

Arcóni

2024

Správa slovenských jaskýň

29/1



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: pavel.bella@ssj.sk

Zodpovedný redaktor: RNDr. Ján Zúskin

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

Výkonný redaktor: Mgr. Miloš Melega, RNDr. Juraj Littva, PhD.

Redakčná rada: prof. RNDr. Pavel Bosák, DrSc., RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., Ing. Peter Gažík, prof. dr hab. Michał Gradziński, Mgr. Dagmar Haviarová, PhD., doc. RNDr. Jozef Jakál, DrSc., prof. RNDr. Ľubomír Kováč, CSc., Ing. Ľubica Nudziková, prof. Mgr. Martin Sabol, PhD., RNDr. Ján Zelinka

Časopis vychádza dvakrát ročne

Evidenčné číslo: EV 3569/09

ISSN 1335-213X

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

ARAGONIT

ročník 29, číslo 1/september 2024

Recenzenti vedeckých príspevkov z výskumu krasu a jaskýň: RNDr. Ľudovít Gaál, PhD., RNDr. Jozef Kordík, PhD.

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

Redaktor: Mgr. Bohuslav Kortman

Grafická úprava a sadzba: Ing. Ján Kasák

Tlač: Ekonoprint družstvo, Martin

Obrázky na obálke:

(1) Suchá festivalová jaskyňa (Hrádok, Revúcka vrchovina). Foto: P. Staník

(2) Štôľňa Kapusta (Hrádok, Revúcka vrchovina). Foto: P. Staník

(3) Plavecká priepasť. Foto: P. Staník

(4) Ochtinská aragonitová jaskyňa. Foto: P. Staník

OBSAH / CONTENTS

VÝSKUM KRASU A JASKÝŇ / RESEARCH OF KARST AND CAVES

P. Bella: Disolučné stropné oválne vyhlbeniny v jaskyniach – problematika terminológie a typológie / Solution ceiling oval cavities in caves – problems of terminology and typology	3
D. Haviarová: Porovnanie chemického zloženia a kvality vôd Ochtinskej aragonitovej jaskyne s vybranými jaskyňami štôlne Kapusta / Comparison of the chemical composition and quality of the water of the Ochtiná Aragonite Cave with selected caves of the Kapusta Adit	12

SPRÁVY A AKTUALITY / REPORTS AND NEWS

L. Dušeková, L. Pristašová, P. Herich: 10. medzinárodný workshop o ľadových jaskyniach / 10th International Workshop on Ice Caves	23
J. Littva, P. Herich: 31. medzinárodná karsologická škola „Klasický kras“ / 31st International Karstological School “Classical Karst”	24
Ľ. Nudziková, A. Laurincová: Návštevnosť sprístupnených jaskýň v roku 2023 / Show caves attendance in 2023	26

ABSTRAKTY / ABSTRACTS

15. vedecká konferencia „Výskum, využívanie a ochrana jaskýň“, Liptovský Mikuláš 24. – 26. 9. 2024 / 15th Scientific Conference “Research, Use and Protection of Caves”, Liptovský Mikuláš, September 24 – 26, 2024, Slovakia	27
---	----

DISOLUČNÉ STROPNÉ OVÁLNE VYHLÍBENINY V JASKYNIACH – PROBLEMATIKA TERMINOLÓGIE A TYPOLOGIE

Pavel Bella

Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 11 Liptovský Mikuláš; pavel.bella@ssj.sk, Katedra geografie, Pedagogická fakulta, Katolícka univerzita v Ružomberku, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok

P. Bella: Solution ceiling oval cavities in caves – problems of terminology and typology

Abstract: Cupolas and ceiling pockets are one of the most important morphological indicators of cave origin and development. In relation to the different morphogenetic processes, they differ in overall and partial morphology, as well as in dimensions. Although these cave morphologies have been described many times, their definition and typology, as well as their terminology have not yet been sufficiently clarified. While in the French terminology all oval ceiling cavities (of different sizes) are considered cupolas (widely used in the Francophone and Italian literature), in the American and English literature cupolas are defined as (i) larger ceiling pockets (cupolas are a subset of ceiling pockets), (ii) oval ceiling cavities with a diameter of more than 1.5 m or 1 m (ceiling pockets and cupolas are considered as separate speleogens). Since 1990's, cupolas have been described mainly in connection with the study of hypogene caves. Due to the long-standing problem of inconsistent definition of cupolas, based only on their spatial position in the cave or their size, it is suggested that the term "ceiling pocket" could be associated with cave parts sculpted by turbulent water flow, while the term "cupola" or "cupola-like cavity" could be associated with caves or their parts formed only by rock dissolution. The current unsatisfactory situation could probably be improved by a terminological unification on a transnational level that would be acceptable to a broad scientific community. In addition to these terminological problems, a more comprehensive typology of cupolas and other ceiling cavities, should be elaborated. Cupola-shaped cavities or planar domes (first described in the 1960s from several water-table caves in California and Nevada, USA) with a flat upper surface (not predisposed by horizontal bedding planes) and the wall edges usually dissected by parallel shallow vertical ribs are missing in the existing typologies of cupolas. Cupolas and other ceiling oval cavities are formed mostly in the phreatic or epiphreatic zone by the turbulent water flow, slow convective circulation of water in unconfined or confined karst aquifers or by the corrosion of mixed waters of different chemical composition. Cupolas are associated with the morphology of hypogene caves, including hydrothermal caves, as well as caves formed under artesian conditions and caves formed by water rising along faults. In repeatedly flooded parts of caves, shallow cupola-like cavities are formed above the oscillating water table by condensation corrosion. In the vadose zone, cupolas are formed by condensation corrosion in places of intensive degassing of geothermal water above its surface, in cave parts with advection air flow between entrances at different altitudes or in spacious entrance parts, as well as by biochemical corrosion above an active guano pile and due to roosting of bats. In view of the above-mentioned morphometric criterion, according to which cupolas are oval cavities in the ceiling with a diameter of more than 1.5 m or 1 m, in addition to bell holes (their height/width ratio is > 1), the need for a terminological designation of smaller cupola-shaped cavities (minicupolas) formed by the dissolution of rock in conventional water flow or by the action of condensation corrosion becomes apparent. It is possible to consider bowl-shaped hollows (their height/width ratio is ≤ 1 and > 0.25) and shallower plate-shaped depressions (their height/width ratio is ≤ 0.25) or other appropriate terms.

Keywords: karst geomorphology, physical speleology, cave morphology, solution cupola, planar dome, ceiling pocket, terminology, typology

ÚVOD

Kupoly a menšie stropné oválne vyhlíbeniny sú jedny z dôležitých morfológických indikátorov vývoja jaskýň. Vo vzťahu k odlišným procesom vzniku a vývoja disolučných jaskýň sa líšia celkovou i čiastkovou morfológiou, ako aj rozmermi. Napriek tomu, že kupoly a podobné jaskynné oválne stropné vyhlíbeniny sa v speleologickej literatúre dosť početne opisujú, ich vymedzenie a typológia, ako aj zodpovedajúca terminológia nie sú doteraz dostatočne doriešené (pozri Osborne, 2004; Bella, 2013 a ďalší). Vo všeobecnosti kupola predstavuje klenbu tvaru pologule (polguľovitá klenba) alebo tvaru inej rotačnej plochy (plocha kupoly rotačného tvaru vzniká rotáciou tvoriacej krivky okolo vertikálnej osi).

Tento príspevok poukazuje na základné problémy vymedzovania a definovania kupol, resp. kupolovitých vyhlíbenín v jaskyniach (vrátane terminológie) a zaoberá sa základnou problematikou typológie kupol podľa ich morfológie a genézy. Bližšie poukazuje na špecifický a zriedkavejší typ kupol, ktorý sa od ostatných odlišuje vodorovnou stropnou plochou. Hoci plytké a široké planárne kupoly

(planar domes), resp. kupolovité vyhlíbeniny opísal už Lange (1964), v doterajších typológiách kupol v jaskyniach i v sumárnych prehľadoch o korózných skalných formách jaskynného georeliéfu absentujú.

ZÁKLADNÉ TRIEDENIE STROPNÝCH OVÁLNYCH VYHLÍBENÍN NA ZÁKLADE ICH TVARU A ROZMEROV

Lauritzen a Lundberg (2000) považujú za kupoly stropné sférické alebo polosférické rozšíreniny, ktoré sú väčšie alebo podobne veľké, ako je priemer chodby vedúcej do kupoly (obr. 1). De Waele a Gutiérrez (2022) poznamenávajú, že aj metrové korózne stropné vyhlíbeniny na strope veľkých siení a dômov by sa mali klasifikovať ako kupoly. Rozmernosťou kupolu, bez vzťahu k dimenzii pridruženého priestoru, kvantitatívne vymedzil Osborne (2004). Kupolu definuje ako dutinu vytvorenú rozpúšťaním hornín s vyklenutým stropom a kruhovitým alebo eliptickým pôdorysom, pričom jej priemer alebo dĺžka os je väčšia ako 1,5 m (mieru zahĺbenia kupol do stropu, resp. pomer medzi ich šírkou



Obr. 1. Strop chodby rozčlenený kupolami, jaskyne Caverns of Sonora, Texas, USA. Foto: P. Bella
Fig. 1. Ceiling of a passage dissected by cupolas, Caverns of Sonora, Texas, USA. Photo: P. Bella



Obr. 2. Jednoduchá polosférická kupola, jaskyne Longhorn Caverns, Texas, USA. Foto: P. Bella

Fig. 2. Simple semi-spherical cupola, Longhorn Caverns, Texas, USA. Photo: P. Bella

a výškou neuvádza). Veľké kupoly dosahujú dimenzie siene až domu. V Jenolanských jaskyniach (New South Wales, Austrália) sú kupoly vysoké do 80 m s priemerom okolo 20 m (Osborne, 2004). Oválne vyhlbeniny s priemerom do 1,5 m na jaskynných poválach Slabe (1995) označil ako *ceiling pockets* (stropné kapsy¹). Menšie stropné oválne vyhlbeniny vytvorené turbulentným vodným prúdom Bini (2007) opisuje ako „erózne kupoly“ (*coupoles d'érosion*) a prisudzuje im rozmery – priemer do 0,5 m a hĺbku do 1 m. Dublynsky (2019) opisuje v stropných vetvách hydrotermálnych jaskýň sférické kupoly, ktoré majú rozmery 0,5 – 1,5 m. De Waele a Gutiérrez (2022) považujú za kupolu stropnú vyklenutú dutinu s priemerom väčším ako 1 m, za *ceiling pocket* stropnú oválnu vyhlbeninu s priemerom menším ako 1 m. Podľa Forda a Williamsa (2007) sú však kupoly variantmi *blind pockets*, ktoré vyhlbením do stropu siahajú nahor 30 až 40 m. Podobne Palmer (2007) podotýka, že kupoly sú väčšie vrecovité vyhlbeniny v jaskynných stropoch. Pri opise hypogénnych jaskýň Klimchouk (2009, 2019) problematiku terminológie kupol a *ceiling pockets* dosť unifikuje², bez ohľadu na predchádzajúce definície, resp. opisy morfo geneticky odlišných *ceiling pockets* a kupol. Lundberg (2019) kupoly viacmenej ani neopisuje, zmieňuje sa iba o *convection cupolas*. Za *solution pockets* považuje všetky oválne vyhlbeniny (vytvorené prevažne na strope), ktoré vznikajú turbulentným prú-

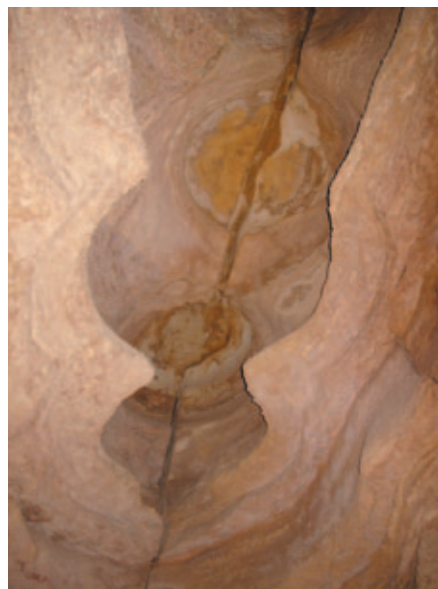
dom vody a ich rozmery kolíšu od 10 cm do niekoľkých metrov.

Takisto úzke vertikálne valcovité, resp. cigarovité stropné vyhlbeniny s priemerom 20 až 30 cm, nazvané *bell holes* (Wilford, 1966; Tarhule-Lipps a Ford, 1998a; Lundberg a McFarlane, 2009; Lundberg, 2019 a ďalší), sa v rámci foriem jaskynného georeliéfu uvádzajú ako samostatná stropná vyhlbenina alebo ako osobitný typ *ceiling pockets*. Nehľadiac na veľkosť priemeru, niektorí pojmom *bell holes* označujú akékoľvek oválne stropné vyhlbeniny, ktoré sú vyššie ako širšie (napr. Birmingham et al., 2010). De Waele a Gutiérrez (2022) podotýkajú, že *bell holes* nemožno zaradiť medzi kupoly.

TERMINOLÓGIA

V staršej americkej literatúre Bretz (1938, 1942), opisujúc morfológiu jaskýň a rozličné menšie skalné tvary v jaskyniach, označil oválne stropné vyhlbeniny ako *ceiling pockets*. Upozornil aj na dimenzionálne väčšie *giant pocket chambers* (v jaskyni Wind Cave, Južná Dakota, USA). Davis (1930) opisuje v jaskyni Mammoth Cave (Kentucky, USA) vertikálne dutiny zv. *dome pits*, ktorých vyklenuté vrchné časti sa nazývajú *domes* a hlboké dná *pits*. Lange (1964) označil pojmom *domes* stropné oválne vyhlbeniny vytvorené okolo viacmenej zvislej osi, kým pojem *ceiling pockets* vo všeobecnosti vzťahoval na náhodnejšie orientované stropné vyhlbeniny. Následne sa pojem *dome* objavil v niektorých publikáciách opisujúcich zvislé stropné vyhlbeniny v jaskyniach (napr. Hedges, 1967). Curl (1966) písal o *ceiling „pots“* vytvorených konvekciou vody.

V bývalej Československej republike Kettner (1948, 1954) a Kinský (1950) označili misovité alebo polguľovité priehľbeniny na stenách alebo na strope a dne jaskynného kanála vznikajúce spätnými prúdmi a vírmi tečúcej vody (vrátane vodných prúdov vzdutých počas záplav) ako *obrie hrnce*, resp. *tlakové obrie hrnce*. Už predtým Volko-Starohorský (1935) písal o „obrých hrncoch“ vytvorených „krúťivou“ eróziou (evorziou) v jaskynných riečiskách. V neskoršej literatúre sa možno stretnúť s opismi eróznych hrncov na povale Demänovskej jaskyne slobody (Droppa, 1957a), stropných hrncov a mís v Ochťinskej aragonitovej jaskyni (Droppa, 1957b) či pologuľovitých a misovitých evorzných hr-

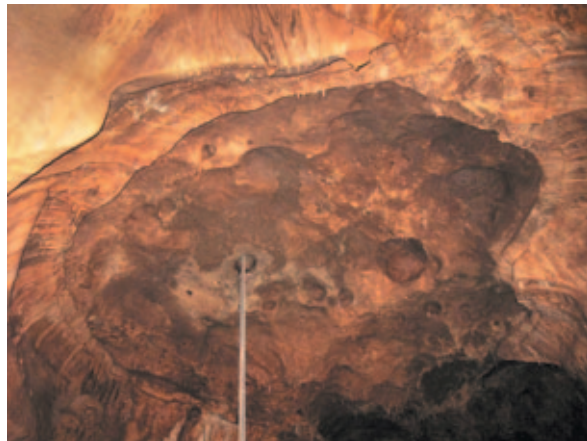


Obr. 3. Zložená kupolovitá vyhlbenina, jaskyne Caverns of Sonora, Texas, USA. Foto: P. Bella

Fig. 3. Compound cupola-like cavity, Caverns of Sonora, Texas, USA. Photo: P. Bella

cov vyhlbených do stropu Belianskej jaskyne vzdutou vodou a jej vírivým pohybom (Droppa, 1959).

Nehľadiac na dimenzionálne a morfológické odlišnosti, Renault (1968) označil všetky stropné vyhlbeniny vytvorené koróznym účinkom pomaly cirkulujúcej vody v úplne zaplavenej jaskyni, resp. časti jaskyne francúzskeho pojmom *coupole* (kupola). Vyhradil sa voči používaniu pojmov *marmites inverses* (inverzné hrnce; Viehman, 1959), resp. *marmites invertidas* (Montoriol-Pous, 1951), *marmite de voûte* (Choppy, 1961) či *marmites de corrosion* (Bögli, 1964b) na označenie stropných vyhlbenín. Pritom Renault (1968) podotkol, že pojem *marmite* (angl. *pothole*) by sa mal používať na označenie podlahových vyhlbenín vytvorených najmä mechanickou eróznou činnosťou vodného toku v jaskynnom riečisku, t. j. v pôvodnom zmysle, ako sa objavil a prvotne zaužíval vo francúzskej i americkej terminológii (Brunhes, 1902, 1903; Aykes, 1908; Elston, 1917; Alexander, 1932; Bates, 1932;

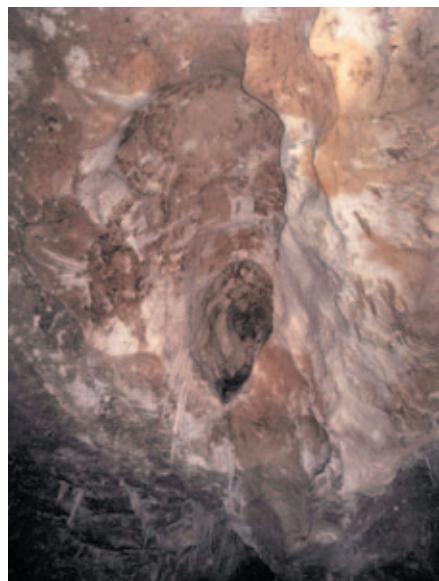


Obr. 4. Mierne rozčlenená elipsoidná kupola, jaskyňa Cave Without A Name, Texas, USA (s potrubím na čerpanie vody z jaskyne cez vertikálny vrt). Foto: P. Bella

Fig. 4. Slightly dissected elliptical cupola, Cave Without A Name, Texas, USA (with a pipe for the pumping of water from the cave through a vertical drill hole). Photo: P. Bella

¹ Pojem zavedený do českej speleologickej terminológie (Bosák, 1988; Panoš, 2001), používaný aj v slovenskej literatúre (Psoťka et al., 2006; Psoťka, 2008 a ďalší). Predtým sa používal najmä pojem „obrý hrniec“ vytvorený eforáciou, t. j. tlakovým krúživým vymieľaním nahor do stropu jaskyne (Kettner, 1948, 1954; Kinský, 1950 a ďalší). Podobne Tulis a Novotný (1989) uvádzajú „stropné evorzné/krúťňavové hrnce“, Příbýl (1992) „obrie hrnce“ v strope jaskyne, Panoš (2001) „obrie/krúťňavové krasové hrnce“ hľadko „vykrúžené“ v skalnom dne, podlahových sintroch, stenách či strope jaskýň. Bella (1998, 2000a, b), ako aj Bella a Pavlarčík (2002) alternatívne použili pojem „skalné kotly“. Ekvivalentom pojmu *ceiling pocket* v slovenskej terminológii je „stropná kotlica“ (Gams et al., 1973; Slabe, 1994, 1995).

² „cupolas (ceiling pockets)“ (Klimchouk, 2009).



Obr. 5. Elipsoidná kupola, kónicky zužujúca sa nahor, jaskyne Carlsbad Caverns, New Mexico, USA. Foto: P. Bella

Fig. 5. Elliptical cupola conically tapering upward, Carlsbad Caverns, New Mexico, USA. Photo: P. Bella

Malott, 1932; Bretz, 1942; Renault, 1958; Corbel, 1962, 1963 a ďalší. Ford (1965) opisuje *stream potholes*³, diery vyhlbené vírivým prúdom vody do pevných hornín riečiska, ako morfológické indikátory eróznych fáz vývoja vápencových jaskýň. Pritom poznamenáva, že fragmenty *stream potholes* zachované na stenách dokladujú staršie erózne fázy vývoja jaskýň, keď podzemné riečisko bolo vo vyššej pozícii.

Napriek uvedenej výhrade Renaulta (1968) sa s pojmom *marmites inverses* možno stretnúť aj v neskoršej terminológii a literatúre, napr. Gèze (1973) a Viehman (1976). Pri opise jaskýň na Slovensku pojem *inverzní marmity* použil Müller (1980) pri označení stropných oválnych vyhlbení v Moldavskej jaskyni.

Kým vo frankofónnej a talianskej literatúre (Gèze, 1973; Quinif, 1973; Maire, 1980; Lismonde, 2000; Bini, 2007 a ďalší) sa všetky stropné oválne vyhlbeniny označovali ako *kupoly* (podľa Renaulta, 1968), vo vtedajších amerických karsologických a speleologických terminologických slovníkoch (Monroe, 1970; Field, 2002) pojem *cupola* označuje polosférickú kopcovitú vyvýšeninu na povrchu krasu. V stredo- a východoeurópskej speleologickej literatúre sa od konca 70. rokov minulého storočia pojem *kupola* používal na označenie oválnych stropných vyhlbení v hydrotermálnych jaskyniach (napr. Bac-Moszaszwili a Rudnicki, 1978; Dubljansky, 1980). V prvej polovici 90. rokov sa pojem *kupola* objavil v americkej terminológii týkajúcej sa vulkanických jaskýň. Larson (1992, 1993) ním označil

vyvýšeniny v strope lávových tunelových jaskýň, ktoré vznikli čiastočným rútením stropu alebo infláciou stropu vplyvom tlaku plynu alebo lávy, prípadne môže ísť o vyvýšeninu vytvorenú starším prúdom lávy. Od druhej polovice 90. rokov sa v širšej medzinárodnej vedeckej komunite pojem *kupola* preferoval najmä pri opise stropných vyhlbení v hypogénnych jaskyniach (vrátane hydrotermálnych), v jaskyniach vytvorených v artézskych podmienkach a iných hydrogeologicky odmedzených krasových akviféroch (Klimchouk, 1997a, b, 2000, 2007, 2009; Osborne, 2004; Audra et al., 2007, 2009a, b a ďalší)⁴. Vo vtedajšej slovenskej literatúre sú zaznamenané opisy kupolovitých vyhlbení v Ochtingskej aragonitovej jaskyni (Bella, 1998, 2004b) a kupol v Belianskej jaskyni (Bella a Pavlarčík, 2002). Postupným rozvojom speleogenetického výskumu hypogénnych a artézskych jaskýň, ako aj jaskýň vytváraných vodou vystupujúcou pozdĺž zlomov sa pojem *kupola* stal frekventovanejším (vrátane americkej literatúry, napr. Palmer, 2007, 2011), najčastejšie sa spájal s osobitou morfológiou týchto jaskýň.

Opisujúc *solution pockets* Ford a Williams (1989, 2007) uvádzajú, že sú najlepšie vytvorené na jaskynných stropoch, môžu sa však vyskytovať aj na podlahách a stenách. Ich vznik spájajú výlučne s rozpúšťaním hornín. Následne opisujú *stream potholes*, ktoré vznikajú v „skalných mlynch“ (*rock mills*) nielen rozpúšťaním hornín, ale aj mechanickou eróziou (obrusovaním zvírenými fluvialnymi sedimentmi) v riečiskách vadóznych chodieb. Tým poukazujú, že *solution pockets* a *stream potholes* treba odlišovať najmä podľa spôsobu ich vzniku, nie iba podľa polohy v rámci jaskyne (podľa toho, či sa nachádzajú na strope, resp. previsnutých stenách alebo na podlahe). Viac-menej v tomto zmysle opísal *ceiling pockets* a *potholes* už Bretz (1942), ktorý okrem bežnejších *wall pockets* a *ceiling pockets* rozlíšil aj *floor pockets* (v jaskyni Carlsbad Caverns, Nové Mexiko, USA) a následne osobitne opísal *potholes* vytvorené v riečiskách na jaskynných podlahách. Takisto v amerických terminologických slovníkoch (Monroe, 1970; Field, 2002) i poslednej encyklopédii jaskýň (Lundberg, 2019) priradili pojem *pocket* kotlovitým, resp. kanvicovitým vyhlbeninám s oválnym dnom nielen na strope, ale aj na podlahe a stenách jaskyne. Jennings (1971, 1985), Bögli (1980), White (1988) a Palmer (2007) priradujú pojem *pockets* iba vyhlbeninám v skalných stenách a stropoch jaskýň. Zvýrazňujú opačnú polohu voči podlahovým *potholes*, Bögli (1980) priradil stropným hrncom pojem *inverse solution pockets*.

⁴ V rámci morfológie zodpovedajúcej hydrotermálnym krasovým systémom Forti (1996) uvádzal domed ceilings (kupolovité stropy).



Obr. 6. Členitá elipsoidná kupola, jaskyne Jenolan Caves, Austrália.

Foto: P. Bella

Fig. 6. Dissected elliptical cupola, Jenolan Caves, Australia.

Photo: P. Bella

MORFOLOGICKÁ A GENETICKÁ TYPOLOGIA

Známe sú viaceré typy disolučných kupol a stropných hrncov, ktoré sa líšia morfológiou i genézou (tab. 1, obr. 2 až 8). Kupoly a ostatné stropné oválne vyhlbeniny zväčša vznikajú vo freatickej alebo epifreatickej zóne koróznym pôsobením vztlakového vírivého prúdu vody (Bretz, 1942; Renault, 1968; Slabe, 1995; Slabe a Prelovšek, 2013 a ďalší), pomalejšie konvekčnej cirkulácie vody odspodu nahor v hydrogeologicky neobmedzených i obmedzených krasových akviféroch (Curl, 1966; Quinif, 1973; Rudnicki, 1978, 1989; Klimchouk, 1997a, b, 2000, 2007, 2009, 2019; Osborne, 2004 a ďalší) alebo účinkom korózie zmiešaných vôd rozdielneho chemického zloženia – atmosférických vôd presakujúcich pozdĺž strmých zlomov alebo puklín a vôd pomaly prúdiacich až takmer stagnujúcich v zaplavených podzemných priestoroch (Bögli, 1964a, b, 1978). Kupoly patria medzi dôležité,



Obr. 7. Plytká stropná oválna kupola („vzduchová pasca“ počas záplav), jaskyňa Ojika-do, Kjúšú, Japonsko. Foto: P. Bella

Fig. 7. Shallow ceiling oval cupola (“air trap” during floods), Ojika-do Cave, Kyushu, Japan. Photo: P. Bella

³ Takto vznikajúcim menším oválnym vyhlbeninám v jaskynných riečiskách Jennings (1971, 1985) priradil pojem *fluvial pothole* alebo *rock mills*. V našej geomorfologickej literatúre sa zvyknú označovať ako krútnavové hmce (Činčura et al., 1983; Lehotský a Grešková, 2004 a ďalší). Pojmom *potholes* sa v anglickej speleologickej terminológii zvyčajne označujú aj vertikálne alebo takmer vertikálne šachty a komíny otvorené na povrch (Myers, 1948; Jennings, 1971, 1979 a ďalší).

Tab. 1. Zjednodušený prehľad hlavných typov stropných oválnych vyhlbenín v jaskyniach.
Tab. 1. Simplified overview of the main types of ceiling oval cavities in caves.

Genéza		Morfológia	Hydrografická zóna
kupoly vytvorené konvekciou vody (Curl, 1966; Rudnicki, 1978; Klimchouk, 1997a, b, 2000, 2007, 2009, 2019 a ďalší) – <i>convection cupola</i> (Lundberg, 2019)	kupoly vytvorené normálnou vodou	jednoduché eliptické kupoly, katedrály, hemisférické kupoly, kónické kupoly a sférické výklenky (Osborne, 2004, 2005, 2007), resp. jednoduché elipsoidné, sférické, hemisférické a kónické kupoly, kupolovité domy alebo siene so stenovými a stropnými sférickými výklenkami (Bella, 2013)	freatická
		zložené kupoly	
	kupoly vytvorené termálnou vodou – hydrotermálne kupoly (Rudnicki, 1978, 1989; Bini, 1980, 2007)	sférické kupoly	
stropné kapsy / hrnce vytvorené koróziou zmiešaných vôd (Bögli, 1964a, b, 1980; Quinif, 1973; Bini, 1980, 2007)		predisponované tektonickou poruchou umožňujúcou priesak vody do zaplavenej jaskyne	freatická / epifreatická
stropné kapsy / hrnce vytvorené turbulentným prúdom vody (Lundberg, 2019)	vytvorené pomalým turbulentným prúdom vody, dominantne chemickou eróziou – paragenetické kupoly (Quinif, 1973; Bini, 1980, 2007), <i>solution pockets</i> (Lundberg, 2019)	oválne vyvýšeniny v stropných korytách paragenetických chodieb a nad zaílenými podlahami anastomózných chodieb, jednoduché a zložené kupoly – nemusia byť predisponované tektonickou poruchou (Quinif, 1973)	
	vytvorené intenzívnym turbulentným prúdom vody, chemickou i mechanickou eróziou – erózne kupoly (Bini, 1980, 2007), stropné hrnce evorzné (Kettner, 1948, 1954; Kunský, 1950)	jednoduché a zložené stropné vrecovité vyhlbeniny (Slabe, 1995)	
kupoly vytvorené kondenzačnou koróziou	v zaplavovaných jaskyniach, „vzduchové pasce“ nad oscilujúcou hladinou podzemnej vody (Mucke et al., 1983; Völker, 1989; Lismonde, 2000)	jednoduché plytké vyhlbeniny	epifreatická / vadózna
		<i>planar domes</i> (Lange, 1964) – jednoduché plytké vyhlbeniny s plochým stropom	
	nad hladinou termálnej vody (Müller, 1974; Müller a Sárváry, 1977; Bini, 1980, 2007; Szunyogh, 1984, 1990; Cigna a Forti, 1986; Audra et al., 2007, 2009a, b a ďalší)	plytké kupoly, sférické kupoly, dendritické kupolovité vetvy	vadózna
	v dôsledku advekčného prúdenia vzduchu (De Waele a Gutiérrez, 2022)	jednoduché plytké vyhlbeniny	
	biochemickou koróziou vplyvom guána a hibernácie netopierov	jednoduché vyhlbeniny nad kopami guána (Bigot a Guyot, 2014; Audra et al., 2016; De Waele a Gutiérrez, 2022)	
		<i>bell holes</i> (Lundberg a McFarlane, 2009, 2012)	

resp. hlavné morfológické znaky hypogénnych jaskýň, vrátane hydrotermálnych jaskýň (Klimchouk, 2007, 2009, 2019; Audra et al., 2009a,b; Dublyansky, 2013, 2019; De Waele, 2016 a ďalší), ako aj jaskýň vytvorených v artezských podmienkach a jaskýň vytvorených

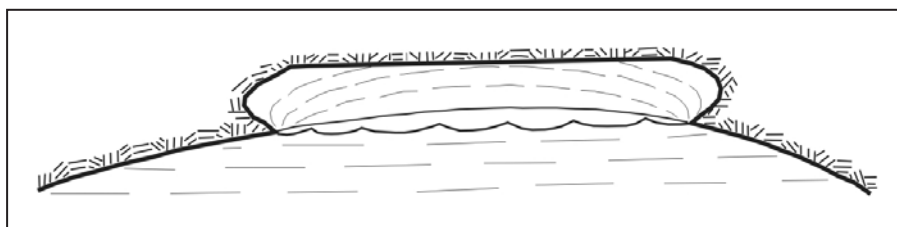
vodami vystupujúcimi pozdĺž zlomov (Klimchouk, 1997a, 2000, 2007, 2009; Osborne, 2009; Gradziński, 2009, 2011; Bella a Bosák, 2012 a ďalší). V závislosti od podmienok cirkulácie podzemnej vody sa vytvárajú kupoly jednoduchého tvaru alebo reťaz kupolovitých

tvarov prepojených stúpajúcim stenovým alebo stropným polotrubovitým kanálom, ďalšie kupoly sa vytvárajú nad výtokovými trubicami (angl. *feeders*) (Klimchouk, 2007, 2009, 2019). Kupoly vytvorené vystupujúcimi vodami Osborne (2014) nazýva „*per-ascensum*“

cupolas. V riečne modelovaných jaskyniach sa spravidla vytvárajú iba menšie stropné vyhlbeniny (netvoria celé siene alebo dómy ako v niektorých hypogénných jaskyniach alebo jaskyniach vytvorených vodami vystupujúcimi pozdĺž zlomov). V opakovane zaplavovaných častiach jaskýň plytké kupolovité vyhlbeniny vznikajú kondenzačnou koróziou nad vodnou hladinou (Lange, 1964; Mucke et al., 1983; Völker, 1989 a ďalší – obr. 7). Lismonde (2000) vysvetľuje vytváranie kupol intenzívnou koróziou, keď v uzatvorenej podstropnej dutine pri izotermickom stláčaní vzduchu zdvíhajúcou sa vodnou hladinou narastá tlak oxidu uhličitého a tvoria sa hmlovité kvapôčky vody, ktoré oxid uhličitý difúzne zachytávajú. Kupoly sa vyskytujú aj v príbořežných jaskyniach zv. *flank-margin caves*, ktoré vznikajú koróziou spôsobenou miešaním slanej morskej vody so sladkou vodou na úrovni hladiny mora a podzemnej sladkej vody (Mylroie a Carew, 1990; Mylroie et al., 1995 a ďalší). Vo vadóznej zóne kupoly a oválne stropné vyhlbeniny vznikajú účinkom kondenzačnej korózie, najmä v miestach intenzívnej degazácie (odplyňovania) geotermálnej vody nad jej hladinou (Müller, 1974; Müller a Sárváry, 1977; Szunyogh, 1984, 1990; Cigna a Forti, 1986; Forti, 1996; Dreybrodt et al., 2005; Palmer, 2007; Audra et al., 2007, 2009a,b; Dublyansky, 2013, 2019; De Waele, 2016 a ďalší, v častiach jaskýň s advektčným prúdením vzduchu medzi vchodmi v rozdielnej nadmorskej výške a vo vchodových častiach jaskýň s teplotnými rozdielmi (Tarhule-Lipps a Ford, 1998b; De Waele a Gutiérrez, 2022), ako aj nad guánovými kopami, resp. v miestach hibernácie netopierov vplyvom biochemických procesov (Lundberg a McFarlane, 2009, 2012; Bigot, 2014; Bigot a Guyot, 2014; Audra et al., 2016; Dandurand et al., 2019; De Waele a Gutiérrez, 2022). Lange (1959, 1960, 1964, 1965) teoreticky uvažoval o stropných vertikálnych vyhlbeninách, ktoré nazval *negative stalactites*. Ich vznik vysvetľoval rozpúšťaním vápenca vodou stekajúcou pozdĺž tektonickej poruchy do vzduchom vyplnenej časti jaskyne, t. j. vo vadóznej zóne, čo bolo predmetom kritickej diskusie Davisa (1965)⁵. Podobne Dreybrodt a Franke (1994) vysvetľujú vytváranie *solution pockets* odspodu nahor (zahľbovaním do jaskynného stropu) vo vadóznej zóne a považujú ich za negatívne kópie stalagmitov.

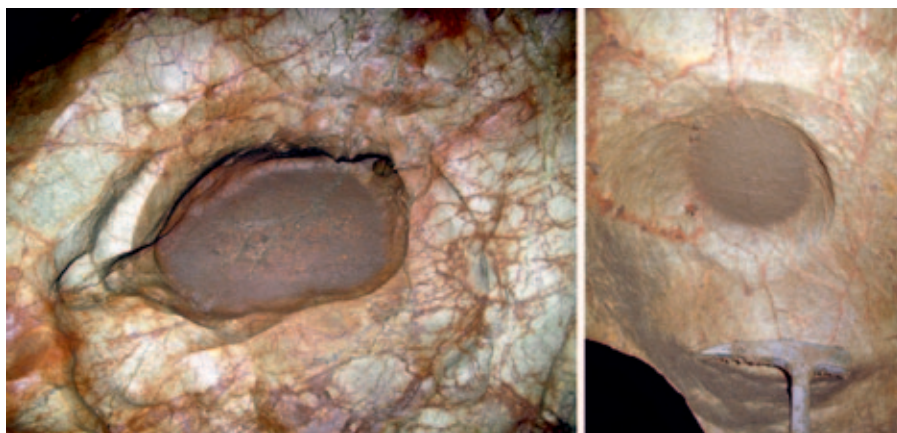
Na základe pozorovania kupol v belgických jaskyniach Quinif (1973) rozlišuje kupoly vyhlbené do neporušenej horniny (s absenciou pukliny), kupoly vyhlbené pozdĺž pukliny bez prírodného kanála, kupoly vyhlbené pozdĺž pukliny s prírodným kanálom a komplexné (zložené) kupoly, t. j. podľa štruktúrno-tektonickej predisponovanosti a celkovej morfológie. Podobne Palmer (2007) uvádza, že mnohé kupoly nie sú vytvorené pozdĺž fraktúr narušujúcich rozpustné horniny, vyhlbením odspodu nahor prechádzajú viacerými vrstvami hornín. Z polohopisného hľadiska Quinif (1973) uvádza kupoly v priepastiach a kupoly vytvorené v pradávných výverových jaskyniach (vo vodou zatopených častiach jaskýň),

⁵ Lundberg (2019) uvádza, že ako *negative stalactites* sa zvykli nazývať *bell holes*, ktoré sa však nevytvárajú pozdĺž tektonických porúch alebo litologických rozhraní.



Obr. 8. Vývoj planárnej kupoly z iniciálnej vzduchovej pasce v stropce (Lange, 1964).

Fig. 8. Development of the planar cupola from the initial air trap in the ceiling (Lange, 1964).



Obr. 9. Kupolovité vyhlbeniny so zarovnanou vrchnou plochou (pokrytou povlakom kalu zo záplav), Moldavská jaskyňa. Foto: P. Bella

Fig. 9. Cupola-like cavities with a flat upper surface (covered by a coating of mud from floods), Moldavská jaskyňa Cave, Slovakia. Photo: P. Bella

z genetického hľadiska kupoly vytvorené pomaly cirkulujúcou vodou a kupoly vytvorené koróziou zmiešaných vôd.

V súbornejšej genetickej klasifikácii Bini (1980, 2007) uvádza kupoly vytvorené koróziou zmiešaných vôd, hydrotermálne kupoly, paragenetické kupoly, erózne kupoly (vytvorené dominantne mechanickou eróziou), ako aj zrútené (glyptogenetické) kupoly nevytvorené rozpúšťaním materskej horniny⁶ (pozri tiež Bini a Cappa, 1978; Bini et al., 1991, 2007). Kolapsové stropné dutiny, pri vzniku ktorých bolo rozpúšťanie materskej horniny minoritné, De Waele a Gutiérrez (2022) však medzi kupoly nezaraďujú. Kupolovité vyhlbeniny zv. *planar domes* (Lange, 1964), s výrazne odlišnou morfológiou i genézou, však v tejto klasifikácii chýbajú.

Podľa morfológie Osborne (2004, 2005, 2007) rozlišuje disolučné eliptické kupoly (pretiahnuté pozdĺž tektonických porúch alebo medzivrstvových plôch), katedrály (široké eliptické kupoly, ktoré majú horizontálnu os dlhšiu ako vertikálnu), hemisférické kupoly (kruhový pôdorys a pologulovitý rez), kónické kupoly (kruhovitý alebo elipsovité pôdorys, vertikálna os prevyšuje ich priemer) a sférické výklenky vystupujúce zo stien a stropov koróznych siení. Podobne Bella (2013) vyčleňuje elipsoidné kupoly (elipsoidné kupoly pretiahnuté nahor, elipsoidné kupoly pretiahnuté laterálne = katedrály), sférické kupoly (zväčša uzatvorené sférické kupoly, hemisférické kupoly, zväčša otvorené sférické kupoly = kupoly tvaru guľových vrchlíkov), kónické kupoly (pretiahnuté nahor alebo laterálne) a kupolovité dómy alebo siene so stenovými a strop-

nými sférickými výklenkami. Tak ako Slabe (1995) rozlišuje samostatné jednoduché a samostatné i zložené „viacúrovňové“ stropné vrecovité vyhlbeniny, aj kupoly možno rozdeliť na „jednotvárne“ samostatné jednoduché kupoly a „mnohotvárnejšie“ samostatné i zložené členité kupoly.

V kontexte morfológického delenia stenových a stropných vrecovitých vyhlbení v jaskyniach typu *flank-margin caves* (Rice-Snow et al., 1997), Bella (2013) rozlíšil podľa pomernej miery zahĺbenia plytké kupoly (priemer je dvakrát väčší ako ich výška), stredne hlboké kupoly (výška je väčšia ako ich polomer a maximálne sa rovná ich priemeru) a hlboké, resp. vysoké kupoly (výška je väčšia ako priemer ich základne).

OPOMÍŇANÉ PLANÁRNE KUPOLOVITÉ VYHLBENINY

Lange (1964) opísal široké planárne kupoly (*planar domes*, nazývané aj *vapor domes*) s hladkým horizontálnym stropom a vertikálnymi rebrovitými stenami, ktoré vznikajú viac-menej v podmienkach stagnujúceho zvodnenia, spravidla keď sa v nadväznosti na vodnú hladinu vytvárajú zarovnané stropy alebo bočné zářezy na stenách. Ak je jaskynný strop úplne ponorený, bubliny plynov sa koncentrujú v jeho najvyšších častiach, pričom nad lokálnou hladinou podzemnej vody vznikajú vzdušné dutiny. Lange (1964) usudzuje, že horninu rozpúšťa sprej z unikajúcich bublín, čím sa z iniciálnej vzdušnej dutiny môže postupne vytvoriť planárna diskovitá stropná kupola (obr. 8). Ak je strop blízko stagnujúcej vodnej hladiny, vytváranie planárnej stropnej kupoly môže iniciovať akákoľvek drobná diera – „vzduchová pasca“. Podobne Cser a Szenthe (1986) vysvetľujú vznik

⁶ breakout domes (White a White, 1969), ceiling breakdown cupolas (Slabe, 1995)

kupol s plochým stropom pohybom vzduchových bublín pod stropom.

Lange (1964) ďalej predpokladá, že rebrovité žliabky (paralelné „bublinovité dráhy“) sa údajne vytvorili účinkom nahor unikajúcich bublín oxidu uhličitého a iných plynov uvoľnených pri rozklade organických zvyškov vo vode (pôsobením plynov sa zvyšuje rýchlosť rozpúšťania horniny). Pritom poukazuje na laboratórny experiment rozpúšťania spodnej časti karbonátovej platne ponorenej do roztoku (pozri Kaye, 1957). Vznik vertikálnych žliabkov na previsnutých skalných povrchoch v jaskyniach rovnako vysvetľujú aj Cser a Szenthe (1986), resp. Cser (1988).

Keďže rebrovité žliabky v mnohých kupolách siahajú až k stropu, resp. sa stretávajú so stropom, Lange (1964) podotýka, že „parová“ medzera v nich takmer neexistovala. Preto zvažuje aj alternatívne vysvetlenie, že planárne kupoly sa údajne vytvorili „vodnými stĺpmi udržiavanými vyššie, ako je normálna hladina vody“ (pozri Lange, 1962). V epifreatickej zóne piezometrický povrch podzemnej vody nie je v jednej rovine a vyznačuje sa intenzívnou odozvou na povodňové udalosti. Prúdenie vody v drenážnych kanáloch sa môže meniť z voľného na tlakové (vysoká variabilita prietokov a rýchlostí prúdenia vody), čo vedie k intenzívnemu kolísaniu hladiny vody a reaktívácii vyššie umiestnených kanálov (napr. Jeanin, 2001; Prelovšek et al., 2008; Gabrovšek et al., 2018). Stúpajúca voda uzatvára slepé stropné vyhlbeniny a vytvára v nich „vzduchové pasce“, stláčajúc vzduch sa dostáva do ich vyšších častí, prípadne až k stropu. Preto rebrovité žliabky po obvodových stranách planárnych kupol sa mohli vytvárať aj v súvislosti s kolísaním vodnej hladiny alebo účinkom stekajúcej kondenzačnej vody (Bella, 2004a). Hochmuth (2004) uvažuje, či uvedené rebrovité žliabky nepredstavujú podsedimentové vertikálne žliabky vytvorené koróziou na kontakte materskej horniny so sedimentmi, ktoré by museli vyplňovať stropnú vyhlbeninu po horný okraj rebrovitých žliabkov. Vzhľadom na plytké zahĺbenie do stropu, prítomnosť „bublín“ a ich časté spojenie so vzduchovou komorou Lange (1964) uprednostnil hypotézu planárnej „parovej“ kupoly. Na vytváraní planárnej kupoly sa asi podieľa nielen kondenzačná korózia, resp. korózia súvisiaca s pohybom vzduchových bublín pod stropom, ale aj rozpúšťanie horniny v mieste vodného stĺpca oscilujúceho počas povodní, resp. vyšších vodných stavov.

V našich jaskyniach stropným planárnym kupolám morfológiu zodpovedá stropná kupolovitá vyhlbenina v Jasovskej jaskyni, na okraji Hlinenej chodby pri Dóme netopierov (Bella, 2000; Bella a Urata, 2002). Stropné oválne vyhlbeniny s vrchnou rovnou plochou (zväčša pokrytou kalom zo záplav), avšak bez vertikálnych rebrovitých žliabkov, sa vyskytujú v Moldavskej jaskyni (Bella et al., 2018; obr. 9 – niektoré tvarom pripomínajú „inverzné kamenice“). Povlak kalu, ktorý sa udržal na rovnej vrchnej ploche, mohol prekážať rozpúšťaniu vápenca nahor (tým sa stropná dutina počas opakujúcich sa záplav zväčšovala laterálne). Bella (2003) upozorňuje na planárnu kupolu s troma „vzduchovými“ pascami v Kaňone Čierneho potoka v Gombaseckej

jaskyni (pri prítokovom sífóne od Silickej ľadnice). Horizontálna korózna stropná plocha niektorých planárnych kupol nie je úplne hladká, ale s drobnými nerovnosťami, resp. nie je úplne súvislá. Podobný charakter stropnej plochy má aj plytká elipsovité kupola v Ochtinskej aragonitovej jaskyni medzi Hviezdnou sieňou a Srdcom Hrádku, ktorá presekáva menšie staršie oválne kupolovité vyhlbeniny (Bella, 2004b). Takéto kupolovité vyhlbeniny možno pozorovať najmä v jaskyniach na zarovnanom alebo mierne členitom stropnom povrchu.

Priemer planárnych kupol je výrazne väčší ako vertikálny rozsah ich zahĺbenia do stropu. Preto patria medzi plytké kupolovité vyhlbeniny. Planar domes, v dimenziách, ako ich opísali Lange (1964) a Bella (2000, 2004), zväčša nedosahujú podľa definícií Osborna (2004), resp. De Waeleho a Gutiérreza (2022) rozmery kupol.

DISKUSIA A ZÁVER

Horeuvedené skutočnosti poukazujú na značnú nejednotnosť názorov na definovanie kupol a ich odlišovanie od menších stropných vrecovitých, resp. kapsovitých vyhlbenín v jaskyniach:

(1) Na zámer označovať všetky stropné oválne vyhlbeniny ako kupoly (bez ohľadu na ich rozdielnu veľkosť), pochádzajúci z francúzskej speleologickej terminológie (Renault, 1968) a do značnej miery zaužívaný aj vo francófonnej a talianskej literatúre (Gèze, 1973; Quinif, 1973; Maire, 1980; Lismonde, 2000; Bini, 2007 a ďalší), nenadväzujú názory, podľa ktorých sú kupoly dimenzionálne väčšími variantmi *blind pockets*, resp. *ceiling pockets* (Ford a Williams, 2007; Palmer, 2007), ako aj navrhnuté kvantitatívne odlišenie kupol od *ceiling pockets* ako samostatných foriem speleoreliéfu na základe ich rozmerov (Slabe, 1995; Osborne, 2004; De Waele a Gutiérrez, 2022).

(2) V bývalom Československu sa nielen podlahové, ale aj stropné oválne vyhlbeniny vytvorené vírivým prúdom vody označovali ako „obrie hrnce“ (Kettner, 1948, 1954; Kinský, 1950), čo v českej a slovenskej literatúre viackrát pretrvávalo dodnes. Vo vtedajšej americkej literatúre sa všetky oválne stropné vyhlbeniny takmer výlučne označovali *ceiling pockets*, kým oválne podlahové vyhlbeniny (v riečisku s voľnou hladinou) *potholes* (Bretz, 1942), neskôr *stream potholes* (Ford, 1965) – pojem „hrniec“ priradzovali iba k podlahovým vyhlbeninám. Jedine Curl (1966) písal o stropných hrncoch (*ceiling „pots“*). Takisto vo francúzskej terminológii sa pojem *marmite* (angl. *pothole*, hrniec) viac-menej vymedzil iba na označovanie podlahových riečiskových krútnavových hrncov (Renault, 1958, 1968; Corbel, 1962, 1963 a ďalší). Pojem *marmite inverse* priradený k stropným vyhlbeninám, napr. Viehman (1959), Choppy (1961), Bögli (1964b) a Fénelon (1968), sa prestal používať.

(3) Kým vo francúzskej terminológii sa všetky (rôzne veľké) stropné oválne vyhlbeniny označujú ako kupoly, v americkej a anglickej literatúre sa za kupoly označujú/považujú: (i) iba väčšie *ceiling pockets* (Ford a Williams, 2007; Palmer, 2007), t. j. kupoly sú podmnožinou *ceiling pockets*, alebo (ii) oválne stropné vyhlbeniny s priemerom viac ako 1,5 m (Os-

borne, 2004), resp. 1 m (De Waele a Gutiérrez, 2022), t. j. *ceiling pockets* a kupoly sa považujú za samostatné formy speleoreliéfu. Pri charakteristike menších morfológických tvarov v jaskyniach Lundberg (2019) takmer výlučne opisuje iba *solution pockets*, len okrajovo sa zmieňuje o *convection cupolas* (oddeľuje ich na základe odlišného procesu vytvárania).

(4) V doterajšej literatúre sa *ceiling pockets* a kupoly rozlišujú prevažne na základe kritéria polohy v rámci jaskyne alebo veľkosti vyhlbeniny. Odlišný prístup (bez ohľadu na priestorovú pozíciu vyhlbenín v jaskyni a ich veľkosť) preferujú Ford a Williams (1989, 2007), ktorí pojem *solution pockets* vzťahujú na vyhlbeniny vytvorené výlučne rozpúšťaním hornín. Tým ich odlišujú od *stream potholes*, ktoré vznikajú vo vadóznych jaskynných riečiskách nielen rozpúšťaním hornín, ale aj mechanickou eróziou. Vychádzajúc z odlišných morfo genetických procesov Lundberg (2019) píše, že *potholes*, ako aj podlahové, stenové i stropné *pockets* vznikajú v podzemných kanáloch s turbulentným prúdením vody, kým kupoly v prostredí s pomalým prúdením vody (neprevládá turbulentné prúdenie) a v ktorom sa vytvárajú hustotné a konvekčné prúdy. Niektoré kupolovité vyhlbeniny, menších i väčších rozmerov, vznikajú aj kondenzačnou koróziou. V mnohých prípadoch je však pri terénnom výskume problematické určiť (zväčša iba na základe vizuálneho pozorovania), ktorý z uvedených procesov bol pri vytváraní stropnej vyhlbeniny dominantný.

(5) Z morfo genetického hľadiska možno predpokladať, že Kettner (1948, 1954) a Kinský (1950) použili pojem „stropné hrnce“ zdôrazňujúc ich vytváranie najmä vírivým (turbulentným) vodným prúdom pod tlakom vo freatických podmienkach (pozri tiež Trimmel et al., 1965). Takéto „hrnce“ sa vytvárajú v drenážnych freatických kanáloch, napr. zvýšenou vztlakovou turbulenciou vody v miestach spájania sa alebo vetvenia drenážnych kanálov. Poukazujúc na tlakové vírové prúdenie vody pri vytváraní *marmites inverses* sa vo francúzskej terminológii objavil synonymický pojem *marmite de pression*, ktorý sa však neodporúčal používať (Fénelon, 1968; Gèze, 1973).

Vzhľadom na dlhodobé pretrvávajúci problém nejednotného definovania kupol podľa ich polohy v rámci jaskyne alebo ich veľkosti sa natiska úvaha, že pojem *ceiling pockets* by sa mohol spájať s riečne modelovanými jaskyňami alebo ich časťami vytváranými dominantne turbulentným prúdom vody, kým pojem „kupola“, resp. „kupolovité vyhlbeniny“ s jaskyňami alebo časťami jaskýň vytvorenými výlučne rozpúšťaním hornín pri konvekčnom prúdení vody (pozri Lundberg, 2019) alebo účinkom kondenzačnej korózie⁷.

⁷ Podobne pojem vírové (lastúrovité) jamky (angl. *scallop*) sa v posledných rokoch začína viac-menej opätovne pridružovať iba k riečne modelovaným jaskyňam, v ktorých boli prvotne opísané ako indikátory smeru prúdenia vody (Bretz, 1942; Coleman, 1949 a ďalší). Im podobné korózne skalné tvary, ktoré vznikli koróziou pri konvekčnom prúdení vody alebo kondenzačnou koróziou v dôsledku konvekčného prúdenia vzduchu, sa týmto pojmom naďalej neodporúča označovať (D'Angeli et al., 2019; De Waele a Gutiérrez, 2022; De Waele et al., 2024).

Okrem francúzskej, frankofónnej a talianskej literatúry sa kupoly a im podobné tvary začali opisovať najmä v súvislosti s rozvojom výskumu hypogénnych jaskýň. Aj u nás sa v posledných desaťročiach stropné oválne vyhlbeniny v jaskyniach, ktoré nemajú riečny pôvod, opisujú ako kupoly alebo kupolovité vyhlbeniny. Pojem *ceiling pockets* sa do literatúry zaviedol v súvislosti s opisom koróznych freatických jaskýň a riečne modelovaných jaskýň freatického pôvodu (Bretz, 1938, 1942). Aj v neskoršej literatúre sa *ceiling pockets* detailnejšie skúmali a viac spájali s riečne modelovanými jaskyňami (napr. Slabe, 1994, 1995, 1996). V publikáciách o hypogénnych jaskyniach sa hlavný dôraz zväčša kládol na ich speleogenézu, pričom zodpovedajúca terminológia nebola prioritná a z toho vyplývajúce nejednotnosti doteraz pretrvávajú.

Vzhľadom na spomenuté morfometrické kritérium, podľa ktorého sú kupoly oválne stropné vyhlbeniny priemerom viac ako 1,5 m (Osborne, 2004), resp. 1 m (De Waele a Gutiérrez, 2022), sa ukazuje potreba terminologického označenia menších stropných kupolovitých vyhlbenín vytvorených rozpúšťaním

hornín pri konvekčnom prúde vody alebo účinkom kondenzačnej korózie (podľa morfogenetického kritéria by sa nemali označovať *ceiling pockets*). Cylindrické, resp. cigarovité stropné vyhlbeniny s oválnym koncom (pomer medzi ich výškou a šírkou je viac ako 1) sa označujú *bell holes*. Na ich vytváranie kondenzačnou koróziou môže v niektorých prípadoch, najmä vo vstupných častiach jaskýň v tropických oblastiach, vplývať aj biogénne produkovaný CO₂, teplo a vlhkosť, ako aj agresivnosť netopierích exkrementov (Lundberg and McFarlane, 2009; Audra et al., 2016; Dandurand et al., 2019 a ďalší). Širšie a menej zahľbené oválne stropné vyhlbeniny – kupolky, resp. minikupoly (pomer medzi ich výškou a šírkou je ≤ 1) možno rozdeliť na misovité dutiny (angl. *bowl-shaped hollows*; pomer medzi ich výškou a šírkou je ≤ 1 a $> 0,25$) a plytšie tanierovité vyhlbeniny (angl. *plate-shaped depressions*; pomer medzi ich výškou a šírkou je $\leq 0,25$). Tieto predbežné názvy sa môžu nahradiť obsahovo primeranejšími pojmi.

Aby nevznikali ďalšie terminologické nezrovnalosti, príslušná terminológia (vrátane slovenskej) by sa mala zosúladať a unifikovať,

podľa možností v kontexte zaužívaných identických alebo značne podobných pojmov v širšej geologickej a geomorfologickej terminológii. Najmä v minulom storočí, v snahe dosiahnuť čo najširšiu koordinovanosť, akceptovateľnosť a záväznosť pojmového aparátu, vznikli viaceré karsologické a speleologické terminologické slovníky v rámci, resp. pod gesciou národných alebo dokonca medzinárodných vedeckých alebo speleologických organizácií. Napriek tomu sa však aj v súčasnosti konštatuje značná terminologická nejednotnosť, ktorá je za pretrvávajúcich a prevládajúcich separátnych prístupov ťažko riešiteľná. Teraší neuspokojivý stav by azda mohli vylepšiť nové terminologické slovníky vypracované na nadnárodnej úrovni, čo by dalo najväčší predpoklad na zjednocovanie problematických pojmov na širokej medzinárodnej úrovni.

Okrem riešenia týchto terminologických problémov treba na základe najnovších poznatkov, najmä zo speleogenetických štúdií hypogénnych jaskýň, dopracovať ucelenejšiu klasifikáciu a typológiu stropných kupol, resp. všetkých stropných oválnych vyhlbenín v jaskyniach.

Literatúra

- ALEXANDER, H. S. 1932. Pothole Erosion. *The Journal of Geology*, 40, 4, 305–337. <https://doi.org/10.1086/623954>
- AUDRA, P. – HOBLEA, F. – BIGOT, J.-Y. – NOBÉCOURT, J.-C. 2007. The role of condensation corrosion in thermal speleogenesis. Study of a hypogenic sulfidic cave in Aix-les-Bains, France. *Acta Carsologica*, 36, 2, 185–194.
- 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. Morphological indicators of speleogenesis: hypogenic speleogens. 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, 23–32.
- AUDRA, P. – BARRIQUAND, L. – BIGOT, J. Y. – CAIHOI, D. – CAILLAUD, H. – VANARA, N. – NOBÉCOURT, J. C. – MADONIA, G. – VATTANO, M. – RENDA, M. 2016. L'impact méconnu des chauves-souris et du guano dans l'évolution morphologique tardive des cavernes. *Karstologia*, 68, 1–20.
- AYKES, W. S. 1908. Deutschman's Cave, near Glacier, British Columbia, Canada. *Transactions American Institute of Mining Engineers*, 38 (1907), 857–876.
- BAC-MOSZASZWIŁ, M. – RUDNICKI, J. 1978. O możliwości hydrotermalnej genezy jaskini Dziura w Tatrach. *Kras i speleologia*, 2 (11), 84–91.
- BATES, R. E. 1932. Underground features of sinking creek, Washington County, Indiana. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, 41 (1931), 263–268.
- BELLA, P. 1998a. Fluvialna modelácia Bystrickej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): *Výskum využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z vedeckej konferencie, Mlynský 8. – 10. 10. 1997. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 36–43.
- BELLA, P. 1998b. Morfológické a genetické znaky Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Aragonit*, 3, 3–7.
- BELLA, P. 2000a. 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. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 42–51.
- BELLA, P. 2000b. Harmanecká jaskyňa – názory a problémy genézy, základné morfológické a genetické znaky. In Bella, P. (Ed.): *Výskum využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 2. vedeckej konferencie, Demänovská Dolina 16. – 19. 11. 1999. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 71–81.
- BELLA, P. 2003. Morfológia a genéza Combacekej jaskyne. *Slovenský kras*, 41, 47–68.
- BELLA, P. 2004a. Morfoskulptúrne planné formy jaskynného georeliéfu. In Bella, P. (Ed.): *Výskum využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 20–34.
- BELLA, P. 2004b. Geomorfologické pomery Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Slovenský kras*, 42, 57–88.
- BELLA, P. 2013. Disolučné kupoly v jaskyniach, ich morfogenetické znaky a typológia – príklady z vybraných jaskýň na Slovensku. *Aragonit*, 18, 1, 30–35.
- BELLA, P. – BOŠÁK, P. 2012. Speleogenesis along deep regional faults by ascending waters: case studies from Slovakia and Czech Republic. *Acta Carsologica*, 41, 2–3, 169–192. <https://dx.doi.org/10.3986/ac.v41i2-3.556>
- BELLA, P. – GAÁL, Ľ. – LITVA, J. – HOCHMUTH, Z. – HAVIAŘOVÁ, D. – SOTÁK, J. 2018. Moldavská jaskyňa – horizontálny labyrint vytvorený alochtónnymi vodami Bodvy v kontaktnom krase Medzevskej pahorkatiny. *Mineralia Slovaca*, 50, 2, 157–176.
- BELLA, P. – PAVLARČÍK, S. 2002. Morfológia a problémy genézy Belianskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): *Výskum využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 14. – 16. 11. 2001. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 22–35.
- BELLA, P. – URATA, K. 2002. Oválne stropné kupolovité a komínovité vyhlbeniny v Jasovskej jaskyni. *Aragonit*, 7, 4–7.
- BIGOT, J.-Y. 2014. La corrosion pariétale des grottes par les aérosols d'origine animale. *Actes de la vingt-troisième Rencontre d'Octobre, Le Châtelard 2013*, n° 23, Spéléo-club de Paris, 14–26.
- BIGOT, J.-Y. – Guyot, J.-L. 2014. Chauves-souris et condensation-corrosion dans les grottes du Pérou. *Actes de la vingt-troisième Rencontre d'Octobre, Le Châtelard 2013*, n° 23, Spéléo-club de Paris, 22–27.
- BINI, A. 1980. Appunti di geomorfologia ipogea: le forme parietali. Atti V Convegno regionale di speleologia del Trentino-Alto Adige, Lavis 1978, 19–46.
- BINI, A. 2007. Morphologie et genèse de quelques types de coupoles. *Actes de la 17e Rencontre d'Octobre, Orgnac*, 37–44.
- BINI, A. – BORSATO, A. – ISCHIA, N. 1991. Morfologia ed evoluzione della Grotta Cesare Battisti (La Paganella, Trento). *Natura Alpina*, 42, 2–3 (Atti IX Convegno regionale di speleologia del Trentino-Alto Adige, Lavis 1989), 41–77.
- BINI, A. – CAPPA, G. 1978. Considerazioni sulla morfologia delle cupole. *Quaderni del Museo Speleologia „V. Rivera“*, 4, 7–8, 47–62.
- BINI, A. – MERAZZI, M. – STRINI, A. – ZUCCOLI, L. 2007. Cupules particulières (Buchini) observées dans quelques grottes Préalpines (Lombardie, Trentin). *Actes de la 17e Rencontre d'Octobre, Orgnac*, 46–50.
- BIRMINGHAM, A. N. – MYLROIE, J. R. – MYLROIE, J. E. – LACE, M. J. 2010. Bell Hole Origin: Constraints on Developmental Mechanisms, Crooked Island, Bahamas. In Martin, J. B. – Siewers, F. D. (Eds.): *Proceedings of the 14th Symposium on the Geology of the Bahamas and other carbonate regions*, Gerace Research Center, San Salvador Island, Bahamas, 18–30.

- BOSÁK, P. 1988. Slovník pojmů a termínů. In Bosák, P. – Bilková, D. – Jančařík, A. – Šmikmátor, F. – Šterba, O. – Valoch, K. – Vašátko, J. – Weigel, J.: Jeskyňářství v teorii a praxi. ČSŠ, SZN, Praha, 67–83.
- BÖGLI, A. 1964a. Mischungskorrosion – ein Beitrag zum Verkarstungsproblem. *Erdkunde*, 18, 2, 83–92.
- BÖGLI, A. 1964b. Corrosion par mélange des eaux. *International Journal of Speleology*, 1, 1–2, 61–70. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.1.1.9>
- BÖGLI, A. 1980. *Karst Hydrology and Physical Speleology*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York, 284 s.
- BRETZ, J. H. 1938. Caves in the Galena formation. *The Journal of Geology*, 46, 6, 828–841.
- BRETZ, J. H. 1942. Vadose and phreatic features of limestone caverns. *The Journal of Geology*, 50, 6, 675–811.
- BRUNHES, J. 1902. Le travail des eaux courantes: La tactique des tourbillons. *Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles, Géologie et Géographie*, Vol. II, Fasc. 4, 153–224.
- BRUNHES, J. 1903. Marmites fluviales et tourbillons. *Le Globe. Revue genevoise de géographie*, 42, 85–93. <https://doi.org/10.3406/globe.1903.4854>
- CIGNA, A. A. – FORTI, P. 1986. The speleogenetic role of air flow caused by convection. 1st contribution. *International Journal of Speleology*, 15, 1–4, 41–52. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.15.1.3>
- COLEMAN, J. C. 1949. An indicator of water-flow in caves. *Proceedings of the University of Bristol Spelaeological Society*, 6, 57–67.
- CORBEL, J. 1962. Marmites-de-géant, tinajitas, vagues d'erosion, niches. *Spelunca*, 2, 3, 34–37.
- CORBEL, J. 1963. Marmites de géants et microformes karstiques. *Noroi*, 38, Avril–Juin 1963, 121–132. <https://doi.org/10.3406/noroi.1963.1426>
- CŠER, F. 1988. Role and morphological traces of mixing corrosion in caves. *International Symposium on Physical, Chemical and Hydrological Research of Karst, Communications*, Košice, 132–145.
- CŠER, F. – SZENTHE, I. 1986. The way of cave formation by mixing corrosion. *Comunicacions*, 90 Congreso Intenational de Espeleologia, Barcelona, 276–280.
- CURL, R. L. 1966. Cave conduit enlargement by natural convection. *Cave Notes*, 8, 1, 4–8.
- ČINČURA, J. – ČINČUROVÁ, E. – DRDOŠ, J. – JAKÁL, J. – KÖHLER, E. – KRIPPEN, E. – MARIOT, P. – ROJKOVIČ, I. – TARÁBEK, K. – THIEBEN, V. 1983. *Encyklopédia Zeme. Obzor*, Bratislava, 720 s.
- DANDURAND, G. – DURANTHON, F. – JARRY, M. – STRATFORD, D. J. – BRUXELLES, M. 2019. Biogenic corrosion caused by bats in Drotsky's Cave (the Gcwihaba Hills, NW Botswana). *Geomorphology*, 327, 284–296. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.10.027>
- D'ANGELI, I. M. – NAGOSTINIS, M. – CARBONE, C. – BERNASCONI, S. M. – POLYAK, V. – PETERS, L. – MCINTOSH, W. C. – DE WAELE, J. 2019. Sulfuric acid speleogenesis in the Majella Massif (Abruzzo, Central Apennines, Italy). *Geomorphology*, 333, 167–199. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.036>
- DAVIS, D. G. 1965. Discussion, "Negative stalactites". *Cave Notes*, 7, 2, 13.
- DAVIS, W. M. 1930. Origin of Limestone Caverns. *Geological Society of America Bulletin*, 41, 3, 475–628.
- DE WAELE, J. – AUDRA, P. – MADONIA, G. – VATTANO, M. – PLAN, L. – D'ANGELI, I. M. – BIGOT, J.-Y. – NOBÉCOURT, J.-V. 2016. Sulfuric acid speleogenesis (SAS) close to the water table: Examples from southern France, Austria, and Sicily. *Geomorphology*, 253, 452–467. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.10.019>
- DE WAELE, J. – D'ANGELI, I. M. – AUDRA, P. – PLAN, L. – PALMER, A. N. 2024. Sulfuric acid caves of the world: A review. *Earth-Science Reviews*, 250, 104693. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2024.104693>
- DE WAELE, J. – GUTIÉRREZ, F. 2022. *Karst Hydrogeology, Geomorphology and Caves*. Wiley Blackwell, Chichester, 912 s. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119605379>
- DREYBRODT, W. – FRANKE, H. W. 1994. Joint-controlled solution pockets (Laugungskolke) in ceiling of limestone caves: a model of their genesis, growth rates and diameters. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N. F., 38, 2, 239–245.
- DREYBRODT, W. – GRABROVŠEK, F. – PERNE, M. 2005. Condensation corrosion: A theoretical approach. *Acta Carsologica*, 34, 2, 317–348. <https://doi.org/10.3986/ac.v34i2.262>
- DROPPA, A. 1957a. Demänovské jaskyne – krasové zjavy Demänovskej doliny. *Slovenská akadémia vied*, Bratislava, 289 s.
- DROPPA, A. 1957b. Ochtinská aragonitová jaskyňa. *Geografický časopis*, 9, 3, 169–184.
- DROPPA, A. 1959. Belanská jaskyňa a jej kras. *Šport*, Bratislava, 136 s.
- DUBILJANSKY, V. N. 1980. Hydrothermal karst in the Alpine folded region of the South of the USSR. *Kras i speleologia*, 3 (12), 18–36.
- DUBILJANSKY, Y. V. 2013. Karstification by geothermal waters. In Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.): *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology, 57–71. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00110-X>
- DUBILJANSKY, Y. 2019. Hydrothermal caves. In White, W. B. – Culver, D. C. – Pipan, P. (Eds.): *Encyclopedia of caves* (Third Edition). Elsevier Academic Press, Burlington, 546–552.
- ELSTON, E. D. 1917. Potholes: Their Variety, Origin and Significance. *The Scientific Monthly*, 5, 6, 554–567.
- FÉNELON, P. 1968. *Vocabulaire français des phénomènes karstiques*. Mémoires et documents du CNRS, 4, Paris, 13–68.
- FIELD, M. S. 2002. *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology*. United States Environmental Agency, Washington, D. C., 214 s.
- FORD, D. C. 1965. Stream potholes as indicators of erosion phases in limestone caves. *Bulletin of the National Speleological Society*, 27, 1, 27–32.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 1989. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Unwin Hyman, London – Boston – Sydney – Wellington, 601 s. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-7778-8>
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007. *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, 562 s. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- FORTI, P. 1996. Thermal karst systems. *Acta Carsologica*, 25, 99–117.
- GABROVŠEK, F. – PERIC, B. – KAUFMANN, G. 2018. Hydraulics of epiphreatic flow of a karst aquifer. *Journal of Hydrology*, 560, 56–74. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.03.019>
- GAMS, I. – KUNAVER, J. – RADINJA, D. 1973. Slovenska kraška terminologija. Katedra za fizično geografijo, Oddelek za geografijo FF, Ljubljana, 77 s.
- GÉZE, B. 1973. Lexique des termes français de spéléologie physique et de karstologie. *Annales de Spéléologie*, 13, 1, 23–49.
- GRADZIŃSKI, M. – HERCMAN, H. – KICIŃSKA, D. – PURA, D. – URBAN, J. 2011. Ascending speleogenesis of Sokola Hill: a step towards a speleogenetic model of the Polish Jura. *Acta Geologica Polonica*, 61, 4, 341–365.
- GRADZIŃSKI, M. – MOTYKA, J. – GÓRNY, A. 2009. Artesian origin of a cave developed in an isolated horst: a case of Smocza Jama (Kraków Upland, Poland). *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 79, 2, 159–168.
- HEDGES, J. 1967. Mixture-solution hollows in Worden's Cave, Iowa. *Cave and Karst*, 9, 5, 41–44.
- HOCHMUTH, Z. 2004. Príspevok ku genéze drobných foriem modelácie jaskynných chodieb v Medzevskej pahorkatine. In Bella, P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. SSJ, Liptovský Mikuláš*, 35–42.
- CHOPPY, J. 1961. Observations morphologiques en Quercy. *Annales de spéléologie*, 16, 1, 5–23.
- JEANNIN, P.-Y. 2001. Modeling flow in phreatic and epiphreatic karst conduits in the Hölloch cave (Muotatal, Switzerland). *Water Resources Research*, 37, 2, 191–200. <https://doi.org/10.1029/2000WR900257>
- JENNINGS, J. N. 1971. *Karst*. Australian National University Press, Canberra, 252 s.
- JENNINGS, J. N. 1979. Cave and karst terminology. *Australian Speleological Federation Newsletter*, 83, 3–21.
- JENNINGS, J. N. 1985. *Karst Geomorphology*. Basil Blackwell, Oxford – New York, 293 s.
- KETTNER, R. 1948. *Všeobecná geologie, část III. Melantrich*, Praha, 765 s.
- KETTNER, R. 1954. *Všeobecná geologie, III. Nakladatelství Československé akademie věd*, Praha, 464 s.
- KLIMCHOUK, A. 1997a. Artesian speleogenetic setting. In Jeannin, P.-Y. (Ed.): *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology*, 1, La Chaux-de-Fonds, 157–160.
- KLIMCHOUK, A. 1997b. Speleogenetic effects of water density differences. In Jeannin, P.-Y. (Ed.): *Proceedings of the 12th International Congress of Speleology*, 1, La Chaux-de-Fonds, 161–164.
- KLIMCHOUK, A. 2000. Speleogenesis Under Deep-Seated and Confined Settings. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, USA, 244–260.

- KLIMCHOUK, A. 2007. Hypogene Speleogenesis: Hydrological and Morphogenetic Perspective. National Cave and Karst Research Institute, Special Paper, 1, Carlsbad, NM, 106 s.
- KLIMCHOUK, A. 2009. Morphogenesis of hypogenic caves. *Geomorphology*, 106, 1–2, 100–117. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.013>
- KLIMCHOUK, A. 2019. Speleogenesis – Hypogene. In White, W. B. – Culvier, D. C. – Pipan, P. (Eds.): *Encyclopedia of caves (Third Edition)*. Elsevier Academic Press, Burlington, 974–988.
- KUNSKÝ, J. 1950. Kras a jeskyně. Přírodovědecké nakladatelství, Praha, 200 s.
- LANGE, A. L. 1959. Introductory notes on the changing geometry of cave structures. *Cave Studies*, 11, 69–90.
- LANGE, A. L. 1960. Geometrical basis for cave interpretation. *Bulletin of the National Speleological Society*, 22, 1, 77–84.
- LANGE, A. L. 1962. Water level planes in caves. *Cave Notes*, 4, 2, 12–16.
- LANGE, A. L. 1964. Planar domes in solution caves. *Cave Notes*, 6, 3, 20–23.
- LANGE, A. L. 1965. Reply to Davis' Discussion of "Negative stalactites". *Cave Notes*, 7, 2, 13–14.
- LARSON, C. V. 1992. Nomenclature of lava tube features. In Rea G.T. (Ed.): *Proceedings of the 6th International Symposium on Vulcanospeleology (Hilo, Hawai, August 1991)*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 231–248.
- LARSON, C.V. 1993. An illustrated glossary of lava tube features. *Western Speleological Survey Bulletin*, 87, Charlie & Jo Larson, Vancouver, Washington, 56 s.
- LAURITZEN, S. E. – LUNDBERG, J. 2000. Solutional and erosional morphology. In Klimchouk, A. B. – Ford, D. C. – Palmer, A. N. – Dreybrodt, W. (Eds.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, Alabama, U. S. A., 408–426.
- LEHOTSKÝ, M. – GREŠKOVÁ, A. 2004. Hydromorfologický slovník. SHMÚ, Bratislava, 77 s.
- LISMONDE, B. 2000. Corrosion des cupoles de plafond par les fluctuations de pression de l'air emprisonné. *Karstologia*, 35, 39–46.
- LUNDBERG, J. 2019. Karren, cave. In White W. B. – Culvier D. C. – Pipan P. (Eds.): *Encyclopedia of caves (Third Edition)*. Elsevier Academic Press, Burlington, 588–599.
- LUNDBERG, J. – MCFARLANE, D. A. 2009. Bats and bell holes: The microclimatic impact of bat roosting, using a case study from Runaway Bay Caves, Jamaica. *Geomorphology*, 106, 1–2, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.09.022>
- LUNDBERG, J. – MCFARLANE, D. 2012. Post-speleogenetic biogenic modification of Gomantong Caves, Sabah, Borneo. *Geomorphology*, 157–158, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.043>.
- MAIRE, R. 1980. *Eléments de karstologie physique. Spelunca spécial*, 3, FFS, Paris, 56 s.
- MALOTT, C. A. 1932. Lost River at Wesley Chapel Gulf, Orange County, Indiana. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, 41 (1931), 285–316.
- MONTORIOL-POUS, J. 1951. Los procesos clásticos hipogeos. *Rassegna Speleologica Italiana*, 3, 4, 119–129.
- MORNOE, W. H. 1970. A Glossary of Karst Terminology. Geological Survey Water-Supply Paper 1889-K, United States Government Printing Office, Washington, 26 s.
- MUCKE, B. – VÖLKER, R. – WAEDEWITZ, S. 1983. Cupola formation in occasionally inundated cave roofs. *Evropska regionalna konferencia po speleologiji, Sbornik ot materiali*, 2, Sofia, 129–132.
- MÜLLER, J. 1980. Moldavská jeskyně. *Československý kras*, 31 (1979), 97–102.
- MÜLLER, P. 1974. A melegforrás-barlangok és gömbfülkék keletkezéséről. *Karszt és Barlang*, 1974, 1, 7–10.
- MÜLLER, P. – SÁRVÁRY, I. 1977. Some aspects of the developments in Hungarian speleology theories during the last 10 years. *Karszt és Barlang, special issue*, 53–60.
- MYERS, J. O. 1948. The formation of Yorkshire caves and potholes. *Transactions of the Cave Research Group of Great Britain*, 1, 1, 26–29.
- MYROIE, J. E. – CAREW, J. L. 1990. The flank margin model for dissolution cave development in carbonate platforms. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 5, 413–424.
- MYROIE, J. E. – PANUSKA, B. C. – CAREW, J. L. – FRANK, E. F. – TAGGART, B. E. – TROESTER, J. W. – CARRASQUILLO, R. 1995. Development of flank margin caves on San Salvador Island, Bahamas and Isla de Mona, Puerto Rico. In Boardman, M. (Ed.): *Proceedings of the 7th Symposium on the Geology of the Bahamas. Bahamian Field Station, San Salvador, Bahamas*, 49–81.
- OSBORNE, R. A. L. 2004. The troubles with cupolas. *Acta Carsologica*, 33, 2, 9–36.
- OSBORNE, R. A. L. 2009. Hypogene caves in deformed (fold belt) strata: observations from Eastern Australia and Central Europe. 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, 33–43.
- OSBORNE, R.A.L. 2014. Understanding the origin and evolution of Jenolan Caves: the next steps. *Proceedings of the Linnean Society of New South Wales*, 136, 77–97.
- QUINIF, Y. 1973. Contribution à l'étude morphologique des coupoles. *Annales de spéléologie*, 28, 4, 565–573.
- PALMER, A. N. 2007. *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, Ohio, 454 s.
- PALMER, A. N. 2011. Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. *Geomorphology*, 134, 1, 9–22. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.03.014>
- PANOŠ, V. 2001. *Karsologická a speleologická terminologie*. Knižné centrum, Žilina, 352 s.
- PRELOVŠEK, M. – TURK, J. – GABROVŠEK, F. 2008. Hydrodynamic aspect of caves. *International Journal of Speleology*, 37, 1, 11–26. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.37.1.2>
- PŘIBYL, J. 1992. Podzemní krasové tvary. In Příbýl J., Ložek V., Kučera B. a kol.: *Základy karsologie a speleologie*. Academia, Praha, 84–92.
- PSOTKA, J. 2008. Príspevok k formám modelácie Hrušovskej jaskyne. *Slovenský kras*, 46, 2, 315–324.
- PSOTKA, J. – JANOČKO, J. – BELLA, P. 2006. Hlinená chodba Demänovskej jaskyne slobody – predbežné výsledky geomorfologického a sedimentologického výskumu. In Bella, P. (Ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov z 5. vedeckej konferencie (Demänovská Dolina, 26. – 29. 9. 2005)*. SSJ, Liptovský Mikuláš, 47–55.
- RENAULT, P. 1958. *Eléments de spéléomorphologie karstique*. Annales de spéléologie, 13, 1–4, 21–48.
- RENAULT, P. 1968. Contribution à l'étude des action mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogénèse. *Annales de spéléologie*, 23, 3, 529–596.
- RICE-SNOW, S. – WICKS, C. M. – TARHULE-LIPPS, R. F. A. 1997. Detailed wall morphology of an interior flank margin cave room, Isla de Mona, Puerto Rico. In Carew, J. L. (Ed.): *Proceedings of the 8th Symposium on the Geology of the Bahamas and other Carbonate Regions. Bahamian Field Station, San Salvador, Bahamas*, 158–165.
- RUDNICKI, J. 1978. Role of convection in shaping subterranean karst forms. *Kras i Speleologia*, 2 (11), 92–100.
- RUDNICKI, J. 1989. Relation between natural convection and cave formation in hydrothermal karst. *Proceedings, 10th International Congress of Speleology*, 1, Budapest, 14–16.
- SLABE, T. 1994. Klasifikacija in poimenovanje jamskih skalnih oblik. *Naše jame*, 36, 43–57.
- SLABE, T. 1995. Cave rocky relief and its speleogenetical significance. *ZRC SAZU, Ljubljana*, 128 s.
- SLABE, T. 1996. Jamski skalni relief, ki ga dolbe vodni tok. *Acta Carsologica*, 25, 391–434.
- SLABE, T. – PRELOVŠEK, M. 2013. Rock features and morphogenesis in epigenic caves. In Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.): *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, *Karst Geomorphology*, 172–185. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00135-4>
- SZUNYOGH, G. 1984. A gömbfülkék kondenz-víz-korróziós kialakulásának elméleti fizikai leírása. *Karszt és Barlang*, 1, 19–24.
- SZUNYOGH, G. 1990. Theoretical investigation of the development of spheroidal niches of thermal water origin – Second approximation. *Proceedings, 10th International Congress of Speleology*, 3, Budapest, 766–768.
- TARHULE-LIPPS, R. F. A. – FORD, D. C. 1998a. Morphometric studies of bell hole development on Cayman Brac. *Cave and Karst Science*, 25, 3, 19–30.
- TARHULE-LIPPS, R. F. A. – FORD, D. C. 1998b. Condensation Corrosion in Caves on Cayman Brac and Isla de Mona. *Journal of Cave and Karst Studies*, 60, 2, 84–95.
- TRIMMEL, H. et al. 1965. *Speleologisches Fachwörterbuch. Akten des 3. Internationalen Kongresses für Speleologie (Wien – Obertraun – Salzburg 1961)*, Band C, Wien, 109 s.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 1989. Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. *Osveta, Martin*, 464 s.
- VEHMAN, J. 1959. Contribution à la connaissance de la genèse des marmites. *Speleologica*, 1, 3, 145–175.
- VEHMAN, J. 1976. Essai de classification des formes souterraines des grottes. In Panoš, V. (Ed.): *Proceeding of the 6th International Congress of Speleology, Olomouc 1973*, 3, 289–293.
- VOLKO-STAROHORSKÝ, J. 1935. *Speleologia či jaskýňoveda vzhľadom na Slovensko*. Muzeálna knižnica, 12, Nákladom Múzea slovenského krasu, Liptovský Sv. Mikuláš, 156 s.
- VÖLKER, R. 1989. Die Kondenswasserkorrosion als höhlenraumbildender Faktor. *Die Höhle*, 40, 1, 1–10.
- WHITE, W. B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains*. Oxford University Press, Oxford – New York, 464 s.
- WHITE, E. L. – WHITE, W. B. 1969. Processes of cavern breakdown. *Bulletin of the National Speleological Society*, 31, 4, 83–96.
- WILFORD, C. E. 1966. „Bell Holes“ in Sarawak Caves. *Bulletin of the National Speleological Society*, 28, 4, 179–182.

POROVNANIE CHEMICKÉHO ZLOŽENIA A KVALITY VÔD OCHTINSKEJ ARAGONITOVEJ JASKYNE S VYBRANÝMI JASKYŇAMI ŠTÔLNE KAPUSTA

Dagmar Haviarová

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

D. Haviarová: Comparison of the chemical composition and quality of the water of the Ochtiná Aragonite Cave with selected caves of the Kapusta Adit

Abstract: The Ochtiná Aragonite Cave (Slovenské rudohorie Mountains, Revúcka vrchovina Highland) represents a unique aragonite cave formed in a lens of crystalline limestone and ankerite enclosed by phyllites. The cave was discovered in the Kapusta Adit during iron ore exploration. In addition to Ochtiná Aragonite Cave (OAC), there are more smaller caves in the Kapusta Adit, such as Suchá festivalová Cave, Vodopádová Cave (total 15 caves). The article compared the chemical composition and quality of the waters of the OAC and 3 selected caves of the Kapusta Adit based on the results of monitoring carried out on the site in the period 2017 – 2018. A high correlation was determined between the chemical composition of the waters of the OAC and selected caves in the Kapusta Adit. The results of the monitoring at both locations showed that the chemical composition of which is analogous to the chemical composition of classic karst waters typical to the Triassic carbonate environment. The main process of forming the chemical composition of the waters is the dissolution of carbonates. The occurrence of the acidic, highly mineralized chloride-sulfate waters was not detected at any sampling point in the Kapusta Adit and OAC. The waters of both locations were moderately mineralized with a TDS from 201 to 340 mg·l⁻¹, the waters in the caves of the Kapusta Adit were less mineralized. In the caves, the occurrence of waters with carbonatogenic mineralization of the Ca-Mg-HCO₃ type, respectively the Ca-HCO₃ type, was confirmed. The Ca-HCO₃ type dominated in the seepage waters of the Kapusta Adit. The order of the main cations in the waters of the Kapusta Adit and the Ochtiná Aragonite Cave was Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺ > NH₄⁺. For anions, the order HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻ was confirmed. The overall microbial water profile is higher in the waters of Kapusta Adit. Calculated saturation index (I) values were highest for goethite, Fe(OH)₃ (a) and calcite. Waters were undersaturated with respect to dolomite, gypsum, siderite and rhodochrosite. I for calcite, aragonite and dolomite were lower for caves of the Kapusta Adit. The water quality of both locations was good. The favorable qualitative state of the cave waters is a consequence of the sustainable way of using the territory, in which anthropogenic activity is minimal, also thanks to the existence of the OAC protection zone.

Keywords: Ochtiná Aragonite Cave, Kapusta Adit, cave water, chemical composition, water quality, saturation index, cluster analysis

ÚVOD

Národná prírodná pamiatka Ochtinská aragonitová jaskyňa (OAJ) je právom považovaná za významný celosvetový jaskynný fenomén. Dlhodobu patrí medzi lokality, ktoré sú v centre pozornosti bežných turistov navštevujúcich jaskyňu ako náučnú lokalitu, ako aj mnohých odborníkov venujúcich sa problematike prieskumu a výskumu jaskýň. Jaskyňa je od roku 1995 súčasťou svetového prírodného a kultúrneho dedičstva UNESCO.

História objavu OAJ súvisí s prieskumnou banskou činnosťou v umelo vyrazenej štolni Kapusta. V štolni boli okrem OAJ objavené a zdokumentované aj ďalšie menšie jaskyne. Tie však z hľadiska výzdoby nie sú ani zďaleka také atraktívne ako samotná OAJ.

Medzi jedny z prvých výskumov podrobnejšie a hlavne komplexnejšie skúmajúcich OAJ a jej okolie so zameraním sa hlavne na problematiku jej genézy, bol výskum z obdobia rokov 1981 až 1990. Výskum zastrešovalo Speleolaboratórium pri Gombaseckej jaskyni ako vysunuté odborné pracovisko Východoslovenského múzea v Košiciach v rámci riešenia úlohy *Fyzikálno-chemický výskum krasového fenoménu Ochtinskej aragonitovej jaskyne* (Rajman et al., 1990). Úloha nadväzovala na práce laboratória, ktoré riešilo genetické problémy OAJ priebežne už od roku 1968. V rámci riešenia úlohy sa okrajovo posudzovalo aj chemické zloženie vôd v jaskyni a v okolitých prameňoch (analýza 4 vzoriek vôd). Neskôr

sa v období rokov 1999 až 2002 v OAJ pod hlavičkou Správy slovenských jaskýň (SSJ) realizoval hydrochemický monitoring zameraný na sledovanie chemického zloženia vôd (Peško, 2002; Haviarová a Peško, 2004). S odstupom 15 rokov so zámerom spresniť a rozšíriť existujúce poznatky o chemickom zložení jaskynných vôd pokračoval v OAJ hydrochemický monitoring. V roku 2017 pracovníci SSJ realizovali v jaskyni odbery vzoriek vôd, ktoré boli v roku 2018 rozšírené aj na odbery z troch vybraných jaskýň v štolni Kapusta.

Predložený príspevok prináša zosumarizovanie výsledkov hydrochemického monitoringu z obdobia rokov 2017 – 2018 a porovnanie základného chemického zloženia a kvality vôd OAJ a jaskýň štólne Kapusta.

ZÁKLADNÁ CHARAKTERISTIKA LOKALITY

OAJ a štôlna Kapusta (Slovenské rudohorie, Revúcka vrchovina) sú súčasťou Ochtinského krasu, ktorý je situovaný vo východnej časti Revúckej vrchoviny, medzi Jelšavou a Štítnikom, na severozápadnom svahu masívu Hrádok (obr. 1). Ochtinský kras bol v literatúre dlhobodo opísaný ako kryptokras (napr. Gaál a Ženiš, 1986; Jakál, 1982, 1993; Bella, 2004; Hochmuth, 2008), len nedávno ho Bella a Bosák (2022) odporučili podľa presnejších a zaužívaných kategórií typov krasu v zahraničí priradiť k uzavretému krasu.

Na geologickej stavbe predmetného územia sa podieľajú dve stratigrafické jednotky gemerika: drnavské súvrstvie gelnickej skupiny spodnodedovského veku (sericiticko-grafitické fylity, chloriticko-sericitické a piesčité fylity, karbonátové šošovky zastúpené okrami, kremencami, limonitovými zvyškami a jedinele vápencami) a nadložné rožňavské súvrstvie gočaltovskej skupiny permského veku (droby, metamorfované konglomeráty) (Gaál, 2004). Podľa údajov Ševčíka (Ševčík a Kantor, 1956) sú na severovýchodnom svahu Hrádku rozšírené tri karbonátové šošovky, ktoré sa dajú sledovať v smere SV – JZ v celkovej dĺžke 800 m. Ďalšia menšia šošovka bola zistená vo východnom cípe ochranného pásma OAJ. V pripovrchových častiach šošovky sú zastúpené najmä okre, kremence, limonitové zvyšky a len jedinele vápence (Gaál, 2004). Časť vápencov v šošovkách je metasomaticky zmenená na siderit a ankerit, ktoré sú miestami následkom oxidácie rozpadnuté na oker (Gaál a Ženiš, 1986; Gaál, 1996).

Masív Hrádku, v ktorom sa OAJ a štôlna Kapusta nachádzajú, je odvodňovaný do Ochtinského potoka (SZ svah) a bezmenného potoka v Banskej doline (SV svah). V masíve Hrádku sa nachádzajú puklinovo-sutinové a sutinové pramene nízkej výdatnosti. Územie je súčasťou hydrogeologického rájónu G 128 „Paleozoikum Revúckej vrchoviny a Volovských vrchov v povodí Slanej“. V rámci vymedzenia útvarov podzemných vôd patrí územie do útva-

ru SK200280FK „Puklinové a krasovo puklinové podzemné vody Nízkych Tatier a Slovenského rudohoria oblasti povodia Hron“. Kryštalické vápence a ankerity sa vyznačujú puklinovou priepustnosťou s vysokým zvodnením. Nadložné bridlice s polohami kremencov patria medzi stredne zvodnené s puklinovou a medzizrnovou priepustnosťou. Nízkym zvodnením s medzizrnovou priepustnosťou sú charakteristické kvartérne deluviálne sedimenty, ako aj chloritické a piesčité fylity. Tie sú väčšinou nezvodnené, majú charakter nepriepustných hornín (Rajman et al., 1990). Pôvodný pohyb podzemných vôd v masíve Hrádku je narušený baníckou činnosťou, ktorá sa tu v minulosti vykonávala.

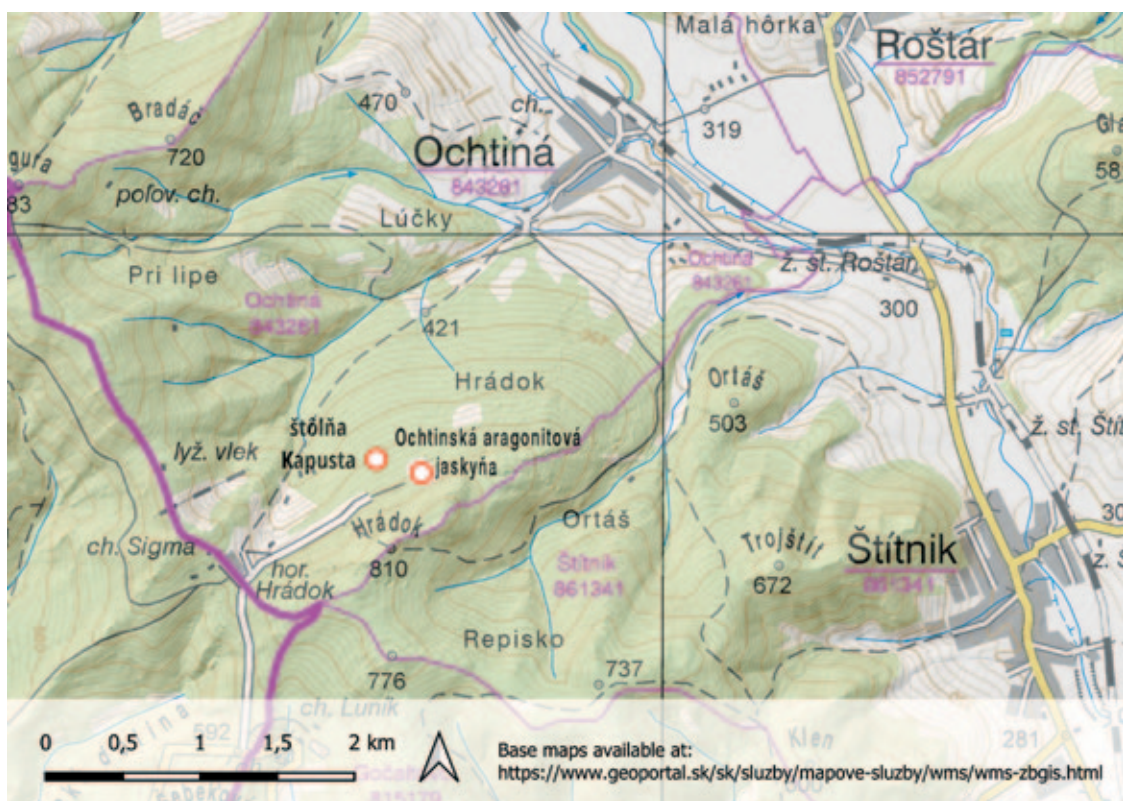
OCHTINSKÁ ARAGONITOVÁ JASKYŇA

Zameraná dĺžka samotnej jaskyne je 300 m. Vertikálne prevýšenie jaskyne je 33 m (Pukanská et al., 2020). Jaskyňa je od roku 1972 sprístupnená pre verejnosť cez 145 m dlhú umelo vyrazenú vstupnú štôľňu. Z jaskyne sú známe obličkovité, ihlicovité aj kríčkoviťé formy aragonitu.

Priestory OAJ sú vytvorené v šošovke sivých a bielych kryštalických vápencov (56,3 % plochy) a v zokrovaných ankeritoch (43,7 % plochy) (Gaál, 2004). Maximálna pravá hrúbka šošovky, v ktorej je jaskyňa vytvorená, je 50 m. Šošovka je zo všetkých strán obklopená fylitmi. Sivé laminované a biele kryštalické vápence sa vyskytujú hlavne v južnej a juhovýchodnej časti jaskyne (Mramorová sieň, Ježkovitá chodba, Hviezdna sieň, Hlboký dóm). Medzi hlavné priestory s výskytom zokrovaných ankeritov patria priestory pozdĺž Hlavnej, Priepasťovej a Čarovnej chodby (Gaál, 2004). Okre sú hrdzavohnedé, okrovohnedé, miestami až tmavohnedé. Tmavohnedé až čierne časti majú zvýšený obsah mangánu. Pôvodný ankerit sa v súčasnosti na jaskynnej stene nevyskytuje, následkom oxidačných procesov bol zmenený na oker. Rovnako siderit (FeCO_3) a pyrit (FeS_2) identifikované v masíve Hrádku (Mišík, 1953; Bystrický a Fusán, 1954) sa priamo v OAJ nenašli.

Jaskyňa sa začala vytvárať pravdepodobne v skorom pleistocéne až pliocéne, najnovšie poznatky o jej genéze sú publikované v prácach Bosák et al. (2002), Bella et al. (2022). Pri vzniku jaskyne mali dôležitú úlohu zrážkové vody presakujúce cez nadložné

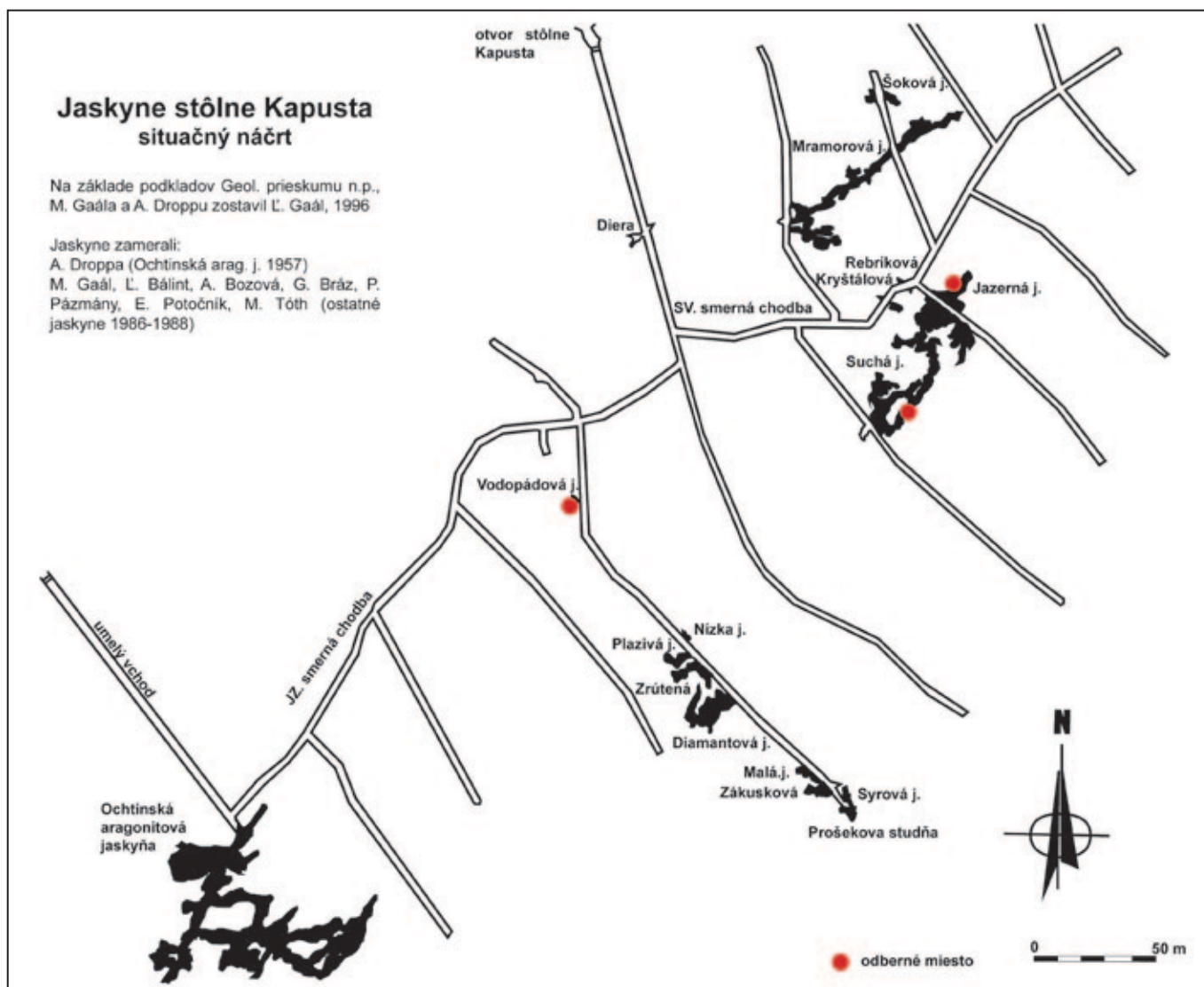
nekarbonátové horniny, ktoré rozpúšťali kryštalické vápence, spôsobili oxidáciu ankeritov, pričom vznikali oxyhydroxidy Fe (goethit, okre). Oxid uhličitý vznikajúci pri oxidácii ankeritov zosilnil rozpúšťanie vápencov (Rajman et al., 1993; Bosák et al., 2002; Bella et al., 2022). Zrážková voda prestupujúca cez nadložie jaskyne sa do jej podzemných priestorov dostáva aj v súčasnosti. Najintenzívnejší priesak je spojený s hlavnou tektonickou poruchou smeru SSV – JJZ, ktorá prechádza jaskynnými priestormi v smere od Vstupnej siene cez Hlavnú chodbu až za Mramorovú sieň (Haviarová a Peško, 2004). Priesakové vody sa do jaskyne dostávajú aj cez menšie tektonické poruchy a uzavreté pukliny, na ktoré je naviazaný priesak podstatne menšej intenzity. Z hydrologického hľadiska je jaskyňa zaujímavá prítomnosťou stáleho podzemného jazera elipsovitého tvaru v Hlbokom dome, orientovaného v smere tektonickej poruchy SV – JZ. Hladina jazera kolíše v rozpätí niekoľkých metrov. Druhým hydrologicky zaujímavým miestom je sintrové jazierko v západnom výbežku okraja Hviezdnej siene s rozmermi približne $2 \times 1,2$ m. Steny aj dno jazierka vyplňajú guľovité tvary vyžrážaného kalcitu. Hĺbka vody v jazierku závisí od intenzity priesaku zrážkových vôd, väčšinou však nepresahuje hĺbku 50 cm. Droppa (1957) nazýva jazierko „Vaňa“, v príspevku Gaála (2004) je jazierko označované ako „Čarovné jazierko“. Posledným hydrologicky zaujímavým miestom jaskyne je Vstupná sieň, na dne ktorej sa pri intenzívnych zrážkach alebo v čase topenia snehu vytvára plytké občasné jazero. V západnej časti siene udáva Droppa (1957) prítomnosť ponorového závrťu, ktorý odvádza hromadiace sa priesakové vody z priestorov Vstupnej siene.



Obr. 1. Lokalizácia Ochtinskej aragonitovej jaskyne a štôľne Kapusta.
Fig. 1. Location of the Ochtiná Aragonite Cave and the Kapusta Adit.

JASKYNE ŠTÔLNE KAPUSTA

Podľa Gaála (1996) štôľňu Kapusta spolu s prieskumnou štôľňou Ankerit začali raziť v roku 1952 pracovníci n. p. Východoslovenský rudný prieskum Jelšava s cieľom overiť zásoby ankeritu na severovýchodnom svahu Hrádku. V roku 1954 bola na konci juhozápadnej smernej štôľne počas prieskumných prác objavená jaskyňa s aragonitovou výzdobou (terajšia Ochtinská aragonitová jaskyňa) (napr. Ševčík a Kantor, 1956; Droppa, 1957; Kubíny, 1959; Benický, 1958; Lalkovič, 1998, 2004). OAJ však nebola jedinou jaskyňou štôľne. Droppa (1957) uvádza zo štôľne Kapusta okrem OAJ aj prítomnosť jaskyne Suchá, Zrútená diera a rúrovitý komín. Podrobnejší speleologický prieskum jaskýň v štôľni Kapusta spolu s ich zameraním vykonali v rokoch 1985 – 1988 členovia oblastnej skupiny SSS Šačíkovo (Gaál, 1996). Celkovo sa v štôľni preskúmalo a zameralo 15 jaskýň (pôvodne 19, pri 4 jaskyniach sa pri podrobnejších prieskumoch zistilo vzájomné prepojenie). Mapa štôľne Kapusta s lokalizáciou najvýznamnejších jaskýň je súčasťou obr. 2. Jaskyne sa v štôľni nachádzajú v rôzne veľkých šošovkách kryštalických vápencov, ktoré sa vyskytujú v sericiticko-grafitických fylitoch. V roku 1995 sa pod gestorstvom Slovenskej agentúry životného prostredia vykonala v štôľni revízný prieskum jaskýň. V rámci prieskumu boli opísané tieto jaskyne: Diera, Prošekova studňa, Syrová jaskyňa, Zákusková jaskyňa, Malá jaskyňa, Diamantová jaskyňa, Zrútená diera, Plazivá jaskyňa, Nízka jaskyňa, Vodopádová jaskyňa, Kryštalová jaskyňa, Rebríková jaskyňa, Suchá jaskyňa, Mramorová jaskyňa, Šoková jaskyňa (Gaál, 1996). Jaskyne majú v porovnaní s OAJ len nepatrnú aragonitovú výzdobu, niektoré



Obr. 2. Mapa štôlne Kapusta s miestami odberov vôd (Gaál, 1996, upravené).

Fig. 2. Map of the Kapusta Adit with the water sampling places (Gaál, 1996, modified).

sú úplne bez výzdoby, s hojným zastúpením okrových hlien pokrývajúcich steny a podlahy krasových dutín. V súčasnosti chráni vstup do štôlne Kapusta zasypaný pevný uzáver, ktorý konzervuje túto lokalitu pred prípadným nežiaducim poškodením. Na technickom stave samotnej štôlne sa pritom postupne odráža zub času; odhŕňa jej výdrev, časti štôlne sa čiastočne zavalujú. Napriek tomu sa takáto forma ochrany dlhodobo ukazuje ako vhodná z hľadiska bezpečného zachovania lokality.

V štôlni sa vyskytujú tektonické poruchy s dominantným smerom SV-JZ, miestami aj VSV-ZJZ, podradnejšie spojovacie pukliny ZSZ-VJV (Gaál, 1996). Tektonické poruchy v štôlni aj v súčasnosti umožňujú prestup zrážkových vôd do podzemia štôlne a jej jaskýň. V jaskyniach štôlne Kapusta sa nachádzajú aj menšie jazierka, ktoré vznikajú pravdepodobne kombináciou sústredenej infiltrujúcej vody do podzemia a nepriepustného podložia. Priesaková voda sa občasne kumuluje aj na podlahe hlavnej štôlne do menších vodných plôch, a to hlavne v jej vstupných častiach (obr. 3). V literatúre



Obr. 3. Vstupné časti štôlne Kapusta (A) s vodou, (B) bez vody. Foto: P. Staník

Fig. 3. Entrance parts of the Kapusta Adit (A) with water, (B) without water. Photo: P. Staník

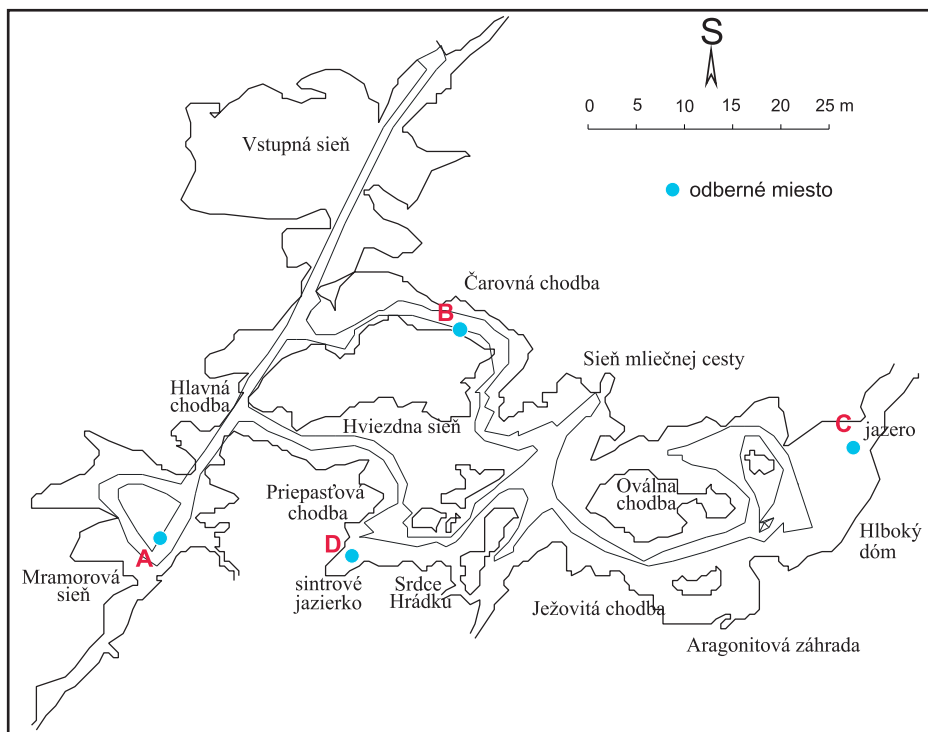
(napr. Droppa, 1957; Gaál, 1996) boli vodné plochy v štôlni Kapusta opísané z Jazernej jaskyne, Prošekovej studne (9 m hlboký komín, na dne ktorého sa udržiavala voda) a Suchej jaskyne (neskôr označenej ako Festivalová jaskyňa) s úzkou, špirálovite klesajúcou 5 m hlbokou studňou. Prošekova studňa bola v čase prvej rekognoskácie štôlnie bez vody, preto bola z našich odberov nakoniec vypustená. Do studne v Suchej jaskyni (Suchej festivalovej jaskyni) bol pomerne obťažný prístup. V čase našej prvej obhliadky sa tu nachádzala voda s hĺbkou do 1,5 m. Meraním elektrickej vodivosti vody v jazierku sa zistili rovnaké hodnoty ako pri vodách v jazierkach nachádzajúcich sa v spodnej časti Jazernej jaskyne, čo indikuje ich rovnaké chemické zloženie. Z hľadiska dostupnosti sa tak za odberné miesto vôd podzemných jazierok nakoniec zvolila Jazerná jaskyňa. Odbery priesakových vôd sa realizovali vo Vodopádovej jaskyni (čiastočne okrem vyplnenej dutiny na zlome s dĺžkou 10 m, v databáze jaskýň SpeleoK vedená pod registračným číslom 2351) a v Suchej festivalovej jaskyni (v databáze jaskýň SpeleoK vedená pod registračným číslom 965). Suchá festivalová jaskyňa zodpovedá jaskyni, ktorú Droppa označoval pôvodne ako Suchú jaskyňu (Droppa, 1957) a M. Gaál neskôr ako Festivalovú (Gaál, 1996). Suchá festivalová jaskyňa je najvýznamnejšou jaskyňou štôlnie Kapusta. Zahŕňa pôvodne dve samostatné, v súčasnosti prepojené jaskyne – 221 m dlhú Festivalovú (Suchú) a 25 m dlhú Jazernú jaskyňu.

METODIKA

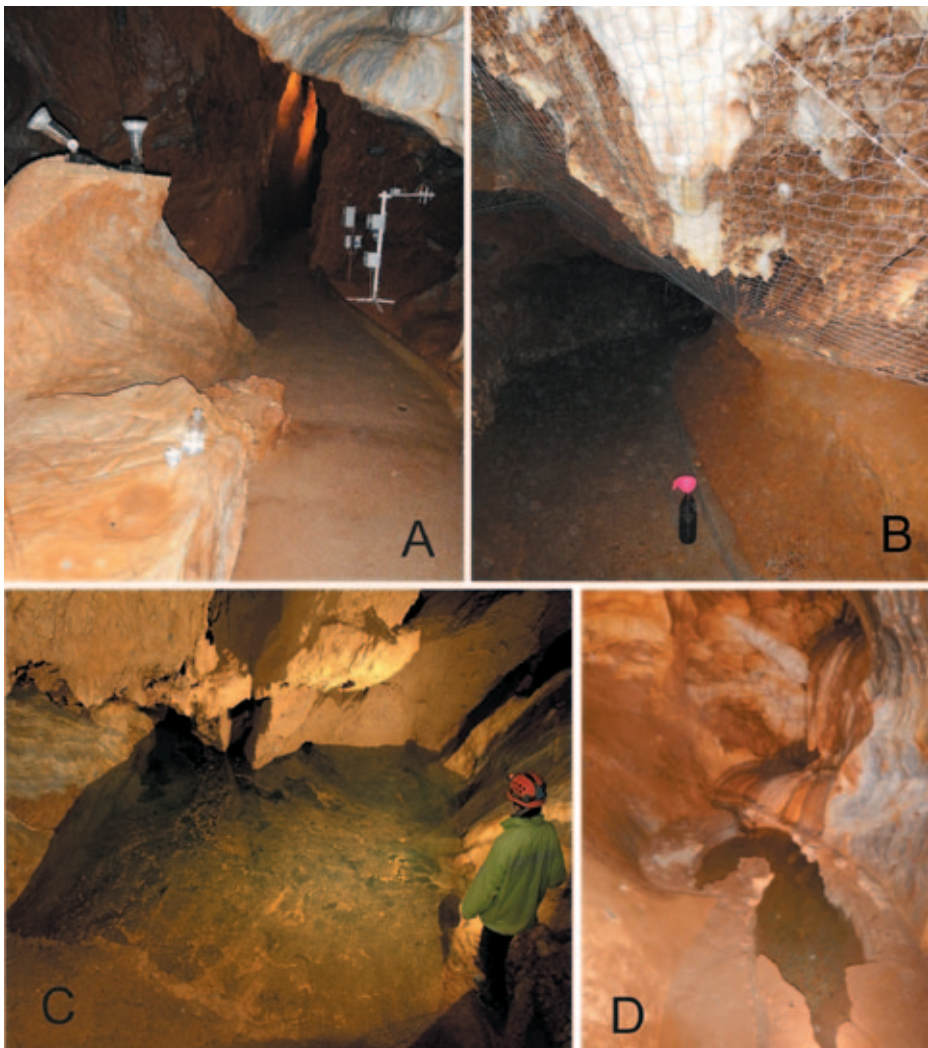
V rámci riešenia úlohy sa zvolil takýto postup prác:

- štúdium dostupných materiálov o Ochtinskej aragonitovej jaskyni a štôlni Kapusta v súvislosti s realizáciou starších hydrochemických pozorovaní,
- spriechodnenie zavaleného vchodu do štôlnie Kapusta,
- výber odberných miest na lokalitách,
- odbery vôd spojené s terénnymi meraniami,
- laboratórne spracovanie vzoriek (subdodávateľsky),
- vyhodnotenie analýz a interpretácia výsledkov.

Počas terénnych prác sa v období od mája 2017 do decembra 2018 vykonali odbery vzoriek vôd v rámci piatich terénnych výjazdov (31. 5. 2017, 3. 10. 2017, 30. 11. 2017, 8. 8. 2018, 29. 11. 2018). Vzorky sa odoberali zo 4 odberných miest v Ochtinskej aragonitovej jaskyni, ktoré boli v rámci možností lokalizované na rovnakých miestach ako pri starších terénnych prácach (Peško, 2002; Haviarová a Peško, 2004). Išlo o odberné miesto priesaku priamo z aragonitu v Čarovnej chodbe, priesak z Mramorovej siene v prostredí kryštálických vápencov, odber vody zo sintrového jazierka v západnom výbežku okraja Hviezdnej siene a jazera v Hlbokom dome (obr. 4, 5). V prípade štôlnie Kapusta boli pre odbery vybrané



Obr. 4. Mapka Ochtinskej aragonitovej jaskyne s miestami odberov vôd.
Fig. 4. Map of the Ochtiná Aragonite Cave with the water sampling places.



Obr. 5. Odberné miesta v Ochtinskej aragonitovej jaskyni. (A) Mramorová sieň, (B) Čarovná chodba, (C) Hlboký dóm, (D) západný výbežok okraja Hviezdnej siene. Foto: D. Haviarová (A, B, D), P. Staník (C)
Fig. 5. Sampling places in the Ochtiná Aragonite Cave. (A) Mramorová sieň, (B) Čarovná chodba (C) Hlboký dóm, (D) the western spur of the edge of the Hviezdna sieň. Photo: D. Haviarová (A, B, D), P. Staník (C)

3 jaskyne – Suchá festivalová, Vodopádová a Jazerná. V Suchej festivalovej a Vodopádovej jaskyni sa odoberali priesakové vody, v Jazernej jaskyni sa odbery vykonali z jazier. 23 odobratých vzoriek vôd bolo spracovaných subdodávateľsky v akreditovanom skúšobnom laboratóriu spoločnosti LL, s. r. o., Liptovské laboratóriá Liptovský Mikuláš a spoločnosti Eurofins Bel/Novamann, s. r. o., Nové Zámky. Pri stanovení jednotlivých ukazovateľov boli použité štandardné operačné postupy a metódy. Odbery vzoriek vody sa uskutočnili v súlade s pokynmi a požiadavkami laboratória. Vzorky vody na chemickú analýzu sa odoberali do sklenených vzorkovníč s objemom 1 l, vody na mikrobiologické rozborly boli odoberané do sterilných fľaš so zábrusom s objemom 500 ml, zátk a hrdlo vzorkovníč boli chránené pred priamym kontaktom sterilným alobalom. V rámci odberu sa priamo v teréne vykonali terénne merania vybraných fyzikálno-chemických parametrov pomocou prístroja WTW Multi 3430 SET C: teplota a elektrolytická vodivosť vody (EC) použitím elektródy TetraCon®925, pH vody použitím elektródy SenTix®940, oxido-redukčný potenciál pomocou elektródy

SenTix®ORP 900. Namerané hodnoty Eh boli prepočítané na štandardnú vodíkovú elektródu (Pitter, 2009). Z chemických ukazovateľov sa pri všetkých odberoch a vzorkách stanovovali koncentrácie Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Fe, Mn, NH₄⁺, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, HCO₃⁻, CHSK_{Mn}, SiO₂, voľného a agresívneho CO₂. Ďalšie stopové prvky v rozsahu Ag, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Zn boli stanovené pri všetkých odberoch s výnimkou odberu 8. 8. 2018. Mikrobiologické analýzy, a to v rozsahu *Escherichia coli* (EC), enterokoky (EK), koliformné baktérie (KB) a kultivovateľné mikroorganizmy pri 22 °C (KM22) a 36 °C (KM36), sa vykonávali len v rámci vybraných vzoriek vôd a odberných miest.

Všetky výsledky analýz vôd boli použité na ďalšie spracovanie využitím štatistických a grafických nástrojov programu Excel. Pre každú analýzu boli vypočítané základné charakterizačné koeficienty, stanovené geneticke typy vôd (Gazda, 1974) a chemické typy vôd na základe prevládajúcich iónov s kritériom ekvivalentného podielu zložiek nad 20 a 25 c-z %. Na výpočet saturačných indexov (I) v rámci riešenia termodynamických rovnáh sa použilo modelovanie v programe

PHREEQC-2 (Parkhurst a Appelo, 1999). Korelačná a hierarchická zhľuková analýza ako jeden z najčastejšie používaných multivariačných štatistických metód v hydrogeológii sa vykonala na vybraných dátach chemických analýz za použitia programu Statgraphics Certurion XV. V rámci zhľukovej analýzy bola použitá Wardova metóda, ktorej princípom je minimalizácia heterogenity zhľukov podľa kritéria minima prírastku vnútra skupinového súčtu štvorcov odchýlok objektov od ťažiska zhľukov. Táto metóda má v porovnaní s ostatnými metódami najlepšie rozlišovacie schopnosti a je použiteľná univerzálne pre rôzne typy dát (Machek, 1998). Kvalita vôd bola hodnotená podľa vyhlášky Ministerstva zdravotníctva SR č. 91/2023, ktorou sa ustanovujú ukazovatele a limitné hodnoty kvality pitnej vody, postup pri monitorovaní pitnej vody, manažmentu rizík systému zásobovania pitnou vodou a manažment rizík domových rozvodných systémov, a Nariadenia vlády č. 452/2019 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd.

Tab. 1. Výsledky terénnych meraní a chemických analýz vôd z OAJ, vybrané ukazovatele.
Tab. 1. Results of in situ measurements and chemical analyses of water from the OAC, selected parameters.

Dátum odberu	t _{vody}	pH	EC	M	CHSK _{Mn}	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	Fe	Mn	Si
			mS/m															
mg/l																		
OAJ, Mramorová sieň, priesak																		
31.5.2017	8,2	7,74	34,4	279,4	<0,5	2,40	1,20	<0,05	50,0	12,00	1,09	12,00	26,0	167	<0,050	<0,040	<0,010	2,71
3.10.2017	8,1	7,64	36,8	301,1	<0,5	1,20	1,40	<0,02	57,0	13,10	1,09	13,20	26,2	180	0,024	0,017	<0,005	2,80
30.11.2017	8,0	8,16	32,1	269,4	0,61	1,30	7,60	0,045	47,9	10,50	7,51	13,20	25,6	149	0,041	0,029	<0,005	2,38
8.8.2018	8,5	7,70	38,2	308,4	<0,5	1,20	1,30	<0,05	60,0	12,00	1,30	7,26	24,1	193	0,115	0,039	<0,005	2,90
29.11.2018	7,5	7,88	32,2	284,5	<0,5	1,30	1,30	<0,05	54,0	24,00	1,02	14,50	23,4	158	0,049	<0,010	<0,005	2,48
OAJ, Čarovná chodba, priesak z aragonitu																		
31.5.2017	7,9	7,70	34,5	290,4	<0,5	1,10	4,50	<0,05	44,0	17,00	4,51	7,24	33,1	173	<0,050	<0,040	<0,010	2,10
3.10.2017	7,9	7,60	34,9	280,8	<0,5	1,20	1,10	<0,02	43,4	18,20	1,52	8,27	33,2	168	0,010	0,026	<0,005	2,10
30.11.2017	8,1	8,27	34,4	281,4	<0,5	1,30	0,90	0,027	44,9	17,50	1,39	8,65	33,6	167	<0,030	0,015	<0,005	2,20
29.11.2018	7,7	8,00	34,2	291,5	<0,5	1,30	1,10	<0,05	54,0	12,00	1,20	13,40	32,6	170	<0,030	<0,010	<0,005	2,10
OAJ, Hlboký dóm, jazero																		
31.5.2017	7,8	7,60	27,8	226,0	<0,5	1,50	0,90	<0,05	36,0	12,00	1,47	7,10	15,3	143	<0,050	<0,040	<0,010	3,08
3.10.2017	8,0	7,78	28,6	237,7	<0,5	1,70	0,97	<0,02	37,9	13,40	3,44	7,76	15,4	149	0,027	0,051	0,007	2,90
30.11.2017	7,7	8,26	28,7	242,9	<0,5	1,70	0,97	0,033	40,7	13,60	1,52	7,73	15,2	152	<0,030	0,180	0,017	3,32
8.8.2018	7,8	7,60	27,5	241,8	<0,5	1,70	1,10	<0,05	36,0	13,00	1,68	7,93	14,0	158	0,036	0,027	<0,005	2,99
29.11.2018	7,7	7,90	27,7	240,4	<0,5	1,80	1,00	<0,05	43,0	9,00	1,69	8,79	13,7	153	0,036	<0,010	<0,005	2,99
OAJ, sintrové jazierko v západnom výbežku okraja Hviezdnéj siene																		
31.5.2017	7,6	7,82	39,3	340,0	<0,5	1,10	1,00	<0,05	48,0	22,00	1,33	6,30	19,8	234	<0,050	0,030	<0,005	2,29
3.10.2017	7,7	7,98	40,4	338,2	<0,5	1,20	1,00	<0,02	49,8	23,70	1,37	4,05	18,3	232	<0,050	0,036	<0,005	2,38
30.11.2017	7,2	7,67	40,2	336,9	<0,5	1,30	1,20	<0,02	51,0	22,90	1,60	3,49	17,9	231	<0,030	0,079	0,006	2,29

Tab. 2. Výsledky terénnych meraní a chemických analýz vôd z jaskýň štólne Kapusta, vybrané ukazovatele.
Tab. 2. Results of in situ measurements and chemical analyses of waters from the caves of the Kapusta Adit, selected parameters.

Dátum odberu	t _{vody}	pH	EC	M	CHSK _{Mn}	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	Fe	Mn	Si
			mS/m															
mg/l																		
Suchá festivalová jaskyňa, priesak																		
8.8.2018	8,6	7,70	25,2	221,8	<0,5	0,73	0,48	<0,05	49,0	3,00	3,19	6,79	1,8	147	<0,030	0,013	<0,005	3,51
29.11.2018	7,6	7,97	25,4	240,2	<0,5	0,72	11,60	<0,05	39,0	3,00	1,60	7,36	1,1	164	<0,030	0,035	0,009	4,21
Vodopádová jaskyňa, priesak																		
8.8.2018	8,1	7,69	24,6	210,5	<0,5	2,80	3,00	<0,05	36,0	6,00	3,80	12,40	20,2	112	0,061	0,022	<0,005	5,09
29.11.2018	7,5	7,74	25,5	200,8	<0,5	3,10	1,10	<0,05	40,0	5,00	1,89	14,70	20,0	101	0,033	0,034	0,010	5,00
Jazerná jaskyňa, jazero																		
8.8.2018	8,0	7,94	25,4	211,0	<0,5	1,60	1,00	<0,05	35,0	11,0	1,61	<5,00	12,2	118	0,085	0,035	0,007	3,08
29.11.2018	7,4	7,93	27,1	233,4	<0,5	1,70	15,50	<0,05	37,0	14,0	1,28	7,36	12,9	135	0,036	<0,010	<0,005	3,08

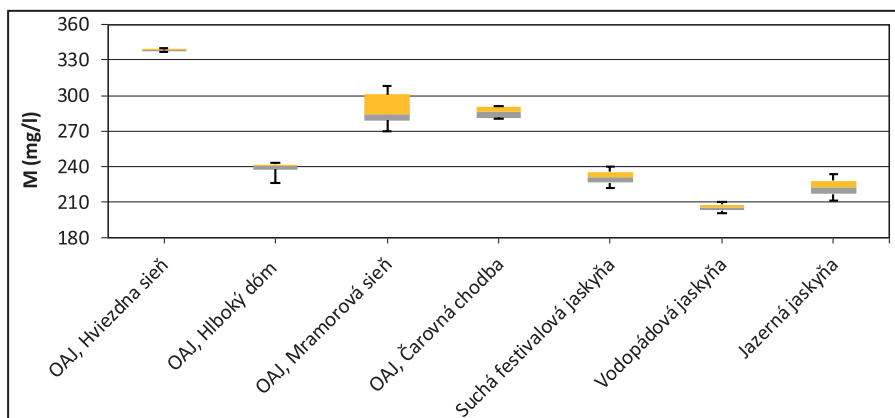
VÝSLEDKY A DISKUSIA

1. CHEMICKÉ ZLOŽENIE VÔD

Na obidvoch lokalitách, t. j. v OAJ aj v jaskyniach štólne Kapusta, bola identifikovaná prítomnosť podzemných vôd s karbonátogénnou mineralizáciou. Hodnoty celkovej mineralizácie sa pri vodách OAJ pohybovali od 226 do 340 mg·l⁻¹. Vyššie mineralizované boli vody sintrového jazierka (336 – 340 mg·l⁻¹), najnižšia mineralizácia bola pri vodách jazera v Hlbokom dome (226 – 242 mg·l⁻¹). Priesakové vody OAJ odobraté z rôznych miest mali porovnateľnú mineralizáciu (269 – 301 mg·l⁻¹) s predikciou vyššej mineralizácie pri menej intenzívnom priesaku (tab. 1). Vody v jaskyniach štólne Kapusta boli v porovnaní s vodami OAJ menej mineralizované (201 – 240 mg·l⁻¹) (obr. 6, tab. 2). Dôvodom môže byť kratšia interakcia vôd v prostredí karbonátových hornín.

Hodnoty celkovej mineralizácie boli na obidvoch lokalitách ovplyvnené hlavne koncentraciami Ca²⁺, Mg²⁺ a HCO₃⁻ (tab. 1, 2). Kým koncentrácie Ca²⁺ boli na obidvoch lokalitách porovnateľné (OAJ 36,0 až 60,0 mg·l⁻¹, jaskyne štólne Kapusta 35,0 až 49,0 mg·l⁻¹), pri koncentraciách Mg²⁺ boli medzi lokalitami väčšie rozdiely (OAJ 9,0 až 24,0 mg·l⁻¹; jaskyne štólne Kapusta 3,0 až 14,0 mg·l⁻¹). Koncentrácie HCO₃⁻ sa pri vodách OAJ pohybovali od 143,0 do 234,0 mg·l⁻¹, pri vodách v jaskyniach štólne Kapusta to bolo len od 101,0 do 164,0 mg·l⁻¹.

Koncentrácie síranov boli najvyššie v priesakových vodách z aragonitu v Čarovnej sieni OAJ (32,6 až 33,6 mg·l⁻¹). Vyššie boli aj ich koncentrácie pri priesakových vodách v Mramorovej sieni (23,4 až 26,2 mg·l⁻¹). Najnižšie hodnoty síranov dosahovali priesakové vody Suchoj festivalovej jaskyne (do 2,0 mg·l⁻¹) zo štólne Kapusta. Síraný v jaskynných vodách môžu pochádzať zo zrážok, resp. ako dôsledok biochemických procesov v pôdnom pokryve. Môže ísť aj o produkt oxidácie sulfidov, prebiehajúcej v prostredí nadložných fylitov alebo v prostredí karbonátov, prípadne o proces rozpúšťania sadrovca, resp. anhydritu. Rajman et al. (1990) uvádza, že sulfidické rudné minerály (prevažne pyrit) sú na lokalite vzácné, prevažne akcesorické. Vzhľadom na uvedený údaj, ako aj nízke koncentrácie síranov vo vodách, nízku hodnotu koeficienta rSO₄/M (najvyššia hodnota 0,09 pri priesakových vodách z aragonitu v Čarovnej chodbe) a zložky S₂(SO₄) do 20 % je zdroj síranov z oxidácie a rozpúšťania síranov pravdepodobne len veľmi nízky. Pri chloridoch, vzhľadom na ich nízke koncentrácie v jaskynných vodách obidvoch lokalít, predpokladáme hlavne ich atmosférický pôvod. Čiastočne môže ísť aj o produkt hydrolytického rozkladu silikátov (napr. slúdk, akcesorických minerálov) obsiahnutých v nadloží vápencov. Koncentrácie chloridov sa v OAJ pohybovali v rozpätí 1,02 až 7,51 mg·l⁻¹, v jaskyniach štólne Kapusta to bolo v intervale 1,28 až 3,80 mg·l⁻¹. Pomer r(Na+K)/r(Ca+Mg) pre karbonátogénne vody má hodnotu vo všeobecnosti nižšiu ako 0,01 (Rapant, 1994). Pri OAJ sa táto hodnota pohybovala od 0,018 do 0,08 s najvyššou priemernou hodnotou pri vodách jazera v Hlbokom dome. Pri jaskyniach štólne Kapusta bola hodnota tohto charakterizačného koefi-



Obr. 6. Krabicový graf celkovej mineralizácie jaskynných vôd. Graf zhora nadol znázorňuje 90-, 75-, 50-, 25- a 10-percentné percentily.

Fig. 6. Box plot of TDS of cave waters, The plot from the top to bottom represent 90th, 75th, 50th, 25th and 10th percentiles.

	počet analýz	M	rMg/rCa	rNa/rK	rSO ₄ /M	r(Na+K)/ r(Ca+Mg)
(mg/l)						
OAJ						
Mramorová sieň, priesak	5	289	0,44	1,68	0,07	0,04
Čarovná chodba, priesak	4	286	0,59	1,69	0,09	0,03
Hlboký dom, jazero	5	238	0,53	2,90	0,05	0,03
Hviezdna sieň, sintrové jazierko	3	338	0,76	1,92	0,04	0,02
Jaskyne štólne Kapusta						
Suchá festivalová jaskyňa, priesak	2	231	0,12	1,35	0,01	0,08
Vodopádová jaskyňa, priesak	2	206	0,24	3,19	0,08	0,08
Jazerná jaskyňa, jazero	2	222	0,57	13,85	0,05	0,10

Tab. 3. Priemerné hodnoty hlavných charakterizačných koeficientov jaskynných vôd.

Tab. 3. Average values of the main characteristic coefficients of cave waters.

cienta v rozpätí od 0,010 do 0,157 s najvyššou priemernou hodnotou vo vodách v Jazernej jaskyni (0,097) (tab. 3). Vyššie hodnoty môžu naznačovať vyšší výskyt silikátových alebo ílových minerálov v obehových cestách vôd.

Celkovo môžeme na základe výsledkov chemických analýz konštatovať, že priemerné zastúpenie hlavných katiónov vo vodách všetkých sledovaných miest v OAJ aj štólne Kapusta bolo v poradí Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺ > NH₄⁺, pri aniónoch platilo poradie HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻. Acidita vôd nebola zistená ani v jednom prípade. pH monitorovaných vôd bolo posunuté do alkalických hodnôt, najnižšie pH bolo dokumentované na hodnote 7,6. Priemerné hodnoty z jednotlivých odberných miest sa pohybovali v rozpätí 7,72 až 7,94.

Na lokalitách sa nezistili ani zvýšené obsahy sledovaných kovov. Výnimkou pri niektorých odberoch boli len vyššie koncentrácie medi, zinku a niklu na odbernom mieste sintrového jazierka v OAJ (tab. 4). Predpokladáme, že vyššie hodnoty nemajú autochtónny pôvod a súvisia skôr s prítomnosťou minci, ktoré sa v jazierku v čase odberov nachádzali v zvýšenom množstve (pochádzajú od návštevníkov jaskyne, ktorí ich sem hádžu pre šťastie).

Výsledky monitoringu preukázali na obidvoch lokalitách prítomnosť vôd, ktoré sú svojím chemickým zložením analogické chemickému zloženiu klasických krasových vôd naviazaných na prostredie triasových karbonátov. Tvorba ich chemického zloženia súvisí predovšetkým s procesom rozpúšťania karbo-

nátov, ktoré tvoria hlavné prostredie obehových ciest sledovaných vôd bez prítomnosti zrudnených častí. Celková mineralizácia je pritom podmienená aj celkovou hrúbkou nadložia a dĺžkou interakcie vody s horninovým prostredím. V prípade OAJ sa tak potvrdili výsledky starších pozorovaní z rokov 1999 až 2002 (Peško, 2002), ktoré rovnako korelujú s výsledkami nových odberov zo štólne Kapusta. Na žiadnom odbernom mieste v štólne Kapusta nebola zistená prítomnosť kyslých, silne mineralizovaných chloridovo-síranových vôd, ktoré Rajman et al. (1990) opisujú napr. zo štólne Alžbeta. Ak sa aj na lokalite (hlavne v štólne Kapusta) nachádza nejaké menšie lokálne zrudnenie, ktorým prestupujú infiltračné vody, našimi odbernými miestami sa ho nepodarilo identifikovať.

2. MIKROBIOLOGICKÉ UKAZOVATELE VÔD

Mikrobiálny profil jaskynných vôd sa zisťoval len orientačne na vybraných odberných miestach, najmä na posúdenie kvalitatívnych vlastností vôd. Tomu zodpovedal aj výber sledovaných mikrobiologických ukazovateľov a odberných miest. V rámci monitoringu sme sa sústredili hlavne na odberné miesta s dynamickými zmenami, t. j. na priesakové vody a jazera, ktorých množstvo a režim výraznejšie reflektujú klimatické pomery na povrchu územia. Priesakové vody OAJ pochádzajúce z Mramorovej siene vykazovali stabilné, takmer nulové mikrobiálne oživenie v rozsahu sledovaných ukazovateľov. Pri vodách Hlbokého domu sa evidoval už výraznejší počet

Tab. 4. Koncentrácie stopových prvkov v analyzovaných vzorkách vôd (* bez analýzy).

Tab. 4. Concentrations of the trace elements in the analysed water samples (*without analysis).

Dátum		31.5.2017					3.10.2017					30.11.2017					29.11.2018				
		OAJ					OAJ					OAJ					štôlna Kapusta				
		Hviezdna sieň, sintrové jazierko	Hlboký dóm, jazero	Čarovná chodba, priesak	Mramorová sieň, priesak		Hviezdna sieň, sintrové jazierko	Hlboký dóm, jazero	Čarovná chodba, priesak	Mramorová sieň, priesak		Hviezdna sieň, sintrové jazierko	Hlboký dóm, jazero	Čarovná chodba, priesak	Mramorová sieň, priesak		Suchá festivalová jaskyňa, priesak	Vodopádová jaskyňa, priesak	Jazerná jaskyňa, jazero		
	meď	0,06	<0,003	<0,0001	<0,0001		0,09	<0,003	<0,0001	<0,0001		0,1	<0,003	<0,0001	<0,0001		<0,003	<0,003	<0,003		
	ortuť	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001		<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001		<0,003	<0,003	<0,003	*	*
	antimon	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		0,0016	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	*	*
	olovo	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	*	*
	zinok	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01		0,028	<0,01	<0,01	<0,01		0,036	<0,01	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
	nikel	0,049	<0,005	<0,005	<0,005		0,057	<0,005	<0,005	<0,005		0,064	<0,005	<0,005	<0,005		<0,005	0,0086	<0,005	<0,005	<0,005
	striebro	<0,001	<0,001	0,0065	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		0,0089	<0,001	<0,001	0,0086	0,0086

Tab. 5. Výsledky mikrobiologických analýz jaskynných vôd.

Tab. 5. Results of the microbiological analyses of cave waters.

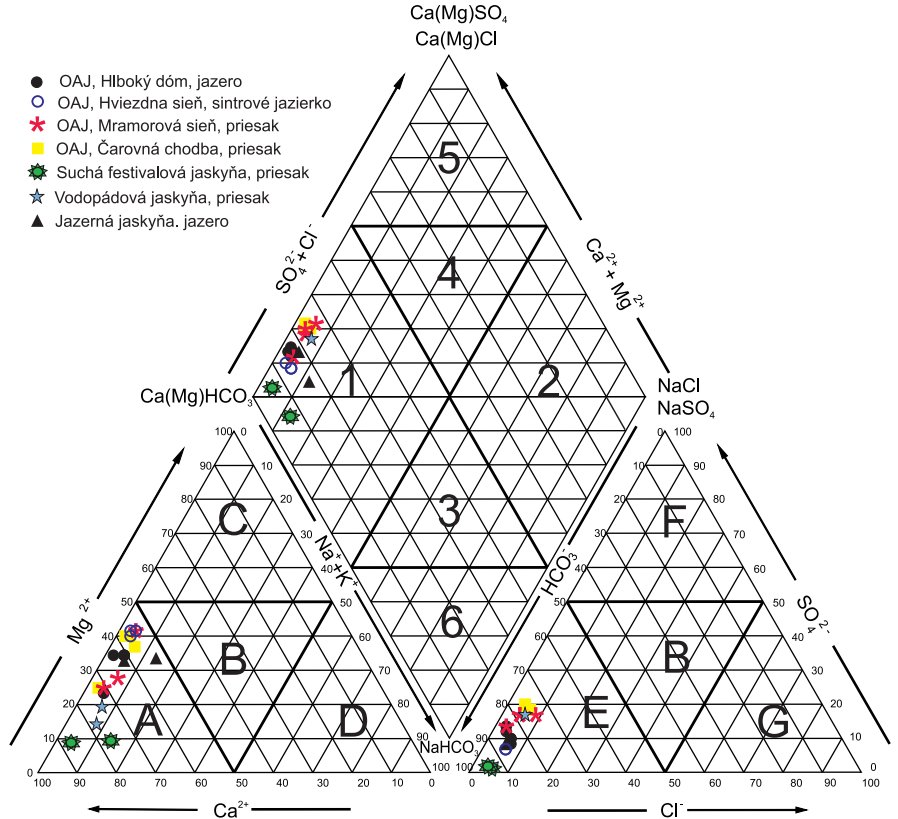
		31. 5. 2017		3. 10. 2017		30. 11. 2017		8. 8. 2018		29. 11. 2018	
		OAJ		OAJ		OAJ		OAJ		štôlna Kapusta	
		Mramorová sieň, priesak	Hlboký dóm, jazero	Mramorová sieň, priesak	Hlboký dóm, jazero	Mramorová sieň, priesak	Hlboký dóm, jazero	Mramorová sieň, priesak	Hlboký dóm, jazero	Suchá festivalová jaskyňa, priesak	Vodopádová jaskyňa, priesak
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koliiformné baktérie	KTJ/100 ml	0	0	0	0	0	3	0	0	0	7
KM22	KTJ/1ml	0	3300	4	159	5	93	0	22	105	257
KM36	KTJ/1 ml	0	0	4	6	0	4	0	8	5	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

kultivovateľných mikroorganizmov pri 22 °C, ktorý bol vyšší hlavne počas vyšších stavov hladiny jazera. Priesakové vody v jaskyniach štôlny Kapusta boli na rozdiel od OAJ oživené kultivovateľnými mikroorganizmami pri 22 °C, podobne ako vody z jazera v Jazernej jaskyni. V prípade zovšeobecnenia výsledkov analýz môžeme konštatovať, že v jaskyniach štôlny Kapusta je o niečo vyššie mikrobiálne oživenie (tab. 5), čo môže súvisieť aj s väčším množstvom organického a iného nepôvodného materiálu, s procesmi zahŕňajúcimi a všeobecne s prítomnosťou rýchlo utilizovateľných organických látok, od prítomnosti ktorých závisí mikrobiologické oživenie vôd. Na obidvoch lokalitách sa potvrdil vyšší podiel KM22 oproti KM36, čo je dané podmienkami jaskynných biotopov v prospech mikroorganizmov lepšie rastúcich pri nízkych teplotách. Spoločným

znakom obidvoch lokalít je nulový počet mikroorganizmov *Escherichia coli* a nulový počet enterokokov (s výnimkou vzorky z 8. 8. 2018 zo Suchej festivalovej jaskyne a jazera v Hlbokom dome OAJ v počte 1 KTJ/100 ml).

3. KLASIFIKÁCIA VÔD PODĽA CHEMICKÉHO ZLOŽENIA

Na účely porovnania obidvoch lokalít boli vyčlenené typy vôd podľa Gazdovej klasifikácie aj podľa prevládajúcich iónov. Na obidvoch lokalitách bol potvrdený výskyt dvoch typov vôd, ktoré sú charakteristické pre vody formujúce svoje chemické zloženie v prostredí karbonátov. V prípade chemického zloženia vôd podľa Gazdovej klasifikácie boli identifikované 2 typy vôd – základný výrazný Ca-Mg-HCO₃ typ a základný výrazný Ca-HCO₃ typ s najvyšším zastúpením A₂



Obr. 7. Piperov graf jaskynných vôd.

Fig. 7. Pipers diagram of cave waters.

Tab. 6. Palmerove charakteristiky (priemerné hodnoty) a klasifikácie chemického zloženia jaskynných vôd.
Tab. 6. Palmer characteristics (average values) and classification of the chemical composition of cave waters.

	počet analýz	Palmerove indexy									Gazdova klasifikácia	Klasifikácia podľa prevládajúcich iónov
		S ₁ (NO ₃)	S ₁ (Cl)	S ₁ (SO ₄)	S ₂ (NO ₃)	S ₂ (Cl)	S ₂ (SO ₄)	A ₁	A ₂	A ₃		
		(c-z %)										> 25 c-z %
OAJ												
Mramorová sieň, priesak	5	3,28	0,19	0,00	2,23	1,76	14,69	0,00	77,83	0,03	základný výrazný Ca-HCO ₃ > základný výrazný Ca-Mg-HCO ₃ ,	Ca-Mg-HCO ₃ > Ca-HCO ₃
Čarovná chodba, priesak	4	2,44	0,33	0,00	1,68	1,31	18,75	0,00	75,47	0,03	základný výrazný Ca-Mg-HCO ₃ > základný výrazný Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
Hlboký dóm, jazero	5	3,31	0,00	0,00	0,96	1,86	10,35	0,00	83,42	0,09	základný výrazný Ca-Mg-HCO ₃ > základný výrazný Ca-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃ > Ca-HCO ₃
Hviezdna sieň, sintrové jazierko	3	1,54	0,28	0,00	0,18	0,66	9,01	0,00	88,29	0,04	základný výrazný Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃
Jaskyne štólne Kapusta												
Suchá festivalová jaskyňa, priesak	2	2,92	0,79	0,42	1,22	1,70	0,71	3,29	88,94	0,04	základný výrazný Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
Vodopádová jaskyňa, priesak	2	7,12	0,14	0,00	1,80	3,08	17,01	0,00	70,80	0,05	základný výrazný Ca-HCO ₃	Ca-HCO ₃
Jazerná jaskyňa, jazero	2	3,81	0,91	3,88	0,00	0,65	6,11	0,00	84,62	0,04	základný výrazný Ca-Mg-HCO ₃	Ca-Mg-HCO ₃

Vysvetlivky: c – koncentrácia v mmol·l⁻¹, z – nábojové číslo / Explanations: c – molarity, z – charge number

charakteristiky (tab. 6). Základný výrazný Ca-Mg-HCO₃ typ mal vyššie zastúpenie vo vodách OAJ, kde dominoval na všetkých lokalitách s výnimkou priesaku v Mramorovej sieni. Základný výrazný Ca-HCO₃ typ bol charakteristický pre priesakové vody jaskýň v štólne Kapusta. Pri týchto vzorkách bola hodnota charakterizačného koeficienta rMg/rCa pod hodnotou 0,4, s priemernými hodnotami 0,12 (Suchá festivalová jaskyňa) a 0,24 (Vodopádová jaskyňa) (tab. 3). Analogicky sa vyskytovali dva chemické typy vôd aj podľa klasifikácie založenej na prevládajúcich iónoch. Ca-Mg-HCO₃ typ dominoval pri vodách OAJ, vrátane priesaku v Mramorovej sieni. Ca-HCO₃ typ sa vyskytoval pri priesakových vodách štólne Kapusta. Výskyt dvoch rozdielnych typov vôd spôsobený rozdielnym obsahom a pomerom vápnika a horčíka vo vode pravdepodobne odráža nehomogenitu karbonátových hornín v jaskyni. Naznačujú to aj výsledky chemických analýz horninových vzoriek z jaskynného prostredia poukazujúce na rozdielnú čistotu vápencov (Gaál, 2004; Zimák et al., 2004). Zimák et al. (2004) dokonca v prípade jednej vzorky zo štólne Kapusta hovoria o hornine tvorenej karbonátom dolomit-ankeritového radu s výraznou prevahou Mg nad Fe, ktorá by mala byť podľa autorov označovaná ako dolomitický mramor.

Ako ukazuje Piperov diagram (obr. 7), pokiaľ ide o katióny, všetky vzorky sú rozptýlené v zóne A (Ca-typ), postupne sa približujú k zóne C (Mg-typ). Čo sa týka aniónového zloženia, všetky vzorky sú vynesené v zóne E (HCO₃ typ vôd). V centrálnom kosoštvorco-

Tab. 7. Výsledky špeciálneho modelovania – saturačné indexy (I) vybraných minerálov (priemerné hodnoty).
Tab. 7. Results of speciation calculation – saturation indexes (I) of the selected minerals (average values).

	počet analýz	I							
		kalcit	dolomit	aragonit	siderit	rodochrozit	sadrovec	goethit	am. Fe(OH) ₃
OAJ									
Mramorová sieň, priesak	5	0,09	-0,33	-0,07	-5,25	-1,46	-2,2	7,64	2,39
Čarovná chodba, priesak	4	0,09	-0,2	-0,07	-5,45	-1,46	-2,14	7,45	2,21
Hlboký dóm, jazero	5	-0,08	-0,59	-0,24	-5,33	-1,4	-2,53	7,83	2,59
Hviezdna sieň, sintrové jazierko	3	0,17	0,08	0,01	-5,3	-1,5	-2,38	7,66	2,44
jaskyne štólne Kapusta									
Suchá festivalová jaskyňa, priesak	2	-0,07	-1,03	-0,5	-6,2	-1,43	-3,47	7,47	2,2
Vodopádová jaskyňa, priesak	2	-0,34	-0,46	-0,5	-5,53	-1,64	-2,38	7,58	2,33
Jazerná jaskyňa, jazero	2	-0,05	-0,49	-0,21	-6,25	-1,47	-2,63	7,46	2,22

vom grafe sú všetky vzorky rozptýlené v zóne 1, t. j. typickými prvkami podzemných vôd sú alkalické zeminy a hydrogénuhličitan. Uvedená schéma platí pre vody OAJ a rovnako aj pre vody jaskýň štólne Kapusta.

4. SATURAČNÝ INDEX (I)

Špeciálnym modelovaním boli vypočítané saturačné indexy minerálnych fáz viacerých minerálov. Z hľadiska geologických pomerov lokality vyberáme na bližšiu interpretáciu saturačné indexy kalcitu (CaCO₃), dolomitu (CaMg(CO₃)₂), aragonitu (CaCO₃), sadrovca (CaSO₄ · 2H₂O), sideritu (FeCO₃), rodochrozu (MnCO₃), ako aj amorfného Fe(OH)₃ a goethitu FeO(OH), ktorý bol opísaný ako jedna z hlavných súčastí okrov (Rajman et al., 1990; Bella et al., 2022) a tiež bol identifikovaný vo vzorkách jaskynných hĺn (Zimák et al., 2004) (tab. 7). Najvyššie hodnoty saturačných indexov boli dosiahnuté pre goethit, amorfný

Fe(OH)₃, nasledoval kalcit a aragonit. Voči kalcitu a aragonitu boli o niečo viac nasýtené vody OAJ v porovnaní s vodami jaskýň štólne Kapusta. Najvyššie a zároveň najstabilnejšie nasýtenie voči kalcitu a aragonitu bolo prepočítané pre vody sintrového jazierka v OAJ. Nasledovali priesakové vody OAJ. Najnižšie nasýtenie vôd voči kalcitu bolo naopak pri priesakových vodách z Vodopádovej jaskyne, ktoré patrili zároveň k najmenej mineralizovaným vodám. Tento výsledok indikuje krátky čas interakcie vody s horninovým prostredím karbonátov. Nasýtenie vôd voči dolomitu bolo v porovnaní s kalcitom menšie. Rozdiely v hodnotách saturačných indexov pre dolomit medzi lokalitami boli väčšie, nižšie nasýtenie bolo hlavne pri vodách z jaskýň v štólne Kapusta a vodách jazierka v Hlbokom dome OAJ. Nedosýtenie vôd voči sadrovcu bolo spoločným znakom všetkých sledovaných vôd OAJ aj jaskýň v štólne Kapusta. Podobne to bolo aj

v prípade sideritu a rodochrozitu. Najvyššie hodnoty indexov nerovnovážnosti boli vypočítané pre amorfný $\text{Fe}(\text{OH})_3$ a už spomínaný goethit. Všetky vzorky vody boli presýtené voči goethitu, čo vytvára vhodné podmienky na jeho vyzrážanie. Podľa mineralogických výskumov minerálnych fáz v okroch (Trtíková et al., 1999), je bežnejší vznik goethitu transformáciou a zretím metastabilných fáz, ako sú Fe oxyhydroxidy, Fe hydroxidy a ferrihydrity. Goethit sa podľa Trtíkovej et al. (1999) uvádza ako jedna z najčastejších foriem okrových minerálov banských vôd v závislosti od pH (pH vôd 6,5 a vyššie).

5. KVALITA VÔD

Kvalita jaskynných vôd sa posudzovala na základe jej porovnania s medznými hodnotami ukazovateľov stanovených vyhláškou MZ SR č. 91/2023. V rámci stanovených fyzikálnych a chemických ukazovateľov neboli vo vode dosiahnuté odporúčané hodnoty limitu koncentrácie horčíka, t. j. ich hodnoty boli nižšie ako stanovený limit 10,0 až 30,0 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Išlo o vzorky z odberu 8. 8. 2018 – priesakovú vodu zo Suchej festivalovej a Vodopádovej

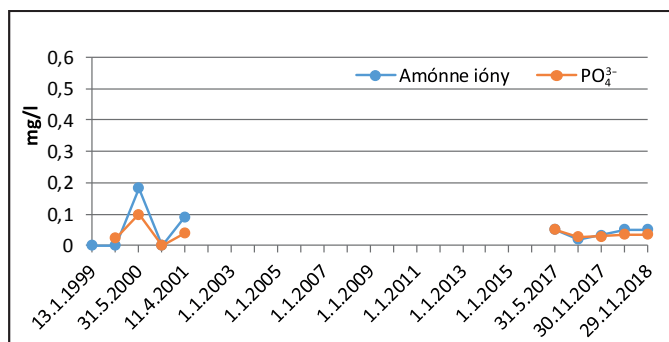
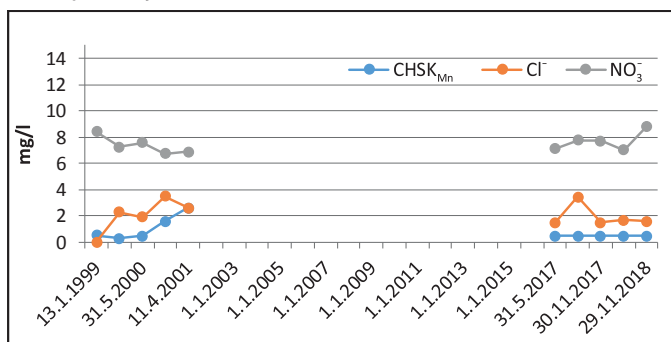
jaskyne a vzorky odberu z 29. 11. 2018 z odberného miesta v Hlbokom dome OAJ, z priesakovej vody zo Suchej festivalovej a Vodopádovej jaskyne. V troch prípadoch na odbernom mieste sintrového jazierka OAJ bola v porovnaní s vyhláškou prekročená najvyššia medzná hodnota Ni. Absencia mestských aglomerácií a priemyselnej výroby v území ako potenciálneho zdroja znečistenia bola v spojení s obmedzeným rozpočtom úlohy dôvodom, pre ktorý sa do rozsahu sledovaných ukazovateľov nezahrnuli organické ukazovatele. Hodnoty CHSK_{Mn} ako nepriameho ukazovateľa organického znečistenia boli na všetkých lokalitách nízke, ani v jednom prípade neprekročili medzné hodnoty stanovené vyhláškou (t. j. 3,0 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) (tab. 1, 2).

Pri mikrobiologických ukazovateľoch (tab. 5) boli prekročené medzné hodnoty pri koliformných baktériách (odber 30. 11. 2017 – odberné miesto jazero v Hlbokom dome OAJ; odber 8. 8. 2018 – odberné miesto jazero v Jazernej jaskyni), kultivovateľných mikroorganizmoch pri 22 °C (odber 31. 5. 2017 – odberné miesto jazero v Hlbokom dome

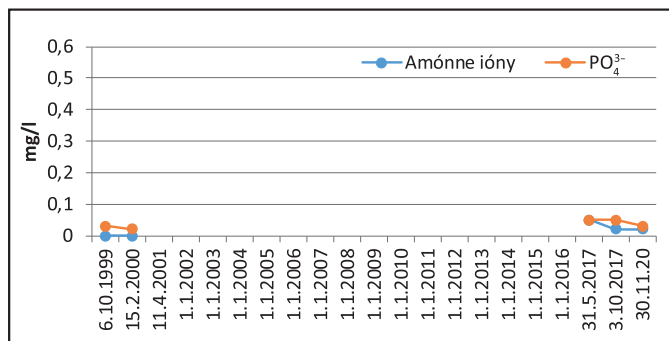
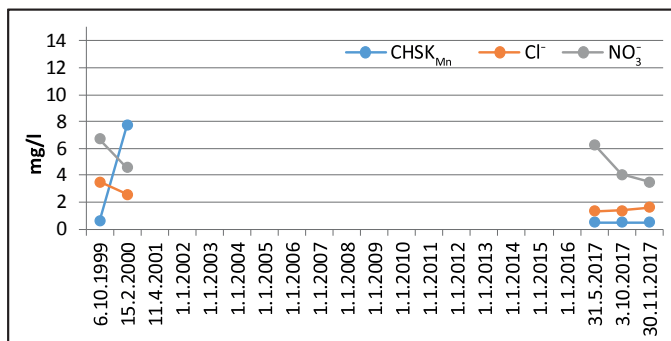
OAJ, odber 8. 8. 2018 – odberné miesto jazero v Jazernej jaskyni, priesak vo Vodopádovej jaskyni) a najvyššie medzné hodnoty pri enterokokoch (odber 8. 8. 2018 – odberné miesto jazero v Hlbokom dome OAJ, Jazernej jaskyni a v priesakovej vode Suchej festivalovej jaskyne). Napriek uvedeným prekročeniam nebolo mikrobiologické znečistenie jaskynných vôd výrazné. Spoločným znakom obidvoch lokalít bol nulový počet mikroorganizmov *Escherichia coli* a nulový počet enterokokov (s výnimkou vzorky z 8. 8. 2018 zo Suchej festivalovej jaskyne a jazera v Hlbokom dome OAJ v počte 1 KTJ/100 ml), čo spolu s nízkymi koncentraciami amónnych iónov predikuje absenciu fekálnej kontaminácie na obidvoch lokalitách.

V rámci porovnania stanovených ukazovateľov s prahovými hodnotami útvaru podzemných vôd SK200280FK podľa nariadenia vlády č. 452/2019 Z. z., ktorým sa dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 Z. z., bola v rámci všetkých 23 vzoriek prekročená len v jednej vzorke prahová hodnota železa (vzorka z jazera Hlbokého domu OAJ z odberu 30. 11. 2017).

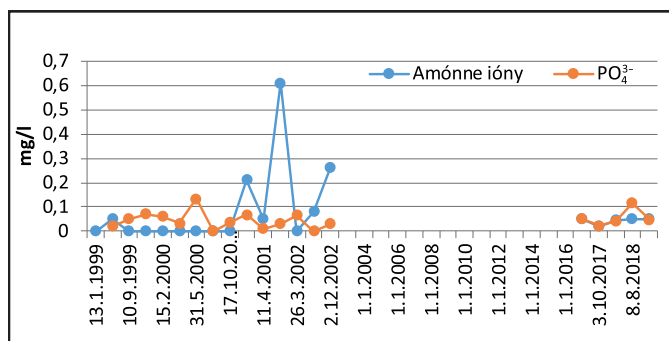
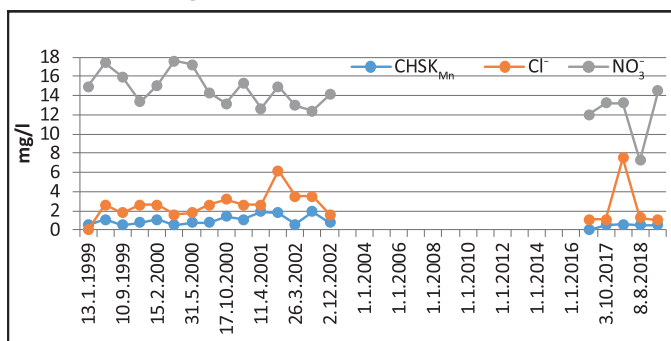
Hlboký dóm, jazero



Hviezdna sieň, sintrové jazierko



Mramorová sieň, priesak



Obr. 8. Priebiech koncentrácií vybraných ukazovateľov chemického zloženia vôd v OAJ (monitorované obdobie 1999 – 2001, 2017 – 2018).

Fig. 8. The course of the concentrations of selected parameters of the chemical composition of waters in the OAC (monitored period 1999 – 2001, 2017 – 2018).

Celkovo v rámci sledovaných chemických a mikrobiologických ukazovateľov môžeme hovoriť o dobrej/vyhovujúcej kvalite jaskynných vôd v OAJ aj štólňi Kapusta.

Pri OAJ sa dali porovnať výsledky nových chemických analýz vôd (2017 – 2018) s výsledkami starších chemických analýz (1999 – 2002), pričom môžeme konštatovať, že kvalita jaskynných vôd v rozsahu sledovaných parametrov sa javí ako pomerne stabilná. Pri niektorých ukazovateľoch (napr. CHSK_{Mn} , NH_4^+) je dokonca pozorovaný mierne klesajúci trend ich koncentrácií, čo indikuje mierne zlepšenie kvality týchto vôd (obr. 8).

6. KORELAČNÁ A HIERARCHICKÁ ZHLUKOVÁ ANALÝZA

Na porovnanie chemického zloženia vôd jednotlivých lokalít v rámci OAJ a štólne Kapusta sme využili korelačnú analýzu, v rámci ktorej sa zisťovali korelačné vzťahy medzi jednotlivými lokalitami. Vzhľadom na to, že zdrojové dáta preukázali normálne rozloženie dát, bola na koreláciu použitá lineárna Pearsonova korelácia pri zvolenej významnosti $\alpha = 0,05$. Ako vstupné dáta sa použili chemické analýzy z odberu 29. 11. 2018, keď sa vzorky odoberali zo všetkých odberných miest s výnimkou sintrového jazierka v OAJ. Výsledky analýzy preukázali významné lineárne korelačné vzťahy medzi všetkými odbernými miestami (tab. 8), čo potvrdzuje porovnateľné podmienky formovania chemického zloženia ich vôd a neindikuje prítomnosť žiadnej anomálie v rámci odberných miest.

Rozdelenie odberných miest do skupín na základe podobnosti, respektíve odlišnosti chemického zloženia vôd sa vykonalo pomocou zhlukovej analýzy. Ako vstupné dáta sa pri analýze použili hodnoty týchto fyzikálno-chemických ukazovateľov: teplota vody, pH, EC, M, CHSK_{Mn} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe, Mn, NH_4^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HCO_3^- , SiO_2 z jednotlivých odberov v rokoch 2017 a 2018. Výsledný dendrogram je tvorený troma hlavnými zhlukmi (obr. 9), medián ukazovateľov v jednotlivých zhlukoch je uvedený v tab. 9. Prvý zo zhlukov reprezentujú priesakové vody OAJ v Mramorovej sieni a Čarovnej chodbe. Podrobnejšia analýza zhluku naznačuje, že rozdiely medzi obidvoma odbernými miestami nie sú veľké, skôr ako samou lokalitou sú ovplyvnené podmienkami v čase odberu (napr. nasýtenie nadložia a s tým spojená intenzita priesaku). Druhý zhluk dendrogramu je vytvorený zo vzoriek vôd sintrového jazierka v západnom výbežku okraja Hviezdného sieni, ktoré sú už na prvý pohľad špecifické v porovnaní s ostatnými odbernými miestami vyššou mineralizáciou a nižšími koncentraciami dusičnanov. Tretí zhluk dendrogramu vy-

Tab. 8. Korelačná matica Pearsonovej korelácie.

Tab. 8. Correlation matrix of Pearson correlation.

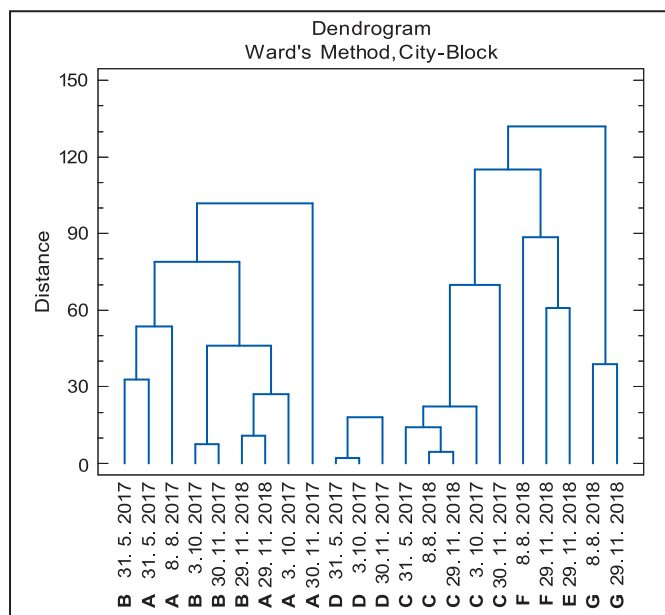
		OAJ			štólňa Kapusta		
		Čarovná chodba, priesak	Mramorová sieň, priesak	Hlboký dóm, jazero	Suchá festivalová jaskyňa, priesak	Vodopádová jaskyňa, priesak	Jazerná jaskyňa, jazero
OAJ	Čarovná chodba, priesak	*	0,9951	0,9938	0,9752	0,9933	0,9858
	Mramorová sieň, priesak	0,9951	*	0,9928	0,9744	0,9875	0,9873
	Hlboký dóm, jazero	0,9938	0,9928	*	0,9922	0,9874	0,9934
štólňa Kapusta	Suchá festivalová jaskyňa, priesak	0,9752	0,9744	0,9922	*	0,9688	0,9931
	Vodopádová jaskyňa, priesak	0,9933	0,9875	0,9874	0,9688	*	0,974
	Jazerná jaskyňa, jazero	0,9858	0,9873	0,9934	0,9931	0,974	*

tvorili vody zo štólne Kapusta spolu s vodami z jazera Hlbokého dómu v OAJ. Túto skupinu podľa mediánu tvoria vody s nižšou mineralizáciou, najnižšími koncentraciami hlavných iónov (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-), a naopak vyššími koncentraciami Na^+ , K^+ , Fe, NH_4^+ , SiO_2 .

Zhluková analýza napriek malým rozdielom v celkovom chemickom zložení vôd všetkých sledovaných miest prerozdelila jednotlivé lokality, načrtla mierne odlišnosti medzi vodami štólne Kapusta a OAJ vyplývajúce zo špecifik prebiehajúcich chemických procesov na styku voda-hornina a zároveň naznačila možné prepojenie vôd jazera v Hlbokom dóme s vodami širšieho okolia. V prípade Hlbokého dómu by tak bolo určite zaujímavé aj na základe týchto výsledkov porovnať výšku hladín v Hlbokom dóme s hladinami jazier v Jazernej jaskyni a overiť ich prípadnú koreláciu režimových

Obr. 9. Dendrogram hierarchickej zhlukovej analýzy (A – Mramorová sieň OAJ, B – Čarovná chodba OAJ, C – Hlboký dóm OAJ, D – Hviezdná sieň OAJ, E – Jazerná jaskyňa, F – Suchá festivalová jaskyňa, G – Vodopádová jaskyňa).

Fig. 9. Dendrogram of the hierarchical cluster analysis (A – Mramorová sieň OAJ, B – Čarovná chodba OAJ, C – Hlboký dóm OAJ, D – Hviezdná sieň OAJ, E – Jazerná Cave, F – Suchá festivalová Cave, G – Vodopádová Cave).



zmien. Podobný efekt spojenej nádoby, t. j. korelácia hladín medzi jazerom v Hlbokom dóme s občasne vznikajúcim jazerom vo Vstupnej chodbe OAJ, bol overený v rámci starších geodetických meraní jaskyne (Záborský, 2015).

Tab. 9. Medián ukazovateľov pre jednotlivé zhluky dendrogramu.

Tab. 9. Median of parameters for individual dendrogram clusters.

	t _{vody}	pH	EC	M	CHSK _{Mn}	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	HPO ₄ ²⁻	Fe	Mn	Si
			mS/m							mg/l								
Zhluk 1	7,9	7,85	34,6	287	0,5	1,4	2,3	0,04	50,6	15,1	2,3	10,9	28,6	169,4	0,04	0,03	0,01	2,4
Zhluk 2	7,5	7,82	39,9	338	0,5	1,2	1,1	0,03	49,6	22	1,4	4,6	18,7	232,3	0,04	0,05	0,01	2,3
Zhluk 3	7,9	7,81	26,8	229	0,5	1,7	3,7	0,06	39,46	9,2	2,2	8,8	12,9	141,4	0,34	0,04	0,01	3,6

ZÁVER

1. Jaskynné vody v štolni Kapusta aj vody v Ochtinskej aragonitovej jaskyni môžeme zaradiť k vodám s petrogénou mineralizáciou. Súčasné chemické zloženie vôd v Suchej festivalovej, Vodopádovej a Jazernej jaskyni rovnako ako v prípade vôd Ochtinskej aragonitovej jaskyne nesie znaky krasových vôd formujúcich svoje chemické zloženie predovšetkým procesmi rozpúšťania karbonátov. Ani v jednej zo sledovaných lokalít v štolni Kapusta sa nepreukázala prítomnosť kyslých, silne mineralizovaných chloridovo-síranových vôd, ktoré boli podľa Rajmana et al. (1990) dokumentované v niektorých častiach masívu Hrádku. Na lokalitách sa nezistili prejavy acidifikácie vôd. V sledovaných vodách neboli identifikované ani ďalšie anomálie typické pre banské vody, ako napr. vysoký obsah železa, mangánu, síranov, prípadne ďalších kovov.

2. Medzi chemickým zložením vôd Ochtinskej aragonitovej jaskyne a vybraných jaskýň v štolni Kapusta bola preukázaná vysoká korelácia. Sledované vody oboch lokalít boli stredne mineralizované s mineralizáciou v rozpätí od 201 do 340 mg·l⁻¹. V jaskyniach sa potvrdil výskyt vôd s karbonátogénnou

mineralizáciou Ca-Mg-HCO₃ typu, respektíve Ca-HCO₃ typu. Ca-HCO₃ typ dominoval v priesakových vodách štolne Kapusta. Priemerné zastúpenie hlavných kationov vo vodách štolne Kapusta aj Ochtinskej aragonitovej jaskyne bolo v poradí Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺ > NH₄⁺. Pri aniónoch bolo potvrdené poradie HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻.

3. Výsledky špeciálneho modelovania preukázali miernu variabilitu nasýtenie vôd voči vybraným minerálom v priestore aj čase. Poradie priemerných hodnôt saturačných indexov bolo na jednotlivých odberných miestach v OAJ a jaskyniach štolne Kapusta rovnaké: siderit < sadrovec < rodochrozit < dolomit < aragonit < kalcit < amorfný Fe(OH)₃ < goethit. Vody boli nedosýtené voči sideritu, sadrovcu, rodochrozinu a väčšinou aj voči dolomitu. Pri kalcite a aragonite sa striedali všetky stavy nasýtenia. Vyššie nasýtenie voči týmto dvom minerálom bolo pri vodách OAJ. Výrazné presýtenie vôd na oboch lokalitách bolo vypočítané pre amorfný Fe(OH)₃ a goethit.

4. V prípade Ochtinskej aragonitovej jaskyne sa identifikoval trend stabilného vývoja až mierneho zlepšenia kvality jaskynných vôd. Výsledky chemických analýz vôd z OAJ a štol-

ne Kapusta nezaznamenali evidentný vplyv antropogénnej činnosti na ich kvalitu. Podľa dostupných zdrojov vrátane informačného systému environmentálnych záťaží sa na lokalite a v jej bezprostrednom okolí v súčasnosti nenachádza nijaká environmentálna záťaž ani iný významnejší bodový, prípadne difúzny zdroj znečistenia. Dokumentovaný priaznivý kvalitatívny stav jaskynných vôd je dôsledkom udržateľného spôsobu využívania územia, v ktorom je antropogénna činnosť minimálna, a to aj vďaka existencii ochranného pásma OAJ.

5. Štôlna Kapusta spolu so svojimi jaskynami má potenciál pre ďalší podrobnejší hydrochemický výskum, ktorý by rozšíril základné informácie získané z odberov v roku 2018 na tejto lokalite. Vhodným pokračovaním by bolo rozšírenie počtu odberných miest, vrátane lokality Prošekova studňa a porovnania jej chemického zloženia a režimu s ďalšími vodami horizontálnej cirkulácie v štolni Kapusta a OAJ.

Podakovanie: Moje podakovanie patrí P. Staníkovi za fotodokumentáciu a pomocné práce v teréne a pracovníkom OAJ za súčinnosť pri odbere vzoriek vôd v tejto jaskyni.

Literatúra

- BELLA, P. 2004. Geomorfologické pomery Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Slovenský kras*, 42, 57–88.
- BELLA, P. – BOSÁK, P. – PRUNER, P. – HERCMAN, H. – PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – GAÁL, Ľ. – HAVIAROVÁ, D. – TOMČÍK, P. – KDÝR, Š. 2022. Speleogenesis in a lens of metamorphosed limestone and ankerite: Ochtiná Aragonite Cave, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 51, 1, 13–28.
- BELLA, P. – BOSÁK, P. 2022. Nejednotnosť definície pojmu kryptokras a terminologické konzekvencie v typológii krasu na Slovensku a v Česku. *Aragonit*, 27/2, 61–67.
- BENICKÝ, J. 1958. Hrádocká jaskyňa. *Slovenský kras* 1. Martin, 59–61.
- BOSÁK, P. – BELLA, P. – ČÍLEK, V. – FORD, D. C. – HERCMAN, H. – KADLEC, J. – OSBORNE, A. – PRUNER, P. 2002. Ochtiná Aragonite Cave (Western Carpathians, Slovakia): Morphology, Mineralogy of the Fill and Genesis. *Geologica Carpathica*, 53, 6, 399–410.
- BYSTRICKÝ, J. – FUSÁN, O. 1954. Zpráva o geologických a rudných pomeroch v oblasti Štítnik – Jelšava. Manuskript, archív Geofondu, Bratislava, ev. č. 3515.
- DROPPA, A. 1957. Ochtinská aragonitová jaskyňa. *Geografický časopis*, 9, 3, 169–184.
- GAÁL, Ľ. 1996. Prieskum a ochrana aragonitových jaskýň v okolí Hrádku. In: Bella, P. (Ed.), *Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie*. Zborník referátov z odborného seminára (Medzev 18. – 20. 9. 1996). SSJ, Liptovský Mikuláš, 130–133.
- GAÁL, Ľ. 2004. Geológia Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Slovenský kras*, 42, 37–56.
- GAÁL, Ľ. – ŽENIŠ, P. 1986. Kras Revúckej vrchoviny. *Slovenský kras*, 24, 27–60.
- GAZDA, S. 1974. Chemizmus podzemných vôd Západných Karpát a jeho genetická klasifikácia. In: Leško, B. (Ed.): *Materiály z III. celoslovenskej geologickej konferencie*, II. časť. Bratislava, Slovenský geologický úrad, s. 43–50.
- HAVIAROVÁ, D. – PEŠKO, M. 2004. Základná charakteristika vôd Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Slovenský kras*, 42, 99–107.
- HOCHMUTH, Z. 2008. Krasové územia a jaskyne Slovenska. *Geographia Cassoviensis*, 2, 2, 210 s.
- JAKÁL, J. 1982. Kras v Československu. In Jakál, J. a kol.: *Praktická speleológia*. Osveta, Martin, 339–359.
- JAKÁL, J. 1993. Geomorfológia krasu Slovenska. Mapa 1 : 500 000. *Slovenský kras*, 31, 13–28.
- LALKOVIČ, M. 1998. Z histórie Ochtinskej aragonitovej jaskyne. In Bella, P. (ed.): *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*, Zborník referátov, Liptovský Mikuláš, 129–136.
- LALKOVIČ, M. 2004. Príspevok k histórii Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Slovenský kras*, 42, 9–35.
- MACHEK, P. 1998. Metody vícerozměrné analýzy a jejich aplikace v geochemii a petrologii. Ostrava. *Ediční středisko VŠB*, 117 s.
- MÍŠK, M. 1953. Geologické pomery územia medzi Jelšavou a Štítnikom. *Geologický sborník* 4, Bratislava, 557–587.
- Nariadenie vlády č. 452/2019 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd.
- 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 s.
- PEŠKO, M. 2002. Fyzikálno-chemické vlastnosti priesakových vôd v Ochtinskej aragonitovej jaskyni. In: Bella, P. (Ed.), *Výskum, využívanie a ochrana jaskýň*. Zborník referátov z 3. vedeckej konferencie (Stará Lesná 14. – 16. 11. 2001). SSJ, Liptovský Mikuláš, 108–111.
- PITTER, P. 2009. *Hydrogeochemie*. Praha, Vydavatelství VŠCHT, 579 s.
- PUKANSKÁ, K. – BARTOŠ, K. – BELLA, P. – GAŠINEC, J. – BLISTAN, P. – KOVANIČ, Ľ. 2020. Surveying and high-resolution topography of the Ochtiná Aragonite Cave based on TLS and digital photogrammetry. *Applied Sciences*, 10(13), 4633. <https://doi.org/10.3390/app10134633>
- RAJMAN, L. – RODA, Š. – RODA, Š. ML. – ŠČUKA, J. 1990. Fyzikálno-chemický výskum krasového fenoménu Ochtinskej aragonitovej jaskyne. *Záverečná správa úlohy 2.3.3, SMOpaJ*, Liptovský Mikuláš, 47 s. + prílohy.
- RAJMAN, L. – RODA, Š. JR. – RODA, Š. SEN. – ŠČUKA, J. 1993. Untersuchungen (ber die Genese der Aragonithöhle von Ochtiná (Slowakei). *Die Höhle*, 44, 1, 1–8.
- RAPANT, S. 1994. Geochemia prírodných vôd krystalinika Nízkych Tatier. In: Západné Karpaty. *Séria Hydrogeológia, inžinierska geológia a geotermálna energia*, 12, Bratislava, Geologický ústav Dionýza Štúra, 177–219.
- ŠEVČÍK, R. – KANTOR, J. 1956. Aragonitová jaskyňa na Hrádku pri Jelšave. *Geologické práce, Správy*, 7, 161–171.
- TRÍKOVÁ, S. – MADEJOVÁ, J. – KUŠNIEROVÁ, M. – CHOVAN, M. 1999. Precipitation and chemical composition of iron ochres in the pyrite and stibnite in the Malé Karpaty Mts. *Slovak Geological Magazine*, 5, 3, 179–186.
- Vyhláška č. 91/2023 Z. z. Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky, ktorou sa ustanovujú ukazovatele a limitné hodnoty kvality pitnej vody, postup pri monitorovaní pitnej vody, manažmentu rizík systému zásobovania pitnou vodou a manažment rizík domových rozvodných systémov.
- ZÁBORSKÝ, L. 2015. Geotické zameranie Ochtinskej aragonitovej jaskyne terestrickým laserovým skenovaním. *Diplomová práca*. Košice. Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológie Technickej univerzity v Košiciach, 64 s.
- ZIMÁK, J. – ŠTELCL, J. – VÁVRA, V. – ZEJLKA, J. 2004. Pírožená radioaktivita horninového prostredia v Ochtinské aragonitové jaskyni. *Slovenský kras*, 42, 121–128. <https://envirozataze.enviroportal.sk/Mapa/index.htm?lng=sk>

10. MEDZINÁRODNÝ WORKSHOP O ĽADOVÝCH JASKYNIACH

Laura Dušeková – Lucia Pristašová – Pavel Herich

S dvojročným odstupom od posledného workshopu o ľadových jaskyniach v Liptovskom Mikuláši zorganizoval kolektív z Univerzity v Innsbrucku 12. – 18. mája 2024 jubilejný, už desiaty ročník IWIC-X v rakúskej obci Werfenweg, približne 40 km južne od Salzburgu. Slovensko malo v celkovej skupine 45 účastníkov z jedenástich krajín početné zastúpenie – workshopu sa zúčastnili výskumníci z Ústavu vied o Zemi Slovenskej akadémie vied, Slovenského múzea ochrany prírody a jaskyniarstva, Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach a Štátnej ochrany prírody Slovenskej republiky, Správy slovenských jaskýň (Laura Dušeková, Pavel Herich a Lucia Pristašová). Program sa začal už v nedeľný podvečer registráciou a spoločnou večerou so symbolickým označením „ice breaker“ v penzióne Barbarahof, kde bola väčšina účastníkov aj ubytovaná. Spoločné priestory reštaurácie boli prispôbované tak, aby ponúkli ničím nerušenú atmosféru pre nasledujúce prednáškové dni.

V pondelok po oficiálnom privítaní nasledovala prednáška predsedu UIS komisie pre jaskyne v ľadovcoch, firmové a ľadové jaskyne (B. Mavlyudov), v ktorej zhrnul stručnú históriu, súčasný stav, ale aj aktuálne riešenie problematiky komisie. Ďalšie prednášky boli zamerané na 3D monitoring ľadových výplní jaskýň (L. Dušeková, J. Boissonnas, M. Blatník), speleologické mapovanie (A. Wolf) či úbytky jaskynného ľadu (C. Stenner, G. Baker). Poobedný blok ponúkol informácie o mikroklimatickom monitoringu ľadových jaskýň (M. Wind, J. Šupinský, A. Stasiewicz, J. Barabach) a o súvislosti medzi zrážkami či hydrologickými udalosťami a ľadom v jaskyniach (C. Stenner, J. Obu). Zakončený bol pozvanou prednáškou o výzvach ďalšieho skúmania alpských ľadovcov nadväzujúcich na viac ako 40-ročný výskum vrtných ľadových jadier so zreteľom na prebiehajúce otepľovanie, predstavujúce čoraz väčšiu hrozbu pre zachovanie klimatických záznamov obsiahnutých v alpskom ľade (P. Bohleber).

V utorok v polovici workshopu sa konala exkurzia do jaskyne Eisriesenwelt (v preklade „Svet ľadových obrov“), s dĺžkou viac ako 42 km považovanej za najväčšiu ľadovú jaskyňu na svete. Objednaný autobus nás odviezol až k lanovke, pomocou ktorej sme prekonalí cca 500 výškových metrov. Odtiaľ bol už len kúsok k chate Oedl a pomocou tunelov a úzkych cestičiek s krásnymi výhľadmi sme sa dostali k monumentálnemu vstupnému portálu jaskyne. Po prehliadke vyrážajúcej dych sme absolvovali návštevu neďalekého hradu Werfen, kde nás čakala konferenčná večera v strede domov štýle.

Kľúčová prednáška o morfordynamičke, morfológii a mikroklimáte glaciovulkanických jaskynných systémov (C. Stenner) odštartovala tretí deň workshopu. Nadviazala na ňu L. Sobolewska, ktorá priblížila interakcie



Účastníci workshopu na spodnej stanici lanovky vedúcej k jaskyni Eisriesenwelt. Foto: organizátor

ľadu a vulkánu na príklade jaskýň v kráteri aktívneho stratovulkánu Sv. Heleny (Washington, USA). Následne sme sa dozvedeli o subglaciálnych jaskyniach vytvorených v ľadovcových dómovitých vyvýšeninách na okrajoch ostrova Zem Alexandry v západnej časti ruského súostrovia Zem Františka Jozefa v Severnom ľadovom oceáne (B. Mavlyudov), o dekáde výskumu ľadových jaskýň v Slovinsku (J. Košutnik), tvorbe subakvatických ľadových krištáľov (A. Filippov), o toku ľadu pozdĺž jaskynnej podlahy ako mechanizme podieľajúcom sa na poškodení speleotém (A. Jarosch) a o výskyte vzácnych druhov flóry v okolí podchladenej sutiny (J. Košutnik). Poobedný blok priniesol poznatky o využití ľadových jaskýň na rozšírenie



Vstupný portál jaskyne Eisriesenwelt. Foto: L. Pristašová



Účastníci workshopu na vyhladkovej plošine „5 fingers“, v pozadí jazero Hallstatt. Foto: organizátor



Koncové priestory ľadovej jaskyne Rieseneishöhle. Foto: L. Pristašová

znalosť o paleoklíme (J. Munroe, B. Onac, M. Bielsa, T. Racine), o genéze, dynamike a miznutí vrstvovitého jaskynného ľadu (C.

rálov a ovplyvňovanie ich tvaru zastúpením stopových prvkov (R. Milovský, S. Milovská), ďalej sa prezentovali nové formy speleotém

Bädälutä) a v záverečnej kľúčovej online prednáške o ľadových jaskyniach ako o mikrobiálnych „hotspotoch“ (B. Sattler).

Štvrtkové prednášky boli zamerané na CCC (cryogenic cave carbonates – jaskynné kryogénne kalcity). V prvom bloku nám bola priblížená tvorba týchto krištáľov laboratórnymi experimentmi (O. Uwakwe, P. Nemeth), modelovanie sukcesie mine-

– „cryogenic ridges“ (B. Onac). Pred obediňajúcou prestávkou bol navrhnutý podnet na diskusiu o vzniku, klasifikácii a terminológii CCC (Y. Dublyansky). V poslednom bloku workshopu sme sa dozvedeli o formáciách CCC vytvorených vo vysokohorskom prostredí od 19. storočia po súčasnosť (M. Bartolomé), viacerých epizódach posledného zaľadnenia dokumentovaných prostredníctvom CCC (G. Koltai) a o rádiometrickom datovaní CCC z ľadu v jaskyni Eisriesenwelt (C. Spötl). V záverečnej diskusii sa prezentovali návrhy na členenie a podrobnejšie definície podkategórií CCC z rôznych aspektov. Navrhovali sa aj lokality pre budúci workshop IWIC-XI, pričom ako najreálnejšia možnosť vyzerá Rumunsko a jaskyňa Scărișoara, hoci v neskoršej neformálnej diskusii sa hovorilo aj o jaskyniach v Kanade či na Islande.

Odborný program workshopu IWIC-X tvorilo celkovo 39 prednášok, prostredníctvom ktorých sa prezentovali odborníci z viacerých vedeckých inštitúcií a odborných organizácií z Rakúska, Slovenska, Slovinska, Švajčiarska, Poľska, Nemecka, Kanady, USA a Rumunska. Abstrakty k prednáškam sú dostupné online na odkaze <https://doi.org/10.25651/1.2024.0002>.

Piatok bol venovaný ďalšej ľadovej jaskyni v Rakúsku v pohorí Dachstein – Rieseneishöhle. Autobus nás odviezol do obce Obertraun neďaleko mestečka Hallstatt k lanovke, ktorá nás vyviezla do nadmorskej výšky 1340 m. Po prekonaní ďalších cca 100 výškových metrov sme sa dostali k jaskyni. Tá patrí medzi najrozsiahlejšie ľadové jaskyne Európy. Celá jaskyňa sa rozdeľuje do niekoľkých častí – najväčšia z nich je Dóm kráľa Artuša, potom Ľadový palác, Dóm Tristana a Ľadová kaplnka. Oproti vo svahu doliny sa nachádza ďalšia sprístupnená Mamutia jaskyňa. Následne sme sa vyviezli lanovkou na vrch Krippenstein, vysoký 2100 m, a odtiaľ sme pešo pokračovali na vyhladkovú plošinu „5 fingers“.

31. MEDZINÁRODNÁ KARSOLOGICKÁ ŠKOLA „KLASICKÝ KRAS“

Juraj Littva – Pavel Herich

Inštitút výskumu krasu (IZRK), ktorý je súčasťou Výskumného centra Slovinskej akadémie vied a umení (ZRC SAZU), od roku 1993 pravidelne organizuje Medzinárodnú karsologickú školu v mestečku Postojná v Slovinsku. Tohtoročný 31. ročník sa konal s podporou Medzinárodnej speleologickej únie (UIS), Medzinárodnej geografickej únie (IGU), organizácie UNESCO a Univerzity v Novej Gorici. Karsologická škola prebiehala od 17. do 21. júna 2024 a tematicky bola zameraná na získavanie a analýzu dát v krasových systémoch. Karsologickej školy sa odhadom zúčastnilo viac než stôpätidesiat výskumníkov z rôznych inštitúcií, predovšetkým z krajín Európy, no aj zo Severnej a Južnej Ameriky, Ázie a Afriky.

Konferencie sa zúčastnili i štyria Slováci zo Slovenskej speleologickej spoločnosti (B. Púček), Prírodovedeckej fakulty Univerzity Mateja Bela (E. Hoppanová) a dvaja pracovníci Správy slovenských jaskýň (P. Herich a J. Littva).

Celkovo zaznelo 8 hlavných prednášok (dĺžka 30 min) a 34 prezentácií (dĺžka 15 min), okrem nich bolo odprezentovaných 37 posterov. Prednášky sa venovali širokému spektru tém od hydrogeologicky, klimatologicky, či dokonca archeologicky zameraných prednášok, cez budovanie a udržiavanie databáz, rekonštrukciu vývoja reliéfu na základe datovania jaskynných sedimentov, až po určenie pôvodu vápencových náhrobkov či využitie 3D modelov jaskýň.

Prevažná časť prvého dňa sa po príhovorech zástupcov IZRK, Unesca, Univerzity v Novej Gorici a starostu Postojnej venovala hlavne prednáškam. I. D. Sasowský v prvej hlavnej prednáške zvýraznil špecifiká, s ktorými je zber dát v krase často spojený (fyzické nároky na prácu v jaskyniach, nutnosť získať povolenie na vstup, opatrnosť pri publikovaní súradníc vchodov do jaskýň a pod.). Výzvou je i extrémna variabilita a zložitnosť získaných dát, ako aj problémy s ich spracovaním a nedostatočná štandardizácia v štruktúre dát. Prednášajúci spomínal aj potenciál využitia geofyzikálnych dát pri štúdiu jaskýň. Nasledovala prednáška o paleomagnetickom datovaní jaskynných sedimentov, ktorej spoluautorom bol aj pracovník



P. Herich počas svojej prezentácie o mapovaní jaskýň. Foto: J. Littva

SSJ (P. Bella). Z ďalších hlavných prednášok zaujali R. Mihevc metódou mapovania závrtovej pomociou umelej inteligencie, ako aj M. D. Covington, ktorý prezentoval hneď niekoľko spôsobov, ako možno využiť dáta z otvorených zdrojov na štúdium krasových procesov. S druhým menovaným sme neskôr o jeho príspevku podrobnejšie diskutovali. Z prezentácií boli pre naše súčasné úlohy obzvlášť relevantné prednášky referujúce o datovaní jaskynných sedimentov v Slovinsku a vo Francúzsku. Takými boli i príspevky venujúce sa využitiu GIS systémov vo výskume jaskýň a krasu, z geologického hľadiska bola zaujímavá prednáška o dedolomitizácii v jaskynnom prostredí. Zaujímavé boli i príspevky od pracovníkov Chorvátskej geologickej služby, ktorí sa karsologickú školu

čierkom na „prelomenie ľadov“. Súčasťou večierka bolo i mimoriadne zaujímavé minipodujatie nazvané „Karst jam“. (Výrazmi „jam, jam session“ sa označuje činnosť hudobníkov, ktorí hrajú, t. j. „jamujú“ pomocou improvizácie, bez náležitej prípravy a vopred definovaného aranžmá.) Debatu o krase v miestnosti plnej dlhoročných, no i začínajúcich výskumníkov tento termín skutočne vystihoval. V miestnosti vládla priateľská nálada, zaujímavá debata sa týkala viacerých otvorených i kontroverzných otázok, napr. definície termínov *polje* alebo *sinkhole* či problematiky umelej inteligencie v krasových vedách.

V priebehu druhého dňa prezentovali svoje príspevky i P. Herich a J. Littva. Zamerali sa v nich na mapovanie a štruktúrny výskum

jaskýň pomocou 3D modelov vytvorených pomocou mobilného laserového skenera.

Po prednáškach sa vo večerných hodinách v úvode posterovej sekcie v krátkosti prezentovali upútavky na jednotlivé postre. Počas posterovej sekcie sme diskutovali s autormi viacerých postrov predovšetkým o monitoringu tektonických pohybov v Slovinsku a proxy záznamoch z datovaných speleotém z jaskýň v Tatrách. Prvý deň bol zavŕšený večerom.

jaskýň pomocou 3D modelov vytvorených pomocou mobilného laserového skenera. Zaznela aj prednáška P. Bosáka, ktorej spoluautorom bol P. Bella a týkala sa nového modelu pôvodu síry pre sulfurovú speleogenézu Plaveckého krasu. Ďalšie prednášky priniesli užitočné informácie o tvorbe a využití fotogrametrických alebo lidarových 3D modelov jaskýň, analytických metódach štruktúrnej speleológie, ako aj výsledky datovania jaskynných výplní z Macedónska. V popoludňajších hodinách nasledovala terénna exkurzia do jaskyne Postojna jama.

Prednášky v priebehu tretieho dňa sa venovali predovšetkým témam krasovej hydrológie a interakcii človeka a krasu. Objavili sa však medzi nimi aj prednášky o databáze jaskýň, o krase ostrova Borneo i o unikátnej krasovej forme vytvorenej kombináciou ľadovcovej a krasovej činnosti, resp. rútiev a krasovej činnosti (tzv. karrentisch). V popoludňajších hodinách sme sa počas exkurzie v zbernej oblasti rieky Lubljanica mali možnosť oboznámiť s viacerými lokalitami – Planinsko a Cerknisko polje, krasová dolina Rakov Škocjan s jej jaskyňami, kolapsovými závrtnami a skalnými oblúkmi, ako aj jaskyňa Planinska jama.

Štvrtý deň bol celý venovaný terénnej exkurzii v oblasti Radenského polja a jemu prislúchajúcich vyvieraciek, ponorov, estavel i jaskýň. Večer prebehla slávnostná recepcia, na ktorej prevzali ceny autori najlepších postrov. Počas večera sa organizátori formálne poďakovali viacerým významným osobnostiam pôsobiacim v oblasti krasu.



Posedenie „Karst jam“. Foto: J. Littva



Výzdoba v jaskyni Postojna jama. Foto: J. Littva



Sintrový nátek v jaskyni Planinska jama. Foto: J. Littva

NÁVŠTEVNOSŤ SPRÍSTUPNENÝCH JASKÝŇ NA SLOVENSKU V ROKU 2023

Jaskyne v prevádzke ŠOP SR, Správy slovenských jaskýň	Mesiac												SPOLU
	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október	November	December	
Belianska jaskyňa	3 589	4 692	3 264	6 295	12 084	16 738	26 881	31 570	12 221	7 695	2 361	0	127 390
Brestovská jaskyňa	0	616	517	570	1 003	1 165	2 196	2 271	1 162	667	0	0	10 167
Bystrianska jaskyňa	889	1 535	1 222	1 974	2 557	3 664	6 045	6 781	2 179	1 749	0	0	28 595
Demänovská jaskyňa slobody	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6 095	3 622	2 371	12 088
Demänovská ľadová jaskyňa	0	0	0	0	2 775	9 233	21 727	24 658	3 538	0	0	0	61 931
Dobšinská ľadová jaskyňa	0	0	0	0	3 842	9 552	18 180	23 679	3 559	0	0	0	58 812
Domica	0	314	716	1 463	4 876	3 972	9 722	8 465	2 294	1 202	303	0	33 327
Driny	0	0	0	1 965	2 724	7 655	7 660	7 428	2 475	2 296	0	0	32 203
Gombasecká jaskyňa	0	0	0	1 279	1 975	2 980	3 655	3 936	1 312	629	0	0	15 766
Harmanecká jaskyňa	0	0	0	0	868	2 575	4 452	4 772	1 429	794	0	0	14 890
Jasovská jaskyňa	0	0	0	860	1 279	3 808	3 236	4 649	1 474	778	0	0	16 084
Ochtinská aragonitová jaskyňa	0	0	0	1 175	1 973	3 551	6 183	7 741	2 237	1 570	0	0	24 430
Važecká jaskyňa	0	0	630	1 072	1 565	2 402	5 223	5 612	1 897	962	667	0	20 030
SPOLU	4 478	7 157	6 349	16 653	37 521	67 295	115 160	131 562	35 777	24 437	6 953	2 371	455 713

Jaskyne v nájme od ŠOP SR, Správy slovenských jaskýň	Mesiac												SPOLU
	Január	Február	Marec	Apríl	Máj	Jún	Júl	August	September	Október	November	December	
Bojnická hradná jaskyňa	2 764	2 456	4 861	8 046	11 273	11 174	22 482	23 502	10 851	5 958	3 916	3 909	111 192
Jaskyňa mŕtvych netopierov	0	0	0	42	126	172	471	607	209	173	55	20	1 875
Krásnohorská jaskyňa	0	0	0	102	277	107	507	546	132	0	0	0	1 671
Malá Stanišovská jaskyňa	440	636	562	876	1 201	1 389	2 650	3 189	1 065	805	0	0	12 813
Zlá diera	0	0	0	79	119	199	316	267	91	80	0	0	1 151
SPOLU	3 204	3 092	5 423	9 145	12 996	13 041	26 426	28 111	12 348	7 016	3 971	3 929	128 702

Zdroj: SNM Múzeum Bojnice, Ľ. Kubanda, RNDr. J. Stankovič, Ing. P. Holúbek, R. Košč

Ľubica Nudziková, Alena Laurincová

ABSTRAKTY / ABSTRACTS

15. VEDECKÁ KONFERENCIA
 „VÝSKUM, VYUŽÍVANIE A OCHRANA JASKÝŇ“
 15th SCIENTIFIC CONFERENCE
 “RESEARCH, UTILIZATION AND PROTECTION OF CAVES”

Liptovský Mikuláš, 24. – 26. 9. 2024

GEOLÓGIA, GEOMORFOLÓGIA
 A PALEONTOLÓGIA

ROLE TEKTONIKY PŘI TVORBĚ JESKYNÍ
 A MIGRACI VODY NA PŘÍKLADU AMATÉRSKÉ
 JESKYNĚ

Vít Baldík – Jiří Rez – Roman Novotný

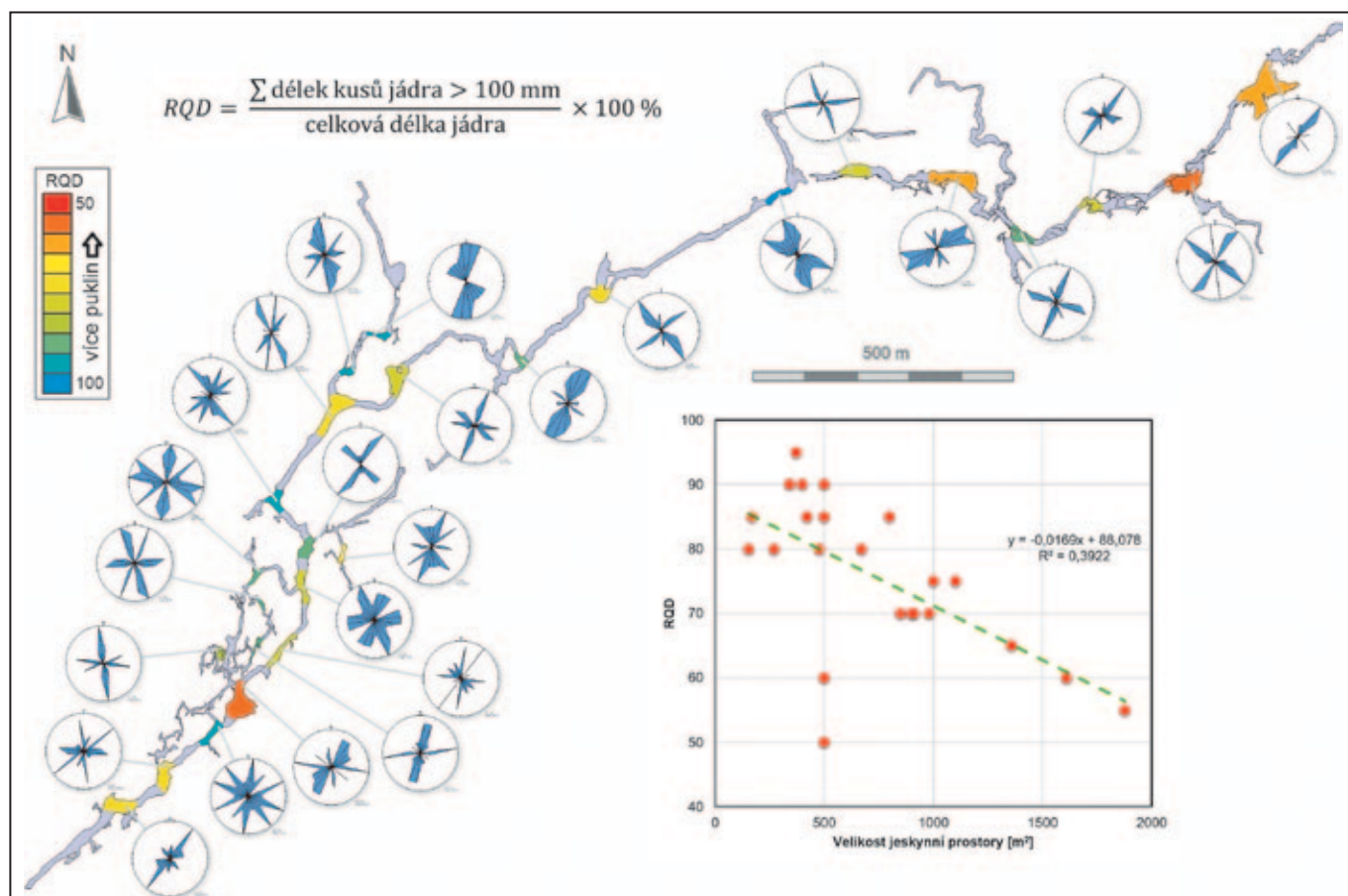
Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno; vit.baldik@geology.cz,
 jiri.rez@geology.cz, roman.novotny@geology.cz

Dvěma slovy se dá říct, že role tektoniky pro migraci vody a tedy i pro tvorbu jeskyní v krasových oblastech obecně je zcela zásadní. Vápence mají velmi malou primární porozitu a efektivní porozitu ještě menší. Při pohybu vody ve vápencích se tedy uplatňuje tzv. sekundární porozita tvořená puklinami a dalšími křehkými poruchami. Orientace a hustota (množství poruch na metr) těchto struktur pak řídí hlavní směry pohybu podzemní vody a tím pádem i orientaci chodeb jeskynních systémů. Dá se říci, že krasování a migraci podzemní vody ovlivňují struktury všech měřítek: násunové zlomy řídí generelní trendy v měřítku celého krasu, zlomy a kliváž řídí směry chodeb v měřítku jeskyně a pukliny ovlivňují jeskynní systémy v měřítku jednotlivých chodeb.

Puklinové systémy v Amatérské jeskyni byly zkoumány na 28 stanovištích co nejrovnoměrněji rozložených v celém systému Nové i Staré Amatérské jeskyně. Na každém stanovišti byla změřena orientace 30 puklin (někdy až 50 v případě některých klíčových výchozů) a byla stanovena průměrná minimální a maximální velikost litoňů (tedy průměrná minimální vzdálenost mezi puklinami dominantního systému a průměrná maximální vzdálenost mezi puklinami nejméně výrazného systému). Intenzitu rozpukání vyjadřujeme indexem RQD (Deere a Deere, 1988, rovnice na obr. 1). RQD = 100 mají nerozpukané horniny, RQD 0 mají extrémně rozpukané horniny. Na příkladu Amatérské jeskyně si můžeme demonstrovat nejen vliv orientace puklin na orientaci chodeb, ale také vliv puklinatosti na intenzitu krasování a tím pádem i velikost jeskynních prostor (obr. 1). Menší prostory mívají vyšší hodnoty RQD (jsou méně rozpukány) a větší prostory mají hodnoty RQD nižší (větší rozpukání).

Jak ve vápencích v severní části Moravského krasu, tak i v horninách kulmu naprosto dominují subvertikální pukliny, které tvoří 4 hlavní systémy. Tři z těchto systémů odpovídají hlavním strukturám, tedy ssv.-jjz. pukliny směrově odpovídají násunovým zlomům a sv.-jz. a v.-z. pukliny odpovídají mladším zlomům. Čtvrtý systém, v případě puklin dominantní, jsou sz.-jv. pukliny. Tento systém odpovídá sz.-jv. zlomům.

Výsledky několikaleté práce v terénu i podzemí lze shrnout do několika bodů: 1. křehké deformační struktury řídí migraci vody a krasování; 2. hlavní směry jeskynních systémů řídí násuny a velké zlomy; 3. menší zlomy a pukliny řídí směry jeskynních chodeb lokálně; 4. velikost jeskynních prostor je přímo úměrná intenzitě rozpukání vápenců; 5. nevápencové horniny v hydrogeologickém zápolí krasu jsou z hlediska hydrogeologického a environmentálního stejně důležité jako samotné vápence a je třeba se zaměřit na jejich ochranu a zvyšování environmentálního povědomí obyvatelstva.



Obr. 1. Mapa systému Amatérské jeskyně s růžicovými diagramy směrů puklin a indexem RQD. Graf ukazuje závislost velikosti jeskynních prostorů na indexu RQD.

Řešení je součástí projektu TAČR „Rock, Environment, Natural Resources“ (RENS, S502030023) v rámci programu Prostředí pro život.

Literatura

DEERE, D. U. – DEERE, D. W. 1988. The Rock Quality Designation (RQD) Index in Practice. In Kirkaldie, L. (Eds.): Rock Classification System for Engineering Purposes, ASTM STP 984, 91–101. Philadelphia.

SPELEOGENETICKÉ MARKERY VÝVOJA DOLINY MOŠNICA, DEMĀNOVSKÉ VRCHY, NÍZKE TATRY

Pavel Bella^{1,2}

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

² Katedra geografie, Pedagogická fakulta, Katolícka univerzita v Ružomberku, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok; pavel.bella@ku.sk

V doline Mošnica na severnej strane Nízkyh Tatier, západne od Demānovskej doliny, sa okrem riečnych terás v jej najsevernejšej časti (Dobák, Buzák) nezachovali na povrchu výraznejšie planačné formy reliéfu, ktoré by jednoznačne dokladovali jej viacfázový vývoj. Mošnická a Augustová jaskyňa v severnej časti doliny, ktorú budujú triasové karbonátové horniny, sčasti poukazujú na fázy jej postupného (prerušovaného) zahlbovania. Južná časť je zahľbená do okraja kryštalinika centrálného chrbta Nízkyh Tatier, severná časť ústi do Liptovskej kotliny.

(1) **Mošnická jaskyňa** (dĺžka 450 m, 1050 – 1065 m n. m., horizontálne chodby v troch úrovniach vo výške 1065 m, 1060 m a 1055 m n. m., hlavný vchod vo výške 1060 m n. m. leží 223 m nad terajším tokom Mošnice). Vytvárala sa počas tektonického pokoja, keď sa na severnej strane Nízkyh Tatier formoval planačný (zarovnaný) povrch, ktorého zvyšky sú vo výške okolo 1000 m n. m. (Droppa, 1950; Bella, 1988, 2001, 2022; Bella a Urata, 2002). Na severnej strane Nízkyh Tatier, medzi Jánskou dolinou a dolinou Revúcej, Dinev (1942) vyčlenil denudačné niveau vo výške 1050±150 m n. m. (skorý pliocén), ktoré je naklonené na sever smerom do Liptovskej kotliny. Droppa (1972) poukazuje na zvyšky pliocénnych „svahových odpočinkov“ a menších plošín po stranách Demānovskej doliny vo výške okolo 1000 m n. m. Orvoš a Orvošová (1996) korelujú Mošnickú jaskyňu s riečnou terasou Váhu T-Xla (relatívna výška 220 až 240 m), ktorú chronologicky priradujú k reuverianu A, resp. villafranchianu (piacenzian, neskorý pliocén). Magnetostratigrafia jemnozrnných sedimentov v Hlinenej chodbe poukazuje, že sa pravdepodobne usadzovali pred 2,581 až 3,580 mil. rokov (Bošák et al., 2004; Kadlec et al., 2004). Zbernú oblasť paleotoku, ktorý naplaval sedimenty do Mošnickej jaskyne, budovali najmä magmatické a metamorfované horniny kryštalinika – granitoidy, ruly a amfibolity (Bónová et al., 2011, 2014). Pritom v súčasnosti metamorfity vystupujú na povrch až za hlavným hrebeňom Nízkyh Tatier, na ich južnom svahu. Na hlavnej vývojovej úrovni jaskyne Okno v Demānovskej doline, ktorá podľa nadmorskej výšky leží asi 145 m nižšie ako spodná časť Mošnickej jaskyne, sa alochtónne riečne štrky ukladali v neskorom pliocéne (Bella, 2017; datovanie pomocou kozmogénnych nuklidov ¹⁰Be and ²⁶Al). V takmer rovnakej nadmorskej výške ako Mošnická jaskyňa leží v Demānovskej doline Jaskyňa pod Stodôlkou (Herich, 2021). Na základe doterajších poznatkov Mošnická jaskyňa poukazuje na fázu prerušenia, resp. spomalenia zahlbovania riečnej siete a planácie reliéfu v predmetnej časti Nízkyh Tatier najneskôr v skorom pliocéne (zanclean), prípadne už v staršom období (Bella, 2022).

Výškovej polohe Mošnickej jaskyne zodpovedá zmiernenie sklonu svahu doliny medzi Vyšnou Chrochtou a Strúžnym, južný okraj protihľadáho deliaceho hrebeňa medzi hlavnou dolinou a západnejšou dolinkou Jaloviarky, časť hrebeňa rázsochy medzi dolinou Mošnica a západnejšou Križianskou dolinou (severne od Uhliska, oproti Mošnickej jaskyni), ako aj severný okraj protihľadáho západného rozvodného hrebeňa Križianskej doliny. V kontexte súčasnej denudačnej chronológie Západných Karpát denudačné niveau N_{III} (1000 – 1200 m n. m.) zo skorého pliocénu (Dinev, 1942) výškovou pozíciou inklinuje k podstredohorskej rovní (Minár et al., 2004), resp. pedimentu „foothills“ (Zuchiewicz, 2011). Podľa Bellu (2001, 2002) sa zvyšky podstredohorskej rovne v Demānovských vrchoch zachovali vo výške 1225 – 1250 m n. m. (na ľavej strane doliny Mošnica je zmiernenie sklonu svahu západne od kóty 1342 m a na jz. svahu Sinej medzi Vyšnou Chrochtou a Strúžnym; medzi dolinou Mošnica a Križianskou dolinou je znížený hrebeň Uhliska, ktorému zodpovedá miernejšie sklonená horná časť svahu Jaloviarky). Horizontálne jaskyne, resp. úseky jaskýň zachované vo viacerých výškových polohách v relatívnej výške 150 – 400/450 m nad terajšími riečiskami však poukazujú na viaceré fázy planácie reliéfu, resp. prerušovaného zahlbovania dolín v pliocéne. Úrovňové jaskynné chodby situované nad podstredohorskou rovní zodpovedajú najstarším fázam vývoja alogénneho krasu na severnej strane Nízkyh Tatier (známe sú najmä z Jánskej doliny).

(2) **Augustová jaskyňa** (dĺžka 225 m, 874 – 895 m n. m., spodná subhorizontálna časť okolo 45 m nad terajším dnom doliny). Vytvorili ju bývalé ponorné vody Mošnice v plytkej freatickej zóne (phreatic looped channel) pravdepodobne v strednom pleistocéne alebo koncom skorého pleistocénu (Bella, 1986, 1988, 2022), keď sa na povrchu vytvárala riečna terasa T-V. Jej

zvyšky sa zachovali južne od kóty 786 m a na Buzáku, vo výške okolo 50 m nad súčasným alochtónnym tokom Mošnice. Zmiernenie sklonu svahu doliny v tejto relatívnej výške je zreteľné aj oproti Augustovej jaskyni (870 – 880 m n. m., medzi ústím Skokovej dolinky a Vráťami).

V doline Mošnica je najvýraznejšia terasa T-IV (nad horárňou pod Dobákom a na protihľadáho Buzáku, ako aj oproti ústi Jaloviarky do Mošnice a južnejšie na Mošnických lúčoch) v relatívnej výške 30 až 35 m nad súčasným riečiskom Mošnice (Bella, 1988); v severnej časti doliny zmapovaná Kettnerom (1931) a Panošom (1952, 1954). Podľa Panoša (1952) sa v čase vytvárania tejto terasy v južnej časti terajšieho Dobáku pravdepodobne zlievali toky Križianky (Palúdzanky) a Mošnice. Následné oddelené zúžené zahlbovanie doliny Mošnice i západnejšej Križianskej doliny (s vytváraním rozvodnej rázsochy so zachovanou plošinou terasy T-IV) pravdepodobne spôsobil pokles tektonickej kryhy v príľahlej časti Liptovskej kotliny (Vitásek, 1923; Panoš, 1952; Vitovič et al., 2021). Zúžené zahlbovanie spodnej časti doliny mohlo navyše súvisieť aj so strednopleistocénnym klimatickým prechodom (*mid-Pleistocene climate transition*) pred 1,25 – 0,75 mil. rokov (Clark et al., 2006; Herbert, 2023) so zmenou glaciálnych cyklov zo 41-tisíc na 100-tisíc ročnú periodicitu. Predĺžením a zosilnením chladných klimatických cyklov sa fluvialná erózia zvýšila (Gibbard a Lewin, 2009 a ďalší).

Výskum sa realizoval v rámci vedeckého grantového projektu VEGA č. 1/0323/24.

Literatúra

- BELLA, P. 1986. Morfológia a genéza Augustovej jaskyne. Slovenský kras, 24, 145–154.
- BELLA, P. 1988. Speleologický výskum krasu doliny Mošnice. Slovenský kras, 26, 87–112.
- BELLA, P. 2001. K paleogeomorfologickému vývoju fluviokrasových jaskýň v Demānovských vrchoch. Geomorphologia Slovaca, 1, 1, 54–63.
- BELLA, P. 2002. K rekonštrukcii planačných povrchov v Demānovských vrchoch na severnej strane Nízkyh Tatier. Geographia Slovaca, 18 (Luknišov zborník 3), 13–20.
- BELLA, P. 2017. Morfológické odlišnosti fluvialne modelovaných jaskynných úrovní v centrálnej, prechodnej a okrajovej časti Západných Karpát. Aragonit, 22, 2, 43–49.
- BELLA, P. 2022. Mošnická jaskyňa vo vzťahu k predkvartérnemu vývoju reliéfu v Nízkyh Tatrách. Slovenský kras, 60, 2, 125–140.
- BELLA, P. – URATA, K. 2002. K paleohydrografickému vývoju Mošnickej jaskyne. Slovenský kras, 40, 19–29.
- BOŠÁK, P. – PRUNER, P. – KADLEC, J. (Red.) 2004. Paleomagnetický výskum sedimentárných výplní vybraných jaskýň na Slovensku. Etapová zpráva č. 4. Manuskript, Geologický ústav AV ČR, Praha, 405 s.
- BÓNÓVÁ, K. – BELLA, P. – BÓNA, J. – KOVÁČIK, M. – PETRO, Ľ. – DERCO, J. – KOVANIČOVÁ, Ľ. – KOLLÁROVÁ, V. 2011. Proveniencia alochtónnych sedimentov Mošnickej jaskyne (Nízke Tatry, Demānovské vrchy). In Jurkovič, Ľ. – Slaninka, I. – Ďurža, O. (Eds.): Geochémia 2011, zborník vedeckých príspevkov z konferencie (Bratislava, 1. – 2. 12. 2011). ŠGÚŠ, Bratislava, 19–20.
- BÓNÓVÁ, K. – BELLA, P. – BÓNA, J. – SPIŠIAK, J. – KOVÁČIK, M. – KOVÁČIK, M. – PETRO, Ľ. 2014. Heavy minerals in sediments from the Mošnica Cave: Implications for the pre-Quaternary evolution of the middle-mountain allogenic karst in the Nízke Tatry Mts., Slovakia. Acta Carsologica, 43, 2–3, 297–317.
- CLARK, P. U. – ARCHER, D. – POLLARD, D. – BLUM, J. D. – RIAL, J. A. – BROVSKIN, V. – MIX, A. C. – PISIAS, N. G. – ROY, M. 2006. The middle Pleistocene transition: characteristics, mechanisms, and implications for long-term changes in atmospheric CO₂. Quaternary Science Reviews, 25 (23–24), 3150–3184. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.07.008>
- DINEV, L. 1942. Morfológia na Centralnity Zapadni Karpati. Izvestija na Bulgarsko to geografsko družestvo, 9 (1941), 3–69.
- DROPPA, A. 1950. Mošnická jaskyňa v Nízkyh Tatrách. Krásy Slovenska, 27, 5–8, 182–193.
- GIBBARD, P. L. – LEWIN, J. 2009. River incision and terrace formation in the Late Cenozoic of Europe. Tectonophysics, 474, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2008.11.017>
- HERBERT, T. D. 2023. The Mid-Pleistocene Climate Transition. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 51, 389–418. <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-032320-104209>
- HERICH, P. 2021. Dračia jaskyňa v Sokole. Slovenský kras, 59, 2, 187–202.
- KADLEC, J. – PRUNER, P. – HERCMAN, H. – CHADIMA, M. – SCHNABL, P. – ŠLECHTA, S. 2004. Magnetostratigrafie sedimentů zachovaných v jeskyních Nízkyh Tatier. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň. Zborník referátov zo 4. vedeckej konferencie, Tále 5. – 8. 10. 2003. SSJ, Liptovský Mikuláš, 15–19.
- KETTNER, R. 1931. Geologická mapa severního svahu Nízkyh Tater jižně od Liptovského Svatého Mikuláše (1924–1929). Knihovna Statního ústavu geologického Československé republiky, 13, A, mapa 11.
- MINÁR, J. – BIZUBOVÁ, M. – GALLAY, M. 2004. General aspects of denudation chronology of the West Carpathians. Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica 38, 5–22.
- ORVOŠ, P. – ORVOŠOVÁ, M. 1996. Odhad veku horizontálnych jaskynných úrovní Jánskej doliny pomocou ich paralelizácie s terasami rieky Váh. In Lalkovič, M. (Ed.): Kras a jaskyne – výskum, využívanie a ochrana. Zborník referátov z vedeckej konferencie, Liptovský Mikuláš 10. – 11. 10. 1995. SMOPaF, Liptovský Mikuláš, 95–101.
- PANOŠ, V. 1952. Križianka. Príspevek ke geomorfologii povodí řeky. Manuskript, Olomouc, 335 s. + zoznam literatúry a prílohy.

- PANOŠ, V. 1954. Pleistocenní ledovce na Křižance. Rozpravy Československé akademie věd, 64, řada MPV, sešit 2, Praha, 41 s.
- VITÁSEK, F. 1923. Příspěvky k poznání ledové doby v Nižných Tatrách. Sborník Státního geologického ústavu Československé republiky, sv. III, 209–224.
- VITTOVIC, L. – MINÁR, J. – PÁNEK, T. 2021. Morphotectonic configuration of the Podtatranská kotlina Basin and its relationship to the origin of the Western Carpathians. *Geomorphology*, 394, 107963. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107963>
- ZUCHIEWICZ, W. 2011. Planation surfaces in the Polish Carpathians: myth or reality? *Geographia Polonica*, 84, 2, 155–178. <https://doi.org/GPol.2011.S2.12>

SULFURIC ACID SPELEOGENESIS IN THE PLAVECKÉ PREDHORIE FOOTHILLS OF THE MALÉ KARPATY MOUNTAINS: PLAVECKÁ PRIEPASŤ SHAFT

Pavel Bella^{1,2} – Petr Mikysek³ – Juraj Littva¹ – Pavel Bosák³

¹ State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia; pavel.bella@ssj.sk

² Department of Geography, Faculty of Education, Catholic University in Ružomberok, Hrabovská cesta 1, 031 04 Ružomberok, Slovakia

³ Institute of Geology of the Czech Academy of Sciences, Rozvojová 269, 165 00 Praha 6-Lysolaje, Czechia

The Plavecká priepasť Shaft is the third cave in the Plavecký hradný vrch Hill (Plavecký Karst, western Slovakia) with the identified hypogene sulfuric acid speleogenesis (together with the Plavecká jaskyňa and Pec caves). The Plavecký hradný vrch, formed by Mesozoic carbonates, occupies the western part of the Plavecký Karst, near the fault contact of the Malé Karpaty Mountains and the Vienna Basin.

Although breakdown processes strongly remodified the Plavecká priepasť, several remnants of the original solution morphology allow to discern and reconstruct its origin and development. Rising wall channels and chains of cupola-like cavities leading upwards preserved in the upper part of the shaft indicate a former ascending water movement. When the Pec Cave was formed in the late Early Pleistocene (see Bella et al., 2022), the upper part of the shaft served as the outflow vertical conduit of the larger underground karst drainage at the north-western foot of Plavecký hradný vrch. The NE–SW and NNE–SSW fractures controlling the lower part of the Plavecká priepasť are parallel to the fractures that predisposed the fissure discharge feeders in the Plavecká jaskyňa and Pec caves (Bella et al., 2019a, b). The lower subhorizontal part of the Plavecká priepasť is featured by preserved water table notches, small remnants of flat corrosion bedrock floor, replacement pockets, shallow smooth and rounded (not asymmetrical) hollows delimited by cusps, convection niches, and cupolas. These morphologies are especially well preserved in a small side cavity named Kaplnka (Chapel). This subhorizontal part of the shaft can be correlated with the late Middle Pleistocene lowermost level passage of the nearby Plavecká jaskyňa (see Bella et al., 2022). The fine-grained sediments taken for mineralogical analysis from the Kaplnka in the Plavecká priepasť consist mainly of calcite and some minor minerals such as quartz, micas and kaolinite. In addition, accessory minerals (minerals of the alunite group, anhydrite and hydrated Fe sulfates) were identified.

A previously performed stable isotope (O and C) analysis showed the isotopic alternation of the uppermost thin layer of limestone bedrock on the wall of the Plavecká jaskyňa resulted from its interaction with hypogene water (Bella et al., 2019b). Several solution morphologies (flat corrosion floors, discharge fissure feeders, water table notches, replacement pockets, cupolas) preserved mainly in the Plavecká jaskyňa and Pec (Bella et al., 2019a, b), as well as the presence of alunite and jarosite in the Plavecká jaskyňa (Bella et al., 2019b) and Plavecká priepasť indicate sulfuric acid speleogenesis in the Plavecký hradný vrch as the first investigated locality in Slovakia.

This work was supported by the grants VEGA No. 1/0146/19 and No. 1/0323/24, institutional financing of the State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration and the Czech Academy of Sciences, Institute of Geology (No. RVO67985831).

References

- BELLA, P. – BOSÁK, P. – LITVA, J. 2019a. Hypogénny pôvod jaskyne Pec (Plavecký kras, Malé Karpaty): tektonická predispozícia a morfológické znaky. *Slovenský kras*, 57, 2, 133–146.
- BELLA, P. – BOSÁK, P. – MIKSEK, P. – LITVA, J. – HERCMAN, H. – PAWLAK, J. 2019b. Multi-phased hypogene speleogenesis in a marginal horst structure of the Malé Karpaty Mountains, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 48, 2, 203–220. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.48.2.2265>
- BELLA, P. – HERCMAN, H. – KDÝR, Š. – MIKSEK, P. – PRUNER, P. – LITVA, J. – MINÁR, J. – GRADZIŃSKI, M. – WRÓBLEWSKI, W. – VELSĚD, M. – BOSÁK, P. 2022. Sulfuric acid speleogenesis and surface landform evolution along the Vienna Basin Transfer Fault: Plavecký Karst, Slovakia. *International Journal of Speleology*, 51, 2, 105–122. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.2.2420>

RELICT PHREATIC CAVES IN THE KRKONOŠE NATIONAL PARK (CZECHIA)

Pavel Bosák¹ – Radko Tásler² – Petr Pruner¹ – Šimon Kdýr¹
– Martin Šťastný¹ – Petr Mykisek¹ – Šárka Matoušková¹
– Jan Rohovec¹ – Helena Hercman³

¹ Institute of Geology, Czech Academy of Sciences, Rozvojová 269, 165 00 Praha 6-Lysolaje, Czechia; bosak@gli.cas.cz

² Spelealberice ZO 5-01 ČSS, 542 24 Svoboda nad Úpou, Czechia

³ Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, ul. Twarda 51/55, 00-818 Warszawa, Poland

The speleogenesis in the Krkonoše Mountains took part in substantial depths under the surface without any link to the present morphology. Phreatic speleogenesis was connected with the first stage of shallow valley incision into the oldest flat and slightly undulated peneplain (pre-Miocene). Caves were disconnected from original hydrology and hydrogeology regimes and their function in recent systems is negligible; they are relic or rejuvenated. Present near-surface position of most of caves reflects the denudation during younger cyclic tectonic movements and river incisions. Caves were much later re-shaped in epiphreatic and vadose conditions.

Inclined phreatic channels dominate in original cave morphologies with ceiling half-channels, scallops, and ceiling cupolas, and flat ceilings. Channels served as routes for ascending bathy- and deep phreatic waters and follow regional faults and overthrusts. The role of thermal waters was not proved, although cannot be completely excluded.

Intensive rock fissuration led to opening of vadose routes during tectonic uplift and to water infiltration loaded by surface clastics. Caves were filled in repeating cycles. Coarse-grained particles were sieved in fissure porosity. The primary source of clastic sediments was in weathering products of crystalline rocks with different maturity states. Intensive drip from open fissures contributed to local re-distribution of sediments within caves. Except one case with much later invasion of allogenic deposits into cave in near-surface position, any other allogenic deposits were detected.

Speleothem dating indicates polycyclic fill and exhumation of caves. Internal cyclic/rhythmic textures prove changing paleoenvironments on surface. Normal polarization of samples corresponds to age <773 kyr (Brunhes Chron). Speleothems date clastic sediments to >400 kyr. Speleothems crystallized mostly during interglacials (namely MIS 5a to MIS 7e), but also in cold and extremely cold periods (glacials, like MIS 2, MIS 6c to 6a, MIS 8b, MIS 10c to 11a).

Tectonic and near-surface marble fissuration and corrosion along fissures and cleavage substantially contributed to repeated re-shaping of originated cave spaces by rock falls or congelification. Speleothems were also damaged (fractures, opening of isotopic equilibria by corrosion). EU Operation Programme: Environment, Priority axis 4.1 no. CZ.05.4.27/0.0/0.0/15_009/00 04533 & RVO67985831.

ŠTÚDIUM OSTEOLOGICKÉHO MATERIÁLU V SEDIMENTOCH JASKÝŇ

Tomáš Čeklovský – Eva Farkašová – Monika Orvošová

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

Počas prieskumov podzemných priestorov na slovenskom území Západných Karpát v rokoch 2017 až 2022 sa detailne skúmali aj kostrové nálezy fauny, a to v rámci výskumnej úlohy SMOPaJ „Štúdium osteologického materiálu v sedimentoch jaskýň“. Materiál zahrnutý v tejto úlohe pochádza zo 62 jaskýňnych lokalít v rámci 16 geomorfologických celkov. Celkovo bolo skúmaných 9218 osteologických zvyškov. Analyzovaný materiál patrí minimálne 130 druhom stavovcov, z toho minimálne 1 druhu lúčoplutevej ryby, 2 druhom obojživelníkov, 3 druhom plazov, 46 druhom vtákov a 78 druhom cicavcov. Okrem taxonomického a tafonomického vyhodnotenia sú výsledky zamerané aj na určenie veku kostrových zvyškov a na analýzy jaskýňnych sedimentov.

Nálezy sú časovo zaradené do období od posledného zaľadnenia po súčasnosť. Absolútny vek nálezov zistený rádiokarbónovým datovaním je známy z troch skúmaných lokalít – Okno iS v Čatnom (Kudla a kol., 2019), Medvedia jaskyňa v Slovenskom raji (Alberti a kol., 2019; Sabol a kol., 2019) a Domica (Čeklovský a kol., 2022). Relatívny vek sa presnejšie definoval sledovaním vplyvov abiotických (jaskýňny sediment, sintrové náteky, chemizmus, zvetrávanie, abrázia, stupeň fosilizácie) a biotických činiteľov (človek, šelmy, hľodavce, rastliny), ktoré postihli tanatocenózu, prípadne korelovaním s archeologickými a antropológickými nálezmi. Navyše pri vyhynutých taxónoch existujú vedecké konsenzusy ohľadom dátumov ich posledného výskytu (napríklad *Bos primigenius*; van Vuure, 2005).

Táto práca môže slúžiť ako podkladový materiál pre budúce výskumy. Študovaný materiál je deponovaný v priestoroch SMOPaJ a prístupný na ďalšie vedecké bádanie.

Podakovanie. Realizácia tohto výskumu by nebola možná bez jaskyniarov zo Slovenskej speleologickej spoločnosti a pracovníkov ŠOP SR – Správa slovenských jaskýň. Výskum v teréne bol prispôbený výnimkám na základe Rozhodnutia Okresného úradu Žilina zo dňa 23. 5. 2017, Rozhodnutia MŽP SR zo dňa 27. 11. 2017 a Rozhodnutia Okresného úradu Košice zo dňa 17. 7. 2020.

Literatúra

- ALBERTI, F. – HOFREITER, M. – KAVCIK-GRAUMANN, N. – RABEDER, G. 2019. Taxonomic position, chronology and stable isotopes of cave bears from Medvedia jaskyňa Cave in the Slovenský raj Mts. (Slovakia). In Sabol, M. – Rabeder, G. (Eds.): Medvedia jaskyňa v Slovenskom raji. Paleontologický výskum 2007 – 2009. Spišská Nová Ves, Múzeum Spiša, 211–219.
- ČEKLOVSKÝ, T. – ORVOŠOVÁ, M. – BIRÓN, A. – TÓTH, C. – SOJÁK, M. – ŠUPINSKÝ, J. 2022. Nález fauny mamutej stepi z novoobjavených častí jaskyne Domica – Kľúčová dierka (Slovenský kras): interdisciplinárny prístup výskumu. Slovenský kras, 60, 1, 19–50.
- KUDLA, M. – HOLÚBEK, P. – OBUCH, J. – LITVA, J. 2019. Základná speleologická a zoologická charakteristika jaskýň v oblasti brál Mladucha v Komorníckej doline, Nízke Tatry. Slovenský kras, 57, 2, 177–196.
- SABOL, M. – ČEJKA, T. – DÖPPES, D. – ROSENDAHL, W. 2019. Ulitníky a stavovce (okrem rosočká a medvedov jaskynných) z Medvedej jaskyne v Slovenskom raji. In Sabol, M. – Rabeder, G. (Eds.): Medvedia jaskyňa v Slovenskom raji. Paleontologický výskum 2007 – 2009. Spišská Nová Ves, Múzeum Spiša, 56–75.
- VAN VUURE, C. 2005. Retracing the aurochs. History, Morphology and Ecology of an Extinct Wild Ox. Sofia, Pensoft Publishers, 431 s.

SÚČASNÝ STAV GEOLOGICKÉHO VÝSKUMU SPRÍSTUPNENÝCH JASKÝŇ NA SLOVENSKU

Ludovít Gaál – Juraj Littva

Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; gaalludovit@gmail.com, juraj.littva@ssj.sk

Hoci prvé jaskyne na Slovensku sprístupnili už v 19. storočí (Demänovská ľadová, Jasovská, Dobšinská, Belianska jaskyňa), o geologických výskumoch sa dá hovoriť len od prvej polovice 20. storočia. Odhládnuv od strohých údajov o horninách Jasovskej jaskyne (Kiss, 1857) prvé zmienky o geológii nachádzame v prípade Demänovskej jaskyne slobody (Holeček, 1923), Domice (Kettner, 1933) a Bystrianskej jaskyne (Kunský, 1936). Zaujímavé je, že Dionýz Štúr, ktorý vo svojej práci z roku 1868 opisoval Demänovskú ľadovú jaskyňu, sa o jej geológii nezmenil, hoci preskúmal geologickú stavbu celej Demänovskej doliny. Najpočetnejšie údaje o horninách sprístupnených jaskýň nájdeme v prácach A. Droppu, ktorý ich skúmal od päťdesiatych rokov (Droppa, 1956, 1957a, 1957b, 1958, 1960, 1962, 1965 a 1972).

V predmetnom príspevku podávame krátky prehľad súčasného stavu materskej horniny (t. j. najmä litologických a tektonických pomerov) jaskýň sprístupnených Správou slovenských jaskýň, v ktorom nie sú zahrnuté výskumy ich výplne, t. j. sintrov a sedimentov, ani ich paleomagnetické alebo rádiometrické datovania.

Belianska jaskyňa: najkomplexnejší pohľad na jaskyňu zo starších prác podáva A. Droppa (1958, 1959), ktorý sa zmieňuje o gutensteinských vápencoch. M. Mišík (1978) uvádza, že jaskyňa bola vytvorená v gutensteinských vápencoch stredného triasu, pričom spomína, že miestami sa v nich vyskytujú články krinoidov. Neskôr Michalík et al. (1988) zaradili materskú horninu jaskyne k anaberským vápencom, pričom spomínajú výskyt medzivrstiev dolomitov a lokálne výskyt krinoidov i brachiopódov. Jaskyňu tiež spomínajú Nemček et al. (1994), pričom uvádzajú, že jaskyňa je vytvorená v „...gutensteinských (anaberských) vápencoch...“. Podrobnejšie údaje o geologickej stavbe jaskyne a okolia pochádzajú od S. Pavlarčíka (2002). Okrem gutensteinských vápencov sa zmieňuje o vložkách krinoidových vápencov a dolomitov. V roku 2021 L. Gaál odobral orientačné vzorky z jaskyne, v ktorých mikrofaciálnou analýzou zistil okrem gutensteinských vápencov aj prítomnosť anaberských vápencov (Gaál a Soták, 2021). V jaskyni by sa žiadal podrobnejší výskum zameraný na vymedzenie uvedených karbonátových typov s možnosťou výskytu vápencov demänovského či gaderského typu. Meraním diskontinuít v jaskyni sa zaoberal Kučera (2008).

Brestovská jaskyňa: v súvislosti s pripravovaným sprístupnením jaskyne sa uskutočnil podrobný geologický výskum, ktorý zistil prítomnosť gutensteinských vápencov a dolomitov, reiflinských vápencov a zvyškov paleogénnych brekcií (Vlček a Psotka, 2008).

Bystrianska jaskyňa: vápence Bystrianskej jaskyne J. Kunský (1936) pokladal ešte za gutensteinské, ale D. Kubíny (1974) ich identifikoval ako reiflinské rohovcové vápence spodnej častkovy jednotky chočského príkrovu. Tieto poznatky sa žiaľ dostatočne v geologickej komunite nerozšírili, a tak sa vo vysvetľivkách ku geologickej mape Nízkych Tatier (Biely a Bezák et al., 1997) opäť objavilo tvrdenie, že jaskyňa je vytvorená v gutensteinských vápencoch. Tektonickou predispozíciou jaskyne sa zaoberali D. Kubíny (1956). Nový geo-

logický výskum vykonal L. Gaál a J. Psotka (2006), výsledkom ktorého bola geologická mapa jaskyne, mikroskopická analýza a vyhotovenie štruktúrneho plánu. Výskum potvrdil názor D. Kubínyho (1974) o prítomnosti reiflinských vápencov. Žiadalo by sa presnúť vek reiflinských vápencov pomocou konodontovej mikrofauny.

Demänovská jaskyňa slobody: skoršie práce sa stroho zmienili len o výskyte gutensteinských vápencov a o tektonických pomeroch v jaskyni (napr. Holeček, 1923; Pokorný, 1949; Droppa, 1957a). Na Droppove výskumy nadviazala a tektonické pomery podrobnejšie rozpracovala hydrogeologická štúdia V. Droppu a S. Klauča (1985). Mišík (1974) uvádza, že jaskyňa je vytvorená v strednotriasových gutensteinských vápencoch. V Demänovskej doline bolo na povrchu realizovaných viacero geologických prác, ktoré poukazovali na netypický charakter vápencov. Už D. Štúr (1868) spomína, že v Demänovskej doline sa vyskytuje nálezisko vápencov bohatých na fosílie, čo pre gutensteinské vápence nie je typické. O atypických vrstvách vápencov bohatých na fosílie úlomky sa zmieňujú napríklad aj A. Biely (1965, 1976), M. Mišík (1972), Gross et al., (1976), L. Martinský (1987), Biely a Bezák et al. (1994). Tieto vrstvy dokonca zachytáva i charakteristický litologický profil mezozoika Nízkych Tatier vedený hrebeňom ponad jaskyňu Pustá, ktorá je prepojená s Demänovskou jaskyňou slobody (Kullmanová et al., 1983). Výrazne menej zmienok je o povrchových výskytoch rohovcových vápencov, pričom zvyčajne sa spomínajú iba okrajovo (napr. Mišík, 1972; Martinský, 1987) a intenzívnejšiu pozornosť im venujú až Biely a Bezák et al. (1997), avšak z Demänovskej jaskyne slobody ich opisoval už M. Pokorný v roku 1949. Je preto škoda, že nedošlo k intenzívnejšej komunikácii medzi geológmi a speleológmi, pretože viac než sedemdesiat rokov tu dochádzalo k nesúladným pozorovaniam na povrchu a v podzemí. Podpovrchový výskum priamo v jaskyniach Demänovskej doliny špecialistami zameranými na výskum karbonátov (ktorí v tých časoch mali v geologickej komunite početnejšie zastúpenie než dnes) by nepochybne poznatky o týchto atypických vrstvách bol posunul na vyššiu úroveň. V rámci nových výskumov sa uskutočnila mikrofaciálna analýza a vyhotovila sa geologická mapa jaskyne, v ktorej sa rozlišovali okrem gutensteinských vápencov aj anaberské vápence, organodetrítické („demänovské“) vápence a ramsauské dolomity (Gaál, 2016; Gaál a Herich, 2021). Recentné tektonické pohyby sledovali Petro et al. (2004, 2011). Žiadalo by sa podrobným mikrofaciálnym a mikropaleontologickým výskumom (pomocou konodontov) vymedziť polohu a vek organodetrítických vápencov a definovať ich stratigrafický charakter. Vhodné profily sa nachádzajú v Demänovskej jaskyni mieru.

Demänovská ľadová jaskyňa: hoci jaskyňu opisoval už D. Štúr (1868), o výskyte gutensteinských vápencov sa prvýkrát zmienil A. Droppa (1956). Mišík (1974) spomína jaskyňu pod menom „Ľadová Dračia jaskyňa“, ale k materskej hornine jaskyne sa priamo nevyjadruje. Nová mikroskopická analýza potvrdila aj prítomnosť anaberských vápencov a bola vyhotovená geologická mapa jaskyne (Gaál a Herich, 2021).

Dobšinská ľadová jaskyňa: staršie zmienky o geologickej stavbe jaskyne pochádzajú od A. Droppu (1957b, 1960), najpodrobnejšie údaje o steinalmských a wettersteinských vápencoch Stratsko-dobšinského jaskynného systému s mikroskopickou analýzou a štruktúrnymi prvkami boli publikované v monografii J. Tulisa a L. Novotného (1989) a v práci J. Tulisa (2001).

Domica: prvé údaje o svetlých vápencoch Domice pochádzajú od R. Kettnera (1933) a Z. Rotha (1937), neskôr od A. Droppu (1972). Mišík (1974) uvádza, že jaskyňa je vytvorená vo wettersteinských vápencoch. Podrobnú mikroskopickú analýzu wettersteinských vápencov silického príkrovu jaskyne vykonal J. Mello (2004), tektonickú stavbu publikovali L. Gaál a L. Vlček (2011).

Driny: rohovcové doskovité vápence jaskyne boli podľa Michalíka et al. (1992) tradične považované za jurské, avšak už Andrusov (1959) predpokladal, že by mohli mať spodnokriedový vek. Mišík (1974) takisto uvádza, že jaskyňa bola vytvorená v spodnokriedových rohovcových vápencoch. Podrobným mikrofaciálnym, mikropaleontologickým a tektonickým výskumom J. Michalík et al. (1992) preukázali, že prináležia spodnokriedovým sekvenciám vysokej jednotky. Recentné tektonické pohyby jaskyne sledovali Bristenský et al. (2011).

Gombasecká jaskyňa: staršie údaje o výskyte gutensteinských vápencov v jaskyni (Roda a Abonyi, 1954; Roda et al., 1986) sa novým výskumom L. Gaála a L. Vlčka (2009) nepotvrdili, jaskyňa je v celom úseku vytvorená vo wettersteinských vápencoch silického príkrovu, čo sa dokázalo aj mikrofáciami, hoci v mikroskopickom obraze vápencov sa výrazne prejavuje tektonické namáhanie horniny v blízkosti násunovej línie plešivsko-breзовskej kryhy.

Harmanecká jaskyňa: prvé zmienky o tektonických pomeroch jaskyne pochádzajú od J. Kuklu (1953) a V. Lenča (1950), najpodrobnejší opis geologickej stavby však poskytol D. Kubíny (1990), ktorý upozornil na to, že gutensteinské vápence a vápnité dolomity chočského príkrovu v jaskyni ležia na krížňanských plastických neokómskych vrstvách, preto sú tektonicky namáhané a porušené. Mikroskopický opis horniny a jej podrobnejšie litologické členenie však nebolo uskutočnené. Skalné odkryvy v hrebeni nad Harmaneckou jaskyňou v posledných rokoch boli pomerne intenzívne študované. Havrila et al. (2016) na tejto lokalite navrhli novú hypostratotypovú lokalitu rázťockého vápenca. Ide o svetlo- až tmavosivý vápenec bohatý na články krinoidov, miestami i s fosíliami brachiopódov a v najvrchnejšom horizonte i amonitmi. J. Havrila (2017) na lokalite ešte identifikoval jasenské vápence, t. j. vrstvenaté až hľuznaté jemnozrnné tmavé vápence so sporadickými hľuzami rohovcov, v spodnej časti s krinoidmi a horizontom s brachiopód-

mi. Žiadalo by sa vykonať litologický výskum materskej horniny jaskyne s cieľom preveriť, či litotypy vystupujúce nad jaskyňou možno identifikovať i v samotnej jaskyni.

Jasovská jaskyňa: sporadické informácie o horninách jaskyne podali A. Kiss (1857), T. Kormos (1917), J. Volko-Starohorský (1929) a A. Droppa (1965). Podrobný mikroskopický a tektonický výskum gutensteinských a steinalmských vápencov silického príkrovu vykonal M. Zacharov (1984, 1996, 1998).

Ochtinská aragonitová jaskyňa: prvé geologické informácie poskytl R. Ševčík a J. Kantor (1956) a Š. Homza et al. (1970). Nový podrobný výskum vykonal Ľ. Gaál (2004), výsledkom ktorého bolo vyhotovenie geologickej mapy jaskyne a okolia, poznatky o polohe mramorovej a ankeritovej šošovky, ako aj mikroskopický a štruktúrny výskum spodnosedimentných kryštálických vápencov drnavského súvrstvia gelnickej skupiny. Žiadalo by sa spresniť vek vápencov, príp. okolitých brdic konodontovou mikrofauou. Takisto štruktúrny inventár jaskyne zastúpený početnými vrásami i zlomami má veľký náučný potenciál.

Vážecká jaskyňa: prvé údaje o gutensteinských vápencoch jaskyne poskytol A. Droppa (1962). Svahy v okolí portálu Vážeckej jaskyne preskúmal Michalík et al. (1988), pričom ich zaradili k anaberským vápencom. Pozorovali v nich dolomity, vrstvy slieňovcov, výskytu lamín, intraklastov aj organického detritu, pričom zdôrazňujú, že hojný výskyt organických zvyškov je pre toto súvrstvie atypický. Opis tektonickej stavby jaskyne a okolia prinášala práca P. Bellu et al. (2016). Žiadalo by sa uskutočniť litologický a mikrofaciálny výskum materskej horniny, zameraný najmä na možnú prítomnosť anaberských či iných vápencov i priamo v jaskyni.

Literatúra

- ANDRUSOV, D. 1959. Geológia Československých Karpát, zväzok II. Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 375 s.
- BELLA, P. – LITVA, J. – PRUNER, P. – BOSÁK, P. – ŠLECHTA, S. – HERCMAN, H. – ČÍŽKOVÁ, K. 2016. Geologická stavba, morfológia a vývoj Vážeckej jaskyne. Slovenský kras, 54, 1, 5–31.
- BIELY, A. 1965. Správa o výskume mezozoika na liste Horná Lehota (1 : 50 000), ročná správa za rok 1964. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 17 s. Geofond, archívne číslo 14986.
- BIELY, A. 1976. Vysvetlivky k mezozoiku severných svahov Nízkych Tatier – východná časť. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 72 s. Geofond, archívne číslo: 38208.
- BIELY, A. – BEZÁK, V. (Eds.) – BUJNOVSKÝ, A. – VOZÁROVÁ, A. – KLINEC, A. – MIKO, O. – HALOUZKA, R. – VOZÁR, J. – BEŇUŠKA, P. – HANZEL, V. – KUBEŠ, P. – LIŠČÁK, P. – LUKÁČIK, E. – MAGLAY, J. – MOLÁK, B. – PULEC, M. – PUTIŠ, M. – SLAVKAY, M. 1997. Vysvetlivky ku geologickej mape Nízkych Tatier. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava, 232 s.
- BRIESTENSKÝ, M. – STEMBERK, J. – MICHALÍK, J. – BELLA, P. – ROWBERRY, M. 2011. The use of a karstic cave system in a study of active tectonics: fault movements recorded at Driny Cave, Malé Karpaty Mts (Slovakia). Journal of Cave and Karst Studies, 73, 2, 114–123.
- DROPPA, A. 1956. Demänovská ľadová jaskyňa. Československý kras, 8–9, 92–110.
- DROPPA, A. 1957a. Demänovské jaskyne – krasové zjavy Demänovskej doliny. Slovenská akadémia vied, Bratislava, 289 s.
- DROPPA, A. 1957b. Dobšinská ľadová jaskyňa. Geografický časopis, 9, 2, 99–118.
- DROPPA, A. 1958. Výskum Belianskej jaskyne. Československý kras, 11, 248–249.
- DROPPA, A. 1959. Belanská jaskyňa a jej kras. Šport, Bratislava, 129 s.
- DROPPA, A. 1960. Dobšinská ľadová jaskyňa. Šport, Bratislava, 132 s.
- DROPPA, A. 1962. Vážecká jaskyňa a krasové javy v okolí. Šport, Bratislava, 96 s.
- DROPPA, A. 1965. Geomorfologický a hydrologický výskum Jasovskej jaskyne. Slovenský kras, 5, 3–9.
- DROPPA, A. 1972. Príspevok k vývoju jaskyne Domica. Československý kras, 22, 65–72.
- GAÁL, Ľ. 2004. Geológia Ochtinskej aragonitovej jaskyne. Slovenský kras, 42, 37–56.
- GAÁL, Ľ. 2016. Litológia karbonatických hornín Demänovského jaskynného systému. Slovenský kras, 54, 2, 109–129.
- GAÁL, Ľ. – PSOTKA, J. 2006. Príspevok ku geológii Bystrianskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využívanie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 5. vedeckej konferencie, Tále 2004. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 56–66.
- GAÁL, Ľ. – VLČEK, L. 2009. Príspevok ku geológii Gombaseckej jaskyne. Aragonit, 14, 1, 22–26.
- GAÁL, Ľ. – VLČEK, L. 2011. Tektonická stavba jaskyne Domica (Slovenský kras). Aragonit, 16, 1–2, 3–10.
- GAÁL, Ľ. – HERICH, P. 2021. Aktualizácia geologickej mapy systému Demänovských jaskýň. Aragonit, 26, 1, 36–37.
- GAÁL, Ľ. – SOTÁK, J. 2021. Orientačný litologický výskum Belianskej jaskyne. Aragonit, 26, 1, 37–39.
- GROSS, P. – BIELY, A. – KULLMAN, E. 1976. Vysvetlivky k listu Demänová 1 : 25 000, čiastková záverečná správa, doba riešenia: 1971–1976. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 76 s. Geofond, archívne číslo: 36904.
- HAVRILA, J. 2017. Faciálna architektúra a paleogeografické vzťahy triasových karbonátových komplexov hornika. Dizertačná práca, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského, Bratislava, 190 s.
- HAVRILA, J. – BOOROVÁ, D. – HAVRILA, M. 2016. Ráztocký vápenec štureckej faciálnej oblasti. Geologické práce, Správy, 129, Bratislava, 35–54.
- HOLEČEK, V. 1923. O Demänovské časti Liptovského krasu. In Liptovský kras. Jaskyne Demänovského údolia. Zvláštny otisk z Prúdov, 7, Bratislava – Liptovský Sv. Mikuláš, 35–64.
- HOMZA, Š. – RAJMAN, L. – RODA, Š. 1970. Vznik a vývoj krasového fenoménu Ochtinskej aragonitovej jaskyne. Slovenský kras, 8, 21–68.
- KETTNER, R. 1933. Domica, perla slovenských jeskyní. Věda přírodní, 14, Praha, 161–192.
- KISS, A. 1857. A Jászói vagy Kőszáli barlang Abaujtornamegyében. A Magyarhoni Természettudományi Társulat, 1, Nyitra, 45–50.
- KORMOS, T. 1917. A Jászói Takács Menyhért-barlang. Barlangkutató, 5, Budapest, 3–24.
- KUBÍNÝ, D. 1956. Geologicko-speleologický výskum Bystriansko-valašianskeho jaskynného systému. Krásy Slovenska, 33, 7, 263–265.
- KUBÍNÝ, D. 1974. Správa o geologických a speleologických pomeroch prepadového územia vo Valaskej pri Brezne. Slovenský kras, 12, 135–156.
- KUBÍNÝ, D. 1990. Geologicko-tektonická pozícia Harmaneckého krasu. Slovenský kras, 28, 47–57.
- KUČERA, M. 2008. Distribúcia diskontinuit v procese formovania Belianskej jaskyne. Slovenský kras, 46, 1, 227–231.
- KUKLA, J. 1953. Harmanecká jeskyně. Československý kras, 4, 97–108.
- KULLMANOVÁ, A. – RAKÚS, M. – BIELY, A. 1983. Charakteristické litostratigrafické profily mezozoika Nízkych Tatier, časť I. (obalové skupiny a krížňanský príkrov). Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 43 s. Geofond, archívne číslo: 56622.
- KUNSKÝ, J. 1936. Bystranská jeskyně v Nízkých Tatrách. Krásy Slovenska, 15, 3, 44–48.
- LENČO, V. 1950. Tektonické pomery Hornoharmaneckej doliny a jaskyne „Izbiča“. Krásy Slovenska, 27, 5–8, 111–113.
- MARTINSKÝ, L. 1987. Litogeochemický výskum sedimentov mezozoika z vybraných profilov v Nízkych Tatrách, čiastková záverečná správa. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 23 s. Geofond, archívne číslo: 65963.
- MELLO, J. 2004. Geologické prostredie jaskyne Domica a jej okolia. Aragonit, 9, 3–8.
- MICHALÍK, J. – REHÁKOVÁ, D. – MARKO, F. 1992. Stratigrafia a tektonika spodnokriedovej vápencovej sekvencie v profile jaskyne Driny (vyšoká jednotka, Malé Karpaty). Mineralia Slovaca, 24, 3–4, 235–243.
- MICHALÍK, J. – MASARYK, P. – PAPŠOVÁ, J. – JENDREJÁKOVÁ, O. 1988. Paleontológia a biostratigrafia triasových súvrství v podtatranskej oblasti Spiša a Liptova. In Samuel, O. – Michalík, J. Sprievodca k celoštátnej paleontologickej konferencii usporiadanej paleontologickou odbornou skupinou Slovenskej geologickej spoločnosti pri SAV Geologickom ústave D. Štúra a ČS VTS pri GÚDŠ v dňoch 20. – 24. júna 1988 v Milave pri Nižných Ružbachoch, Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 57 s.
- MÍŠÍK, M. 1972. Lithologische und faunale Analyse des Mittleren Trias der Kerngebirge der Westkarpaten. Acta geologica et geographica Universitatis Comenianae, Geologica, 22, 5–154.
- MÍŠÍK, M. 1974. Geologické exkurzie po Slovensku. Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava, 359 s.
- NEMČOK, J. – BEZÁK, V. – JANÁK, M. – KAHAN, Š. – RYKA, W. – KOHÚT, M. – LEHOTSKÝ, I. – WIECZOREK, J. – ZELMAN, J. – MELLO, J. – HALOUZKA, R. – RACZKOWSKI, W. – REICHWALDER, P. 1993. Vysvetlivky ku geologickej mape Tatier. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 135 s.
- PAVLARČÍK, S. 2002. Geologické pomery východnej časti Belianskych Tatier a ich vplyv na vývoj Belianskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Výskum, využitie a ochrana jaskýň, zborník referátov z 3. vedeckej konferencie, Stará Lesná 2001. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 15–21.
- PETRO, Ľ. – BELLA, P. – POLAŠČINOVÁ, E. – HÓK, J. – STERCZ, M. 2004. Monitorovanie tektonických pohybov v Demänovskej jaskyni slobody. Aragonit, 9, 26–29.
- PETRO, Ľ. – KOŠŤÁK, B. – STEMBERK, J. – VLČKO, J. 2011. Geodynamic reactions to recent tectonic events observed on selected sites monitored in Slovakia. Acta geodynamica et geomaterialia, 8, 4, 453–467.
- POKORNÝ, M. 1949. Vývoj najmladších priestor jeskýň Demänovských. Časopis Moravského múzea v Brně, 34, 1, Brno, 49–65.
- RODA, Š. – ABONYI, A. 1954. Výskum Silicko-gombaseckej jaskynnej sústavy. Krásy Slovenska, 31, 6, 185–190.
- RODA, Š. – RAJMAN, L. – ERDŐS, M. – SZABOVÁ, T. 1986. Vznik a vývoj sintrových foriem v piatich jaskyniach Slovenského krasu. Gemerská vlastivedná spoločnosť, Rimavská Sobota, 227 s.
- ROTH, Z. 1937. Vývoj jeskyně Domice. Bratislava, časopis pro výzkum Slovenska a Podkarpatskej Rusi, 11, 2–3, 129–163.
- STUR, D. 1868. Bericht über die geologische Aufnahme im oberen Waag- und Gran-Thale. Jahrbuch der k. k. Geol. Reichsanstalt, 18, Wien.
- ŠEVČÍK, R. – KANTOR, J. 1956. Aragonitová jaskyňa na Hrádku pri Jelšave. Geologické práce, Zprávy 7, Bratislava, 161–171.
- TULIS, J. 2001. Výskum Dobšinskej ľadovej jaskyne. Aragonit, 6, 4–5.
- TULIS, J. – NOVOTNÝ, L. 1989. Jaskynný systém Stratenskej jaskyne. Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš, 456 s.
- VLČEK, L. – PSOTKA, J. 2008. Geológia Brestovskej jaskyne. Slovenský kras, 46, suppl. 1, 5–24.
- VOLKO-STAROHORSKÝ, J. 1929. Zpráva o výskume Jasovskej jaskyne. Sborník Muzeálnej slovenskej spoločnosti, 23, Bratislava, 41–70.
- ZACHAROV, M. 1984. Výskum geologicko-štruktúrnych pomeroch a deformácií v Jasovskej jaskyni. Slovenský kras, 22, 69–94.
- ZACHAROV, M. 1996. Geologické pomery Jasovskej jaskyne. In Bella, P. (Ed.): Sprístupnené jaskyne – výskum, ochrana a využívanie, zborník referátov z odborného seminára, Medzev 1996. Správa slovenských jaskýň, Liptovský Mikuláš, 19–24.
- ZACHAROV, M. 1998. Jasovská jaskyňa – litostratigrafia a tektonika. Acta Montanistica Slovaca, 3, 2, 115–122.

SEASONAL DYNAMICS OF KARST DISSOLUTION BASED ON A LIMESTONE TABLES EXPERIMENT IN THE SLOVAK KARST REGION

Alena Gessert – Zdenko Hochmuth

Institute of Geography, Faculty of Science, P. J. Šafárik University, Jesenná 5, 040 01 Košice, Slovakia; alena.gessert@upjs.sk

Chemical denudation in karst regions is a fundamental process in the formation of karst landscapes. This process is subject to various influencing factors, primarily determined by the climatic conditions and specific characteristics of each location. Our study aims to monitor and analyze the intensity of chemical denudation in two areas of the Slovak Karst: the Silica Plateau and the Jasov Plateau, both situated in the most developed karst plateau region of Slovakia. By using measurable results from the weight loss of limestone tablets, we sought to understand the dynamics of karst dissolution in these areas.

The experimental sites, although differing slightly in altitude and climatic conditions, present similar geographical characteristics, making them comparable. In each locality, three sets of standardized limestone tablets were placed at different depths: 50 cm, 20 cm, and on the soil surface. This setup allowed us to examine the influence of soil depth on the rate of chemical denudation. The research commenced in December 2016 and continued until the end of 2021, with samples being dried and weighed every three months.

Our findings indicate that the lowest weight loss occurred in samples placed on the soil surface, whereas the highest weight loss was observed at a depth of 20 cm. This variation is attributed to increased biological activity in the soil during the growing season, with weight loss rates ranging from 2.65 to 2.82 mg/cm²/year. Notably, the most significant weight losses were recorded during the transition from winter to spring, highlighting the impact of snowfall and melting snow on the dissolution process. During the spring season, the average dissolution rate ranged from 3.78 to 4.12 mg/cm²/year, compared to 3.24 to 4.06 mg/cm²/year in winter.

Site	Depth (cm)	Dissolution rate (mg/cm ² /year)
JP	0	0.8763
	20	4.1471
	50	5.2807
SP	0	0.7726
	20	4.5889
	50	3.5848

Fig. 1. Average dissolution rate by depth over 5-year period

these unique landscapes. The data collected from the Slovak Karst region provide valuable insights into the seasonal and spatial variability of karst dissolution, which can inform future studies and conservation efforts in similar karst environments.

TRAVERTINE MOUND – LIFE AFTER LIFE

Michał Gradziński¹ – Karol Bartoś² – Pavel Bella^{3, 4}

– Helena Hercman⁵ – Joanna Leksander¹ – Katarína Pukanská²
– Przemysław Sala¹ – Jacek Szczygieł⁶ – Wojciech Wróblewski¹

¹*Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków, Poland; michal.gradzinski@uj.edu.pl*

²*Institute of Geodesy, Cartography and GIS, Technical University of Košice, Park Komenského 19, 04 001 Košice, Slovakia*

³*State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia*

⁴*Department of Geography, Faculty of Education, Catholic University in Ružomberok, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok, Slovakia*

⁵*Institute of Geological Sciences, Polish Academy of Sciences, ul. Twarda 51/55, 00 818 Warszawa, Poland*

⁶*Institute of Earth Sciences, University of Silesia, Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec, Poland*

Currently, thanks to numerous studies of active and fossil travertine mounds, both their growth processes and the factors determining these processes are well understood. However, the stage of the disappearance of the mound activity is not entirely clear. The phenomena occurring at this stage remain unrecognized and enigmatic. The study of constructional caves existing inside travertine mounds allows to shed new light on

these phenomena. They provide information about processes taking place inside the mounds that are not usually recorded in travertines formed on the surface.

Bojnická hradná jaskyňa, 60 m long and 26 m high, located in the central part of Slovakia in the Upper Nitra Valley, is an example of an aggradational-type constructional cave formed in a travertine mound. There is a medieval castle at the top of the mound. The cave has the form of a circular hall connected to the surface by a vertical chimney, the upper opening of which is located at the highest point of the travertine mound, in the so-called fourth castle courtyard. In the past, it served as a castle well. Currently, the cave is open to visitors of the castle through two adits.

The analysis of internal sediments in the cave, which considered their distribution, conditions of formation and age, extended by the study of available surface exposures of travertine, has led to the reconstruction of the cave development and to drawing broader conclusions regarding the processes occurring at the senile stage of travertine mound. The cave was created as a result of the closing of the roof of the crater lake existing in the central part of the mound, which occurred between approximately 300 ka and 90 ka. The travertine mound itself was active, at least episodically, until ca 55 ka; this documents the age of the youngest travertine in its top part. However, from approximately 72 ka, the cave located inside the mound became within the range of fluctuations of the water table, as evidenced by various speleothems dating back to approximately 19 ka. They were formed at the level of the water table (calcite rafts, shelfstones) or below it (coralloids). The lowering of the water table was probably caused by tectonic activity leading to the opening of new, more favorable migration routes of deep circulation waters to the land surface.

The study was financed by Polish National Science Centre projects NCN 2017/25/B/ST10/01430 i 2019/35/B/ST10/04397.

NOVÉ FORMY SPELEOTÉM VO VYBRANÝCH ZAMŔZAJÚCICH JASKYNIACH, NÍZKE TATRY

Monika Orvošová¹ – Rastislav Milovský² – Stanislava Milovská²

¹*Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš; orvosovamonika@gmail.com*

²*Ústav vied o Zemi, v. v. i., Ďumbierska 1, 974 01 Banská Bystrica*

Náš výskum sa zamerával na nátekové formy speleotém (sintrové kóry, stalaktity a stalagmity) vo vybraných jaskyniach severnej strany Nízkych Tatier, v ktorých je časť roka teplota pod nulou a tvorí sa v nich sezónny ľad, alebo jaskyniach v súčasnosti bez permanentného ľadu. Štúdia bola motivovaná pozorovaním prítomnosti sezónneho ľadu počas zimy na skúmaných speleotémach a súčasne prezentáciou výsledkov výskumu veľmi podobných speleotém nachádzajúcich sa v rumunských jaskyniach opísaných ako nové typy jaskynnej výzdoby „cryogenic ridges“ (Onac et al., 2023). V slovenskom jazyku navrhujeme používať termín „kryogénne žily“. Speleotémy s osobitnou morfológiou zobrazujúce na povrchu stalaktitov sieť vypuklých žíl (cryogenic ridges) boli dávnejšie pozorované tak v zaľadnených jaskyniach s permanentným ľadom (Demänovská ľadová jaskyňa), ako aj v jaskyniach, kde sa tvorí sezónny ľad (Veľká a Malá Stanišovská jaskyňa). Do tejto genetickej kategórie môžeme zaradiť aj speleotémy (stalagmity, stalaktity a nátekové kóry) z Beníkovej a Suche jaskyne z Demänovskej doliny, ktoré svojou atypickou morfológiou bizarných foriem poskrúcanými a deformovanými tvarmi speleotém sú typické pre takýto typ jaskýň.

Procesy zmrazovania a rozmrazovania vyvíjajú stres na speleotémy, čo má za následok vytvorenie buď siete malých puklín na povrchu sintrových nátekov, alebo narušenie postupného narastania kryštálov kalcitu stalagmitov. Voda, ktorá presakuje cez speleotému, si nachádza cestu von cez tieto trhliny, vrstvené plochy a presakovanie/mrznutie vedie k vytvoreniu kalcitových žíl, ktoré s nahromadením kalcitu usadeného mrznutím vody dodáva speleotémam jedinečnú textúru a formu.

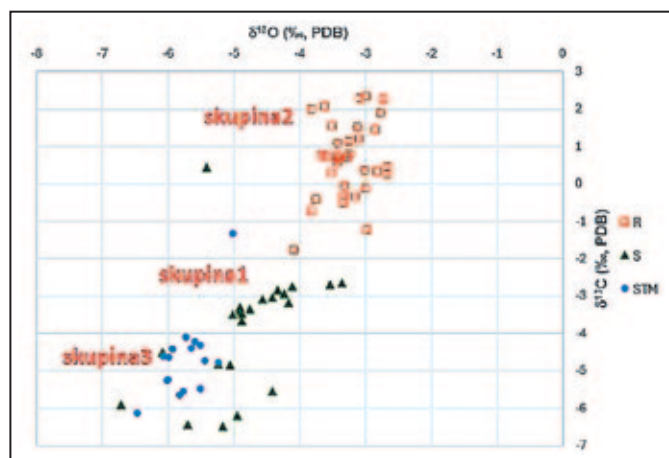
Na základe petrologického štúdia výbrusov kryogénnych žíl vo fraktúrach sintrovej vrstvy sme na základe vnútornej štruktúry kryštálov kalcitu pozorovanej pod mikroskopom identifikovali kryštály kalcitu kryogénneho prásku, ako aj prizmatické, dobre vyvinuté kryštály kalcitu bežného skvapovného sintra.

Izotopová analýza nových typov speleotém (kryogénnych žíl) a bežných speleotém, v ktorých sa nachádzajú, ukazuje dve skupiny údajov, ktoré sú zoskupené do dvoch rôznych polí, pričom každé z nich je relatívne homogénne (obr. 1). Tretia skupina s narušeným (degradovaným) rastom speleotém je interpretovaná nižšie.

Skupina 1 (obr. 1, trojuholníky) predstavuje kalcit z bežnej sintrovej kôry s hodnotami medzi -6,7 a -3,4 ‰ a -6,5 a -2,7 ‰ pre $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^{13}\text{C}$, v tomto poradí. A naopak vzorky kalcitu z rôznych žíl (Skupina 2, štvorce na obrázku) majú vyššie hodnoty pre $\delta^{18}\text{O}$ (-4,1 až -2,7 ‰) aj $\delta^{13}\text{C}$ (-1,8 až 2,3 ‰).

Vyššie hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^{13}\text{C}$ v kalcitových žilách (skupina 2) v porovnaní s hodnotami vnútri speleotém naznačujú, že kalcit vznikol počas relatívne rýchlej karbo-nátovej precipitácie pravdepodobne pri zamŕzaní skvapovenej vody.

Skupina 3 reprezentuje izotopové dáta jedného degradovaného stalagmitu z jednej jaskyne (jaskyňa Beniková). Výskum tejto skupiny je v začiatkoch a vyžaduje ďalšie dáta na korektné vyhodnotenie jeho genézy.



Obr. 1. Hodnoty izotopov kyslíka a uhlíka kalcitu v bežných speleotémach (skupina 1) a speleotémach s kryogénnymi kalcitovými žilami (skupina 2) z vybraných jaskýň. Skupina 3 predstavuje len prvotné dáta kryogénne degradované ho stalagmitu z jaskyne Beníková.

Nové uvedené údaje o kryogénnych žilách potvrdzujú predpokladaný genetický mechanizmus a umožňujú ich klasifikáciu do nového typu speleotém „cryogenic ridges“ v zmysle Onac et al. (2023).

V prípade siete kryogénnych žíl vyskytujúcich sa na povrchu nátekových kôr v Demänovskej ľadovej jaskyni, Veľkej Stanišovskej jaskyni a Malej Stanišovskej jaskyni môžeme skúmané formy považovať za nový typ speleotému. Výskum prispieva k pochopeniu tvorby speleotém, ktoré vznikali v zaľadnenom krasovom prostredí.

Literatúra

ONAC, B. P. – CLEARY, D. M. – DUMITRU, O. A. – POLYAK, V. J. – POVARĂ, I. – WYNN, J. G. – ASMEROM, Y. 2023. Cryogenic ridges: a new speleothem type. *International Journal of Speleology*, 52(1), 1–8. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.52.1.2416>

CONDENSATION CORROSION IN NIETOPERZOWA CAVE (SOUTHERN POLAND)

Przemysław Sala¹ – Michał Gradziński¹ – Mirosław Żelazny² – Łukasz Jelonkiewicz²

¹ Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków, Poland; p.sala@uj.edu.pl

² Institute of Geography and Spatial Management, Jagiellonian University, Gronostajowa 7, 30-387 Kraków, Poland

Condensation water become aggressive towards calcium carbonate due to diffusion of CO₂ from the cave atmosphere into the solution (Ford & Williams, 2007). Samples of condensed water were collected throughout the year in Nietoperzowa Cave using plastic containers filled with ice. Conductivities of these water rarely exceeds 50 μS/cm, whereas pH ranges from 5.99 to 7.76. Condensed water is dominated by HCO₃⁻, which concentration ranges from 9.39 to 91.92 mg/l. This indicates the uptake of CO₂ from the cave atmosphere to the solution and results in its negative saturation index with respect to calcium carbonate (SI_{calc}). The SI_{calc} < 0 of condensed water was previously identified in caves located on the Antilles (Tarhule-Lips & Ford, 1998) or in Spain (Liñán et al., 2021). We observed that the concentration of HCO₃⁻ in condensed water, and therefore SI_{calc}, shows no correspondence with the CO₂ concentration in the cave atmosphere, which was the highest during the summer-autumn season (>2500 ppm).

The carbonate tablets were placed in several sites of Nietoperzowa Cave to measure the rate of condensation corrosion. The tablets exposed for 1064 days showed the weight loss up to 0.057 g, corresponding to the maximum corrosion rate of 0.001 mm/year. These results are consistent with theoretical calculations that indicate condensation corrosion in caves can be up to 0.003 mm/year (Dreybrodt et al., 2005). White et al. (2021) based on the large sample population argued that there is no statistically significant change in mass between carbonate tablets before and after the exposure to condensation corrosion. Nevertheless, the significant corrosion rate was postulated by Tarhule-Lips & Ford (1998), who evidenced calcite dissolution that reached up to 0.024 mm/year. Therefore, condensation corrosion can be responsible for the substantial dissolution of cave host rock, but also speleothems. Thus, condensation corrosion can contribute to the development of the hiatuses within speleothems.

The study was financed by Polish National Science Center grant no. 2019/35/B/ST10/04397.

References

- DREYBRODT, W. – GABROVŠEK, F. – PERNE, M. 2005. Condensation corrosion: a theoretical approach. *Acta Carsologica*, 34, 317–348.
- FORD, D. – WILLIAMS, P. W. 2007. *Karst hydrogeology and geomorphology*. John Wiley & Sons, 562 p.
- LIÑÁN, C. – BENAVENTE, J. – DEL ROSAL, Y. – VADILLO, I. – OJEDA, L. – CARRASCO, F. 2021. Condensation water in heritage touristic caves: Isotopic and hydrochemical data and a new approach for its quantification through image analysis. *Hydrological Processes*, 35, e14083.
- TARHULE-LIPS, R. F. – FORD, D. C. 1998. Condensation corrosion in caves on Cayman Brac and Isla de Mona. *Journal of Caves and Karst Studies*, 60, 84–95.
- WHITE, J. H. – DOMÍNGUEZ-VILLAR, D. – HARTLAND, A. 2021. Condensation corrosion alters the oxygen and carbon isotope ratios of speleothem and limestone surfaces. *Results in Geochemistry*, 2, 100008.

ANALÝZA ČASOVÝCH RADOV OBJEMOVEJ AKTIVITY RADÓNU V OVZDUŠÍ JASKÝŇ DOMICA A BRESTOVSKÁ

Iveta Smetanová¹ – Milan Onderka^{1,3} – Lucia Pristašová² – Dagmar Haviarová² – Kristian Csicsay¹

¹ Ústav vied o Zemi, Slovenská akadémia vied, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava; geofivas@savba.sk

² Štátna ochrana prírody SR, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš

³ Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Brestovská jaskyňa sa nachádza v Roháčskej doline v Západných Tatrách. Je jedinou sprístupnenou jaskyňou Oravy s prevádzkou od začiatku februára do konca októbra. Vybavená je 4 dočasnými mikroklimatickými monitorovacími stanicami, ktoré zaznamenávajú teplotu a tlak ovzdušia pomocou barologgera firmy Solins (Canada) v hodinových intervaloch a 2 stanicami firmy Microstep (SR) merajúcimi teplotu, vlhkosť vzduchu a koncentráciu CO₂. Jedna meracia stanica, umiestnená na povrchu v blízkosti jaskyne, meria vonkajšiu teplotu a tlak vzduchu. Kontinuálny monitoring objemovej aktivity radónu (OAR) v ovzduší jaskyne prebieha od júna 2021 na stanici Bivaková chodba, ktorá je súčasťou prehliadkovej trasy a nachádza sa na vrchnom poschodí jaskyne. Údaje sú zaznamenávané v hodinových intervaloch detektorom TERA TSR 3DNN (TESLA, ČR).

Jaskyňa Domica leží na JZ okraji Silickej planiny v Národnom parku Slovenský kras. Je súčasťou cezhraničného jaskynného systému Domica-Baradla. V jaskyni na viacerých miestach prebieha dlhodobý monitoring vybraných mikroklimatických parametrov meracími zariadeniami od Microstepu (SR). Meranie OAR sa realizovalo od júna 2010 do júla 2011 na stanovišti v Panskej chodbe, v časti mimo prehliadkovej trasy, v bezprostrednej blízkosti podzemného toku Styx. Na monitorovacej stanici sa v čase výskumu merała teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, koncentrácia CO₂, rýchlosť a smer prúdenia vzduchu. Pri jaskyni sa nachádza vonkajšia meteorologická stanica (meranie atmosférickej teploty, relatívnej vlhkosti, smeru a rýchlosti vetra, zrážok a globálnej radiácie). Kontinuálny monitoring OAR sa vykonával pomocou detektora Barasol (Algade, Francúzsko). Všetky namerané údaje sa registrovali v 10-minútových intervaloch. Údaje o atmosférickom tlaku boli získané zo stanice SHMÚ v Košiciach.

Cieľom výskumu bolo získať detailnejšie informácie o hodnotách OAR v jaskynnom ovzduší a prispieť k pochopeniu vzniku periodických aj neperiodických časových variácií. V oboch jaskyniach boli zistené sezónne, krátkodobé aj denné zmeny OAR. Priemerné denné hodnoty OAR boli výrazne vyššie v Brestovskej jaskyni, v intervale 3 800 – 19 500 Bq/m³, kým v Domici sa pohybovali v rozsahu 400 – 2700 Bq/m³. Najvyššie hodnoty OAR boli v Brestovskej jaskyni zaznamenané v letných mesiacoch jún až september. Neperiodické krátkodobé variácie OAR v trvaní do 15 dní boli registrované počas celého roka, pričom najvyššie amplitúdy týchto zmien boli v mesiacoch november až apríl. V jaskyni Domica sa zistilo sezónne maximum v mesiaci september a minimum v období február – marec. Neperiodické krátkodobé zmeny OAR v trvaní 4 – 10 dní sa pozorovali prevažne v období august – november. Sezónna zmena OAR a CO₂ sa lišila, maximum koncentrácie CO₂ bolo zistené v mesiacoch október aj január, minimum v období máj – august.

Na preukázanie časovej variability závislosti medzi OAR, CO₂, tlakovými a teplotnými pomermi v jaskynnom interiéru a vo vonkajšom prostredí boli použité spektrogramy znázorňujúce waveletové koherencie medzi jednotlivými pármí premenných. V oboch jaskyniach nebola v prípade atmosférického tlaku identifikovaná významná koherencia s OAR. V Brestovskej jaskyni je pri 24-hodinovej perióde zvýraznená koherencia OAR s vnútornou aj atmosférickou teplotou počas mesiacov máj – september, v prípade teplotného rozdielu medzi vnútornou a atmosférickou teplotou v mesiacoch marec až november. V jaskyni Domica je pri 24-hodinovej perióde zvýraznená koherencia OAR s atmosférickou teplotou počas mesiacov marec – október, s vnútornou teplotou v mesiacoch január – október a s teplotným rozdielom v období január – október.

Výskum bol podporený vedeckou grantovou agentúrou VEGA MŠ SR a SAV v rámci projektu 02/0015/21.

NOVÉ POZNATKY O NÁLEZOCH MAMUTOV SRSTNATÝCH (*MAMMUTHUS PRIMIGENIUS*, *PROBOSCIDEA*, *MAMMALIA*) Z ČAČTICKEJ JASKYNE (MALÉ KARPATY)

Csaba Tóth¹ – Tomáš Čeklovský² – Lukáš Kubičina³

¹ Ústav vied o Zemi SAV, v. v. i., Dúbravská cesta 9, 840 05 Bratislava; geoltoth@savba.sk

² Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš; tomas.cekvsky@smopaj.sk

³ Slovenská speleologická spoločnosť, Oblastná skupina Čachtice, J. Halašu 1, 911 08 Trenčín; oscachtice@gmail.com

Čachtický kras sa nachádza v severovýchodnej časti Malých Karpát. Čachtická jaskyňa je situovaná v severnej strane vrchu Drapliak (396 m n. m.), severne od obce Čachtice. Fluviokrasovo-korózná jaskyňa je dlhá 3865 m a hlboká 110 m (Čeklovský et al., 2024).

V priestoroch Jarine domy boli počas prieskumných prác pod vedením jaskyniarov OS Čachtice (r. 2013 až 2022) nájdené fosílie zvyšky neskoropleistocénnych cicavcov: *Mammuthus primigenius*, *Coelodonta antiquitatis*, *Equus ex gr. ferus*, *Bos primigenius* / *Bison priscus-bonassus*?, *Rangifer tarandus* a *Mammalia* indet. (determinácia: T. Čeklovský a M. Vlačický). Študované nálezy sú uložené v paleontologickom zbierkovom fonde SMOPaJ v Liptovskom Mikuláši.

Výsledky C¹⁴ datovania (Poznaň, Poľsko) vzorky nosorožca srstnatého (*C. antiquitatis*) preukázali vek 27 810 ± 260 BP, po kalibrácii 30 362 – 29 238 BC (s pravdepodobnosťou 88,7 %), zodpovedajúci Heinrich eventu 3.

Z mamuta srstnatého (*M. primigenius*) sa našli M3 dext. (Orvošová et al., 2017), neskôr ďalšie nekompletné zachované stoličky a úlomky klov. Zuby patrili 2 – 3 dospelým jedincom (vek cca 40 – 47 r.). Jeden z nich bol v čase úhynu v štádiu výmeny zubov, čo bolo relatívne kritické obdobie v živote zvierafa.

O vekovom zaradení náleзов mamutov máme len nepriame indicie, ktoré sa nepatrne môžu odchyľovať od datovanej vzorky nosorožca srstnatého. Morfometrické znaky zubov (hrúbka skloviny a lamelárna frekvencia) sa líšia od mamutov srstnatých Sibírskej formy, ktorá sa v strednej Európe vyskytovala od 21 – 15 ka cal BP. Patrili skôr archaickejšej, endemickej európskej forme *M. primigenius* (MIS4 – MIS3), ktorá vyhynula približne pred 24 ka cal BP (Palkopoulou et al., 2013). Podľa Magyariho a kol. (2022) v dvoch časových intervaloch 32,5 – 27,4 a 24,5 – 22 ka cal BP. (Heinrich event 3 a 2) dosiaľ nie je potvrdený výskyt mamutov z východnej časti strednej Európy. Tieto údaje teoreticky naznačujú, že v jaskyni sa môžu nachádzať fosílie druhov s odlišným vekom (rádovo v tisícoch rokov).

V Hornej kaplnke jaskyne (cca 100 m vzdušnou čiarou od náleziska fosílií) boli nájdené kryogénne kalcity s absolútnym vekom 24,6 ± 1,6 ka cal BP (Orvošová et al., 2017). V čase maximálnej hrúbky permafrostu v jaskyni sa tam fosílie zrejme ešte nenachádzali, pretože by ich ľad mechanicky deštruoval (hlavne kly). Preto mohli dlhší čas ležať mimo jaskyne a počas teplejšieho interštádiu pri obnove hydrologických procesov boli cez aktívny závrť spláchnuté do podzemia. Tomu nasvedčuje vysoká koncentrácia (aj archeologických – gravettiených) nálezísk mamutov, ktoré sa priamo v Čachticiach aj širšom okolí nachádzajú (Schmidt, 1975; Kaminská, 2014). Prevažná väčšina týchto mamutích zvyškov nemá absolútne stanovený vek, morfometricky sú však v súlade s nálezmi z Čachtickej jaskyne. Na spresnenie veku fosílií mamutov aj ostatných nájdených druhov, resp. možného definovania jednotlivých faunistických spoločností je nutné realizovanie ďalších rádiometrických datovaní.

Podakovanie. Ďakujeme M. Orvošovej (SMOPaJ) a M. Vlačickému za konzultácie, ako aj členom OS Čachtice za výskum náleziska a záchranu fosílií. Výskum bol finančne podporený grantom VEGA 2/0066/24. Rádiokarbové datovanie sa uskutočnilo vďaka Environmentálnemu fondu (zmluva č. 231449 08U08). Výskum v teréne bol prispôbený výnimkám na základe Rozhodnutia MŽP SR zo dňa 27. 11. 2017.

Literatúra

- ČEKLOVSKÝ, T. – FARKAŠOVSKÁ E. – ORVOŠOVÁ M. 2024. Štúdium osteologického materiálu v sedimentoch jaskýň. Záverečná správa. Manuskript, Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš, 72 s.
- KAMINSKÁ, L. (Ed.) 2014. Staré Slovensko 2 Paleolit a mezolit. Archaeologica Slovaca Monographiae. Archeologický ústav SAV, Nitra, 366 s.
- MAGYARI, E. K. – GASPARIK, M. – MAJOR, I. – LENGUEL, G. – PÁL, I. – VIRÁG, A. – KORPONAI, J. – HALIUC, A. – SZABÓ, Z. – PAZONYI, P. 2022. Mammal extinction facilitated biome shift and human population change during the last glacial termination in East-Central Europe. Scientific Reports, 12, 6796.
- ORVOŠOVÁ, M. – ĎURIŠOVÁ, A. – MILOVSKÝ, R. 2017. Zub mamuta srstnatého *Mammuthus primigenius* (BLUMENBACH, 1799) a kryogénne kalcity z Čachtickej jaskyne (Malé Karpaty, Slovensko). Slovenský kras, 55, 2, 173–187.
- PALKOPOULOU, E. – DALÉN, L. – LISTER, A.M. – VARTANYAN, S. – SABLIN, M. – SHER, A. – NYSTRÖM EDMARK, V. – BRANDSTRÖM, M. D. – GERMONPRÉ, M. – BARNES, I. – THOMAS J. A. 2013. Holarctic genetic structure and range dynamics in the woolly mammoth. Proceedings of the Royal Society of London, Series B, 280, 20131910.
- SCHMIDT, Z. 1975. Elefantoidné chobotnatce slovenských Karpát a nižín. Manuskript, Geofond, Bratislava, 74 s.

SYNDEPOSITIONAL HYPOGENESIS IN TRAVERTINES – A NEW INSIGHT INTO THE FORMATION OF TRAVERTINE BUILDUPS

Wojciech Wróblewski¹ – Pavel Bella^{2,3} – Michał Gradziński¹ – Przemysław Sala¹

¹ Institute of Geological Sciences, Jagiellonian University, Gronostajowa 3a, 30-387 Kraków, Poland; wojciech.wroblewski@uj.edu.pl

² State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia

³ Department of Geography, Faculty of Education, Catholic University in Ružomberok, Hrabovská cesta 1, 034 01 Ružomberok, Slovakia

A study of travertine deposits in northern Slovakia has indicated that the specific subsurface corrosion forms observed in travertines can be a result of hypogene dissolution. This hypothetical process resulted in the formation of vertical and sub-vertical voids. Their development is associated with a network of cracks in the travertine, which are in turn related to faults in the pre-Quaternary basement. The voids are vertical and sub-vertical, tubular in shape, and have lengths exceeding 15 m and diameters reaching from several decimeters to 2 meters. The inner wall surfaces of these structures exhibit a distinctive jagged morphology, which results from the lithological varieties of host travertine. In the majority of voids (typically in the largest ones), secondary carbonate speleothems are observed. The sedimentological analysis has demonstrated that they were formed primarily under phreatic conditions. The isotopic composition of speleothems (¹³C and ¹⁸O) indicates crystallization from deep circulating waters. This, in turn, implies that the process of formation of the studied voids cannot be the result of the epigenic speleogenesis. The formation of voids and speleothems appears to be related to the cooling of the solutions feeding travertine buildups during their growth. This process is analogous to that observed in bedrock constructed of marine carbonates in several karst regions of the world, as documented by Roded et al. (2023).

References

- RODED, R. – AHARONOV, E. – FRUMKIN, A. – WEBER, N. – LAZAR, B. – SZYMCAK, P. 2023. Cooling of hydrothermal fluids rich in carbon dioxide can create large karst cave systems in carbonate rocks. Communications Earth and Environment, 4, 465.

HYDROGEOLOGIA A HYDROGEOCHÉMIA

VÝSLEDKY STOPOVACEJ SKÚŠKY V PONORE SUCHEJ DOLINY (PLAVECKÝ KRAS)

Dagmar Haviarová¹ – Peter Pristaš² – Jiří Bruthans³

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

² Ústav biologických a ekologických vied, Univerzita P. J. Šafárika, Šrobárova 2, 041 054 Košice; peter.pristas@upjs.sk

³ Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2; bruthans@natur.cuni.cz

Plavecký kras patrí medzi významné krasové územia Malých Karpát s výskytom viacerých povrchových aj podzemných krasových javov. Z geologickej stránky je územie Plaveckého krasu viazané na karbonáty hronika. Suchá dolina sa nachádza východne od obce Plavecké Podhradie. Jej dĺžka je okolo 2 km. Dolinou preteká potok, ktorý sa v strednej krasovatej časti doliny postupne stráca v podzemí. V minulosti sa jaskyniarom podarilo v doline otvoriť do hĺbky cca 3,5 m fosílny ponor, ktorý dokázal pohltiť 20 až 50 l/s vody.

V roku 2023 sa v ponore zrealizovala kvantitatívna stopovacia skúška, ktorej cieľom bolo identifikovať smery prúdenia podzemných vôd ponárajúcich sa v Suchej doline. Za odberné miesta boli vytypované pramene Kamenistá, Rajtárka, Kráľova studňa, Hoblická a prameň Pod hradom. Prameň Rajtárka a Kráľova studňa sú zachytené a slúžia ako vodárenské zdroje pod správou Bratislavskej vodárenskej spoločnosti. O to komplikovanejšia bola samotná realizácia, ktorá rešpektovala požiadavky vodárov a ďalších subjektov. Ako stopovacia látka bol využitý biologický stopovač – fágová suspenzia bakteriofága H40/1, pri použití ktorej je deklarovaná kvalitatívna nezávadnosť vôd, a preto môže byť použitá ako stopovač aj na miestach s výskytom vodárenských zdrojov. Suspenzia v objeme 10 litrov s početnosťou fágov 1,5 × 10¹¹ bola pripravená na Katedre mikrobiológie Ústavu biologických a ekologických vied PrF UPJŠ v Košiciach, kde sa vyhodnocovali aj odoberané vzorky vôd. Aplikovaná bola do ponoru 14. 4. 2023.

Odbery vzoriek vôd zabezpečovali jaskyniari jaskyniarskej skupiny Jaskyniari Plavecké Podhradie na základe vopred vypracovaného harmonogramu odberov. Odbery sa počas prvých dní realizovali priebežne v dvoj-, troj- a neskôr v štvorhodinových intervaloch. Výnimkou bol prameň Pod hradom pod Plaveckou jaskyniou, kde sa odbery realizovali 2-krát za 24 hodín, neskôr to bolo 1-krát za 48 hodín. Pri odberoch boli využité aj automatické vzorkovače. Stopovacia skúška sa realizovala v čase intenzívnych zrážok, z vyššej hydrologickej situácie. V rámci stopovacej skúšky sa na lokalitách vykonávali aj merania elektrickej vodivosti vody a hydrometrovacie práce. Prienikové krivky stopovača boli analyzované programom Qtracer2 (US EPA, Field 2002).

Stopovacia skúška v čase svojho trvania (14. 4. 2023 – 22. 5. 2023) preukázala podzemné prepojenie ponoru v Suchej doline s prameňmi Kráľova studňa a Rajtárka. Na lokalite Kráľova studňa, ktorá je od ponoru vzdialená vzdušnou čiarou 1458 m, sa stopovač objavil niekedy medzi 5:45 až 7:45 h od aplikácie s celkovou pozitivitou niekde medzi 92 až 134 hodinami. Pri prameni Rajtárka (vzdušná vzdialenosť 1789 m) sa stopovač dostal do prameňa 13:35 až 16:45 h od aplikácie s celkovou pozitivitou stopovača v prameni niekde medzi 55 až 78 hodinami. Vzhľadom na detegované počty fágov na obidvoch lokalitách (vyššie počty pri Kráľovej studni), priebeh prienikovej krivky a prepočítané rýchlosti prúdenia sa javí ako hlavná komunikačná cesta z ponoru trasa vedúca k prameňu Kráľova studňa. Z hľadiska kvality vody tak tento prameň patrí k najzraniteľnejším sledovaným prameňom v území. Zložitejší priebeh komunikačných ciest je v smere k prameňu Rajtárka, kde sa predpokladá ich nižšia priechodnosť. Komunikácia s ďalšími prameňmi v území sa počas stopovacej skúšky nepreukázala.

Stopovacia skúška sa realizovala v rámci projektu ŠF „Ochrana a starostlivosť o jaskyne Slovenska I.“, kód projektu ITMS 2014+: 310011P445, Operačný program Kvalita životného prostredia.

Literatúra

FIELD, M. 2002. The Qtracer2 Program for Tracer-Breakthrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other Hydrologic system. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington Office, Washington, DC, EPA/600/R-02/001.

IMPACT OF WATER EXHALED OUT BY VISITORS IN SHOW CAVE: A CASE STUDY FROM THE BALCARKA CAVE (MORAVIAN KARST)

Marek Lang¹ – Jiří Faimon^{1,2} – Pavel Pracný¹
– Jindřich Štelcl^{1,3} – Jiří Hebelka⁴

¹ Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; mareklang@mail.muni.cz, faimon@mail.muni.cz, pavelpracny@mail.muni.cz, stelcl@mail.muni.cz

² Czech Geological Survey, Brno Branch, Leitnerova 22, 658 69 Brno, Czech Republic

³ Department of Biology, Faculty of Education, Masaryk University, Poříčí 623/7, 603 00 Brno, Czech Republic

⁴ Cave Administration of the Czech Republic, Svitavská 11, 678 01 Blansko, Czech Republic; j.hebelka@seznam.cz

The anthropogenic impact of the water and CO₂ exhaled by visitors was studied in the Balcarka Cave, the show cave in the Moravian Karst (Czech Republic). For calculation of the personal CO₂/absolute humidity fluxes, two alternative models were proposed. The first model was based on detailed modeling of the CO₂/absolute humidity concentration in the atmosphere of the monitored chamber. The chamber represented a homogeneous reservoir with input and output fluxes. The CO₂ fluxes included (1) the advective input flux from the exterior or/and an adjacent cave space, (2) the anthropogenic flux, and (3) the advective output flux out of the chamber. Following the CO₂ model, the model of absolute humidity evolution was advanced by (4) the flux associated with the condensation of anthropogenic water vapor. The second model used the known/presumed composition of the air that was breathed off and the physical activity of the visitors. The CO₂ fluxes of 2.4×10^{-4} and $(2.0\text{--}3.9) \times 10^{-4}$ mol person⁻¹ s⁻¹ and the water vapor fluxes of $(3.2\text{--}8.9) \times 10^{-3}$ and $(0.6\text{--}1.2) \times 10^{-2}$ g person⁻¹ s⁻¹ were found for a slightly increased physical load. Based on the number of visitors, mean tour time, and personal anthropogenic flux, the total volume of exhaled water was estimated for (i) the winter season, (ii) the summer season, and (iii) the whole season. For the available data on attendance and accessibility period, the total mass of water vapor exhaled by visitors in the Balcarka Cave was estimated to be in the range of $(2.2\text{--}4.5) \times 10^7$ g with significant seasonality (the summer total mass of $(2.1\text{--}4.2) \times 10^7$ g significantly exceeded the winter total mass of $(1.5\text{--}2.9) \times 10^6$ g. According to the geochemical model, this mass of water is capable of dissolving 3160 to 6321 g of calcite, assuming a mean winter and summer CO₂ concentration in the cave air of 1000 and 3000 ppmv. The larger extent of water condensation

can lead to the so-called condensation corrosion, whereas the lower extent of condensation probably causes a recrystallization of calcite on the surface of speleothems and rocks. The effect could be a potential risk, for example, for prehistoric cave paintings. The results indicate the importance of improving cave management to keep the cave microclimatic parameters close to natural conditions. Possible proposals could be to reduce the number of visitors in groups and/or shorten the period of cave tours.

HYDROGEOCHEMIE JESKYNNÍHO SYSTÉMU RUDICKÉ PROPADÁNÍ – BYČÍ SKÁLA – PŘEDBĚŽNÉ VÝSLEDKY

Veronika Kršková^{1,2} – Vít Baldík¹ – Roman Hadac¹
– Jiří Faimon^{1,2} – Pavel Pracný² – Jiří Nečas¹ – Eva Kryštofová¹
– Roman Novotný¹

¹ Czech Geological Survey, Leitnerova 22, 658 69 Brno, Czech Republic; veronika.krskova@geology.cz

² Department of Geological Sciences, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 267/2, 611 37 Brno, Czech Republic

V průběhu hydrogeologických prací v rámci sestavení Základní geologické mapy ČR v měřítku 1 : 25 000 pro oblast Moravského krasu bylo průběžně realizováno vzorkování podzemních vod a vod vázaných na jeskynní systémy.

V drenážní oblasti systému Rudické propadání – Byčí skála byla zjištěna kontaminace dusičnany v nadlimitních hodnotách. Za účelem posouzení přítomnosti dalších polutantů proběhl v letech 2017 – 2018 projekt zaměřený na hodnocení rizik rybníčních usazenin v ponorných oblastech Moravského krasu následkem jejich transportu do jeskynních prostor (Baldík a kol., 2018). V dalších letech navázal projekt zaměřený na ověření prostorové distribuce a mocnosti struskové depozice v těsné blízkosti Rudického propadání a na ocenění potenciálních rizik plynoucích z uvolňování toxických elementů ze strusky do okolního horninového prostředí (Baldík a kol., 2018, 2020). Rozsáhlé vzorkování vod v rámci obou projektů ověřilo přítomnost kontaminace vod dusičnany, organickými látkami a moderními pesticidy. Alarmující bylo zjištění výrazně horší kvality vody vyvěrající v drenážní oblasti systému Rudické propadání – Byčí skála než v ponorných tocích, které do systému vstupují. Tato skutečnost si vyžádala detailní zhodnocení všech přítoků do systému za účelem identifikace zdroje znečištění. Doposud byly krasové vody zkoumány pouze na vstupu a výstupu ze systému (Rudické propadání – Byčí skála) – předmětem disertační práce je zahrnout i vstupy vevnitř krasového systému (přítoky).

V rámci výzkumu byla po rešeršním vyhodnocení vytvořena základní síť odběrných monitorovacích bodů. Podíl na chemickém složení vody mají i vody vypouštěné z čistírny odpadních vod Jedovnice, mezi odběrná místa je zařazena i výpust z ČOV.

Před propadáním byly odebírány vzorky z Jedovnického potoka nad ČOV a vlastní výpust. V jeskynním systému levostranný přítok Jedovnického potoka Típeček (zdroj pitné vody obce Rudice), pravostranný přítok Stará řeka a Žegrov (obr. 1). Srbským sílonem je odděleno Rudické propadání od Byčí skály, kde probíhaly odběry ve Velké síni a Pršavém komínu (skapová voda). Posledním odběrným místem je vývěr pod Byčí skálou v Josefovském údolí. Mezi odběrná místa byla zařazena lokalita Svážná studna, která je zdrojnicí Staré řeky.

Vzorkovací kampaň probíhala každý měsíc v základním rozsahu a čtvrtletně ve větším rozsahu (celkově 12 odběrných kampaní). Vzorky vody se odesílaly na úplný fyzikálně-chemický rozbor, volný CO₂, kovy (Fe, Mn), celkovou síru a stroncium do laboratoří Geotestu, a. s., a na izotopický rozbor (¹⁸O a ²H) do laboratoří ČGS. Vzorky vody z výpusti ČOV Jedovnice byly podrobeny mikrobiologické analýze.

Součástí pravidelného monitorovacího systému bylo vyhodnocení dat z limnigrafů ČHMÚ umístěných před ČOV Jedovnice a u vývěru Jedovnického potoka. Toto vyhodnocení je doplněno hydrometrováním průtoků na více místech Jedovnického potoka. Pro lepší pochopení hydrologie jeskynního systému je na léto 2024 plánována barvící zkouška v jeskyni Svážná studna.

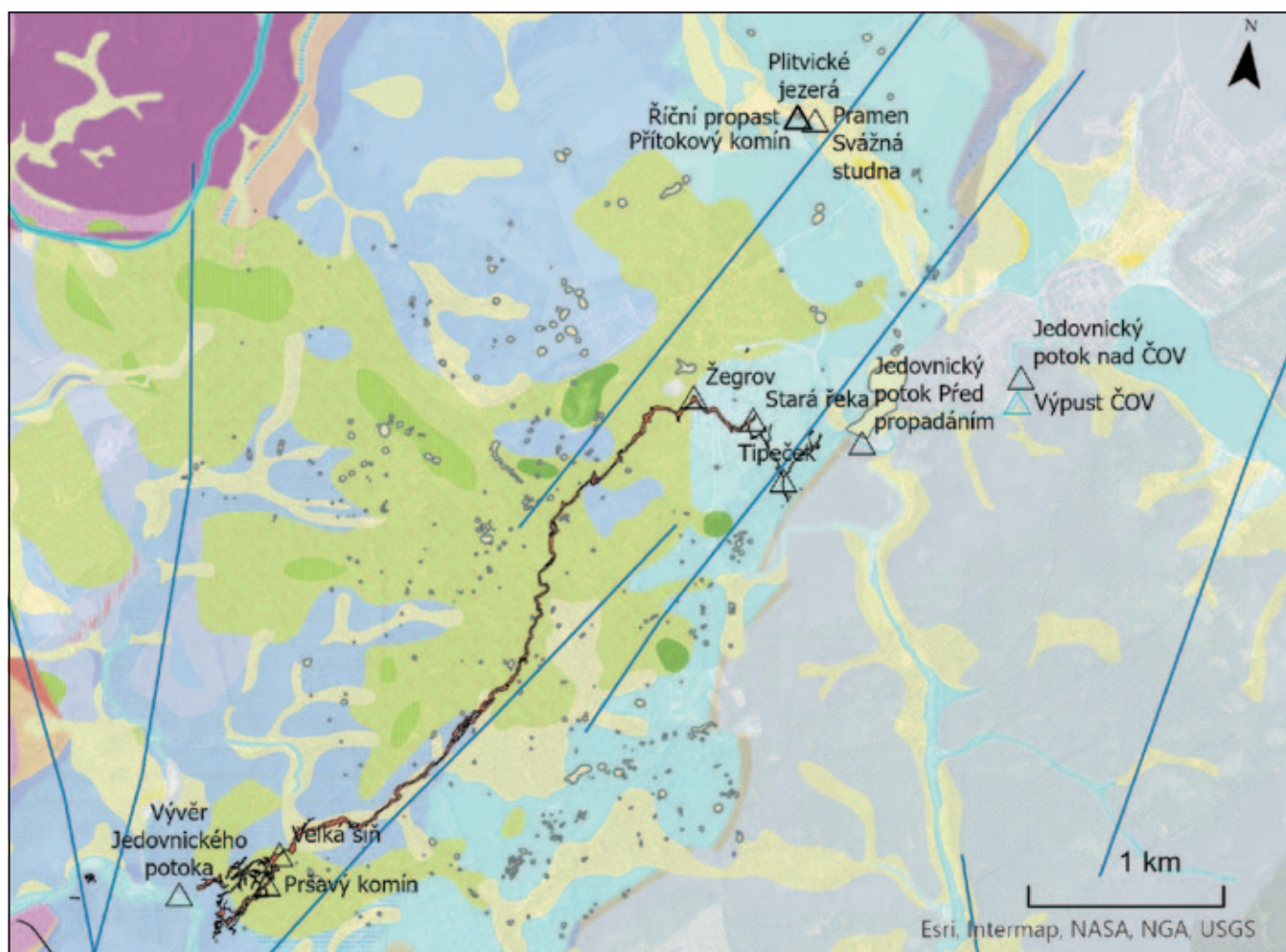
Řešení je součástí projektu TACR „Rock, Environment, Natural Resources“ (RENS, S502030023) v rámci programu Prostředí pro život.

Literatura

BALDÍK, V. – BALÁK, I. – BURIÁNEK, D. – DOSTALÍK, M. – FAIMON, J. – HADAC, R. – HORNOVÁ, H. – JANDERKOVÁ, J. – KNOZOVÁ, G. – KOTYZOVÁ, M. – KRUMLOVÁ, H. – KRYŠTOFOVÁ, E. – KÜRKOVÁ, I. – KYCL, P. – LEJŠKA, S. – MALÍK, J. – MÜLLER, P. – NEČAS, J. – NOVOTNÝ, J. – NOVOTNÝ, R. – ROHÁČ, J. – SEDLÁČEK, J. – TUMA, A. 2020. Aktuální negativní vlivy/procesy v CHKO Moravský kras. 202 s. MS MS Praha.

BALDÍK, V. – BURIÁNEK, D. – DOSTALÍK, M. – JANDERKOVÁ, J. – KRUMLOVÁ, H. – KRYŠTOFOVÁ, E. – MÜLLER, P. – NOVOTNÝ, R. – SEDLÁČEK, J. 2018. Vymezení pozice a zhodnocení rizikovosti struskové depozice v NPP Rudické propadání. Závěrečná zpráva, 54 s. MS Archiv ČGS.

BALDÍK, V. – FAKTOROVÁ, K. – JANDERKOVÁ, J. – KRUMLOVÁ, H. – KRYŠTOFOVÁ, E. – MÜLLER, P. – NEČAS, J. – NOVOTNÝ, R. – SEDLÁČEK, J. 2018. Zhodnocení rizik rybníčních usazenin v ponorných oblastech Moravského krasu. Závěrečná zpráva, 67 s. MS MS Praha.



Obr. 1. Základní geologické schéma odběrných míst v rámci jeskynního systému Rudické propadání – Býčí skála.

KVANTITATIVNÁ ZRANITELNOST KRASOVÝCH PRAMEŇOV V BREZOVSKÝCH KARPATOCH

Peter Malík

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava 11;
peter.malik@geology.sk

Počas letného obdobia roka 2022 prekonal územie Slovenskej republiky jednu z najsuchších bezsrážkových periód v histórii ich zaznamenávania. Dopyt po vodných zdrojoch a oprávnené obavy o ich udržateľné využívanie navodili úvahy o spôsobe hodnotenia kvantitatívnej trvanlivosti krasových prameňov, ktoré na Slovensku tvoria viac ako polovicu zdrojov zásobujúcich našu vodárenskú sieť. Nevyhnutnou podmienkou takéhoto hodnotenia sú pravidelné pozorovania výdatnosti prameňov, ktoré vykonávajú (alebo by mali vykonávať) správcovia vodárenských zdrojov, ako aj Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) v rámci svojej základnej monitorovacej siete. Keďže Štátny geologický ústav Dionýza Štúra v tomto čase ukončoval práce na zostavovaní hydrogeologickej mapy Brezovských Karpát, boli pre príkladovú štúdiu použité okrem údajov SHMÚ aj údaje Bratislavskej vodárskej spoločnosti, a. s., ktorá v oblasti Brezovských Karpát prevádzkuje väčšinu zdrojov a od roku 2005 na nich vykonáva prekvapivo detailné pozorovania. Teoretickým východiskom hodnotenia kvantitatívnej zraniteľnosti / odolnosti prameňov voči dlhotrvajúcemu suchu bolo zostavenie výtokových čiar prameňov z existujúcich časových radov výdatností a ich opis príslušnými rovnicami zohľadňujúcimi prítomnosť viacerých zložiek odtoku („subrežimov“). Techniky separácie poklesových úsekov hydrogramov, ako aj výber relevantných rovníc sa môžu líšiť – v našom prípade boli na opis laminárnych (pomalších) odtokových zložiek zvolené exponenciálne rovnice, na opis turbulentných (rýchlejších) zložiek odtoku súbory lineárnych rovníc. Celkovo bolo v Brezovských Karpatoch takto vyhodnotených 26 využívaných alebo len pozorovaných krasových prameňov. Reprezentatívne výtokové čiary zostavené zo súborov poklesových radov výdatností nutne nemusia a často ani nezohľadňujú absolútne maximum výdatnosti dokumentované v celom období pozorovania prameňa. Konečná forma rovníc opisujúcich proces vytekania podzemnej vody z prameňa (parametre počiatkových výdatností jednotlivých subrežimov) bola následne dopocítavaná iteráciou na maximál-

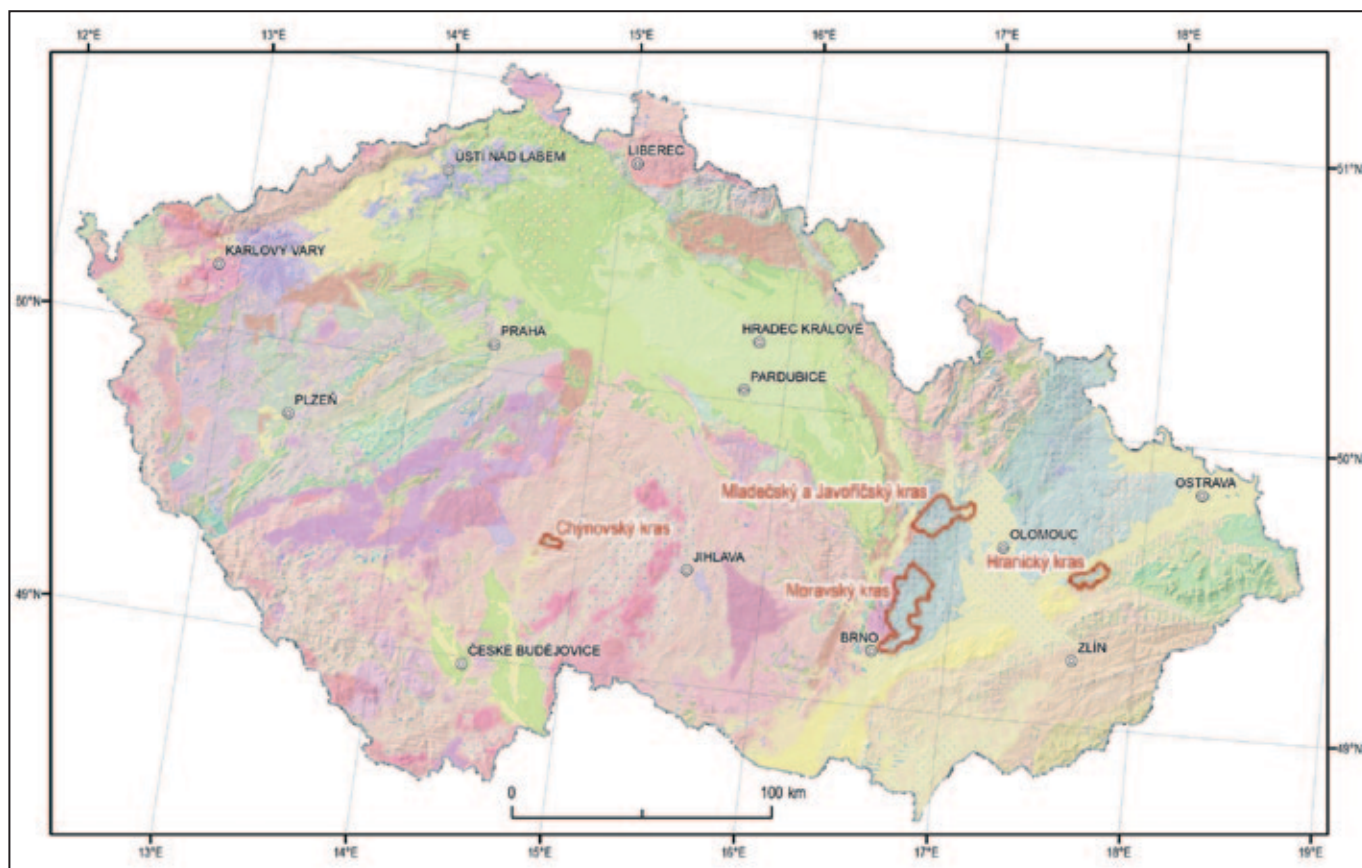
nu zistenú hodnotu výdatnosti, keďže pre exponenciálne rovnice nejstúje analytické riešenie. Po zostavení konečného súboru 26 rovníc výtokových čiar bol realizovaný výpočet teoretického poklesu výdatností prameňov z ich evidovaných maxim za predpokladu nulovej dotácie zvodne v ich infiltráčnych oblastiach (obdobie bez zrážok, resp. prinajmenšom bez efektívnych / neodparených zrážok), čiže pre obdobie trvalého mnohoročného sucha. Známe priemerné hodnoty výdatností pre celý súbor hodnotených prameňov boli (teoreticky) dosiahnuté po cca 1 rok trvajúcom poklese, hodnota 0,1 Q_{PRIEM} (10 % priemernej výdatnosti) bola pre celý súbor dosiahnutá po 7,3 roku od absolútneho maxima, resp. 6,3 roka od priemernej výdatnosti. Hodnotu 0,1 Q_{PRIEM} a obdobie 6 rokov bez dotácie považujeme za limitujúcu pre stav núdze / absolútneho ohrozenia nedostatkom zdrojov, hoci niektoré pramene dosiahli nulovú výdatnosť (resp. limit 0,01 l·s⁻¹ pre laminárne odtokové zložky) už jedným rokom, jeden z nich dokonca po 90 dňoch – čo je však jav typický pre krasové prostredie. Najdlhšie aktívnymi prameňmi sa ukázali byť tie dva, ktoré boli situované na najvýchodnejšom a najzápadnejšom cípe antiklinály Klenovej – pramene Mlyny v Prašníku – Fajnoroch, resp. pramene Hodoňova studňa pri Jablonici a Rásnik pri Osuskom, pri teoretickom 30-ročnom trvaní sucha však ostali (hoci minimálne) aktívne len pramene v Prašníku – Fajnoroch...

NOVÉ VYMEZENÍ DOTAČNÍCH ZÁZEMÍ VYBRANÝCH KRASOVÝCH STRUKTUR

Roman Novotný¹ – Eva Kryštofová¹ – Jitka Novotná¹
– Vít Baldík¹ – Jiří Rez¹ – Veronika Kršková¹

¹ Česká geologická služba, Jircháře 4a, 602 00 Brno;
roman.novotny@geology.cz

Krasová území České republiky téměř nikdy nepředstavují izolované hydrogeologické systémy. Nezanedbatelné množství podzemních vod krasových oblastí vzniká infiltrací srážek v okolních oblastech. Definování rozsahu dotačních zázemí, navržení konceptních modelů vybraných krasových struktur a specifikace rizikových faktorů patří mezi cíle projektu **Podzemní vody**



Obr. 1. Přehledná geologická mapa ČR s vymezením vybraných krasových oblastí.

v krasových oblastech (projekt TAČR „SS02030023 Horninové prostředí a suroviny“). Projekt řeší problematiku vybraných krasových oblastí ČR – Moravského, Hranického, Javoříčského a Mladěckého a Chýnovského krasu (obr. 1), které mají kromě ekosystémových funkcí také význam z hlediska zásobování vodou, případně se jedná o struktury minerální vody.

Vybraná území je možné klasifikovat jako krasové struktury průtočné (tranzitní), které jsou otevřené na přítoku i na odtoku. Může u nich docházet k dotaci z okolních hydrogeologických struktur i k přetokům, případně k hlubinnému odvodňování do sousedních nebo podložních hydrogeologických struktur. Krasové struktury tohoto typu mohou představovat významné tranzitní prostředí pro podzemní vody ze vzdálených dotačních zázemí do oblastí regionální drenáže.

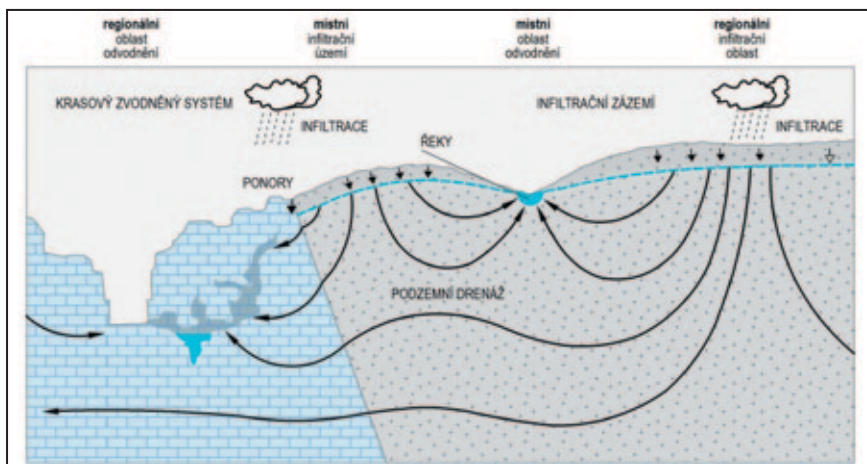
Pro řešené krasové struktury byly definovány dva základní typy dotačních zázemí – přímé a nepřímé. Vstupy podzemní vody z dotačních zázemí jsou kombinovány s infiltrací atmosférických srážek (autochtonní vody) a s přítoky ponorných toků (alochtonní vody).

Za přímé dotační zázemí jsou považovány horninové komplexy těsně sousedící s vlastním krasovým kolektorem. Srážková voda infiltrovaná na ploše přímého dotačního zázemí přestupuje přes geologickou hranici ve formě skrytých přítoků podzemní vody (obr. 2).

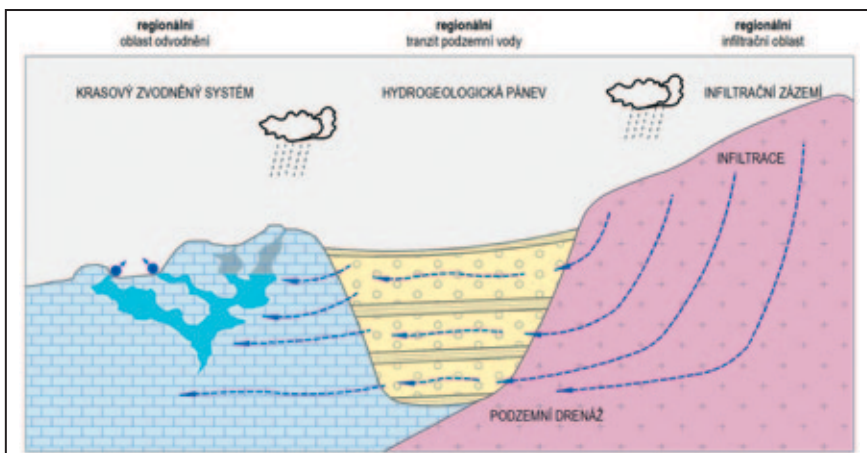
Za nepřímé dotační zázemí jsou považovány infiltrační oblasti dalších hydrogeologických struktur, nejčastěji hydrogeologických pánví, jejichž prostřednictvím dochází k dotaci vody do krasových zvodněných systémů (obr. 3).

V oblasti Moravského a Chýnovského krasu zůstává zachována koncepce přímých dotačních zázemí, která jsou vymezena hydrologickými rozvodnicemi ponorných toků.

Pro Javoříčský a Mladěcký kras je navržena koncepce nepřímého infiltračního zázemí v oblasti Jeseníků s drenáží do kolektorů hydrogeologické pánve Mohelnické brázdy. Na kontaktu s horninami paleozoika (vápenců a kulmu) v oblasti Třesínského prahu voda prostřednictvím krasových kolektorů vystupuje do drenážní oblasti.



Obr. 2. Ideový řez přímým dotačním zázemím krasové hydrogeologické struktury na příkladu Moravského krasu.



Obr. 3. Ideový řez nepřímým dotačním zázemím krasové hydrogeologické struktury.

V oblasti Hranického krasu je navrhovaná koncepcie nepriameho infiltračného zázemí v oblasti Oderských vrchů s drenáží do hydrogeologickej pánve Oderskej brány. Pred čelý karpatských príkrovů voda prešľupuje do krasových kolektorů paleozoických vápenců kry Maleniku a je drenovaná v údolí Bečvy.

VYLEPŠENÍ PŘÍSTROJE KAPKOMETR PRO KONTINUÁLNÍ MONITORING SKAPOVÉ VODY A MIKROKLIMATU V AMATÉRSKÉ JESKYNI

Zdeněk Roubal¹ – Zoltán Szabó¹ – Jan Pavlík¹ – Lukáš Zdražil¹
– Radim Kadlec¹ – Pavel Pracný² – Marek Lang² – Jiří Faimon²

¹ Ústav teoretické a experimentální elektrotechniky, Vysoké učení technické v Brně, Technická 3082/12, 616 00 Brno; roubal@vutbr.cz

² Ústav geologických věd, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita, Kotalářská 267/2, 611 37 Brno

Kontinuální měření vlastností skapových vod a mikroklimatu v jeskyni nabízí značné výhody oproti běžným trasovacím metodám, kde pobyt vědeckého pracovníka má vliv na jeskynní mikroklima a doba měření jednoho bodu je většinou kompromisem. V minulosti byl vyvinut speciální přístroj kapkometr sledující z mikroklimatických veličin jeskyně teplotu vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, atmosférický tlak a CO₂. U skapové vody se sleduje její pH, elektrická vodivost a vydatnost. Nádržka na spodní části aparatury umožňuje následnou analýzu skapové vody v laboratoři. Systém byl postaven na platformě Arduina a data se ukládala na SD kartu, přičemž bylo nutné při jejich vyčítání krabici rozebrat; to způsobovalo delší časovou náročnost při jednotlivých vstupech do jeskyně. Teplota se vyčítala zvlášť a přístroj měl i samostatnou baterii. Ze zkušeností získaných provozem se provedly následné úpravy. U nového typu je SD karta umístěna z boku přístroje ve vodotěsném krytu a je možné ji snadno vyjmout a vyměnit za prázdnou přímo v terénu. Dále se využila platforma ESP32 a je možné přístroj konfigurovat i vyčítat přes mobilní telefon. To značně zrychlilo vyčítání dat v jeskynním prostředí a vědeckým pracovníkům usnadnilo práci. Výměna silikagelu v meteorostanici je také provedena konstrukčně výhodnějším způsobem. Teplota se již nyní ukládá s ostatními veličinami společně. Pro porovnání se starším systémem byl nový kapkometr instalován v Amatérské jeskyni a logoval data na novém stanovišti, aby se ověřila jeho funkce. Je zachována mechanická kompatibilita vstupního trychtýře s předcházejícím typem a také je možné využívat stejné pH sondy. Při zpracování dat jsme se zaměřili na ustalování difúzních potenciálů pH sondy, aby se daly hodnoty pH správně korelovat s koncentrací jeskynního CO₂. Prováděla se pravidelná kalibrace pH sondy v jeskyni pomocí pufrů umístěných přímo na měřicím místě, aby byly ustáleny na stejnou teplotu. Monitoring ukázal na souvislost mezi elektrickou vodivostí skapu s koncentrací CO₂ v Dómu zemních pyramid. Získané výsledky za rok 2023 se převzorkovaly pro korelaci s meteorologickými veličinami na povrchu. Budou prezentovány výsledky a rozdílné chování jednotlivých skapů v Amatérské jeskyni v závislosti na jejich charakteru.

CHEMICKÁ DENUDÁCIA KRASU POVODIA DRIENOVECKEJ JASKYNE (JASOVSKÁ PLANINA, SLOVENSKÝ KRAS) ZISTENÁ POMOCOU HYDROCHEMICKÝCH METÓD

Imrich Sládek – Alena Gessert

Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach,
Přírodovědecká fakulta,
Ústav geografie, Oddelenie fyzickej geografie,
Jesenná 5, 040 01 Košice;
imrich.sladek@upjs.sk

Chemická denudácia je základným procesom vývoja krasového reliéfu. V rôznych geologických a klimatických podmienkach má rôznu intenzitu, pričom na intenzitu a dynamiku procesu v priebehu roka vplýva množstvo ďalších čiastkových faktorov. V krasových systémoch často existuje pozitívna korelácia medzi parciálnym tlakom CO₂ a chemickou denudáciou. Preto sme sa rozhodli použiť na určenie veľkosti chemickej denudácie taký vzťah, ktorý zohľadňuje aj parciálny tlak CO₂ (p_{CO_2}). Ako modelové územie sme si zvolili povodie vyvieracky Drienovecká jaskyňa, ktorá predstavuje typickú aktívnu fluviokrasovú vyvieracku a jej povodie je tvorené wettersteinskými a waxenec-

kými vápencami, ako aj drienoveckými zlepenkami (Mello et. al., 1996). Táto spádová oblasť sa nachádza na styku kontinentálnej a oceánskej klímy, s nadmorskou výškou na rozhraní nížinnej a horskej klímy (Atlas krajiny SR, 2002). Počas troch hydrologických rokov (2014, 2015 a 2016) sme merali hlavné parametre krasových vôd (pH, teplota, konduktivita, alkalita, obsah najdôležitejších prvkov – vápnika a horčíka), ktoré nám pomohli priniesť výsledky o chemickej denudácii v povodí. Na základe chemickej analýzy boli vypočítané indexy nasýtenia (SI) pre kalcit, dolomit a sadrovec, ako aj iónové aktivné produkty (IAP) pre uvedené minerály. Na výpočet SI, IAP a p_{CO_2} bol použitý program PHREEQC (Parkhurst a Appelo, 1999). Veľkosť chemickej denudácie sme sa rozhodli určiť na základe vzťahu medzi koncentráciou iónov Ca²⁺ a parciálnym tlakom CO₂, ktorý je odvodený z rovnice pre výpočet rovnovážnej konštanty rozpúšťacej reakcie kalcitu (Appelo a Postma, 2005 in Flaková, Ženišová, 2012):

$$m_{Ca^{2+}} = \sqrt[3]{\frac{10^{-6} \cdot p_{CO_2}}{4}}$$

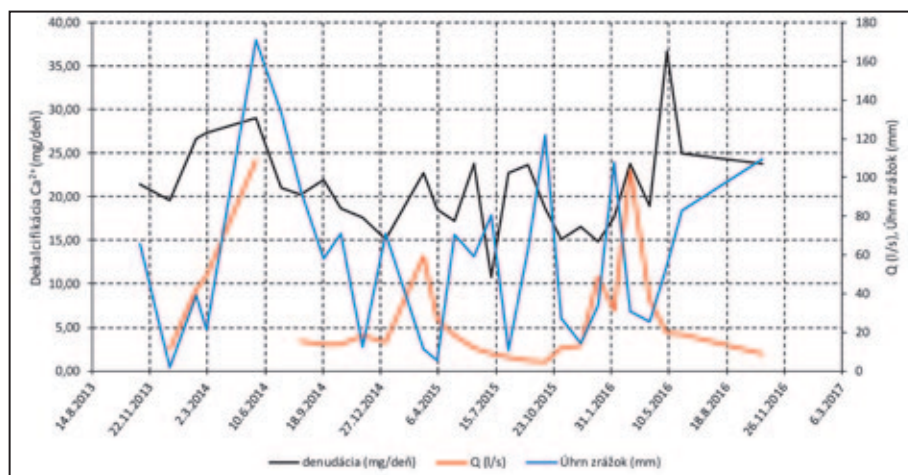
kde $m_{Ca^{2+}}$ je molárna koncentrácia iónov, p_{CO_2} je parciálny tlak CO₂.

Voda z prameňa je vápenato-horečnato-hydrogénuhličitanového typu. Hydrogeochemické analýzy, ktoré sme vykonali, naznačujú, že ide prevažne o vodu z otvorenej hydrogeologickej štruktúry. Voda jaskynného prameňa je presýtená kalcitom, čo dokumentuje index nasýtenia kalcitu, ktorého hodnoty sú vyššie ako súčin rozpustnosti kalcitu. Počas študovaného obdobia je dynamika rýchlosti chemickej denudácie jasne pozorovateľná s vrcholmi v jarých mesiacoch roku 2014 a 2016. Priemerná hodnota denudácie za celé obdobie je 21,06 mg Ca²⁺. Medzi faktory, ktoré ovplyvňujú chemickú denudáciu, patrí napríklad typ karbonátovej horniny, parciálny tlak CO₂, teplota vody a vzduchu, chemické zloženie vodného roztoku, aktivita pôdných organizmov, vegetácia a iné. Voda z roztopeného snehu sa môže významne podieľať aj na zmenách chemického zloženia vody a tým i na zmenách chemickej denudácie. Aj keď presný rozsah podzemného povodia zostáva neistý, vypočítané hodnoty denudácie môžeme stále považovať za reprezentatívne pre tento región a porovnateľné s podobnými hodnotami pozorovanými v iných oblastiach Európy.

Podakovanie. Príspevok bol vytvorený vďaka príspevku projektu VVGS-2023-2689.

Literatúra

- APPELO, C. A. J. – POSTMA, D. 2005. Geochemistry, groundwater and pollution. London (CRC Press). <http://dx.doi.org/10.1201/9781439833544>.
- FLAKOVÁ, R. – ŽENIŠOVÁ, Z. 2012. Učebné texty z hydrogeochémie. Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, 161 s.
- MELLO, J. (Ed.) – ELEČKO, M. – PRISTAŠ, J. – REICHWALDER, P. – SNOPO, L. – VASS, D. – VOZÁROVÁ, A. 1996. Geologická mapa Slovenského krasu 1 : 50 000. Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky – Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava.
- PARKHURST, D. L. – APPELO, C. A. J. 1999. User's Guide to PHREEQC (version 2) – a Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport, and Inverse Geochemical Calculations. US Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99-4259, 312 p.
- SLÁDEK, I. – GESSERT, A. – BRAUN, M. – HEIM, E. – CZEPELY, A. – PALCSU, L. 2023. Chemical denudation dynamic based on hydrochemical measurements in the area of Drienovecká jaskyňa Cave basin (Slovak Karst, Slovakia). Geographia Cassoviensis, 17, 2, 129–149.



Obr. 1. Chemická denudácia ako dekalifikácia (Ca²⁺) v hydrologických rokoch 2014, 2015 a 2016 vo vzťahu k zrážkam a prietoku (Q) vyvieracky Drienovecká jaskyňa.

SPELEOKLIMATOLOGIA

VÝZKUM MIKROKLIMATU JESKYNÍ MORAVSKÉHO KRASU

Filip Chalupka

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Kaplanova 1931/1,
148 00 Praha 11 – Chodov; filip.chalupka@nature.cz

Znalost mikroklimatických poměrů je nezbytná pro stanovení optimálních podmínek ochrany a vědecky podloženého managementu, např. pro stanovení postupů při posuzování aktivit (speleologický průzkum, zpřístupňování aj.) v jeskyních.

Měření mikroklimatu v jeskyních Moravského krasu probíhalo od září 2021 do července 2023. V rámci tohoto výzkumu byly měřeny základní mikroklimatické prvky, jako je teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr proudění vzduchu (obr. 1), teplota skalní stěny, koncentrace oxidu uhličitého a atmosférický tlak vzduchu.

Ze zpracování dat teploty vzduchu v jeskyních je možné vynést závěr, že dynamika teploty mikroklimatu jeskyní je velmi malá. Ve většině jeskyních se teplota v průběhu roku mění v rozsahu 1 až 1,5 °C. Kolísání teplot v jeskyních je individuální a je výrazně dané umístěním měřicího bodu (obr. 2). Vyšší dynamiku kolísání teplot nacházíme u bodů, které jsou blíže vchodů do jeskyně nebo v místě rozvětvení. Ve většině jeskyní se projevuje roční chod teplot, ale s velmi malou amplitudou, často jen do 1 °C a vždy s velkým zpožděním. Vzhledem k jednomu kalendářnímu roku měření nelze uvést jednoznačnou vazbu teploty v jeskyních na účelové meteorologické stanice na povrchu, respektive průběhu počasí (obr. 3).

Teplota skalního masivu byla v porovnání s teplotou vzduchu srovnatelná s rozdílem jedné až dvou desetín. U velkých prostor v blízkosti měřicího bodu byly naměřeny nižší teploty skalního masivu většinou o 0,2 °C směrem do odlehlejších částí jeskyně. Relativní vlhkost vzduchu vykazovala u převážné většiny měřicích bodů plné nasycení, tedy 100 %. Měření rychlosti a směru proudění vzduchu bylo prováděno sonickými anemometry. Vzhledem k umístění měřicích bodů jsou směry proudění vzduchu dány tvarem jeskynních prostor.

Získaná data budou v navazujícím období využita pro případný návrh dalšího monitoringu zaměřeného na vyhodnocení změn mikroklimatu v jeskyních. Tato měření budou dle těchto získaných výsledků upravena pro dosažení kvalitnějších dat s cílem vyšší účinnosti.



Obr. 1. Měření proudění vzduchu ve štolě v jeskyni Býčí skála.



Obr. 2. Měřicí bod v jeskyni Piková dáma.



Obr. 3. Meteorologická stanice u Kateřinské jeskyně v Suchém žlebu.

STRUČNÉ ZHODNOTENIE TEPLOTNÝCH POMEROV MALUŽINSKEJ A MODREJ JASKYNE A ICH VZÁJOMNÁ KOMPARÁCIA

Lucia Pristašová

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

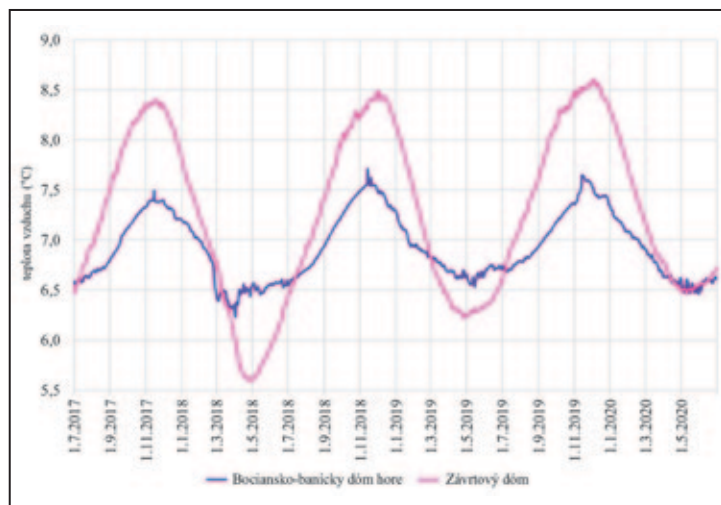
Malužinská jaskyňa sa nachádza v Bocianskej doline v ochrannom pásme Nízkych Tatier. Vchod do jaskyne leží v nadmorskej výške 781 m. Najnovšie poznatky (pozri Bella a kol., 2014) poukazujú na korozný pôvod jaskyne s výraznou freatickou modeláciou podzemných priestorov. Jaskyňa predstavuje pozostatok bývalej drenáže podzemných, pravdepodobne i mierne ohriatych vôd, ktoré vystupovali pozdĺž zlomov a z jaskyne vyvierali na povrch do doliny Bocianky.

S cieľom zachytiť celoročný chod teploty vzduchu sme 1. júla 2017 začali dlhodobé klimatické merania v jaskyni. Do jaskyne sme umiestnili 4 barologre na meranie teploty a tlaku vzduchu, s periodou merania 1 hodina. Prvé meracie stanovište pri Vstupe je v blízkosti vchodu do jaskyne, takže zaznamenalo aj najväčšie teplotné rozdiely, keďže z veľkej časti zachytáva vonkajšie klimatické podmienky danej oblasti. Ročná krivka priemernej dennej teploty vzduchu dosahuje maximá v auguste, a to 16,09 °C, a minimá v decembri 2,96 °C. Druhé meracie stanovište Vysoký dóm zaznamenalo veľmi stabilné hodnoty, od 6,66 do 7,42 °C. Tretím meracím stanovišťom je Kvapľová sieň s ročnými a zároveň aj dennými variáciami, ktoré sú výrazné najmä od októbra do apríla. V ostatných mesiacoch má pravidelne stúpajúci charakter. Posledné, štvrté stanovište je v Závrťovom dome, ktorý predstavuje koncovú časť jaskyne. Je tu tiež veľmi badateľný ročný chod teploty vzduchu, ktorého priamka má pozvoľný sinusoidný charakter, avšak s dvoj- až trojmesačným oneskorením v porovnaní s ostatnými stanovišťami.

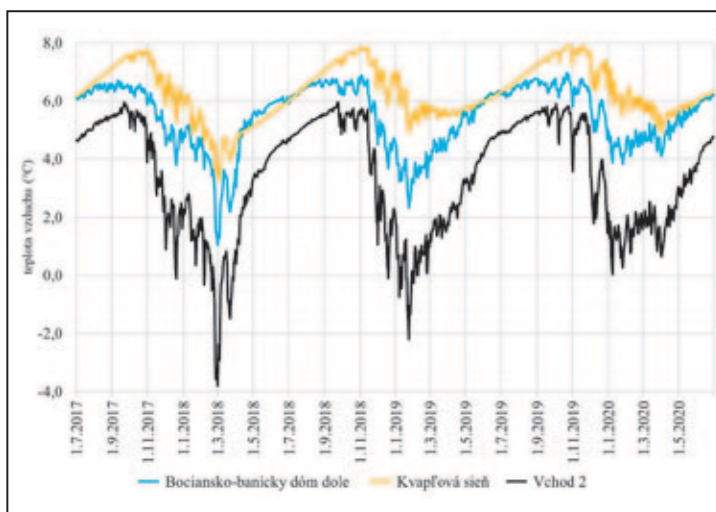
Modrá jaskyňa bola objavená relatívne nedávno, v roku 2016. Nachádza sa nad obcou Malužiná (k. ú. Nižná Boca), v blízkosti autobusovej zastávky Malužiná, rázcestie; cca 50 m nad cestou vedúcou do Nižnej Boce. Dĺžka jaskyne je 657 m. S vonkajším prostredím komunikuje prostredníctvom dvoch vchodov. Jaskyňa je špecifická modrozeleným zafarbením kvapľov, čo je spôsobené minerálmi azurit a malachit nachádzajúcich sa v nadloží jaskyne.

Teplotu a tlak vzduchu v jaskyni zaznamenávame na 5 meracích stanovištiach od júla 2017 a merania trvajú dodnes. Najteplejším stanovišťom je Vchod 1 (horný objavný otvor). Priemerné denné teploty vzduchu sa pohybujú v rozmedzí 6,85 – 14,29 °C. Naopak najchladnejším je Vchod 2 (spodný otvor) s -3,81 – 6,2 °C. Najstabilnejším miestom je Malužinský dómik, ktorý zaznamenal najnižšiu amplitúdu nameraných hodnôt, a to 0,91 °C (interval nameraných hodnôt 6,15 – 7,06 °C). Meracie stanovište Bociansko-banický dóm dole koreluje s hodnotami nameranými pri Vchode 2, ale dané stanovište je približne o 2,00 °C teplejšie. Posledným stanovišťom je Bociansko-banický dóm hore, s amplitúdou 1,53 °C.

Paralelné merania v oboch jaskyniach od júla 2017 do júna 2020 nám umožňujú urobiť vzájomné porovnanie a diskutovať o podobnostiach a rozdieloch oboch jaskýň. Veľmi vysokú koreláciu (až 0,95) dosahuje stanovište Závrťový dóm (Malužinská j.) so stanovišťom Bociansko-banický dóm hore (Modrá j.) (obr. 1). Zaujímavé sú zhodne posunuté maximá (cca o 2 až 3 mesiace) oproti ostatným stanovišťam v oboch jaskyniach. Dve stanovišťa v Modrej jaskyni (Bociansko-banický dóm dole a Vchod 2) dosahujú koreláciu 0,99. Pri porovnaní týchto dát so stanovišťom v Kvapľovej sieni (Malužinská jaskyňa) dosahuje korelácia hodnotu 0,77 a 0,76. Ak vylúčime mesiace od apríla do septembra, korelácia dosiahne hodnotu 0,92 pri oboch stanovištiach (obr. 2).



Obr. 1. Komparácia nameraných hodnôt na dvoch stanovištiach: Bociansko-banický dóm hore (Modrá j.) a Závrťový dóm (Malužinská j.).



Obr. 2. Komparácia nameraných hodnôt na troch stanovištiach: Bociansko-banický dóm dole (Modrá j.), Vchod 2 (Modrá j.) a Kvapľová sieň (Malužinská j.).

Literatúra

BELLA, P. – LITVA, J. – PRUNER, P. – GAÁL, Ľ. – BOSÁK, P. – HAVIAŘOVÁ, D. 2014. Malužinská jaskyňa v severovýchodnej časti Nízkych Tatier: freatická speleogenéza spôsobená vodami vystupujúcimi pozdĺž zlomovej zóny. Slovenský kras, 52, 2, 111–126.

BIOSPELEOLÓGIA

ODHALENIE GENETICKEJ ŠTRUKTÚRY DRUHU *ALLORHISCOSOMA SPHINX* (VERHOEFF, 1907) – MNOHONÔŽKY ŽIJÚCEJ V ZÁPADOKARPATSKÝCH JASKYNIACH NA SLOVENSKU

Mária Fedičová – Andrea Rendošová – Andrej Mock – Ľubomír Kováč

Katedra zoológie, Ústav biologických a ekologických vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Šrobárova 2, 041 54 Košice, Slovenská republika; maria.fedicova@student.upjs.sk

Mnohonôžky európskej čeľade Attemsidae sú zväčša troglófilné, menej troglóbiotné druhy obývajúce prevažne rozhranie medzi povrchom a podzemím (sutiny, jaskyne). V rámci tejto čeľade môže byť kryptická špeciácia očakávaným javom vzhľadom na ich izolovaný a často stenoendemický výskyt pozdĺž mikroklimatického povrchovo-subteránneho gradientu. Na Slovensku sa vyskytujú tri endemické taxóny patriace do čeľade Attemsidae, a to *Allorhiscosoma sphinx* (Verhoeff, 1907), *Mecogonopodium carpathicum* Mock a Tajovský, 2008 a jeden dosiaľ neopísaný druh. *A. sphinx* pravdepodobne predstavuje komplex izolovaných populácií (kryptických druhov) vzhľadom na jej pomerne rozsiahle rozšírenie na strednom Slovensku v porovnaní s ostatnými taxónmi, ktoré majú lokálny endemický areál rozšírenia. Za pomoci mitochondriálneho molekulárneho markera COI sme analyzovali genetickú diverzitu piatich populácií *A. sphinx* obývajúcich jaskyne v piatich geomorfologických celkoch, a to Nízke Tatry, Veľká Fatra, Slovenský raj, Revúcka vrchovina a Strážovské vrchy. Predbežné výsledky založené na 17 jedincoch ukázali, že vnútropopulačné genetické vzdialenosti boli v rozmedzí od 0,00 % do 0,43 %, kým genetické vzdialenosti medzi populáciami sa pohybovali od 0,16 % do 1,95 %. Celkovo sa vo fylogenetickom strome (metóda „Neighbor joining“) vyčlenili dva klastre, z ktorých jeden bol rozdelený na niekoľko subklastrov. Populácia z Revúckej vrchoviny vytvorila samostatný klastor, populácia z Veľkej Fatry bola rozdelená do dvoch subklastrov a ostatné populácie boli zoskupené do jedného subklastra. Najvyššia genetická diverzita sa zistila v populácii z Veľkej Fatry, v ktorej každý jedinec mal vlastný unikátny haplotyp. Keďže ostatné populácie mali jednotné haplotypy, môžeme predpokladať, že nedochádza k toku génov v dôsledku účinných geografických bariér spojených s fragmentáciou krasových celkov.

Štúdia bola podporená z grantov Agentúry na podporu výskumu a vývoja SR, projekt APVV-21-0379, Vedeckej grantovej agentúry SR, projekt VEGA 1/0438/22, a z Interného systému vedeckých projektov Prírodovedeckej fakulty Univerzity Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, vgs-2024-3104.

AN UNEXPECTED DIVERSITY OF PALPIGRADI AT THE NORTHERNMOST DISTRIBUTIONAL LIMIT IN EUROPE

Ľubomír Kováč¹ – Jan Mourek² – Martina Žurovcová³
– Vladimír Papáč⁴ – Andrej Mock¹ – Peter Luptáčik¹
– Natália Raschmanová¹ – Miloš Melega⁴ – Maja Zagmajster⁵
– Andrea Rendošová¹

¹ Department of Zoology, Institute of Biology and Ecology, Faculty of Science, P. J. Šafárik University, Šrobárova 2, 041 54 Košice, Slovakia; lubomir.kovac@upjs.sk

² Department of Biology Education, Faculty of Sciences, Charles University, Albertov 6, 128 00 Prague 2, Czech Republic

³ Biology Centre CAS, Institute of Entomology, Branišovská 1160/31, 370 05 České Budějovice, Czech Republic

⁴ Slovak Caves Administration, State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia

⁵ Department of Biology, Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Jamnikarjeva 101, Ljubljana 1000, Slovenia

The micro-whip scorpions or palpigrades (Palpigradi) are among the least known and mostly overlooked arachnid orders due to their tiny size. A large number of species inhabit caves in southern and central Europe. *Eukoeneria spelaea* represent a complex of species that differ in only a few morphological features or whose taxonomic status is completely unclear. In recent years, due to more intensive collecting activities, numerous populations have been sampled in Italy, Slovenia, Croatia, Slovakia and Hungary, allowing more thorough morphological and molecular observations of these taxa.

In this study, we focused on *Eukoeneria* cave populations from the Western Carpathians (Slovakia and Hungary) and Slovenia. Individuals were collected from 10 sites in seven orographic units in the Western Carpathians, a population from Slovenia served as a reference site for the taxonomic and phylogenetic comparison. Genomic DNA was non-destructively extracted from whole specimens and the mitochondrial fragment of the COI gene was amplified. Species delimitation was performed using the ASAP online platform, and Mega XI was used for standard distance analyses with the Tamura-3 parameter algorithm. A total of 48 successfully obtained sequences were clustered by a neighbour-joining tree into five groups corresponding to the species (MOTUs) delineated by ASAP.

The genetic distance within the karst units reached only up to 0.7 %, while it was up to 39 % between the individual units. The high genetic diversity indicated three separate lineages in the Western Carpathians with independent phylogenetic histories. The Mantel test revealed a weak correlation between genetic and geographic distance. Two of 15 haplotypes were dominant and involved four neighbouring orographic units, while the haplotypes of the other four orographic units were unique (Fig. 1). Despite the relatively high cryptic diversity, several morphological traits to distinguish between species (MOTUs) were revealed, previously outlined by the molecular background, and can be successfully used as diagnostic traits.

The phylogeny tree with divergence age estimates is placed in the context of the geological history of the Western Carpathians. This is the first study of the molecular phylogeny of Palpigradi carried out at the infrageneric level.

The study was supported from the Slovak Research and Development Agency, project APVV-21-0379, from the Slovak Scientific Grant Agency, project VEGA 1/0438/22.

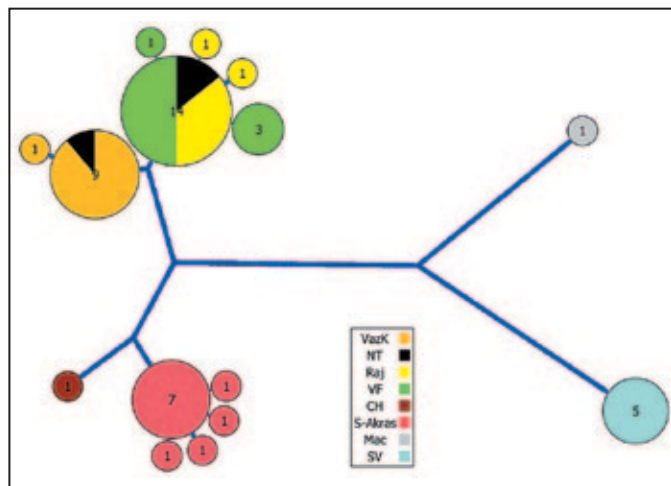


Fig. 1. Haplotype network of cave populations of the *Eukoeneria spelaea* complex in the Western Carpathians Mts.

DIVERZITA ROZTOČOV PANCIERNIKOV (ACARI, ORIBATIDA) POZDĹŽ ENVIRONMENTÁLNYCH GRADIENTOV VCHODOV DO JASKÝŇ

Peter Luptáčik

Katedra zoológie, Ústav biologických a ekologických vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Šrobárova 2, 041 54 Košice; peter.luptacik@upjs.sk

Na prechode z jaskýň do povrchového prostredia sa môžu vytvoriť prudké mikroklimatické gradienty v závislosti od topografie a morfológie vchodov do jaskýň. Na tieto gradienty nadväzujú rozdiely v pôdnom type a zložení vegetácie.

Cieľom tohto príspevku bolo odhaliť zmeny v zložení spoločenstiev roztočov panciernikov, ako modelovej skupiny pôdných živočíchov, na lokalitách pozdĺž línie od vchodov do jaskýň smerom k okolitým lešom.

Výskum sa uskutočnil v Slovenskom krase, najväčšom krasovom území na Slovensku, v období rokov 2005 – 2008. Modelové spoločenstvá sme skúmali vo vchodoch dvoch jaskýň, v jaskyni Silická ľadnica a Snežná diera. V jaskyni Snežná diera bolo vybraných 6 a v jaskyni Silická ľadnica 7 lokalít pozdĺž svahu s gradientom mikroklimy. Pôdne vzorky sa z lokalít odoberali niekoľkokrát počas obdobia výskumu. Roztoče boli zo vzoriek pôdy extrahované pomocou vysokogradientového extraktora Tullgrenovho typu.

Teplota pôdy mala rastúci trend pozdĺž mikroklimatického gradientu od vchodov jaskýň smerom k príľahlým lešom na oboch lokalitách, pričom v prípade pôdnej vlhkosti bol trend opačný.

Napriek tomu, že charakter skúmaných vchodov do jaskýň bol mierne odlišný (dĺžka svahu, sklon a orientácia, štruktúra vegetácie), zistili sme podobné výsledky v zložení spoločenstiev panciernikov a ich početnosti. Početnosť panciernikov, druhové bohatstvo a Shannonove indexy diverzity sa zvyšovali od chladnejších smerom k teplejším lokalitám gradientu. Spoločenstvá na lokalitách pri vchodoch do jaskýň pozostávali nielen z tolerantných lesných druhov, ale obsahovali aj špecifické horské druhy, ktoré sa na teplejších lesných lokalitách nevyskytovali. Zároveň sme zistili, že lokality sa výrazne líšili v zložení dominantných druhov, čím sa odhalila silná segregácia spoločenstiev pozdĺž gradientu.

Naše výsledky naznačujú, že v relatívne teplej krasovej krajine môžu vchody do jaskýň slúžiť ako útočiská pre druhy adaptované na chlad. Široká škála mikrohabitatov pozdĺž mikroklimatických gradientov medzi vchodmi jaskýň a okolitou krajinou ponúka vhodné podmienky pre vysoko diverzifikované spoločenstvá panciernikov, čím sa zvyšuje lokálna biodiverzita. Ochrana a zachovanie týchto mikrohabitatov by sa preto mali stať prioritou.

Štúdia bola podporená z prostriedkov Agentúry na podporu výskumu a vývoja SR, projekt APVV-21-0379, a z prostriedkov Vedeckej grantovej agentúry SR, projekt VEGA 1/0438/22.

SUBTERÁNNÁ FAUNA GALMUSU (VOLOVSKÉ VRCHY) S DÔRAZOM NA VÝSKUM V PLANINE SLOVINSKÁ SKALA – PREDBEŽNÉ VÝSLEDKY

Miloš Melega¹ – Tomáš Jászay² – Anna Šestáková³
– Tomáš Čejka⁴ – Juraj Litavský⁵ – Ján Lakota⁶ – Andrej Mock⁷

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

² Šarišské múzeum v Bardejove, Radničné námestie 13, 085 01 Bardejov

³ Západoslovenské múzeum, Múzejné námestie 3, 918 09 Trnava

⁴ Centrum biológie rastlín a biodiverzity SAV, v. i. i., Dúbravská cesta 9, 845 23 Bratislava

⁵ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra environmentálnej ekológie a manažmentu krajiny, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava

⁶ Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 121/4, 031 01 Liptovský Mikuláš

⁷ Katedra zoológie, Ústav biologických a ekologických vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Šrobárova 2, 041 54 Košice

Pohorie Galmus dlho patrilo medzi málo preskúmané izolované fragmenty planinového krasu Slovenska. Nedávne výskumy subteránnej fauny sa zamerali na jaskynné lokality v planine Galmus, ktorá je od planiny Slovinská skala na juhu oddelená Poráčskou dolinou. Zistené jaskynné druhy (pozri napr. Košel, 2009; Melega et al., 2022) sa najviac podobajú faune blízkych krasových planín ako Slovenský raj a Čierna hora, a to najmä prítomnosťou jaskynných foriem s väzbou na centrálnu oblasť Západných Karpát a Slovensko-aggtelecký kras. Nájdene tu boli aj zaujímavé, nateraz neopísané, pravdepodobne pre vedu nové taxóny: rovníkonôžka *Trichoniscus* sp. (Isopoda: Oniscidea), šúrnik *Neobisium* sp. (Pseudoscorpiones) a panciernik z rodu *Epidamaeus* (Acari:

Oribatida). Keďže výskyt jaskynnej fauny planiny Galmus má mozaikovitý charakter, ďalší výskum podzemných lokalít zameraný na dosiaľ vôbec neskúmanú planinu Slovinská skala sa javí byť perspektívny z pohľadu nálezov ďalších podzemných foriem bezstavovcov. Tie môžu napomôcť objasniť formovanie a osobitosti tunajšej jaskynnej fauny.

Výskum subteránnej fauny v planine Slovinská skala sme začali v roku 2021 v krátkych jaskyniach: Puklina v Skale, Matejovíe díera, Torzo a ďalšie tri lokality, ktoré sú zatiaľ bez názvu. Ďalšie tri jaskyne, Červené skaly 2, Červené skaly 3 a Jaskyňa pod vyhládkou, sú lokalizované v príslušnom svahu masívu planiny Galmus. Zo žiadnej z predmetných lokalít dosiaľ nie sú žiadne zoológické údaje. Skúmané jaskyne sú relatívne krátke, v dĺžke do 16 m, s rozličnou svetovou orientáciou vchodu. Od leta do zimy sme tu exponovali zemné pasce a návnady. Individuálny zber bol zameraný na terestrickú faunu (vodné prostredie v sledovaných jaskyniach chýba).

Dosiaľ sme zistili 56 druhov bezstavovcov. Najvyššiu diverzitu (34 spp.) tvoria chrobáky (Coleoptera). Hojne sa tu vyskytujú povrchové suchozemské rovnakoňky (Isopoda: Oniscidea) a chvostoskoky (Collembola). Prvotné výsledky nám neukázali prítomnosť pravých jaskynných foriem v planine Slovinská skala. K nájdeným troglofilným reliktom a endemitom patria chrobáky *Duvalius hungaricus slovacus*, *Duvalius bokori valianus* a *Bryaxis frivaldszkyi slovenicus*. Ďalší chladnomilný chrobák *Choleva spadicea spadicea* by mohol indikovať zachované prírodné prostredie (Růžička & Vávra, 1993). Západokarpatským endemitom je ulitník *Cochlodina cerata*. Hlbšie do jaskýň preniká bliktra *Oxychilus glaber*. K tunajším trvalejším obyvateľom stien a stropov jaskýň patria aj pavúky (Araneae), z nich najmä *Meta menardi* a *Metelina merianae* či menší druh *Cicurina cicur*. Z koscov (Opiliones) sme tu zaznamenali štyri druhy, z ktorých najvyššiu početnosť dosahoval *Nemastoma lugubre*.

Predbežné výsledky sú postupne dopĺňané ďalším determinovaným materiálom. Význam štúdie spočíva v doplnení poznatkov o pestrosti a rozšírení subteránnej fauny planinového krasu (silického príkrovu), ktorá je v rámci Západných Karpát, ale aj strednej Európy jedinečným fenoménom.

Literatúra

- KOŠEL, V. 2009. Subteránna fauna Západných Karpát. Ústav pôdnej biológie, Biologické centrum Akadémie vied Českej republiky, České Budějovice, 203 p.
- MELEGA, M. – PARIMUCHOVÁ, A. – ĽUPTÁČIK, P. – JÁSZAY, T. – KOŠEL, V. – ČECH, V. – ŠESTÁKOVÁ, A. – MOCK, A. 2022. Fauna bezstavovcov jaskýň planiny Galmus (Volovské vrchy). *Slovenský kras*, 60, 1, 63–99.
- RŮŽIČKA, J. – VÁVRA, J. 1993. Rozšíření a ekologie brouků rodu *Choleva* (Coleoptera: Leiodidae: Cholevinae) na území Čech, Moravy a Slovenska. [The distribution and ecology of the genus *Choleva* (Coleoptera: Leiodidae: Cholevinae) throughout Bohemia, Moravia and Slovakia]. *Klapalekiana*, 29, 103–130.

IS THE CAVE “MICROFLORA” GIVEN SUFFICIENT ATTENTION, INCLUDING ITS PROTECTION?

Alena Nováková

Krčínova 6, 370 11 České Budějovice; ANmicrofungi@seznam.cz

Cave “microflora” (archaea, bacteria including cyanobacteria and actinobacteria, algae and microscopic fungi) is an integral part of cave biota. It is almost invisible in caves, but individual groups of these microorganisms play an important role in the cave environment – they are food for cave animals, their activity contributes to the creation of suitable living conditions by creating extrolites and e.g. adjusting the pH of the environment, but heterotrophic bacteria and micromycetes also decompose organic matter of microbial, animal and plant origin, are part of the nutrient cycle. In the cave environment, there is a whole range of microorganisms that produce extrolites. These are usable in pharmacy and industry, and also perhaps usable in various biotechnologies. A number of newly described species were already obtained from cave environments in the recent past. Nevertheless, the cave microflora is not a protected cave commodity, and its protection has not yet been addressed much, with the exception of mass contamination of caves, such as the massive growth of microscopic fungi in the caves of Lascaux (France) and Castañar de Ibor (Spain). Only some caves enforce strict rules for entry into the caves in clean clothes and shoes, unfortunately the main reason is not to protect the cave “microflora”, but to decorate the caves.

PANCIERNIKY (ORIBATIDA, ACARI) VCHODU SILICKEJ ĽADNICE

Veronika Petrovová – Peter Ľuptáčik – Ľubomír Kováč

Katedra zoológie, Ústav biologických a ekologických vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Šrobárova 2, 041 54 Košice; veronika.petrovova@student.upjs.sk

Slovenský kras predstavuje suchú a teplú krajinu s typickými povrchovými útvarmi, akými sú doliny, závrty či rokliny. Jeho unikátnosť však spočíva v bo-

hatých podzemných priestoroch so špecifickými klimatickými podmienkami, ktoré prispievajú k zvyšovaniu diverzity miestnej fauny. Jaskyňa Silická ľadnica predstavuje miesto, kde sa prejavuje fenomén biologickej inverzie. Vďaka čiastočnému zaľadeniu vytvára vhodné podmienky na život chladnomilných druhov typických pre vyššie nadmorské výšky. Výskum bol realizovaný v rokoch 2005, 2006 a 2007. Na vybraných stanovištiach sa pozdĺž 129 m dlhšej línie smerujúcej od dolnej časti vchodu jaskyne až po hrabový les pred jaskyňou odoberalo vždy 5 pôdných vzoriek. Celkovo sa z materiálu získalo 3962 juvenilov a 9610 dospelých panciernikov, ktoré boli determinované do 142 druhov. Toto číslo reprezentuje 26 % doteraz známych druhov na Slovensku, pričom 5 druhov je pre našu krajinu potenciálne nových, a to konkrétne: *Amerus polonicus*, *Cepheus grandis*, *Mycobates bicornis*, *Neotrichoppia confinis* a *Ophidiotrichus tectus*. Okrem iného bol na tomto území zaznamenaný karpatský endemit *Oribatella dudichi*, ktorý predstavuje typický vysokohorský druh, a eutroglofil *Pantelozetes cavatica* obývajúci jaskyne západných Karpát. Ostatné druhy si vyžadujú ďalšie podrobnejšie štúdium, pretože ekológia mnohých panciernikov je stále nejasná. Naše zistenia však môžu byť dôkazom, že environmentálne gradienty podporujú vysokú alfa diverzitu a tvoria kľúčové habitaty pre zriedkavé a vzácne druhy.

INTEGRATIVE TAXONOMY AND GENETIC DIVERGENCE OF *ELAPHOIDELLA* SPECIES IN EPIKARST OF THE DEMĀNOVÁ VALLEY

Michal Rendoš¹ – Dana Klímová Hřívová² – Andrea Desiderato³ – Maciej Karpowicz⁴ – Dagmar Haviarová⁵ – Michał Grabowski³

¹ Department of Ecology, Faculty of Humanities and Natural Sciences, University of Prešov, 17. novembra 1, 080 01 Prešov, Slovakia; michal.rendos@unipo.sk

² Department of Botany and Zoology, Faculty of Science, Masaryk University, Kotlářská 2, 611 37 Brno, Czech Republic; danaklimova@gmail.com

³ Department of Invertebrate Zoology and Hydrobiology, Faculty of Biology and Environmental Protection, University of Lodz, Stefana Banacha 12/16, 90-237 Łódź, Poland; andrea.desiderato@biol.uni.lodz.pl, michal.grabowski@biol.uni.lodz.pl

⁴ Department of Hydrobiology, Faculty of Biology, University of Białystok, Ciołkowskiego 1J, 15-245 Białystok, Poland; m.karpowicz@uwb.edu.pl

⁵ State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia; dagmar.haviarova@ssj.sk

Over the past years, we have conducted extensive morphological and genetic analyses of invertebrates from epikarst, collected in 2019–2020 into 27 water-filtering devices installed in four caves of the Demänová Valley: Benikova Cave, Okno Cave, Demänovská jaskyňa slobody Cave, and Demänovská jaskyňa mieru Cave. We examined more than 780 individuals, most of which (68.4 %) belonged to harpacticoid copepods (Crustacea, Maxillopoda) with a high predominance of the genus *Elaphoidella* (98.7 %). Harpacticoid copepods, like other crustaceans, often exhibit morphological traits with little visible differentiation, complicating species description. However, accurate species description is vital for conserving biodiversity in fragile subterranean ecosystems. Integrative taxonomy, combining genetic, distributional, and morphological data, is particularly effective for clarifying the systematics of such morphologically indistinct groups. In this study, we utilized an integrative approach, incorporating genetic analysis of the nuclear 28S rRNA gene and mitochondrial COI gene, alongside distributional and morphological data, to assess the systematics and taxonomy of new *Elaphoidella* species. Three molecular species delimitation approaches (BIN, ASAP, and bPTP) identified two distinct MOTUs (rough equivalents of species), corresponding to *Elaphoidella phreatica* and a new species, *Elaphoidella* sp. nov. Phylogenetic analysis using Maximum Likelihood (ML) revealed two well-supported clades (bootstrap >95 %) for *E. phreatica* and *Elaphoidella* sp. nov., with a mean K2P distance of 10.9 %, far exceeding the species threshold expected for copepods. We found a significant correlation between genetic distance and the vertical distribution (span between the surface and cave ceiling), indicating that the new *Elaphoidella* species is predominantly found in the deeper sections of the epikarst and vadose zone. Despite clear genetic differentiation, morphological analysis showed only subtle differences between *E. phreatica* and *Elaphoidella* sp. nov., particularly in pereopod armature. The morphological similarities suggest that *Elaphoidella* sp. nov. is closely related to *E. phreatica*, a species known from other Alpine-Carpathian regions. Notably, the new *Elaphoidella* species is most likely endemic to the Demänová epikarst, as it has not been found in other localities within the Carpathians. Our study underscores the importance of integrative approach in uncovering cryptic biodiversity and understanding evolutionary processes in subterranean ecosystems. Finally, we highlight the need for continued conservation efforts and comprehensive taxonomic studies to preserve the unique biodiversity of subterranean environments.

NEOČAKÁVANÁ GENETICKÁ DIVERZITA JASKYNNÝCH PANCIERNIKOV (ACARI, ORIBATIDA) ZO STREDNEJ EURÓPY

Andrea Rendošová¹ – Peter Luptáčik¹ – Martina Žurovcová²
– Veronika Petrovová¹ – Lubomír Kováč¹

¹ Katedra zoológie, Ústav biologických a ekologických vied, Prírodovedecká fakulta, Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Šrobárova 2, 041 54 Košice; andrea.rendosova@upjs.sk

² Biologické centrum AV ČR, v. v. i., Entomologický ústav, Branišovská 1160/31, 370 05 České Budějovice

Kunstidamaeus lengersdorfi je jedným z najrozšírenejších oribatidných roztočov, ktoré sa vyskytujú v krasových aj nekrasových jaskyniach v strednej Európe. Na rozdiel od ostatných druhov Oribatida, ktoré sú obmedzené na vstupné zóny, sa *K. lengersdorfi* pravidelne vyskytuje aj v afortických častiach.

Do morfolologickej a molekulárnej analýzy na základe fragmentu mitochondriálneho génu COI bolo zahrnutých 12 lokalít zo šiestich krasových jednotiek strednej Európy nachádzajúcich sa na Slovensku, v Českej republike, Nemecku a Maďarsku (Slovenský kras, Slovenský raj, Malé Karpaty, Moravský kras, pohorie Harz, pohorie Bükki). Analýza vzdialeností bola vykonaná v programe Mega X, na vymedzenie druhov bola použitá online platforma ASAP s K2P vzdialenosťou a algoritmom Neighbor-joining.

Zo 140 sekvencií bolo identifikovaných pätnásť potenciálnych druhov zodpovedajúcich lokalitám. Genetická vzdialenosť medzi krasovými jednotkami sa pohybuje až do 28 %, kým medzi *K. lengersdorfi* a iným druhom rovnakého rodu je to 18 až 23 %. Vzdialenosť v rámci krasových jednotiek bola veľmi malá a dosahovala maximálne 4,9 %. Významná, ale slabá korelácia medzi genetickou a geografickou vzdialenosťou bola potvrdená Mantelovým testom. Okrem toho absencia zdieľaných haplotypov poukazuje na dlhodobú izoláciu a nezávislý vývoj vybraných populácií.

Z morfológického hľadiska sa populácia z Moravského krasu vyznačuje výraznejšími rozdielmi v diagnostických znkoch (senzily a apofýzy), kým ostatné populácie, aj geneticky vzdialené, sa zdajú byť uniformné. Precízne morfológické a morfometrické štúdium by mohlo takúto neočakávanú diverzitu vysvetliť existenciou kryptických druhov alebo druhového komplexu.

Výskum bol financovaný z projektu APVV-21-0379 a VEGA 1/0438/22.

Demänovské Caves also serve as the most important source of drinking water for the Liptov region, are the habitat of many subterranean endemic species and glacial relics, and several completely new species of invertebrates have been discovered here.

The current development and utilization of the Demänovská Valley require significant correction. The ultimate goal is to improve the state of the area and adjust human activities so that its use is sustainable in the long term and in accordance with the requirements of nature conservation and public interest, based on the precautionary principle towards all unknown phenomena and substances of anthropogenic origin. However, besides the willingness of stakeholders, there is a lack of sufficient solid expert arguments, raising the question of how to arrive at them.

HISTÓRIA

THE HISTORY OF CAVE RESEARCH AND GEOTOURISM IN SLOVENIA

Łukasz Lewkowicz

Institute of Political Sciences and Administration, Maria Curie-Skłodowska University, Głęboka 45, 20-612 Lublin, Poland;
lukasz.lewkowicz@poczta.umcs.lublin.pl

Slovenia is a country of classical Karst. Here the idea and concept of karst developed, and Slovene karst played an essential role in the development of speleology and karstology in the world. About 44 % (8,700 km²) of Slovenia's surface consists of carbonate rocks. Karst geomorphology and over 13,000 known caves represent a significant proportion of its landscape. Word "karst" (kras) entered to international scientific terminology from Slovenia – "kras" in Slovenian language means rocky and bare landscape, and it is often used as a toponym for such a landscape. It also means the Karst Plateau (Kras Plateau) in south-western Slovenia which extends between the Trieste Gulf and Vipava Valley. Plateau represents the north-western part of Dinaric karst. Karst phenomena located in the actual Slovene territory are already mentioned in antique literature, the first modern printing notes date to the middle of the 16th century, Slovene karst and the karst of Notranjska played an essential part in the development of karstology and speleology where the precur-

OCHRANA KRASU A JASKÝŇ

THE RAMSAR SITE OF THE DEMÄNOVSKÉ CAVES IS UNDER THREAT: SITUATION AND SOLUTIONS

Pavel Herich^{1,2,3}

¹ State Nature Conservancy of the Slovak Republic, Slovak Caves Administration, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš, Slovakia; pavel.herich@ssj.sk

² Demänovská Dolina Caving Club, Slovak Speleological Society, Liptovský Mikuláš, Slovakia

³ Department of Biology and Environmental Studies, Matej Bel University, Národná ulica 12, 974 01 Banská Bystrica, Slovakia

The largest cave system in Slovakia and the Demänovská Valley itself, legislatively recognized as one of the most valuable areas, have long been facing escalating pressure from human activities. Especially in recent years, this has been manifested by unprecedented devastation of the area, and many of its natural components and systems are endangered (if not irreversibly damaged).

Among the most significant human impacts on the multi-level cave system of allochthonous karst of monoclinical ridges, often mentioned in world literature, are urbanization, high traffic load cutting through even the most protected area, waste (especially persistent sewage malfunctions), and deforestation of the water catchment area (see Fig. 1). Meanwhile, the

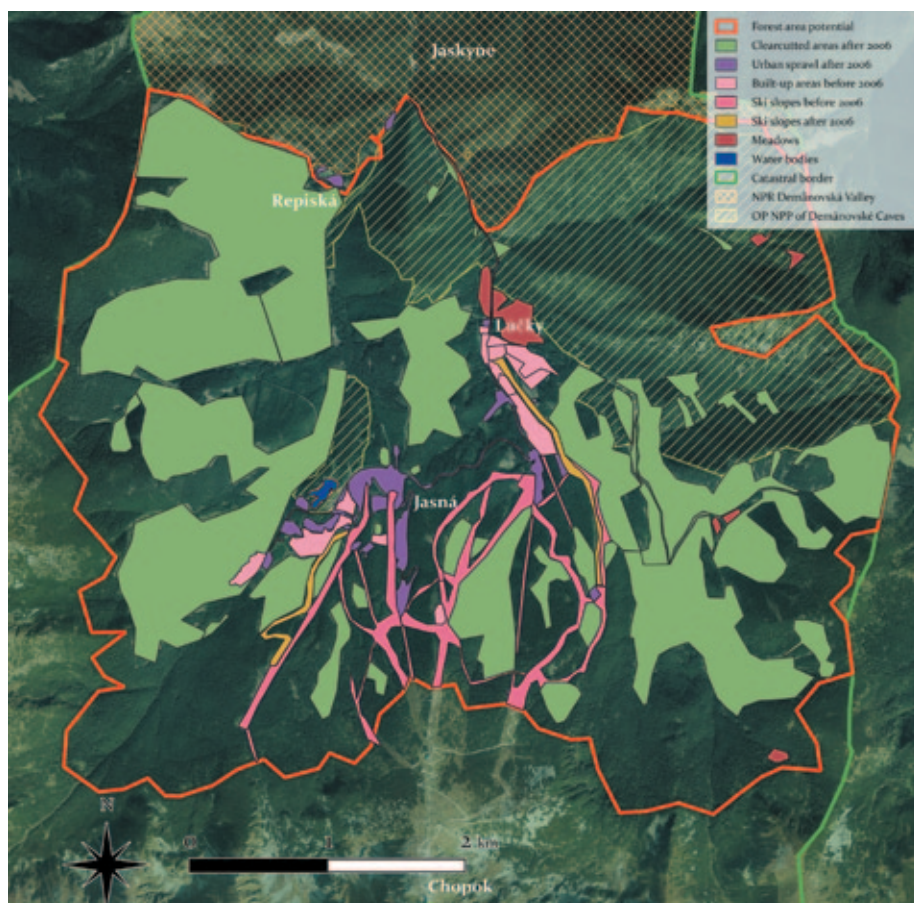


Fig. 1. Changes in land cover of upper part of Demänovská Valley. From orthophoto map of GKÚ, NLC 2022 compiled by P. Herich.



Fig. 1. Postcard depicting Postojna Cave (Adelsberger Grotte), 1893. Source: author's private collection.

sors of the modern karstology, such as Johann Weichard Valvasor, Josef Anton Nagel, Gabriel and Tobias Gruber, Adolf Schmidl and Jovan Cvijić were active. Modern cave tourism is also born in the classical Karst area. Already in 1633, fees for visits to the Vilenica Cave are documented – it is considered the first tourist cave in the world. Since the 19th century, the Postojna Cave (Adelsberger Grotte) and the Škocjan (St. Canzian) Caves (today under the protection of UNESCO) have been opened for mass tourism. Already in the middle of the 19th century also caving and speleological activities were well developed in Slovenia by Austrians. In 1879 Franz Kraus founded in Vienna the first speleological organization in the world – “Verein für Höhlenkunde”. Soon afterwards he wanted to set up a branch of “Verein” at Postojna. In Postojna was in 1889 the amateur speleological club “Anthon” founded – it was the first purely Slavic organization of this type in the world. The “Anthon” members discovered an important part of the Postojna cave system, explored caves near

by and helped the best-known speleologists of that time such as Franz Kraus, Édouard Alfred Martel, Ivan Andrej Perko. In 1910 the first Slovenian professional speleological club “Društvo za raziskovanje podzemskih jam” was founded in Ljubljana. At the same time was planned the foundation of Speleological Institute at Postojna and they expected that it would be open 1913. The First World War prevented all the plans, and after the effects of the war, Postojna becoming an Italian town and the Postojna cave was not opened for the public till 1922. By that time Perko, as director of Postojna cave, already proposed the creation of an Italian speleological Institute which was established in 1929 as the Instituto Italiano di Speleologia. In 1947, the Karst Research Institute within the Slovene Academy of Sciences and Arts continued the research. Since 1993 Institute has been organising a regular annual conference with the name International Karstological School “Classical Karst” at which from 50 to 200 participants gather each year. The aim of the paper is to analyze the development of speleological research and cave tourism in the classical Karst area in Slovenia from the 16th century to the present. The most important researchers of this region and speleological organizations will also be analyzed.

References

- HAJNA, N. Z. 2019. From tradition towards the future – speleology and karstology in Slovenia. In Zampaulo, R. A. (Ed.): Congresso Brasileiro de Espeleologia, 35, 315–321.
- KRANJC, A. 1997. The history of the Karst exploration. In Kranjc, A. (Ed.): Slovene Classical Karst – “Kras”, Ljubljana, 15–17.
- SHAW, T. R. 2008. Foreign travellers in the Slovene karst 1486–1900. Ljubljana.
- SHAW, T. R. 1979. The scientific investigation of limestone caves, to 1900: history of cave science. Crymch.
- ZORN, M. – ERHARTIČ, B. – KOMAC, B. 2012. The Beginnings of Karst Geotourism – Karst Geotourism in Slovenia. In Giusti, C. (Ed.): Geomorphosites 2009: raising the profile of geomorphological heritage through iconography, inventory and promotion, Paris, 348–355.

SPELEOLOGICKÁ DOKUMENTÁCIA

POROVNANIE BEZKONTAKTNÝCH MERACÍCH TECHNOLÓGIÍ NA ĽADOVÝCH VÝPLNIACH DOBŠINSKEJ ĽADOVEJ JASKYNE

Laura Dušeková^{1,2} – Katarína Pukanská² – Karol Bartoš²
– Lubomír Kseňák² – Pavel Herich^{3,4}

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

² Technická univerzita v Košiciach, Fakulta baníctva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Inštitút geodézie, kartografie a GIS, Park Komenského 19, 04 001 Košice

³ Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 03 101 Liptovský Mikuláš; pavel.herich@ssj.sk

⁴ Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4



Fig. 2. Vilenica Cave – the oldest tourist cave in the world, 2024. Source: author's private collection.

V poslednom desaťročí sa čoraz častejšie využívajú moderné bezkontaktné meracie technológie, ako laserové skenovanie či fotogrametria, aj v jaskynnom prostredí. Do výskumu jaskýň priniesli možnosti, s ktorými môžeme jednoducho mapovať, merať či vizualizovať jaskyňu a výsledky sú neporovnateľné s klasickým prieskumom a mapovaním jaskýň. Štúdií o využití 3D skenerov je však menej z prostredia ľadových jaskýň (Milius a Petters, 2012; Petters et al., 2011; Gómez-Lende et al., 2014; Berenguer-Sempere et al., 2014; Gómez-Lende a Sánchez-Fernández, 2018; Kamintzis et al., 2018; Šupinský et al., 2019; Herich, 2021; Herich, 2022; Securo et al., 2022; Blatnik et al., 2023; Šupinský et al., 2024) a len málo z nich diskutuje aj reálnu presnosť výsledných modelov, nie iba presnosť udávaných výrobcom, väčšinou dosiahnutú za ideálnych podmienok. Speleológovia zvyčajne nemajú potrebu, kapacitu alebo možnosť detailne analyzovať takéto informácie a vo väčšine dostupných článkov nachádzame len všeobecné tvrdenia o vyššom šume či prenikaní laserových lúčov do ľadu, ktoré eliminujú automatickou filtráciou a často zdĺhavým manuálnym odstraňovaním falošných bodov. Pre minimalizáciu času stráveného takýmto úkonomi a lepšiu voľbu prístrojov v budúcnosti je cieľom tejto štúdie zistiť, ktoré laserové skenery sú vhodnejšie na skenovanie v ľadových jaskyniach. Téma sa stáva dôležitejšou vzhľadom na to, že čas, ktorý máme na štúdium ľadu v jaskyniach, sa rapídne, kvôli klimatickej zmene, kráti a strácame ľad ako zdroj

potenciálnych informácií v súvislosti s paleoklíмой, vývojom jaskyne či aktuálnymi úbytkami ľadu vzhľadom na zvyšujúcu sa globálnu teplotu a nie je vhodné ho strácať využívaním nesprávne zvolených prístrojov prinášajúcich nespoľahlivé dáta.

Vďaka unikátnosti Dobšinskej ľadovej jaskyne, ktorá bola predmetom záujmu mnohých výskumníkov a meračov kontinuálne od jej objavenia a najmä vďaka prebiehajúcej spolupráci s TUKE fBERG (Gašinec et al., 2012; Bartoš et al., 2023), disponuje Správa slovenských jaskýň množstvom dát z rôznych prístrojov, ktorých výsledky môžeme porovnávať. Štúdia je zameraná konkrétne na porovnanie mobilných 3D skenerov GeoSLAM Zeb Horizon a Iphone14 Pro využívaných na Správu slovenských jaskýň, ktoré sú kompaktnéjšie, komfortnejšie a preferovanejšie jaskyniarimi, a terestrických laserových skenerov na statívoch Leica C10 a Leica RTC360, využívaných najmä v geodézii a vo všeobecnosti považovaných za presnejšie. Skenovanie Leicou C10 prebehlo naposledy v roku 2019 a vzhľadom na nespokojivé výsledky bola pri skenovaní v nasledujúcich rokoch nahradená. Dáta zo skenovania mobilnými skenermi a Leicou RTC360 sú z novembra 2023 z dvojdielnej meračskej akcie a získané za rovnakých mikroklimatických a fyzikálnych podmienok a s rovnakým stavom a vlastnosťami ľadu. Vzhľadom na to nemôžeme porovnať všetky vlastnosti skenera Leica C10, pretože rozdiely v porovnaní sú väčšinou spôsobené inými podmienkami a stavom ľadu, a tak sa venujeme len tým relevantným. Naskenované ľadové výplne sme porovnávali na troch lokalitách: 1. v hornej časti jaskyne s horizontálnym (alebo mierne nakloneným) povrchom ľadu v Malej sieni a v Zrútenom dome; 2. v Ruffíniho koridore na zvrstvenej vertikálnej ľadovej stene a 3. v ľadovom tuneli, ktorý prerezáva tiež vrstvy ľadu s rozdielnymi vlastnosťami. Aby sme zachytili čo najviac typov ľadu, na každej z lokalít sme analyzovali viaceré priečne rezy mračen bodov. Na porovnanie presnosti sme za referenčné mračná, ktoré považujeme v rámci možnosti za najpresnejšie, zvolili na horizontálnom ľade dáta z digitálnej tachymetrie a v tuneli a na vertikálnom ľade dáta z digitálnej fotogrametrie. Referenčné dáta boli získané v rovnakom termíne ako tie porovnávané. Porovnanie prebiehalo v softvéri Cloud Compare týmto postupom:

1. C2C distance (vzájomná vzdialenosť mračen). Po zreferencovaní každého mračna ich vzájomný prekrýv nie je 100 %-ný, a tak nám dáva informáciu o možných polohových odchýlkach v rôznych častiach jaskyne.
2. Fine C2C registration (doplňujúca registrácia už zreferencovaných mračen). Keďže každé z mračen malo pri georeferencovaní inú chybu, na lepšie porovnanie ďalších vlastností bolo nutné mračná dodatočne registrovať pomocou referenčných mračen.
3. Výber polohy priečného rezu. Aby sme zachytili informácie o rôznych typoch ľadu a jeho vrstvách, vytvorili sme tzv. "roughness maps", ktoré okrem miest s najvyššou krivosťou poukazujú aj na vyššie hodnoty šumu či penetrácie lasera, ktoré predstavujú miesta s väčšou hrúbkou mračna. Zaujímali nás aj miesta so špecifickou morfológiou či rôznou konzistenciou ľadu. Keďže skenery na statívoch majú väčšiu hustotu bodov okolo skenovacích pozícií, výber profilov bol prispôsobený aj tomuto faktoru.
4. Vizualné porovnanie šumu a penetrácie lasera na priečnom reze.
5. C2C distance (vzájomná vzdialenosť mračen) na priečnom reze. Už po dodatočnej registrácii nám tieto vzdialenosti poukazujú na rôzne deformácie či chyby skenovania.

Z výsledkov porovnaní je zjavné, že vo väčšine hodnotených vlastností vyniká Leica RTC360. Je najlepšia z hľadiska chyby registrácie (do 0,006 m), hustoty mračna a zároveň nízkeho šumu a penetrácie aj z hľadiska zachytenia najväčšieho množstva detailov (napr. rozdielne vrstvy ľadu). Z hľadiska času skenovania a registrácie skenera v jaskyni je podstatne rýchlejšia ako Leica C10 (ktorá ma navyše hodnoty penetrácie extrémne vysoké), teda za rovnaký čas je možné dosiahnuť mračno bodov s podstatne väčšou podrobnosťou. Problémové sú však pre tento prístroj oblasti, kde ľad pokrýva voda. Aj plytké (niekoľko cm) a malé vodné plochy či drobné toky v mračne vytvárajú diery. Na takýto typ povrchu sa ukázal ako najvhodnejší GeoSLAM Zeb Horizon. Ten vyhráva aj v rýchlosti skenovania a registrácie in situ a aj keď sú jeho chyby registrácie rádoovo vyššie v porovnaní so stacionárnymi skenermi (okolo 0,1 m) je možné znížiť ich (na niekoľko cm) zahustením siete meračských bodov, na ktoré sa počas skenovania pripájame, čím však jemne navýšime aj čas skenovania. Pomer čas skenovania verzus chyba registrácie má najhorší Iphone 14 Pro. Chybou je podobný skeneru Zeb Horizon, avšak množstvo bodov použitých pre registráciu bolo v tomto prípade podstatne väčšie na podstatne menšej skenovanej ploche, a tak sa už na možné vylepšenie nedá spoliehať. Zároveň ho jeho dosah (5 m) predurčuje len na menšie priestory, pri ktorých však tiež zachytenie drobných detailov nie je v móde lidar možná. Z našich pozorovaní usudzujeme, že pre potreby dlhodobého monitoringu objemu ľadu so zameraním na väčšie zmeny postačuje v Dobšinskej ľadovej jaskyni mobilný 3D skener GeoSLAM Zeb Horizon, ktorý pre jaskyniarov predstavuje najlepší kompromis. V prípade potreby sledovať detailnejšie zmeny morfológie ľadu či jeho objemové rozdiely napr. v rámci sezóny, je potrebné siahnúť po stacionárnom skeneri, pričom z uvedených je vhodný Leica RTC360. V prípade ďalšej spolupráce s TUKE fBERG by bola ideálna kombinácia výsledkov, resp. aplikácia presnejšieho stacionárneho skenera len na určité sledované plochy, čím by sa podstatne redukoval čas skenovania a zvýšila presnosť na výskumných plochách.

Porovnanie nám umožnilo zistiť, nakoľko presné sú naše mobilné skenery a aké prístroje sú vhodné na rôzne typy ľadu v Dobšinskej ľadovej jaskyni z hľadiska dlhodobého monitoringu. Vzhľadom na diverzitu ľadových výplní v tejto jaskyni môžu byť výsledky čiastočne uplatniteľné aj v iných ľadových jaskyniach vo svete.

Literatúra

- BARTOŠ, K. – PUKANSKÁ, K. – KSEŇAK, Ľ. – GAŠINEC, J. – BELLA, P. 2023. Cross-Polarized SfM Photogrammetry for the Spatial Reconstruction of Challenging Surfaces, the Case Study of Dobšiná Ice Cave (Slovakia). *Remote Sensing*, 15, 4481. <https://doi.org/10.3390/rs15184481>
- BERENGUER-SÉMPERE, F. – GÓMEZ-LENDE, M. – SERRANO, E. – DE SANJOSE-BLASCO, J. J. 2014. Orthothermographies and 3D models as potential tools in ice cave studies: the Peña Castil Ice Cave (Picos de Europa, Northern Spain). *International Journal of Speleology*, 43, 1, 35–43. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.4>
- BLATNIK, M. – OBU, J. – KOŠUTNIK, J. – GABROVŠEK, F. 2023. Use of Terrestrial LiDAR Scanner for Monitoring of Ice Thickness in Ice Caves; Examples from Slovenia. In Andreo, B. – Barberá, J. A. – Durán-Valsero, J. J. – Gil-Márquez, J. M. – Mudarra, M. (Eds.): *EuroKarst 2022*, Málaga. *Advances in Karst Science*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16879-6_27
- GAŠINEC, J. – GAŠINCOVÁ, S. – ČERNOTA, P. – STAŇKOVÁ, H. 2012. Uses of Terrestrial Laser Scanning in Monitoring of Ground Ice within Dobšinská Ice Cave. *Inżynieria Mineralna*, 13, 2, 31–42.
- GÓMEZ-LENDE, M. – BERENGUER, F. – SERRANO, E. 2014. Morphology, ice types and thermal regime in a high mountain ice cave. First studies applying terrestrial laser scanner in the Peña Castil ice cave (Picos de Europa, northern Spain). *Geografía Física e Dinámica Cuaternaria*, 37, 141–150. <https://doi.org/10.4461/GFDQ.2014.37.13>
- GÓMEZ-LENDE, M. – SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, M. 2018. Cryomorphological topographies in the study of Ice Caves. *Geosciences*, 8, 8, 274. <https://doi.org/10.3390/geosciences8080274>
- HERICH, P. 2021. Mobilné laserové skenovanie jaskýň – prvé výsledky a skúsenosti. *Aragonit*, 26, 2, 77–79.
- HERICH, P. Mobile laser scanning in ice caves – preliminary results. IWIC-IX, 9. –13. 5. 2022, Liptovský Mikuláš, Slovakia. Conference poster.
- KAMINTZIS, J. E. – JONES, J. P. – IRVINE-FYNN, T. D. – HOLT, T. O. – BUNTING, P. – JENNINGS, S. J. – PORTER, P. R. – HUBBARD, B. 2017. Assessing the applicability of Terrestrial Laser Scanning for mapping Englacial Conduits. *Journal of Glaciology* 64, 37–48. <http://dx.doi.org/10.1017/jog.2017.81>
- MILLIUS, J. – PETERS, C. 2012. Eisriesenwelt – from laser scanning to photo-realistic 3D model of the biggest ice cave on Earth. *Geovisualization, Society and Learning*, 513–523.
- PETERS, C. – MILLIUS, J. – BUCHROITHNER, M. F. 2011. Eisriesenwelt: terrestrial laser scanning and 3D visualisation of the largest ice cave on Earth. In *Proceedings European LiDAR Mapping Forum*, 2011, Salzburg, 1–10.
- SEURO, A. – FORTE, E. – MARTINUCCI, D. – PILLON, S. – COLUCCI, R. R. 2022. Long-term mass-balance monitoring and evolution of ice in caves through structure from motion-multi-view stereo and ground-penetrating radar techniques. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 46, 422–440. <https://doi.org/10.1177/03091332110651>
- ŠUPINSKÝ, J. – KAŇUK, J. – HOCHMUTH, Z. – GALLAY, M. 2019. Detecting dynamics of cave floor ice with selective cloud-to-cloud approach. *The Cryosphere*, 13, 11, 2835–2851. <https://doi.org/10.5194/tc-13-2835-2019>
- ŠUPINSKÝ, J. – NOVÁKOVÁ, M. – GALLAY, M. – KAŇUK, J. 2024. Microclimatic and ice accumulation change monitoring in Silická ľadnica cave. Abstract volume of the 10th international workshop on ice caves: May 12 through 18, 2024 Wernfenweg, Austria. Innsbruck: Eigenverlag – Universität Innsbruck, 2024, 39 s. <http://dx.doi.org/10.25651/1.2024.0002>

500 JASKÝŇ DEMÄNOVSKEJ DOLINY: VÝSLEDKY Z 15 ROKOV PRIESKUMU A VÝSKUMU

Pavel Herich^{1,2}

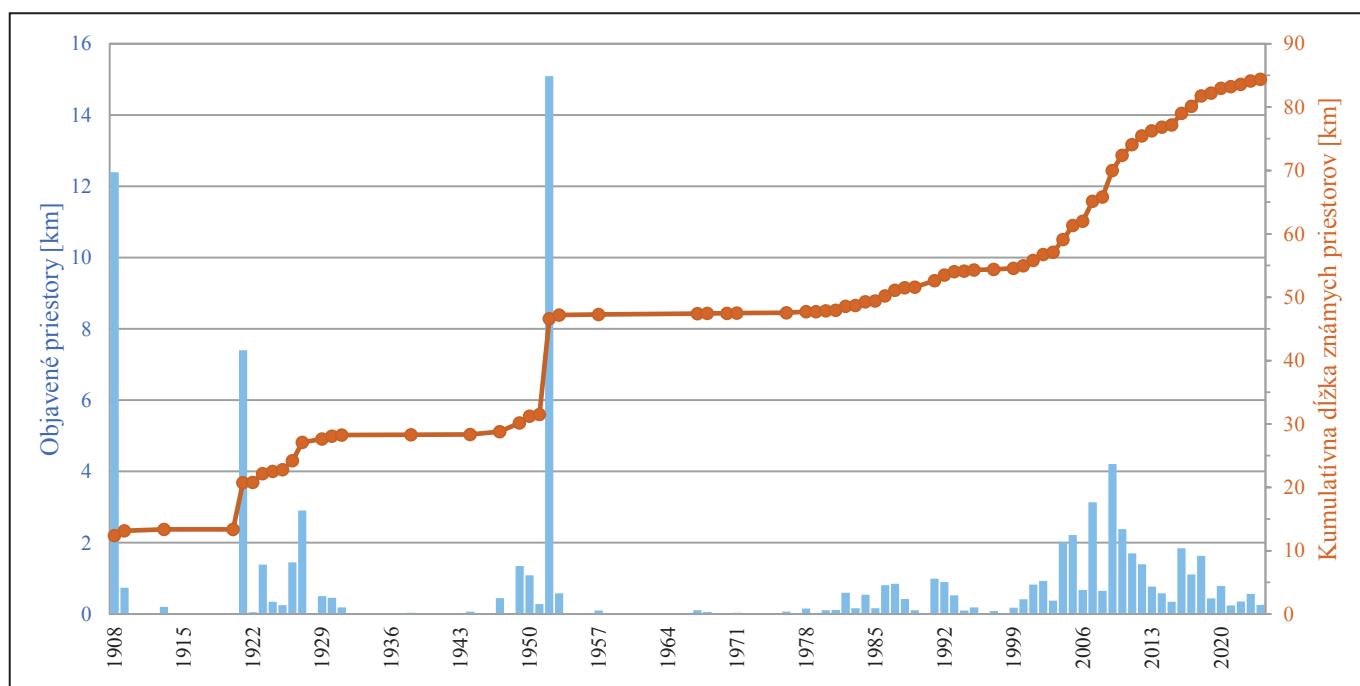
¹ Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Správa slovenských jaskýň, Hodžova 11, 031 01 Liptovský Mikuláš; pavol.herich@ssj.sk

² Jaskyniarsky klub Demänovská Dolina, Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš

Demänovská dolina, nachádzajúca sa v Demänovských vrchoch na severnej strane Nízkych Tatier, je najmä od objavu Demänovskej jaskyne slobody v roku 1921 centrom speleologických aktivít na území Slovenska. Aktuálny príspevok k poznaniu tohto krásneho územia, monografia Demänovské jaskyne z roku 2023, zhŕňa dostupné základné poznatky o jaskyniach a prináša rozsiahle nové informácie o doteraz nevedovaných či neznámych jaskyniach a ďalších objektoch.

V Demänovskej doline je na ploche 16 km² k 1. máju 2024 evidovaných 485 jaskýň a 84 ďalších objektov, ako sú previsy a abri, ponory, závrtky, speleologické sondy a iné. Celkový počet známych jaskýň presahuje počet 500, nezdokumentované jaskyne sa nachádzajú najmä na ľavej strane doliny. Celková zameraná dĺžka jaskynných priestorov je 84,4 km a nachádza sa tu až 598 zdokumentovaných jaskynných vchodov. Najväčšia hustota jaskynných otvorov je na pravej strane doliny Zadnej vody a následne (v smere toku) Demänovky, kde na ploche 1,3 km² je až 364 vstupov do jaskýň.

Najdlhšou a najhlbšou jaskyniou je Demänovský jaskynný systém (DJS) s dĺžkou 49 536 m a deniveláciou 194 m, pozostávajúci z 10 prv samostatných jaskýň. Má 26 vchodov, z toho 13 je známych oddávna, 10 bolo prekopaných a 3 prestriedané masívnou horninou. Jeho známa dĺžka presahuje



Obr. 1. Postup objavov v Demänovských jaskyniach. Do roku 1909 bolo známych 12,4 km chodieb.

51 km, viac ako 1,5 km priestorov je dosiaľ nezmapovaných. Dĺžka systému spolu s príslušnými prostredníctvom vodných tokov dokázanými prepojeniami je najmenej 71 km (DJS, Štefanová a Okno).

Kým pred rokom 1909 (opísaný objav Žuffovky v Čiernej jaskyni) bolo v Demänovskej doline známych, resp. voľne dostupných 12,7 km jaskynných priestorov, do roku 2023 sa objavilo viac ako 72 km nových priestorov (graf 1).

Z hľadiska genézy je z podrobne spracovaných 438 jaskýň 83 % fluvio-krasových a 0,7 % hypogénnych. 13 % jaskýň má koróznou-vymrazovú tvary, 1,8 % je rozsadinových, jedna jaskyňa bola zaradená k medzibalvanovým jaskyniam, 1,4 % jaskýň je bez určenia genézy.

Vodné toky, resp. výraznejšie priesaky boli pozorované v 9,4 % jaskýň. Dĺžka súčasného, hlavného alochtónneho toku Demänovky z Lúčok (od Ponoru P1 v nadmorskej výške 973 m) po Vyvieranie je najmenej 3,85 km. Na tejto vzdialenosti prekonáva prevýšenie 186 m, hladina výveru je za normálneho stavu v nadmorskej výške 786,96 m. Jeho výdatnosť dosahovala v rokoch 1985 – 1987 priemer 753 l/s, v rokoch 2010 – 2012 len 465 l/s (Bella et al., 2014) najmä vplyvom odberov pre vodovodnú sieť.

Alochtónne sedimenty sa našli v 30,4 % jaskýň. Celoročná ľadová výplň od marca 2024, keď sa roztopil ľad v Kmetovom dome Čiernej jaskyne-Ľadovej, sa v Demänovskej doline už nenachádza.

V 166 jaskyniach (37,9 %) sa zistil výskyt makroskopických organizmov, znamená tu bolo aj prvé pozorovanie vzácneho druhu *Alucita hexadactyla* čiže vejárovce kozolísty v jaskyniach na Slovensku, či opätovný výskyt v tomto území ojedinelého podkovára veľkého (*Rhinolophus ferrumequinum*). Zmienky o výskytu aspoň jedného živého ex. chiropterofauny (netopierov) sa viažu k 34 jaskyniam (7,8 %); *Salamandra salamandra* bola pozorovaná najmenej v 15 jaskyniach (3,4 %).

Osteologické nálezy boli zaznamenané v 93 jaskyniach (21,2 %), išlo o kosti drobných stavovcov až veľkých kopytníkov a medveďov hnedých. V troch jaskyniach (Pustej, Jaskyni v Kostoloch a Studni na Jame) sa našli ľudské kostry, najnovší nález v Studni na Jame je z roku 2016.

Nálezy kostí vyhynutého druhu *Ursus ex gr. spelaeus* (medveď jaskynný) sa zaznamenali v 11 jaskyniach (2,5 %). Najvýznamnejším paleontologickým nálezom je však najstaršia skamenelina plaza nájdená na území Slovenska (v roku 2016 v Štefanovej), patriaca ku skupine Pachypleurosauria s vekom približne 243 mil. rokov (Herich, 2017; Čerňanský et al., 2018).

Brlohy a ležoviská sa nachádzajú v 96 (21,9 %) zo 438 zdokumentovaných jaskýň. Najviac, až 40 brlohov bolo presnejšie určených ako medveďie; 4 brlohy sú potenciálne liščíe, dva jazvečie. Zvyšných 50 brlohov predstavuje skupinu bližšie nešpecifikovaných typov brlohov.

Literatúra

- BELLA, P. – HAVIAŘOVÁ, D. – KOVÁČ, Ľ. – 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, 191 s.
- ČERŇANSKÝ, A. – KLEIN, N. – SOTÁK, J. – OLŠAVSKÝ, M. – ŠURKA, J. – HERICH, P. 2018. A Middle Triassic pachypleurosaur (Diapsida: Eosauromorphia) from a restricted carbonate ramp in the Western Carpathians (Gutenstein Formation, Fatric Unit): paleogeographic implications. *Geologica Carpathica*, 69, 1, 3–16.
- HERICH, P. 2017. Discovering a quarter billion years-old reptile. *Bulletin of the Slovak Speleological Society*, Issued for the purpose of the 17th Congress of the IUS, Sydney 2017, 69–72.

O UDRŽATEĽNOM MAPOVANÍ JASKÝŇ

Pavel Herich^{1,2,3} – Martin Budaj⁴

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

² Jaskyniarsky klub Demänovská Dolina, Slovenská speleologická spoločnosť, Liptovský Mikuláš

³ Katedra fyzickej geografie a geoinformatiky, Univerzita Komenského, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 15 Bratislava 4

⁴ Speleoklub Banská Bystrica, Slovenská speleologická spoločnosť, Banská Bystrica; m.budaj@gmail.com

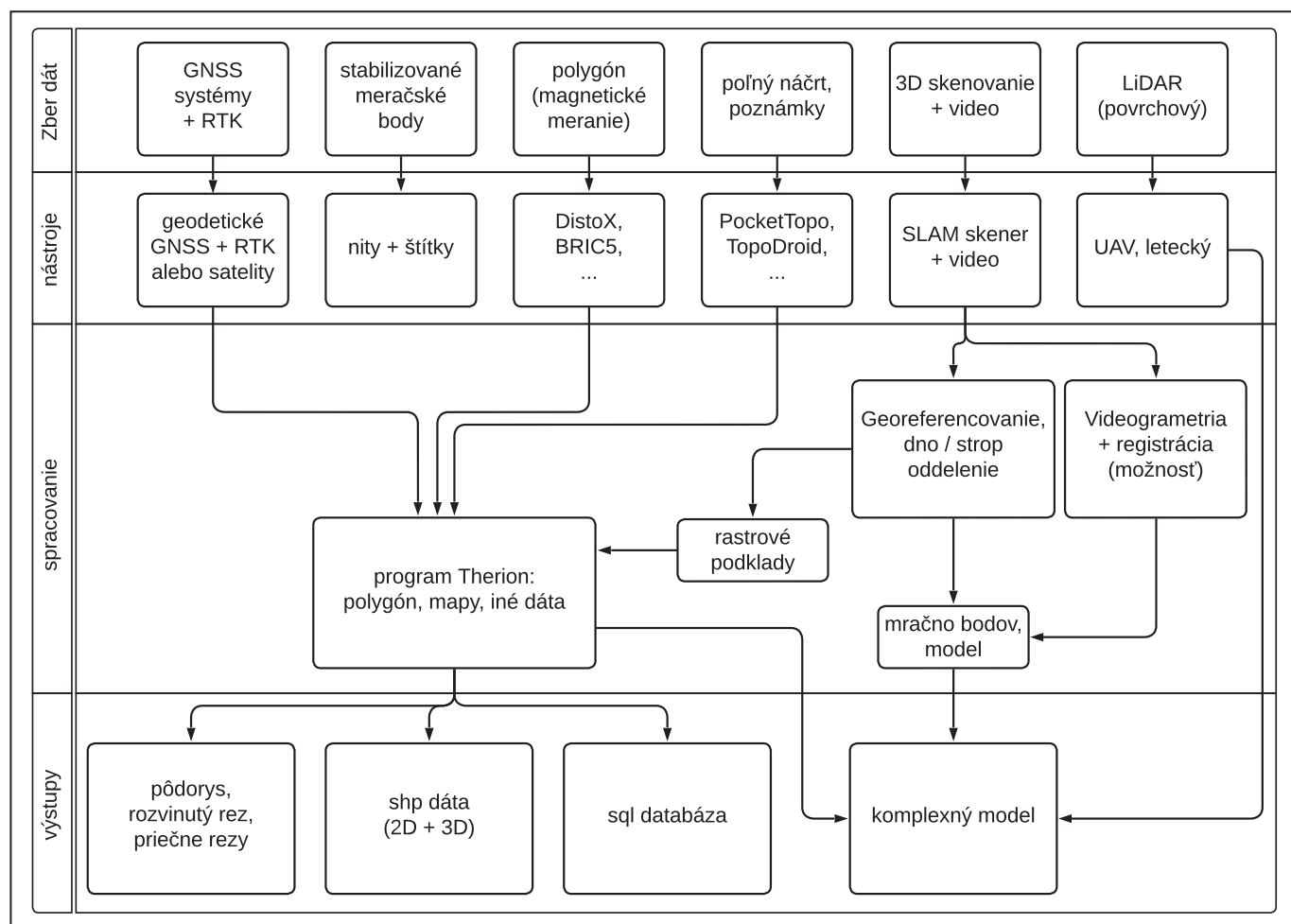
Pravdepodobne najdôležitejším základným prvkom dokumentácie jaskýne je mapa podzemného priestoru. Je to ľudsky interpretovaná, výrazne zjednodušená schéma, ktorá nesie informácie o jeho rozložení, polohe, tvare jaskýne, sedimentoch, vodách, nálezoch, pozorovaniach, vybavení priestorov rôznymi pomôckami a podobne. Odôvodnenie vytvárania klasických máp v súčasných rozširujúcich sa možnostiach 3D nástrojov a vizualizácie nechávame na diskusiu, ale zdá sa, že jednoduchosť a rýchlosť čitateľnosť kvalitne interpretovaných 2D máp môže zabezpečiť ich trvalé používanie aj v budúcnosti.

Cieľom udržateľného mapovania jaskýň, ako sa tu navrhuje, je získavanie vysokokvalitných, spoľahlivých údajov s čo najmenším počtom návštev daných priestorov; minimalizovanie energie potrebnej na ich získanie, zabezpečenie overiteľnosti ich kvality v priebehu času a zanechanie trvalého systému orientačných bodov v podzemných priestoroch, ktorý vyžaduje významné nevratné zásahy do prostredia.

Predkladaná metóda (obr. 1) kombinuje existujúce, viac či menej používané spôsoby dokumentácie podzemných priestorov do jedného pracovného postupu. Služi na rýchle získavanie vysokokvalitných údajov o jaskyniach a ľudských podzemných priestoroch a je univerzálna na dokumentovanie malých dutín aj veľkých systémov. Kombinuje tradičnú metódu mapovania pomocou moderných nástrojov (Paperless Cave Surveying; Heeb, 2020) s vysoko efektívnou prácou so skenermi založenými na technológii SLAM (Zlot a Bosse, 2014). Výsledkom je systém trvalých referenčných bodov v jaskyni, presné speleologické mapy (v kvalite UIŠv2 6-4-EF a vyššie; pozri Häuselmann, 2012) a 3D modely s minimálnymi zákrutovými oblasťami.

Pracovný postup pri terénnej práci je navrhnutý takto:

1. stabilizovať meračský bod vo vchode jaskýne a odfotografovať ho aj s viditeľným umiestnením bodu;
2. zmerať polohu bodu vo vchode v geodetickej presnosti;
3. zmerať polygón jaskýne s použitím elektronického zariadenia 3in1 (azimut, sklon, dĺžka) so stabilizáciou meračských bodov;
4. tesné priestory (plazivky, komíny a pod.) mapovať metódou Paperless Cave Surveying;
5. priestory s ľahším pohybom (chodby od výšky či šírky 1 m) skenovať pomocou mobilného skenera.



Obr. 1. Navrhovaný pracovný postup. Autor: P. Herich

Postup spracovávaní dát, tvorba máp, modelov:

1. spracovanie polygónových dát a polohy;
2. SLAM procesovanie;
3. registrácia a spracovanie mračen bodov;
4. sketch morphing v Therione pre rastre mračen bodov;
5. kreslenie 2D máp v Therione;
6. tvorba 3D modelu z kombinovaných dát SLAM-based skenovania a exportov z Therionu.

Literatúra

- HÄUSELMANN, P. 2012. UIS Mapping Grades. Survey and Mapping Working Group, UIS Informatics Commission, 4 p.
- HEEB, B. 2020. Paperless Cave Surveying [online], 2020. Accesible in: <https://paperless.bheeb.ch/index.html>
- ZLOT, R. – BOSSE, M. 2014. Three-Dimensional Mobile Mapping of Caves. Journal of Cave and Karst Studies. 76. 191–206. <http://dx.doi.org/10.4311/2012EX0287>.

JASKYNNÉ PRIESTORY V NÁRODNEJ DATABÁZE JASKÝŇ V ROKU 2024 Z POHĽADU ŠTATISTIKY

Peter Holúbek – Dagmar Lepišová

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Školská 4, 031 01 Liptovský Mikuláš; peter.holubek@smopaj.sk, dagmar.lepiso@smopaj.sk

V júli roku 2024 bolo v **Národnej databáze jaskýň** evidovaných 8101 lokalít spĺňajúcich kritériá na zaradenie k podzemným priestorom. Dĺžka preskúmaných a zdokumentovaných chodieb na Slovensku presiahla 490 kilometrov.

Zhrnutie počtu a dĺžok jaskynných priestorov v geomorfologických celkoch Slovenska s najpočetnejším výskytom jaskýň je takéto:

V **Slovenskom krase** je evidovaných 1291 lokalít so sumárnou dĺžkou chodieb 62 kilometrov. V **Nízkych Tatrách** je evidovaných 1192 lokalít so sumárnou dĺžkou chodieb 163 kilometrov; v dvoch najvýznamnejších dolinách tu evidujeme v **Demänovskej doline** 461 lokalít s dĺžkou chodieb 85 kilometrov a v **Jánskej doline** 304 lokalít s dĺžkou chodieb 45 kilometrov. V **Spišsko-gemerskom krase** je evidovaných 1139 lokalít s dĺžkou 63 kilo-

metrov, z toho v **Slovenskom raji** je 633 lokalít s dĺžkou chodieb 37 kilometrov a **Muránskej planine** 506 lokalít s dĺžkou chodieb 26 kilometrov. V **Strážovských vrchoch** je evidovaných 555 lokalít so sumárnou dĺžkou chodieb 9 kilometrov. Vo **Veľkej Fatre** je evidovaných 553 lokalít so sumárnou dĺžkou chodieb 19 kilometrov. V geomorfologickom celku **Tatry** je evidovaných 461 lokalít so sumárnou dĺžkou chodieb 75 kilometrov. V **Malých Karpatoch** je evidovaných 371 lokalít s dĺžkou chodieb 22 kilometrov. V **Malej Fatre** je evidovaných 241 lokalít s dĺžkou chodieb 4 kilometre. Vo **Volovských vrchoch** je evidovaných 219 lokalít s dĺžkou chodieb 3 kilometre. V **Revúckych vrchoch** je evidovaných 130 lokalít s dĺžkou chodieb 5 kilometrov. V **Chočských vrchoch** je evidovaných 118 lokalít s dĺžkou chodieb 6 kilometrov.

Ak by sme sa pozreli na štatistiky podľa okresov, tak najviac evidovaných lokalít, až 1366, je v okrese **Rožňava** a sumárna dĺžka týchto preskúmaných a zdokumentovaných chodieb je 77,9 kilometra. Druhým okresom s najpočetnejším výskytom jaskýň je **Liptovský Mikuláš**, kde je evidovaných 1310 lokalít so sumárnou dĺžkou chodieb 147,7 kilometra.

PRÍKLADY OBJAVENÝCH JASKÝŇ V SLOVENSKOM KRASE CIEĽAVEDOME VYPLNENÝCH SUTINOU ĽUDOM Z DOBY BRONZOVEJ

Gabriel Lešínský

Slovenské múzeum ochrany prírody a jaskyniarstva, Liptovský Mikuláš – pracovisko Košice; gabishark@gmail.com

Do roku 1994 bola v Slovenskom krase známa iba jedna priepasť (Priepasť na kóte, -34 m; Zádielska planina) situovaná v centre prehistorického výšinného hradiska kyjatickej kultúry z neskorej doby bronzovej (cca 3000 rokov), ktorá bola pravdepodobne v dôsledku prehistorického antropického zásahu pravekých obyvateľov hradiska úplne vyplnená rýdzou sutinou (po krasový povrch). Počnúc rokom 2019 pribúdla priepasť Nová Haniska s analogickou výplňou, ktorú dopĺňalo cca 150 fragmentov keramickej nádoby typu „zá-sobnica“ datovanej archeológmi (2019) takisto do obdobia kyjatickej kultúry. V roku 2023 bola prolongovaná v r. 2008 objavená najskrô jaskyňa, po pro-

longácii už priepasť Hlohoň na planine Horný vrch do hĺbky 10 m. Takisto, po strop, resp. po povrch, bola vyplnená selektívne vytriedenou rýdzou sutinou tak, aby úlomky horniny prešli extrémne úzkym ústím s priemerom 0,25 m. V roku 2024 bola v svahu Horného vrchu objavená najprv jaskyňa, resp. po prolongácii už priepasť Zlatoň s rovnakým charakterom výplne ako v predchádzajúcich prípadoch. V obsahovo monotónnej výplni v hĺbke 7 m bol v máji 2024 nájdený obhorený fragment dreva, ktorého datovanie by mohlo odhaliť vek pravdepodobne umelo naakumulovanej sutiny. Prieskumné práce tu aktuálne pokračujú. Obe jaskyne, Hlohoň i Zlatoň, sa nachádzajú v bezprostrednej blízkosti prehistorického úvozu, ktorý bol zistený až pomocou LiDAR-u a v teréne už nie je čitateľný. Okrem úžitkovej keramickej nádobky z Novej Hanisky sa na ostatných lokalitách nenašli nijaké artefakty. Vek výplníam (neskorá doba bronzová) prisudzujeme na základe nálezu z Novej Hanisky a nepriamo na základe porovnávania, analogizovania sprievodných okolností i situovania lokalít vo vzťahu k potvrdeným sídliskám kyjatickej kultúry. V jednom prípade (Hlohoň) bola zistená zreteľná diskordancia medzi pôvodnou jaskynnou výplňou so starším vývojom (mocný podlahový sinter v dĺžke 4 m) a umelo vytriedenou i naakumulovanou sutinovou výplňou, ktorá na základe komparatívneho vyhodnotenia povahy a sprievodných okolností uvedených jaskýň vekovo reprezentuje antropický zásah do jaskyne v období kyjatickej kultúry z neskorej doby bronzovej spreď cca 3000 rokov.

3D MODELOVÁNÍ A DOKUMENTACE KRASOVÝCH JEVŮ

Jiří Nečas¹ – Vít Baldík¹ – František Kudař²

¹ Česká geologická služba, Leitnerova 204/22, 602 00 Brno; jiri.necas@geology.cz

² Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Drobného 28, 602 00 Brno

S rozšířením moderních technologií se také rozvíjí moderní metody sloužící k dokumentaci krasu a krasových území. Mezi ně jde zařadit i 3D modelování jaskynních prostor a krasového území a jevů, které tak s rozvojem těchto metod postupně nahrazuje tradiční metody. V zásadě se dají rozdělit tyto modelovací metody podle druhu snímání na fotogrammetrické a laserové (LiDAR), kdy každá metoda najde své uplatnění dle dokumentovaných jevů.

Fotogrammetrie k modelování využívá digitální zpracování snímků, jejichž metadatová informace obsahuje přesný polohopis pořízeného snímku v případě dálkové snímání (dron), nebo snímků na kterých jsou přesně geodeticky zaměřené referenční prvky pomocí vličovacích bodů. Tato metodika je vhodná ke snímání rozsáhlejších území, jako jsou planiny se závrtovými řadami, nebo k dokumentaci těžko dostupných míst či jevů, kde je potřeba zachytit i texturní informaci. Mezi výhody této metodiky patří nižší pořizovací náklady na vybavení, a interpretace strukturně-texturní informace daného modelu, avšak ve srovnání s laserovými metodami je méně přesná, a nedá se využít k dokumentaci jevů bez přirozeného nebo umělého osvětlení.

LiDAR je laserová metoda, která na základě dálkového měření odraženého laserového pulzu prostorově snímá své okolí, a vytváří tak prostorově přesný obraz svého okolí. Dělí se na letecký a pozemní, přičemž pro využití na snímání krasových jevů se využívá především pozemní verze. Tato metoda je vhodná ke snímání podzemních prostor a dostupných členitých krasových jevů, kdy při překryvu snímání dat a v kombinaci různě výkonných lidarových snímačů dokáže zaznamenat i rozsáhlé jaskynní systémy. Hlavní výhodou je vysoká přesnost snímání dat (v řádech milimetrů), a možnost snímání i neosvětlených podzemních prostor. Mezi nevýhody pak patří vysoké pořizovací náklady na 3D scannery.

Základním výstupem obou metod pro další zpracování jsou mračna bodů, která se pak následně softwarově zpracovávají v digitální 3D modely a digitální modely reliéfu. Z těchto dat už je možné vytvářet jaskynní a geomorfologické mapy, počítat objemy, provádět strukturní analýzy či tvořit řezy, nebo detailně studovat určité morfologické prvky, které jsou běžnými metodami nedostupné.

NOVÉ MOŽNOSTI 3D DOKUMENTACE V PODZEMÍ

Jiří Šindelář¹ – Vratislav Ouhrabka² – František Krejča³

¹ Geo-cz, Naše historie z. s., Noskov 21, 391 43 Mladá Vožice; geo@geo-cz.com

² Správa jaskýní České republiky, Květnové náměstí 3, 252 43 Příbram; ouhrabka@caves.cz

³ Správa jaskýní České republiky, Chýnovská jaskyně, 591 55 Chýnov; krejca@caves.cz

Od roku 2015 testovali autoři ve spolupráci se Správou jaskýní ČR, Archeologickým ústavem AV ČR v Brně, ČSS ZO-2-01 Chýnovská jaskyně,

ČSS ZO 1-10 Speleoaquanaut, Univerzitou Pardubice a Odborem životního prostředí Jihočeského kraje nové metodiky 3D dokumentace rozsáhlých podzemních prostor (suchých, zatopených i těch pro člověka nepřístupných). Do konce roku 2023 se podařilo definovat efektivní metody 3D dokumentace v podzemí pro člověka přístupném i v dutinách pro lidi nepřístupných. V r. 2019 byl vytvořen přesný digitální model zatopené části Chýnovské jaskyně na Táborsku, v r. 2021 byly vhodné kombinací laserového skenování, pozemní fotogrammetrie a letecké videogrammetrie zdokumentovány jaskyně Areni-1 a Areni-2 v Arménii i s vytvořením digitálního modelu terénu celé lokality. V rámci spolupráce s Archeologickým ústavem Akademie nauk Arménie bylo laserové skenování experimentálně doplněno o fotogrammetrii ze sférických snímků. Tato metoda byla dále zkvalitňována (ve fázi sběru dat i ve fázi výpočtů) v průběhu roku 2022 při řešení mapovacích prací v historickém podzemí města Tábor a při podrobné dokumentaci architektury katedrály sv. Víta na Pražském hradě. Ve všech zmíněných lokalitách proběhla 3D dokumentace vždy několika metodami, což umožnilo jasně definovat silné a slabé stránky nově navržené metody skenování i exaktně posoudit její přesnost. Výsledkem práce je nově vytvořená velmi efektivní (tj. rychlá, přesná a levná) metodika 3D dokumentace podzemních prostor a vytvoření modelů a plánové dokumentace dvou zpřístupněných jaskýní v ČR (Chýnovská jaskyně, Koněpruské jaskyně), dalších 60 pro veřejnost nepřístupných jaskýní v jižních Čechách a jaskýní Areni-1 a Areni-2 v Arménii.

Přesné geodetické zaměření a 3D skenování rozlehlých a členitých podzemních komplexů je tradičně spojováno s vysokými investicemi a logistickými náklady. Naš aplikovaný výzkum se soustředil na vytvoření přesných plánů a modelů vybraných jaskýní v ČR a v Arménii i na jednoznačné definování pravidel pro přesný sběr dat v terénu i následné zpracování dat. Práce alespoň částečně navázala na odborné aktivity autorů při řešení výzkumného úkolu Archeologického ústavu AV ČR Brno, v. v. i. (2018 – 2022). Cílem bylo, vedle přesné geodetické dokumentace konkrétních lokalit, najít a vyzkoušet funkčnost navržených technologických postupů (případně prototypů měřického zařízení), otestovat jejich přesnost a využitelnost v nejrůznějších prostředích (od velkých jaskynních domů, přes propasti a komíny až po sotva průlezná plazivky).

3D dokumentací podzemí se zabývá a v minulosti zabývalo větší množství badatelů. Prakticky již od zavedení technologie laserového skenování byly laserové skenery testovány a úspěšně využívány v hornictví a podzemním stavitelství. V tomto odvětví lidské činnosti také našlo laserové skenování velmi rychle své uplatnění. Ve speleologické praxi bývá však využitelnost laserových skenerů značně omezená. Je to dáno dvěma důvody. Prvním je vysoká finanční náročnost (ať již při objednání díla u specializovaných organizací, nebo při pořizování přístrojové techniky). Druhým důvodem je pak velká a nepravidelná členitost jaskynních prostor, velmi často nevhodné podmínky pro skenování (vysoká vlhkost, vysoká prašnost a velmi stísněné prostory). Proto byly hledány cesty, jak laserový skener nahradit jinou technologií. Logicky se nabízí využití nejnovějších postupů fotogrammetrických. Rychlý rozvoj možností využití metody SfM (Structure-from-Motion) v posledních pěti letech znamenal pokusy různých týmů i v dokumentaci jaskýní. Praktické testy ukázaly využitelnost tohoto fotogrammetrického postupu a metoda byla v posledních 10 letech úspěšně nasazena při dokumentaci podzemí přírodního charakteru i podzemí vzniklého hornickou činností. Výsledky skenování metodou SfM byly několikrát (různými týmy z celého světa) testovány exaktním porovnáním výsledku s modelem, který byl pořízen laserovým skenerem, a vždy takový pokus skončil konstatováním, že jde o metodu dostatečně přesnou s výrazně nízkými finančními nároky. Autorům tohoto příspěvku se vedle exaktního porovnání modelů vzniklých laserovým skenováním a metodou SfM se podařilo v tomto případě také posoudit i časovou náročnost, která je v případě dokumentace prostorově rozsáhlejšího podzemí metodou SfM poměrně vysoká. Problémy metody SfM v přesnosti výsledného modelu byly sledyány u „monotónních objektů“ (vzorově točité schodiště, štoly a chodby s výztuží stříkaným betonem, dlouhé plazivky). V takových případech nepřesnost modelu vždy výrazně vzrostla, mnohdy nad únosnou míru. U některých počítačových programů došlo k výrazné (až nesmyslné) deformaci, tak velké, že byla odhalena již pouhým pohledem na výsledný digitální model. Byla proto hledána jiná cesta a další metody 3D skenování. S negativním výsledkem (tedy s nekvalitním modelem na konci testu) byly testovány různé aplikace pro smartphone a iphone. Prakticky jsme testováním prokázali, že je možné těchto rychlých a jednoduchých metod skenování využít pro dokumentaci jednotlivých menších objektů a nepříliš rozsáhlých prostor, tedy pro jaskýně jde v tomto případě o prakticky nevyužitelnou technologii. Velmi zajímavé výsledky naopak přineslo testování tzv. sférické fotogrammetrie (videogrammetrie) a metody SfM s využitím několika kamer ve steropáru při terénní fázi projektu. Během posledních let došlo k výraznému rozvoji využívání kamer, které jsou schopné zaznamenat realitu ve 360 stupních. Vznikají tak sférické snímky, které lze využít v mnoha aplikacích i oborech lidské činnosti, metrické analýzy nevyjímaje. Cílem našeho výzkumu bylo praktické testování postupů a metody při dokumentaci velmi členitých a rozsáhlých podzemních objektů. Díky využití sférické videogrammetrie se výrazně urychluje terénní část projektu, tedy čas potřebný pro sběr dat v terénu. Spojení sférických záznamů a ukládání videosekvencí (místo jednotlivých snímků) je příslibem k překonání mnoha omezení stávajících technik a výrazné zrychlení a zefektivnění sběru prostorových dat v terénu i ve velmi stísněných podmínkách.





ISSN 1335-213X

