiki.kenyon.edu>)

zo zvetraných vápencov uvedenej jaskyne. Akantaméby sú pôvodcami ťažkých keratitíd (zápalové ochorenie očnej rohovky). Im blízke hartmaney a vahlkampfidie by mohli byť takisto pôvodcami keratitíd, keďže preukazujú rovnakú cytopatogenitu ku keratocytom ako akantaméby.

Systematickejšie sa štúdiu protozoálnej bioty venuje Kajtezovič (2012). V chorvátskej jaskyni Veternica v národnom parku Medvednica skúmal biodiverzitu protozoí. Podľa predbežných výsledkov identifikoval v tejto jaskyni v rôznych habitatoch viac ako 50 protozoálnych druhov, patriacich do taxonomických jednotiek Flagellates, Amoebas, Ciliates a Heliozoa.

Druhovú zloženie schránkových améb (Testacea) v jaskyniach Ruska (stredná Volga, severný Ural) a severovýchodného Talianska skúmali Mazei et al. (2012). Z rôznych jaskynných habitatov identifikovali celkovo 27 druhov améb. Najviac zastúpené boli rody *Centropyxis* a *Euglyphy*.

Priestorovú a časovú distribúciu protozoí v mexickej jaskyni Cueva de los Riscos skúmali Sigala-Regalado et al. (2011). Vzorky z rôznych habitatov (pôda, voda, netopierie guáno, mach) 4 vzdialených odberových miest sa získavali postupne v priebehu 6 mesiacov počas roka. Bolo identifikovaných 13 druhov prvokov patriacich do nasledujúcich taxónov: Ciliates (8 druhov), Flagellates (3 druhy), Amoebas (1 druh), Heliozoa (1 druh). Päť z týchto druhov sa v jaskyni zistilo prvý raz (*Entosiphon* sp., *Distigma* sp., *Aspidisca* sp., *Litonotus* sp., *Tetrahymena pyriformis*). Rod *Colpoda* sa našiel na všetkých odberových miestach a spolu s rodom *Vorticella* vo všetkých habitatoch.

Vofne žijúce améby, konkrétne *Acanthamoeba polyphaga*, sa identifikovali vo vodách jaskyne Lascaux (Bastian et al., 2009).

O výskyte améb v našich jaskyniach neexistujú žiadne štúdie. Ich výskumu by sa mohla venovať väčšia pozornosť, nepochybne budú častou súčasťou mikrobioty jaskýň.

JASKYNNÉ MIKROORGANIZMY V BIOTECHNOLÓGIÁCH

Jaskyne sa ako samostatné ekosystémy považujú za extrémne prostredie pre život. Ale aj napriek extrémnym podmienkam sú jaskyne kolonizované rôznymi mikroorganizmami, ktoré sú schopné v jaskynnom prostredí rásť a reprodukovať sa. V priebehu evolučného procesu si vytvorili mechanizmy, ktoré im umožňujú v takomto prostredí existovať. Jaskynné mikroorganizmy majú schopnosť produkovať unikátne látky, vďaka ktorým sa nehostinnému jaskynnému prostrediu dokážu prispôbiť. V súčasnosti sa ustavične zvyšuje záujem o takto adaptované mikroorganizmy a ich produkty, ktoré disponujú veľkým biotechnologickým potenciálom, ponúkajúcim množstvo ekonomických a ekologických výhod. Uplatňujú sa vo farmaceutickom, potravinárskom či chemickom priemysle (Tomova et al., 2013).

Jedným z esenciálnych mechanizmov pre adaptáciu na život v jaskyniach je aktivita ich enzýmov pri nízkych teplotách. Mikroorganizmy izolované v jaskyniach produkujú špecifické hydrolytické enzýmy, ako sú proteázy, lipázy, nukleázy, amylázy, ale aj iné en-

zýmy s biotechnologickým uplatnením, ako sú fytázy, xantán-lyázy, polygalaktouronázy a β -glukozidázy, ktoré sú vysoko aktívne aj pri nízkych teplotách (Cavicchioli et al., 2011).

Jaskynné mikroorganizmy produkujú aj široké spektrum rozličných metabolitov, ktoré sa významne uplatňujú pri bioremediáciách. Medzi inými produkujú látky schopné degradovať komplex aromatických zlúčenín, ako sú benzotiazol a kyselina benzénsulfónová, ktoré sa používajú pri výrobe plastov a sú nebezpečné environmentálne kontaminanty. Táto schopnosť mikroorganizmov by mohla umožniť rýchle degradovať polutanty z kontaminovaného prostredia a umožniť obnovu prirodzených habitatov v procese bioremediácie. Kovy ako olovo, zinok alebo nikel, ktoré sú škodlivé aj v ich nízkych koncentráciách, do značnej miery prispievajú k znečisteniu prostredia. Efektívnym riešením tohto environmentálneho problému sú mikroorganizmy, resp. ich schopnosť metabolizovať kontaminanty v podobe ťažkých kovov. Psychrofilné mikroorganizmy sa ukázali byť vhodné na bioremediácie znečistených pôd a odpadových vôd počas zimy v krajinách mierneho pásma, keď degradačná kapacita endogénnej mikrobioty je inhibovaná nízkymi teplotami (Cavicchioli et al., 2011). Mikroorganizmy izolované v jaskyniach mali vlastnosti, ktoré umožnili efektívnejšiu výrobu etanolu pre pohonné látky, poskytlí enzýmy na ekologické spracovanie papiera a dokonca enzýmy pri výrobe tzv. „stonewash“ džínsov (Barton, 2006).

Jaskynné mikroorganizmy majú veľký potenciál produkovať nové biologicky aktívne látky, medzi ktoré patria aj tie, ktoré sú schopné usmrťovať iné mikroorganizmy. Týmto potenciálom oplývajú najmä aktinomycéty, ktoré predstavujú dôležitý zdroj prirodzených (nesyntetických) antibiotík, ale aj rôznych látok s antivírusovou, antitumorálnou, imunologickou a herbicídnu aktivitou. Všetky tieto látky majú vysokú komerčnú hodnotu (Lemriss et al., 2003). Príkladom schopnosti produkovania biologicky aktívnych látok je aktinomycéta *Streptomyces tendae*, izolovaná z jaskyne Grotta dei Cervi v Taliansku. Tento mikroorganizmus produkuje cervimycín A-D, ktorý je veľmi účinný pri liečbe stafylokokových a enterokokových infekcií, pri liečbe ktorých už nezaberajú nijaké antibiotiká (Herold et al., 2005).

Medzi vysoko atraktívne a vyhľadávané produkty mikrobiálneho metabolizmu patria i povrchovo aktívne látky (tenzidy). Nízkomolekulárne znižujú povrchové napätie na rozhraní fázy vzduch-voda a medzipovrchové napätie na rozhraní fázy olej-voda a nazývajú sa biosurfaktanty. Vysokomolekulárne zasa stabilizujú emulziu oleja vo vode a nazývajú sa bioemulzifikátory. Existujú biosurfaktanty na báze lipoproteínov, ktoré sú dôležité pre ľudský organizmus, kde zabezpečujú normálnu funkciu pľúcneho tkaniva. Pokrývajú povrch terminálnych bronchiol a alveol pľúc cicavcov. Znižujú povrchové napätie na rozhraní tekutina-vzduch v týchto pľúcnych štruktúrach, čím zaisťujú normálnu funkciu pľúcneho tkaniva, jeho základné biofyzikálne a imunologické funkcie. Zabezpečujú vlastne, aby na konci výdychu nenastalo zlepenie

alveol. Človek má v pľúcach asi 1 g biosurfaktantov. Ich neprítomnosť či nedostatočná sekrecia, napríklad u predčasne narodených detí alebo u dospelých s ťažkou chorobou pľúc, vedie k poruchám dýchania až ku kolapsu pľúc. Pri ich nedostatku sa aplikujú priamo do pľúc prirodzené alebo umelé surfaktanty. Prirodzené surfaktanty sa získavajú z pľúc zvierat, najmä hovädzieho dobytká a ošípaných, čo je technicky zložitý proces. Prirodzený surfaktant sa však dá výhodne a efektívne získať aj z viacerých druhov baktérií, medzi ktorými sú aj izoláty z jaskýň (Banat et al., 2010).

Biosurfaktanty majú netušené medicínske aplikácie s variabilnými mechanizmami ich účinku. Môžu znižovať adhezívne schopnosti mikroorganizmov alebo narušovať bunkové membrány, čo v konečnom dôsledku vedie k ich bunkovej lýze. Veľká nádej sa vkladá do biosurfaktantov ako do nových, efektívnych a bezpečných antimikrobiálnych látok, ktoré by nahradili dnes existujúce, voči ktorým si mikroorganizmy vytvorili rezistenciu. Ide predovšetkým o určité lipopeptidy (surfaktín, fengycín, iturín, bacilomycín, mykosubtilín), účinné voči črevným infekantom a produkované najmä druhmi rodu *Bacillus*. Iné antimikrobiálne aktívne lipopeptidy produkujú streptomycéty a pseudomonády, z ktorých sa mnohé vyskytujú v jaskynných biotopoch. Surfaktín a jeho analógy majú aj antivirálnu aktivitu proti retrovírusom a herpesvírusom. Ramnolipidy, produkované mnohými pseudomonádami, účinne suprimujú herpes simplex vírus typu 1 (opar na perách) a 2 (genitálny herpes). Antifungálna aktivita biosurfaktantov sa využíva pri liečbe humánnych mykóz (Banat et al., 2000, 2010). Biosurfaktanty majú okrem antimikrobiálnych aj protirakovinové a protizápalové účinky (Seydlová a Svobodová, 2008). Niektoré surfaktíny majú zasa silné imunosupresívne schopnosti, čo je možné využiť pri transplantáciách a autoimunitných ochoreniach (Park a Kim, 2009).

Nemenej významné sú aj priemyselne aplikácie biosurfaktantov získaných z mikroorganizmov. Jednou z nich je oblasť ťažby a spracovania ropy, kde pri nízkej priepustnosti hornín tvoriacich ložiská alebo vysokej viskozite ropy pomáhajú znižovaním povrchového napätia na fázovom rozhraní zvýšiť jej výťažnosť z ložísk (Dastgheib et al., 2008). Schopnosťou zvyšovať rozpustnosť uhľovodíkov zvyšujú ich biologický rozklad a odstránenie z pôdy, pomáhajú eliminovať uhľovodíky a ťažké kovy z kontaminovaných pôd a celkovo tak prispievajú k posilneniu bioremedičných procesov v pôde (Mulligan, 2009; Franzetti et al., 2010). Biosurfaktanty nachádzajú čoraz väčšie uplatnenie aj v potravinárskom a kozmetickom priemysle (Joshi et al., 2008; Kumar et al., 2008; Mnif et al., 2009).

Súčasnosť a blízka budúcnosť si vyžadujú hľadanie stále nových, efektívnych a lacnejších biosurfaktantov, ktorých nevyčerpatelným zdrojom sú mikroorganizmy. Vyhľadávanými sa v súčasnosti stávajú najmä biosurfaktanty produkované extrémofilnými mikroorganizmami, kam okrem termofilov, acidofilov, alkalofilov, halofilov patria aj psychrofilny izolované z jaskynných environmentov.

ZÁVER

Z biologického hľadiska reprezentujú jaskyne veľmi špecifické formy biotopov: kontinentálne, podpovrchové, diskontinuálne habitaty, charakterizované absenciou svetla, relatívne konštantnou teplotou vzduchu a vody, humiditou blízkou saturácii, deficitom nutrientov, energetickými limitmi, zníženou tenziou kyslíka, v niektorých jaskyniach zvýšeným obsahom oxidu uhličitého, geochemicky variabilným prostredím. Eliminácia klimatických výkyvov v jaskynnom prostredí spôsobila, že podzemné habitaty zostali bez zmeny ak nie tisíce, tak minimálne stovky rokov. Je priam fascinujúce, že aj v temnom

a chladnom tichu jaskýň, v takýchto pre organizmy stresových a extrémnych biotopoch prekvitá život.

Napriek množstvu poznatkov o jaskynných mikroorganizmoch však o ich živote v jaskynných priestoroch vieme stále málo. Súčasný mikrobiopspeleologický štúdiu vo svete sú zamerané na poznávanie biodiverzity a variability jaskynnej mikrobioty, na poznávanie jej metabolických a evolučných mechanizmov, ktoré umožňujú prežívanie podpovrchových alebo na jaskyne adaptovaných foriem života s vysokým stupňom endemizmu, na hľadanie možností ich biotechnologického využitia, pochopenie dôležitosti jaskynných ekosystémov, ich zachovanie a ochranu pred

deštrukciou a kontamináciou ľuďmi. Štruktúra a dynamika mikrobiálnych spoločenstiev v rôznych jaskyniach bude značne diverzifikovaná a rozmanitá, pretože sú diverzifikované a rozmanité abiotické podmienky a pomery v jednotlivých jaskyniach. To znásobuje atraktivitu a fascináciu jaskynného výskumu nielen vo svete, ale aj u nás. Veľké množstvo jaskýň na území Slovenska dáva skvelé možnosti na štúdium a poznávanie mikrobioty aj našich jaskýň.

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

LITERATÚRA

- ALEY, T. – ALEY, C. 1997. Groundwater recharge area delineation, hydrobiological assessment, and vulnerability mapping of four Ozark cavefish (*Amblyopsis rosae*) populations in Missouri. A Report to the Missouri Department of Conservation, 115 p.
- BANAT, I. M. – MAKKAR, R. S. – CAMEOTRA, S. S. 2000. Potential commercial applications of microbial surfactants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53, 495–508.
- BANAT, I. M. – FRANZETTI, A. – GANDOLFI, I. – BESTETTI, G. – MARTINOTTI, M. G. – FRACCHIA, L. – SMYTH, T. J. – MARCHANT, R. 2010. Microbial biosurfactants production, applications and future potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 87, 427–444.
- BARTON, H. A. 2006. Introduction to cave microbiology: a review for the non-specialist. *Journal of Cave and Karst Studies*, 68, 43–54.
- BARTON, H. A. – JURADO, V. 2007. What's up down there: Microbial diversity in starved cave environments. *Microbe*, 2, 132–138.
- BARTON, H. A. – GIARRIZZO, J. G. – SUAREZ, P. – ROBERTSON, C. H. E. – BROERING, M. J. – BANKS, E. D. – VAISHAMPAYAN, P. A. – VENKATESWARAN, K. 2014. Microbial diversity in a Venezuelan orthoquartzite cave is dominated by the Chloroflexi (Class Ktedonobacterales) and Thaumarchaeota Group I.1c. *Frontiers in Microbiology*, 5, 1–14.
- BASTIAN, F. – ALBOUVETTE, C. – SAIZ-JIMENEZ, C. 2009. Bacteria and free-living amoeba in the Lascaux cave. *Research in Microbiology*, 160, 38–40.
- BERON, P. – PETROV, B. – STOEV, P. 2011. The invertebrate cave fauna of the Western Rhodopes (Bulgaria and Greece). In Beron, P. (Ed.): *Biodiversity of Bulgaria*. 4. Biodiversity of Western Rhodopes (Bulgaria and Greece) II. Pensoft and Nature. Museum of Nature and History, Sofia, 583–662.
- BLACKWELL, M. 2011. The Fungi: 1,2,3...5.1 million species? *American Journal of Botany*, 98, 426–438.
- CARMICHAEL, M. J. 2012. Geomicrobiology of ferromanganese deposits in caves of the Upper Tennessee river basin. A Thesis for the Degree of Master of Science, Appalachian State University, Boone, North Carolina, 144 p.
- CARMICHAEL, M. J. – CARMICHAEL, S. K. – SANTELI, C. M. – STROM, A. – BRAUER, S. L. 2013. Mn(II)-oxidizing Bacteria are Abundant and Environmentally Relevant Members of Ferromanganese Deposits in Caves of the Upper Tennessee River Basin. *Geomicrobiology Journal*, 30, 779–800.
- CAVICCHIOLI, R. – CHARLTON, T. – ERTAN, H. – MOHD OMAR, S. – SIDDIQUI, K. S. – WILLIAMS, T. J. 2011. Biotechnological uses of enzymes from psychrophiles. *Microbial Biotechnology*, 4, 449–460.
- CORLISS, J. O. 2000. Biodiversity, classification, and numbers of species of protists. In Raven, P. – Williams, T. (Eds.): *Nature and Human Society: the Quest for a Sustainable World*. Washington D. C., National Academy Press, 130–155.
- CROSBY, C. H. – BAILEY, J. V. – SHARMA, M. 2014. Fossil evidence of iron-oxidizing chemolithotrophy linked to phosphogenesis in the wake of the Great Oxidation Event. *Geology*, 42, 11, 1015–1018.
- DASTGHEIB, M. M. – AMOOZEGAR, M. A. – ELAHI, E. – ASAD, A. – BANAT, I. M. 2008. Bioemulsifier production by a halothermophilic *Bacillus* strain with potential applications in microbially enhanced oil recovery. *Biotechnology Letters*, 30, 263–270.
- DAVIS, M. J. – VANDERBERG, A. D. – CHATWIN, T. A. – MATHER, M. H. 2000. Bat usage of the Weymer Creek cave systems on Northern Vancouver Island. In Darling, L. M. (Ed.): *Proceedings of a Conference on the Biology and Management of Species and Habitats at Risk*. Kamloops, B. C., 305–312.
- DAYNER, D. M. – JOHANSEN, J. R. 1991. Observations on the algal flora of Seneca Cavern, Seneca County, Ohio. *Ohio Journal of Science*, 91, 118–121.
- DESAI, M. – ASSIG, K. – DATTA GUPTA, S. 2013. Nitrogen fixation in distinct microbial niches within a chemoautotrophy-driven cave ecosystem. *ISME Journal*, 7, 2411–2423.
- DOBAT, K. 1967. Ein bisher unveröffentlichtes botanisches manuskript Alexander von Humboldts: *Plantae subterranea Europ. 1794 cum Iconibus*. Akademie Der Wissenschaften und der Literatur, 6, 16–19.
- DUPONT, J. – JACQUET, C. – DENNETIÈRE, B. – LACOSTE, S. – BOUSTA, F. – ORIAL, G. – CRUAUD, C. – COULOUX, A. – ROQUEBERT, M. F. 2007. Invasion of the French Palaeolithic painted cave of Lascaux by members of the *Fusarium solani* species complex. *Mycologia*, 99, 526–533.
- ENGEL, A. S. 2010. Microbial diversity of cave ecosystems. In Barton L. L. – Mandl, M. – Loy, A. (Eds.): *Geomicrobiology: Molecular and Environmental Perspective*. Springer, Dordrecht – Heidelberg – London – New York, 219–238.
- ENGEL, A. S. 2012. Microbes. In White, W. B. – Culver, D. C. (Eds.): *Encyclopedia of Caves*. Academic Press, 490–499.
- FALASCO, E. – ECTOR, L. – ISAIA, M. – WETZEL, C. E. L. – HOFFMANN, L. – BONA, F. 2014. Diatom flora in subterranean ecosystems: a review. *International Journal of Speleology*, 43, 231–251.
- FRANZETTI, A. – TAMBURINI, E. – BANAT, I. M. 2010. Application of biological surface active compounds in remediation technologies. In Sen, R. (Ed.): *Biosurfactants, Advances in experimental medicine and biology*, 672. Springer, Berlin, 121–134.
- GARGAS, A. – TREST, M. T. – CHRISTENSE, M. – VOLK, T. J. – BLEHER, D. S. 2009. *Geomyces destructans* sp. nov. associated with bat white-nose syndrome. *Mycotaxon*, 108, 147–154.
- GONZALES, J. M. – PORTILLO, M. C. – SAIZ-JIMENEZ, C. 2006. Metabolically active Crenarchaeota in Altamira cave. *Naturwissenschaften*, 93, 425.
- HEBELKA, J. 1989. Výskyt flóry kolem svítidel v turisticky přístupných jeskyních a možnosti jejich likvidace. *Interní studie ČÚOP – SČMJ*, Blansko, 1–26.
- HEROLD, K. – GOLLMECK, F. A. – GROTH, I. – ROTH, M. – MENZEL, K. D. – MÖLLMANN, U. – GRÄFE, U. – HERTWECK, C. 2005. Cervimycin A-D: A polyketide glycoside complex from a cave bacterium can defeat vancomycin resistance. *Chemistry*, 11, 5523–5530.
- CHATUVERDI, V. – SPRINGER, D. J. – BEHR, M. J. – RAMANI, R. – LI, X. – PECK, M. K. – REN, P. – BOPP, D. J. – WOOD, B. – SAMSONOFF, W. A. – BUTCHKOSKI, C. M. – HICKS, A. C. – STONE, W. B. – RUDD, R. J. – CHATURVEDI, S. 2010. Morphological and molecular characterizations of psychrophilic fungus *Geomyces destructans* from New York bats with white nose syndrome (WNS). *PLoS One*, e10783.
- CHROŇÁKOVÁ, A. – HORÁK, A. – ELHOTTOVÁ, D. – KRÍŠTEK, V. 2009. Diverse Archaeal Community of a Bat Guano Pile in Domicca Cave (Slovak Karst, Slovakia). *Folia Microbiologica*, 54, 436–446.
- IGREJA, R. P. 2011. Infectious Diseases Associated with Caves. *Wilderness & Environmental Medicine*, 22, 115–121.
- IKNER, L. A. – TOOMEY, R. S. – NOLAN, G. – NEILSON, J. W. – PRYOR, B. M. – MAIER, R. M. 2007. Culturable microbial diversity and the impact of tourism in Kartchner Caverns, Arizona. *Microbial Ecology*, 53, 30–42.
- JOHNSTON, M. D. 2013. The dominance of the archaeal in the terrestrial subsurface. A Thesis for the Degree of Master of Science, University of Akron, Ohio, USA, 48 p.
- JONES, B. 2010. Microbes in caves: agents of calcite corrosion and precipitation. In Pedley, H. M. – Rogerson, M. (Eds.): *Tufas and Speleothems: Unravelling the microbial and physical controls*. Geological Society, London, Special Publications, 336, 7–30.
- JOSHI, S. – BHARUCHA, C. – JHA, S. – YADAV, S. – NERUKAR, A. – DESAI, A. J. 2008. Biosurfactant production using molasses and whey under thermophilic conditions. *Bioresource Technology*, 99, 195–199.

- JURADO, V. – LAIZ, L. – RODRIGUEZ-NAVA, V. – BOIRON, P. – HERMOSIN, B. – SANCHEZ-MORAL, S. – SAIZ-JIMENEZ, C. 2010. Pathogenic microorganisms in caves. *International Journal of Speleology*, 39, 15–21.
- KAJTEŽOVIČ, N. 2012. Bioraznolikost praživotinja (Protozoa) u špilji Veternica. Rektorova nagrada, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1–46.
- KOVÁČ, L. – MOCK, A. – ĽUPIČÁK, P. – HUDEC, I. – NOVÁKOVÁ, A. – KOŠEL, V. – FENĎA, P. – VIŠŇOVSKÁ, Z. 2005. Živé organizmy. In Stankovič, J. – Čílek, V. (Eds.): *Krásnohorská jaskyňa – Buzgó. Regionálna rozvojová agentúra, Rožňava*, 72–95.
- KUMAR, M. – LEON, V. – MATERANO, A. D. S. – ILZINS, O. A. – LUIS, L. 2008. Biosurfactant production and hydrocarbon-degradation by halotolerant and thermotolerant *Pseudomonas* sp. *World Journal Microbiology and Biotechnology*, 24, 1047–1057.
- KUZMIN, I. V. – NIEZGODA, M. – FRANKA, R. – AGWANDA, B. – MARKOTTER, W. – BEAGLEY, J. C. 2008. Lagos bat virus in Kenya. *Journal of Clinical Microbiology*, 46, 1451–61.
- LAIZ, L. – GROTH, I. – SCHUMANN, P. – ZEZA, F. – FELSKE, A. – HERMOSIN, B. – SAIZ-JIMENEZ, C. 2000. Microbiology of the stalactites from Grotta dei Cervi, Porto Badisco, Italy. *International Microbiology*, 3, 25–30.
- LAMPRONOU, V. – PANTAZIDOU, A. – PAPADOGIANNAKI, G. – RADEA, C. – ECONOMOU-AMILLI, A. 2009. Cyanobacteria and associated invertebrates in Leontari Cave, Attica (Greece). *Fottea*, 9, 155–164.
- LAMPRINO, V. – DANIELIDIS, D. B. – ECONOMOU-AMILLI, A. – PANTAZIDOU, A. 2012. Distribution survey of Cyanobacteria in three Greek caves of Peloponnese. *International Journal of Speleology*, 41, 267–272.
- LEE, N. M. – KIM, M. K. – KWON, M. J. – PARK, B. D. – KIM, M. H. – GOODFELLOW, M. – LEE, S. T. 2005. Effect of the synthesized mycolic acid on the biodegradation of diesel oil by *Gordonia nitida* strain LE31. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 100, 429–436.
- LEE, N. M. – MEISINGER, D. B. – AUBRECHT, R. – KOVÁČIK, L. – SAIZ-JIMENEZ, C. – BASKAR, S. – LIEBL, W. – PORTER, M. L. – ENGEL, A. S. 2012. Caves and Karst Environments. In Bell, E. (Ed.): *Life at Extremes: Environments, Organisms and Strategies for Survival*. CABI Publishing, Wallingford, 320–343.
- LEMIRISS, S. – LAURENT, F. – COUBLE, A. – CASOLI, E. – LANCELIN, J. M. – SAINTPIERRE-BONACCIO, D. – RIFAI, S. – FASSOUANE, A. – BOIRON, P. 2003. Screening of nonpolyenic antifungal metabolites produced by clinical isolates of actinomycetes. *Canadian Journal of Microbiology*, 49, 669–674.
- LIAN, B. – HU, Q. – CHEN, J. – JI, J. – TENG, H. H. 2006. Carbonate biomineralization induced by soil bacteria *Bacillus megaterium*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, 522–535.
- LIAN, B. – YUAN, D. X. – LIU, Z. H. 2011. Effect of microbes on karstification in karst ecosystems. *Chinese Science Bulletin*, 56, 3743–3747.
- LIU, Z. H. – DREYBRODT, W. 1997. Dissolution kinetics of calcium carbonate minerals in H₂O-CO₂ solutions in turbulent flow: The role of the diffusion boundary layer and the slow reaction H₂O+CO₂+H⁺+HCO₃⁻. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 2879–2889.
- LUKEŠOVÁ, A. – NOVÁKOVÁ, A. 2009. Interactions between the soil micro-flora and invertebrates in Slovak and Moravian caves. In Tajovský, K. – Schlaghamerský, J. – Pižl, V. (Eds.): *Contributions to Soil Zoology in Central Europe III*. ISB BC ASCR, v. v. i., České Budějovice, 89–96.
- MAZEL, Y. – BELYAKOVA, O. – TRULOVA, A. – GUIDOLIN, L. – COPPELLOTTI, O. 2012. Testate amoebae communities from caves of some territories in European Russia and North-Eastern Italy. *Protistology*, 7, 42–50.
- MNIŞ, S. – CHAMKHA, M. – SAYADI, S. 2009. Isolation and characterization of *Halomonas* sp. strain C2SS100, a hydrocarbon-degrading bacterium under hypersaline conditions. *Journal of Applied Microbiology*, 107, 785–794.
- MULEC, J. 2008. Microorganisms in hypogean: examples from Slovenian karst caves. *Acta Carsologica*, 37, 153–160.
- MULEC, J. 2012. Lampenflora. In White W. B. – Culver, D. C. (Eds.): *Encyclopedia of Caves*. Second edition, Academic Press, Chennai, 451–456.
- MULEC, J. – WALOCHNIK, J. 2007. Amoebae in carbonate precipitating microenvironments in karst caves. *Geophysical Research Abstracts*, 9, European Geosciences Union, Wien.
- MULLIGAN, C. N. 2009. Recent advances in the environmental applications of biosurfactants. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 14, 372–378.
- NORTHUP, D. E. – LAVOIE, K. H. 2004. Microorganisms in Caves. In Gunn, J. (Ed.): *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, New York – London, 506–509.
- NOVÁKOVÁ, A. 2004. Microscopic fungi in caves of the National Park Slovak Karst. *Phytotopon*, 3, 26–31.
- NOVÁKOVÁ, A. 2006. Mikroskopické houby v Dobšinské ledové jeskyni a ve vybraných jeskyních Národného parku Slovenský kras. In Bella, P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 5. vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 26. – 29. 9. 2005. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 203–210.
- NOVÁKOVÁ, A. 2009. Microscopic fungi isolated from the Domica Cave system (Slovak Karst National Park, Slovakia). A review. *International Journal of Speleology*, 38, 71–82.
- NOVÁKOVÁ, A. – ELHOTTOVÁ, D. – KRÍŠŤEĎEK, V. – LUKEŠOVÁ, A. – HILL, P. – KOVÁČ, L. – MOCK, A. – ĽUPIČÁK, P. 2005. Feeding sources of invertebrates in the Ardovska Cave and Domica Cave systems – preliminary results. In Tajovský, K. – Pižl, V. – Schlaghamerský, J. (Eds.): *Contributions to Soil Zoology in Central Europe I, Proceedings of the 7th Central European Workshop on Soil Zoology, České Budějovice, April 14–16, 2003*, 107–112.
- NOVÁKOVÁ, A. – KOLAŘÍK, M. 2010. Chrysosporium speluncarum, a new species resembling *Ajellomyces capsulatus*, obtained from bat guano in caves of temperate Europe. *Mycological Progress*, 9, 253–260.
- PARK, S. Y. – KIM, Y. 2009. Surfactin inhibits immunostimulatory function of macrophages through blocking NK- κ B, MAPK and Akt pathway. *International Immunopharmacology*, 9, 886–893.
- PORTER, M. L. – ENGEL, A. S. – KANE, T. C. – KINKLE, B. K. 2009. Productivity-Diversity Relationships from Chemolithoautotrophically Based Sulfidic Karst Systems. *International Journal of Speleology*, 38, 27–40.
- PUECHMAILLE, S. J. – VERDEVROUX, P. – FULLER, H. – GOUILH, M. A. – BEKAERT, M. – TEELING, E. C. 2010. White-nose syndrome fungus (*Geomyces destructans*) in bat, France. *Emerging Infectious Diseases*, 16, 290–293.
- QUAN, P. L. – FIRTH, C. – STREET, C. – HENRIQUEZ, J. A. – PETROSOV, A. – TASHMUKHAMEDOVA, A. – HUTCHISON, S. K. – EGHOLM, M. – OSINUBI, M. O. – NIEZGODA, M. – OGUNKOYA, A. B. – BRIESE, T. – RUPPRECHT, C. E. – LIPKIN, W. I. 2010. Identification of a severe acute respiratory syndrome coronavirus-like virus in a leaf-nosed bat in Nigeria. *MBio*, 1, e00208-10.
- REITSCHULER, C. – LINS, P. – WAGNER, A. O. – ILLMER, P. 2014. Cultivation of moonmilk-born non-extremophilic *Thaum* and *Euryarchaeota* in mixed culture. *Anaerobe*, 29, 73–79.
- SEMAN, M. – GAĽOVÁ, B. 2009. Enterobakteriálna mikrobiota jaskynných vúd Silickej planiny. *Slovenský kras*, 47, 283–290.
- SEYDLOVÁ, G. – SVOBODOVÁ, J. 2008. Review of surfactin chemical properties and the potential biomedical applications. *Central European Journal of Medicine*, 3, 123–133.
- SCHWABE, S. J. – HERBERT, R. A. – CAREW, J. L. 2006. A hypothesis for biogenic cave formation: A study conducted in the Bahamas. In Carew, J. L. (Ed.): *Proceedings of the 13th Symposium on the Geology of the Bahamas and other Carbonate Regions*. San Salvador, Bahamian Field Station, 141–152.
- SIGALA-REGALADO, I. – MAYÉN-ESTRADA, R. – MORALES-MALACARA, J. B. 2011. Spatial and Temporal Distribution of Protozoa et Cueva de los Riesgos, Querétaro, México. *Journal Cave and Karst Studies*, 73, 55–62.
- SMITH, T. – OLSON, R. 2007. A taxonomic survey of lamp flora (algae and cyanobacteria) in electrically lit passages within Mammoth Cave National Park, Kentucky. *International Journal of Speleology*, 36, 105–114.
- STEWART, P. S. – FRANKLIN, M. J. 2008. Physiological heterogeneity in biofilms. *Nature Reviews Microbiology*, 6, 199–210.
- ŠIMONOVICHOVÁ, A. – PANGALLO, D. – CHOJANOVÁ, K. – LEHOŤSKÁ, B. 2011. *Geomyces destructans* associated with bat disease WNS detected in Slovakia. *Biologia*, 66, 562–564.
- ŠRAMKOVÁ, K. – KOVÁČIK, L. 2005. Výskyt cyanobaktérií a rias v nárastoch „lampenflóry“ v šiestich sprístupnených jaskyniach na Slovensku. *Bulletin Slovenskej botanickej spoločnosti*, 27, 17–21.
- TANG, Y. – LIAN, B. – DONG, H. – LIU, D. – HOU, W. 2012. Endolithic bacterial communities in dolomite and limestone rocks from the Nanjiang Canyon in Guizhou karst area (China). *Geomicrobiology Journal*, 29, 213–225.
- Tolli, J. – KING, G. M. 2005. Diversity and Structure of Bacterial Chemolithotrophic Communities in Pine Forest and Agroecosystem Soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 71, 8411–8418.
- TOMOVA, I. – LAZARKEVICH, I. – TOMOVA, A. – KAMBOUROVA, M. – VASILEVA-TONKOVA, E. 2013. Diversity and biosynthetic potential of culturable aerobic heterotrophic bacteria isolated from Magura Cave, Bulgaria. *International Journal of Speleology*, 42, 65–76.
- TOWNER, J. – AMMAN, B. – SEALY, T. – CARROLL, S. – COMER, J. – KEMP, A. – SWANEPOEL, R. – PADDOCK, C. – BALINANDI, S. – KHRISTOVA, M. – FORMENTY, P. – ALBARINO, C. – MILLER, D. – REED, Z. – KAYIWA, J. – MILLS, J. – CANNON, D. – GREPP, P. – BYARUHANGA, E. – FARNON, E. – ATIMNEDI, P. – OKWARE, S. – KATONGOLE-MIBIDDE, E. – DOWNING, R. – TAPPERO, J. – ZAKI, S. – KSIAZEK, T. – NICHOL, S. – ROLLIN, P. 2009. Isolation of Genetically Diverse Marburg Viruses from Egyptian Fruit Bats. *PLoS Pathogens*, 5.
- VANDERWOLF, K. J. – MALLOCH, D. F. – MCALPINE, D. F. – FORBES, G. J. 2013. A world review of fungi, yeasts, and slime molds in caves. *International Journal of Speleology*, 42, 77–96.
- WATWE, M. G. – TICKOO, R. – JOC, M. M. – BHOLE, B. D. 2001. How many antibiotics are produced by the genus *Streptomyces*? *Archives of Microbiology*, 176, 386–390.

POZNATKY O VÝSKYTE BEZSTAVOVCOV A NETOPIEROV V MALUŽINSKEJ JASKYNI (NÍZKE TATRY)

Vladimír Papáč¹ – Zuzana Višňovská¹ – Alfréd Gresch²

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

² Slovenská speleologická spoločnosť, Oblastná skupina Liptovský Mikuláš; gresch.fredy@gmail.com

V. Papáč, Z. Višňovská, A. Gresch: Present knowledge on the occurrence of invertebrates and bats in the Malužinská Cave (Nízke Tatry Mts.)

Abstract: The Malužinská Cave (altitude 781 m, recent known length of 328 m) is located in a limestone rock above the Malužiná village on northern side of the Nízke Tatry Mts. (Low Tatras). The paper provides results of our zoological research in this cave. Data within the frame of bat monitoring have been collected during winter seasons 1996 – 2016. Invertebrate fauna investigation was carried out during the years 2014 – 2016. Totally 47 taxa of 15 different taxonomic groups of invertebrate fauna were registered. The Kvapľová sieň space revealed the most diversified faunal communities with different 33 taxa. Most of the taxa belonged to mesofauna inhabiting organic sediments and water pools (springtails, mites), and to parietal macrofauna (snails, spiders, butterflies and isopods) inhabiting entrance parts of the cave. Trogloneic and troglophilous species predominated among invertebrates, that is associated with geographical position of cave, its geomorphology, microclimate conditions and food sources. The obligate cave animals (troglonites) like springtails *Deuteraphorura kratochvili* and *Pseudosinella pacti* were present only in deeper parts of the cave (Vysoký dóm, Kvapľová sieň), probably due to stable microclimatic conditions which exist only in these parts. Entrance corridor has different temperature and relative humidity during a year. The troglophilous springtails *Plutomurus carpaticus* and *Ceratophysella granulata* were recorded within whole cave. They can be assigned as characteristic species of the Malužinská Cave. Several species may be considered as Carpathian or West Carpathian endemics, such as slug *Bielzia coeruleans*, harvestman *Ischyropsalis manicata*, millipede *Allorhiscosoma sphinx* and some springtails. There is only a few of little water pools in the cave. There were ten species of springtails (Collembola) on a water level surface, two taxa representing the obligate aquatic fauna (Bathynellacea, Microturbellaria) and also mites (Acari) found in these water pools. Among them the crustacean species *Bathynella natans* is a stygobite. In total, hibernation of four bat species (mostly *Myotis myotis* with *Rhinolophus hipposideros*, occasionally *Plecotus auritus* or *Barbastella barbastellus*) have been observed in the cave. Total number of bats not exceeded 11 individuals per winter season.

Key words: cave invertebrates, bat hibernacula, troglonites, Western Carpathians

ÚVOD

Malužinská jaskyňa patrí dĺžkou a geomorfologicky medzi najvýznamnejšie jaskyne vo východnej časti Nízkych Tatier, no z hľadiska biologického je zatiaľ veľmi málo preskúmaná. V minulosti sa zoologický výskum v širšom okolí jaskyne zameriaval predovšetkým na väčšie a populárnejšie jaskyne v Demänovskej doline Nízkych Tatier či jaskyne Západných Tatier a Važeckého krasu (napr. Kováč et al., 2001, 2002, 2008, 2015; Mock et al., 2002). Jediný nám známy publikovaný údaj o invertebrátnej faune z tejto jaskyne sa týka nálezu bystruškovitého chrobáka *Pseudanophthalmus pilosellus stobieckii* (Csiki, 1907) v hlbších častiach jaskyne (Višňovská a Jászay, 2010). Ide o vzácny horský poddruh a karpatský endemit, ktorý žije primárne terestricky a endogeicky, pričom nálezy z jaskýň sú skôr výnimočné. O faune sa tiež stručne zmieňuje Droppa (1976), ktorý nám tiež stručne zdieľa, že „rozmanité druhy nočného hmyzu a pavúkov“. Údaje o výskyte netopierov na tejto lokalite, známe do roku 2000, stručne zhrnul Gresch (2002).

V rokoch 2014 a 2015 sme v Malužinskej jaskyni vykonali základný prieskum výskytu bezstavovcov, ktorého výsledky poskytujeme v tomto príspevku. Zároveň sumarizujeme všetky dosiaľ známe dáta zo sčítania netopierov v jaskyni za obdobie od decembra 1996 do marca 2016. Niektoré z týchto údajov medzitým publikovali, resp. citovali Gresch (2002) a Lehotská (2002, 2003).

POLOHA A OPIS JASKYNE

Malužinská jaskyňa (k. ú. Malužiná, okr. Liptovský Mikuláš) sa nachádza nad obcou Malužiná, v Bocianskej doline na severnej strane Nízkych Tatier (časť Kráľovohorské Tatry). Menovanej lokalite prislúcha kód orografického celku 190 a kód kvadrátu Databanky fauny Slovenska 7084. Vchod do jaskyne, orientovaný na západ, leží v nadmorskej výške 781 m, čo je približne 50 m nad terajším tokom Bocianky (Droppa, 1976). Celková zameraná dĺžka jaskyne dosahuje 328 m s vertikálnym rozpätím takmer 27 m (Hochmuth a Vozárik, 1987). Najnovšie poznatky poukazujú na jej korozný pôvod s výraznou freatickou modeláciou priestorov podzemnými vodami, ktoré vystupovali pozdĺž zlomov a vyvierali na povrch do doliny Bocianky (Bella et al., 2014).

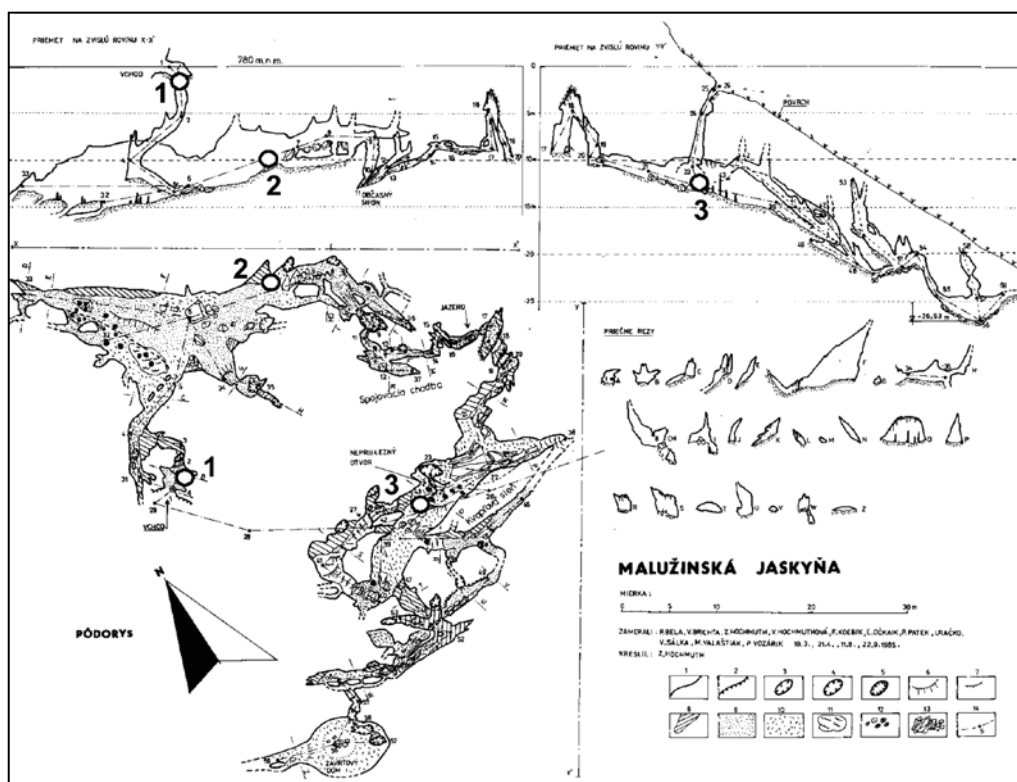
Jaskyňa pozostáva z oválne modelovaných dómovitých a sieňovitých priestorov, čiastočne zmenených rútením, a oválnych i puklinových chodieb a komínov (obr. 1). S povrchovým prostredím jaskyňa priamo komunikuje cez dva otvory. Prvý, väčší, cca 2 × 0,8 m, je hlavným vchodom do jaskyne, za ktorým sa nachádza pomerne malá a krátka Vstupná sieň (obr. 2). Jej dno pokrýva sutina s hlinou a organickým materiálom napadaným z povrchu. Nasleduje stmo klesajúca úzka a nízka vstupná chodba, ústiaca do priestraného a relatívne horizontálneho priestoru, Vysokého dómu, s rozmermi 33 × 8 m a výškou stropu do 7 m, ktorého dno je z väčšej časti pokryté žltouhnedou ílovitou hlinou.

Druhý, menší otvor, pre človeka neprielezný, sa nachádza v jednom z komínov stúpajúcich z Kvapľovej siene, ktorá je väčším sieňovitým a členitým priestorom s bohatou sintrovou a kvapľovou výzdobou, silno poznačeným rútením. Vysoký dóm a Kvapľová sieň sú navzájom prepojené úzkou a nízkou Spojovacou chodbou (Hochmuth a Vozárik, 1987). Oba jaskynné otvory sú od roku 2015 opatrené mrežovými uzávermi, cez ktoré môžu voľne prenikať menšie živočíchy a z vonkajšieho prostredia dnu sa môže pasívne dostávať aj organická hmota (drevo, lístie, humus).

METODIKA PRIESKUMU

Názvy jaskynných priestorov uvádzame podľa Droppu (1976) a Hochmutha a Vozárika (1987). Zoologický prieskum Malužinskej jaskyne sme realizovali vo všetkých jej známych a dostupných priestoroch s výnimkou úseku od konca Kvapľovej siene po Závrtový dóm, t. j. medzi meračskými bodmi č. 47 – 59.

Terénny prieskum, zameraný prioritne na bezstavovce, sme v jaskyni realizovali v štyroch termínoch: 20. 8. a 18. 12. 2014, 27. 8. a 15. 12. 2015. Faunu bezstavovcov sme zbierali priamo počas obhliadky jaskyne, prevažne z prítomného dreva a hladiny drobných jazierok. Niektoré väčšie druhy ulitníkov, pavúkovcov a hmyzu sme pozorovali a pokiaľ možno bližšie identifikovali priamo na mieste („in situ“), resp. neskôr prostredníctvom vyhotovenej fotodokumentácie. Na podrobnejšiu analýzu spoločenstiev terestrickej mikrofauny



Obr. 1. Mapa Malužinskej jaskyne s vyznačením polohy troch biospeleologických stacionárov, na ktorých boli umiestnené zemné pasce a návnady (mapový podklad: Hochmuth a Vozárik, 1987)

Fig. 1. Map of the Malužinská Cave with three stationary plots, in which were placed pitfall traps with baits (map from Hochmuth and Vozárik, 1987)

a mezofauny sme vytypovali tri biospeleologické stacionáre v týchto častiach jaskyne:

1. Vstupná sieň – 3 m od vchodu (kamenná sutina, štrk a hlinité sedimenty),
2. Vysoký dóm – výklenok pri stene (kamenito-hlinitý sediment),
3. Kvapľová sieň – v strede siene (kamenitá sutina s drevom).

Na týchto plochách (obr. 1) sme 20. augusta 2014 inštalovali zemné pasce s dvoma typmi fixačných látok (95 % etylalkohol, 4 % formaldehyd). Na každom stacionári bola zároveň umiestnená návnada – drevo, prípadne iný organický materiál z okolia stano-

višťa. Z Kvapľovej siene bola odobratá vzorka teľúceho dreva na extrakciu článkonožcov

veľký), Bbar – *Barbastella barbastellus* (uchaňa čierna), Paur – *Plecotus auritus* (uchač svetlý).

Tab. 1a. Teplota a relatívna vlhkosť vzduchu v Malužinskej jaskyni – hodnoty namerané termohygrometrom COMET 3120. Vysvetlivky: MB – meračský bod

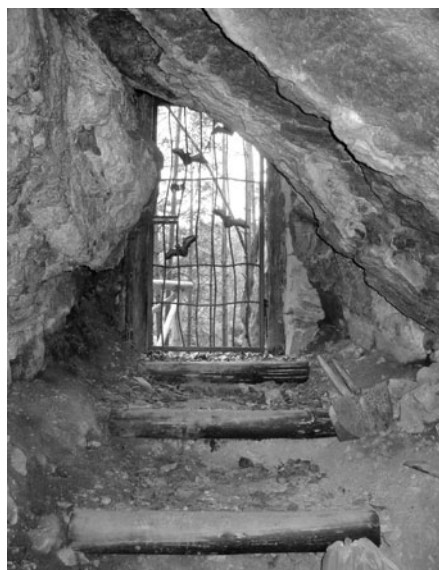
Tab. 1a. Air temperature and relative humidity in the Malužinská Cave – values measured by thermohygrometer COMET 3120. Explanatory notes: MB – trig station

Meraná veličina / Measurand		Teplota vzduchu [°C] / vlhkosť vzduchu [%] Air temperature [°C] / Air humidity [%]	
Miesto / Site	Dátum / Date	20. 8. 2014	18. 12. 2014
pred vchodom jaskyne			0,5 / 75,0
Vstupná sieň (MB č. 2) – biostacionár č. 1		11,6 / 92,0	2,5 / 86,1
Vysoký dóm (MB č. 7) – biostacionár č. 2		6,7 / 98,1	7,1 / 92,5
Kvapľová sieň (MB č. 23) – biostacionár č. 3		6,9 / 98,8	7,3 / 92,4

Tab. 1b. Teplota vzduchu v Malužinskej jaskyni – hodnoty namerané digitálnym teplomerom Checktemp. Vysvetlivky: MB – meračský bod

Tab. 1b. Air temperature in the Malužinská Cave – values measured by digital thermometer Checktemp. Explanatory notes: MB – trig station

Meraná veličina / Measurand		Teplota vzduchu / Air temperature [°C]			
Miesto / Site	Dátum / Date	20. 8. 2014	27. 8. 2015	15. 12. 2015	3. 3. 2016
pred vchodom jaskyne (na poludnie)					
		13,7	20,5	0,2	4,2
Vstupná sieň (MB č. 2)					
		12,4	12,3	4,7	4,8
vstupná chodba (MB č. 4)					
		8,4	8,1	5,9	5,8
Vysoký dóm					
centrálny priestor (MB č. 6)					
		7,0	7,1	7,1	7,1
bočná komôrka (MB č. 34 – 35)					
		7,2	7,2	7,3	7,2
bočná chodba za plazivkou (MB č. 33)					
		7,3	7,3	7,3	7,1
Spojovacia chodba					
		7,3	7,3	7,4	7,1
Kvapľová sieň					
horná časť siene medzi MB č. 21 – 22					
		7,5	7,6	7,5	6,7
pod povrchovým komínom (MB č. 23 – 24)					
		8,3	10,3	7,1	6,4
pri sústave mikrojazierok (MB č. 38)					
		7,5	7,6	7,7	6,7
dolná časť siene medzi MB č. 39 – 40					
		7,1	7,2	7,5	6,7
bočná paralelná chodba (MB č. 45 – 46)					
		7,3	7,4	7,7	7,0



Obr. 2. Vstupná časť jaskyne. Foto: Z. Višňovská
Fig. 2. The entrance part of the cave. Photo: Z. Višňovská

v laboratóriu. Druhá časť terénneho prieskumu prebehla 18. 12. 2014. V tomto termíne boli pozbierané zemné pasce a uskutočnili sa aj priame zbery suchozemskej fauny. Na zistenie prítomnosti vodnej fauny sme v dňoch 20. 8. 2014, 27. 8. 2015 a 15. 12. 2015 odobrali vzorky z drobných, plytkých mláčok a jazierok vo Vysokom dome a v Kvapľovej sieni, a to filtrovaním vody cez planktónnu sieťku so zbernou fľaštičkou. Vzorky vody sa následne analyzovali v laboratóriu pod stereomikroskopom a mikroskopom.

Mikroklimatické podmienky (teplota a relatívna vlhkosť vzduchu) na vybraných miestach v jaskyni a pred jej vchodom sa merali termohygrometrom COMET 3120 a digitálnym teplomerom Checktemp od výrobcu Hanna.

Monitoring netopierov na lokalite sa realizoval metódou vizuálneho pozorovania za použitia výkonného ručného svietidla. V tabuľke č. 4 sú použité skratky názvov nasledujúcich druhov netopierov: Rhip – *Rhinolophus hipposideros* (podkovár malý), Mmyo – *Myotis myotis* (netopier

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Celkovo sme v Malužinskej jaskyni počas prieskumu v rokoch 2014 – 2016 zaznamenali výskyt 47 taxónov **bezstavovcov** z 15 systematických skupín (tab. 3). Terestrická fauna je v jaskyni rozmiestnená zhlukovito. Agreguje sa najmä na miestach s vyšším zastúpením organickej hmoty (drevo, rastlinné zvyšky, hliny s vyšším obsahom humusu). Vyššia diverzita fauny sa zistila v priestore hlavného vchodu a priepasťovitej vstupnej chodby (celkovo 25 taxónov) a v časti Kvapľovej siene pod komínom komunikujúcim s povrchom (33 taxónov). Vnútorne priestory jaskyne (Vysoký dóm, Spojovacia chodba) sú na organiku chudobnejšie, čo sa prejavuje v kvantitatívne aj kvalitatívne nižšom zastúpení živočíchov (14 taxónov). Dno Vysokého dómu je zo značnej časti pokryté žltouhnedou ílovitou hlinou. V nedávnej minulosti (počas 20. storočia) údajne túto plastickú hlinu miestni obyvatelia ťažili, vyvážali von z jaskyne a používali pri výrobe a zdobení rámov na obrazy (Droppa, 1976; Hochmuth a Vozárik, 1987). Spomínané ľudské aktivity tak mohli tiež do istej miery viesť k oslabeniu až zredukovaníu populácií niektorých druhov bezstavovcov žijúcich v týchto sedimentoch, resp. na ich povrchu.

Pokiaľ ide o mikroklimatické podmienky v jaskyni, vplyv vonkajšieho prostredia sa najvýraznejšie prejavoval vo Vstupnej sieni pri hlavnom vchode, v menšej miere aj v príľahlej vstupnej chodbe a v komíne pod malým povrchovým otvorom v Kvapľovej sieni (tab. 1a, 1b). Namerané hodnoty teploty vzduchu vo Vstupnej sieni dosahovali minimum 2,5 °C (zima) a maximum 12,4 °C (leto). Vnútorne priestory Vysokého dómu, Spojovacej chodby a Kvapľovej siene (ďalej od povrchového komína) sa javia ako termostatická časť jaskyne, zaznamenali sme tam minimálne výkyvy teploty vzduchu medzi letným a zimným obdobím a teplotu prostredia v rozmedzí 6,7 – 7,7 °C. Na základe našich zistení môžeme Malužinskú jaskyň zaradiť k mierne teplým v rámci územia Slovenska. Relatívna vlhkosť vzduchu v jaskyni je vysoká, namerané hodnoty predstavujú 92 – 99 % s výnimkou vstupnej časti, kde môže klesať aj výraznejšie pod 90 %.

V získanom biologickom materiáli kvantitatívne aj kvalitatívne dominuje skupina chvostokokov (Collembola), ktorej zástupcovia sa vyskytujú pozdĺž celej jaskyne, najmä na hla-

dine drobných jazierok a mláčok, resp. v blízkosti drevnej hmoty. Celkovo sa zistilo 22 druhov chvostokokov, pričom najvýznamnejšími sú nálezy jaskynných druhov *Deuteraphorura kratochvili* (obr. 3), *Pseudosinella paciti* a eutroglofilných druhov *Pygmarhopalites pygmaeus*, *Ceratoophysella granulata* a *Protaphorura armata*. Prvé dva menované troglobionty boli prvýkrát objavené v Demänovskom jaskynnóm systéme (Demänovská dolina, Nízke Tatry) v 60. rokoch 20. storočia (Rusek, 1961; Nosek, 1963) a dosiaľ je ich rozšírenie známe iba z jaskýň centrálnej časti Západných Karpát (Kováč et al., 2014). Oba druhy dokumentujú zachované a stabilné jaskynné prostredie, keďže ide o špecializované formy úzko naviazané na život v podzemí. Medzi charakteristické druhy pre Malužinskú jaskyň môžeme zaradiť aj troglofilný druh *Plutomurus carpaticus*, ktorý sa zistil na všetkých monitorovaných stanovištiach. Známy je prevažne z povrchových biotopov, ale zároveň je pomerne bežným druhom aj v jaskyniach Slovenska. Zaujímavý je tiež nález štyroch druhov z rodu *Megalothorax*. Distribúcia troglofilných druhov *M. minimus* a *M. willemi* v jaskyni je viazaná prevažne na miesta s výskytom organickej hmoty v kontakte s povrchovým prostredím a v prípade eutroglofilného druhu *M. carpaticus* na hladinu jazierok aj v hlbšej, od povrchu izolovanejšej časti jaskyne (Vysoký dóm). Vzácne troglobiontné druhy *M. hipmani* a *M. tatrensis*, ktoré sú známe z neďalekej jaskyne Starý hrad. Važeckej alebo Bystrianskej jaskyne (Papáč a Kováč, 2013), sa v Malužinskej jaskyni počas nášho prieskumu nezachytili. Ostatné druhy chvostokokov evidované v jaskyni sú formami bežne známymi z povrchových biotopov a ich nálezy sú tu limitované zväčša na mikrohabitaty v okolí povrchových otvorov. Ďalšou zložkou terestrickej mezofauny v Malužinskej jaskyni sú roztoče (Acari). Z tejto skupiny sme zaznamenali zástupcov pancierníkov (Oribatida) a mesostigmátnych roztočov (Mesostigmata). Koncentrujú sa najmä na miestach s prítomnou organickou hmotou.

Z makrofauny, ktorá tvorí prevažnú súčasť parietálnej (stenovej) fauny, boli dosiaľ identifikovaní zástupcovia desiatich taxonomických skupín: ulitníky (Gastropoda), pavúky (Araneae), kosce (Opiliones), rovnakonôžky (Isopoda), mnohonôžky (Diplopoda), stonôžky (Chilopoda), chrobáky (Coleoptera), blanokrídlavce (Hymenoptera), dvojkrídlavce (Diptera) a motýle (Lepidoptera). Typickú

parietálnu faunu vstupných častí tejto jaskyne, ako aj mnohých iných jaskýň na Slovensku tvoria troglofilné motýle *Triphosa dubitata* (piadivka jaskynná) a *Scoliopteryx libatrix* (mora pivničná, obr. 4) a pavúk *Meta menardi* (meta temnostná). Posledné dva menované druhy sa tu vyskytujú v pomerne početných populáciách, pričom mety sú tu bežné celoročne a mory dočasne v zimnom období, keď tu zimujú spolu s komármi (Diptera, Nematocera) alebo lumkami (Hymenoptera, čel. Ichneumonidae). V marci 2016 sme na stenách vstupnej siene pozorovali samičky lumka *Diphyus quadripunctorius*. Ide o najčastejšie sa vyskytujúci druh lumka v jaskyniach počas zimného obdobia (Kováč et al., 2014). Spomínaný druh *Meta menardi* z čelade Tetragnathidae sa zvykne označovať ako jaskynný pavúk, keďže charakteristický je jeho výskyt v tmavých skalných štrbinách a podzemných dutinách. Vo Vstupnej sieni Malužinskej jaskyne sme pozorovali väčší počet samičiek aj spolu s ich kokónmi, t. j. bielymi vakmi s vajíčkami zavesenými vláknom o jaskynný strop. Podobný nález z inej jaskyne opisujú napr. Višňovská a Barlog (2009). Počas roka sa vo vstupnej chodbe priležitostne, resp. dočasne ukrývajú ďalšie druhy živočíchov, ako sú napríklad babočka pávoooká (*Inachis io*), pavúk *Tegenaria cf. ferruginea* z čelade Agelenidae (obr. 5) či slizniaky (Gastropoda, čel. Limacidae). Slizniak karpatský (*Bielzia coerulans*) je veľký nápadný slimák bez ulity, ktorý dorastá do dĺžky 10 až 16 cm. Ide o veľmi vzácny a ohrozený druh. Patrí medzi karpatské endemity a jeho výskyt je obmedzený na vlhké prostredie prirodzených karpatských listnatých a zmiešaných lesov. V dospelosti má nápadné modrasté až modré sfarbenie tela, ktoré môže mať odtiene fialovej, sýtomodrej až po tyrkysovú. V našom prípade išlo o hnedo sfarbeného mladého jedinca s modrastým nádychom. Ďalší nájdený slizniak patrí do rodu *Lehmannia*. Okrem slizniakov sú na stenách pri hlavnom vchode a v komíne pri povrchovom otvore v Kvapľovej sieni prítomné aj iné suchozemské slimáky s typickou ulitou, napr. bliktra sutinová (*Oxychilus glaber*). Tento slimák sa takisto vyznačuje krásnym modrým sfarbením tela, kontrastujúcim so svetlohnedou splotenou ulitkou (obr. 6). Ide o druh s vyššou afinitou k jaskynnému prostrediu,



Obr. 3. Chvostokok *Deuteraphorura kratochvili* (Collembola). Foto: L. Kováč a P. Luptáčik
Fig. 3. Springtail *Deuteraphorura kratochvili* (Collembola). Photo: L. Kováč a P. Luptáčik



Obr. 4. Mora *Scoliopteryx libatrix* (Lepidoptera). Foto: Z. Višňovská
Fig. 4. Moth *Scoliopteryx libatrix* (Lepidoptera). Photo: Z. Višňovská



Obr. 5. Pavúk *Tegenaria cf. ferruginea* (Araneae). Foto: Z. Višňovská
Fig. 5. Spider *Tegenaria cf. ferruginea* (Araneae). Photo: Z. Višňovská



Obr. 6. Slimák *Oxychilus glaber* (Gastropoda). Foto: V. Papáč

Fig. 6. Snail *Oxychilus glaber* (Gastropoda). Photo: V. Papáč



Obr. 7. Mnohonôžka *Allorhiscosoma sphinx* (Diplopoda). Foto: Z. Višňovská

Fig. 7. Diplopod *Allorhiscosoma sphinx* (Diplopoda). Photo: Z. Višňovská



Obr. 8. Bočná chodba Vysokého dómu za meračským bodom č. 33. Foto: Z. Višňovská

Fig. 8. Side corridor of the Vysoký Dome behind the trig station nr. 33. Photo: Z. Višňovská

avšak hlbšie do afotickej zóny nezasahuje. Podobným príkladom je kosec *Ischyropsalis manicata* (klepietkar karpatský), zistený na skale pod povrchovým komínom v Kvapľovej sieni. V jeho prípade ide zrejme o trvalý výskyt v jaskyni so schopnosťou rozmnožovať sa. Na



Obr. 9. Hlbinovka *Bathynella natans* (Syncarida). Foto: Z. Višňovská

Fig. 9. Bathynellid crustacean *Bathynella natans* (Syncarida). Photo: Z. Višňovská

Slovensku je známy z chladnejších horských jaskýň, najmä zo stien vertikálnych vchodov, častý je aj v skalných sutinách až po alpskej pásmo (Košel, 2009; Kováč et al., 2014). Suchozemské kôrovce sú v jaskyni reprezentované minimálne dvoma druhmi rovnakonôžok (Isopoda, Oniscidea). Rovnakoňôžka *Protracheoniscus politus* je bežným povrchovým vlhkomilným druhom, v jaskyni sa zistil na skalách v Kvapľovej sieni. Na rovnakom stanovišti bol zachytený aj iný, vzácnejší druh, *Trachelipus difficilis*. Stonôžka *Lithobius forficatus* (Chilopoda) predstavuje povrchový pôdny druh, zachytený len na stanovišti v Kvapľovej sieni. Reprezentuje predátora menších foriem bezstavovcov, ako napríklad chvostoskokov alebo roztočov. Mnohonôžka *Allorhiscosoma sphinx* (Diplopoda) sa v jaskyni vyskytuje na miestach s organickým materiálom a na stenách (obr. 7). Ide o pozoruhodný endemický taxón, ktorý je známy iba zo Západných Karpát. Nálezy sa viažu prevažne na jaskynné prostredie, kde vytvára relatívne početnú populáciu. Výskyt tejto mnohonôžky je známy napríklad z viacerých sprístupnených jaskýň Slovenska, ako sú Demänovská jaskyňa slobody, Demänovská ľadová, Harmanecká, Bystrianska či Važecká jaskyňa (Gulička, 1975; Kováč et al., 2002, 2003; Mock et al., 2002, 2003). Z fauny chrobákov (Coleoptera) sme v jaskyni zachytili prítomnosť dvoch druhov

drobčičkov (čel. Staphylinidae). Z nich bližší vzťah k jaskyniam má troglofilný druh *Queidius mesomelinus*.

Jaskyňa je chudobná na vodné mikrohabitaty. Tie boli v čase nášho prieskumu v rokoch 2014 – 2015 obmedzené na sporadické občasnú mláčku v ílovitom bahnitom sedimente, resp. drobné plytké sintrové jazierka, lokalizované takmer výlučne vo Vysokom dóme a v Kvapľovej sieni. Dotované sú zrejme len vodami presakujúcimi z nadložia počas intenzívnejších zrážok a topenia snehu na povrchu. V marci 2016 sme zaregistrovali väčšiu akumuláciu vody v spodnej úžine Spojovacej chodby. Ide zrejme o občasnú sa tvoriace jazierko, resp. sífón, ktoré z predošlých prieskumov opisujú Hochmuth a Vozárik (1987). Teplota jaskynných vôd dosahovala hodnoty v rozpätí 6,7 – 7,6 °C (tab. 2). Aj napriek týmto hydrologicky chudobným podmienkam sa v jaskyni podarilo zaznamenať špecializovanú akvatickú faunu, vrátane stygobiontnej. V tomto zmysle veľmi zaujímavým priestorom je malá bočná chodba Vysokého dómu za plazivkou pri meračskom bode č. 33 (obr. 8). V dvoch nenápadných plytkých sintrových jazierkach s jemným blatistým sedimentom tu prekvapivo početnú populáciu tvorí hlbinovka *Bathynella natans* (Syncarida, Bathynellacea). Tento reliktný drobný kôrovce (obr. 9) je charakteristickým predstaviteľom intersticiálnej fauny obývajúcej rozdezenné freatické a hyporeické vody. Výskyt hlbinoviek je známy aj v epikrase (v zmysle Pipan, 2005). Odtiaľ môžu byť vyplavované do jaskynných jazierok v čase intenzívnejších prisačkov zrážkových vôd, čo s najväčšou pravdepodobnosťou je aj prípad z Malužinskej jaskyne. Podobné predpoklady o epikrasovom pôvode *B. natans* uvádzajú Višňovská a Papáč (2010) z Belianskej jaskyne. Okrem hlbinoviek sme v tejto časti jaskyne zaznamenali zástupcu vodných mikroturbelárií (Turbellaria) a niekoľko astigmatných roztočov (Acari, Astigmata), ktoré sa nám zatiaľ nepodarilo bližšie identifikovať. V prípade mikroturbelárií ide o výnimočný nález z jaskynného prostredia Slovenska. V ostatných skúmaných mláčkach a jazierkach v jaskyni sme zaznamenali len zástupcov chvostoskokov (Collembola), celkovo 10 rôznych druhov (tab. 3).

Tab. 2. Teplota vodných mikrohabitatov v Malužinskej jaskyni – hodnoty namerané digitálnym teplomerom Checktemp. Vysvetlivky: MB – meračský bod, – absencia kumulovanej vody

Tab. 2. Temperature of water microhabitats in the Malužinská Cave – values measured by digital thermometer Checktemp. Explanatory notes: MB – trig station, – absence of accumulated water

Meraná veličina / Measurand		Teplota vody / Water temperature [°C]			
Miesto / Site	Dátum / Date	20. 8. 2014	27. 8. 2015	15. 12. 2015	3. 3. 2016
Vstupná sieň so vstupnou chodbou					
Vysoký dóm					
	centrálny priestor (MB č. 6) – drobné sintrové mláčky	–	7,0 - 7,1	6,9	6,7
	bočná chodba za plazivkou (MB č. 33) – mikrojazierka v blate	6,9	6,9	6,9	6,8
Spojovacia chodba – mláka v spodnej časti chodby					
		–	–	–	7,3
Kvapľová sieň					
	sústava sintrových mikrojazierok (MB č. 38)	7,5	–	7,4 – 7,6	6,7 – 6,8
	dolná časť siene pri MB č. 39 – drobné sintrové mláčky	7,0	7,2	7,4 – 7,5	6,8

Tab. 3. Prehľad fauny bezstavovcov zistených vizuálnym pozorovaním (VIZ), metódou zemných pascí (P), priamym zberom (PZ) a extrakciou organického materiálu (EXT) v Malužinskej jaskyni v rokoch 2014 – 2016. Vysvetlivky: • troglobiont/stygobiont; * eutroglofil; zistený počet jedincov: + 1, ++ 2 až 10, +++ 11 a viac
 Tab. 3. List of invertebrate taxa recorded by pitfall traps (P), direct collection (PZ) and extraction of organic material (EXT) in the Malužinská Cave in 2014 – 2016. Explanatory notes: • troglobite/stygobite; * eutroglophile; number of individuals: + 1, ++ 2 – 10, +++ more than 10

Poloha nálezu / Finding place	Vstupná sieň s chodbou		Vysoký dóm			Kvapľová sieň			
Metóda prieskumu / Search method	VIZ + PZ	P (stac. 1)	P (stac. 2)	PZ	P (stac. 3)	VIZ + PZ	PZ	PZ	EXT
Mikrohabitat / Type of habitat	parietál (skalná stena)	kamenitá sutina s hlinou a drevom	kamenito-hlinitý sediment a drevo	drobné jazierka	kamenitá sutina s hlinou a drevom	parietál (skalná stena)	drevná hmota	drobné jazierka	hlina a drevo
Taxóny / Taxa									
MOLLUSCA									
Gastropoda									
	++					++			
<i>Bielzia coeruleans</i> (M. Bielz, 1851)	+								
<i>Lehmannia</i> sp.	+								
<i>Oxychilus glaber</i> (Rossmässler, 1835)						+			
TURBELLARIA									
„Microturbellaria“				+					
ARACHNIDA									
Araneae									
<i>Meta menardi</i> (Latreille, 1804)	+++					++			
<i>Tegenaria</i> cf. <i>ferruginea</i> (Panzer, 1804)	+					+			
Opiliones									
<i>Ischyropsalis manicata</i> C. L. Koch, 1865						+			
Acari									
Oribatida		+							+++
Oribatida – kohorta Astigmata				++					
Mesostigmata (Gamasina)		++		+	+++				++
CRUSTACEA									
Syncarida									
• <i>Bathynella natans</i> Vejdovský, 1882				+++					
Isopoda									
<i>Trachelipus difficilis</i> Radu, 1950						+			
<i>Protracheoniscus politus</i> (C. L. Koch, 1841)						+			
MYRIAPODA									
Diplopoda									
* <i>Allorhiscosoma sphinx</i> (Verhoeff, 1907)		+			++		+		
Chilopoda									
<i>Lithobius forficatus</i> (Linnaeus, 1758)					+				
HEXAPODA									
Collembola									
* <i>Ceratophysella granulata</i> Stach, 1949		++		+			++	++	
• <i>Deuteraphorura kratochvíli</i> (Nosek, 1963)			++	++	++		++	++	
<i>Deutonura albella</i> (Stach, 1920)		+		+			+		
<i>Dicyrtoma fusca</i> (Lubbock, 1873)					+				
<i>Folsomia fimetaria</i> (Linnaeus, 1758)							+		++
<i>Hymenaphorura polonica</i> Pomorski, 1990									++
<i>Hypogastrura manubrialis</i> (Tullberg, 1869)		++							
<i>Lepidocyrtus lignorum</i> (Fabricius, 1775)		+++							
<i>Lepidocyrtus violaceus</i> (Fourcroy, 1785)					++				
* <i>Megalothorax carpaticus</i> Papáč et Kováč, 2013			++					++	++
<i>Megalothorax minimus</i> Willem, 1900								+	++
<i>Megalothorax</i> cf. <i>incertus</i> Börner, 1903					++				
<i>Megalothorax willemi</i> Schneider et D'Haese, 2013		++			++				++
<i>Oncopodura crassicornis</i> Shoebottom, 1911			+	+					
<i>Parisotoma notabilis</i> (Schäffer, 1896)									++
<i>Plutomurus carpaticus</i> Rusek et Weiner, 1978		++	++	+	++	+	++	+	
<i>Pogonognathellus flavescens</i> (Tullberg, 1871)		++							
* <i>Protaphorura armata</i> (Tullberg, 1869)		+++	+						
• <i>Pseudosinella pacti</i> Rusek, 1961			++		++		+	++	
<i>Pygmarrhopalites pseudoappendices</i> Rusek, 1967									++
* <i>Pygmarrhopalites pygmaeus</i> (Wankel, 1860)			++		+++			++	+
<i>Tetrodontophora bielaniensis</i> (Waga, 1842)				++					
Psocoptera									
Hymenoptera									
<i>Diphyus quadripunctorius</i> (Müller, 1776)	++								
Coleoptera									
<i>Quedius limbatus</i> (Heer, 1839)		+							
<i>Quedius mesomelinus mesomelinus</i> (Marsham, 1802)		+					+		
Diptera									
„Nematocera“ – adulyt	+++				++				
Lepidoptera									
<i>Inachis io</i> (Linnaeus, 1758)	++								
<i>Scoliopteryx libatrix</i> (Linnaeus, 1758)	+++					++			
<i>Triphosa dubitata</i> (Linnaeus, 1758)	++					+			
Celkový počet taxónov / Total number of taxa:		25		14			33		

Výsledky zimného monitoringu **netopierov (Chiroptera)** v Malužinskej jaskyni z obdobia rokov 1996 – 2016 sú zhrnuté v tabuľke 4. Vizuálnou metódou sa zistila prítomnosť štyroch druhov netopierov. Takmer každoročne, no v malom počte tu zimuje *Myotis myotis* (max. 8 ex.) a od roku 2011 sa objavuje aj *Rhinolophus hipposideros* (1 – 3 ex.). Najčastejšie ich nachádzame vo vyšších a priestrannejších priestoroch Vysokého dómu a Kvapľovej siene (obr. 10). K príležitostným hibernantom patria *Barbastella barbastellus* a *Plecotus auritus* (max. 1 ex.). Celkový počet netopierov hibernujúcich v jaskyni nepresiahol 11 jedincov. V letnom období, konkrétne v auguste roku 2014 ani roku 2015, sme výskyt netopierov v jaskyni nezaregistrovali a nikde sme nesporezovali ani akumulácie trusu netopierov.



Obr. 10. Netopier *Myotis myotis* (Chiroptera). Foto: Z. Višňovská
Fig. 10. Bat *Myotis myotis* (Chiroptera). Photo: Z. Višňovská

ZÁVER

Celkovo sme v Malužinskej jaskyni počas zoologického prieskumu v rokoch 2014 – 2016 zaznamenali výskyt 47 taxónov bezstavovcov z 15 systematických skupín (tab. 3). Vyššia diverzita invertibrátnej fauny bola na miestach s dostatkom organického materiálu, a to najmä vo vstupnej časti za vchodom (25 zistených taxónov) a v Kvapľovej sieni pod povrchovým komínom (33 taxónov). Vo vstupných častiach jaskyne s premenlivou mikroklimou sa vyskytujú formy bezstavovcov pochádzajúce z povrchových biotopov. Bohato zastúpená je parietálna fauna vo Vstupnej sieni a v priepasťovitej vstupnej chodbe. V letnom, a najmä zimnom období sa tu koncentrujú v hojnejšom počte predovšetkým motýle *Scoliopteryx libatrix* (Lepidoptera), pavúky *Meta menardi* (Araneae) a dvojkrídlovce (Diptera). Priestor Kvapľovej siene má relatívne stálu mikroklimu a vďaka prirodzenému spojeniu s povrchom (cez jeden z jaskynných komínov ústiaci na povrch) aj bohatšiu ponuku potravných zdrojov (napadané drevo, listie, pôda). Zistilo sa tu až 33 taxónov bezstavovcov, pričom spoločne sa tu vyskytujú druhy troglóxénne, troglofilné aj troglobiontné. V hlbších častiach jaskyne so stálou mikroklimou, no obmedzenými zdrojmi organickej hmoty, ako sú Vysoký dóm a Spojovacia chodba, je fauna nepomerne chudobnejšia. Známých je tu 14 taxónov reprezentujúcich najmä subteránne a troglofilné formy.

Kvalitatívne najpestrejšiu a kvantitatívne najbohatšiu skupinu v spoločenstve bezsta-

vovcov Malužinskej jaskyne tvoria chvostokoky (Collembola) s 22 zistenými druhmi. Obligátnu jaskynnú faunu reprezentujú troglobiontné chvostokoky *Pseudosinella paciti* a *Deuteraphorura kratochvili* (Collembola) a stygobiontný kôrovec *Bathynella natans* (Syncarida). Popri nich tu majú významné zastúpenie eutroglofilné formy, medzi ktoré radíme mnohonôžku *Allorhiscosoma sphinx* (Diplopoda) a chvostokoky *Ceratophysella granulata*, *Megalothorax carpaticus*, *Protaphorura armata* a *Pygmarhopalites pygmaeus*. Z ostatných druhov fauny si pozornosť zaslúžia západokarpatské, resp. karpatské endemity reprezentované slizniakom *Bielzia coeruleans* (Gastropoda), koscom *Ischyropsalis manicata* (Opiliones), ako aj vzácnym bystruškovitým chrobákom *Pseudanophthalmus pilosellus stobieckii*, ktorého výskyt v tejto jaskyni je známy z literatúry (Višňovská a Jászay, 2010). V prípade Malužinskej jaskyne ide o veľmi podobné zloženie spoločenstva bezstavovcov ako v neďaleko situovanej jaskyni Zápoľná či vo väčších jaskyniach Demänov-

ského a Važeckého krasu (Kováč et al., 2001, 2002, 2015; Mock et al., 2004).

Malužinská jaskyňa patrí medzi málopočetné zimoviská netopierov (Chiroptera). Dosiť sa tu potvrdila hibernácia štyroch druhov v celkovej početnosti nepresahujúcej 11 jedincov počas zimnej sezóny. Najčastejšie ide o netopiera veľkého (*Myotis myotis*) a podkova malého (*Rhinolophus hipposideros*).

Podakovanie. Na identifikácii niektorých zástupcov fauny sa okrem autorov príspevku podieľali títo odborníci: RNDr. Andrej Mock, PhD. (Diplopoda, Isopoda) a RNDr. Peter Luptáčik, PhD. (Acari) z Univerzity P. J. Šafárika v Košiciach, RNDr. Vladimír Košel, CSc. (Microturbellaria), Ing. Tomáš Čejka, PhD. (Gastropoda) zo Slovenskej akadémie vied v Bratislave, RNDr. Peter Gajdoš, CSc. (Araneae) z Ústavu krajinskej ekológie SAV v Nitre, Ing. Kamil Holý, PhD. (Hymenoptera) z Výskumného ústavu rastlinnej výroby v Prahe. Za poskytnutú odbornú pomoc všetkým menovaným ďakujeme.

Tab. 4. Výsledky zimného sčítania netopierov v Malužinskej jaskyni v rokoch 1996 – 2016
Tab. 4. Results of winter bat census in the Malužinská Cave in 1996 – 2016

Dátum / Druh Date / Species	Rhip	Mmyo	Bbar	Paur	Spolu Total	Sčítavateľ Counting person	Zdroj údajov Source of data
sezóna 1996/1997							
29. 12. 1996		3		1	4	A. Gresch	Gresch (2002)
sezóna 1997/1998							
8. 3. 1998					0	A. Gresch	Gresch (2002)
sezóna 1998/1999							
21. 3. 1999		1			1	A. Gresch	Gresch (2002)
sezóna 1999/2000							
27. 2. 2000					0	A. Gresch	Gresch (2002)
sezóna 2000/2001							
1. 1. 2001		1			1	P. Valachovič	Gresch (2002)
sezóna 2001/2002							
3. 1. 2002					0	P. Valachovič	Lehotská (2002)
sezóna 2002/2003							
20. 2. 2003		1	1	1	3	P. Valachovič	Lehotská (2003)
sezóna 2005/2006							
26. 2. 2006					0	A. Gresch	orig. údaj
12. 3. 2006			1		1	A. Gresch	orig. údaj
sezóna 2011/2012							
28. 12. 2011		2			2	A. Gresch	orig. údaj
10. 2. 2012	3	1			4	A. Gresch	orig. údaj
15. 4. 2012	1				1	A. Gresch	orig. údaj
sezóna 2012/2013							
13. 1. 2013	3	3			6	A. Gresch	orig. údaj
12. 5. 2013	1				1	A. Gresch	orig. údaj
sezóna 2013/2014							
30. 11. 2013	2	7			9	A. Gresch	orig. údaj
14. 2. 2014	1	4			5	A. Gresch	orig. údaj
sezóna 2014/2015							
22. 3. 2015	1	1			2	A. Gresch	orig. údaj
5. 4. 2015	3				3	A. Gresch	orig. údaj
sezóna 2015/2016							
15. 12. 2015	1	5			6	A. Gresch, Z. Višňovská	orig. údaj
3. 3. 2016	3	8			11	Z. Višňovská	orig. údaj
Spolu / Total	19	37	2	2	60		
Dominancia (%)	31,7	61,7	3,3	3,3	100%		

Literatúra

- BELLA, P. – LITVA, J. – PRUNER, P. – GAÁL, Ľ. – BOSÁK, P. – HAVIAROVÁ, D. 2014. Malužinská jaskyňa v severovýchodnej časti Nízkych Tatier: freatická speleogenéza spôsobená vodami vystupujúcimi pozdĺž zlomovej zóny. *Slovenský kras*, 52, 2, 111–126.
- DROPPA, A. 1976. Výskum jaskýň v doline Bocianky. *Slovenský kras*, 14, 167–172.
- GRESCH, A. 2002. Zimovská netopierov v Nízkych Tatrách. *Vesperilio*, 6, 137–142.
- GULIČKA, J. 1975. Fauna slovenských jaskýň. *Slovenský kras*, 13, 37–85.
- HOCHMUTH, Z. – VOZÁRIK, P. 1987. Geomorfologický výskum zadných častí Malužinskej jaskyne. *Slovenský kras*, 25, 183–187.
- KOŠEL, V. 2009. Subteránna fauna Západných Karpát. Akadémie vied České republiky, České Budějovice, 203 s.
- KOVÁČ, L. – ELHOTTOVÁ, D. – MOCK, A. – NOVÁKOVÁ, A. – KRISTÚFEK, V. – CHROŇÁKOVÁ, A. – LUKEŠOVÁ, A. – MULEC, J. – KOŠEL, V. – PAPAČ, V. – ĽUPTÁČIK, P. – UHRIN, M. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – HUDEC, I. – GAÁL, Ľ. – BELLA, P. 2014. Jaskynná biota Slovenska. Štátna ochrana prírody, Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 192 s.
- KOVÁČ, L. – HUDEC, I. – ĽUPTÁČIK, P. – MOCK, A. 2001. Demänovské jaskyne – biospeleologická lokalita európskeho významu. *Aragonit*, 6, 25–28.
- KOVÁČ, L. – HUDEC, I. – ĽUPTÁČIK, P. – MOCK, A. – KOŠEL, V. – FENĎA, P. 2002. Spoločenstvá kavernikolných článkonožcov (Arthropoda) Demänovských jaskýň. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 14. – 16. 11. 2001. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 155–164.
- KOVÁČ, L. – MOCK, A. – ĽUPTÁČIK, P. – HUDEC, I. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – SVATOŇ, J. – KOŠEL, V. 2003. Bezstavovce Harmaneckej jaskyne (Veľká Fatra). *Aragonit*, 8, 31–34.
- KOVÁČ, L. – MOCK, A. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – ĽUPTÁČIK, P. 2008. Spoločenstvá fauny Brestovskej jaskyne (Západné Tatry). *Slovenský kras*, Liptovský Mikuláš, 46, suppl. 1, 97–110.
- KOVÁČ, L. – HUDEC, I. – ĽUPTÁČIK, P. – PARIMUCHOVÁ, A. – HUDEC, I. – KOŠEL, V. – FENĎA, P. – JÁSZAY, T. 2015. Výskum spoločenstiev bezstavovcov v piatich jaskyniach Slovenska. Odborná správa z výskumu. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika, Košice, 50 s.
- LEHOTSKÁ, B. (Ed.) 2002. Zimné sčítanie netopierov na Slovensku 2001/2002. Interný materiál Skupiny pre ochranu netopierov, Revúca, 20 s.
- LEHOTSKÁ, B. (Ed.) 2003. Zimné sčítanie netopierov na Slovensku 2002/2003. Interný materiál Skupiny pre ochranu netopierov, Revúca, 24 s.
- MOCK, A. – KOVÁČ, L. – ĽUPTÁČIK, P. – KOŠEL, V. – HUDEC, I. – FENĎA, P. 2002. Bezstavovce Važeckej jaskyne a vyvieracky Teplica (Kozie chrbty). *Aragonit*, 7, 30–32.
- MOCK, A. – KOVÁČ, L. – ĽUPTÁČIK, P. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – HUDEC, I. – KOŠEL, V. 2003. Bezstavovce Bystrianskej jaskyne (Horehrónské podolie). *Aragonit*, 8, 35–38.
- MOCK, A. – KOVÁČ, L. – ĽUPTÁČIK, P. – MLEJNEK, R. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – KOŠEL, V. – FENĎA, P. 2004. Kavernikolné článkonožce (Arthropoda) Važeckého krasu. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 145–154.
- NOSEK, J. 1963. Zwei neue Collembolen arten aus den Karpathen. *Zoologischer Anzeiger*, 170, 76–80.
- PAPAČ, V. – KOVÁČ, L. 2013. Four new troglotibiotic species of the genus *Megalothorax* Willem, 1900 (*Collembola*: Neelipleona) from the Carpathian Mountains (Slovakia, Romania). *Zootaxa* 3737, 5, 545–575.
- PIPAN, T. 2005. Epikarst – a promising habitat. *Carsologica* 5, Postojna – Ljubljana, 1–101.
- RUSEK, J. 1961. Eine neue Collembolen art aus den slovakischen Höhlen. *Beiträge zur Entomologie*, 11, 1/2, 21–23.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. – BARLOG, M. 2009. Príspevok k poznaniu fauny pseudokrasovej jaskyne pod Jankovcom 2 v Levočských vrchoch. *Aragonit*, 14, 1, 63–66.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. – PAPAČ, V. 2010. Fauna vodných biotopov Belianskej jaskyne. *Slovenský kras*, 48, 1, 59–82.
- VIŠŇOVSKÁ, Z. – JÁSZAY, T. 2010. O náleze chrobáka *Pseudanophthalmus pilosellus stobieckii* (Coleoptera, Carabidae) v Belianskej jaskyni. *Aragonit*, 15, 1, 37–38.

NOVÉ ZAMERANIE PREHLIADKOVÉHO OKRUHU DEMÄNOVSKEJ JASKYNE MIERU A NADVÄZUJÚCICH ČASTÍ DEMÄNOVSKEJ JASKYNE SLOBODY

Pavel Herich

Celkovo sa v rokoch 2014 a 2015 uskutočnilo 32 akcií v teréne, ktorých výsledkom je precízne zameranie železobetónovým chodníkom sprístupnenej trasy južných častí Demänovskej jaskyne mieru, Suchej chodby, Veľkého domu a Mramorového riečišťa Demänovskej jaskyne slobody (Chrám slobody) a blízkeho okolia. Celková dĺžka zamieraného polygónu zarátaného do dĺžky jaskyne dosahuje 4876 m, na určenie presnej polohy obrysov stien a výraznejších prvkov výplní jaskynných priestorov bolo použitých celkovo až 7411 pomocných bodov/zámer.

PREDCHÁDZAJÚCE MERANIA V DEMÄNOVSKEJ JASKYNI MIERU A DEMÄNOVSKEJ JASKYNI SLOBODY

Po objave Demänovskej jaskyne mieru (DJM) v januári roku 1952 sa (nie však bez problémov) začali meračské dokumentačné práce, ktorých výsledky spracoval do prvej mapy jaskyne A. Droppa (Droppa, 1957). Rozsiahly labyrint jaskyne bol zachytený len čiastočne, v podobe mapy hlavných chodieb v hrubých obrysoch s nezameranými, len odhadom zakreslenými niektorými vedľajšími vetvami. V publikácii Demänovské jaskyne

(1957) sa uvádzala dĺžka jaskyne 3868 m. Ďalšie doplňujúce merania prebiehali až o viac než 20 rokov neskôr, keď dvojica A. Chovan a M. Sýkora v rokoch 1965 – 1967 vyhotovila poľné náčrty niekoľkých fragmentov jaskyne (Herich, 2012). Nikdy však nebola publikovaná mapa, hoci A. Droppa v texte z roku 1972 tieto merania k dĺžke jaskyne prirátal, spolu s Demänovskou ľadovou jaskyňou dosahovala dĺžku 8500 m. Azda aj pre istú nedôveru k údajom A. Droppu, ktorá sa napokon ukázala ako neodôvodnená, sa počas 80. až začiatkom 90. rokov pod vedením banského merača D. Dika realizovali presné teodolické merania v jaskyni (ale i v celom Demänovskom jaskynnom systéme). Vznikla takto mapa zobrazujúca polygón a schematické obrysy stien jaskyne (Herich, 2012). Napokon v rokoch 1999 – 2001 sa pod vedením P. Holúbeka podarilo domerať väčšinu chýbajúcich vedľajších chodieb a labyrintov s celkovou dĺžkou presahujúcou 8 km (Holúbek, 2002). Po roku 2012 P. Herich so spolupracovníkmi zamerali niektoré zvyšné chodby a spolu s novoobjavenými a zdokumentovanými Sieňami pod dolinkou tieto merania presiahli 1 km (Herich a Kubičina, 2015).

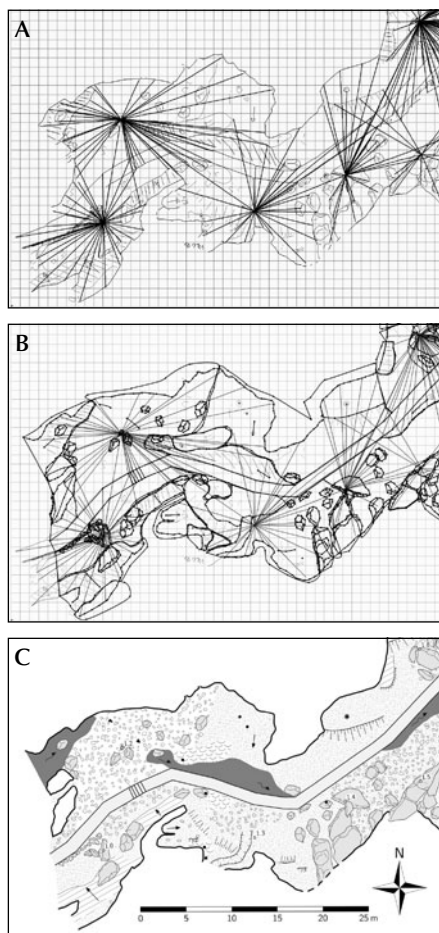
V Demänovskej jaskyni slobody (DJS) bola situácia obdobná, prvé merania (po ob-

jave v roku 1921) viedol V. Adámek a J. Belza koncom roku 1922 a začiatkom 1923 (Lalkovič, 1987). Neskôr, okolo roku 1927, zameriaval rozsiahle časti jaskyne E. Paloncy; na základe týchto prác bol aj prekopyaný horný vchod do jaskyne. Začiatkom 50. rokov A. Droppa na základe vlastných a meraní svojich spolupracovníkov (medzi ktorými vynikal Ľ. Šlauka) zostavil prvú komplexnú mapu jaskyne. Ďalšie doplňujúce merania viedli až A. Chovan a M. Sýkora v roku 1967. V rokoch 1973 – 1979 bol pod vedením J. Sýkora zameraný prehliadkový okruh Demänovskej jaskyne slobody a časti Demänovskej jaskyne mieru v súvislosti so sprístupňovacími prácami. V osemdesiatych rokoch kolektív P. Hericha st. zameriaval Spojovaciu chodbu a Zabudnutú chodbu, výsledky neboli publikované a upadli do zabudnutia. Časti zóny objavného ponoru a Vodnej cesty patriace Demänovskej jaskyni slobody, demänovskými jaskyniarimi objavené priestory nad Veľkým domom (Hochmuth – Mitter, 1990) a prepojenie DJS s DJM boli zamerané kolektívom Z. Hochmutha počas druhej polovice 80. rokov (Hochmuth, 1988). J. Zapletal zamerl a nakreslil mapu väčšej časti Pekelného sífónu v roku 1990 (archív Jaskyniarskeho klubu Demänovská Dolina). V. Voclon (1991) publikoval mapu spojenia Údolnej

jaskyne, Jaskyne pod útesom a časti zóny objavného ponoru Demänovskej jaskyne slobody. V rokoch 2000 – 2006 P. Holúbek a kolektív zamerali niekoľko chodieb v Demänovskej jaskyni slobody s celkovou dĺžkou vyše 1 km – opätovne premeraná Zabudnutá chodba (Holúbek a Bella, 2000), „stará“ Brichtova sieň (Bella et al., 2000), Jaskyňa č. 15 (Holúbek a Staník, 2008) a časti zóny objavného ponoru, Gombitove siene (Holúbek a Staník, 2006) – a pod vedením Ľ. Holíka boli zamerané 0,5 km dlhé nové objavy za Brichtovou sieňou (v roku 2005, nedokončené). Od roku 2012 P. Herich so spolupracovníkmi zamerlal na mnohých miestach Demänovskej jaskyne slobody celkovo 3 km jaskynných priestorov (bez nových meraní nižšie). Autor príspevku od roku 2009 tiež intenzívne pracoval na celkovej digitalizácii všetkých spomenutých meraní a zostavil novú, komplexnú mapu Demänovských jaskýň, z ktorej sme vychádzali pri ďalších prácach.

NOVÁ MAPA SPRÍSTUPNENÝCH ČASTÍ DEMÄNOVSKEJ JASKYNE MIERU A PRÍLAHLEJ ČASTI DEMÄNOVSKEJ JASKYNE SLOBODY

V roku 1970 sa sprístupňovacie práce začali dvomi prerážkami (Vyvieranie a Mramorové riečisko), ktoré pokračovali výstavbou železobetónových chodníkov, prerážkou DJM – DJS a čiastočným vybudovaním zábradlí a pod. až do roku 1991. Avšak pre nevhodne

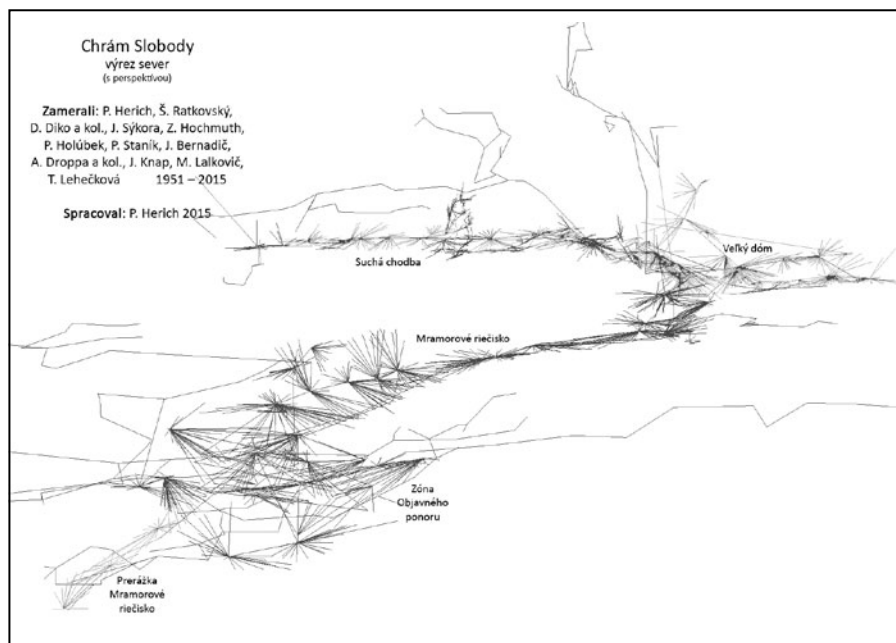


Obr. 1. Postup kreslenia mapy: A – poľný náčrt v PDA, B – obkresľovanie rastrového obrázka v Therrione, C – výsledná vektorová mapa; autor P. Herich

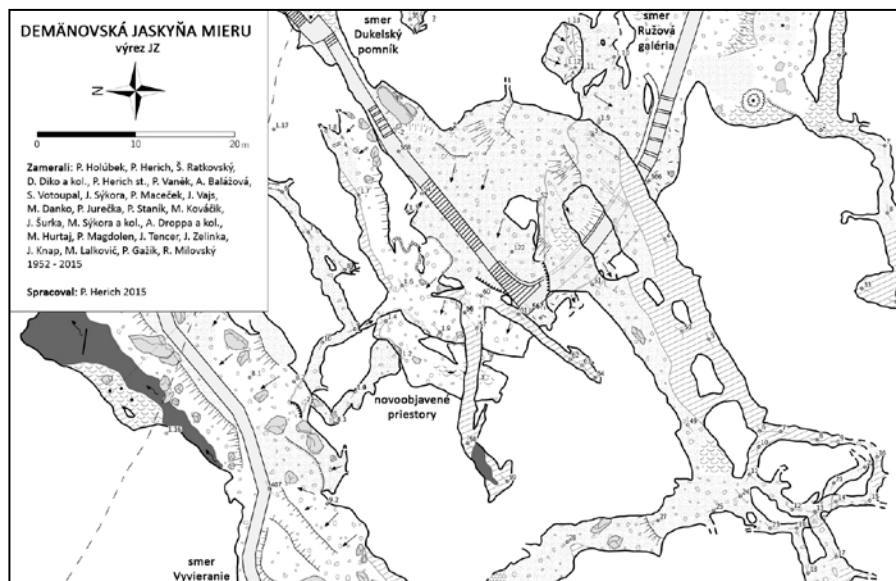
navrhnutý, pri viacerých častiach chýbajúci projekt a nedodržanie predpísaných stavebných postupov boli sprístupnené priestory i širšie okolie značne znečistené či zdevastované (napr. používaním výbušnín, ukladaním autochtónneho materiálu, ako aj stavebného odpadu do rozličných častí jaskyne atď.) (archív SSJ 40/21, 1991). Estetická (i spoločenská) hodnota jaskyne dramaticky poklesla, čoho dôkazom bola aj snaha o neskoršiu revitalizáciu jaskyne (Katuščák, 1992).

Potreba novej, presnej a podrobnej mapy odrážala nevyhnutnosť zanesenia a kvantifikovania negatívnych zásahov do priestoru jaskyne. Vzorovo sme využili potenciál meračskej sústavy DistoX a PDA s programom Pocket-Topo, keď za pomoci tisícov pomocných zámery, kresliac poľný náčrt priamo na display vreckového počítača (PDA), ktorý zobrazoval namerané dáta, sme zaznamenávali každý výraznejší prvok jaskynnej výplne či obrysu stien (obr. 1).

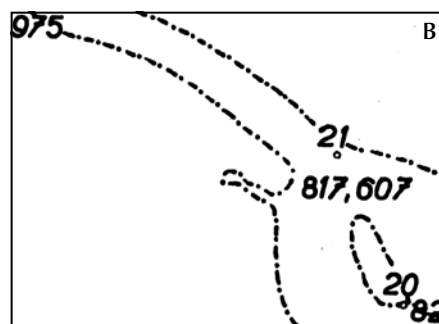
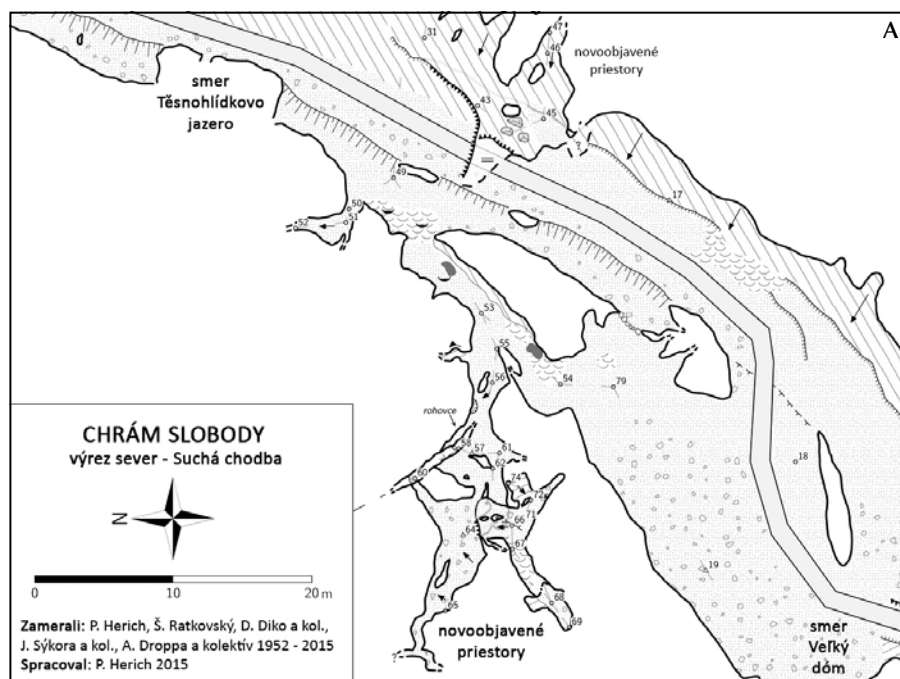
Ako podklady pre nové mapové dielo slúžili práce starších autorov (D. Dika a kol., J. Sýkora a kol.), ktorých najmä presné polygónové ťahy zamerané pomocou teodolitu tvoria hlavný polygón mapy. Vychádzali sme z už zdigitalizovaných dát v predchádzajúcom období, čo bolo veľkým prínosom aj pri orientácii v jaskyni (existujúce mapy neobsahovali takmer žiadne informácie o výplniach či iných orientačných bodoch) a hľadani jednotlivých meračských bodov ako východísk pre pomocné ťahy. Sledujúc hlavný teodolitický ťah, pomocné zámery i celé refazce polygónov slúžili na to, aby bolo možné meraním určiť obrisy stien, ohraničenia rôznorodých plôch či výšky priestorov. Vzhľadom na často značné rozmery chodieb (pravidelne 20 – 30 m šírky aj výšky) a ich členitosť sa nezriedka merali dva, prípadne i tri polygónové ťahy paralelne vedľa seba. Ich dĺžka však pochopiteľne nie je uvedená v dĺžke jaskyne. Celkovo sa mapa časti prehľadkového



Obr. 2. 3D zobrazenie polygónov, kombinácia starších (jednoduchý polygón) a nových meraní obsahujúcich pomocné zámery



Obr. 3. Mapa časti Demänovskej jaskyne mieru za Dukelským pomníkom



Obr. 4. Mapa časti Suchej chodby v Demänovskej jaskyni slobody: A – nová mapa, B – mapa A. Droppa z roku 1951

Je výsledkom práce viacerých generácií jaskyniarov. Na meračských prácach sa od roku 1951 podieľali najmä: A. Droppa, S. Šrol, P. Droppa, A. Chovan, M. Sýkora a ďalší; D. Diko, handlovskí a demänovskí jaskyniari; J. Sýkora, J. Knap, M. Lalkovič, Z. Hochmuth; P. Holúbek, Š. Ratkovský, P. Vaněk, A. Balážová, S. Votoupal, P. Maceček, J. Vajs, M. Danko, P. Jurečka, P. Staník, M. Kováčik, J. Šurka, L. Kubičina, J. Bernadič, M. Hurtaj, P. Magdolen, J. Tencer, J. Zelinka, T. Lehečková, P. Gažík, R. Milovský, P. Herich a mnohí ďalší.

MAPOVANIE NEGATÍVNYCH ZÁSAHOV

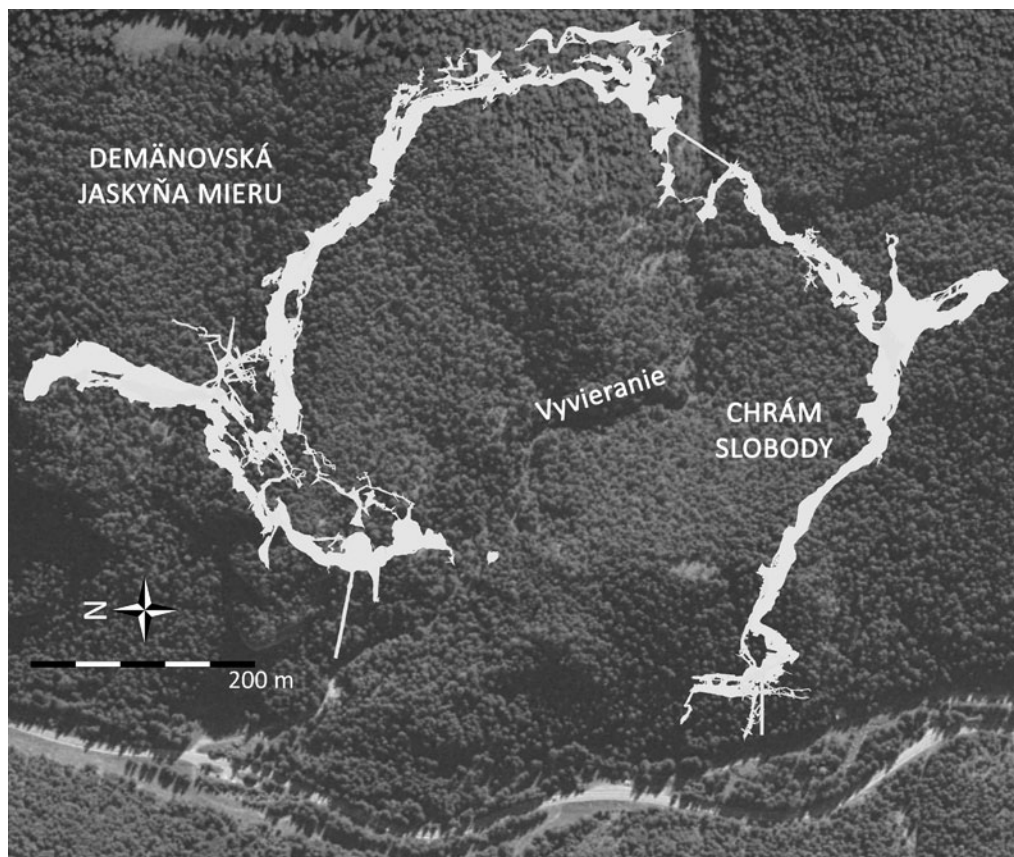
Pri sprístupňovaní (neplatí pre sprístupňovacie práce v Chráme slobody v prvej polovici 20. storočia, ktoré sa vykonali vzorne, pod dozorom napr. svetoznámeho architekta D. Jurkoviča) boli obe jaskyne zasiahnuté veľmi nešeterným spôsobom a našou snahou bolo pokúsiť sa tieto zásahy zmapovať, kvantifikovať a navrhnúť spôsob ich odstránenia, resp. pripraviť takýto podklad pre odborného projektanta. Zoznam obsahuje 325 položiek, opisujúcich presnú polohu a situáciu s určenou prioritou (od najvyššej 1 po 3), návrh riešenia a odhad plochy či objemu prác (obr. 6).

Pri spisovaní zásahov sme vychádzali z idey o pôvodnom stave jaskyne, t. j. pred príchodom človeka. Preto v zozname sa nachádzajú aj autochtónnym materiálom, no vplyvom človeka znečistené sintrové náteky, jazierka či povrchy sedimentov s priradenou strednou prioritou. Znečistenie stien, stropov i dna jaskynných chodieb po odstreloch výbušnín (na ktoré nikdy nebolo vydané povolenie) si vyžaduje bezodkladný zásah (zastavený rast sintrových povlakov, stalaktitov a pod.), čo bude pomerne náročné. Takisto sa domnievame, že pokiaľ to bude možné, všetok materiál po odstreloch vrátane materiálu pochádzajúceho z prerážky medzi Demänovskou jaskyňou slobody a Demänovskou jaskyňou mieru by sa mal vyniesť na povrch tak, ako to (v prípade prerážky) bolo pôvodne plánované (Archív SSJ 40/21 1991).

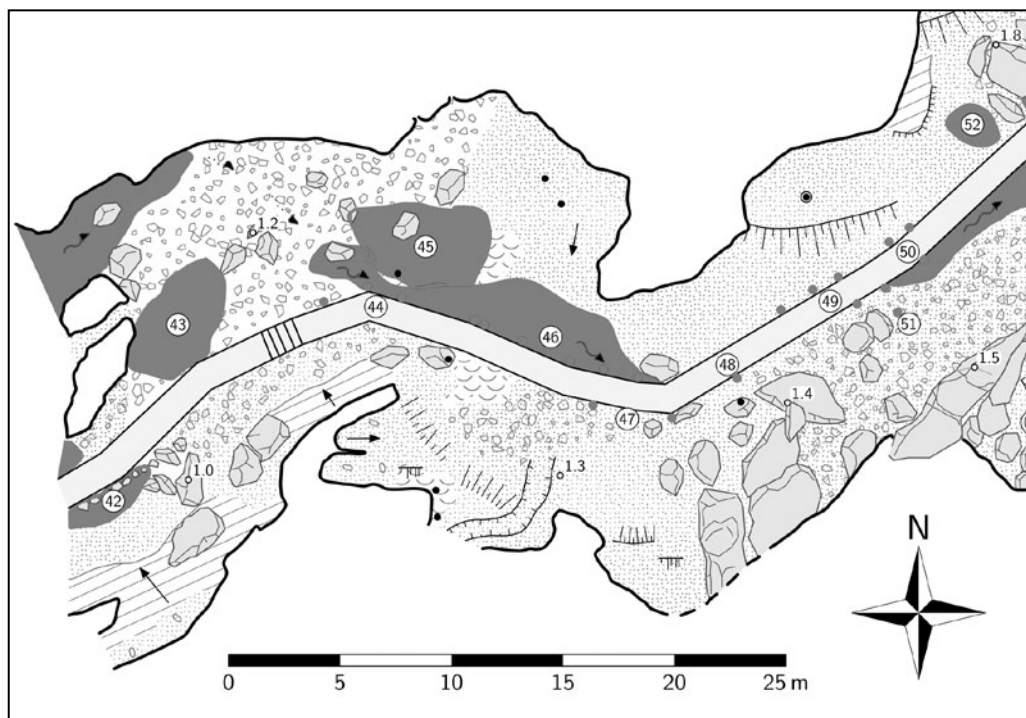
okruhu Demänovskej jaskyne mieru zakladá na 4838 polygónových ťahoch a pomocných zámerách, v Demänovskej jaskyni slobody sa použilo 2537 ťahov (obr. 2). Počas 32 akcií v teréne sme podrobne preskúmali príslušné priestory prehliadkovej trasy a tiež na troch miestach v Demänovskej jaskyni mieru (40 m) (obr. 3) a Demänovskej jaskyni slobody (73 m a 15 m) (obr. 4) našli dosiaľ nikdy nenavštievené chodby.

Po spracovaní nameraných údajov a vykreslení vektorovej mapy v programe Theion (cca 40 pracovných dní) boli pripojené

k výslednej mape aj v rokoch 2010 – 2013 zdigitalizované merania kolektívu P. Holúbeka z rokov 1999 – 2000. K nami zameranej dĺžke polygónov (zarátaných do dĺžky jaskyne) 4876 m bolo priradených 2285 m jaskynných priestorov, spolu s ktorými výsledná mapa „Demänovská jaskyňa mieru a Chrám slobody (nový prehliadkový okruh)“ tvorí jeden celok s dĺžkou 7161 m a deniveláciou 77 m (obr. 5). Jej kompilačná mierka bola stanovená na 1 : 300, ktorá je dostatočne podrobná na zobrazenie všetkých žiadaných detailov jaskyne, celkové rozmery mapy sú 296 × 217 cm.



Obr. 5. Sprístupnený okruh Demänovskej jaskyne mieru a nadväzujúcich častí Demänovskej jaskyne slobody



číslo	typ	opis	objem, plocha	pr.	opatrenie	a. pr.	opatrenie
42	P	nasypaný piesok a bloky	5 × 1,5 × 0,5 m	2	presun do zárezu		
43	P	znečistená plocha	10 m ²	2	drobná úprava		
44	B	pätky	3 ks	2	úprava		
45	P	znečistené sintrové plochy	3 × 15 m ²	1	čistenie wapkou		
46	B	vytrčajúce pätky	6 ks	1	odpílenie, demontáž, premostenie		
47	B	vytrčajúca pätky	2 ks	1	odpílenie, odstránenie		
48	B	vytrčajúca pätky	1 ks	1	odpílenie, demontáž, premostenie		
49	B	vytrčajúce pätky	5 ks	2	úprava		
50	B	vytrčajúce pätky	3 ks	1	odpílenie, demontáž, premostenie		
51	B	nápis (červený)	1 ks	1	odstránenie		
52	P	nasypaný štrk, piesok	1,5 × 1 × 0,5 m	2	presun do zárezu	3	vynáška

Typ: bod (B), línia (L), plocha (P)
 Priorita (pr.), alternatívna priorita (a. pr.): 1 (nevyhnutné), 2 (potrebné), 3 (blízko pôvodného stavu)

Obr. 6. Výrez mapy antropogénnych zásahov; autor P. Herich

ZÁVER

Konštatujeme, že napokon až v rokoch 2014 – 2015 bol naplnený prvý bod Doporučenia z Posúdenia predsedu Obvodného banského úradu Košice Jozefa Romana z 23. 10. 1991: „Pred postupom ďalších prác podrobne meračsky zdokumentovať realizované práce s presnou lokalizáciou a špecifikáciou nedostatkov.“ Veríme, že tým sme posunuli veci vpred a pripravovaný nadväzujúci projekt Správy slovenských jaskýň zabezpečí financovanie nápravy tohto nepodareného diela ľudských rúk. Jaskyňa už nikdy nebude vyzeráť tak, ako ju videli prví objavitelia v slabom svetle karbidiek či generácie jaskyniarov po nich, ktorí sa z úcty pred nevšednou krásou pri prechode jaskyňou zo zablatených číziem vyzúvali. Napokon niektorí z nich boli svedkami, ako na tých istých miestach odrazu, aj napriek ich protestom, vyrástla predimenzovaná, mohutná železobetónová konštrukcia chodníka, ktorej sa museli „uhnúť“ aj tie najkrajšie prírodné formy – práve tie, ktoré lákajú človeka navštíviť svet podzemia. Vytlačil ich chodník, ktorým ani po 45 rokoch od začiatku prác ešte žiadny návštevník neprešiel. Dnes však veríme, že riešenie sa pomaly blíži, že sme k nemu svojím dielom prispeli a jaskyňa bude čoskoro, po aspoň čiastočnej náprave, sprístupnená a jej prostredníctvom bude možné inšpirovať a vzdelávať návštevníkov k pochopeniu prírodných hodnôt a našej zodpovednosti za činy, ktoré sa nedajú vrátiť späť.

Literatúra

- Archívne materiály SMOPaJ Liptovský Mikuláš, P. Herich st., Jaskyniarsky klub Demänovská Dolina, www.speleodd.sk
- BELLA, P. – HAVIAROVÁ, D. – KOVÁČ, L. – LALKOVIČ, M. – SABOL, M. – SOJÁK, M. – STRUHÁR, V. – VIŠŇOVSKÁ, Z. – ŽELINKA, J. 2014. Jaskyne Demänovskej doliny – Ramsarská lokalita stredohorského alogénneho krasu Západných Karpát. *Speleologia Slovaca*, 4. ŠOP SR, SSJ, Liptovský Mikuláš, 200 s.
- BELLA, P. – HOLUBEK, P. – BERNARDOVIČ, F. 2000. Bočná prítoková chodba do riečiska v Demänovskej jaskyni slobody. *Aragonit*, 5, 9–12.
- DROPPA, A. 1957. Demänovské jaskyne – Krasové zjavy Demänovskej doliny. SAV, Bratislava, 289 s.
- DROPPA, A. 1972. Geomorfologické pomery Demänovskej doliny. *Slovenský kras*, 10, 9–46.
- HERICH, P. 2012. Poznámky k mapám jaskýň Demänovskej doliny. *Spravodaj SSS*, 43, 1, 46–52.
- HERICH, P. – KUBIČINA, L. 2015. Siene pod dolinkou – nové objavy v Jaskyni mieru. *Spravodaj SSS*, 46, 3, 14–21.
- HOCHMUTH, Z. 1988. Geomorfologický výskum a topografia Vodnej cesty medzi jaskyňami Vyvieranie a j. Slobody v Demänovskej doline. *Slovenský kras*, 26, 7–23.
- HOCHMUTH, Z. – MITTER, P. 1990. Prieskum vertikálnych častí Veľkého dómu v Demänovskej jaskyni slobody. *Slovenský kras*, 28, 3–8.
- HOLUBEK, P. 2002. Základná charakteristika priestorov Demänovskej jaskyne mieru zameraných speleologickým klubom Nicolaus, Liptovský Mikuláš. In Bella, P. (Ed.): *Zborník referátov z 3. vedeckej konferencie (Stará Lesná, 14. – 16. 11. 2001)*. SSJ, Liptovský Mikuláš, 215–224.
- HOLUBEK, P. – BELLA, P. 2000. Bočné chodby pri Pekelnom dome v Demänovskej jaskyni slobody. *Aragonit*, 5, 12–14.
- HOLUBEK, P. – STANIČ, P. 2006. Nové priestory v Gombitových sieňach Demänovskej jaskyne slobody. *Aragonit*, 11, s. 52.
- HOLUBEK, P. – STANIČ, P. 2008. Jaskyňa č. 15 – súčasť Demänovského jaskynného systému. *Aragonit*, 13, 1, 36.
- KATUŠČÁK, J. Projekt Jaskyňa mieru – Estetizácia, január 1992. *Archív SSJ Liptovský Mikuláš*, kat. č. 3.
- LALKOVIČ, M. 1987. Meranie a mapovanie jaskýň na Slovensku v rokoch 1919 – 1944. *Slovenský kras*, 25, 109–134.
- LUTONSKÝ, M. 1990. Tri roky meračských prác v jaskyni Mieru. *Spravodajca SSS*, 21, 1, 28–29.
- Správa o výsledku kontroly plnenia opatrení vydaných na odstránenie nedostatkov z previerky vykonanej v októbri 1991. *Archív SSJ Liptovský Mikuláš*, kat. č. 40/22.
- Správa o výsledku tematickej previerky v súvislosti s prehodnotením doterajšieho sprístupňovania Demänovskej jaskyne Mieru vykonanej v čase od 16. 10. do 23. 10. 1991. *Archív SSJ Liptovský Mikuláš*, kat. č. 40/20.
- VOCLON, V. 1990. Spojení jaskyne Slobody s jaskyňami Údolnou a Pod útesom. *Spravodajca SSS*, 21, 1, 11–12.
- Zoznam príloh k správe o výsledku tematickej previerky v súvislosti s prehodnotením doterajšieho sprístupňovania Demänovskej jaskyne Mieru vykonanej v čase od 16. 10. do 23. 10. 1991. *Archív SSJ Liptovský Mikuláš*, kat. č. 40/21.

PRAKTICKÁ STAROSTLIVOSŤ O JASKYNE V ROKOCH 2014 A 2015

Igor Balciar – Pavol Staník

UZATVÁRANIE A ČISTENIE JASKÝŇ

Keďže v posledných rokoch sa finančné prostriedky zo štátneho rozpočtu potrebné na ochranu jaskýň a krasových javov znižovali, pracovníci Odboru ochrany jaskýň Správy slovenských jaskýň (SSJ) v roku 2013 začali pripravovať projekt „Realizácia programov záchranu a programov starostlivosti o vybrané jaskyne“, ktorý bol spolufinancovaný z Európskeho fondu regionálneho rozvoja. Cieľom projektu bolo zabezpečenie realizácie programov záchranu na 48 lokalitách a programov starostlivosti na 5 lokalitách. Príprava projektu pozostávala zo zostavenia programov záchranu pre všetky plánované jaskyne. Zhodnotili sa doterajšie, ako aj navrhované opatrenia na odstránenie príčin ohrozenia, a to z pohľadu legislatívy, praktickej ochrany, následného monitoringu a environmentálnej výchovy a spolupráce s verejnosťou. Po schválení programov príslušnými obvodnými úradmi životného prostredia sa z dôvodu potreby udelenia predbežného súhlasu na verejnú súťaž Ministerstvom životného prostredia SR výrazne krátil čas na vlastnú realizáciu projektu. Po verejnom obstarávaní, do ktorého cenovo najnižšiu ponuku predložila spoločnosť Cavern, s. r. o., sa z pôvodnej predpokladanej dvojročnej doby plánovanej na realizáciu projektu čas skrátil na kritických 106 dní. V rámci uvedeného projektu bola v roku 2015 zrealizovaná starostlivosť o 48 lokalít z hľadiska ich uzatvorenia, vyčistenia a stabilizácie vstupných častí. Uzavreli sa inštalovali v 40 jaskyniach, čistenie prebehlo v 7 jaskyniach, stabilizovali sa vstupy 5 jaskýň.

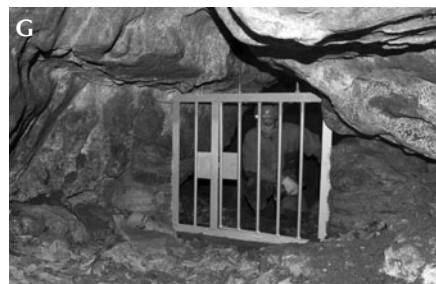
V roku 2014 bola uzatvorená Zbojníčková jaskyňa v Chtelníckom krase z dôvodu

ochrany netopierov a opravil sa poškodený uzáver jaskyne Dupná diera pri Slatinke nad Bebravou. V tejto lokalite sa zaznamenalo aj poškodenie kultúrnych vrstiev v sedimentoch a nelegálne archeologické vykopávky. Prípado bol nahlásený na Archeologický ústav SAV s požiadavkou záchranného archeologického výskumu a riešil sa zvýšenou speleologickou strážnou službou. Provizórne boli zrekonštruované uzavrely Čertovej a Hrušovskej jaskyne a vymenil sa uzáver medzi jaskyňou Domicia a Čertova diera. V rámci čistenia sa z priepasti Veľká Žomboj vytiahol uhytný jeleň.

SPELEOLOGICKÁ STRÁŽNA SLUŽBA

V roku 2015 bolo nahlásených niekoľko negatívnych zistení. Niekoľkokrát bol vylomený uzamykací systém v Čertovej jaskyni v k. ú. Tisovec. V tomto katastrálnom území bol tiež vylomený uzáver na jaskyni Teplica. Oba uzavrely sa však plánovali zrekonštruovať v rámci pripravovaného projektu a v súčasnosti sú už funkčné. Najzávažnejší prípad sa stal 6. 11. 2015, keď do Zvonivej diery na Plešivskej planine ilegálne (bez akéhokoľvek vedomia vlastníka povolenia na danú loka-

litu, ktorým je Speleoklub Drienka, a tiež Správy slovenských jaskýň a Národného parku Slovenský kras) vstúpila trojica občanov Maďarskej republiky. Pri zostupe 36-ročný B. G. porušil základné pravidlá bezpečnosti pri výkone jednolanej techniky, vypol istenie, zošmykol sa zo šikmej platne uprostred vstupnej studne a spadol z výšky zhruba 45 m. Privolaná Horská záchranná služba už mužovi nedokázala pomôcť, zranenia spôsobené



Jaskyne uzatvorené v rámci projektu Realizácia programov záchranu a programov starostlivosti o vybrané jaskyne: A – Modrovská jaskyňa, B – Aksamitka, C – Beckovská jaskyňa, D – Dúpnica, E – Javorinka, F – Javorová priepasť, G – Pokladová jaskyňa, H – Silvošova diera. Foto: P. Staník



Realizácia programov záchranu a starostlivosti o vybrané jaskyne, uzatváranie a čistenie jaskýň v roku 2015				
Jaskyňa	Orografický celok	Kataster	Kraj	Vykonané práce
Aksamitka	Pieniny	Halogovce	PO	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Beckovská jaskyňa	Považský Inovec	Beckov	TN	Odstránenie starého uzáveru, výroba a osadenie nového uzáveru.
Čertova jaskyňa	Muránska planina	Tisovec	BB	Odstránenie starého uzáveru, výroba a osadenie nového uzáveru.
Dúpnica	Západné Tatry	Liptovské Matiašovce	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Gemerskoteplická jaskyňa	Slovenský kras	Jelšavská Teplica	BB	Odstránenie starého uzáveru, výroba a osadenie nového uzáveru.
Halašova jama	Nízke Tatry	Bystrá	BB	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Haraska	Nízke Tatry	Liptovský Ján	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Hlboká jaskyňa	Horehronské podolie	Valaská	BB	Výroba a osadenie nového uzáveru, vyčistenie jaskyne.
Chvalovská jaskyňa	Revúcka vrchovina	Chvalová	BB	Vyčistenie jaskyne, výroba a osadenie dvoch uzáverov, archeologický výskum.
Jaskyňa netopierov	Muránska planina	Tisovec	BB	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Jaskyňa studeného vetra	Nízke Tatry	Liptovský Ján	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Jaskyňa v Priepdlách	Podtatranská kotlina	Važec	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru, vyčistenie jaskyne.
Javorinka a Nádejná jaskyňa	Vysoké Tatry	Tatranská Javorina	PO	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Javorová priepať	Nízke Tatry	Liptovský Ján	ZA	Rekonštrukcia uzáveru, stabilizácia vchodu pred zavalením.
Jelenecká jaskyňa	Veľká Fatra	Staré Hory	BB	Odstránenie starého uzáveru, výroba a osadenie nového uzáveru.
Kamenná diera	Juhoslovenská kotlina	Gemerská Ves	BB	Vyčistenie jaskyne, odstránenie závalu vo vchode, archeologický výskum.
Kolíňanská čertova diera	Tribeč	Kolíňany	NR	Vyčistenie jaskyne.
Kostolík	Muránska planina	Tisovec	BB	Rekonštrukcia uzáveru jaskyne.
Krásnohorská jaskyňa	Slovenský kras	Krásnohorská Dlhá Lúka	KE	Rekonštrukcia uzáveru jaskyne a vstupnej štôlne.
Malužinská jaskyňa	Nízke Tatry	Malužiná	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Mara medvedia jaskyňa	Revúcka vrchovina	Divín	BB	Odstránenie závalu vo vchode, úprava vchodu.
Marciho diera	Slovenský kras	Bôrka	KE	Odstránenie starého uzáveru, výroba a osadenie nového uzáveru.
Michňová	Muránska planina	Tisovec	BB	Rekonštrukcia uzáveru.
Modrovská jaskyňa	Považský Inovec	Modrová	TN	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Morské oko	Rimavská kotlina	Tornaľa	BB	Vyčistenie zatopenej priepasti od sedimentu.
Mošnická jaskyňa	Nízke Tatry	Lazisko	ZA	Rekonštrukcia uzáveru jaskyne.
Pokladová jaskyňa	Malá Fatra	Kamenná Poruba	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Ponická jaskyňa	Zvolenská kotlina	Poniky	BB	Výroba a osadenie dvoch uzáverov, stabilizácia vchodu osadením skruží.
Ponorová jaskyňa	Slovenský kras	Gemerská Hôrka	KE	Výroba a osadenie nového uzáveru, vyčistenie jaskyne.
Priepať IP (nad Drienovskou)	Slovenský kras	Drienovec	KE	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Priepať pod Ostrou	Veľká Fatra	Blatnica	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Prosiecka jaskyňa (Jaskyňa pod Vrátnami 3)	Chočské vrchy	Prosiek	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Pustá j. vchod Machnaté	Nízke Tatry	Demänovská Dolina	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru, stabilizácia vchodu pred zavalením.
Silická kvapľová jaskyňa	Slovenský kras	Silica	KE	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Silvošova diera	Nízke Tatry	Liptovská Porúbka	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Stanišovská jaskyňa	Nízke Tatry	Liptovský Ján	ZA	Odstránenie starého uzáveru, výroba a osadenie nového uzáveru.
Stará brzotínska jaskyňa	Slovenský kras	Brzotín	KE	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Stratenská jaskyňa	Spišsko-gemerský kras	Dobšiná	KE	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Suchá jaskyňa č. 2	Veľká Fatra	Belá	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Suchodolská jaskyňa	Muránska planina	Tisovec	BB	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Škarkétka	Nízke Tatry	Malužiná	ZA	Výroba a osadenie nového uzáveru, stabilizácia vchodu pred zavalením.
Štefanová 1	Nízke Tatry	Demänovská Dolina	ZA	Stabilizácia vchodu pred zavalením.
Štepnica	Malé Karpaty	Čachtice	TN	Výroba a osadenie nového uzáveru, stabilizácia vchodu pred zavalením.
Teplica	Muránska planina	Tisovec	BB	Rekonštrukcia uzáveru.
Závrtová priepať	Malé Karpaty	Horné Orešany	TT	Výroba a osadenie nového uzáveru.
Zdvojená priepať	Slovenský kras	Silica	KE	Vyčistenie jaskyne.
Zvislá jaskyňa na Žibrici	Tribeč	Žirany	NR	Výroba a osadenie nového uzáveru.

pádov boli nezlučiteľné so životom. Jeho telesné pozostatky transportovali na povrch a následne ich odovzdali príslušníkom policajného zboru a ošahujúcemu lekárovi. Pri vypočúvaní vysvitlo, že nešťastník nebol členom Maďarskej spoločnosti na výskum krasu a jaskýň (MKBT), chodil však po jaskyniach a ilegálne viackrát navštívil aj jaskyne Slovenského krasu. Jaskyne na území Slovenského krasu totiž od roku 2010, keď strážna činnosť prestala byť finančne podporovaná, zostali nechránené (na porovnanie: na území Aggteleckého národného parku vykonáva službu 16 profesionálnych strážcov, kým v Národnom parku Slovenský kras len štyria na povrchu, ale pre jaskyne prakticky nikto).

Ďalší ilegálny vstup sme zaznamenali do Národnej prírodnej pamiatky Aksamitka, ktorá je najväčšou jaskyňou Pienin a je významná najmä z archeologického a biospe-

leologického hľadiska. V rámci hore spomínaného projektu bol v jej vchode v letných mesiacoch inštalovaný pevný uzáver. Začiatkom decembra pracovníčka SSJ Zuzana Višňovská zistila poškodenie uzatváracieho mechanizmu na dverách uzáveru, a tým zneвозмоženie vstupu do jaskyne. Je potešiteľné, že dvere uzáveru a betónový múr vydržali atak vandalov a uzamykanie sa po malých úpravách podarilo obnoviť. Z hľadiska významnosti jaskyne sme uzatvorili dohodu s pracovníkmi Správy Pieninského národného parku o zvýšenej strážnej službe v jej okolí. Kontroly vchodu a priestorov jaskyne sa budeme snažiť zabezpečiť speleologickou strážnou službou, a to hlavne cez víkendy v čase turistickej sezóny.

Na jar pracovníci SSJ realizovali stopovaciu skúšku vody v Ponickom krase, medzi ponorovým závratom a Oraveckou vyvierac-

kou, pri ktorej sa zistila komunikácia biologického stopovača na báze bakteriofágov medzi lokalitami v čase 5 hodín. V novembri ponorový závrat zatiaľ neznámy páchatel' zaviezol domovým odpadom, čím výrazne narušil komunikáciu vôd Ponického podzemného hydrologického systému. Prípado bol nahlásený na políciu a je v štádiu riešenia. V Čachtickom krase je neustále vylamovaný uzáver jaskyne Hladový prameň, v ďalšom projektovom období máme v úmysle túto lokalitu vyčistiť od starých environmentálnych zátazí a uzáver upraviť tak, aby sa dal len ťažko vylomiť.

V súčasnosti speleologická strážna služba funguje iba na kolegiálnych vzťahoch medzi strážcami spomedzi členov Slovenskej speleologickej spoločnosti (bez finančnej podpory) a dvoma koordinátormi, ktorí sú zamestnancami Štátnej ochrany prírody SR.

AKO SME V DOMICI PRIVÍTALI PREZIDENTOV

Ludovít Gaál

Rok 2015 bol obdobím, keď sme si pripomenuli dvadsaťročný jubileum zapísania jaskýň Slovenského a Aggteleckého krasu do Zoznamu svetového kultúrneho a prírodného dedičstva UNESCO. Pri tejto príležitosti sme pred desiatimi rokmi uskutočnili slávnostné odovzdanie náučného centra Domica so stálou expozíciou a vnoveným areálom, ktorého sa vtedy zúčastnili aj ministri životného prostredia Slovenskej a Maďarskej republiky. Teraz sa k dvadsaťročnému jubileu pridalo aj 70. výročie založenia Organizácie Spojených národov pre výchovu, vedu a kultúru (UNESCO) a navyše Správa Aggteleckého národného parku si pripomína svoju tridsaťročnú existenciu. Bolo preto logické, že našu vedeckú konferenciu „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň“ – po desiatich rokoch tiež jubilejnú – sme tentoraz usporiadali v znamení uvedených významných udalostí spolu s partnerskými správami Aggteleckého národného parku a Národného parku Slovenský kras. Miestom konferencie sa tak stala historická budova radnice v Rožňave a bývalá sýpka Esterházyovského panstva v maďarskom Bódvaszilasi, v súčasnosti prebudovaná na Dom umenia v rámci Programu cezhraničnej spolupráce Slovensko – Maďarsko. Za prepožičanie priestorov rožňavskej radnice aj touto cestou ďakujeme primátorovi Pavlovi Burdigovi.

Na návrh maďarskej strany sme sa rozhodli na úvodný ceremoniál osláv pozvať aj prezidentov oboch štátov. Vychádzali sme z faktu, že ani jeden z relatívne nedávno zvolených prezidentov doteraz nenavštívil toto neobyčajne zaujímavé prírodné dedičstvo sveta. Za deň slávnostného otvorenia podujatia sa určil 22.



Prezidenti János Áder a Andrej Kiska vstupujú do objektu jaskyne Domica. Foto: P. Staník

september 2015 a za miesto Koncertná sieň jaskyne Baradla s následnou recepciou v Domici. Začiatok vedeckej konferencie sme naplánovali na druhý deň v Rožňave. O finančnú podporu sme požiadali Environmentálny fond Ministerstva životného prostredia SR, a to najmä na organizačné náklady, náklady na aktualizáciu náučného centra v Domici a na vydanie spoločnej publikácie o svetovom dedičstve.

Pozvanie pre prezidenta štátu, rovnako ako maďarská strana, sme poslali prostredníctvom Štátnej ochrany prírody SR na Ministerstvo životného prostredia SR ešte začiatkom roka. Oba prezidenti pozvanie prijali a Andrej Kiska prevzal koncom mája záštitu nad podujatím.

Okoľo obeda 22. septembra sa začali účastníci podujatia zhromažďovať vo vstupnom areáli jaskyne Baradla. V kruhu funkcionárov a bezpečnostných pracovníkov čoskoro pricestovali aj prezident oboch štátov. Andrej Kiska priletel helikoptérou, ktorá na návrh J. Zelinku pristála na futbalovom ihrisku pri Kečove. S maďarskou

delegáciou prišiel aj minister pôdohospodárstva Sándor Fazekas s kompetentným štátnym tajomníkom, ale minister životného prostredia SR na podujatí chýbal, zastupoval ho štátny tajomník Ján Ilavský. Okrem nich pozvaní boli aj vedúci pracovníci okresných úradov, Štátnej ochrany prírody SR, Slovenskej inšpekcie životného prostredia, starostovia dotknutých obcí, predstavitelia múzeí (Banické múzeum v Rožňave, Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši), Slovenskej speleologickej spoločnosti vrátane vedúcich skupín pôsobiacich na území Slovenského krasu, Správy jaskýň Českej republiky a zaslúžilí pracovníci, ktorí sa podieľali na príprave nomináčného projektu, najmä J. Klinda, J.

Tulis, J. Hlaváč, G. Stibrányi. Bohužiaľ, na podujatie nemohli pricestovať M. Rozložník, D. Macako, J. Jakál a M. Lalkovič. Vzácných hostí privítal riaditeľ Správy slovenských jaskýň Ján Zuskin a Správy Aggteleckého národného parku Balázs Veress. Prezidenti najskôr odhalili pamätný drevený stĺp svetového dedičstva v areáli jaskyne. O 13. hodine účastníci vstúpili do Koncertnej siene jaskyne Baradla. Po ich privítaní moderátorom slávnostný príhovor predniesol János Áder, prezident Maďarska, potom Andrej Kiska a za nimi riaditeľ Balázs Veress a Ján Zuskin. Prezidenti vyzdvihli aj význam výsledkov dvadsaťročnej práce odborných pracovníkov v prospech zachovania hodnôt svetového dedičstva. Nasledovala vážna hudba, sláčikový orchester predniesol skladbu od Z. Kodály Tance z Galanty. Dôstojnými príhovormi a orchestrom vytvorená atmosféra zanechali hlboký a nezabudnuteľný dojem v každom účastníkovi. Po koncerte si účastníci prezreli časť jaskyne Baradla a pripravenými autobusmi sa následne presunuli do Domice.



Slávnostný prejav riaditeľa Správy slovenských jaskýň RNDr. Jána Zuskina v jaskyni Baradla.
Foto: P. Staník

V Domici prezidentov, ministra a štátnych tajomníkov sprevádzal riaditeľ Správy slovenských jaskýň J. Zuskina, ostatných účastníkov P. Bella a L. Gaál. Na záver bola pre účastníkov vo vstupnom areáli pripravená recepcia. Rozhovory medzi účastníkmi, z ktorých mnohí sa stretli po dlhom čase, trvali do večerných hodín.

Celé podujatie vrátane konferencie s exkurziami, ktoré trvali až do piatka 25. 9. 2015, nakoniec dopadlo úspešne. Organizovanie podujatí s viacerými účinkujúcimi partnermi je vždy zložitejšie, no pokiaľ existuje dobrá vôľa u všetkých spolupracovníkov, šanca na úspešný koniec je väčšia. Posledný deň sa bez problémov uskutočnil aj obávaný prechod z Domice do Baradly cez polosifóny, ktorý sa rozhodlo absolvovať až 13 účastníkov. Nemalú zásluhu na tom mal sprievodca akcie Peter



Delegácia prezidentov v Domici pri Samsonových stĺpoch.
Foto: P. Staník

Papko zo speleoklubu Badizér. Zo Správy Aggteleckého národného parku treba za ústretový prístup vyzdvihnúť najmä Pétra Grubera, zástupcu riaditeľa. Každému, kto priložil pomocnú ruku k organizovaniu podujatia, patrí úprimná vďaka.

10. VEDECKÁ KONFERENCIA „VÝSKUM, VYUŽÍVANIE A OCHRANA JASKÝŇ“

Pavel Bella

Pri príležitosti 20. výročia zápisu jaskýň Slovenského a Aggteleckého krasu do svetového dedičstva Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň v Liptovskom Mikuláši a Správa Aggteleckého národného parku v Jósfaťó organizovali 10. vedeckú konferenciu „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň“, ktorá sa konala v dňoch 22. – 25. septembra 2015 v Rožňave a Bódvaszilasi. Jej hlavným cieľom bola prezentácia najnovších výsledkov výskumu, environmentálneho monitoringu a ochrany krasu a jaskýň v Slovenskom a Aggteleckom krase. Preto sa táto medzinárodná konferencia prezentovala aj pod názvom „Výskum a ochrana jaskýň Slovenského a Aggteleckého krasu“.

Na úvod konferencie odzneli dva referáty, v ktorých J. Klinda a J. Tardy zhodnotili význam zápisu jaskýň Slovenského a Aggteleckého krasu do zoznamu svetového dedičstva, ako aj samotnú prípravu, posudzovanie a schvaľovanie bilaterálneho slovensko-maďarského nominačného projektu. Obaja tieto činnosti iniciovali a koordinovali v rámci príslušných ministerstiev a zabezpečovali ďalšie úlohy súvisiace s úspešnou nomináciou.

Ďalší odborný program konferencie tvorilo 31 referátov a 10 posterov, ktoré sa z obsahového hľadiska týkali geológie a geomorfológie (9 referátov a 2 poster), hydroológie a hydrochémie (9 referátov a 1 poster), speleoklimatológie (3 referáty a 1 poster), bio-

speleológie a mikrobiológie (3 referáty a 3 poster), geoinformatiky, mapovania a dokumentácie jaskýň (3 referáty a 2 poster), využívania a ochrany krasu a jaskýň (2 referáty), ako aj histórie a archeológie (2 referáty).

Geológia a geomorfológia. Referáty podali prehľad geologických formácií jaskyne Baradla (O. Piros), tektonickej stavby jaskyne Baradla (L. Gaál), výsledky datovania alochtónnych fluviálnych sedimentov z jaskyne Domica a Dobšinskej ľadovej jaskyne pomocou kozmogénnych nuklidov a ich morfogenetickými a paleogeografickými implikáciami (P. Bella, R. Braucher, J. Holec, M. Veselský), nové výsledky paleomagnetického výskumu sedimentov v Ochtinskej aragonitovej jask-



Prednášky v hoteli Kras v Rožňave (A) a informačnom stredisku Aggteleckého národného parku v Bódvaszilasi (B). Foto: P. Bella



Úvodný výklad na exkurzii do jaskýň vo vrchu Esztramos. Foto: P. Bella



Posterové prezentácie v informačnom stredisku Aggteleckého národného parku v Bódvaszilási. Foto: P. Bella

kyni s ich speleogenetickou interpretáciou (P. Bosák, P. Pruner, P. Bella), výsledky analýz stabilných izotopov vody z inklúzií v stalagmitoch z jaskyne Baradla (L. Palcsu, Y. Dublyansky, I. Futó, A. Horváth), rekonštrukciu klimatického prechodu „posledný glaciál – holocén“ na základe vysokého rozlíšenia stabilných izotopov zaznamenaného z južného Slovenska (M. Gaşiorowski, H. Hercman, J. Pawlak, M. Gradziński, P. Bella, Š. Matoušková), poznatky o súčasnej tvorbe subakvatických sintrov vo vybraných jaskyniach Slovenského krasu (W. Wróblewski, M. Gradziński, J. Motyka, J. Stankovič), výsledky geofyzikálneho výskumu v krasovej oblasti Haragistya – Silica – Silická Brezová (I. Balázs, T. Mátrahalmi, A. Serfőző, M. Ambrus, P. Gruber, L. Gaál) a postupy odvodzovania morfometrických ukazovateľov závrtoch z digitálnych modelov terénu vytvorených z meraní diaľkového prieskumu LiDAR a kontúrových máp (T. Látos, T. Telbisz, M. Deák, B. Székely, Zs. Koma, T. Standovár). Postery sa zaoberali koróznymi jamkami vo vrchnojurských masívných vápencoch v Ojcówskom národnom parku v Poľsku (A. Gądek) a výskytom súčasných peľových zŕn v jaskyni Wierzychowska górna v Ojcówskom národnom parku (M. Łata).

Hydroológia a hydrochémia. Referáty prezentovali výsledky stopovacích skúšok v krasovej oblasti Haragistya – Silica – Silická Brezová (I. Balázs, P. Gruber, D. Haviarová, T. Mátrahalmi, A. Serfőző, M. Ambrus, L. Gaál), chemické zloženie a kvalitu vody vybraných jaskynných hydrologických systémov Silickej planiny (D. Haviarová, R. Flaková, Z. Ženišová, B. Šutarová), rozdiely v časových zmenách vybraných parametrov kvality vody na Jasovskej planine (A. Petrvalská, G. Koltai, L. Palcsu, V. Straková), prietokový a klimatický režim v povodí Styxu – jaskynný systém Domica-Baradla (Z. Hochmuth, A. Petrvalská), geochemické faktory vzniku a vývoja krasových javov v oblasti Havranej skaly v Malých Karpatoch (T. Láncoz, P. Filipčíková), výsledky analýz stabilných

izotopov a oxidu uhličitého v Jaskyni mieru (Béke-barlang) pri Jósvafő (Sz. Leél-Össy, Gy. Czuppon, A. Demény, J. Stieber, M. Óvári), spôsoby degradácie kvapľov v jaskyni Baradla (P. Gruber), narastanie prietoku v potokoch Zádielskej a Hájskej doliny v Slovenskom krase (P. Malík, F. Bottlik, M. Gregor, J. Michalko, A. Pažická, J. Kordík) a hydrochémia málo nasýtených kvapiek v Moravskom krase (P. Pracný, J. Faimon). Poster prezentoval „on-line“ meracie systémy kvality vody vybraných prameňov v Aggteleckom národnom parku (Z. Zsilák, Z. Kovács, K. Stoller, P. Gruber).

Biospeleológia a mikrobiológia. Referáty prezentovali výsledky výskumu terestrických a akvatických článkonožcov (Arthropoda) v jaskynnom systéme Domica-Baradla (A. Mock, L. Kováč, V. Papáč, P. Luptáčík, A. Parimuchová, L. Forró, D. Angyal, L. Dányi, G. Szél, G. Balázs, V. Košel, P. Fenda), mikroskopických

plesní v jaskynnom systéme Domica-Baradla (A. Nováková) a mikrobiálneho profilu jaskynných vôd Silickej planiny (M. Seman, B. Gaálová). Postery sa zamerali na populácie *Niphargus aggtelekiensis* Schiödte, 1849 (Crustacea: Amphipoda) v jaskyniach Aggteleckého krasu (G. Balázs, D. Angyal), kvantitatívnu a kvalitatívnu analýzu mikrobioty z jaskynného systému Domica-Baradla (B. Gaálová, M. Seman), spoločenstva článkonožcov z jaskýň planiny Galmus vo Volovských vrchoch (M. Melega, A. Mock, V. Čech) a podzemné prostredie ako potenciálny zdroj syndrómu bieleho nosa (WNS) pre populáciu netopierov (A. Nováková, A. Kubátová, T. Bartonička).

Speleoklimatológia. Referáty poukázali na príčiny a dôsledky koncentrácie oxidu uhličitého v Jaskyni mieru pri Jósvafő (J. Stieber, Sz. Leél-Össy), aplikáciu biometeorologických modelov pri analyzovaní vplyvu ľudských tiel na tepelnú bilanciu v jaskynnom prostredí (T. Sawiński, M. Korzystka-Muskała, J. Hebelka, J. Piasecki, J. Zelinka, P. Muskała) a ovplyvňovanie koncentrácií jaskynného oxidu uhličitého advektívnym transportom z epikrasu (M. Lang, J. Faimon). Témou posteru bola priestorová diferenciácia teploty vzduchu v spodných častiach Demänovskej ľadovej jaskyne (M. Korzystka-Muskała, T. Sawiński, J. Zelinka, P. Muskała, J. Piasecki).

Geoinformatika, mapovanie a dokumentácia jaskýň. Referáty sa zamerali na mapovanie jaskyne Domica využitím laserového skenovania (J. Hofierka, Z. Hochmuth, M. Gallay, J. Kaňuk, A. Petrvalská, D. Barabas), veľkomierkové mapovanie jaskyne Baradla na základe technológie trojdimenzionálneho laserového skenovania (S. Borzsák, Cs. Egri, J. Kisbán, G. Szunyogh) a webovú aplikáciu jednotného systému evidencie speleologických objektov (JESO) v Českej republike (O. Suldovska). Postery priblížili speleologický prieskum Slovenského krasu jaskyniarimi zo Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva a speleologického klubu Drienka od roku 1989 (G. Lešinský) a celkový počet preskúmaných jaskýň



Prehliadka jaskyne Rákóczi 1. Foto: P. Bella

a ich zaradenie do geomorfologických jednotiek Slovenského krasu (G. Lešínský, J. Psoška, P. Holúbek, I. Hlaváčková).

Využívanie a ochrana jaskýň. Referáty sa zaoberali antropogénnymi zmenami a záťažami v jaskynnom systéme Domice (Z. Hochmuth) a vplyvom krasu na sociálne podmienky na príklade Gemersko-turnianskeho krasu (T. Telbisz, Zs. Bottlik, L. Mari, A. Petrvalská).

História a archeológia. Referáty prezentovali nové výsledky archeologického výskumu v jaskyni Baradla (G. Rezi Kató) a nové poznatky o prehistorických uhoľných kresbách a stopách z fakiel v jaskyni Domica a ďalších jaskyniach na Slovensku (A. Šefčáková).

Abstrakty referátov a posterov (vrátane odhlásených, resp. neprednesených referátov) sú uverejnené v časopise Aragonit, číslo

20/1 z roku 2015. Na záver prednáškovej časti v Rožňave Cs. Egri premietol trojdimenzionálne audiovizuálne pásmo o jaskyniach svetového dedičstva.

Za prednáškovou časťou konferencie nasledovali exkurzie. Popoludňajšia exkurzia 24. septembra 2015 viedla do jaskýň vo vrchu Esztramos (Rákóczi 1 a ďalšie jaskyne objavené pri razení prieskumných štôlní). Počas celodennej exkurzie 25. septembra 2015 jedna skupina účastníkov si prezrela jaskyňu Baradla v úseku od Aggteleku po Jósfať, druhá skupina absolvovala prechod z jaskyne Domica do jaskyne Baradla.

Na konferencii bolo registrovaných 75 účastníkov, z toho 37 zo zahraničia (z Maďarska, Českej republiky a Poľska). Zahraniční účastníci zastupovali Maďarský geologický

a geofyzikálny ústav v Budapešti, Ústav nukleárneho výskumu Maďarskej akadémie vied v Debrecíne, Ústav geografie a vied o Zemi a Ústav biológie Prírodovedeckej fakulty Univerzity Eötvösa Loránda v Budapešti, Chemický ústav a Ústav environmentálneho inžinierstva Panónskej univerzity vo Veszpréme, Maďarské národné múzeum a Maďarské národné prírodovedné múzeum v Budapešti, Geologický ústav a Mikrobiologický ústav Akadémie vied Českej republiky v Prahe, Správu jaskýň Českej republiky v Průhoniciach, Ústav geologických vied Prírodovedeckej fakulty Masarykovej univerzity v Brne, Geologický ústav Jagielonskej univerzity v Krakove, Geologický ústav Poľskej akadémie vied vo Varšave a Ústav geografie a regionálneho rozvoja Vroclavskej univerzity.

NÁVŠTEVNOSŤ SPRÍSTUPNENÝCH JASKÝŇ NA SLOVENSKU V ROKU 2014

Jaskyne v prevádzke Správy slovenských jaskýň	Mesiac												SPOLU
	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október	November	December	
Belianska jaskyňa	4 018	4 790	2 939	3 440	9 944	13 141	26 221	29 694	8 845	0	0	0	103 032
Bystrianska jaskyňa	711	1 060	571	1 155	2 512	2 904	5 167	5 871	1 353	1 270	0	0	22 574
Demänovská jaskyňa slobody	6 950	6 286	3 969	4 919	9 858	11 973	22 540	27 179	6 674	7 164	2 415	1 334	111 261
Demänovská ľadová jaskyňa	0	0	0	0	2 741	8 372	23 874	29 915	5 867	0	0	0	70 769
Dobšinská ľadová jaskyňa	0	0	0	0	2 632	8 573	18 142	25 866	5 962	0	0	0	61 175
Domica	0	249	578	824	2 240	2 765	4 801	5 732	1 237	1 346	664	199	20 635
Driny	0	0	0	1 537	3 223	7 577	7 530	8 839	1 723	1 430	0	0	31 859
Gombasecká jaskyňa	0	0	0	799	932	1 351	2 063	2 739	474	497	0	0	8 855
Harmanecká jaskyňa	0	0	0	0	1 138	3 229	4 662	5 989	1 065	1 342	0	0	17 425
Jasovská jaskyňa	0	0	0	730	2 007	3 500	3 917	4 267	922	1 111	0	0	16 454
Ochtinská aragonitová jaskyňa	0	0	0	1 114	2 217	3 357	5 690	8 065	2 093	1 457	0	0	23 993
Važecká jaskyňa	0	467	729	686	1 688	1 838	4 460	4 782	1 056	1 401	1 057	0	18 164
SPOLU	11 679	12 852	8 786	15 204	41 132	68 580	129 067	158 938	37 271	17 018	4 136	1 533	506 196

Jaskyne v nájme od Správy slovenských jaskýň	Mesiac												SPOLU
	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október	November	December	
Bojnická hradná jaskyňa	3 537	3 306	4 558	8 925	25 310	32 967	25 410	33 609	9 997	6 914	3 504	4 360	162 397
Jaskyňa mŕtvych netopierov	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Krásnohorská jaskyňa	0	0	0	181	330	272	673	952	235	186	104	0	2 933
Malá Stanišovská jaskyňa	465	680	530	631	975	1 083	2 154	2 655	788	620	0	301	10 882
Morské oko	5	6	24	0	9	0	0	2	5	10	22	2	85
Zlá diera	0	0	0	67	266	511	487	560	157	194	106	0	2 348
SPOLU	4 007	3 992	5 112	9 804	26 890	34 833	28 724	37 778	11 182	7 924	3 736	4 663	178 645

Zdroj: SNM Múzeum Bojnice, M. Štéc, RNDr. J. Stankovič, Ing. P. Holúbek a R. Košč, MsÚ Tornaľa

PSEUDOKRASOVÉ SYMPÓZIUM V KUNČICIACH

Ludovít Gaál – Igor Balciar

Sympóziá o pseudokrase sa usporadúvajú v dvoj- až trojročných intervaloch od roku 1982, keď sa niekoľko nadšencov okolo Jirku Kopeckého rozhodlo zorganizovať stretnutie záujemcov o pseudokrasové jaskyne vo vtedajších československých Janovičkách u Broumova (v roku 2004 ôsme sympóziom usporiadala Správa slovenských jaskýň v Tepelom Vrchu na Slovensku). Terajšie 13. sympóziom sa konalo takisto v Česku, v horskom rekreačnom stredisku pri Kunčiciach pod Ondřejníkem v Moravsko-sliezskych Beskydách, v dňoch 16. – 19. septembra 2015. Hlavným organizátorom podujatia bola Katedra fyzickej geografie a geokológie Prírodovedeckej fakulty Ostravskej univerzity a speleoklub Českej speleologickej spoločnosti Orcus z Bohumína. Zo Správy slovenských jaskýň sa sympóziá zúčastnili autori tohto príspevku za veľmi neistých podmienok, pretože deň pred cestou ešte nevedeli, či dostanú súhlas ministerstva na zahraničnú cestu (podobná situácia nastala v roku 2013, keď súhlas na vycesto-

vanie na zasadnutie komisie pre pseudokras v rámci kongresu UIS účastníci dostali len vtedy, keď už boli takmer v Brne).

Dňa 16. septembra mal otvárací príhovor hlavný organizátor Jan Lenart, dekan Prírodovedeckej fakulty Jan Hradecký, predseda pseudokrasovej komisie Jan Urban, predseda Českej speleologickej spoločnosti Zdeněk Motyčka a starosta obce Kunčice Tomáš Hrubíš. Následne F. Jaskula predstavil CHKO Beskydy a J. Lenart geomorfologické pomery Moravsko-sliezskych Beskyd. Odzneli odborné referáty o gravitačne indukovaných jaskyniach Vonkajších Karpát (W. Margielewski a J. Urban), o pseudokrase Moravsko-sliezskych Beskyd (J. Lenart a J. Wagner) a o netopieroch rozsadlinových jaskýň v Beskydách (V. Škarpich a J. Wagner). Aj druhý deň patrilo prednáškam. Na úvod D. Kvita predstavil geopark Podbeskydsko, následne J. Urban, W. Gubała a W. Margielewski referovali o morfofenetickej a litologickej premenlivosti jaskýň v tiesňave Homole v Poľských Karpatoch, G. Szentes predniesol referát neprítomného I. Eszterhása o speleotémach v nekrasových jaskyniach, J. Lenart a L. Šesták hovorili o pseudokrasovej jaskyni Slámová sluj vo vápencoch, R. Pavuza o travertínových jaskyniach v Rakúsku, G. Szentes o jaskyniach v efúziivných tufoch v Maďarsku a I. Baroň o pseudokrasových jaskyniach v aktívnej tektonickej zóne Mur-Mürz vo Východných Alpách. Poobede v prednáškach referovali F. Kuda a J. Divíšek o histórii dokumentácie jaskýň Ledové sluje v Národnom parku Podyjí, J. Adamovič a M. Coubal o ortogonálnych zlomoch v pieskovo-

prúdení vzduchu v jaskyni Velká Ondrášova a J. Lenart s P. Táboříkom a J. Kupkom o najdlhšej rozsadlinovej jaskyni v Čechách – Cyrilke.

Po prednáškach nasledovali posterové prezentácie. Svoj poster o vplyve lišajníkového pokryvu na zvetrávanie pieskovo vytvorených tlakovou záťažou a eróziou J. Řihošek, o rýchlych prehlbovaní previsov J. Schweigstillová a o historických železorných baniach v Podbeskydsku D. Kvita. Poster o jaskyniach po stromových pozostatkoch v pohoriach Čálimani a Gurghiu v Rumunsku pripravený K. Mórehom a I. Gergelym predstavil L. Gaál, ktorý na požiadanie rumunských jaskyniarov predmetnú oblasť navštívil v júli 2015. V súčasnosti ide o najväčšiu koncentráciu stromových jaskýň vo vulkanoklastických horninách Európy. V prezentácii pokračovali G. Klassek, J. Pukowski a T. Mleczek posterom o odkryvaní jaskýň v poľskej časti Vonkajších Karpát v rokoch 1999 – 2014 a predstavenie posterov uzatvárali P. Franczak, M. Zatorski a Cz. Szura s posterom o vodách v jaskyniach vo flyši v poľských Beskydách.

Poobede sa konalo zasadnutie komisie UIS pre pseudokras. Viedol ho predseda komisie J. Urban, ktorý zhodnotil činnosť od posledného zasadnutia v Brne, konštatoval potrebu prerokovania a štandardizovania genetických typov pseudokrasových jaskýň (zodpovední P. Bella a L. Gaál) a po diskusii určil termín nasledujúceho sympóziá v roku 2018 s potenciálnym miestom na rakúsko-českých hraniciach (v roku 2017 bude kongres UIS v Austrálii). Nakoniec L. Gaál odstúpil z funkcie tajomníka komisie, ktorú vykonával od roku 2004, z dôvodu neistoty vo vycestovaní do zahraničia. Novým tajomníkom komisie sa stal Hartmuth Simmert z Nemecka.

Dňa 18. septembra 2015 sa konala celodenná exkurzia. Účastníci sa autami vyviezli do sedla Pustevny, ktoré je často navštevo-



Ukážka rozpadu flyšových hornín: Čertov stól v Moravsko-sliezskych Beskydách. Foto: L. Gaál



Účastníci sympóziá. Foto: J. Lenart



Vchod do rozsadlinovej Kněhynskej jaskyne. Foto: L. Gaál

vaným turistickým centrom s obdivuhodnou architektúrou v ľudovom štýle. Neďaleko od záchytného parkoviska sa nachádza uzatvorený vchod do rozsadlinovej jaskyne Cyrilka. S dĺžkou 535 m je v súčasnosti druhou najdlhšou pseudokrasovou jaskyňou Českej republiky. Z parkoviska vedie turistický chodník na 1206 m vysoký vrchol Čertův mlýn. V oblasti hrebeňa sa nachádzajú ukázkové lokality gravitačných pohybův na strmých svahoch. Beskydy budujú pieskovce s tenkými vrstvami bridlic, miestami aj zlepcov flyšového pásma sliezskej jednotky Vonkajších Západných Karpát. Horninové zloženie je veľmi náchylné na zosuvy a gravitačné pohyby, ktoré podporujú aj relatívne vysoké zrážky (viac než 1000 mm ročne). V odlučných zónach svahových deformácií sa často vytvá-

rajú rozsadlinové jaskyne. Z lokality Čertův mlýn sme sa presunuli do oblasti Kněhyně, kde sme navštívili významnú jaskyňu Beskýd s názvom Kněhynská. Jej vchod leží v hlboko siahajúcej odlučnej zóne svahových deformácií v nadmorskej výške 1050 m. Jaskyňa je dlhá 280 m. S hĺbkou 57,5 m sa zaraďuje na prvé miesto v poradí najhlbších jaskýň Beskýd. Je typickou rozsadlinovou jaskyňou, vytvorenou v pieskovcoch a bridliciach godulského súvrstvia sliezskej jednotky. Prístupná je 8 m hlbokou studňou so zabudovaným železným rebríkom. Podzemné priestory sa na niekoľkých úrovniach pod sebou rozširujú do menších priestorův, ktoré sú spojené vertikálnymi studňami.

Posledný deň podujatia bol venovaný znovu prednáškam. Kolektív P. Tábořika refe-

roval o štruktúrnych líniách zistených geofyzikálnymi meraniami na pieskovcovej plošine Ostaš a Hejda, J. Řihošek o pieskovcových tvaroch, M. Slavík o lišajníkoch na pieskovcoch a M. Zatorski o morfotektonickej analýze v jaskyni Mroczna v pohorí Magura Wątkowska v Poľsku.

Oficiálna časť konferencie sa tým skončila, poobede však prihlásení účastníci mohli absolvovať voľiteľné exkurzie. Sympózia sa zúčastnilo 45 účastníkov z 9 štátův (Česka, Poľska, Maďarska, Nemecka, Nového Zélandu, Rakúska, Holandska, Švédsko a Slovensko), odznelo 20 referátův a predstavených bolo 7 posterův. Za vydarené a osožné podujatie českým kolegom, najmä Janovi Lennartovi a Josefovi Wagnerovi, aj touto cestou ďakujeme.

VÝSTAVA O JÁNŔVI MAJKŔVI, OBJAVITEĽŔVI JASKYNE DOMICA

Dňa 16. 12. 2015 sa v Mestskom múzeu v Sereďi uskutočnila slávnostná vernisáž výstavy „Ján Majko – objaviteľ jaskýň“, venovanej životu a dielu nestorovi praktického jaskyniarstva pri príležitosti 115. výročia jeho narodenia a 30. výročia úmrtia. Prezентuje nielen mimoriadne plodnú jaskyniarsku činnosť Jána Majka, ale aj jeho osobný a pracovný život. Výstavu pripravilo Mestské múzeum v Sereďi v spolupráci so Slovenským múzeom ochrany prírody a jaskyniarstva v Liptovskom Mikuláši.

Po hudobnom úvode návštevníkov vernisáže privítala vedúca Mestského múzea v Sereďi Mária Diková. Nasledovali príhovory zástupcov z radův Majkových rodinných príslušníkov, priateľův či jaskyniarův vrátane Správy slovenských jaskýň. Záverečné slovo patrilo Marcelovi Lalkovičovi, životopiscovi Jána Majka, ktorý priblížil význam jeho jaskyniarskej práce, zrekapituloval a zhodnotil najdôležitejšie etapy a momenty života objaviteľa Domice.

Ján Majko bol rodákom z Dolnej Stredy (neskôr sa stala administratívnou súčasťou mesta Sereď), pochádzal z nejaskyniarskej oblasti. Tu sa 17. septembra 1900 narodil, tu navštevoval aj ľudovú školu s maďarským vyučovacím jazykom, o čom svedčí matričná kniha absolventův školy v Dolnej Strede, ktorá je tiež súčasťou výstavy.

V roku 1923 nastúpil Ján Majko na oddelenie pohraničnej finančnej stráže v Hosúsove, kde sa vďaka pravidelným patrolám oboznámil s prostredím Slovenského krasu. Hoci o jaskyniach dovtedy veľa nevedel, začal sa zaujímať o okolie podzemia a práve on roku 1926



Vernisáž výstavy o Jánovi Majkovi. Foto: P. Bella



Výstava o Jánovi Majkovi. Foto: P. Bella

objavil dovtedy neznámu jaskyňu Domica. Ján Majko sa stal významným jaskyniarom, objaviteľom, prieskumníkom a ochrancom jaskýň s bohatou publikačnou činnosťou s množstvom článkův uverejnených najmä v Krásach Slovenska. Udelenie pamätnej plakety Správy slovenských jaskýň a zlatej medaily Slovenskej speleologickej spoločnosti bolo symbolickým ocenením jeho práce. Zomrel 29. decembra 1985 vo veku 85 rokov.

Výstava pozostáva z dostupnej fotodokumentácie Majkovho života a jeho jaskyniarskej práce, osobných poznámok a korešpondencie, ako aj o ňom zverejnených publikácií. Okrem toho tu môžeme vidieť aj časti Majkovho osobného jaskyniarskeho výstroja, niekoľko nástrojův, s ktorými pracoval a objavoval podzemie Slovenského krasu, či dobové predmety približujúce prácu jaskyniara a pohyb v podzemí. Neprehliadnuteľnou časťou výstavy sú nielen dobové, ale najmä súčasné umelecké fotografie jaskýň, ktoré J. Majko objavil alebo v nich pôsobil. Napriek tomu, že medzi jaskyniarmi je Ján Majko známy predovšetkým ako objaviteľ a kopáč, výstava poukazuje aj na jeho nemenej dôležitú a bohatú publikačnú činnosť. Výstava bola verejnosti prístupná do konca februára 2016.

Okrem výstavy múzeum v Sereďi zorganizovalo aj súbor prednášok a besied pre školy a verejnosť, ktoré sa uskutočnili 22. januára 2016. Prednášky a besedy boli venované výskumu a ochrane jaskýň, objavu Domice, jej archeológii a histórii výskumu, predstaveniu Slovenského krasu ako krasového územia či priblíženiu práce jaskyniara.

Miroslav Kudla

S. Shanov – K. Kostov:

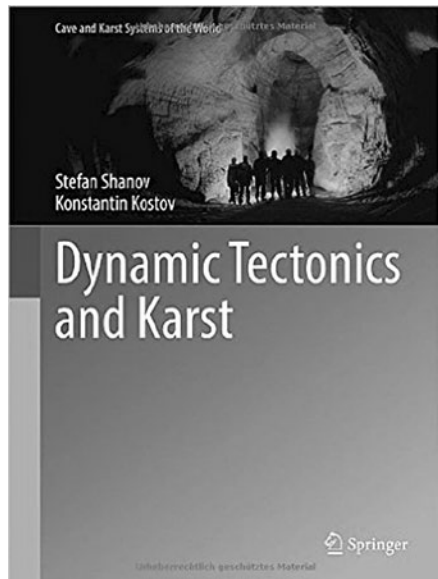
**Dynamic Tectonics
and Karst**

Springer, Berlin – Heidelberg

2015, 123 strán

ISBN 978-3-662-43991-3 (print)

ISBN 978-3-662-43992-0 (eBook)



Vzťah krasu a tektoniky je známy už od počiatkov speleológie. Dôležitým aspektom tohto vzťahu je súvis krasu a neotektoniky, ktorý sa v poslednom období stáva predmetom čoraz intenzívnejšieho výskumu. V roku 2015 vyšla monografia *Dynamic Tectonics and Karst*, ktorej autormi sú S. Shanov a K. Kostov z Geologického ústavu Bulharskej akadémie vied zo Sofie. Prácu vydalo vydavateľstvo Springer ako súčasť série *Cave and Karst Systems of the World*. Intenzívnejší výskum súvislosti krasu s neotektonikou viedol k zvyšovaniu počtu publikácií. To vyvolalo potrebu publikácie zameranej na celkovú kompiláciu a systematizáciu doteraz získaných poznatkov, ktorú táto monografia naplňa. Predstavuje vhodný študijný materiál predovšetkým pre speleológov, tektonikov, geomorfológov a paleoseizmológov, pričom charakter diela umožňuje uviesť do problematiky aj tých, ktorí s ňou dosiaľ nie sú bližšie oboznámení. Monografia však nepredstavuje iba rešeršné dielo. Kľúčové princípy a poznatky sú náležite demonštrované prípadovými štúdiami z jaskýň Bulharska, Albánska, Kuby a Francúzska.

Publikácia je rozdelená do troch kapitol s odlišným tematickým zameraním. Prvá kapitola predstavuje sumarizáciu najdôležitejších poznatkov a prác v problematike vzťahu krasu a neotektoniky, pričom sa stručne zmieňuje aj o potenciálnej praktickej aplikácii poznatkov najmä v oblasti znečistenia podzemných vôd a prospekcie podzemnej vody, ropy či zemného plynu. Druhá kapitola ilustruje vzťah medzi napätovým poľom a krasovými procesmi, pričom na začiatku pre čitateľov menej oboznámených s tektonikou uvádza základné

princípy týkajúce sa napätového poľa. Následne uvádza rad prípadových štúdií demonštrujúcich, ako napätové pole ovplyvňuje formovanie krasu. Vďaka tomu môže kras slúžiť ako nástroj na rekonštrukciu súčasného i minulých napätových poľí a na ich zaradenie do správnej časovej následnosti. Posledná kapitola sa venuje širokej palete metód využívaných na identifikáciu stôp po dávnych zemetraseniach. Upozorňuje na osobitné postavenie krasu pri detekcii paleoseizmických udalostí. Zdeformované a porušené speleotémy môžu totiž poslúžiť nielen ako indikátor zemetrasnej udalosti, ale môžu pomôcť pri jej kvantifikácii (sila, smer pohybu, vzdialenosť od epicentra) i pri datovaní. Nakoniec diskutuje o možnostiach praktickej aplikácie speleoseizmológie a pri hodnotení seizmického rizika.

Práca predstavuje významný prínos do oblasti štúdia súvislosti krasu a aktívnych tektonických procesov, a to nielen vďaka zhrnutiu doterajších poznatkov, ale aj predstavením niekoľkých inovatívnych prístupov, ako aj zdôraznením širokého spektra praktickej aplikovateľnosti poznatkov nadobudnutých v tejto oblasti.

Juraj Littva

D. W. Kirkland:

**Role of hydrogen sulfide
in the formation of cave
and karst phenomena
in the Guadalupe
Mountains and Western
Delaware Basin,
New Mexico and Texas**National Cave and Karst Research
Institute Special Paper 2National Cave and Karst Research
Institute, Carlsbad 2014,
New Mexico, 77 strán

ISBN 978-0-9910009-1-3

Monografia Douglasa W. Kirklanda poskytuje najucelenejší pohľad na nezvyčajnú genézu jaskýň v pohorí Guadalupe Mountains v juhovýchodnej časti Nového Mexika a v príľahlej západnej časti Delawarskej panvy v západnom Texase (USA), ktoré sa vytvárali v karbonátoch účinkom sírovodíka. Publikácia zahŕňa a sumarizuje poznatky z doterajších výskumov a v kombinácii s novými bádania mi a názormi ďalej rozpracováva osobitosti sulfurickej speleogenézy. Predkladá teóriu viacfázovej speleogenézy vzťahujúcej sa na produkciu, migráciu a oxidáciu sírovodíka v krasových hydrogeologických štruktúrach západnej časti Delawarskej panvy a pozdĺž jej okraja na rozhraní s pohorím Guadalupe Mountains.

Z obsahového hľadiska je monografia rozdelená do troch hlavných kapitol. Najrozsiahlejšia kapitola je zameraná na problematiku sulfurického vytvárania jaskýň v pohorí Guadalupe Mountains. Nasledujú dve menej

obsiahle kapitoly, ktoré sa zaoberajú tvorbou depozícií síry v jaskyniach a metánom ako mikrobiálnou poživatinou v anhydritových akviféroch a s ním spätých biochemických reakciách vplyvujúcich na krasovatenie. Textová časť vhodne dopĺňajú početné fotografické i kreslené obrázky.

Rozsiahle jaskyne v pohorí Guadalupe Mountains sa vytvorili v neskorom miocene a začiatkom pliocénu (pred 12 – 4 mil. rokov). Vznikli prevažne účinkom kyseliny sírovej (H_2SO_4), ktorá rozpúšťala strednopermské rífové vápence a nadväzujúce šelfové vápence a dolomity (okraj rífu tvorí hranicu medzi pohorím Guadalupe Mountains a Delawarskou panvou). Silná kyselina sírová vznikla v kondenzačnej vode (subaerické prostredie) reakciou atmosférického kyslíka (O_2) s mikrobiálnym sírovodíkom (H_2S) prenikajúcim z príľahlej panvy a uvoľňovaným z jaskynných jazier. H_2S vznikol vo vrchnopermskom súvrství halitu ($NaCl$) a anhydritu ($CaSO_4$) a migroval do susedného karbonátového akviféru v dôsledku prechodného vysokotepeľného toku, najmä v západnej časti Delawarskej panvy, a mierneho naklonenia paleoguadalupského tektonického bloku (vrátane pohoria a veľkej časti panvy) na východ. V neskorom miocene



artézska podzemná voda prenikala pod tlakom v priepustnom akviféri od pohoria Guadalupe Mountains nadol východným smerom. Z podložných strednopermských pieskovcových súvrstiev množstvo agresívnej artézskej vody stúpalo pozdĺž fraktúr vytvorených alebo regenerovaných počas nakláňania sa tektonického bloku, pričom sa evapority rozpúšťali na stovkách miest do vzdialenosti asi 30 km východne od okraja šelfových vápencov a dolomitov. Vystupujúca podzemná voda vytvárala dómy zvislo nahor cez hrubé vrstvy halitu až po spodný okraj nadložného súvrstvia anhydritu, ktorý je v porovnaní s halitom menej rozpustný približne v pomere 1/140. Rozpúšťaním $CaSO_4$ hustota rozpúšťadla stúpala, až sa stalo gravitačne nestabilným. Tým voda obsahujúca Ca^{2+} a SO_4^{2-} (neagresívna) klesala späť do pieskovcových súvrstiev. Na jej miesto (až do najvyššie dostupných elevácií) pod tlakom vystupovala voda s nižšou hustotou. Takouto voľnou konvekciou vody vznikli disolučné dutiny.

Keďže vrstvy anhydritu sú uniformne sklonené na východ pod uhlom $< 1 - 2^\circ$, kanály sa konvekčným rozpúšťaním predlžovali západným smerom priamo až po mierny sklonený okraj paleoguadalupského tektonického bloku. Široké, úzke a dlhé kanály, okrem ich stropov vyhlbených v anhydrite, boli podmienené najvrchnejšími časťami vrstiev halitu. Mnohé kanály sa nakoniec končili na takmer vertikálnom okraji vápencového paleoútesu na kontakte so súvrstvím halitu a anhydritu.

Krátko predtým teploty panvových súvrstiev prechodne stúpali, počas vytvárania kanálov boli generované bilióny m^3 metánu (CH_4). Množstvo metánu vystupovalo do evaporitov v rovnakých miestach, kde podzemná voda konvekčne stúpala a klesala. Tento plyn sa postupne rozpúšťal v okolitej vode pod asi 1 km hrubým tesniacim pokrývnym súvrstvom (najmä červených vrstiev, karbonátov a evaporitov) a reagoval s SO_4^{2-} derivovaným pri rozpúšťaní anhydritu. Reakcia, za pomoci enzýmov anaeróbných mikrobov, generovala mnoho miliónov metrických ton akvatického H_2S a akvatického CO_2 . CO_2 okamžite reagoval s Ca^{2+} , uvoľneným pri rozpúšťaní CaSO_4 , nahradzujúc vrstvitý, nodulárny, masívny alebo brekciovitý anhydrit priepustným vápencom. Anhydritom uzavreté vápencové telesá, v pôdoryse väčšie ako 30 m, sa vytvorili asi na tisíc rozptýlených miestach. Tlaková artérska voda transportovala H_2S z karbonátových telies do kanálov v nadložnom halite. Podzemná voda ďalej prúdila mierne šikmo nahor pozdĺž monoklinálne uložených vrstiev. Zosilnenou konvekciou prenikala cez fraktúry a póry evaporitov i priľahlých rífových vápencov a zostupovala do nižších polôh v dôsledku relatívne vyššej hustoty spôsobenej rozpusteným halitom.

Počas neskorého miocénu a skorého pliocénu slaná podzemná voda obsahujúca H_2S prúdila pomaly v karbonátovom akviéri na okraji panvy, ktorý vytváral asi 6 km široký pás klesajúci na severovýchod, priečne cez paleoguadalupský tektonický blok sklonený na východ. V najvyššej juhozápadnej časti pásu sa eróziou prerezal nepriepustný pokrov súvrstvia permských evaporitov a podzemná voda infiltrovaná z povrchu umožnila preniknúť atmosférickému O_2 do najvyšších častí prvotných jaskýň.

H_2S - H_2SO_4 speleogenéza prebieha v tých jaskyniach, kde sa z vodných nádrží odplyňuje H_2S a do podzemných dutín sa dostáva atmosférický O_2 . V opisovanom území plyn O_2 pravdepodobne vnikal cez priepustné karbonáty, ktoré sú na povrchu odkryté v juhozápadnej časti vrchoviny, a zostupoval laterálne cez fraktúry pod tesniacimi evaporitmi. V subaerickom prostredí reakciou H_2S s O_2 (pomocou bakteriálnych enzýmov) vznikla H_2SO_4 , ktorej účinkom sa rozpúšťali karbonátové skalné steny. Následne počas približne 8 mil. rokov každý epizodický zdvih tektonického bloku spôsobil eróziu horninového nadložia, pokles hladiny podzemnej vody a ďalší rozvoj speleogenézy juhovýchodným smerom i do hlbších častí karbonátov.

V jaskyniach sa v súvislosti s krasovými procesmi vytvorili uloženiny prírodnej síry rozptýlenej v rámci biogénnych vápencov a zasadených v anhydritoch. Jaskyne a sulfurické uloženiny sú v podstate výsledkom súčasnosti tých istých stratigrafických, tektonických, termálnych a biogénnych podmienok a procesov. Sulfurické uloženiny sa vyskytujú pozdĺž zlomov ohraničujúcich hrastové pohorie, ktoré narušujú súvrstvia evaporitov a siahajú

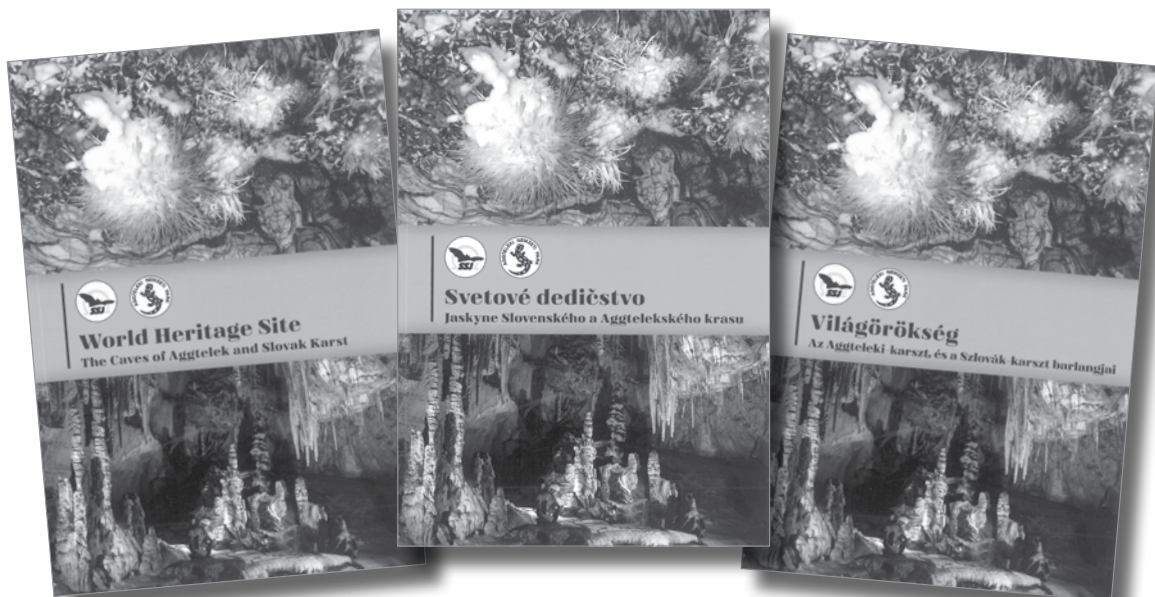
až na povrch. Tieto zlomy usmerňovali výstup hypogénnych podzemných vôd zosilnenou konvekciou. Počas následnej voľnej konvekcie vracajúce sa soľanky lokálne zvýšili priepustnosť strmých fraktúr cez vrstvitité anhydridy. Plyn CH_4 migroval nahor pozdĺž rovnakých drenážnych ciest. Rozpustený vo vode reagoval s SO_4^{2-} , pričom vznikol pórovitý CaCO_3 a viac ako 1 mil. metrických ton H_2S .

Súčasnne atmosférická voda, prenikajúca nadol rovnakými cestami, rozpúšťala halit (a sadrovec). Do takto vytvorených voľných podzemných dutín sa zrútili nadložné permské a mezozoické súvrstvia. Tým vznikli široké uzavreté krasové deprie s rozlohou až niekoľko hektárov. V týchto zvrstvách sa sústreďovalo enormné množstvo (až niekoľko km^3) slaných a okysličených vôd (~ 2 až >4 mg/l). Soľanky, zostupujúce drenážnymi cestami usmernými zlomami, v dôsledku invertovaného hustotného gradientu prenikli až do podložných pieskovcov. V miestach, kde sa klesajúca slaná a okysličená podzemná voda kontaktovala s relatívne sladkou vodou obsahujúcou H_2S , ktorá stúpala pozdĺž príľahlej cesty, sa vyzrážala elementárna síra.

Z prezentovaných hlavných výsledkov a záverov vidieť, že ide o pozoruhodnú publikáciu, ktorá prináša inovatívne poznatky pre ďalší výskum krasu v pohorí Guadalupe Mountains a príľahlej časti Delawarskej panvy. Keďže táto oblasť je typickým príkladom sulfurickej speleogenézy, publikácia má mimoriadny význam aj z hľadiska všeobecných speleogenetických poznatkov a teórií týkajúcich sa hypogénneho krasu. Preto sa odporúča do pozornosti najmä odborníkom, ktorí sa zaoberajú výskumom jaskýň hypogénneho pôvodu.

Pavel Bella

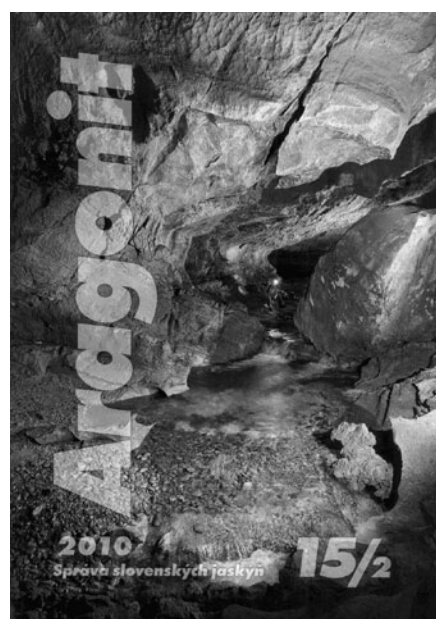
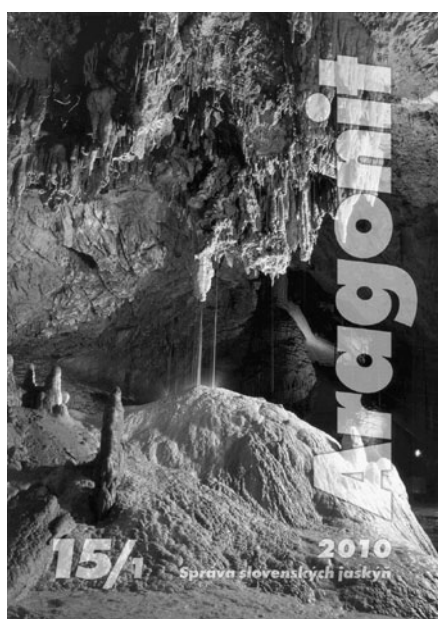
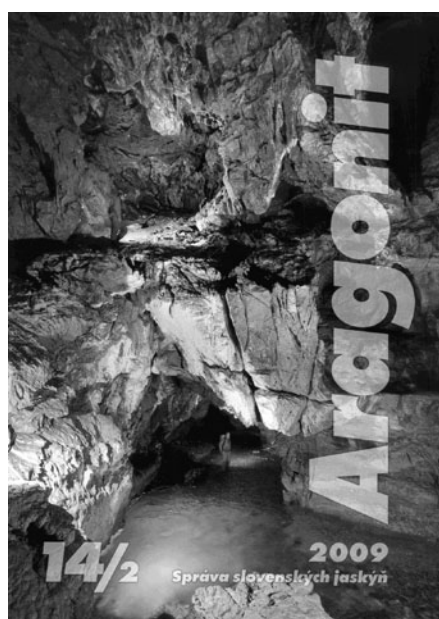
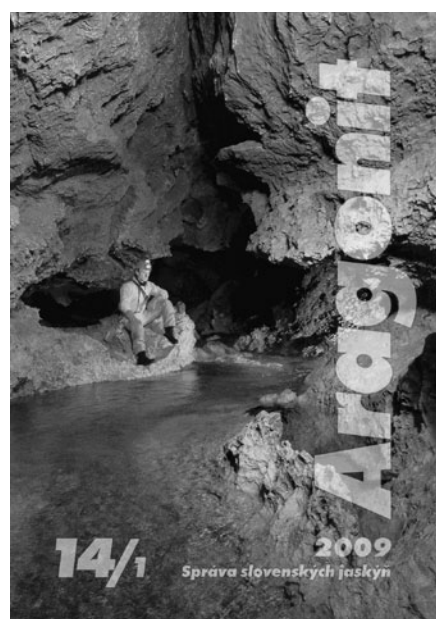
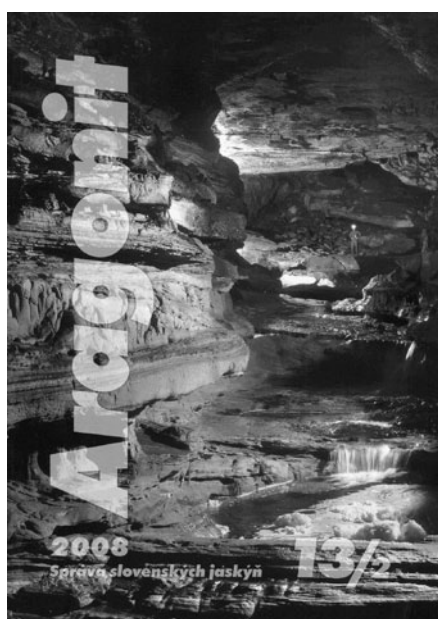
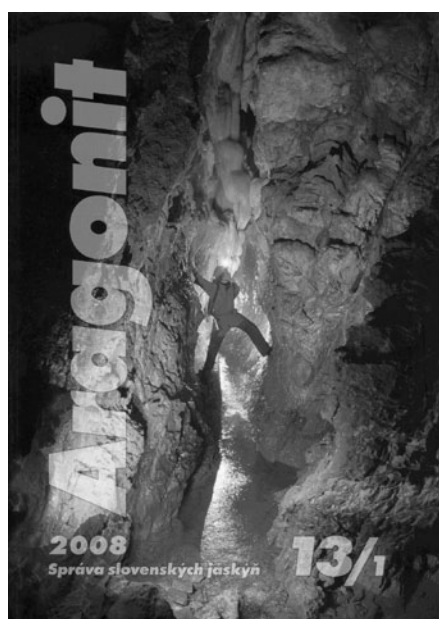
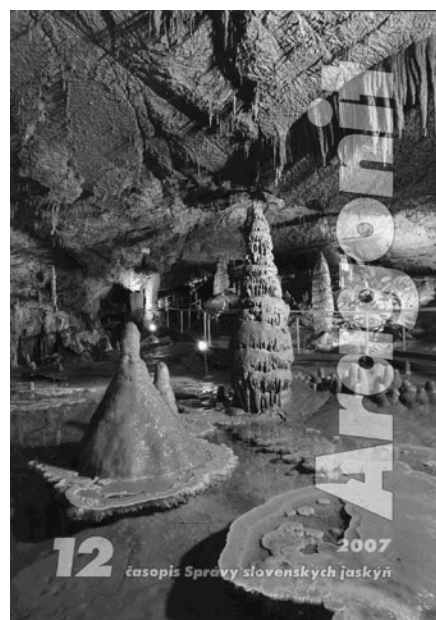
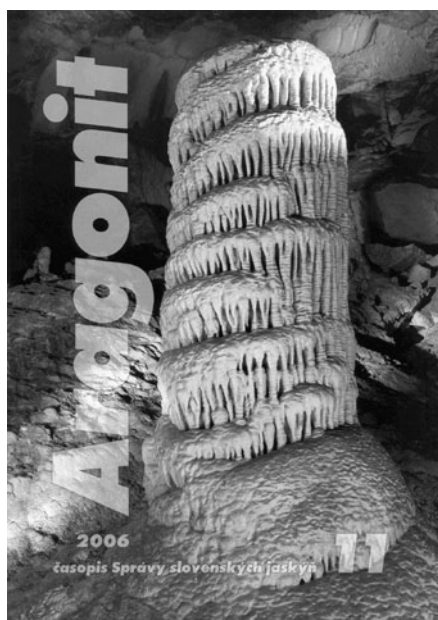
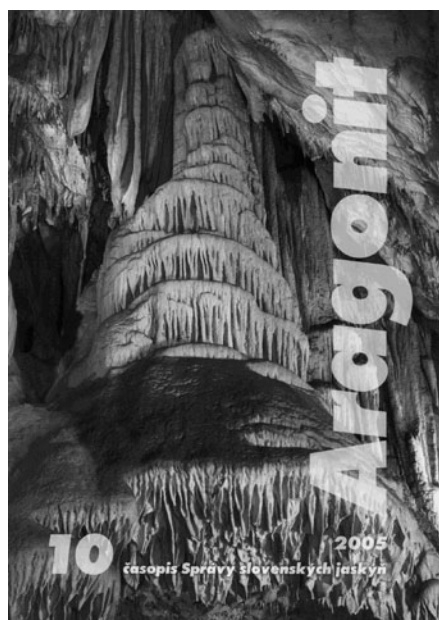
Publikácia o jaskyniach svetového dedičstva vydaná v roku 2015

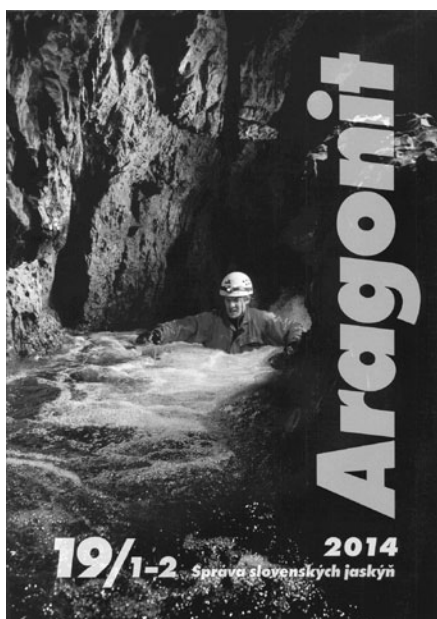
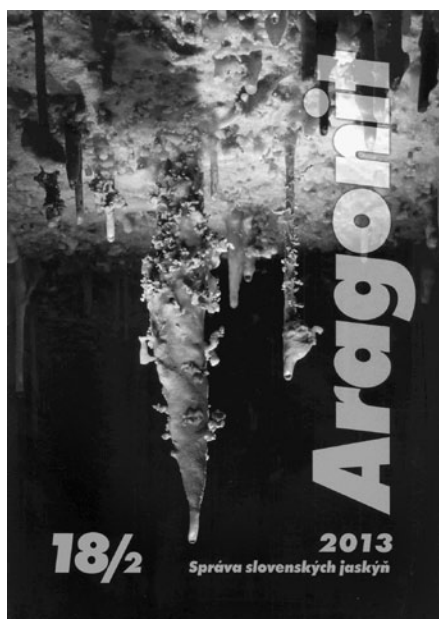
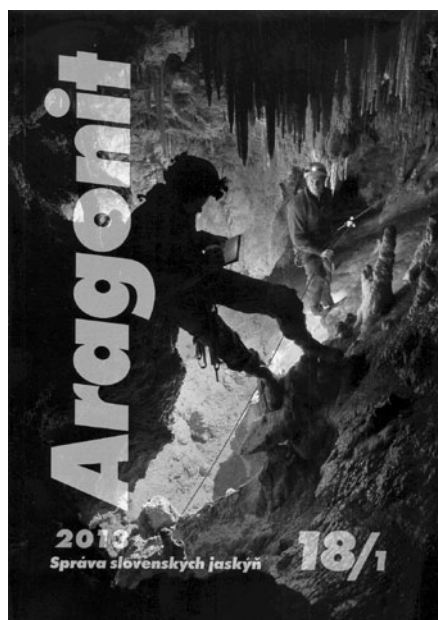
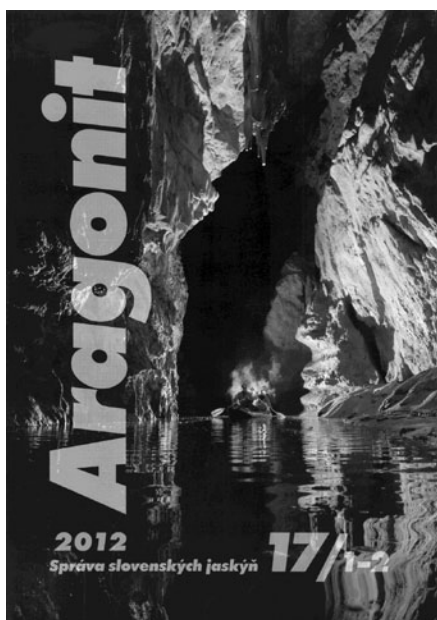
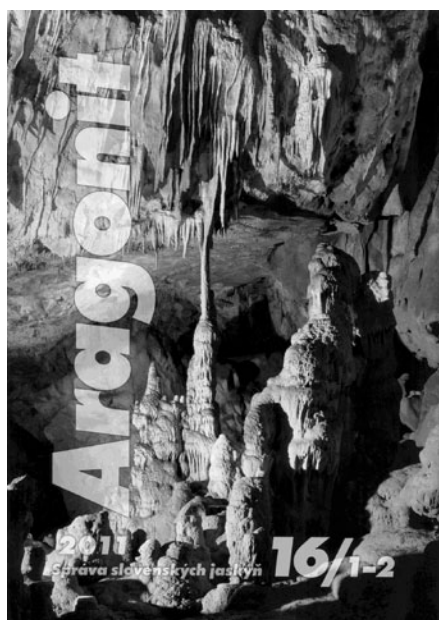


L. Gaál – P. Gruber (Eds.) – P. Bella – S. Borzsák – D. Haviarová – J. Kilík – V. Papáč – J. Zelinka:
Svetové dedičstvo – Jaskyne Slovenského a Aggteleckého krasu

Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň a Správa Aggteleckého národného parku,

Liptovský Mikuláš – Jósavfő 2015, 124 strán, ISBN 978-80-89802-01-2





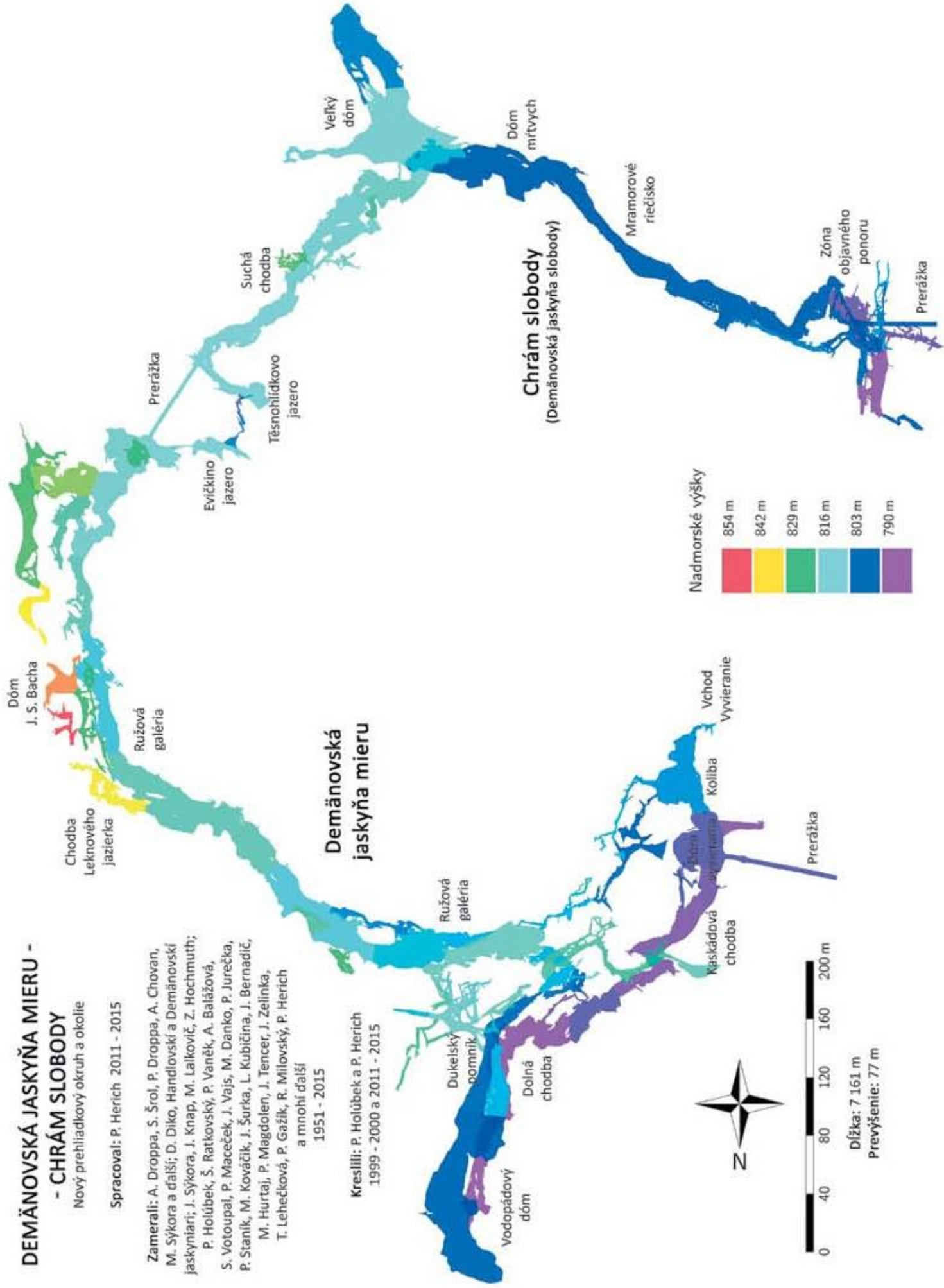
DEMÄNOVSKÁ JASKYŇA MIERU - - CHRÁM SLOBODY

Nový prehliadkový okruh a okolie

Spracoval: P. Herich 2011 - 2015

Zamerali: A. Droppa, Š. Šrol, P. Droppa, A. Chovan, M. Sýkora a ďalší; D. Diko, Handlovský a Demänovský jaskyniari; J. Sýkora, J. Knap, M. Lalkovič, Z. Hochmuth; P. Holúbek, Š. Ratkovský, P. Vaněk, A. Balážová, S. Votoupal, P. Maceček, J. Vajs, M. Danko, P. Jurečka, P. Staník, M. Kováčik, J. Šurka, L. Kubičina, J. Bernadič, M. Hurtať, P. Magdolen, J. Tencer, J. Zelinka, T. Lehečková, P. Gažík, R. Milovský, P. Herich a mnohí ďalší
1951 - 2015

Kreslili: P. Holúbek a P. Herich
1999 - 2000 a 2011 - 2015



Nadmorské výšky

854 m
842 m
829 m
816 m
803 m
790 m

0 40 80 120 160 200 m

Dĺžka: 7161 m
Prevýšenie: 77 m



ISSN 1335-213X

